

**丸太杭工法を用いた軟弱地盤対策の
設計・施工マニュアル**

産学官共同研究報告書

平成 25 年 3 月

**福井県木材利用研究会
福井県雪対策・建設技術研究所**

序

地球温暖化の防止、土砂災害の防止、水源の涵養、生物多様性の保存、木材生産など、環境保全に果たす森林の役割がきわめて大きいことは広く知られています。日本の国土面積の約66%が森林であり、森林面積の約41%が人工林です。昭和20年代以降、スギ・ヒノキを中心として大量に造成された人工林が、伐採時期を迎えた高齢級の人工林に移行しつつあります（図1）。昭和30年代の木材輸入の自由化で、輸入木材が安く、大量のロットで安定的に供給されるようになったことから、日本の人工林の経営が大きな問題となり、この傾向は円高で加速されています（図2）。近年の木材価格の低迷により、間伐や主伐のコスト割れが生じて林業衰退の要因となっています（図3）。日本の林業再生のためには、大規模経営化、林道整備、機械化、林業技術者育成などによる木材の安定供給システムの確立が急務とされています。

上述の環境保全における森林の重要な役割は、伐採－植林－育成－伐採というサイクルにより、森林が適切に保全されてこそ発揮されるものであり、国内の人工林の伐採による木材の利用拡大を図ることも重要な課題です。このために、従来の木材利用分野での需要拡大の他に、木質バイオマスの利活用など新しい用途拡大のための多数の試みがなされています。

以前は木材の大量消費分野であった建設分野でも、木材の利活用が要請されています。建設分野で近年の木材利用が十分ではない主な原因として、1) 木材を利用した構造物の設計・施工の基準が明確にされていないこと、2) 必要なときに必要な量の木材を安定的に供給するシステムが確立されていないこと、が挙げられています。

2) の問題に対しては、多方面からの抜本的な対策が必要であり、今後、多くの組織で真剣に取り組んでいく必要があります。

本マニュアルは、1) の問題に対する対処として、福井県における、道路の軟弱地盤対策としての丸太杭の設計・施工方法の基準化を目標としています。佐賀県の軟弱地盤での丸太杭利用において多年にわたる実績をもつ「プレキャストL型擁壁（ $H \leq 2m$ ）の木杭－底盤系基礎～設計マニュアル（第1版）：佐賀県県土づくり本部・（財）佐賀県県土づくりコンサルタント協会・（財）佐賀県土木建築技術協会、2008」、「水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎～設計マニュアル～（改訂版）：佐賀県県土づくり本部・（財）佐賀県土木建築技術協会・（社）佐賀県県土づくりコンサルタント協会、2009」を基礎資料とし、福井県木材利用研究会や関係機関での数年間の研究開発成果に基づいて、擁壁と道路盛土の基礎としての適用を目的として編集しています。

本マニュアルの作成に多大の御貢献をいただいた福井県木材利用研究会と福井県雪対策・建設技術研究所の多数の方々に感謝の意を表します。設計・施工実務での本マニュアルの利用により、丸太杭を用いた安価で信頼性の高い軟弱地盤対策工法が普及することと、木材の大幅な利用拡大を期待します。

平成25年3月

福井県木材利用研究会 会長
福井大学名誉教授 荒井 克彦

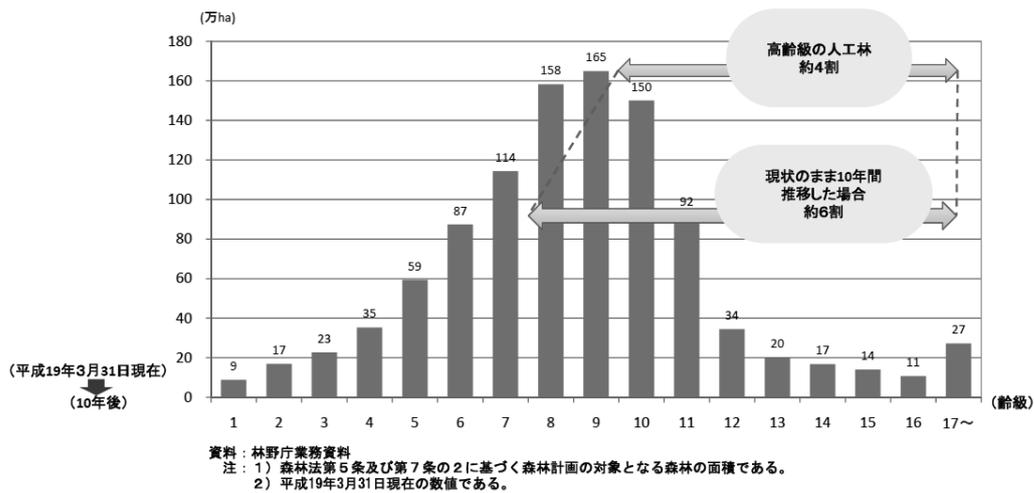


図1 人工林の齢級別面積

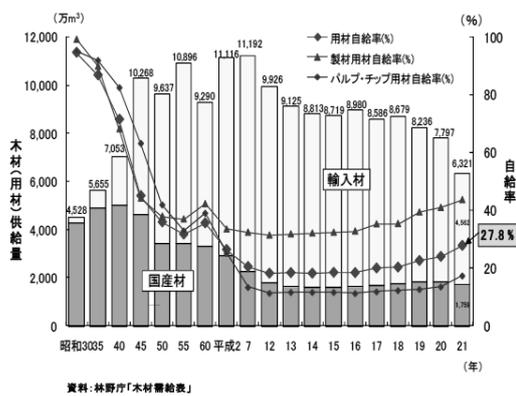


図2 木材供給量と自給率の推移

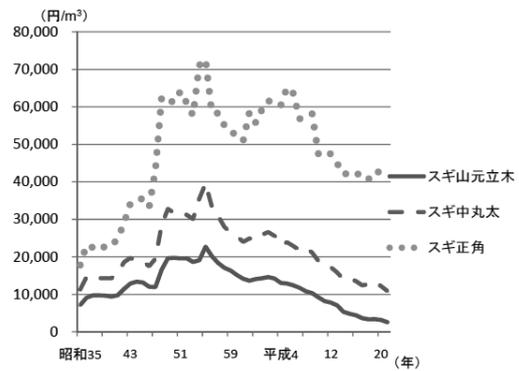


図3 木材価格の推移

図1~3はホームページ「林野庁木材利用課：我が国の森林・林業及び木材利用の概観について、平成23年4月」から引用しました。

目 次

まえがき	i
木杭（地中利用）分科会名簿	ii
本マニュアルで使用する語句	iii
本マニュアルで使用する記号	iv
第1章 マニュアルの利用方法	1
1.1 背景と目的	1
1.2 適用条件	1
1.3 丸太杭の選定方法	2
第2章 福井県における木材利用	5
2.1 福井県の森林・林業の現状	5
2.1.1 県内の森林資源の状況	5
2.1.2 県内の木材需要の動向	5
2.1.3 県産材利用における課題	5
2.1.4 間伐材の利用	6
2.2 木材利用が福井県にもたらすメリット	6
2.2.1 森林が持つ公益的機能の発揮	6
2.2.2 地球環境に貢献する木材利用	6
2.2.3 再生産が可能な木材	6
2.2.4 林業・木材産業の活性化による地域経済への寄与	7
第3章 木材の特性	9
3.1 木材の基本事項	9
3.2 コンクリート杭や鋼管杭と比較した丸太杭の長所および短所	10
3.2.1 丸太杭の長所	10
3.2.2 丸太杭の短所	10
3.3 丸太杭の耐久性	10
3.3.1 木材劣化の要因	10
3.3.2 木材が腐朽する条件	11
3.3.3 木材の種類による耐朽性の違い	12
第4章 設計に用いる地盤定数	15
4.1 設計に必要な調査	15
4.2 周面支持力度	16
4.3 変形係数	17
第5章 ボックスカルバートの設計方法	19
5.1 丸太杭基礎の選定と支持機構	19
5.1.1 対象とするカルバートの種類	19
5.1.2 丸太杭基礎の選定フロー	20

5.1.3	丸太杭基礎の支持機構	21
5.1.3.1	丸太杭基礎の支持力の考え方	21
5.1.3.2	丸太杭－底盤系基礎の支持力の考え方	21
5.1.3.3	丸太杭－底盤系基礎の支持力計算	21
5.2	基礎の設計	23
5.2.1	設計の基本	23
5.2.2	丸太杭－底盤系基礎の設計	24
5.2.2.1	丸太杭－底盤系基礎の支持力概念	24
5.2.2.2	丸太杭－底盤系基礎の設計手順	25
5.2.2.3	丸太杭の配置	26
5.2.3	丸太杭－底盤系基礎における底盤基礎地盤の鉛直支持力算定	27
5.2.3.1	道路橋示方書による基礎地盤の鉛直支持力計算	27
5.2.3.2	土地改良事業計画設計基準による基礎地盤の鉛直支持力	30
5.2.3.3	建築基礎構造設計指針による基礎地盤の鉛直支持力	32
5.2.4	丸太杭－底盤系基礎における丸太杭の鉛直周面支持力算定	33
5.2.5	荷重の考え方	34
5.2.5.1	荷重の種類	34
5.2.5.2	死荷重	34
5.2.5.3	鉛直土圧	35
5.2.5.4	活荷重	35
5.3	基礎設計に関する構造細目	36
5.3.1	杭頭処理	36
5.3.2	丸太杭の配置例	36
第6章	擁壁の設計方法	39
6.1	丸太杭基礎の選定と支持機構	39
6.1.1	対象とする擁壁の種類	39
6.1.2	丸太杭基礎の選定フロー	40
6.1.3	丸太杭基礎の支持機構	41
6.1.3.1	丸太杭基礎の支持力の考え方	41
6.1.3.2	丸太杭－底盤系基礎の支持力の考え方	41
6.1.3.3	丸太杭－底盤系基礎の支持力計算	41
6.2	基礎の設計	42
6.2.1	設計の基本	42
6.2.2	丸太杭－底盤系基礎の支持力	43
6.2.2.1	丸太杭－底盤系基礎の鉛直支持力	43
6.2.2.2	丸太杭－底盤系基礎の水平支持力	44
6.2.2.3	丸太杭の配置	45
6.2.3	丸太杭－底盤系基礎における底盤基礎地盤の鉛直周面支持力算定	45
6.2.3.1	道路橋示方書による基礎地盤の鉛直支持力計算	45
6.2.3.2	土地改良事業計画設計基準による基礎地盤の鉛直支持力	46
6.2.3.3	建築基礎構造設計指針による基礎地盤の鉛直支持力	46
6.2.4	丸太杭－底盤系基礎における木杭の鉛直周面支持力算定	46

6.2.5	丸太杭－底盤系基礎における基礎地盤の水平支持力算定	47
6.2.6	丸太杭－底盤系基礎の設計	48
6.2.6.1	鉛直支持力の計算	48
6.2.6.2	一般部擁壁の水平支持力の計算	51
6.2.6.3	施工時の照査	53
6.2.7	荷重の考え方	54
6.2.7.1	荷重の種類	54
6.2.7.2	活荷重	55
6.3	基礎設計に関する構造細目	56
6.3.1	杭頭処理	56
6.3.2	丸太杭の配置例	57
第7章	道路路体の設計方法	59
7.1	設計の考え方	59
7.2	盛土と基礎地盤の安全性の検討	61
7.3	丸太杭基礎の支持力の検討	62
7.4	丸太杭の耐力の検討	63
7.5	盛土の沈下の検討	63
7.5.1	沈下対策の考え方	63
7.5.2	沈下量の計算方法	63
7.6	杭間隔	66
7.7	盛土層の検討	67
第8章	施工と維持管理	69
8.1	施工	69
8.1.1	施工フロー	69
8.1.2	準備工	70
8.1.3	丸太杭工事	70
8.1.4	丸太杭打設時の安全対策	70
8.2	施工管理	70
8.2.1	品質管理	70
8.2.2	出来形管理	72
8.3	施工時の留意事項	73
8.3.1	施工前	73
8.3.2	杭打ち込み	73
8.3.3	施工安全	73
8.4	腐朽対策の方法	73
8.5	出来形管理基準および規格値	74
第9章	他工法との経済比較	75
9.1	ボックスカルバート	75
9.2	プレキャストL型擁壁	75
9.3	道路路体	75

第10章 参考資料	77
10.1 丸太杭周面支持力の現場確認	77
10.1.1 敦賀港における現場実験	77
10.1.2 佐賀県における現場実験	78
10.2 文献調査	78
10.2.1 調査方法	78
10.2.2 調査結果	78
10.3 木杭基礎の掘出し調査の結果	80
10.3.1 調査概要	80
10.3.2 調査方法	82
10.3.3 調査結果および考察	83
10.3.4 まとめ	90
10.4 既存の木杭基礎構造物の紹介	90
10.4.1 下司橋	90
10.4.2 鯖江大橋	91
10.4.3 西津橋	92
10.5 パイルネット工法の詳細設計	94
10.5.1 工法の概要	94
10.5.2 設計方法	94
10.5.2.1 杭間隔の設計	94
10.5.2.2 杭長さの設計	94
10.5.2.3 連結鉄筋の設計	96
10.5.2.4 土木用シートの設計	97
福井県木材利用研究会活動記録	資 - 1
論文	論 - 1
提言	提 - 1
福井県木材利用研究会の運営要綱	運 - 1
あとがき	

まえがき

本報告書は福井県木材利用研究会と福井県雪対策・建設技術研究所による産学官共同研究の成果をまとめたものであり、その内容は丸太杭工法を用いた軟弱地盤対策の設計・施工マニュアルとその関連資料で構成されている。

現在、土木・建築構造物の設計基準類において木杭を取り扱うものは非常に少ない。したがって、その設計・施工マニュアルも極めて少ない。歴史を振り返ると、明治後期より昭和30年代前半までは橋梁や高層ビルの地盤として木杭が使用されていたが、その後、その使用は減少の一途をたどることとなる。これは、戦後の高度経済成長によって国内の木材資源が枯渇化し、さらに、不燃化や耐久性向上を目的に建設材料として用いる木材を鉄鋼やコンクリート等に変換することを促進するため、昭和30年に閣議決定された木材資源利用合理化方策が影響を与えている。その結果、道路橋示方書では昭和51年版よりくい基礎の設計篇から木杭が除外され、日本建築学会の建築基礎構造設計指針では昭和63年、土木学会の国鉄建造物設計標準解説では昭和61年に、それぞれ木杭が除外された。

木杭と言えば松杭が一般的であるが、このことは、大正時代に太径で長尺の木材が不足し、アメリカから大量のベイマツが輸入されて一般化したことが背景にある。福井県土木部監修の基礎工マニュアルでは、その他の基礎の章で木杭が取り上げられているが、材料は松杭に限定されたものであった。しかし、福井県木材利用研究会の前身である産学官共同研究グループの成果を基に、平成20年の改訂で樹種としてスギも利用できるようになった。

そして、木材資源利用合理化方策の閣議決定から半世紀が経過した平成22年、公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律、いわゆる木材利用促進法が国会で成立し、公共の建築物はもとより土木構造物においても木材需要の拡大を進めていくことが必要となった。これは、これまでの鋼・コンクリートの利用促進からの大きな方向転換といえる。

この様な背景の基、本報告書は福井県の公共土木工事における木材利用法のひとつとして、丸太を軟弱地盤対策に活用することを提案し、その方法をマニュアルとしてまとめたものであり、設計や施工業務に携わる技術者に利用して頂くことを目的としている。内容は、既に木杭を用いた軟弱地盤対策を先進的に実施している佐賀県のマニュアル等を参考にし、福井県木材利用研究会の研究成果や福井県の森林や林業の実情を反映させたものとなっている。

本報告書では、まず、本マニュアルで使用する語句と記号を示し、第1章では本マニュアルを作成するに至った背景と利用する際の基本的条件、第2章では福井県の森林・林業の現状を示す。第3章では丸太杭として用いる木材の基本的特徴を示し、第4章では設計に必要な地盤定数について、その調査方法と算出方法を示す。第5章から第7章は対象とした3つの構造種別ごとの設計方法をまとめたものであり、ボックスカルバート（内空寸法3m×3m以下）、擁壁（壁高2m以下）、道路路体（高さ3m以下の盛土）の順に示す。第8章では推奨する施工方法を示し、施工管理の具体例を示す。第9章では工法選定の参考とするため他工法との施工費用の比較計算例を示す。第10章は参考資料であり、本工法の支持力特性に関する現場実験の結果、実構造物の事例に基づく木杭の耐久性、さらに、実工法として施工実績の多いパイルネット工法の設計方法を示し、本工法の妥当性を明確にする。そして最後に、本工法の実用化に向けて福井県木材利用研究会が行ってきた活動の履歴と、それらの研究成果をまとめた論文等を巻末に資料編として掲載する。

本報告書で取り扱った設計法は、既存の設計法を基準とし、そこに福井県の地盤や木材の特性、現場施工実験や室内模型実験の結果を取り入れて作成したものである。今後、本書を実務で活用しながら、より経済的で対策効果の高い工法に向けた技術開発を行い、安全な社会基盤整備に役立つマニュアルへと改良をし続けていきたい。

平成25年3月

福井県木材利用研究会
副会長 吉田 雅 穂

木杭（地中利用）分科会 名簿

吉 田 雅 穂 (主査)	福井工業高等専門学校
荒 井 克 彦	福井大学
竹 田 周 平	福井工業大学
中 沢 和 彦	株式会社田中地質コンサルタント
鳥 居 直 也	京福コンサルタント株式会社
駒 野 裕 一	株式会社サンワコン
梅 田 祐 一	株式会社デルタコンサルタント
藤 田 貴 準	株式会社キミコン
西 口 賢 利	福井県森林組合連合会
八 杉 健 治	美山町森林組合
直 井 義 政	飛鳥建設株式会社
勝 山 義 史	飛鳥建設株式会社
山 崎 忠 夫	坂川建設株式会社
高 田 隆 夫	坂川建設株式会社
今 井 陽 平	株式会社巨勢
西 浦 志比兵衛	三谷セキサン株式会社
岩 佐 礼 三	福井県農林水産部県産材活用課
矢田部 剛	福井県土木部土木管理課
坂 田 正 宏	福井県土木部三国土木事務所
野 村 崇	元福井県農林水産部総合グリーンセンター (現坂井農林総合事務所)
山 木 忠 嘉	公益財団法人福井県建設技術公社
大 崎 辰 巳	福井県土木部雪対策・建設技術研究所
久 保 光 (幹事)	福井県土木部雪対策・建設技術研究所

本マニュアルで使用する語句

福井県木材利用基本方針：この基本方針は、国の公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成22年法律第36号）第8条第1項の規定および公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針（平成22年10月4日付け22林政令第63号）に基づき、福井県における木材の利用促進に関する方針等を定めたもの。

丸太杭：樹皮を剥いだ丸太。先端加工の有無は地盤状況を考慮する。

支持杭：軟弱な地盤を貫いて、上部の荷重のほとんどを下層の良質な地盤（支持地盤）に伝達させる杭。

摩擦杭：良質な地盤まで杭を埋込まず、丸太杭と土の間の摩擦力によって、上部の荷重を支持する杭。

丸太杭－底盤系基礎：佐賀県で作成された「プレキャストL型擁壁（ $H \leq 2m$ ）の木杭－底盤系基礎～設計マニュアル（第1版）および「水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎～設計マニュアル（改訂版）」では、「木杭－底盤系基礎」と示されているが、本マニュアルでは「丸太杭－底盤系基礎」と示した。

間伐材：森林を適正に維持管理していく過程で、林分密度を調整するため間引いた材をいう。

含水率：木材に含まれる全ての水の重さと木材実質の重さ（全乾重量）との比で百分率で表す。全乾重量を基準に算出するため、値が100%を超えることがある。

杭径：丸太の直径をいう。

末口：丸太の先端側（細い方）の木口をいう。

元口：丸太の根元側（太い方）の木口をいう。

根曲り：雪圧等により根元が曲がった木材をいう。

心材：木材が活動を停止した木口の中心部をいう。心材には微生物・昆虫が嫌う成分が多く、スギは材色が濃い。

辺材：木材が活動していた木口の外側部分をいう。辺材には微生物・昆虫が好む成分が多く、スギは心材よりも淡色である。

耐朽性：木材の腐朽に対する抵抗性をいう。

本マニュアルで使用する記号

	単位
A : 丸太杭の断面積	(mm ²)
A_e : 有効載荷面積 ($A_e = B_e \cdot L$)	(m ²)
A_p : 丸太杭先端 (末口) 面積	(m ²)
B : L型擁壁のフーチング幅 (第6章)	(m)
B : 丸太杭間隔 (第7章)	(m)
B_e : フーチングの有効載荷幅	(m)
B_{H0} : 歩道幅員	(m)
C_c : 未改良層の圧縮指数	
c : 基礎底面下地盤の粘着力	(kN/m ²)
c_B : 基礎底面と地盤との間の付着力	(kN/m ²)
c_u : すべり面に沿う非排水粘着力	(kN/m ²)
D : 杭直径 (末口)	(m)
D_f : 基礎有効根入れ深さ	(m)
D_f' : 良質地盤への根入れ深さ	(m)
d : 丸太杭の直径	(m)
E : 丸太杭のヤング (弾性) 係数	(kN/m ²)
E_{soil} : 杭間地盤の変形係数 (=210 C_u kPa)	
E_{wood} : 丸太杭の軸方向変形係数 (=6,000MN/m ²)	
E_0 : 地盤の変形係数	(kN/m ²)
e_B : フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量	(m)
e_0 : 未改良層の初期間隙比	
F_{Hb} : 基礎地盤の水平支持力に関する安全率 (=1.5)	
F_s : 安全率	
F_{swood} : 丸太杭の耐力に対する安全率 (≥ 1.2)	
F_{Vb} : 基礎地盤の鉛直支持力に関する安全率 (=3)	
F_{Vp} : 丸太杭の鉛直周面支持力に関する安全率 (=1.5)	
f_i : i 番目土層の周面摩擦力度	(kN/m ²)
f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度	(kN/m ²)
H : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの水平荷重	(kN)
H_L : L型擁壁の壁高	(m)
H_p : 丸太杭に作用する水平荷重	(kN)
H_{pi} : i 番目木杭に作用する水平荷重	(kN)
H_1 : 丸太杭を打設した地層の厚さ	(m)
H_2 : 未改良層の厚さ	(m)
Δh_1 : 丸太杭を打設した地層における沈下量	(m)
Δh_2 : 丸太杭先端以深の沈下量	(m)
I : 丸太杭の断面2次モーメント	(m ⁴)

i	: 衝撃係数	
i_c, i_q, i_y	: 荷重傾斜に関する補正係数	
K_H	: 水平方面地盤反力係数	(kN/m ³)
L	: L型擁壁の1基当たりの延長	(m)
ℓ	: 細片部のすべり面長さ (第7章7.2)	(m)
ℓ	: 丸太杭間の距離 (第7章7.5)	(m)
L_i	: i 番目土層の層厚	(m)
L_p	: 丸太杭長さ	(m)
M_{max}	: 丸太杭に生じる地中部最大モーメント	(kN・m)
N_c, N_q, N_y	: 支持力係数	
N_{sw}	: 回転により貫入した時の1m当たり半回転数	(回/m)
n_f	: 丸太杭周面摩擦力に対する安全率 (=2)	
n_p	: 丸太杭本数	(本)
n_p	: 先端支持力に対する安全率 (=3)	
Δp	: 全上載荷重	(kPa)
Δp_p	: 丸太杭1本当たり全上載荷重	(kN/m ²)
q_c	: コーン貫入抵抗	(kN/m ²)
q_d	: 丸太杭先端部の単位面積当たりの極限支持力度	(kN/m ²)
q_L	: 上載荷重	(kN/m ²)
q	: 底盤地盤に作用する上載荷重	(kN/m ²)
q_u	: 基礎地盤の極限鉛直支持力度	(kN/m ²)
q_{vba}	: 基礎地盤の許容鉛直支持力度	(kN/m ²)
q_2	: 未改良層中央深さにおける全上載荷重 Δp の分散荷重	(kN/m ²)
R_a	: 杭の鉛直方向許容押し込み支持力	(kN)
R_f	: 丸太杭の最大周面摩擦力	(kN)
R_{Hb}	: 基礎底面と地盤との間のせん断抵抗力	(kN)
R_{Hba}	: 基礎地盤の許容水平支持力	(kN)
R_{Hbp}	: 丸太杭 - 底盤系基礎の許容水平支持力	(kN)
R_{Hpa}	: 丸太杭の許容水平支持力	(kN)
R_p	: 丸太杭先端の極限支持力	(kN)
R_{Vba}	: 基礎地盤の許容鉛直支持力	(kN)
R_{Vbp}	: 丸太杭 - 底盤系基礎の許容鉛直支持力	(kN)
R_{Vbu}	: 基礎地盤の極限鉛直支持力	(kN)
R_{Vpa}	: 丸太杭の許容鉛直周面支持力	(kN)
R_{Vpai}	: i 番目の木杭の許容鉛直周面支持力	(kN)
R_{Vpai}'	: 擁壁設置時の i 番目の木杭の許容鉛直周面支持力	(kN)
R_{Vpui}	: i 番目の木杭の極限鉛直周面支持力	(kN)
S_c, S_q, S_y	: 寸法効果に関する補正係数	
S_{wood}	: 丸太杭のせん断抵抗	(kN/m ²)
T_s	: 盛土材の厚さ	(m)

U	: 丸太杭周長 (末口)	(m)
V	: 基礎底面に作用する擁壁1基当たりの鉛直荷重 (第6章)	(kN)
V	: 全盛土体積 (第7章)	(m ³)
V'	: 擁壁設置時に基礎コンクリート底面に作用する鉛直荷重	(kN)
V_c	: 杭間地盤に荷重を作用させる盛土体積	(m ³)
V_p	: 丸太杭に作用する鉛直荷重	(kN)
V_{pi}	: i 番目の木杭1本に作用する鉛直荷重	(kN)
W	: 細片部の土の全質量	(kN/m)
W_{d1}	: L型擁壁自重	(kN)
W_{d2}	: 裏込め土重	(kN)
W_{d3}	: 基礎コンクリート自重	(kN)
W_{d4}	: 基礎コンクリート上の土重	(kN)
W_{d5}	: 基礎コンクリート上の土重	(kN)
W_s	: 主働土圧	(kN)
W_{sw}	: 荷重だけによって貫入が進む荷重の大きさ	(N)
W_{th}	: 活荷重による側圧	(kN)
x_i	: フーチング幅 B の中心から各杭中心までの水平距離	(m)
Z	: 丸太杭の断面係数	(mm ³)
α	: 細片部のすべり面平均傾斜角	(°)
α, β	: 形状係数	
β	: 丸太杭の特性値 (第6章)	(m ⁻¹)
β	: 丸太杭のせん断抵抗 S_{wood} が得られるときの地盤のせん断抵抗の比 (第7章)	
ϕ	: 土 (盛土材) の内部摩擦角	(°)
ϕ_0	: 丸太杭の元口径	(m)
ϕ_B	: 基礎底面と地盤との間の摩擦角 (粘性土の場合、考慮しない)	(°)
ϕ_e	: 丸太杭の末口径	(m)
ϕ_u	: 非排水せん断抵抗角	(°)
γ_1	: 基礎底面下地盤の単位体積重量	(kN/m ³)
γ_2	: 基礎底面より上方地盤の単位体積重量	(kN/m ³)
η	: 基礎の寸法効果に関する補正係数	
θ	: 主働崩壊角	(°)
κ	: 根入れ効果に関する割増し係数	
λ, ν, μ	: 寸法効果の程度を表す係数	
σ_{ca}	: 丸太杭の許容曲げ圧縮応力度	(N/mm ²)
σ_{ba}	: 丸太杭の許容曲げ引張応力度	(N/mm ²)
σ_b	: 丸太杭の曲げ圧縮 (引張) 応力度	(N/mm ²)
σ_{v0}	: 未改良層中央深さにおける改良前の上載荷重	(N/mm ²)
σ_{wood}	: 丸太杭の軸方向許容圧縮応力度 (=4,000kN/m ²)	

**丸太杭工法を用いた軟弱地盤対策の
設計・施工マニュアル**

産学官共同研究報告書

平成 25 年 3 月

福井県木材利用研究会
福井県雪対策・建設技術研究所

第1章

本マニュアルの利用方法

第1章 本マニュアルの利用方法

1.1 背景と目的

近年、環境を考慮した土木技術が求められていることから地球温暖化防止や国土保全のため、土木分野における木材利用の拡大が課題となっている。その中で、道路の軟弱地盤対策に丸太杭を用いる工法は、大量に木材を利用する工法として期待が集まっている。

ところが、福井県で小規模構造物や道路の軟弱地盤対策に丸太杭を用いる場合、全国版基準等では対応が十分ではなかった。

そこで、全国版基準や他県のマニュアルを整理・考証し、福井県の地盤特性に適合した丸太杭を用いた軟弱地盤対策の設計・施工法についてまとめた。

【解説】

公共工事の設計は、全国版基準の考え方に従って行われることが多い。自治体が国の補助を受けて行う工事では、そのことが必要条件とされる場合もある。しかし、丸太杭を用いた軟弱地盤対策の場合、全国版基準等では対応が十分ではなかった。具体的には、道路橋示方書・同解説(2012)¹⁾では、先端支持力3、周面支持力4の安全率を採用しているが、これに基づき擁壁やボックスカルバートを設計するとコスト高であるのみならず丸太杭の設計は末口寸法で設計することから末口と元口の寸法の違いにより杭間隔が狭くなり杭の打設も困難となる場合がある²⁾。また、軟弱地盤の道路路体補強の設計方法については確立していない。

このような背景から、本マニュアルでは、小規模構造物（擁壁、ボックスカルバート）および道路路体の補強等の軟弱地盤対策に丸太杭を積極的に利用できるようにすることを目的として設計・施工方法についてまとめた。

1.2 適用条件

本マニュアルの対象は、1m×1m～3m×3m程度のカルバート、擁壁高0.6～2.0m程度の擁壁、ならびに道路の路体盛土とする。

【解説】

本設計マニュアルのカルバート編で対象とするのは、1m×1m程度以上で3m×3m程度までの水路用ボックスカルバート、および360°コンクリート基礎のパイプカルバートを対象とする。擁壁編では、施工実績の多い擁壁高0.6～2.0mのプレキャストL型擁壁、および同規模の重力式擁壁やU型擁壁とする。道路路体編では、盛土高=2m以下の路体盛土を対象とする。

高さ0.6～2.0mのL型擁壁の中で幅員2m以上の歩道部に設置される壁高1.2m以下のものについては、以下のことを踏まえて設計では土圧力と活荷重による側圧を考慮しないものとする。ただし、背面土（路床材）が砂質土の場合は通常の検討により側圧を考慮する。

- (1) 幅員2m以上の歩道に設置する壁高1.2m以下の擁壁においては、擁壁底版背から立ち上げた荷重影響線は歩道内に収まり、擁壁の安定計算に輪荷重が影響しないこと（図1.2.1参照）。
- (2) 擁壁背面土は幾らかの粘着力を有し、これによる土の自立高が期待できること（佐賀マニュアル参考資料②³⁾参照）。
- (3) 荷重偏心を考慮した計算手法による丸太杭－底盤系基礎の支持力は、丸太杭の本数ならびに長さについて、これまで施工された丸太杭基礎と比べて過大となること（ただし、佐賀県

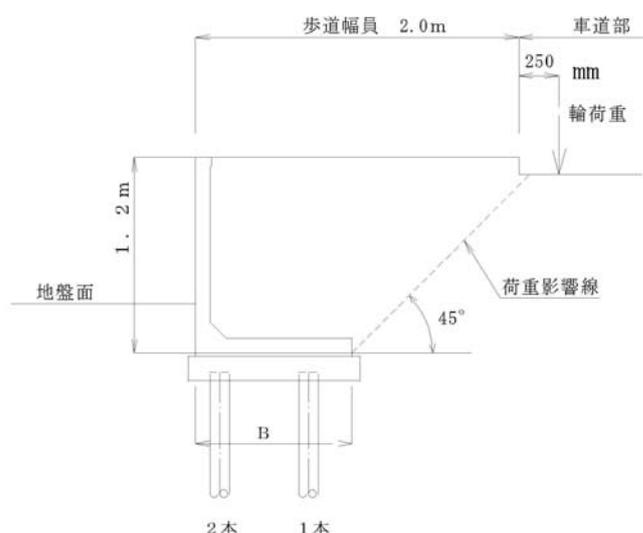


図-1.2.1 歩道部擁壁に作用する活荷重

における施工実績であり、背面土が粘性土または改良土の場合に限定する)。

以上より、本設計マニュアルで対象とする擁壁は次の2種類とする。

- ・粘性土地盤における歩道幅員2m以上の歩道に設置の壁高1.2m以下の擁壁（以下、歩道部擁壁という）
- ・上記以外の壁高2m以下の擁壁（以下、一般部擁壁という）

本設計マニュアルに記載されていない事項に関しては「道路土工擁壁工指針⁴⁾」および関連する基準書等（道路橋示方書、土地改良事業計画設計基準、建築基礎構造設計指針）を準用するものとする。

1.3 丸太杭の選定方法

丸太杭の選定は、材料供給を考慮して適切に定めるものとする。

【解説】

材料供給状況を踏まえ、使用する丸太は表-1.3.1から選定するものとする。

※1m、2mは別途加工費がかかることがある。

表-1.3.1 使用材料

末口径(cm) \ 杭長(m)	1	2	3	4	5	6	7	8
	9~13	○	○	○	○			
14	◎	◎	◎	◎	△			
16	◎	◎	◎	◎	○			
18	◎	◎	◎	◎	○	△	△	

◎入手容易 ○要確認 △特注

①調査の必要性

供給条件から選定条件を設定する必要があるため、木材の種類、末口径、長さに関する調査が必要である。

②選定方法

選定条件及び表-1.3.2より検討する。

表-1.3.2 木材の許容応力度⁵⁾

樹 種		許容応力度 (単位 N/mm ²)				
		圧縮	引張	曲げ	せん断	めり込み
針葉樹	アカマツ、クロマツ	5.7	4.5	7.2	0.6	2.3
	ヒノキ、カラマツ、ヒバ	5.3	4.2	6.9	0.5	2.0
	ツガ	4.9	3.8	6.5	0.5	1.5
	スギ、モミ、エゾマツ、トドマツ	4.5	3.5	5.7	0.5	
広葉樹	カシ類	6.9	6.2	9.9	1.1	3.1
	クリ、ブナ、ケヤキ、ナラ類	5.4	4.6	7.6	0.8	2.8

注) 建築基準法施行令第89条及び建設省告示H12第1452号、国土交通省告示H13第1024号による常時湿潤状態における長期荷重に対する許容応力度（無等級材）である。

注) 圧縮・引張・曲げは、木材の繊維方向に応力が働く場合の値である。

注) めり込みは、木材の繊維方向に直角に加圧する場合の値である。

③呼び径と設計計算末口径

呼び径と設計計算末口径に差を設けることは、設計ミスにつながる危険性もあるため、末口径に統一するのがよい。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編IV下部構造編，2012.
- 2) 三浦哲彦：軟弱粘土地盤における木杭基礎 ローカルルール作りの歩み，木材利用シンポジウム福井講演概要集，2010.
- 3) 佐賀県県土づくり本部・(財) 佐賀県土木建築技術協会・(社) 佐賀県県土づくりコンサルタント協会：プレキャストL型擁壁（H≤2m）の木杭-底盤系基礎～設計マニュアル（第1版）～，p.47，2008.
- 4) (社) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針，2012
- 5) (社) 日本治山治水協会 日本林道協会：森林土林製構造物施工マニュアル，p.18，2006.

第2章

福井県における木材利用

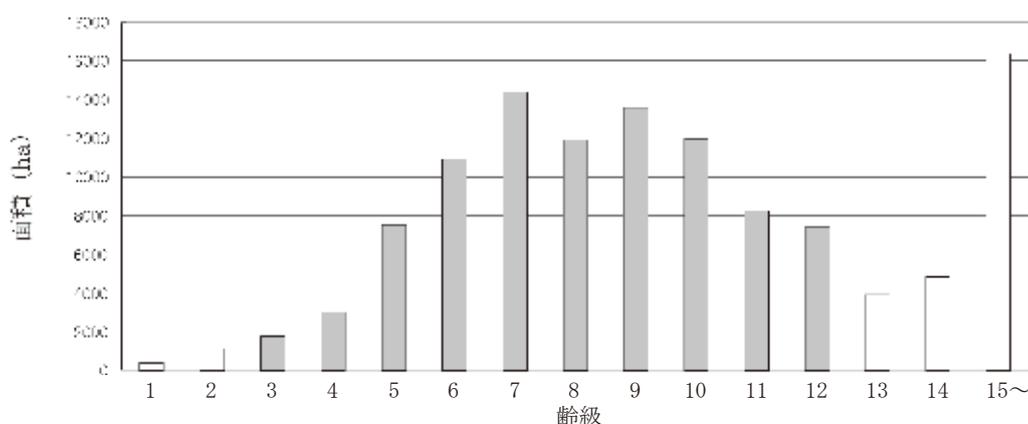
第2章 福井県における木材利用

2.1 福井県の森林、林業の現状

2.1.1 県内の森林資源の状況

福井県内の森林は、県土42万ヘクタールの75%を占めており、そのうち人工林が約40%で、その90%がスギの人工林（約10万ヘクタール）となっている。国有林を除く民有林の材積は約5,500万 m^3 あり、そのうち64%の約3,500 m^3 がスギである。また、森林資源は毎年約100万 m^3 増加している。

森林資源としては、35年生（7齢級）から45年生（9齢級）が最も資源量が多く、まさにこれから伐採・利用時期を迎える。また、その7割が間伐対象林分（図-2.1.1の3齢級～12齢級の塗り潰し部分）であり、間伐による木材生産が拡大していくことから、間伐材の利用と今後増大する大径材の利用を拡大していく必要である。



※木材の齢級は5年毎に区切ったもの データは平成23年3月末現在（福井県調べ）

図-2.1.1 福井県の人工林面積（面積117,502ha、材積37,257千 m^3 ）

2.1.2 県内の木材需要の動向

平成23年木材統計（農林水産省大臣官房統計部）によると、平成23年の県産材の生産量は年間増加量の1割の約10万 m^3 であり、そのうち82,000 m^3 が県内で使われている。県内の木材需要は128,000 m^3 であり、自給率は64%となる。これをピーク時である昭和57年のデータと比較すると、木材の需要量は745,000 m^3 の2割以下、供給量は173,000 m^3 の約半分に落ち込んでいる。しかし、自給率は当時の23%の3倍近くに増加しているため、木材需要の落ち込みが相当激しいことが確認できる。

平成23年の県内需要の内訳を見ると、住宅用製材が72,000 m^3 で約6割を占め、その他がチップ等となっている。住宅用製材は昭和57年に475,000 m^3 の需要であったが、現在はピーク時の15%にまで激減している。

間伐材は伐採量の約4割にあたる47,000 m^3 （製材用19,000 m^3 、公共事業用3,000 m^3 、集成材・合板用12,000 m^3 、その他チップ用）が利用されているが、今後の間伐により供給量が増大することを考慮すると、公共施設や土木工事、エネルギー利用等で更なる利用拡大を図る必要がある。

2.1.3 県産材利用における課題

製材用の大径材の利用では、生産から加工流通まで連携しながら乾燥を徹底し、高品質材を安

定供給する必要がある、その需要先としては県産材を使った木造住宅の確保が求められている。一方、今後の増加が見込まれる小中径の間伐材の利用では、直径30cm程度の木材の生産が拡大される。そのため、集成材や合板をはじめとした、加工・接着等で利用するエンジニアードウッドなどのマテリアル利用の需要先の確保や、チップ等のエネルギー利用など、カスケード利用の確保を確実なものにして間伐材の利用を拡大していく必要がある。

2.1.4 間伐材の利用

間伐とは、生育している木材の密度を管理するために行う約5年から10年おきに行う樹木の伐採であり、樹木の生育とともに隣接する樹木が地中からの養分や水分、日照などに関して、相互干渉することにより生育が阻害されることを防止するために行う重要な施業である。

間伐材とは、森林を適正に維持管理していく過程で必ず発生する木材であるが、これまでは収益が上がらないことなどから利用されず山林内に放置されることが多かった。最初の間伐では良材は少なく成長の悪い欠点の多い木材が多く伐採されるが、間伐を繰り返し実施している山林からは真っすぐで品質の良い良材も多く伐採されることになる。間伐や枝打ちが長い間実施されていなかった森林では、生育が悪く節がある間伐材も生産されるが、曲がりや節が問題とならない土木資材での利用やチップなどとして利用することも可能である。

福井県内では、今後、戦後に植林された森林から直径10cm～30cmの間伐材が数多く搬出されることになり、現在は集成材や合板（18cm以上）への利用が進められている。本マニュアルで扱う丸太杭は直径16cm内外の間伐材を対象としているため、その用途として大変適している。

2.2 木材利用が福井県にもたらすメリット

2.2.1 森林が持つ公益的機能の発揮

森林は、県民の生活に必要な木材等の林産物を供給するだけでなく、清らかな水と空気を育み、災害から県民の生命、財産を守り、多様な生態系を支えるなどの公益的・多面的な機能を有しており、県民にとってかけがえのない財産である。森林の多面的な機能をそれぞれの機能別に貨幣換算すると、本県の評価額の合計は年間1兆1千億円と試算¹⁾されており、木材を利用することで適正な森林の整備が進み、これらの機能が最大限に発揮できる。

2.2.2 地球環境に貢献する木材利用

近年、地球温暖化防止の観点から木材を利用する機運が全国的に高まりつつある。地球温暖化は、大気中に存在する二酸化炭素などの温室効果ガスの濃度が上昇することが原因と考えられている。樹木は光合成によって二酸化炭素を取り込み、伐採・加工後も木材の形で炭素を貯蔵・固定していることから、木材の利用を進めることは炭素の貯蔵量を増やすこととなり、大気中の二酸化炭素を低減することにつながる。一方、貯蔵・固定した木材を最終的に燃焼させて二酸化炭素を排出しても、樹木の成長過程で大気中から吸収したものであるため、二酸化炭素濃度に影響を与えない。これを、カーボンニュートラルと呼んでいる。

また、木材は、鉄やコンクリートといった資材に比べて製造や加工に要するエネルギーが少ないことから、これらの代替材料として木材を利用することは、二酸化炭素の排出削減につながると考えられている²⁾。さらには、地域の木材を地域で使うことで輸送コストのみでなく、輸送工程に係る二酸化炭素の削減に大きく寄与する。

2.2.3 再生産が可能な木材

石油や石炭などの化石燃料は、掘り出して使えばなくなるが、木材は伐採後に新しい苗木を植

えて育てることで、再び利用できるものに成長する。したがって、伐採して使う木材の量が、成長する樹木の量を超えない限り、永久に再生可能な資源として利用できることとなる。

2.2.4 林業・木材産業の活性化による地域経済への寄与

木材は主に住宅部材に利用されているが、これまで利用されていなかった分野、例えば土木分野での丸太杭等で新たな需要が広がれば、木材産業や林業生産活動が活性化し、地域経済へのプラス効果となる。

参考文献

- 1) 福井県：ふくい元気な森・元気な林業戦略, p.12, 2010.
- 2) 林野庁：平成24年版森林・林業白書, p.61, 2012.

第3章

木材の特性

第3章 木材の特性

丸太杭は、土木構造物の基礎杭以外にも柵杭、造園資材など広く活用されている。本章では、丸太杭基礎に用いる丸太杭の基本事項について解説する。

3.1 木材の基本事項

使用材料は主に針葉樹材（スギ・ヒノキ・マツ等）を使用するが、「福井県木材利用基本方針」を踏まえて県産材を利用し、特にスギ、ヒノキの間伐材の使用が望まれる。杭径の呼び径は末口を基本とし、一般的な地盤補強の丸太杭には末口径 $\phi_e=12\text{cm}\sim 18\text{cm}$ 、杭長 $2\text{m}\sim 8\text{m}$ が用いられているが、本県においては、現況の森林状況から末口径 $\phi_e=10\text{cm}\sim 16\text{cm}$ 、杭長 $2\text{m}\cdot 3\text{m}\cdot 4\text{m}$ を標準的寸法とし、杭長 4m を超える場合は受注生産とする。樹皮は、土壌との摩擦力低減の原因となるため剥ぎ取り、末口および元口の切断面は可能な限り水平とし、杭頂部が地下水水面以浅に位置する場合を除き防腐処理は行わない。防腐処理を施した丸太杭を使用する場合は、最低でも製材の日本農林規格の保存処理K3相当以上の処理とする（表-3.1.1）。また、防腐剤の種類を確認し、河川、水路、耕作地などに悪影響を与えないように配慮しなければならない。土壌汚染の影響が考えられる場合は、その対策を考慮する必要がある。

表-3.1.1 日本農林規格の性能区分

性能区分	樹 種 区 分	基 準
K1	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が90%以上
K2	耐久性D1の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が20%以上
	耐久性D2の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
K3	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
K4	耐久性D1の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
	耐久性D2の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ15mm（厚さが90mmを超える製材については、20mm）までの心材部分の浸潤度が80%以上
K5	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ15mm（厚さが90mmを超える製材については、20mm）までの心材部分の浸潤度が80%以上

注) 1 耐久性D1の樹種：ヒノキ、スギ、カラマツ等心材の耐久性がこれらに類するもの

2 耐久性D2の樹種：アカマツ、クロマツ等心材の耐久性がこれらに類するもの

3.2 コンクリート杭や鋼管杭と比較した丸太杭の長所および短所

3.2.1 丸太杭の長所

- ① 丸太杭は、コンクリート杭や鋼管杭に比べて軽量で鉛直支持力の面で有利となり、重量の割に十分な強度を備えている。
- ② 杭打設時に発生した周辺粘土中の過剰間隙水圧は杭周面に水膜を発生させることになるが、丸太杭はその特性から水膜を吸収するので地盤との密着性が確保される。
- ③ 大規模な施工機械を必要としないため、軟弱地盤における施工性に優れている。
- ④ 無泥水・無排土での施工及び間伐材の利用が可能であり、材料としては他の材質による杭よりも経済的であり、常時水面下であれば腐らず耐久性がある。
- ⑤ 丸太杭に加工される樹木が大気中の二酸化炭素を吸収固定し、それを地中に打設することから、二酸化炭素を地中貯蔵し温室効果ガス削減に貢献となる。

3.2.2 丸太杭の短所

- ① 材料の寸法、特に雪害・獣害による形状（根曲り・先折れ等）にばらつきがあり、品質確保と品質管理の上で注意が必要である。
- ② 地下水より上の部分は腐朽しやすいので、対策が必要となる。

3.3 丸太杭の耐久性

3.3.1 木材劣化の要因

木材は、長期的に使用できる生物素材であるが、さまざまな理由で劣化していく。時間の経過とともに劣化が進むと木材の強度低下などの問題が発生し、目的とした使用に耐えられなくなる。それに至るまでの時間は、外部の環境条件や木材の種類、発生した劣化の種類などによって異なってくるので、ここでは木材に発生する劣化の種類について解説する。

(1) 木材腐朽菌による劣化（褐色腐朽、白色腐朽、軟腐朽）

木材が劣化する主な原因の一つで、一般的にキノコとして知られている担子菌類によるものが多い。分解の仕方により、褐色腐朽、白色腐朽、軟腐朽に分けられ、これらを引き起こす菌類を木材腐朽菌類と呼ぶ。

褐色腐朽は針葉樹材に多く、木材の主要成分であるセルロース、ヘミセルロースが分解されるが、リグニンはほとんど分解されないため、腐朽した材は褐色に見える。

白色腐朽は広葉樹材に多く、セルロース、ヘミセルロース、リグニンのすべてが分解されるため、腐朽した材は、白色に見える。

軟腐朽は、セルロース、ヘミセルロースを分解するが、褐色腐朽のようにセルロースを急激に分解はしない。リグニンも幾分は分解する。原因となる菌は、子のう菌類や不完全菌類であり、橋脚材や土壌に接する高含水率状態の木材を腐朽させる。

(2) その他の菌類やバクテリアによる劣化（表面汚染菌、変色菌、バクテリア）

表面汚染菌は、真菌類のいわゆるカビで、木材表面の糖などしか利用できないため、質量減少や強度低下などの劣化は大きくない。

変色菌は、主に子のう菌類が原因で、木材の辺材部に変色を起し辺材内部にまで影響する。しかし、木材の構成要素であるセルロースやリグニンはほとんど分解されないため、強度低下などにはあまり影響しないといわれているが、衝撃曲げ強度が若干低下するという報告も

ある。

バクテリアは、木材が湿った環境下にある時、初期に侵入してくる。また、長期間、池や河川に貯木したり、地中に埋めたり、海水中に浸積したとき、特殊な環境下ではバクテリアによる劣化が生じる。ただし、木材腐朽菌（担子菌など）と比べ、質量の減少（バクテリアによる分解）は少なく、実際にどの程度木材を劣化させるかについては、詳しくは明らかになっていない。

(3) 虫による劣化（シロアリ、その他による被害）

虫による劣化において、もっとも被害が大きいのはシロアリによる食害であり、日本ではヤマトシロアリやイエシロアリの被害が多い。住宅等における虫害にはヒラタキクイムシなどの甲虫類による被害もあるが、土壌中の湿った環境で使用する丸太の場合には無視しても良い。

(4) ウェザリング（weathering）による被害

野外に暴露することにより劣化する現象で、一般的には紫外線や光酸化によるリグニンの分解などがある。野外に暴露すると、1週間程度で黄変がみられ、その後退色により白くなる。さらに進むと1年もたたないうちに暗い灰色に変色する。分解された成分は、水可溶性の成分になることで、木材表面から溶脱していく。

3.3.2 木材が腐朽する条件

本項は、木材劣化の要因の中から、木材の強度低下をもたらす最も重要な原因の一つである木材腐朽菌（褐色腐朽菌、白色腐朽菌、軟腐朽菌）による劣化、腐朽の発生条件について述べる。木材の腐朽が発生するには、腐朽菌が活動するために必要な水分、空気（酸素）、温度の条件が大きく関係している。これら必須条件のうち、いずれか1つでも腐朽菌が好まない方向へと変えてやり、その状態を維持することができれば木材腐朽の活動を大幅に抑えることができる。ここでは、腐朽菌が活動するために必要なそれぞれの条件について解説する。

(1) 水分

木材腐朽菌の生育には水を必要とする。木材中に含まれる水分量を含水率と呼び、湿った状態の木材中に含まれる水分量をその木材を乾かした際の木材の質量で割った値の百分率で表す。

含水率(%) = (湿った木材の質量 - 完全に乾いた木材の質量) ÷ 完全に乾いた木材の質量
が、40%~150%の範囲で腐朽が生じやすい。

(2) 空気（酸素）

生物が活動していくには、必ずエネルギーを必要とする。このエネルギーは、栄養分を分解することで獲得されるが、その方法には、酸素を必要とする「呼吸」と、酸素を必要としない「発酵」の2つの方法が存在する。木材の腐朽をもたらす木材腐朽菌は、呼吸を行う生物の仲間であるため、空気（酸素）の存在しない環境下では活動すること（エネルギーを得ること）ができない。したがって、木材の腐朽も生じない。

水中などで長期に木材を保存した場合、木材内部の細胞空洞すべてに水が満たされることになる。そうすると、結果的に酸素不足になり、木材は腐朽しにくくなる。

(3) 温度

木材腐朽菌の生育は、温度によって影響を受ける。一般的に低温では生育が悪く、適温で最も繁殖する。高温になると菌の生育が悪化し、ついには死滅するか孢子による休眠状態に陥る。木材腐朽菌が生育できる温度は、およそ0℃～50℃である。

3.3.3 木材の種類による耐朽性の違い

腐朽に対する木材の抵抗性と深い関係がある抽出成分について解説し、各樹種の耐朽性について示す。

腐朽に対する木材の抵抗性（耐朽性）は、樹種の組織構造、比重や硬さなどの物理的な性質などにも関係するが、最も関係深いのは木材に含まれている抽出成分である。抽出成分とは、ヘキサン、ベンゼン、エーテル、アセトン、アルコール、水などによって木材から抽出される、フェノール類やトロポノイド、キノイド、スチルベン類およびロウ質類、テルペン類などの成分の総称である。これらの成分は、腐朽菌の活動を阻害したり、ロウ質類のように木材内部で疎水性の成分として働くことで、木材を保護する役割をしている。

抽出成分は、木材の心材部分に存在し、辺材部分にはあまり存在しない。加えて、辺材部分には、腐朽菌が利用しやすい糖やでんぷん、窒素化合物が心材よりも含まれていることから、どの樹種でも辺材は腐朽しやすい。抽出成分を含む心材については、樹種により耐朽性に大きな違いがあるため、その評価結果を表-3.3.1に示す。

表-3.3.1 各樹種の心材の耐朽性¹⁾

耐久性の区分	日本材	北米材, ソ連材	南洋材
極大 (野外で9年以上)			ギアム、コキクサイ、バラウ、セラングンバツ、ヤカール、エボニー、ウリン、イピール、メルバウ、インツィア、ビチス、チーク、バンキライ、コムニャン
大 (野外で7-8.5年)	ヒノキ、サワラ、ネズコ、アスナロ、ヒバ、コウヤマキ、クリ、ケヤキ、ヤマグワ、ニセアカシヤ、ホオノキ	ベイヒ、ベイヒバ、インセンスシーダー、ベイスギ、センベルセコイア、ブラックウォールナット	レンガス、レザック、ナリグ、ケラット、ホワイトメランチ、セプターパヤ、パドーク、ピンカドー、セドレラ、チュテールバンコイ、マホガニー
中 (野外で5-6.5年)	シラベ、カラマツ、クサマキ、イチイ、カヤ、トガサワラ、スギ、カツラ、スダジイ、クヌギ、ナラ、アラカシ、シラカシ、ダブノキ	ダフリカカラマツ、ベイマツ、ホワイトオーク、ベカン、バターナット	カナリウム、クルイン、カブール、ブジック、ライトレッドメランチ、イエローメランチ、マラス、メンガリス、ケンバス、アルトカルプス、バカウ、スロークラハム、カロフィルム、テラリン、メルサワ、チュテールサール、ボルネオオーク
小 (野外で3-4.5年)	モミ、アカマツ、クロマツ、イチヨウ、マカンバ、コジイ、コナラ、アベマキ、イヌエンジュ、アカガシ、イチイガシ、ヤチダモ、キハダ、ヒメシャラ	ボンデローサマツ、スラッシュマツ、ストローブマツ、テーダマツ、ベイツガ、ソフトメープル、イエローバーチ、ヒッコリー	アローカリア、カポック、ドリアン、ターミナリア、エリマ、アピトン、アルモン、レッドラワン、タンギール、マンガシノロ、ニュージランドビーチ、ピンタンゴール、ゲロンガン、ジョンコン、マングローブ、マトア、タウン、カサイ、ナトー、ケレダン、ユーカリ
極小 (野外で2.5年以下)	ハリモミ、アオモリトドマツ、トドマツ、エゾマツ、トガサワラ、イタヤカエデ、セン、ヤマハンノキ、ミズメ、シラカンバ、アカシデ、ミズキ、ブナ、イヌノキ、トチノキ、クスノキ、シナノキ、シオジ、ドロノキ、オオバヤナギ、イイギリ、オオバボダイジュ	ベイモミ、スプルース、ラジアタマツ、アスペン、コットンウッド、アメリカシナノキ	アガチス、ブライ、ジェルトン、カラス、パラゴムノキ、ラブラ、アンベロイ、セルチス、キャンプノスパーマ、アルストニア、プランチョネラ、バスウッド、ロヨン、ホワイトシリシ、ラミン、カナリウム、オベチエ、アルマンガ、ビヌアン、カランバヤン、チャンバカ

参考文献

1) 社団法人 日本木材保存協会, 木材保存学入門 改訂版, 2001.

第4章

設計に用いる地盤定数

第4章 設計に用いる地盤定数

4.1 設計に必要な調査

構造物の基礎の計算に必要な地盤定数は、地盤の強度、単位体積重量及び変形係数などがある。軟弱地盤の粘土について設計に必要な地盤調査方法は表-4.1.1の通りである。

表-4.1.1 地盤定数を求める調査法

試験等の項目 調査の項目	ボーリング	サンプリング	サウンディング			物理試験				力学試験			原位置試験		得られる定数	調査頻度
			標準貫入試験	静的コーン貫入試験	スウェーデン式	土粒子の密度試験	含水比試験	粒度試験	液性・塑性限界試験	土の湿潤密度試験	一軸圧縮試験	三軸圧縮試験	圧密試験	土の湿潤密度試験		
外力の計算						○	○		○	○				◎	γ	(擁壁・路体補強) 100mに1箇所程度
基礎支持力の計算 地盤支持力 杭周面支持力	◎	◎	○	◎	○	○			○	△	△	◎	◎	△		
試料の種類						乱した	乱した	乱した	乱した・粘性土	乱さない・粘性土	乱さない・粘性土	乱さない	乱さない			(ボックスカルバート) 両端で各1箇所程度

◎：特に有効な調査方法 ○：有効な調査方法

△：場合によっては用いられる調査方法

注) 旧水路は軟弱でありその位置に構造物を設置する場合には調査を行い設計をする。

【解説】

(1) ボーリング調査位置

基礎支持力の計算に用いる地盤定数の調査位置は、一般には擁壁・路体補強においては延長100mに1箇所程度、ボックスカルバートにおいては両端で各1箇所程度とされるが、旧地形を考慮して地質の変化が想定される場合は追加調査を行う必要がある。

(2) 地盤調査深さ

木杭-底盤系基礎設計に必要な地盤調査深さは、一般に構造物基礎底面から下方に10m程度と考えられる。なお、中間砂層がある場合は、この中間砂層の支持層としての層厚判断ができるよう調査深さに注意する必要がある。

(3) 土の単位体積重量

荷重・土圧の計算に用いる単位体積重量は、砂及び砂れき 20kN/m^3 、砂質土 19kN/m^3 、粘性土 18kN/m^3 とする。ただし、この値と異なる盛土材、埋め戻し材を用いる場合は締固め試験などによって定めなければならない。なお、地下水位以下にある土の単位体積重量は、 9kN/m^3 を差し引いた値とする。

4.2 周面支持力度

粘性土の場合の周面支持力度 f_i は次式による。

$$f_i = c_i = \frac{1}{2} q_{ui} \dots\dots\dots (4.2.1)$$

c_i : i 番目土層の粘着力 (kN/m²)
 f_i : i 番目土層の周面支持力度 (粘性土は粘着力 c 、砂質土は $2N$) (kN/m²)
 q_{ui} : i 番目土層の一軸圧縮試験の圧縮強度 (kN/m²)

ポータブルコーン貫入試験の場合は $f_i = \frac{1}{10} q_{ci} \dots\dots\dots (4.2.2)$

電気式静的コーン試験の場合は $f_i = \frac{1}{10} q_{ci} \dots\dots\dots (4.2.3)$

オランダ式二重管コーン貫入試験の場合は $f_i = \frac{1}{10} \sim \frac{1}{17} q_{ci} \dots\dots\dots (4.2.4)$

f_i : i 番目土層のコーン指数 (kN/m²)

砂質土の場合の周面支持力度 f_i は次式による。

$$f_i = 2N \dots\dots\dots (4.2.5)$$

N : 標準貫入試験の N 値 (回)

【解説】

粘性土地盤に対しては、できるだけ貫入試験など原位置試験を行い、設計に用いる粘着力や粘性土層厚さなどを決定することが望ましい。

また、設計箇所近傍の既往土質調査等データをできるだけ入手し、原位置試験データと合わせて総合的に粘着力を判断することが望ましい。

標準貫入試験による N 値しかデータがない場合、粘性土地盤の粘着力の目安として式 (4.2.6) による値を用いても良い。

また N 値等のデータも無い場合、粘性土地盤の粘着力の最低値として式 (4.2.7) による値を用いても良い。しかし、この値を用いると不経済な設計になることが考えられる。

$$c = \frac{1}{2} q_u = \frac{1}{2} \cdot 12.5N = 6.25N \dots\dots\dots (4.2.6)$$

$$c = c_u / p \cdot \gamma \cdot Z = \frac{1}{3} \gamma \cdot Z \dots\dots\dots (4.2.7)$$

ここに、

c : 粘性土地盤の粘着力 (kN/m²)

q_u : 粘性土地盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

N : 標準貫入試験による N 値 (回)

p : 有効土被り圧 (kN/m²)

c_u/p : 強度増加率で 1/3 とする。

γ : 土の単位体積重量で、18kN/m³ とする。

なお、地下水位以下にある土の単位体積重量は 9 kN/m³ とする。

Z : 地表面からの深さ (m)

4.3 変形係数

変形係数 E_0 を求めるには、表-4.3.1に示す4つの方法がある。

表-4.3.1 変形係数の推定方法¹⁾

変形係数 E_0 の推定方法
直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の繰り返し曲線から求めた変形係数の1/2
孔内水平載荷試験で測定した変形係数
供試体の一軸または三軸圧縮試験から求めた変形係数
標準貫入試験の N 値より $E_0=28N$ で推定した変形係数

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編IV下部構造編，2012.

第5章

ボックスカルバートの設計方法

第5章 ボックスカルバートの設計方法

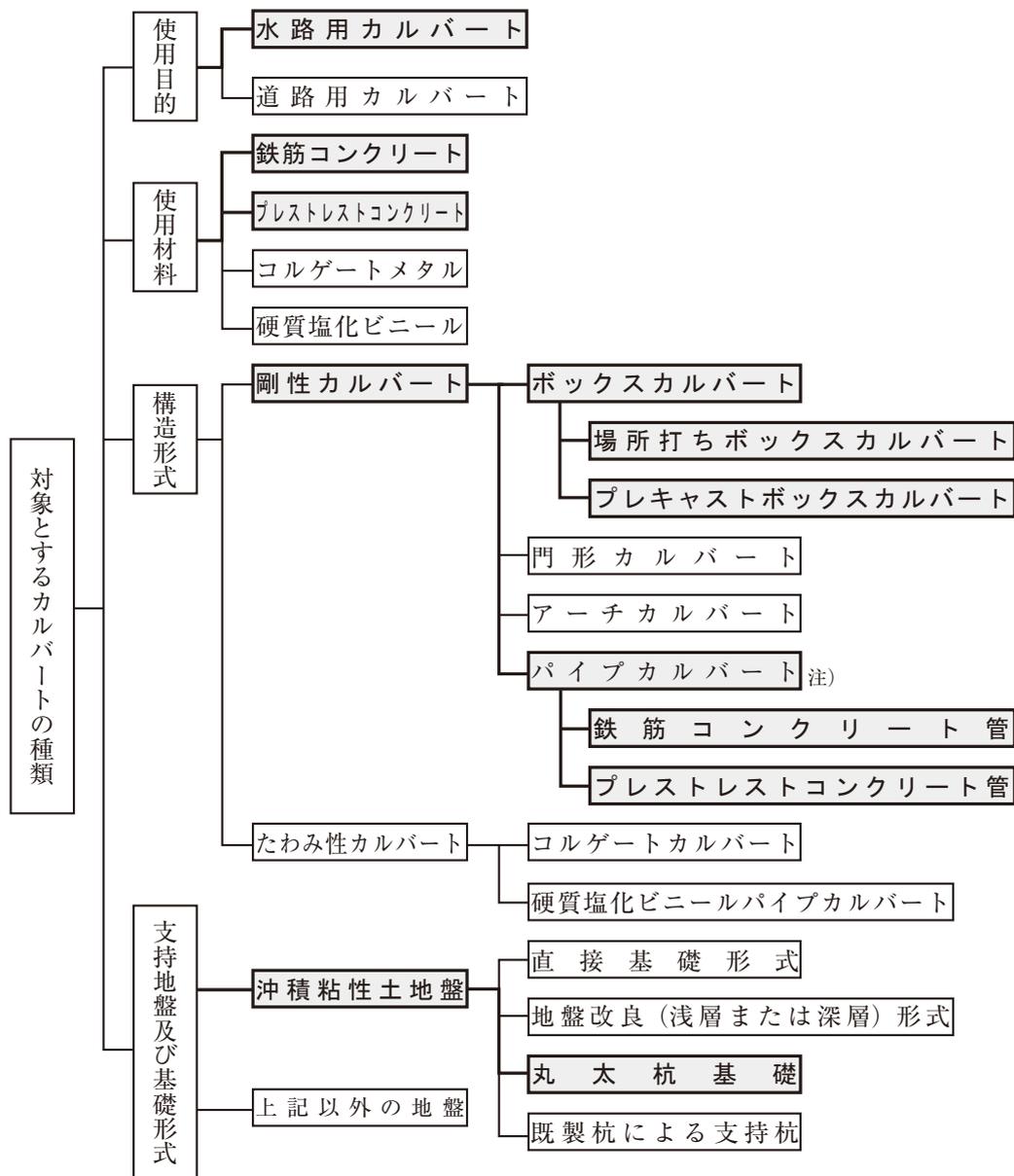
5.1 丸太杭基礎の選定と支持機構

5.1.1 対象とするカルバートの種類

本マニュアルで対象とするカルバートの種類は、水路用のボックスカルバートおよびパイプカルバートとする。

【解説】

対象とするカルバートの種類は、下表の四角（太い実線）で囲んだものとする（ボックスカルバートの内空寸法は1m×1m程度以上で3m×3m程度までを対象）。



注) 360° コンクリート基礎に適用できる¹⁾

図-5.1.1 対象とするカルバートの種類²⁾一部加筆

5.1.2 丸太杭基礎の選定フロー

丸太杭基礎は、沖積粘性土地盤において、作用外力が基礎地盤の許容支持力を上回る場合に適用する。

【解説】

図-5.1.2に基礎選定フローを示す。

なお、支持層以深に沈下層が存在する場合は、7.5 盛土の沈下の検討に従い圧密沈下の検討を行う。

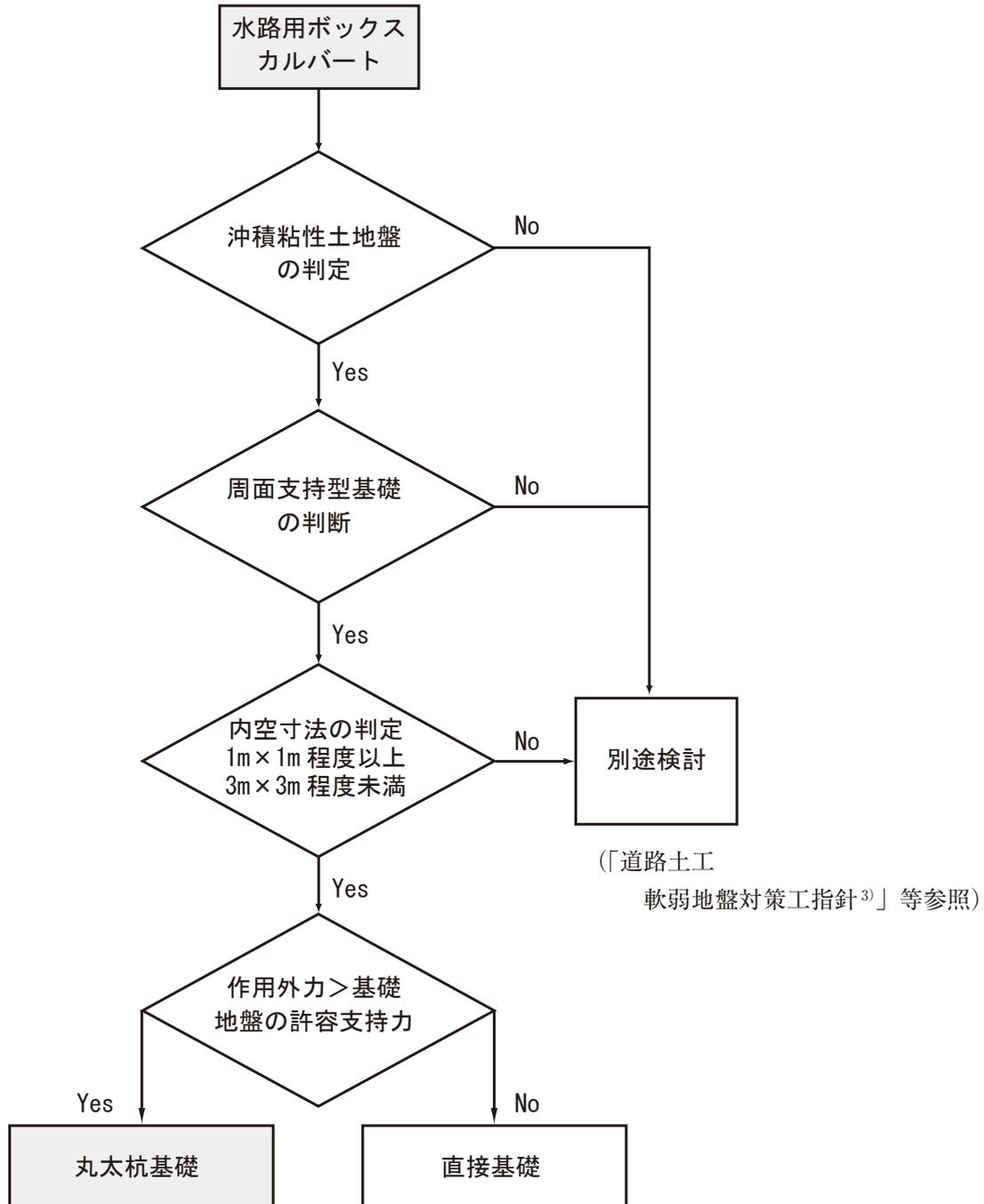


図-5.1.2 基礎選定フロー²⁾

5.1.3 丸太杭基礎の支持機構

5.1.3.1 丸太杭基礎の支持力の考え方

- (1) 丸太杭の明確な先端支持層がある場合には、一般的な杭の設計方法に従って、杭の摩擦抵抗と先端支持力を合せて丸太杭の支持力とする。この場合では、底盤の支持力は考慮しない。設計方法は、「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」に従う。
- (2) 丸太杭の先端支持層がない場合には、摩擦杭としての丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法を用いる。

【解説】

杭の鉛直支持抵抗は、摩擦抵抗、先端支持抵抗、底盤支持抵抗の順で発揮されると考えられる。後述する丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法では、摩擦抵抗が先に発揮された後、底盤の支持力が発揮されることで、変形の関係から見て摩擦杭に適用することが妥当な設計法と判断される。

杭の先端支持力を考慮する場合、先端支持力は小さな沈下で発揮されることから、安全率で先端支持力を割った小さな沈下の段階で、底盤支持力を考慮することに疑問が残る。このため、先端支持力を考慮する場合は、底盤支持力を考慮せず、一般的な杭の設計方法に従って、杭の摩擦抵抗と先端支持力を合せて木杭の支持力とする。先端支持力を考慮する場合の設計は、「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」に従って行う。

杭の先端支持力を考慮しない場合の設計方法は、以下に述べる丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法を用いる。丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法は、「佐賀県県土づくり本部・(財)佐賀県土木建築技術協会・(社)佐賀県県土づくりコンサルタント協会：水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎～設計マニュアル～(改訂版)、2009」²⁾による方法である。

5.1.3.2 丸太杭－底盤系基礎の支持力の考え方

丸太杭－底盤系基礎の支持力計算では、簡便的に丸太杭周面支持力と底盤支持力がそれぞれに極限支持力を発揮しているものと考え、それぞれの極限支持力を重ね合わせて求めるものとする。

【解説】

丸太杭の周面支持力ならびに底盤支持力の現れ方は、地盤の変位によって大きく異なる。図-5.1.3は、変位に伴う底盤地盤支持力と丸太杭の周面支持力の発現の様子を模式的に示したものである²⁾。同図に示すように、底盤の支持力は一般に地盤の変位に伴って大きくなり丸太杭の周面支持は比較的小さな変位の間にピークに達し一定値を保つ特性を有している。これに対し、丸太杭－底盤系基礎は底盤基礎と丸太杭基礎それぞれの支持力を重ね合わせた支持力にはほぼ等しいものとなっている。

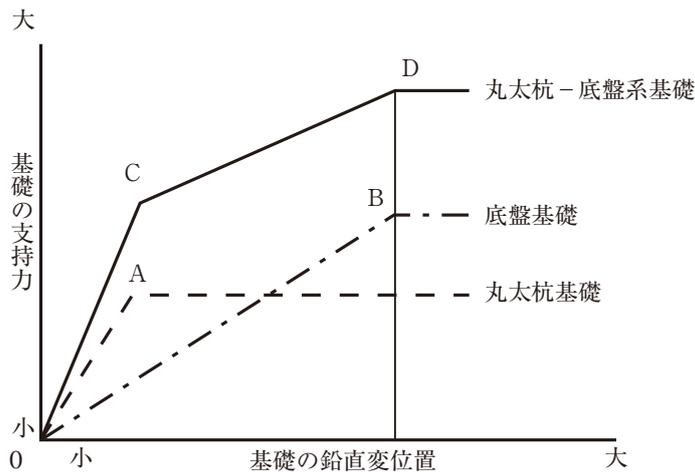


図-5.1.3 丸太杭-底盤系基礎の支持力発現の模式図²⁾

5.1.3.3 丸太杭-底盤系基礎の支持力計算

丸太杭-底盤系基礎の計算は、底盤鉛直支持力を計算して、不足支持力を木杭の鉛直周面支持力で補うという手順で行う。

【解説】

丸太杭周面摩擦力計算における安全率は、木杭の特徴であるテーパー効果などを考慮して1.5とする。底盤支持力計算における安全率は3.0を用いる。

計算手順は、外力に対する基礎地盤の支持力不足を木杭の周面摩擦力により補完すると考え、まず底盤支持力を計算し、不足支持力を丸太杭の周面支持力で補うという手順で行う。また、丸太杭の周面支持力と底盤地盤支持力のそれぞれについて独立の安全率を設定する。

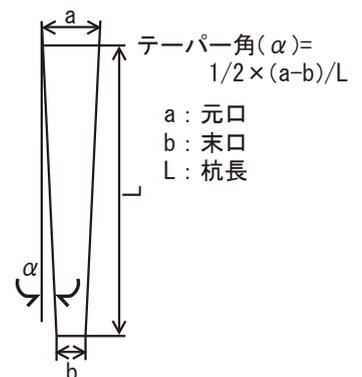
丸太杭を用いたボックスカルバートの設計は、「水路用ボックスカルバートの木杭-底盤系基礎設計マニュアル」の考え方に基づいている。当マニュアルでは、軟弱地盤において木杭の周面摩擦力のみを期待し、木杭の安全率を1.5、底盤の安全率を3とした場合に、木杭と底盤が協働して上部荷重を支持して行くことが検証されている。

注) 丸太杭を粘土地盤に打込んだ直後は、周辺粘土の乱れによる強度低下の影響で支持力は小さい。1週間程度経過するとシキソトロピー現象により粘土地盤の強度はある程度回復する²⁾。シキソトロピーは、粘土を乱した時に強度が一時的に低下し、時間と共に強度回復する現象をいう。丸太杭周面支持力は粘土地盤の強度が回復した後の値とする。

丸太杭はテーパー※を有しており、

- 1) テーパーにより、周辺地盤を締め固める効果があるものとされている
- 2) 木材の吸水作用により地盤の密着性に優れているものとされている
- 3) 丸太杭の設計では、末口に基づいて周面摩擦力を算出しており、末口の周面積に比べて実周面積は大きいことから、周面摩擦力は安全側に働く

※丸太杭のテーパー 木杭の元口(a)と末口(b)の口径差のこと。テーパー角で度合いをあらわす。(右図参照)



5.2 基礎の設計

5.2.1 設計の基本

- (1) 丸太杭の先端支持力を考慮する場合の設計方法は、「道路橋示方書IV下部構造編」に従う。
- (2) 丸太杭の先端支持力を考慮しない丸太杭-底盤系基礎支持力は、下記のフローにより検討する。

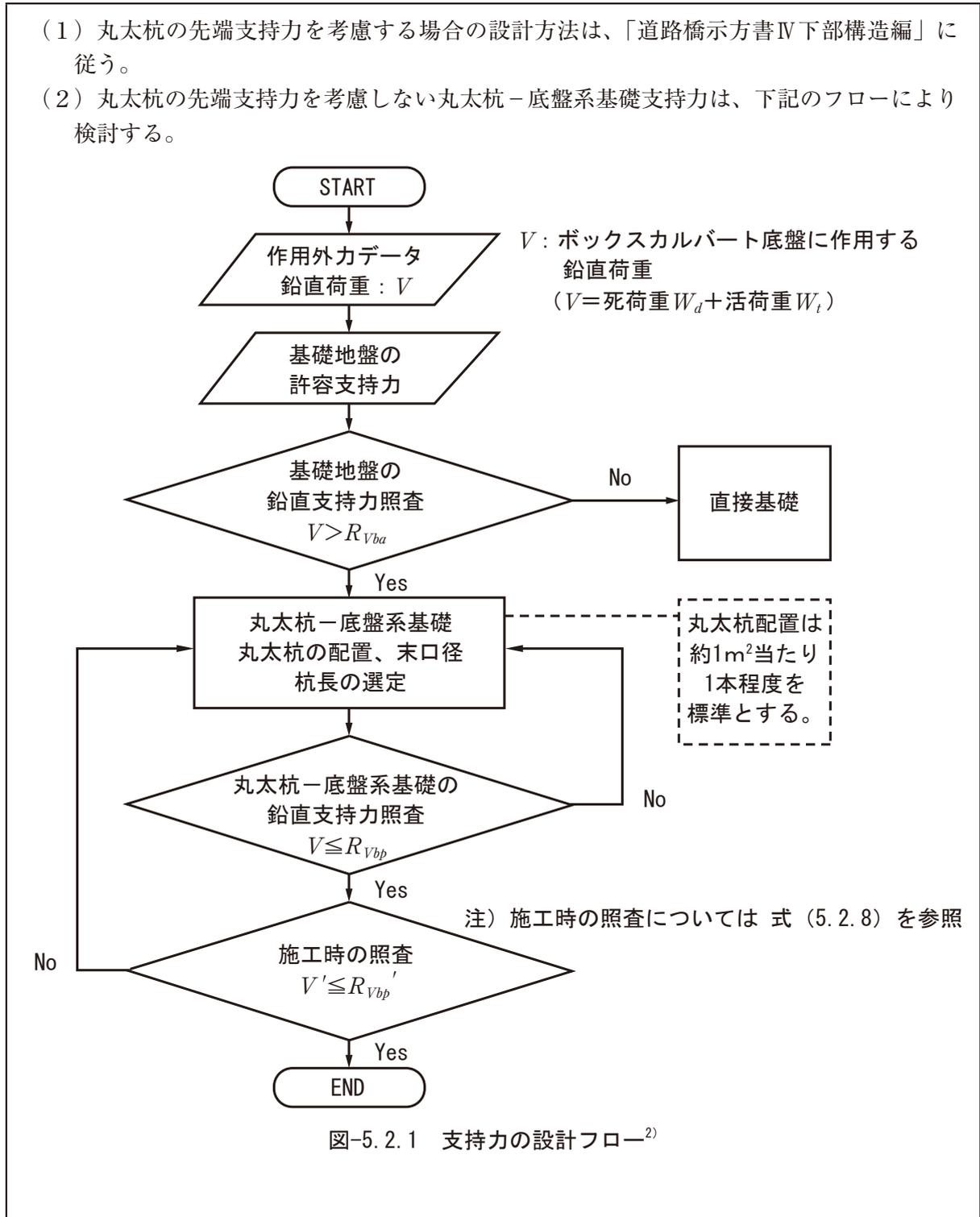


図-5.2.1 支持力の設計フロー²⁾

5.2.2 丸太杭－底盤系基礎の設計

5.2.2.1 丸太杭－底盤系基礎の支持力概念

丸太杭－底盤系基礎の計算は、底盤支持力を計算して、不足支持力を丸太杭の周面支持力で補うという手順で行う。

丸太杭－底盤系基礎におけるボックスカルバートの底盤下面に作用する鉛直荷重に対し、基礎地盤の支持力と木杭周面支持力の両方で支持する。このため、基礎の支持力に関しては式 (5.2.1) ～式 (5.2.4) を満足する丸太杭配置が必要である。

$$V \leq R_{Vbp} \quad \dots\dots\dots (5.2.1)$$

$$R_{Vbp} = R_{Vba} + R_{Vpa} \quad \dots\dots\dots (5.2.2)$$

$$R_{Vba} = \frac{R_{Vbu}}{F_{Vb}} \quad \dots\dots\dots (5.2.3)$$

$$R_{Vpa} = \frac{R_{Vpui}}{F_{Vp}} \cdot n_p \quad \dots\dots\dots (5.2.4)$$

- V : 基礎コンクリート底面に作用するボックスカルバート1基当たりの鉛直荷重 (kN)
- R_{Vbp} : 丸太杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力 (kN)
- R_{Vba} : 荷重の偏心を考慮しない基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)
 “5.2.3丸太杭－底盤系基礎における底盤基礎地盤の鉛直支持力算定”を参照
- R_{Vbu} : 荷重の偏心を考慮しない基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN)
 “5.2.3丸太杭－底盤系基礎における底盤基礎地盤の鉛直支持力算定”を参照
- F_{Vb} : 基礎地盤の鉛直支持力に関する安全率 (=3)
- R_{Vpa} : 丸太杭の許容鉛直周面支持力 (kN)
 “5.2.4丸太杭－底盤系基礎における丸太杭の鉛直周面支持力算定”を参照
- R_{Vpui} : 丸太杭1本の極限鉛直周面支持力 (kN)
- F_{Vp} : 丸太杭の鉛直周面支持力に関する安全率 (=1.5)
- n_p : 丸太杭の総本数 (本)
- B_e : ボックスカルバート底盤幅の有効載荷幅 (m)
 $B_e = B - 2e_B = B$
- B : ボックスカルバート底盤幅 (m)

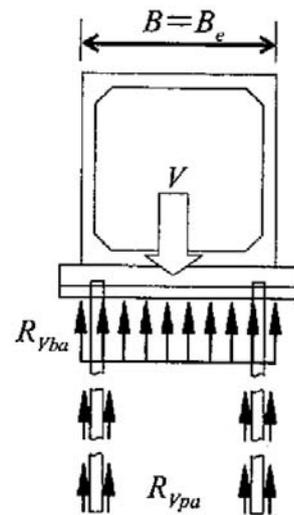


図-5.2.2 丸太杭－底盤系基礎による支持力の概念図²⁾

5.2.2.2 丸太杭－底盤系基礎の設計手順

丸太杭－底盤系基礎の設計手順を以下に示す。

丸太杭に作用する鉛直荷重は、次式で求める。

$$V_p = V - R_{Vba} \quad \dots\dots\dots (5.2.5)$$

$$V_p < n_p \cdot R_{Vpai} \quad \dots\dots\dots (5.2.6)$$

$$R_{Vpai} = \frac{R_{Vpui}}{F_{Vp}} \quad \dots\dots\dots (5.2.7)$$

V_p : 丸太杭に作用する鉛直荷重 (kN)

V : 基礎底面に作用するボックスカルバート1基当たりの鉛直荷重 (kN)

R_{Vba} : 基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)

n_p : 丸太杭の総本数 (本)

R_{Vpai} : 丸太杭1本の許容鉛直周面支持力 (kN)

R_{Vpui} : 丸太杭1本の極限鉛直周面支持力 (kN)

F_{Vp} : 丸太杭の鉛直周面支持力に関する安全率 (=1.5)

施工時の安全性は次式によって照査する。

$$V' \leq R_{Vbp}' \quad \dots\dots\dots (5.2.8)$$

$$V' \leq \frac{R_{Vbu}'}{F_{Vb}'} + \frac{n_p \cdot R_{Vpui}}{F_{Vp}'} \quad \dots\dots\dots (5.2.9)$$

V' : ボックスカルバート施工時に基礎コンクリート底面に作用する鉛直荷重 (kN)

$$V' = W_{d1} + W_{d2}$$

W_{d1} : ボックスカルバート自重 (kN)

W_{d2} : 基礎コンクリート自重 (kN)

R_{Vbp}' : 施工時における丸太杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力 (kN)

R_{Vbu}' : 施工時における基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN) (Df は考慮しない)

F_{Vb}' : 施工時における基礎地盤の鉛直支持力に関する安全率 (=2)

n_p : 丸太杭の総本数 (本)

R_{Vpui} : 丸太杭1本の極限鉛直周面支持力 (kN)

F_{Vp}' : 施工時における丸太杭の鉛直周面支持力に関する安全率 (=1.0)

5.2.2.3 丸太杭の配置

丸太杭の配置は原則1m²当たり1本程度とする。

【解説】

丸太杭の配置は、杭打設時の隣接杭への影響や施工実績における経験から、原則1m²当たり1本程度とする。杭の中心間隔は元口径 ϕ_0 の2.5倍以上とする。元口径が不明な場合は、経験的に丸太杭の長さが1m長くなるごとに末口よりも元口は1.5cm大きくなると考えられる。よって、これを目安とし、材料調達時に再度検討することとする。

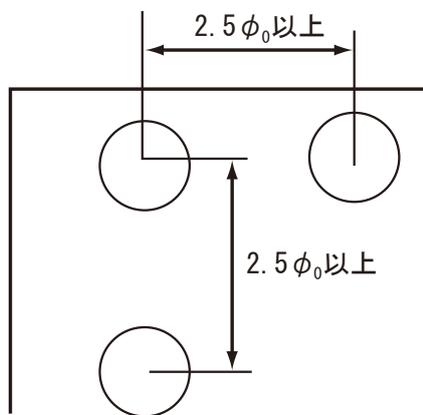


図-5.2.3 杭の最小中心間隔

5.2.3 丸太杭－底盤系基礎における底盤基礎地盤の鉛直支持力算定

底盤基礎地盤の支持力計算では下記の3種類の算定基準を、上部構造物の種類に応じて用いる。

- 5.2.3.1 道路橋示方書（道路用擁壁）
- 5.2.3.2 土地改良事業計画設計基準（農道用擁壁）
- 5.2.3.3 建築基礎構造設計指針（宅地造成用擁壁）

【解説】

5.2.3.1 道路橋示方書による基礎地盤の鉛直支持力計算⁴⁾

$$R_{Vbu} = A_e \cdot (a \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \dots\dots\dots (5.2.10)$$

『道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編』⁴⁾を準用

R_{Vbu} ：荷重の偏心傾斜、支持力係数の寸法効果を考慮した基礎地盤の極限鉛直支持力（kN）

A_e ：有効載荷面積（ m^2 ） $A_e = B_e \cdot L$

L ：ボックスカルバート1基当たりの延長（m）

c ：基礎底面下地盤の粘着力（丸太杭根入れ部分の平均粘着力）（ kN/m^2 ）

q ：底盤地盤に作用する上載荷重（ kN/m^2 ）

γ_1 ：基礎底面下地盤の単位体積重量（ kN/m^3 ）

地下水位以下にある場合は水中単位体積重量

γ_2 ：基礎底面より上方地盤の単位体積重量（ kN/m^3 ）

地下水位以下にある場合は水中単位体積重量

B_e ：ボックスカルバート底盤幅の有効載荷幅（m） $B_e = B - 2e_B = B$

B ：ボックスカルバート底盤幅（m）

e_B ：ボックスカルバート底盤幅中心から外力作用位置までの偏心量（m）

D_f ：基礎の有効根入れ深さ（m）（図-5.2.4、図-5.2.5参照）

α, β ：形状係数（表-5.2.1参照）

表-5.2.1 形状係数

基礎荷重面の形状	長方形
α	$1+0.3 (B_e/L_e)$
β	$1-0.4 (B_e/L_e)$

κ ：根入れ効果に関する割増し係数 $\kappa = 1 + 0.3 \frac{D_f'}{B_e}$

D_f' ：良質地盤への根入れ深さ（m）

本設計マニュアルでは底盤支持力を考慮しているため、根入れ部の地盤は支持地盤と同程度の地盤とし $D_f' = D_f$ とする。

N_c, N_q, N_γ : 支持力係数 (図5.2.6、図5.2.7、図5.2.8参照)

S_c, S_q, S_γ : 寸法効果に関する補正係数

$$S_c = (c^*)^\lambda \qquad S_q = (q^*)^\nu \qquad S_\gamma = (B^*)^\mu$$

$$c^* = \frac{c}{c_0} \qquad q^* = \frac{q}{q_0} \qquad B^* = \frac{Be}{B_0}$$

ただし、 $1 \leq q^* \leq 1.0$ $1 \leq c^* \leq 1.0$ $1 \leq B^* \leq 1.0$

λ, ν, μ : 寸法効果の程度を表す係数で $\lambda = \nu = \mu = -\frac{1}{3}$ としよ。

c_0 : 10 (kN/m²)

q_0 : 10 (kN/m²)

B_0 : 1.0 (m)

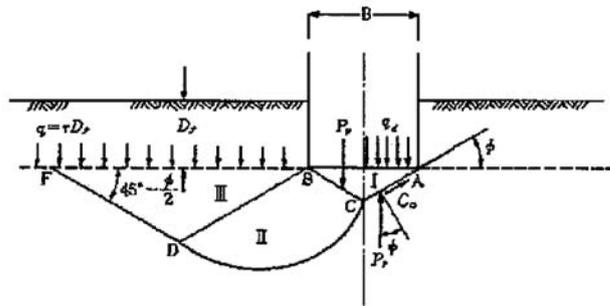


図-5.2.4 連続フーチング下の地盤における塑性平衡状態と根入れ効果の説明図
(粗い底面で土被りがあるとき、テルツァギーの方法)

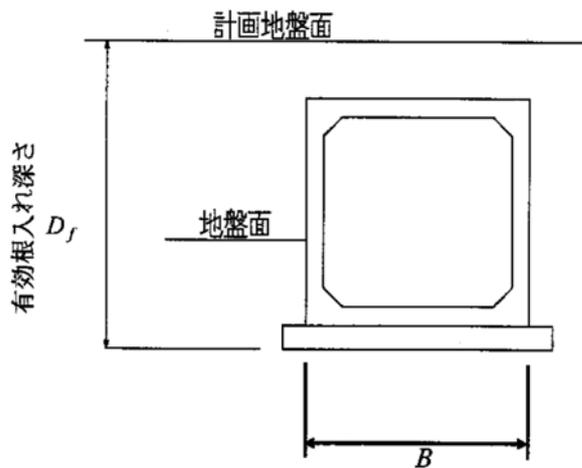


図-5.2.5 基礎の有効根入れ深さの説明図

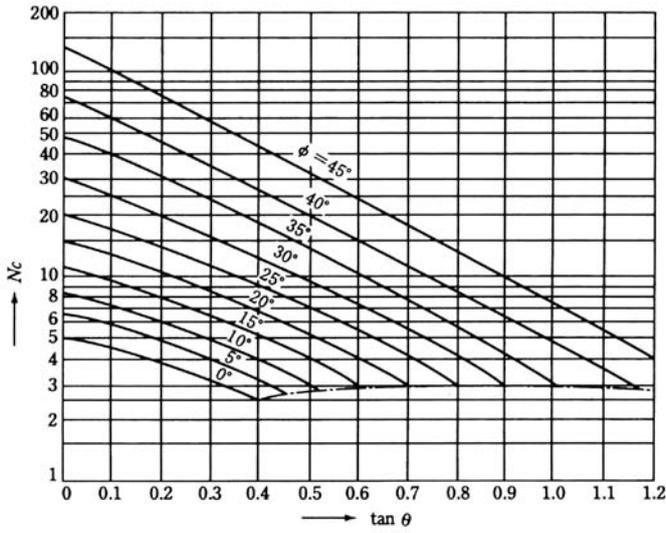


図-5.2.6 支持力係数 N_c を求めるグラフ

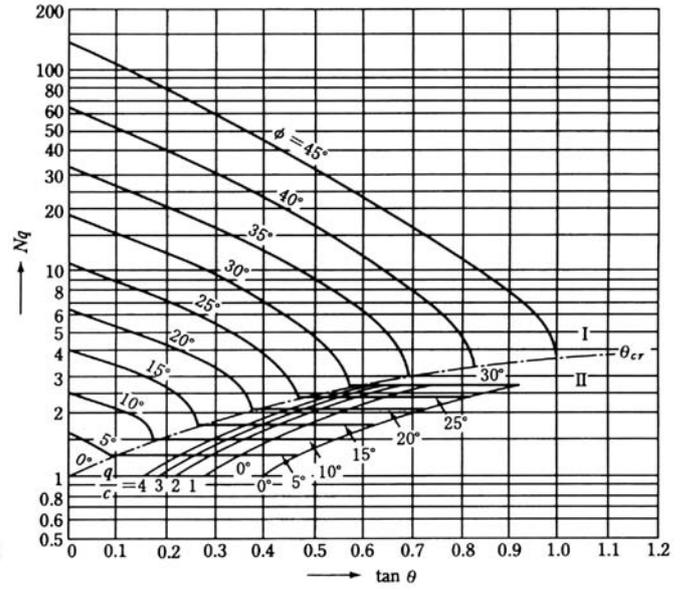


図-5.2.7 支持力係数 N_q を求めるグラフ

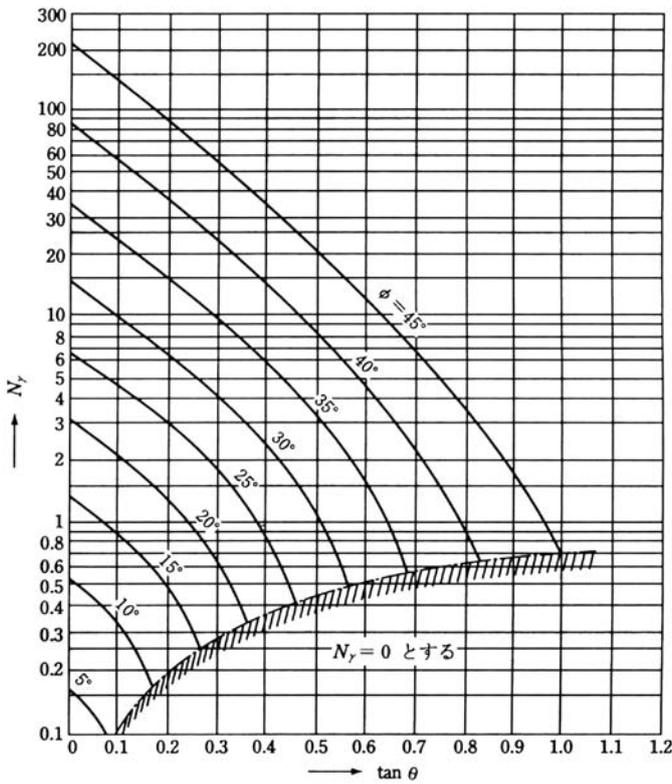


図-5.2.8 支持力係数 N_y を求めるグラフ

$$\tan \theta = \frac{H}{V}$$

ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

5.2.3.2 土地改良事業計画設計基準による基礎地盤の鉛直支持力⁵⁾

『土地改良事業計画設計基準 設計（農道）』（平成17年3月）の“第9章付帯構造物の設計 9.1 擁壁”の基礎地盤の支持力に対する検討では、基礎地盤の長期許容支持力度によることになっている。

本マニュアルの丸太杭－底盤系基礎においては、支持力度ではなく支持力で検討を行うこととしていることから、同基準の許容支持力度算定式に擁壁底盤の面積を掛けたものを基礎地盤の許容鉛直支持力とした。

$$q_{Vb} = \frac{1}{3} (a \cdot c \cdot N_c + \frac{1}{2} \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \quad \dots\dots\dots (5.2.11)$$

『土地改良事業計画設計基準 設計（農道）⁵⁾』を準用
 $R_{Vba} = q_{Vb} \cdot A_e \quad \dots\dots\dots (5.2.12)$

ここに、

- q_{Vba} : 基礎地盤の許容鉛直支持力度 (kN/m²)
- R_{Vba} : 基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)
- A_e : 有効載荷面積 (m²) $A_e = B_e \cdot L$
- L : ボックスカルバート1基当たりの延長 (m)
- c : 基礎底面下地盤の粘着力 (木杭根入れ部分の平均粘着力) (kN/m²)
- γ_1 : 基礎底面下地盤の単位体積重量 (kN/m³)
 地下水位以下にある場合は水中単位体積重量
- γ_2 : 基礎底面より上方地盤の単位体積重量 (kN/m³)
 地下水位以下にある場合は水中単位体積重量
- B : ボックスカルバート底盤幅 (m)
- B_e : ボックスカルバート底盤幅の有効載荷幅 (m) $B_e = B - 2e_B = B$
- e_B : ボックスカルバート底盤幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)
- D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)
- α, β : 形状係数 (表-5.2.2参照)
- N_c, N_q, N_γ : 支持力係数 (表-5.2.3参照)

表-5.2.2 形状係数

基礎荷重面の形状	長方形
α	1+0.3 (B/L)
β	0.5-0.1 (B/L)

表-5.2.3 支持力係数

荷重傾斜 $\theta (^{\circ})$		せん断抵抗角 $\phi (^{\circ})$								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	N_y	0.0	0.2	0.6	1.4	3.2	6.9	15.3	35.2	86.5
	N_q	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	18.4	33.3	64.2
	N_c	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	30.1	46.1	75.2
5	N_y		0.1	0.4	1.0	2.3	5.0	11.1	24.4	61.4
	N_q		1.2	2.2	3.4	5.6	9.2	15.6	27.9	52.7
	N_c		5.8	7.4	9.7	12.6	17.9	25.6	38.6	62.1
10	N_y		—	0.2	0.6	1.5	3.4	7.5	17.4	41.8
	N_q		—	1.5	2.8	4.7	7.7	12.9	22.8	42.4
	N_c		5.1	6.4	8.3	11.0	15.1	21.3	31.7	49.8
15	N_y		—	—	0.3	0.9	2.2	7.9	11.3	27.6
	N_q		—	—	1.7	3.6	6.1	10.4	18.1	33.3
	N_c		4.3	5.4	6.9	9.1	12.4	17.4	25.4	39.3
20	N_y		—	—	—	0.3	1.2	2.9	6.9	16.4
	N_q		—	—	—	2.1	4.6	8.0	13.9	25.4
	N_c		3.4	4.4	5.6	7.4	9.9	13.8	19.9	30.3
25	N_y			—	—	—	0.4	1.5	3.9	9.6
	N_q			—	—	—	2.4	5.7	10.2	18.7
	N_c			3.4	4.4	5.7	7.7	10.6	15.1	22.7
30	N_y				—	—	—	0.4	1.8	5.0
	N_q				—	—	—	2.8	6.9	13.1
	N_c				3.2	4.2	5.7	7.8	11.2	16.5
35	N_y						—	—	0.5	2.2
	N_q						—	—	3.1	8.4
	N_c						4.0	5.6	7.9	11.6
40	N_y							—	—	0.5
	N_q							—	—	3.4
	N_c							3.7	5.3	7.8
45	N_y								—	—
	N_q								—	—
	N_c								3.3	4.9

5.2.3.3 建築基礎構造設計指針による基礎地盤の鉛直支持力⁶⁾

$$q_u \cdot A_e = (i_c \cdot a \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \cdot A_e \quad \dots\dots\dots (5.2.13)$$

『建築基礎構造設計指針⁶⁾』を準用

$$R_{Vbu} = q_u \cdot A_e \quad \dots\dots\dots (5.2.14)$$

ここに、

R_{Vbu} : 基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN)

q_u : 基礎地盤の極限鉛直支持力度 (kN/m²)

A_e : 有効載荷面積 (m²) $A_e = B_e \cdot L$

a, β : 形状係数 (表-5.2.4参照)

c : 基礎底面下地盤の粘着力 (丸太杭根入れ部分の平均粘着力) (kN/m²)

γ_1 : 基礎底面下地盤の単位体積重量 (kN/m³)

γ_2 : 基礎底面より上方地盤の単位体積重量 (kN/m³)

(γ_1, γ_2 は、地下水位以下の場合には水中単位体積重量)

N_c, N_q, N_γ : 支持力係数 (表-5.2.5参照)

η : 基礎の寸法効果に関する補正係数

i_c, i_q, i_γ : 荷重の傾斜に関する補正係数

L : ボックスカルバート1基当たりの延長 (m)

B : ボックスカルバート底盤幅 (m)

e_B : ボックスカルバート底盤幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)

B_e : ボックスカルバート底盤幅の有効載荷幅 (m) $B_e = B - 2e_B = B$

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

表-5.2.4 形状係数

基礎荷重面の形状	長方形
α	1.0+0.2 (B/L)
β	0.5-0.2 (B/L)

表-5.2.5 支持力係数

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0°	5.1	1.0	0.0
5°	6.5	1.6	0.1
10°	8.3	2.5	0.4
15°	11.0	3.9	1.1
20°	14.8	6.4	2.9
25°	20.7	10.7	6.8
28°	25.8	14.7	11.2
30°	30.1	18.4	15.7
32°	35.5	23.2	22.0
34°	42.2	29.4	31.1
36°	50.6	37.8	44.4
38°	61.4	48.9	64.1
40°以上	75.3	64.2	93.7

5.2.4 丸太杭—底盤系基礎における丸太杭の鉛直周面支持力算定

丸太1本の許容鉛直周面支持力の算定は次式による。

$$R_{V_{pai}} = \frac{R_{V_{pui}}}{F_{V_p}} \quad \dots\dots\dots (5.2.7)$$

$$R_{V_{pui}} = U \cdot \sum_{i=1}^{n_e} (f_i \cdot L_i) \quad \dots\dots\dots (5.2.15)$$

$$= \pi \cdot \phi_e \cdot (f_1 \cdot L_1 + f_2 \cdot L_2 + \dots + f_{ne} \cdot L_{ne})$$

$R_{V_{pai}}$: 丸太杭1本の許容鉛直周面支持力 (kN)

$R_{V_{pui}}$: 丸太杭1本の極限鉛直周面支持力 (kN)

U : 丸太杭周長 (末口) $\pi \cdot \phi_e$ (m)

ϕ_e : 丸太杭の末口径 (m)

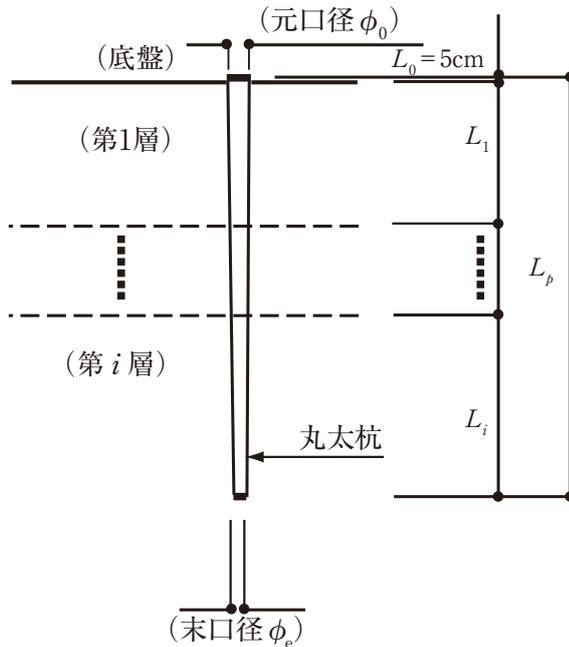
f_i : i 番目土層の周面摩擦力度 (粘性土は粘着力 c 、砂質土は $2N$) (kN/m²)

各粘土層の粘着力は平均値とする (N は標準貫入試験での N 値を示す)。

L_p : 丸太杭長さ (m)

L_i : i 番目土層の層厚 (m)

F_{V_p} : 丸太杭の鉛直周面支持力に関する安全率 (=1.5)



注) 丸太杭1本の許容鉛直周面支持力の計算に用いる丸太杭長さは丸太杭先端の先研ぎ部も含める。

$$\text{丸太杭長さ} = L_p - L_0$$

L_0 : 基礎コンクリートへの根入れ長

図-5.2.9 丸太杭の鉛直周面支持力の算定²⁾

5.2.5 荷重の考え方

5.2.5.1 荷重の種類

ボックスカルバートの設計で考慮する荷重の種類は以下のとおりである。

表-5.2.6 荷重の種類（水路用ボックスカルバート）²⁾

項 目		ボックスカルバート 基礎の計算
死荷重 W_d	ボックスカルバート自重 W_{d1}	○
	基礎コンクリート自重 W_{d2}	○
	ボックスカルバート内の水重 W_{d4}	△
土圧	鉛直土圧（上載荷重） W_{d3}	○ _{注1}
	水平土圧	△ _{注2}
活荷重 W_t	ボックスカルバート上の活荷重 W_1	○
	活荷重による側圧 W_{th}	×
衝 撃 係 数 i		×
水 圧		×
浮 力		×

○：必ず考慮する荷重（道路用ボックスカルバートは別途検討）

△：その荷重による影響が特にある場合を除いて、一般には考慮する必要のない荷重

×：考慮する必要のない荷重

注1）鉛直土圧は「道路土工 カルバート工指針¹⁾」のp.45を参照する。

注2）斜角、偏土圧が考えられる場合に考慮する。

5.2.5.2 死荷重

ボックスカルバート自重 W_{d1} については、プレキャストボックスカルバートを使用する場合は、当該製品の自重と製品断面積と鉄筋コンクリート単位重量から求めた重量とを比較して大きい方を用いる。

【解説】

ボックスカルバート内の水重 W_{d4} は特別な場合を除いて考慮しないものとする。これは対象とする水路用ボックスカルバートの多くは地下水位の高い低平地において施工することによる。

5.2.5.3 鉛直土圧

鉛直土圧は土被り厚さに単位体積重量を乗じて求める。

【解説】

本マニュアルで対象とするボックスカルバートは一般に土被り厚さが薄いこと、ならびに変位許容型のフローティング基礎形式であることを考慮して、鉛直土圧は土被り厚さに単位体積重量を乗じて求める。ボックスカルバートの縦断方向に土被りが大きく変化する場合には、丸太杭の長さや配列を変えることで対応する。

丸太杭先端を堅固な支持層あるいは中間砂層に着けるときの土被り厚さが比較的厚い場合には、 W_{ds} に対して「道路土工カルバート工指針¹⁾」p.97に示される鉛直土圧係数を考慮に入れることが望ましい。

5.2.5.4 活荷重

ボックスカルバート基礎検討用活荷重としては、「道路土工 カルバート指針」と「道路橋示方書」から以下のとおり定める。

(1) 車道部

T荷重を載荷し、T荷重はボックスカルバート縦断方向には2組を限度とし、3組目からは1/2に低減するものとする。また、丸太杭－底盤系基礎の段差緩和により、活荷重による衝撃は考慮しない。

(2) 歩道部

歩道等には群集荷重として 3.5kN/m^2 を載荷するものとする。

【解説】

以下に、「道路橋示方書・同解説 I 共通編⁴⁾」、「道路土工カルバート工指針¹⁾」からの抜粋を掲載する。

1) 道路土工 カルバート工指針

- ・ p.62 “カルバートの設計に用いる活荷重は道路橋示方書・同解説 I 共通編に示すT荷重を用いる。”

2) 道路橋示方書・同解説 I 共通編

- ・ p.21 “下部構造を設計する場合の上部構造に載荷する活荷重は原則としてp.19の主桁を設計する場合の活荷重とする。”
- ・ p.19 主桁を設計する場合の活荷重のうち“支間長がとくに短い主桁や床版橋は、T荷重L荷重のうち不利な応力を与える荷重とする。”
- ・ p.19 “T荷重は橋軸直角方向には2組を限度とし、3組目からは1/2に低減するものとする。”
- ・ p.20 “歩道等には群集荷重として 3.5kN/m^2 を載荷するものとする。”
- ・ p.29 “下部構造の設計に用いる上部構造反力には、活荷重による衝撃を考慮しない。”

※施工時の切り回し等がある場合は、これを考慮した活荷重の載荷とする。

5.3 基礎設計に関する構造細目

5.3.1 杭頭処理

プレキャスト及び場所打ちボックスカルバートの杭頭処理について、プレキャストの場合、基礎コンクリートに100mm埋込むものとし、場所打ちの場合は、カルバートに50mm以上埋込むものとする。

【解説】

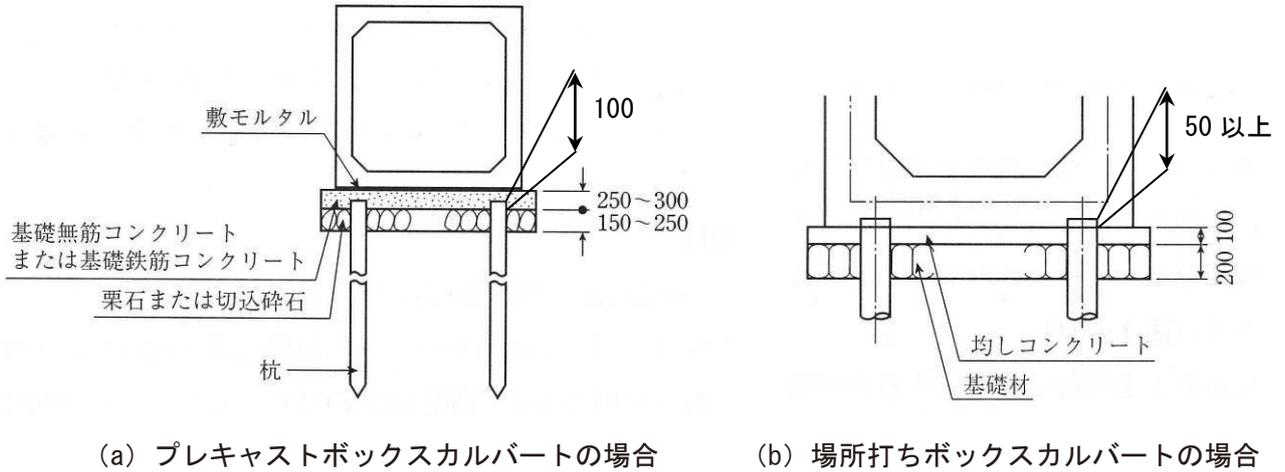


図-5.3.1 杭頭処理の例²⁾一部加筆

5.3.2 丸太杭の配置例

丸太杭の配置例を以下に示す。なお丸太杭はボックスカルバート1個（製品1個当たり）に最小4本配置とする。

【解説】

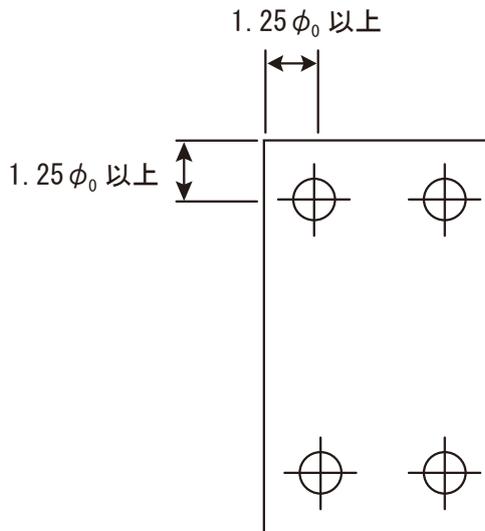


図-5.3.2 ボックスカルバートの丸太杭配置例

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路土工 カルバート工指針, 2010.
- 2) 佐賀県県土づくり本部・(財) 佐賀県土木建築技術協会・(社) 佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会：水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎～設計マニュアル～ (改訂版), 2009.
- 3) (社) 日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針, 2012.
- 4) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編IV下部構造編, 2012.
- 5) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準 設計 (農道), pp.554-555, 2005.
- 6) (社) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.105-111, 2001.

第6章

擁壁の設計方法

第6章 擁壁の設計方法

6.1 丸太杭基礎の選定と支持機構

6.1.1 対象とする擁壁の種類

本マニュアルで対象とする擁壁の種類は、道路用、農道用、宅地造成用のプレキャストL型擁壁、重力式擁壁およびU型擁壁とする。

【解説】

対象とする擁壁の種類は、下表の四角（太い実線）で囲んだものとし、道路用、農道用、宅地造成用については、道路土工 擁壁工指針（2012）¹⁾の解図1-3における擁壁の分類のうち、壁高2m以下の一般的に用いられる構造でかつ丸太杭設置に有効な一定幅の底版を有する、プレキャストL型擁壁、重力式擁壁およびU型擁壁を対象としている。また、基礎工法については、沖積粘性土地盤における「丸太杭基礎」を対象としている。

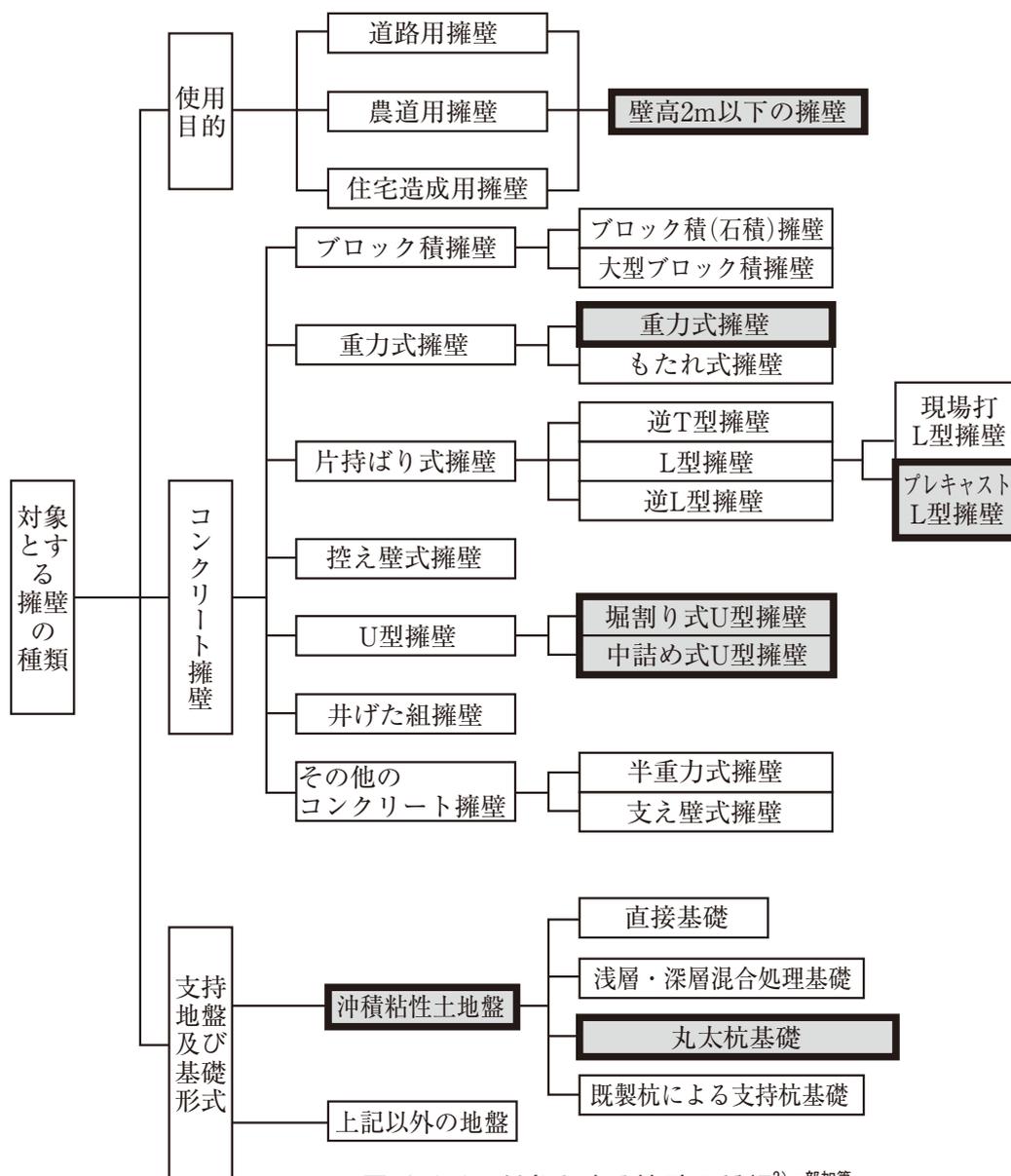


図-6.1.1 対象とする擁壁の種類²⁾一部加筆

6.1.2 丸太杭基礎の選定フロー

丸太杭基礎は、沖積粘性土地盤において、作用外力が基礎地盤の許容支持力を上回る場合に適用する。

【解説】

丸太杭基礎の選定フローを以下に示す。

本設計マニュアルで対象とする擁壁は次の2種類とする。

- ・粘性土地盤における歩道幅員2m以上の歩道に設置の壁高1.2m以下の擁壁（以下、歩道部擁壁という）
- ・上記以外の壁高2m以下の擁壁（以下、一般部擁壁という）

なお、支持層以深に沈下層が存在する場合は、7.5盛土の沈下の検討に従い圧密沈下の検討を行う。

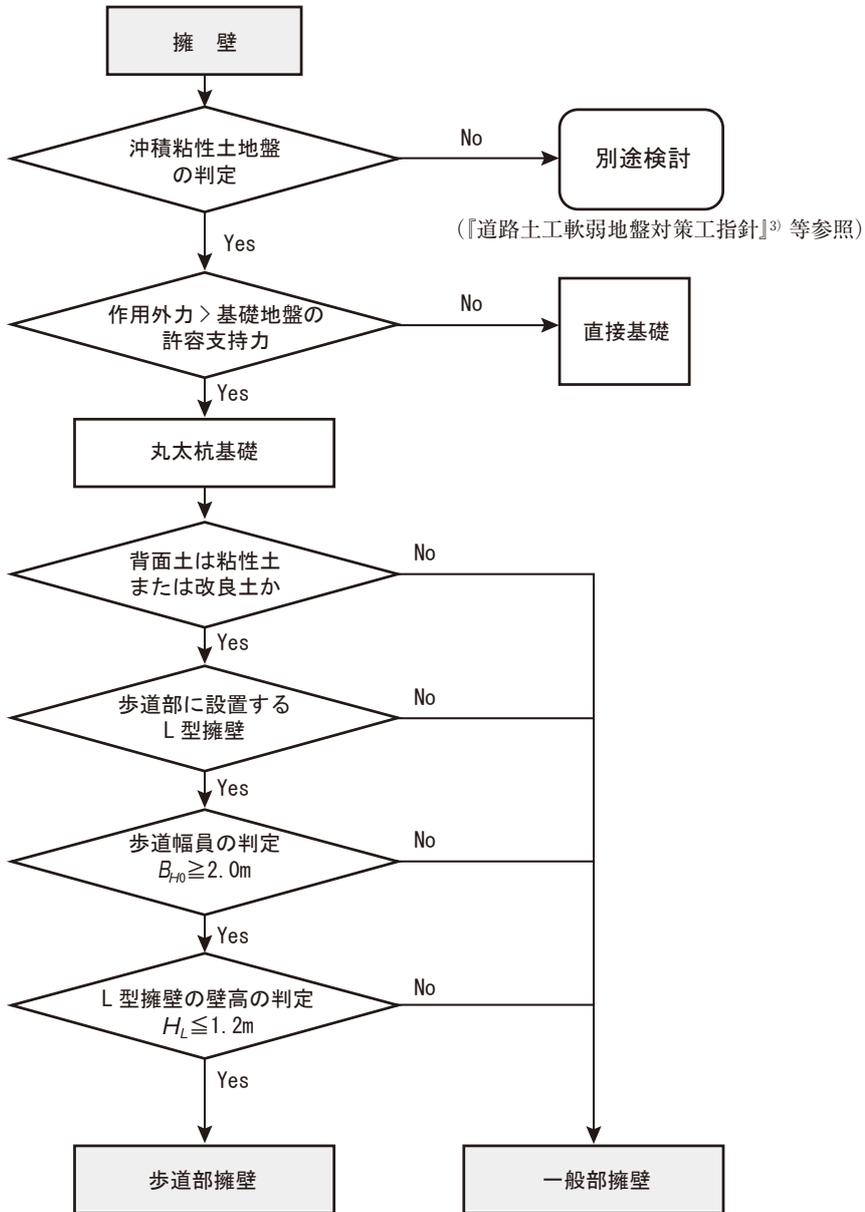


図-6.1.2 対象とする擁壁の種類²⁾一部加筆

6.1.3 丸太杭基礎の支持機構

6.1.3.1 丸太杭基礎の支持力の考え方

- (1) 丸太杭の明確な先端支持層がある場合には、一般的な杭の設計方法に従って、杭の摩擦抵抗と先端支持力を合せて丸太杭の支持力とする。この場合では、底盤の支持力は考慮しない。設計方法は、「道路橋示方書IV下部構造編」に従う。
- (2) 丸太杭の先端支持層がない場合には、摩擦杭としての丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法を用いる。

【解説】

杭の鉛直支持抵抗は、摩擦抵抗、先端支持抵抗、底盤支持抵抗の順で発揮されると考えられる。後述する丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法では、摩擦抵抗が先に発揮された後、底盤の支持力が発揮されることで、変形の関係から見て摩擦杭に適用することが妥当な設計法と判断される。

杭の先端支持力を考慮する場合、先端支持力は小さな沈下で発揮されることから、安全率で先端支持力を割った小さな沈下の段階で、底盤支持力を考慮することに疑問が残る。このため、先端支持力を考慮する場合は、底盤支持力を考慮せず、一般的な杭の設計方法に従って、杭の摩擦抵抗と先端支持力を合せて木杭の支持力とする。先端支持力を考慮する場合の設計は、「道路橋示方書IV下部構造編」に従って行う。

杭の先端支持力を考慮しない場合の設計方法は、以下に述べる丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法を用いる。丸太杭－底盤系基礎の支持力計算方法は、「佐賀県県土づくり本部・(財)佐賀県土木建築技術協会・(社)佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会：プレキャストL型擁壁（H≤2m）の木杭－底盤系基礎～設計マニュアル（第1版）～、2008」による方法である。

6.1.3.2 丸太杭－底盤系基礎の支持力の考え方

第5章 5.1.3.2 と同一である（p.21参照）。

6.1.3.3 丸太杭－底盤系基礎の支持力計算

丸太杭－底盤系基礎の計算は、鉛直力と水平力に対して以下の手順で行う。

- (1) 鉛直力：底盤鉛直支持力を計算して、不足支持力を木杭の鉛直周面支持力で補う。
- (2) 水平力：底盤水平支持力を計算して、不足支持力を木杭の水平抵抗力で補う。

【解説】

鉛直力に対する丸太杭－底盤系基礎の計算は、5.1.3.3と同一である（p.22参照）。

水平力に対する丸太杭－底盤系基礎の計算は、擁壁に採用する水平力と基礎地盤の許容水平支持力の差を丸太杭に作用する水平荷重とし、丸太杭の杭体応力度を照査する方法で行う。

6.2 基礎の設計

6.2.1 設計の基本

- (1) 丸太杭の先端支持力を考慮する場合の設計方法は、「道路橋示方書IV下部構造編」に従う。
- (2) 丸太杭の先端支持力を考慮しない丸太杭－底盤系基礎支持力は、以下の基本事項により検討する。
- 1) 丸太杭－底盤系基礎の照査は底盤支持力の不足支持力を丸太杭の周面支持力で支持させるものとする。
 - 2) 丸太杭－底盤系基礎における鉛直力は、6.2.2.1に規定する丸太杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力以下とする。
 - 3) 丸太杭－底盤系基礎における水平力は、6.2.2.2に規定する丸太杭－底盤系基礎の許容水平支持力以下とする。
 - 4) 擁壁設置時における鉛直力は、6.2.4に規定する丸太杭の許容鉛直周面支持力以下とする。

丸太杭－底盤系基礎の標準的な設計計算フローを図-6.2.1に示す。

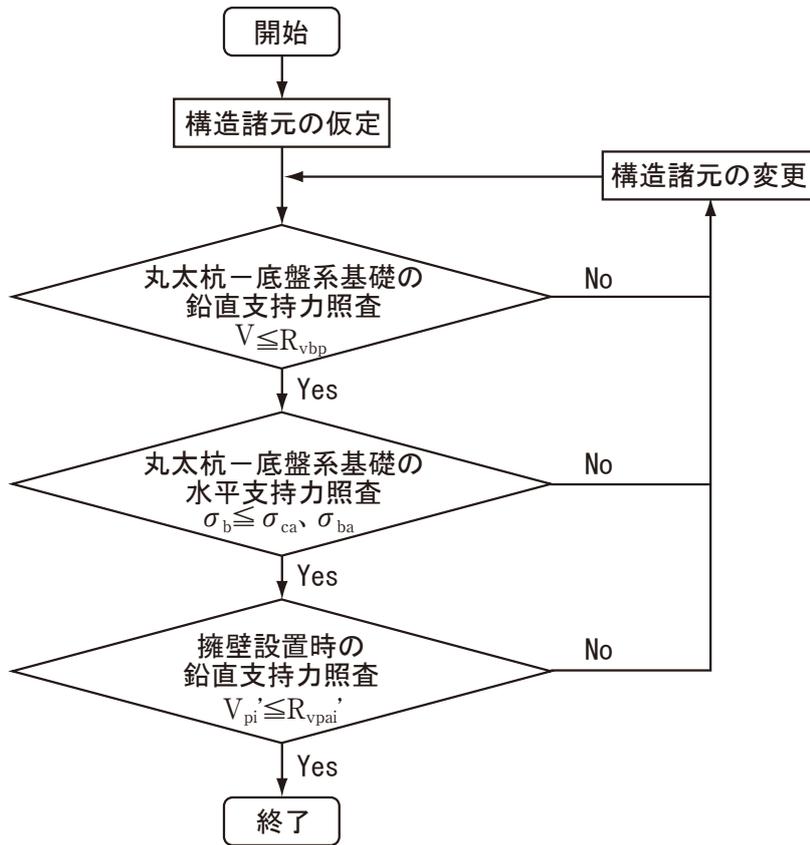


図-6.2.1 丸太杭－底盤系基礎の設計計算フロー²⁾一部加筆

【解説】

- 1) 丸太杭－底盤系基礎の基本的な考え方について規定したものである。
- 2) 鉛直力に対する照査について規定したものである。

- 3) 水平力に対する照査について規定したものである。本マニュアルの設計方法では、6.2.6.2に示すように、基礎地盤の許容水平支持力の不足分の水平荷重が丸太杭頭部に作用するとして丸太の設計を行い、杭体の応力度を杭体の強度以下とする。
- 4) 擁壁設置時における鉛直力に対する照査について規定したものである。擁壁設置時においては、擁壁の前倒れにより前面丸太杭に擁壁自重が集中し、かつ6.2.3に規定する有効根入れ深さ D_f も期待できない。このため擁壁設置時の安定照査は、擁壁自重に対して前面丸太杭のみで支持するものとした。この時の丸太杭許容周面支持力算定の安全率は $F_{s'}=1.2$ を用いるものとする。

6.2.2 丸太杭－底盤系基礎の支持力

6.2.2.1 丸太杭－底盤系基礎の鉛直支持力

丸太杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力は荷重の偏心を考慮した底盤基礎地盤の許容鉛直支持力と丸太杭の許容鉛直周面摩擦力の和とし、式(6.2.3)により算出するものとする。

$$R_{Vbp} = R_{Vba} + R_{Vpa} \quad \dots\dots\dots (6.2.1)$$

$$R_{Vba} = \frac{R_{Vbu}}{F_{Vb}} \quad \dots\dots\dots (6.2.2)$$

ここに、

- R_{Vbp} : 丸太杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力 (kN)
- R_{Vba} : 荷重の偏心を考慮した基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)
- R_{Vpa} : 6.4に示す丸太杭の許容鉛直周面支持力 (kN)
- R_{Vbu} : 6.3に示す荷重の偏心を考慮した基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN)
- F_{Vb} : 基礎地盤の鉛直支持力に関する安全率 (=3)

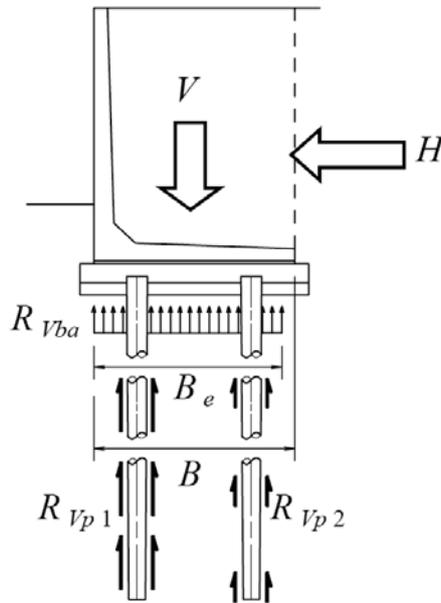


図-6.2.2 丸太杭－底盤系基礎による鉛直支持力の概念図²⁾

【解説】

丸太杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力の算出は荷重の偏心を考慮した基礎地盤の許容鉛直支持力と丸太杭の許容鉛直周面摩擦力の和によるものとした。

6.2.2.2 丸太杭－底盤系基礎の水平支持力

丸太杭－底盤系基礎の許容水平支持力は荷重の偏心を考慮した基礎地盤の許容水平支持力と丸太杭の許容水平支持力の和とし、式(6.2.3)により算出するものとする。

$$R_{Hbp} = R_{Hba} + R_{Hpa} \quad \dots\dots\dots (6.2.3)$$

$$R_{Hba} = \frac{R_{Hbu}}{F_{Hb}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4)$$

ここに、

R_{Hbp} : 丸太杭－底盤系基礎の許容水平支持力 (kN)

R_{Hba} : 荷重の偏心を考慮した基礎地盤の許容水平支持力 (kN)

R_{Hpa} : 丸太杭の許容水平支持力 (kN)

ただし、本マニュアルの設計方法では、6.2.6.2に示すように、 R_{Hpa} を直接求めることはしないで、基礎地盤の許容水平支持力の不足分の水平荷重が丸太杭頭部に作用するとして、丸太杭の設計を行う。

R_{Hbu} : 6.2.5に示す荷重の偏心を考慮した基礎地盤の極限水平支持力 (kN)

F_{Hb} : 基礎地盤の水平支持力に関する安全率 (=1.5)

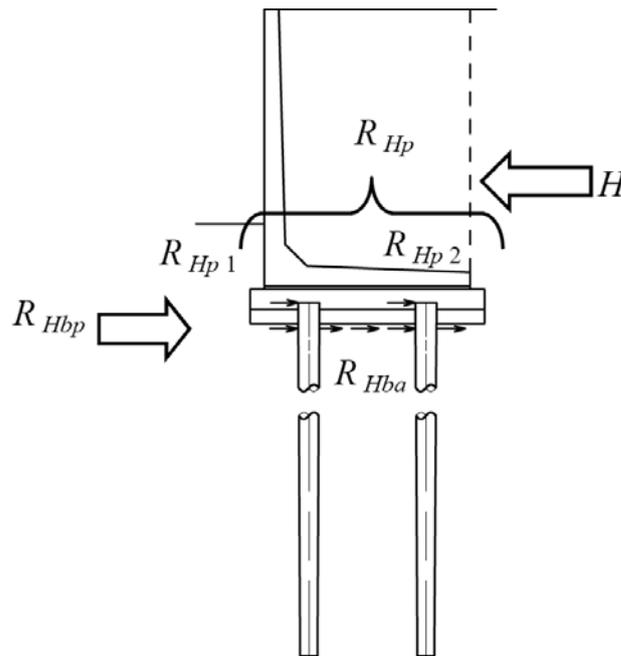


図-6.2.3 丸太杭－底盤系基礎による水平支持力の概念図²⁾一部加筆

【解説】

丸太杭－底盤系基礎の許容水平支持力の算出は荷重の偏心を考慮した基礎地盤の許容水平支持力と丸太杭の許容水平支持力の和によるものとした。

道路土工擁壁工指針¹⁾には「杭頭変位については、橋梁基礎のように上部構造から定まる許容変位量を規定する必要がないと考えられることから、杭頭部における許容変位量は規定しないものとする。」と記述されている。本マニュアルにおいても杭頭変位量は考慮しない。

6.2.2.3 丸太杭の配置

第5章 5.2.2.3 と同一である (p. 26参照)。

6.2.3 丸太杭—底盤系基礎における底盤基礎地盤の鉛直周面支持力算定

底盤基礎地盤の支持力計算では下記の3種類の算定基準を、上部構造物の種類に応じて用いる。

6.2.3.1 道路橋示方書 (道路用擁壁)

6.2.3.2 土地改良事業計画設計基準 (農道用擁壁)

6.2.3.3 建築基礎構造設計指針 (宅地造成用擁壁)

【解説】

6.2.3.1 道路橋示方書による基礎地盤の鉛直支持力計算⁴⁾

第5章 5.2.3.1 と計算方法は同一である (p. 27参照)。

形状係数 α 、 β については、帯状構造物の値 (表-6.2.1参照) を用いる。

表-6.2.1 形状係数

基礎荷重面の形状	帯 状
α	1.0
β	1.0

基礎の根入れ深さは図-6.2.4を参考に設定する。

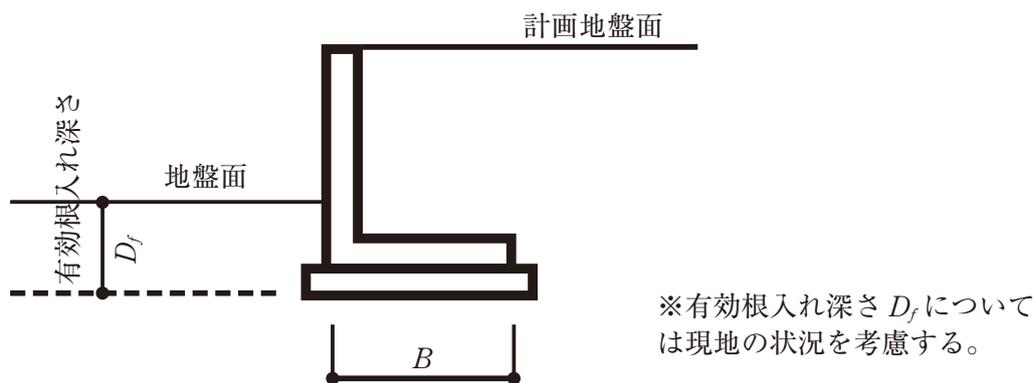


図-6.2.4 基礎の有効根入れ深さの説明図

また、支持力係数 N_c 、 N_q 、 N_γ を求める際の $\tan \theta$ に関して、歩道部擁壁では $\tan \theta = 0$ とする。²⁾

6.2.3.2 土地改良事業計画設計基準による基礎地盤の鉛直支持力⁵⁾

第5章 5.2.3.2 と計算方法は同一である (p. 30参照)。

形状係数 α 、 β については、連続構造物の値 (表-6.2.2参照) を用いる。

表-6.2.2 形状係数

基礎荷重面の形状	連 続
α	1.0
β	0.5

また、有効載荷面積 A_e を求める際の B_e に関して、歩道部擁壁では $B_e = B$ とする。²⁾

6.2.3.3 建築基礎構造設計指針による基礎地盤の鉛直支持力⁶⁾

第5章 5.2.3.3 と計算方法は同一である (p. 32参照)。

形状係数 α 、 β については、連続構造物の値 (表-6.2.3参照) を用いる。

表-6.2.3 形状係数

基礎荷重面の形状	連 続
α	1.0
β	0.5

また、有効載荷面積 A_e を求める際の B_e に関して、歩道部擁壁では $B_e = B$ とする。²⁾

6.2.4 丸太杭一底盤系基礎における木杭の鉛直周面支持力算定

第5章 5.2.4 と同一である (p. 33参照)。

6.2.5 丸太杭－底盤系基礎における基礎地盤の水平支持力算定

「6.2.2 丸太杭－底盤系基礎の支持力 (2) 丸太杭－底盤系基礎の水平支持力 (一般部擁壁)」の R_{Hb} 、 R_{Hba} は、以下に示す式 (6.2.5)、式 (6.2.6) より求める。

- (1) 基礎地盤の水平支持力は基礎コンクリートと地盤との間に働くせん断抵抗力に対して安全率1.5を確保する。
 (2) 上記せん断抵抗力は、道路橋示方書Ⅳ下部構造編p.308の式 (10.3.2) を準用し式 (6.2.5) で求める。

$$R_{Hb} = c_B \cdot A_e + R_{Vba} \cdot \tan \phi_B \quad \dots\dots\dots (6.2.5)$$

$$R_{Hba} = \frac{R_{Hb}}{F_{Hb}} \quad \dots\dots\dots (6.2.6)$$

R_{Hb} : 基礎底面と地盤との間のせん断抵抗力 (kN)

c_B : 基礎底面と地盤との間の付着力 (基礎底面地盤の粘着力 c を用いる) (kN/m²)

ϕ_B : 基礎コンクリート底面と地盤との間の摩擦角 (粘性土では考慮しない) (°)

A_e : 有効載荷面積 (m²)

R_{Vba} : 基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)

R_{Hba} : 基礎地盤の許容水平支持力 (kN)

F_{Hb} : 基礎地盤の支持力に関する安全率 (=1.5)

【解説】

本設計マニュアルでは鉛直支持においては底盤の許容鉛直支持力の不足分を丸太杭基礎が分担するとしていることから、底盤の許容支持力は100%発揮されていると考える。このため底盤下面のせん断抵抗力算出においては、底盤の許容鉛直支持力を用いることとした。

6.2.6 丸太杭一底盤系基礎の設計

6.2.6.1 鉛直支持力の計算

丸太杭に作用する鉛直荷重は、次式で求める。

$$V_p = V - R_{Vba} \dots\dots\dots (6.2.7)$$

V : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの鉛直荷重 (kN)

R_{Vba} : 基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)

V_p : 丸太杭に作用する鉛直荷重 (kN)

(1) 歩道部擁壁の場合、丸太杭配置を擁壁前面側に2本、背面側に1本としたときの杭1本に作用する最大鉛直荷重は下式で求める。

$$V_{p2} = \frac{V_p}{2} \leq R_{Vpai} \dots\dots\dots (6.2.8)$$

(2) 一般部擁壁において丸太杭配置が前面2本、背面1本の場合、擁壁前面の丸太杭1本の鉛直荷重 V_{p1} および擁壁背面の丸太杭1本の鉛直荷重 V_{p2} は下式で求める。

$$V_{p1} = \frac{V_p \cdot (x + e_B)}{4x} \leq R_{Vpai} \dots\dots\dots (6.2.9)$$

$$V_{p2} = \frac{V_p \cdot (x - e_B)}{2x} \leq R_{Vpai} \dots\dots\dots (6.2.10)$$

(3) 一般部擁壁において丸太杭配置が前面2本、背面2本の対称の場合、丸太杭1本に作用する鉛直荷重は下式により求める。

$$V_{pi} = \frac{V_p}{n_p} + \frac{V_p \cdot e_B}{\sum (n_i \cdot x_i^2)} \cdot x_i \leq R_{Vpai} \dots\dots\dots (6.2.11)$$

V_{pi} : i 番目の丸太杭に作用する鉛直荷重 (kN)

R_{Vpai} : i 番目丸太杭の許容鉛直周面支持力 (kN)

n_p : 丸太杭本数 (本)

e_B : L型擁壁フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)

x_i : フーチング幅 B の中心から各杭中心までの水平距離 (m)

$\sum (n_i \cdot x_i^2)$: 杭群の二次モーメント (本・m²) $n_1 \cdot x_1^2 + n_2 \cdot x_2^2$

B : L型擁壁のフーチング幅 (m)

【解説】

(1) 歩道部擁壁の場合

歩道部擁壁の丸太杭配置は、本設計マニュアル“6.3.2丸太杭の配置パターン例”に示す擁壁前面側に2本、背面側に1本としている。このような配置での丸太杭1本に作用する最大鉛直荷重は、擁壁背面の丸太杭に作用しその鉛直荷重は式 (6.2.9) と式 (6.2.10) において V_{p2} に $e_B = 0$ を代入した式 (6.2.8) で求められる。

(2) 一般部擁壁において丸太杭配置が前面2本、背面1本の場合

鉛直方向の力の釣合から

$$2V_{p1} + V_{p2} = V_p \quad \dots\dots\dots (6.2.12)$$

擁壁底版背面回りのモーメントの釣合から

$$2V_{p1} \cdot \left(\frac{B}{2} + x\right) + V_{p2} \cdot \left(\frac{B}{2} - x\right) = V_p \cdot \left(\frac{B}{2} + e_B\right) \quad \dots\dots\dots (6.2.13)$$

式 (6.2.12) と式 (6.2.13) の2式から式 (6.2.9) と式 (6.2.10) が導かれる。

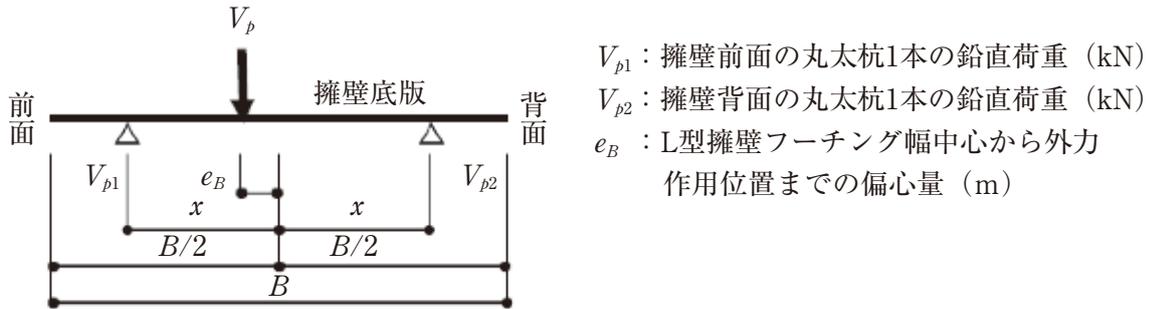


図-6.2.5 丸太杭に作用する鉛直荷重図

(3) 一般部擁壁において丸太杭配置が前面2本、背面2本の対称の場合

一般部擁壁で丸太杭配置が対称の場合の丸太杭－底盤系基礎における丸太杭に作用する鉛直荷重は、『道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編』（平成24年3月）“12章杭基礎の設計”の変位法による計算における杭配列が対称で鉛直杭の場合のp.416の（解12.7.8）式、杭の杭軸方向力 P_{mi} から算出する。

$$P_{mi} = \frac{V_o}{n} + \frac{M_o + \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot H_o}{\sum x_i^2 + \frac{n}{K_v} \left(K_4 - \frac{K_2^2}{K_1} \right)} \cdot x_i \quad \dots\dots\dots (6.2.14)$$

ここに、杭頭ヒンジのときは $1/2 \cdot \lambda \cdot H_o = 0$ とする。

- V_o : フーチング底面より上に作用する鉛直荷重 (kN)
- H_o : フーチング底面より上に作用する水平荷重 (kN)
- M_o : 原点Oまわりの外力のモーメント (kN・m)
- n : 杭の総本数 (本)
- x_i : i 番目の杭の杭頭の x 座標 (m)
- K_v : 杭頭に単位量の軸方向変位を生じさせる杭軸方向力 (杭の軸方向バネ定数) (kN/m)
- K_1 : 杭頭部に回転を生じさせないようにして、杭頭部を杭軸直角方向に単位量だけ変位させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/m)
- K_2 : 杭頭部に移動を生じさせないようにして、杭頭部を単位量だけ回転させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/rad)

丸太杭－底盤系基礎の丸太杭は、基礎コンクリートに5cm根入れしているだけであるので、丸太杭と基礎コンクリートの結合状態はヒンジ結合と考える。

さらに同示方書p.409の“表-解12.6.1杭の軸直角方向バネ定数”から杭頭ヒンジ結合の場合の K_2 、

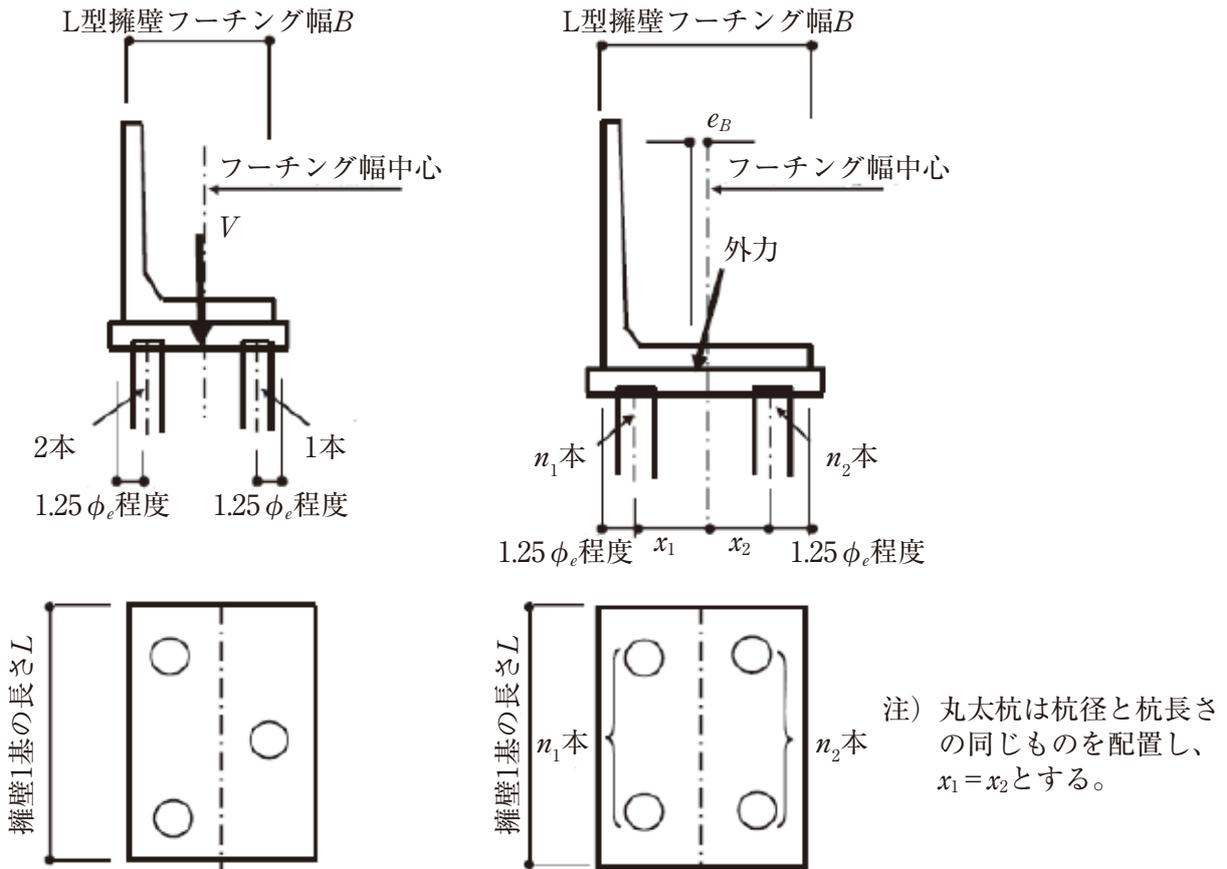
K_3 、 K_4 はいずれも0（ゼロ）となる。

このようなことから、一般部擁壁における一本の丸太杭に作用する鉛直荷重を求める式は式(6.2.14)に $1/2 \cdot \lambda \cdot H_0 = 0$ 、 $K_2 = K_3 = K_4 = 0$ を代入すると以下のような式となる。

$$\begin{aligned}
 P_{ni} &= \frac{V_o}{n} + \frac{M_o + \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot H_o}{\Sigma x_i^2 + \frac{n}{K_v} \left(K_4 - \frac{K_2^2}{K_1} \right)} \cdot x_i \\
 &= \frac{V_o}{n} + \frac{M_o + 0}{\Sigma x_i^2 + \frac{n}{K_v} \left(0 - \frac{0}{K_1} \right)} \cdot x_i \\
 &= \frac{V_o}{n} + \frac{M_o}{\Sigma x_i^2} \cdot x_i \quad \dots\dots\dots (6.2.15)
 \end{aligned}$$

(1) 歩道部擁壁の場合

(2) 一般部擁壁の場合



6.2.6.2 一般部擁壁の水平支持力の計算

丸太杭頭部に作用する水平荷重は、丸太杭に均等に作用するとして次式で求める。

$$H_p = H - R_{Hba} \quad \dots\dots\dots (6.2.16)$$

$$H_{pi} = \frac{H_p}{n_p} \quad \dots\dots\dots (6.2.17)$$

H_p : 丸太杭に作用する水平荷重 (kN)

H : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの水平荷重 (kN)

R_{Hba} : 基礎地盤の許容水平支持力 (kN)

H_{pi} : i 番目丸太杭に作用する水平力 (杭軸直角) (kN)

n_p : 丸太杭本数 (本)

丸太杭頭部の水平力により丸太杭に生じる地中部最大モーメント M_{max} は丸太杭頭部をヒンジ結合の半無限長の杭として次式により算出する。

$$M_{max} = -0.3224 \frac{H_{pi}}{\beta} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad \dots\dots\dots (6.2.18)$$

杭体の応力度を杭体の強度以下とする。杭体応力度は次式により算出する。

$$\sigma_b = \frac{V_{pi} \cdot 10^3}{A} \pm \frac{M_{max} \cdot 10^6}{Z} \leq \begin{bmatrix} \sigma_{ca} \\ \sigma_{ba} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (6.2.19)$$

σ_b : 曲げ圧縮 (引張) 応力度 (N/mm²)

Z : 丸太杭の断面係数 $\pi / 32 \cdot \phi_e^3$ (mm³)

A : 丸太杭1本当たりの断面積 (mm²)

V_{pi} : i 番目丸太杭に作用する鉛直荷重 (kN)

σ_{ca} : 丸太杭の許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{ba} : 丸太杭の許容曲げ引張応力度 (N/mm²)

β : 丸太杭の特性値

【解説】

丸太杭に生じる地中部最大モーメント M_{max} の算出式は道路橋示方書・同解説IV下部構造編p.628平成24年3月を参照している。

なお丸太杭の特性値 β は簡便的に一様地盤と考えて式 (6.2.20) より算出する。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_H \cdot \phi_e}{4 \cdot E \cdot I}} \quad (\text{m}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (6.2.20)$$

$$K_H = K_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^3) \quad \dots\dots\dots (6.2.21)$$

$$K_{H0} = \frac{1}{0.3} a_0 \cdot E_0 \quad \dots\dots\dots (6.2.22)$$

$$B_H = \left(\frac{\phi_e}{\beta_0} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (6.2.23)$$

$$I = \left(\frac{\pi \cdot \phi_e^4}{64} \right) \dots\dots\dots (6.2.24)$$

α_0 : 地盤反力係数の推定に用いる係数 (常時 4)

K_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

E_0 : 地盤の変形係数 (kN/m²)

ϕ_e : 丸太杭末口 (m)

E : 丸太杭のヤング (弾性) 係数 (kN/m²)

I : 丸太杭の断面2次モーメント (m⁴)

6.2.6.3 施工時の照査

丸太杭に作用する鉛直荷重は、次式で求める。

$$V_p' = V' \quad \dots\dots\dots (6.2.25)$$

V' : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの施工時鉛直荷重 (kN)
(擁壁 + 基礎コンクリート、均しモルタル等の自重)

V_p' : 丸太杭に作用する施工時鉛直荷重 (kN)

- (1) 歩道部擁壁または一般部擁壁における非対称配置 (擁壁前面側に2本、背面側に1本)、
(2) 一般部擁壁における対称配置 (擁壁前面側に2本、背面側に2本) の場合の施工時最大鉛直荷重は下式で求める。

$$V_{pi}' = \frac{V_p'}{2} \leq R_{Vpai}' \quad \dots\dots\dots (6.2.26)$$

$$R_{Vpai}' = \frac{R_{Vpai}}{F_s'} \quad \dots\dots\dots (6.2.27)$$

V_{pi}' : i 番目の丸太杭に作用する施工時鉛直荷重 (kN)

R_{Vpai}' : 丸太杭1本の施工時許容鉛直周面支持力 (kN)

R_{Vpai} : 丸太杭1本の極限鉛直周面支持力 (kN)

F_s' : 丸太杭の鉛直周面支持力に関する施工時安全率 (=1.2)

【解説】

擁壁における施工時の照査は、前面側に極端な偏心荷重が作用することを考慮して、擁壁等の自重を前面側の杭のみで受け持つことを確認する。

- (1) 歩道部擁壁または一般部擁壁における非対称配置 (丸太杭配置が前面2本、背面1本) の場合、施工時の安定照査における擁壁前面丸太杭に作用する鉛直荷重は、式 (5.2.10)で $e_B = x$ を代入した次式で求められる。

$$V_{p1}' = \frac{V_p' \cdot (x + e_B)}{4x} = \frac{V_p'}{2} \quad \dots\dots\dots (6.2.28)$$

- (2) 一般部擁壁における対象配置 (丸太杭配置が前面2本、背面2本) の場合
施工時の安定照査における擁壁前面木杭に作用する鉛直荷重は、式 (5.2.12) で $e_B = x$ 、 $n_p = 4$ を代入した次式で求められる。

$$V_{p1}' = \frac{V_p'}{n_p} + \frac{V_p' \cdot e_B}{\sum (n_i \cdot x_i^2)} \cdot x_i = \frac{V_p'}{4} + \frac{V_p' \cdot x}{4x^2} \cdot x = \frac{V_p'}{2} \quad \dots\dots\dots (6.2.29)$$

6.2.7 荷重の考え方

6.2.7.1 荷重の種類

擁壁の設計で考慮する荷重の種類は以下のとおりである。

表-6.2.4 荷重の種類（擁壁）²⁾

項 目		擁壁本体の 断面計算	本マニュアル	
			歩道部擁壁の 基礎の計算	一般部擁壁の 基礎の計算
死 荷 重	擁壁自重 W_{d1}	○	○	○
	裏込め土重 W_{d2}	○	○	○
	基礎コンクリート自重 W_{d3}	○	○	○
	基礎コンクリート上の土重 W_{d4}, W_{d5}	×	× _{注1}	× _{注1}
活 荷 重	擁壁上の活荷重 q_L	○	○ _{注2}	○ _{注4}
	活荷重による側圧 W_{th}	○	×	○
	衝撃係数 i	×	×	×
土 圧	主働土圧（試行くさび法） W_s	○	×	○
	静止土圧	×	×	×
	受働土圧	×	×	×
残 留 水 圧		×	×	×
浮 力		×	×	×
風 荷 重		×	×	×
衝 突 荷 重		×	× _{注3}	× _{注3}
地 震 の 影 響		×	×	×

○：必ず考慮する荷重 ×：考慮する必要のない荷重

注1：当荷重を考慮して底盤の許容鉛直支持力を基礎コンクリート幅で算出した場合、丸太杭に作用する荷重が小さくなる。このため、安全側の設計として次頁に示すように擁壁底版幅 B を載荷幅として基礎コンクリート上の土重 W_{d4} と W_{d5} （図-6.2.7）は考慮しない。

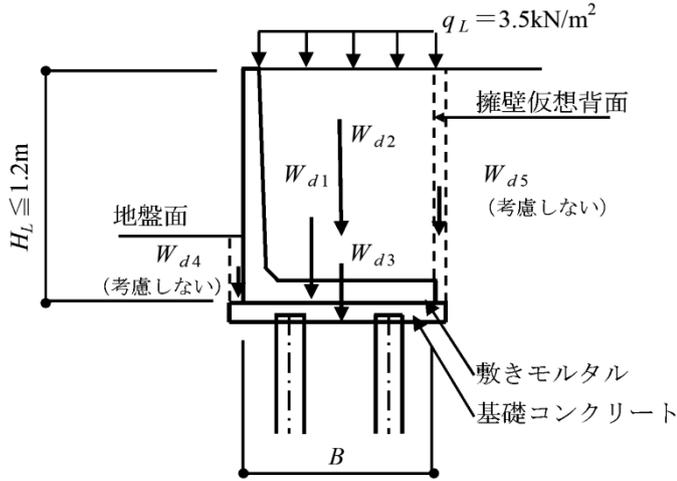
注2：擁壁の壁背面からフーチング後端までの範囲に載荷する群集荷重を考慮する。

注3：擁壁の頂部に車両用防護柵などを設ける場合、その位置は擁壁から離して接地するものとし、防護柵に作用する衝突荷重は考慮しない。

注4：上載活荷重 q_L の載荷位置は、安定計算上最も不利な位置に載荷する必要がある。
このため、一般部擁壁では図-6.2.7のケース①およびケース②の両方で計算を行う。

【解説】

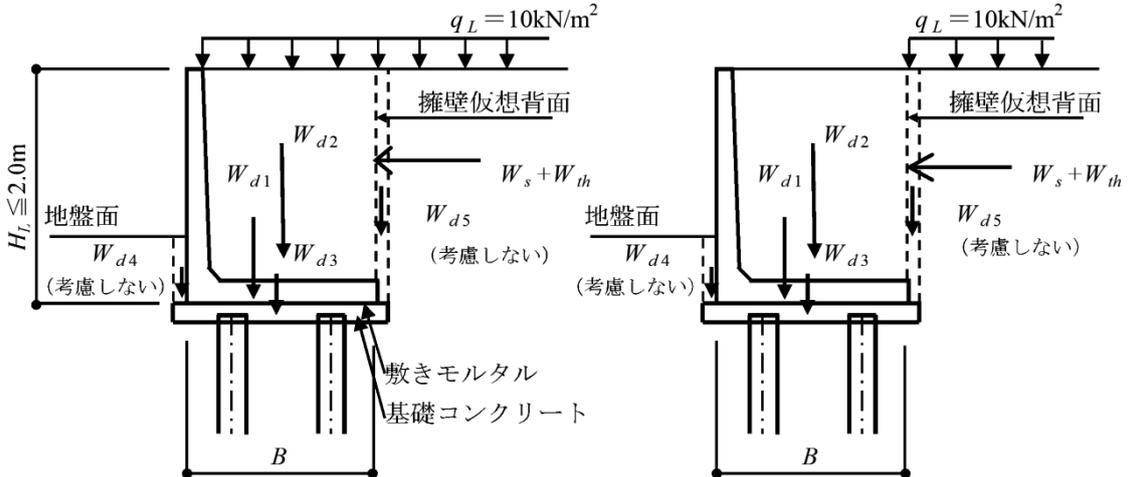
(a) 歩道部擁壁の場合



(b) 一般部擁壁の場合

ケース①：地表面載荷重が壁背面から載荷

ケース②：地表面載荷重が仮想背面から載荷



H_L : プレキャストL型擁壁の壁高 (m)

B : プレキャストL型擁壁のフーチング幅 (m)

図-6.2.7 擁壁基礎の安定計算に用いる荷重²⁾

6.2.7.2 活荷重

擁壁基礎検討用の上載活荷重としては、“道路土工 擁壁工指針”p.52を準用し、下記のように定める。

【解説】

(a) 車道部

設計に用いる上載荷重は、活荷重などを考慮した分布荷重 $q_L = 10(\text{kN/m}^2)$ とする。

(b) 歩道部

歩道には群集に重として $q_L = 3.5(\text{kN/m}^2)$ を載荷する。

6.3 基礎設計に関する構造細目

6.3.1 杭頭処理

擁壁の杭頭部は基礎コンクリートに50mm埋込むものとする。

【解説】

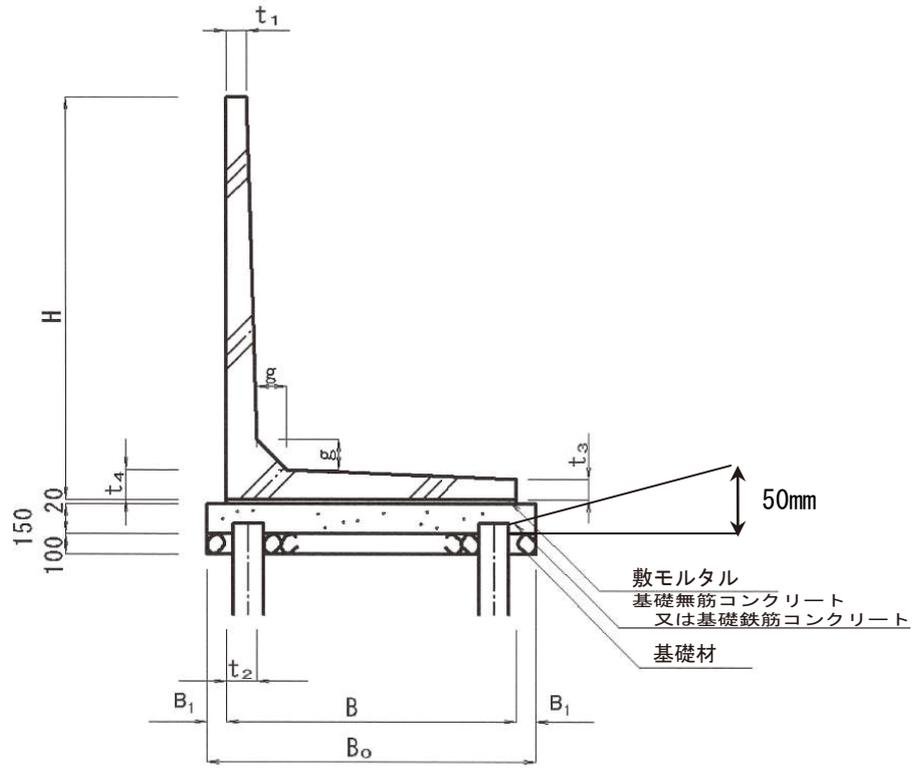


図-6.3.1 杭頭処理の例¹⁾

6.3.2 丸太杭の配置例

丸太杭は擁壁1個（製品1個当たり）に原則3本以上配置するものとする。

【解説】

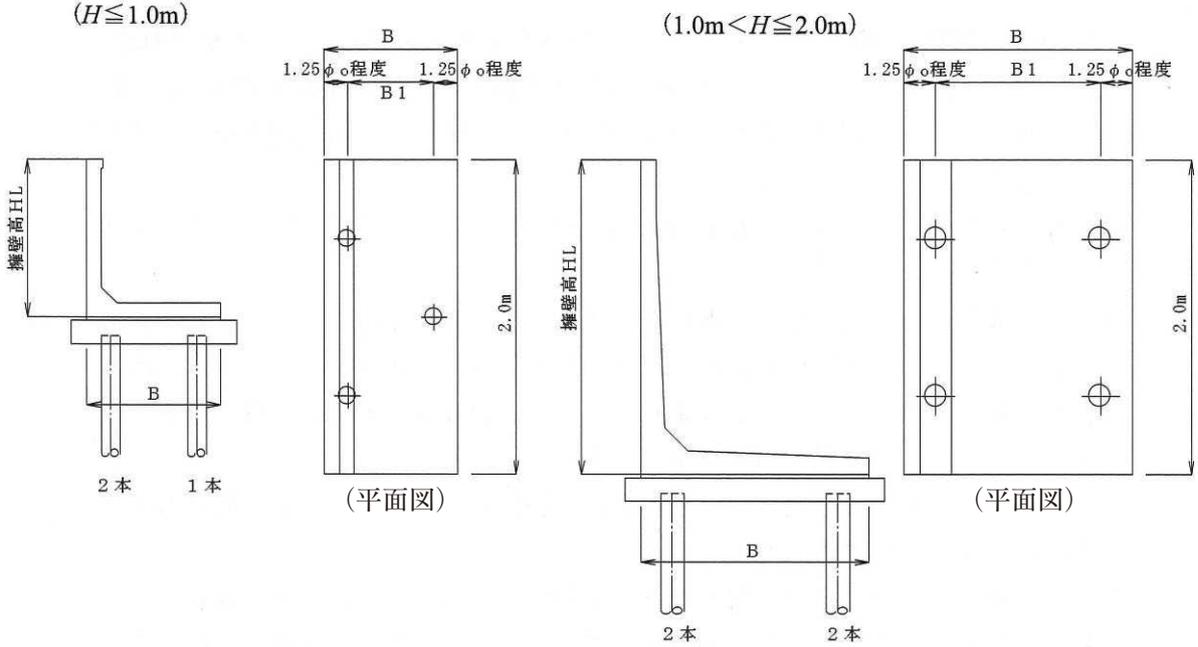


図-6.3.2 一般部擁壁の丸太杭配置例²⁾

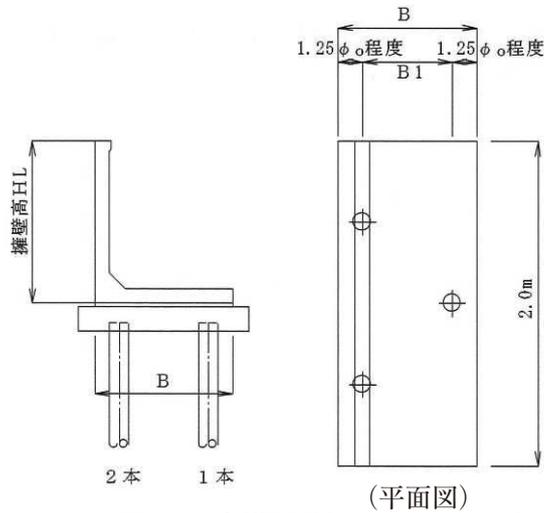


図-6.3.3 歩道部擁壁の丸太杭配置例²⁾

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針，2012.
- 2) 佐賀県県土づくり本部・(財) 佐賀県土木建築技術協会・(社) 佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会：プレキャストL型擁壁(H \leq 2m)の木杭－底盤系基礎～設計マニュアル（第1版）～，2008.
- 3) (社) 日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針，2012.
- 4) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編IV下部構造編，2012.
- 5) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準 設計（農道），pp.554-555，2005.
- 6) (社) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.105-111，2001.

第7章

道路路体の設計方法

第7章 道路路体の設計方法

7.1 設計の考え方

道路路体の設計は、調査により得られた資料を十分検討のうえ、次の検討を行う。

- 7.2 盛土と基礎地盤を通るすべり破壊に対する安定性
- 7.3 丸太杭基礎の支持力
- 7.4 丸太杭の耐力
- 7.5 盛土の沈下
- 7.6 杭間隔
- 7.7 盛土層

【解説】

設計にあたっては、上記の条件を満足するとともに、現地の状況に適合し、施工性、経済性、環境性をも兼ね備えたものとしなければならない。

軟弱地盤対策は、表層改良（石灰改良、セメント改良、サンドマット等）と丸太杭の組み合わせで行う。図-7.1.1に示すように、丸太杭にかかる盛土荷重は、舗装と路床部分からなる。杭間の地盤が盛土荷重を受け持つことは考慮せず、盛土荷重のすべてを丸太杭が受け持つと考えて設計する。これにより、全沈下量の減少、せん断変形の抑制、すべり抵抗の増加を狙うものである。

設計においては、丸太杭工法については、「道路橋示方書¹⁾」に示される杭基礎の設計に従うこととするが、安全率については丸太杭の特性を考慮することとする。

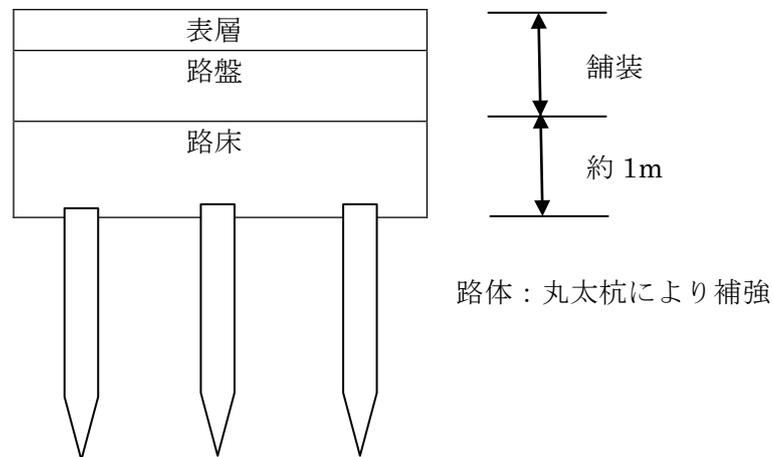


図-7.1.1 丸太杭にかかる盛土荷重の概念図

図-7.1.2に設計フローを示す。

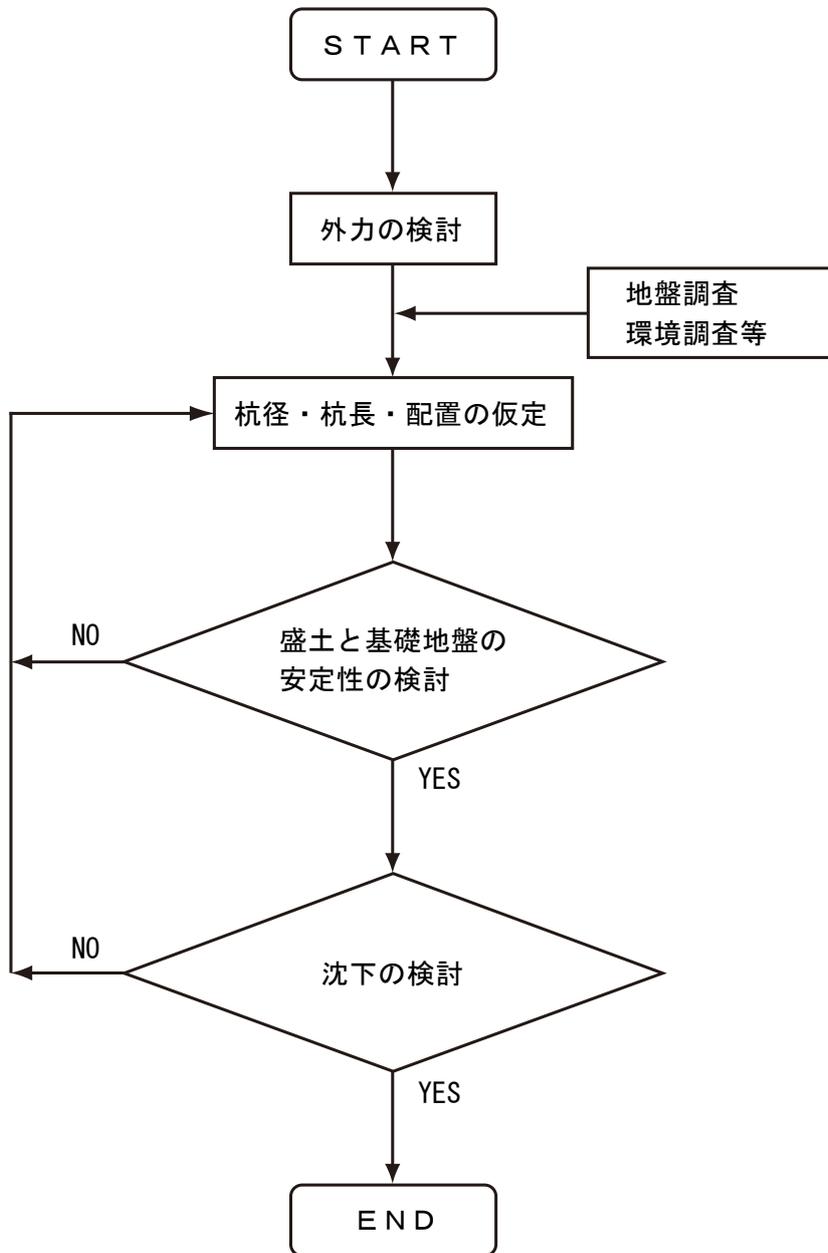


図-7.1.2 設計フロー

7.2 盛土と基礎地盤の安定性の検討

盛土と基礎地盤の安定性については、盛土と基礎地盤を通る円弧すべり面法による安定計算を行うこととし、安全率 F_s を1.2以上とする。

【解説】

盛土と基礎地盤の安定性については、式 (7.2.1) で安全率 $F_s \geq 1.2$ となることを条件とする²⁾。

$$F_s = \frac{\sum (c_u \ell + W \cos a \tan \phi_u)}{\sum W \sin a} \quad (7.2.1)$$

ここで、 F_s ：安全率

c_u ：すべり面に沿う非排水粘着力 (kN/m²)

ϕ_u ：非排水せん断抵抗角 (°)

ℓ ：細片部のすべり面長さ (m)

W ：細片部の土の全質量 (kN/m)

a ：細片部のすべり面平均傾斜角 (°)

丸太杭打設部分の細片部の地盤のせん断抵抗は、丸太杭と地盤の複合地盤と考え、「ジオテキスタイルを用いた補強度の設計・施工マニュアル」³⁾に基づき、式 (7.2.1) の分子を式 (7.2.2) により求めて置き換えることで表現する。

$$s_{wood} a_p \ell + \beta (c_u \ell + W \cos a \tan \phi_u) (1 - a_p) \quad (7.2.2)$$

ここで、 s_{wood} ：丸太杭のせん断抵抗 (=600kN/m²)⁴⁾

a_p ：改良率 (= A_p/B^2)

A_p ：丸太杭末口面積 (m²)

B ：丸太杭間隔 (m)

β ：丸太杭のせん断抵抗 s_{wood} が得られるときの地盤のせん断抵抗の比 (図7.2.1参照)

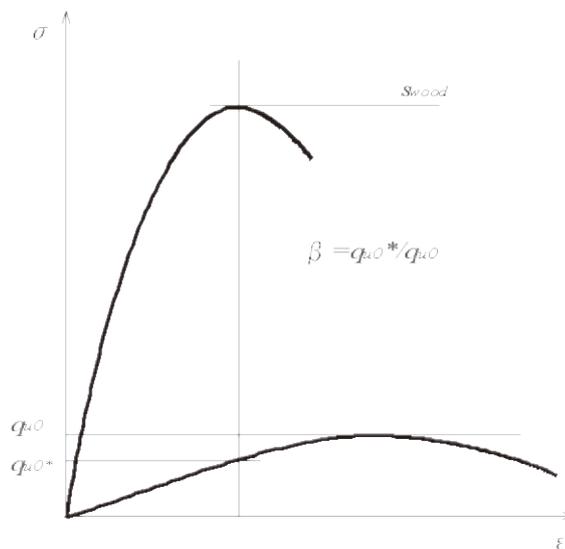


図-7.2.1 丸太と地盤の応力ひずみ関係³⁾

7.3 丸太杭基礎の支持力の検討

基礎地盤の支持力の検討は、道路橋示方書¹⁾に示される杭基礎の設計法に準拠し、杭を丸太に置き換えて検討する。ただし、本マニュアルでは、丸太打設による地盤の補強効果を想定していることから、丸太の水平抵抗と引き抜き抵抗の検討は行わず、鉛直支持力のみを検討を行うこととする。

【解説】

(1) 鉛直支持力は式 (7.3.1)¹⁾より求める。ただし、丸太杭の特性を考慮し安全率を設定するため、安全率を先端支持力の項と杭周面摩擦力の項に分離する。

$$R_a = \frac{1}{n_p} R_p + \frac{1}{n_f} R_f \quad (7.3.1)$$

$$R_p = q_d A_p \quad (7.3.2)$$

$$R_f = U \sum L_i f_i \quad (7.3.3)$$

ここで、 R_a ：杭の鉛直方向許容押し込み支持力 (kN) (杭の自重が小さい場合)

R_p ：丸太杭先端の極限支持力 (kN)

R_f ：丸太杭の最大周面摩擦力 (kN)

n_p ：先端支持力に対する安全率 (=3)

n_f ：丸太杭周面摩擦力に対する安全率 (=2)⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾

q_d ：丸太杭先端部の単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m²) (ただし、軟弱地盤であることから $q_d=0$ とした)

A_p ：丸太杭先端 (末口) 面積 (m²)

U ：丸太杭先端 (末口) における周長 (m)

L_i ：周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

(2) 安全率は式 (7.3.1)²⁾に示すように、丸太杭の先端支持力について3、周面摩擦力について2とする。丸太杭の周面摩擦力に対する安全率2は、実証実験⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾や既往文献⁶⁾⁷⁾を参考にした。これらによれば、1) 丸太杭では、末口より元口が太く、このようなテーパがあるために、実際の周面積は末口径で計算された丸太杭周面積よりも1.2~1.5倍程度大きいこと、2) 丸太杭表面の打設直後の吸水効果により丸太杭周辺部では圧密が促進されること⁵⁾、3) その他多くの施工実績、から周面摩擦力に対する安全率を1.5と定めている⁶⁾⁷⁾。また、盛土を対象とした杭基礎形式であるパイルネット工法⁸⁾では、構造物基礎と比較して、変形に対する許容量をある程度大きくできることから周面摩擦力に対する安全率を2としている。以上のことを考慮し、ここでは安全率2を用いる。

(3) 最大周面摩擦力は、式 (7.3.4)¹⁾または式 (7.3.5)¹⁾より求める。

$$\text{砂質土の場合：} 2N (\leq 100) \quad (7.3.4)$$

$$\text{粘性土の場合：} c_u \text{ または } 10N (\leq 150) \quad (7.3.5)$$

ここで、 N ：標準貫入試験による N 値

式 (7.3.5) で、粘着力 c_u が直接求められていない場合には、式 (7.3.6)²⁾または式 (7.3.7)²⁾などによって c_u を推定する。

$$\text{コーン貫入抵抗より推定する場合： } c_u = \frac{q_c}{10} \quad (7.3.6)$$

$$\text{スウェーデン式サウンディング試験による場合： } c_u = \frac{1}{2} (0.045 W_{sw} + 0.75 N_{sw}) \quad (7.3.7)$$

ここで、 q_c ：コーン貫入抵抗 (kN/m²)

W_{sw} ：荷重だけによって貫入が進む荷重の大きさ (N)

N_{sw} ：回転により貫入した時の1m当たり半回転数 (回/m)

7.4 丸太杭の耐力の検討

丸太杭の耐力として、丸太杭の軸方向許容圧縮応力度と丸太杭1本当たりに作用する鉛直荷重の比が安全率1.2⁸⁾より大きいことを確認する。

【解説】

式 (7.4.1)⁸⁾で、丸太杭の軸方向許容圧縮応力度と丸太杭1本当たりに作用する鉛直荷重の比が安全率1.2より大きいことを確認する。

$$F_{swood} \geq \frac{\sigma_{wood}}{\left(\frac{\Delta p_p}{A_p} \right)} \quad (7.4.1)$$

ここで、 F_{swood} ：丸太杭の耐力に対する安全率 (≥ 1.2)

σ_{wood} ：丸太杭の軸方向許容圧縮応力度 (=4,000kN/m²)⁴⁾

Δp_p ：丸太杭1本当たり全上載荷重 (kN/m²)

A_p ：丸太杭先端 (末口) 面積 (m²)

7.5 盛土の沈下の検討

7.5.1 沈下対策の考え方

盛土の沈下対策については、丸太杭と表層改良工法を合わせて行うこととする。

【解説】

(1) 丸太杭の沈下量の計算方法は、7.5.2沈下量の計算方法で示す。

(2) 表層改良工法については、7.7盛土層の検討の条件を満足するように検討する。

7.5.2 沈下量の計算方法

(1) 丸太杭と未改良部分の不同沈下量を検討する。

(2) 摩擦杭とする場合の沈下量は、丸太杭を打設した地層の沈下量と、丸太杭先端以深の地層の沈下量の和として求める。

(3) 先端支持杭とする場合には、沈下量を無視する。

【解説】

(1) 丸太杭と杭間地盤の不同沈下量を検討する。

丸太杭と杭間地盤の不同沈下量 S_G は、丸太杭の杭頭の沈下量 S_p と杭間地盤の沈下量 S_c より式(7.5.1)で求める。

杭間地盤に作用する盛土荷重は図-7.5.1のとおりであり、その他の盛土荷重は丸太杭が受け持つと考える。主働崩壊角 θ は 45° を基本とする。

$$S_G = S_c - S_p \quad (7.5.1)$$

ここに、 S_G ：不同沈下量

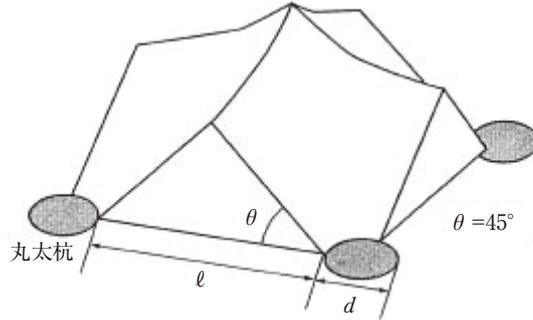


図-7.5.1 杭間地盤に作用する盛土荷重

1) 杭間地盤の沈下量

杭間地盤の沈下量 S_c は式(7.5.2)によって求められる。

$$S_c = S_0 \frac{\Delta p_c}{\Delta p} \quad (7.5.2)$$

ここに、 S_0 ：無処理での沈下量 (m)

Δp_c ：杭間地盤に作用する盛土荷重 (kN/m²)

Δp ：全盛土荷重 (kN/m²)

また、 Δp_c 、 Δp は式(7.5.3)、(7.5.4)、(7.5.5)より求める。

$$\Delta p = V\gamma \quad (7.5.3)$$

$$\Delta p_c = \frac{V_c \gamma}{(\ell + d)^2 - \frac{\pi d^2}{4}} \quad (7.5.4)$$

$$V_c = \frac{\pi}{24} \ell^2 \tan \theta (3d + 2\ell) + 0.36 \times \left(\frac{\ell + d}{2} \right)^2 \left\{ \frac{1}{2} \tan \theta + \frac{1}{3} \left(\frac{\ell + d}{2} \right) \right\} \tan \theta \quad (7.5.5)$$

ここに、 V ：全盛土体積 (m³)

ℓ ：丸太杭間の距離 (m)

d ：丸太杭の直径 (m)

θ ：図-7.5.1参照 $\theta = 45^\circ$

V_c ：杭間地盤に荷重を作用させる盛土体積 (m³)

2) 丸太杭の沈下量

丸太杭の沈下量 S_p は、式 (7.5.6) によって求める。

$$S_p = \frac{\Delta p_P}{E} L \quad (7.5.6)$$

ここに、 Δp_P ：丸太杭に作用する盛土荷重 (kN/m²)
 L ：丸太杭の長さ (m)
 E ：丸太杭の変形係数 (kN/m²)

また、 Δp_P は式 (7.5.7)、(7.5.8)、(7.5.9) より求める。

$$E = 100q_u \quad (7.5.7)$$

$$\Delta p_P = V_p \gamma \quad (7.5.8)$$

$$V_p = V - V_b \quad (7.5.9)$$

ここに、 q_u ：丸太杭の一軸圧縮強さ (kN/m²)
 V_p ：丸太杭に荷重を作用する盛土体積 (m³)
 γ ：杭間地盤の単位体積重量 (kN/m³)

(2) 摩擦杭とする場合の沈下量は、丸太杭を打設した地層の沈下量と、丸太杭先端以深の地層の沈下量の和として求める。

摩擦杭（フローティング基礎）の場合の、丸太杭を打設した地層における沈下量 Δh_1 は、丸太杭と丸太杭周辺地盤の変形係数より式 (7.5.10)³⁾で計算する。

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta p H_1}{a_p E_{wood} + (1 - a_p) E_{soil}} \quad (7.5.10)$$

ここで、 Δh_1 ：丸太杭を打設した地層における沈下量 (m)
 Δp ：全上載荷重 (kPa)
 H_1 ：丸太杭を打設した地層の厚さ (m)
 E_{wood} ：丸太杭の軸方向変形係数 (=6,000MN/m²)⁴⁾
 E_{soil} ：杭間地盤の変形係数 (=210 C_u kPa)

$$a_p : \text{改良率} \left(= \frac{A_p}{B^2} \right)$$

丸太杭先端以深の丸太杭の先端より下の地層の沈下量 Δh_2 は図-7.5.2のように荷重分散を考慮し、式 (7.5.11) で計算する。

$$\Delta h_2 = \frac{C_c}{1+e_0} H_2 \log_{10} \frac{\sigma_{v0} + q_2}{\sigma_{v0}} \quad (7.5.11)$$

ここで、 Δh_2 ：丸太杭先端以深の沈下量 (m)

- C_c : 未改良層の圧縮指数
- q_2 : 未改良層中央深さにおける全上載荷重 Δp の分散荷重 (kN/m²)
- e_0 : 未改良層の初期間隙比
- σ_{v0} : 未改良層中央深さにおける改良前の上載荷重 (kN/m²)
- H_2 : 未改良層の厚さ (m)

摩擦杭の場合の全沈下量 Δh を式 (7.5.12) で求める。

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 \quad (7.5.12)$$

このように計算される全沈下量が、重要度に応じて、0.1~0.2m以下となることを目安とする³⁾。

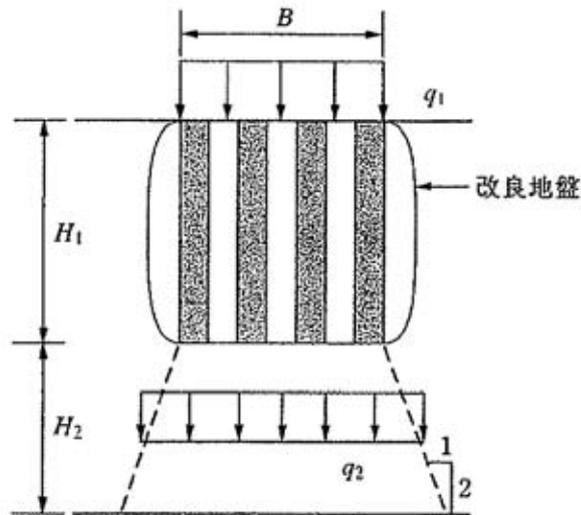


図-7.5.2 フローティング式の荷重分散の概念図³⁾

7.6 杭間隔

丸太間隔は、群杭効果が顕著に表れないように検討する。また、盛土層内にパンチング現象が生じないように検討する。

【解説】

丸太杭間隔は、群杭効果が顕著に表れないように、丸太杭間隔は式 (7.6.1) とする。¹⁾

$$B \geq 2.5D \quad (7.6.1)$$

ここで、 B : 杭間隔 (m)

D : 元口径 (m)

盛土堤体内のパンチング現象は、丸太杭の反力により盛土堤体内で押し抜きせん断破壊する現象である。この現象が想定される場合は、シートを盛土層内に敷設するなどして杭反力の荷重分散を行う必要がある。

7.7 盛土層の検討

盛土層については、以下の検討を行う。

- (1) パンチング現象の防止
- (2) 建設機械のトラフィカビリティー確保
- (3) 丸太杭の腐朽対策

【解説】

(1) パンチング現象の防止

パンチング現象を防止するため、盛土層の厚さは式 (7.8.1)で計算される厚さ以上とする (丸太杭を支持杭と仮定し、丸太杭間の地盤の沈下によって盛土層に主働崩壊が生じても、その盛土層の崩壊面が盛土表面まで及ばないような厚さとする)。

$$T_s \geq \frac{\left((2B^2)^{0.5} - D \right)}{2} \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (7.7.1)$$

ここで、 T_s ：盛土材の厚さ (m)
 B ：杭間隔 (m)
 D ：杭直径 (末口) (m)
 ϕ ：盛土材の内部摩擦角 (°)

(2) 建設機械のトラフィカビリティー確保

トラフィカビリティー確保のため、次の厚さを目安とする²⁾。

- ① 盛土基礎地盤表層部のコーン貫入抵抗 qc が100～200kN/m²の場合：盛土層の厚さ50～80cm
- ② qc の値が100kN/m²以下の場合：盛土層の厚さ80～120cm
- ③ 盛土層の厚さは最低でも50cm以上とする

(3) 丸太杭の腐朽対策¹²⁾

丸太杭頭部の腐朽対策のため、丸太杭頭部分については不均一な地盤とならないようにする。また、盛土基礎地盤内に腐朽菌が侵入する亀裂などが生じないように、適切な土質を選ぶとともに十分な締固めを行う。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編IV下部構造編，丸善，2012.
- 2) 日本道路協会：道路土工－軟弱地盤対策工指針，丸善，2012.
- 3) ジオテキスタイル補強度工法普及委員会：ジオテキスタイルを用いた補強度の設計・施工マニュアル (改訂版)，土木研究センター，2000.
- 4) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針調査および設計一般篇，丸善，1966.
- 5) 三浦哲彦，呉文経，中村六史，一瀬智郎：軟弱粘土中杭の周面支持機構に関する実験的考察，土木学会論文集，No.517/Ⅲ-31，pp.63-72，1995.
- 6) 佐賀県県土づくり本部，佐賀県県土づくりコンサルタント協会：水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎～設計マニュアル (第1版)～，佐賀県土木建築技術協会，2005.

- 7) 佐賀県県土づくり本部, 佐賀県県土づくりコンサルタント協会: プレキャストL型擁壁 (H \leq 2m) の木杭-底盤系基礎~設計マニュアル (第1版)~, 佐賀県土木建築技術協会, 2008.
- 8) 鉄道総合技術研究所: 杭網 (パイルネット) 工法設計・施工の手引き, 1987.
- 9) 久保光, 吉田雅穂, 沼田淳紀, 本山寛: 丸太杭打設による杭間隔の違いが地盤に及ぼす影響, 土木学会第67回年次学術講演会, CS12-009, 2012.
- 10) 久保光, 本山寛, 吉田雅穂, 沼田淳紀: 軟弱粘性地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測, 第47回地盤工学研究発表会, 500, 2012.
- 11) 吉田雅穂, 宮脇紀宣, 久保光, 沼田淳紀, 本山寛: 丸太を用いた軟弱粘性土の地盤補強技術に関する模型実験, 第47回地盤工学研究発表会, 501, 2012.
- 12) 発明者: 久保光, 沼田淳紀, 上杉章雄, 向谷常松, 勝山義史, 特許権者: 福井県, 飛鳥建設株式会社, タイトル: 木材の腐朽対策方法および腐朽対策を施した木材, 出願: 平成19.3.14.登録H23.7.29

第8章

施工と維持管理

第8章 施工と維持管理

8.1 施工

本章は、施工と維持管理について示す。

8.1.1 施工フロー

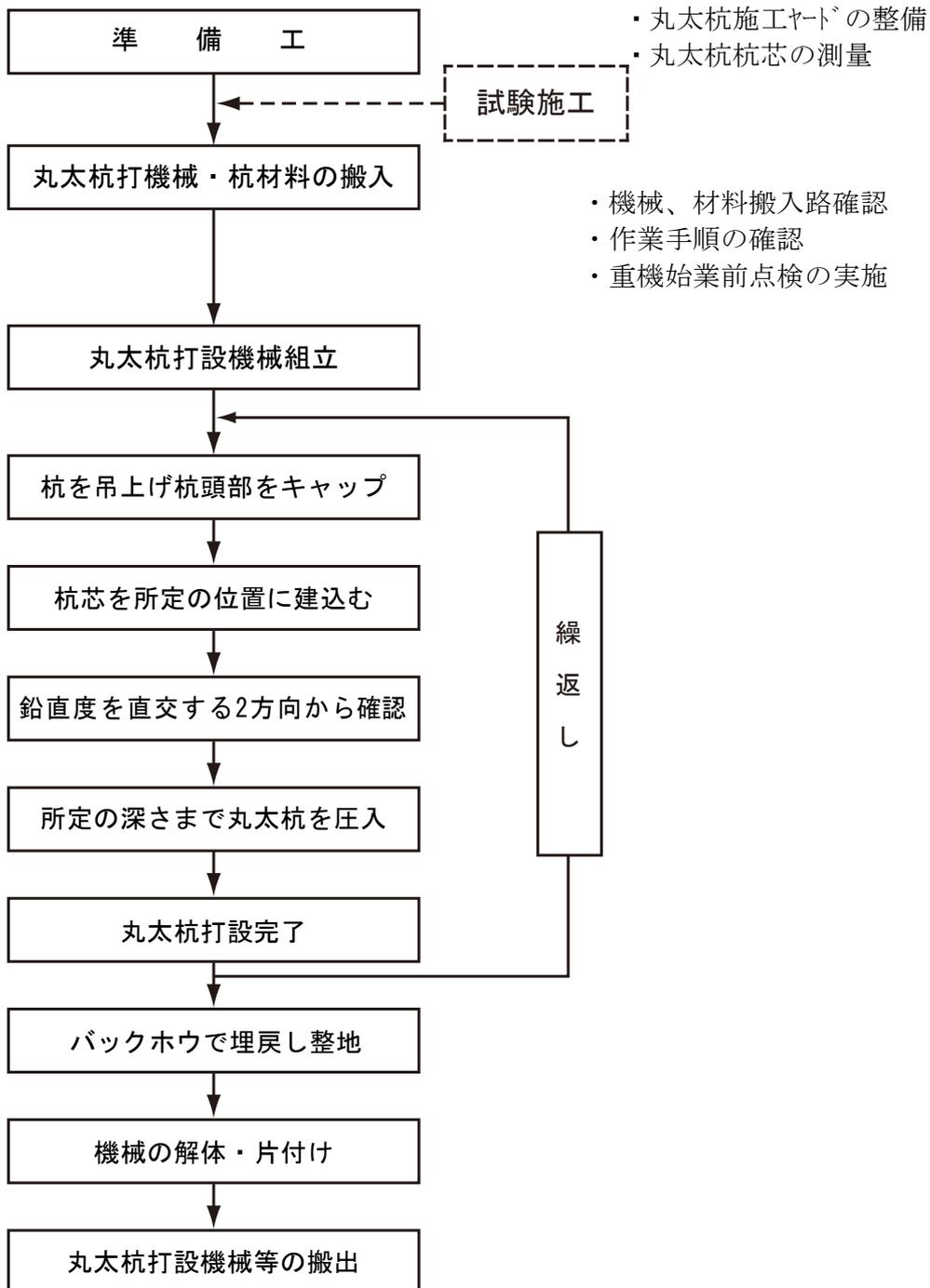


図-8.1.1 全体施工フロー

8.1.2 準備工

(1) 丸太杭施工ヤード整備

準備工として、丸太杭施工ヤードにおいて工事進入路・資材置場・施工ヤードの整備をする。

(2) 事前測量

基準点を使用し、丸太杭施工位置を測量する。施工範囲については、丸太杭施工場所の両サイドに丁張りを設置して位置・高さの基準を設ける。

8.1.3 丸太杭工事

作業開始前に、作業ヤードの地盤状況を確認し凹凸の無い様に、バックホウ（0.45m³）により平坦に均し、重機足場を確保し丸太杭打設時の転倒防止をはかる。

丸太杭の運搬は、資材置場からクレーン付バックホウ（0.45m³）を使用して作業場所まで小運搬する。

丸太杭建込み作業は、人力を基本としてバックホウの用途外使用を避ける。

丸太杭打込作業は、バックホウ又はオーガー使用杭打機を用いて圧入する。

丸太杭の垂直度確認は重機の操作を止めて、水準器により2方向を確認しながら圧入する。

丸太杭打設時、表層が硬い場合や丸太杭打設が困難な場合はオーガーにより先行穿孔して施工する。この際に掘削深さは最小限とする。

8.1.4 丸太杭打設時の安全対策

- (1) 丸太杭打設時の作業員と重機の接触防止のため、丸太杭打設時は、重機作業範囲内は立入禁止とする（カラーコーンによる立入禁止措置の明示）。
- (2) 作業場所と材料置場を考慮して、作業半径内に障害物の無いように計画する。
- (3) 重機足場を確保して、重機の転倒防止をはかる。
- (4) 丸太杭打設開始・終了合図は、重機運転手の見える位置で合図する。
- (5) 重機アタッチメントの状況を常に点検をし、挟まれ防止をはかる。
- (6) 機材・資材搬入は、他工事と調整して実施する。

8.2 施工管理

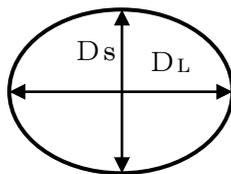
8.2.1 品質管理

使用する丸太杭は、設計の寸法を満足し、有害な腐朽・割れなどの欠損がないことを確認する。

(1) 丸太径

平均末口径（Da）は、 $Da = (DL + Ds) \div 2$ で求め、小数点以下切り捨てのcm単位とする。

丸太末口断面



DL：最長末口径
Ds：最短末口径

(2) 丸太長さ

丸太長Lは、設計長を満足すること。

(3) 丸太杭の加工

丸太杭は、皮剥ぎ加工を行うこと。

切断面は、可能な限り杭軸に直角に切断すること。

(4) 腐朽

使用する木杭の腐朽は、JIS K 1571に示される腐朽度評価基準を用い、目視による被害度を2以下とすること。ただし、被害度が3以上のものであっても最も腐朽が進行している箇所のピロディン貫入試験によるピン貫入量が30mm未満のものは、被害度を2以下とみなして良い。

表-8.2.1.4.1 腐朽度評価基準

被害度	観察状態	判定
0	健全	○
1	部分的に軽度の虫害または腐朽	○
2	全面的に軽度の虫害または腐朽	○
3	2つの状態のうえに部分的に激しい虫害または腐朽	×
4	全面的にはげしい虫害または腐朽	×
5	虫害または腐朽により形がくずれる	×

丸太杭曲がり断面図



(5) 曲がり

丸太杭の曲がりは、丸太杭の両端中心線を結ぶ直線が丸太杭外側に出ないこと。

(6) 品質記録（出荷記録）

品質記録として、1本毎の丸太について、①平均末口径、②長さ、③産地証明、④腐朽度の判定、⑤曲りの良否、⑥出荷日を記録する。

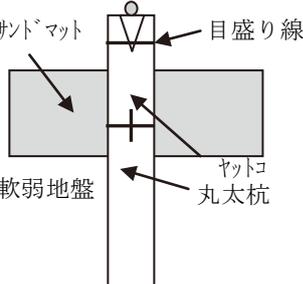
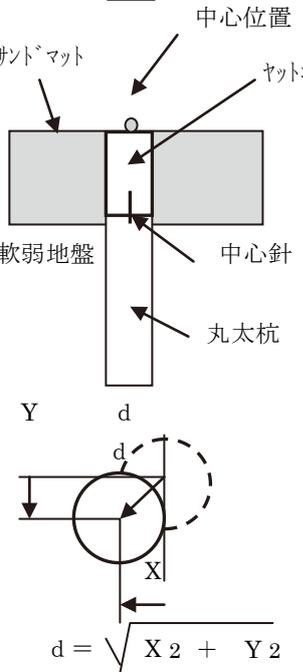
また、平均末口径と長さは、別途、丸太に専用チョークで直接記入すること。

※材料検収は材料搬入日に1回もしくは、100本に1回抜取り検査を実施し、DL、DS、L、腐朽判定、曲りを確認する。

8.2.2 出来形管理

丸太杭の出来形管理基準は、表-8.2.2.1出来形管理基準一覧表のとおりとする。

表-8.2.2.1 出来形管理基準一覧表

工種	測定項目	規格値 (mm)	測定基準 (※ 測定基準は、 パイル工法に準 拠する。)	測定箇所
丸 太 杭 工 事	基準高	※ ±50	丸太頭部に設置 したヤットコの 高さで測定 (100m ² に1箇 所以上、100m ² 未満は2箇所測 定)	
	偏心量	※ ±100	ヤットコ中心で測定 サンドマット表面高 さにヤットコ頭部を 打設した時点で 測定 (100m ² に1箇 所以上、100m ² 未満は2箇所測 定)	
	鉛直載荷試験	設計荷重以上	1回/500本 (最低3回)	

8.3 施工時の留意事項

8.3.1 施工前

- (1) 施工にあたり測量を行い、現地の地形を詳細に把握し、設計図書通りの施工が可能かどうかを確認する。
- (2) 腐朽防止のため、丸太杭頭は地下水位より下に位置することを確認する。
- (3) 試験打ちは本工事に先立って必要に応じて実施するものとし、打ち止め位置の確認をするとともに選定した工法、施工機械が適切であるか否かを確認する。
- (4) 地下埋設物が近接する場合は、図上調査の他、試掘等原位置での確認を必要に応じて行う。
- (5) 施工箇所が家屋に近接する場合は、振動騒音などの周辺環境に影響を与えないように配慮する。

8.3.2 杭打ち込み

- (1) 本工法では、一般に杭一本に期待する支持力は小さいので、打ち込機械の重量の小さいもので、杭頭の破損が無い程度に支持層に到達させる。
- (2) 杭打ち施工により周辺地盤が乱されるため、強度の回復（約1週間）を待って次工程を進める。
- (3) 中間砂層等により打設困難となった場合、速やかに監督員と協議し高止まりとして杭頭を切断する等の判断を行う。

現場載荷試験の結果、バックホウを用いた場合、最大で下記の荷重を載荷できることを確認した。

したがって、設計計算での支持力と比較して、下記の荷重の方が大きい場合は、バックホウの押し込み不可能な段階で杭の打ち止めとしてよい。逆の場合は、杭の配置計画を見直すなどの対処を行う。

表-8.3.1 現場載荷試験結果

	ジャストポイント(90°)	アームが伸びきった場合(135°)
バックホウ0.25m ³ 級	25kN	20kN
バックホウ0.45m ³ 級	30kN	25kN

- (4) 土留め矢板を打設する場合は、丸太杭の打設深度よりも浅くすること。
- (5) 側方変形を防止するため盛土材のまきだしは、できるだけ均一な厚さにするよう十分注意する必要がある。

8.3.3 施工安全

- (1) 本工法は軟弱地盤に計画されることが多いので、杭施工機械の転倒事故が発生しないよう対策を講じる。
- (2) 打込み作業中は、機械周囲の立入禁止措置を行い安全を確保する。

8.4 腐朽対策の方法

丸太杭を地下水位以浅で使用する場合、何等かの防腐対策を行わなければならない。具体的には、丸太杭に防腐処理する方法や丸太杭に酸素が供給されないように盛土部分の透水係数を

小さくする方法、コンクリート杭に置き換える方法等がある。

8.5 出来形管理基準および規格値

丸太杭打設工の出来形管理基準および規格値は、土木工事共通編の一般施工の地盤改良工の
パイルネット工に準拠する。また、サンドマット工の出来形管理基準および規格値は、土木工
事共通編の一般施工の地盤改良工のサンドマット工に準拠する。

第9章

他工法との経済比較

第9章 他工法との経済比較

9.1 ボックスカルバート

従来の工法選定では、丸太杭は杭基礎として検討されるため不経済、支持層が不明との理由で工法選定の対象にならなかった。従来工法（固化改良、コマ型基礎）と丸太杭工法を経済比較すると丸太杭の方が安価である¹⁾。

【解説】

従来の工法選定では、丸太杭は直接基礎として検討されるため不経済、支持層が不明との理由で工法選定の対象にならなかった。第5章の考え方に基づき設計すると従来工法（固化改良、コマ型基礎）より安価となる。また、コマ型基礎の場合、コマ型基礎に置き換えた分だけ残土処分が発生するが、丸太杭の場合、残土処理が発生しないため残土処分費用がかからない。セメント改良の場合は、六価クロム発生など周辺環境への影響に留意する必要があるが、丸太杭の場合は不要である。

9.2 プレキャストL型擁壁

従来の工法選定では、丸太杭は直接基礎として検討されるため不経済、支持層が不明との理由で工法選定の対象にならなかった。コマ型基礎と丸太杭を経済比較すると丸太杭の方が安価である¹⁾。

【解説】

従来の工法選定では、丸太杭は直接基礎として検討されるため不経済、支持層が不明との理由で工法選定の対象にならなかった。第6章の考え方に基づき設計するとコマ型基礎より安価となる。また、コマ型基礎の場合、コマ型基礎に置き換えた分だけ残土処分が発生するが、丸太杭の場合、残土処理が発生しないため残土処分費用がかからない。

9.3 道路路体

福井県では、これまで道路路体の不等沈下対策はほとんどされていなかったのが実情である。道路路体対策を行う場合、固化改良工法と丸太杭工法を経済比較すると丸太杭の方が安価である²⁾。

【解説】

福井県では、これまで軟弱地盤で道路を建設する場合、表層改良工法で路床改良後、舗装を行い、交通解放後、経過年数に伴って舗装に亀裂が生じたり不等沈下して補修することが多かった。

よって、道路路体の不等沈下対策はほとんどされていなかったのが実情である。道路路体対策を行う場合、固化改良工法と丸太杭工法を経済比較すると丸太杭の方が安価である。

以下の場合有利であるといえる。

- (1) 改良面積が100m²と小さい場合
- (2) 上載荷重が小さい場合

(3) 丸太間隔1.0m程度となった場合

(4) 改良深度2.0m以上が必要となる厚い軟弱地盤の場合（標準的な改良工法「バックホウ混合」が適用できない場合）

参考文献

- 1) 久保光, 吉田雅穂, 沼田淳紀, 平山竜朗, 正田大輔: 福井県における小規模構造物の軟弱地盤に杭丸太を用いた施工事例, 木材利用研究論文報告集, pp.67-73, 2012.
- 2) 福井県雪対策・建設技術研究所: 県産間伐材を活用した浅層地盤改良工法の研究開発 産学官共同研究報告書, p.135, 2010.

第10章

参 考 资 料

第10章 参考資料

10.1 丸太杭周面支持力の現場確認

10.1.1 敦賀港における現場実験¹⁾

本実験では、埋土地盤を人工的に作製し、そこに実大規模のスギ丸太を打設し、それによる地盤対策効果の検討を行った。その結果、丸太の周面支持力の安全率は、当初の倍程度となり、時間の経過とともに安全側へ移行することが明らかとなった。

【解説】

打設した丸太の周面支持力を求めるために、丸太の引き抜き試験を行った。

図-10.1.1に、丸太引き抜き試験の概念図を示す。軟弱地盤表面から深さ30cm程度地盤を掘り下げ、丸太頭部にワイヤーロープを巻き付けた後、丸太をクレーンで鉛直方向に引き抜いた。その際、クレーンの吊上げ荷重をまず1kN載荷し、1分間変位が生じなければさらに荷重を1kN上昇させ1分間待つという作業を繰り返した。吊上げ荷重は、クレーンのフックに取り付けた最大100kNまで計測可能なロードセルで計測した。また、引き抜き時の丸太の変位量は、丸太頭部に取り付けられた巻取り式変位計で計測した。

図-10.1.2に、丸太の引き抜き試験位置を示す。丸太の引き抜き試験は、排水機能付き丸太1本、丸太打設間隔0.5mおよび1.0mでそれぞれ1本ずつ合計3本実施した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 丸太間地盤の換算 q_u は、SW試験結果より、丸太打設直前の値と比べ1年後には、丸太打設間隔1.0m区画で約1.5倍、0.5m区画で2倍以上大きくなった。
- (2) 丸太引き抜き試験より求められる粘着力とSW試験結果を比較すると、丸太打設から1年後のSW試験結果からの換算 q_u は、平均値に比べ0.55~0.65倍であり、ばらつきの下限值付近に位置した。
- (3) 安全率は、地盤対策当初に比べ1年後には2倍程度まで増加し、実際の丸太寸法を考慮した場合には設計時の約1.2倍となる。

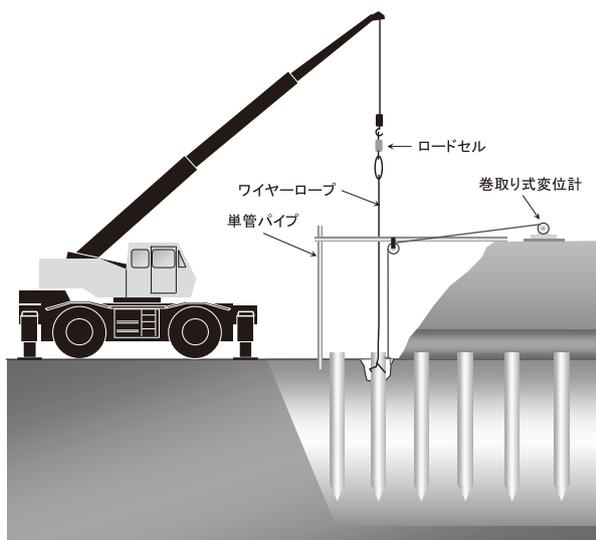


図-10.1.1 丸太引き抜き試験概念図

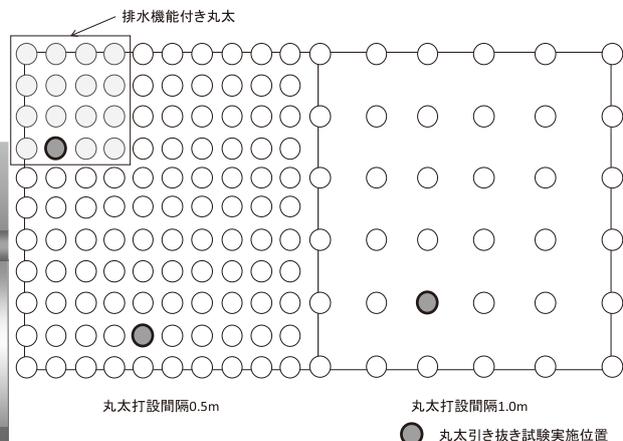


図-10.1.2 丸太引き抜き試験位置

10.1.2 佐賀県における現場実験²⁾

平成19年1月、佐賀県木材利用研究会では、施工後45年経過した樋門基礎の鉛直載荷試験を実施した。その結果、丸太杭1本当たりの許容支持力では、実質上2.0程度の安全率が見込まれていたことになる。

試験後に引き抜いた丸太杭表面には厚さ1cm程度の粘土付着が認められた。この粘土付着確認により、丸太杭周面直近での粘土面の破壊が推定され、丸太杭の周面摩擦力度は、粘土の粘着力とほぼ同等との判断もできた。

【解説】

佐賀県南部の白石町大字戸ヶ里、二級河川廻里江川1k500付近左岸に位置する3連樋（1.6m×1.7m×3連、L=10m、基礎木杭末口径約18cm長さ8m）であり、樋門改築が計画されていた。既設樋門の取壊し前に、中央函渠部において鉛直載荷試験（1ヶ所）を行った。地質特性は、N値0のシルト層が約14m、その下にN値10程度の軽石混じり火山灰質砂層が堆積していた。

鉛直載荷試験のlog(P)～S曲線、log(P)～log(P)曲線より、極限支持力は135.0kN、降伏荷重は110.0kNと判定した。

現地土質試験結果より算出した丸太杭1本当りの極限支持力は98kNであった。丸太杭1本当たりの許容支持力では、実質上 $1.5 \times 135.0 / 98.0 = 2.0$ 程度の安全率が見込まれていたことになる。

10.2 文献調査³⁾

文献調査の結果、以下のことが分かった。

- (1) 地下水位変動域や地下水位変動域以浅に設置された木材は、腐朽しているものと健全なものがある。
- (2) 地下水位変動域以深に設置された木材は、樹種に関係なく100%が健全であり、このような環境下では土木資材として十分な期間健全性を保つことがわかった。
- (3) 土木資材としては一般にカラマツ、ベイマツを含めたマツが多く使われるが、スギについても同様に地下水位変動域以深では健全性を保つことがわかった。
- (4) 収集されたスギは、設置期間が最大で26年であり、今後さらにデータを集め長期健全性を明らかにする必要がある。

【解説】

10.2.1 調査方法

調査の目標は、木材使用時に課題となる腐朽についての現状である。そこで、調査対象は、主に構造物基礎を対象とした地中にある木杭と、河川工事に使用される木材とした。調査対象とした資料は、(1)土木学会年次学術講演会論文集（1999年～2006年の8年分）、(2)地盤工学会地盤工学研究発表会講演概要集（2002年～2006年の5年分）、(3)その他であり、全部で53の文献である。

調査項目は、(1)対象構造物、(2)木材用途、(3)使用場所、(4)施工時期、(5)調査時期、(6)設置期間、(7)樹種、(8)木材寸法、(9)地盤との関係、(10)地下水位、(11)木材の腐朽状態（地下水位以浅、変動域、地下水位以深）、(12)その他である。

10.2.2 調査結果

53の文献より、47地点のデータが得られた。得られたデータの内約2割が鉄道または道路橋梁

の基礎であり、約2割がビルまたは住宅の基礎であり、約4割が河川構造物である。47地点の樹種の内訳は、松または松杭と記述されたものが3割である。この中には、カラマツ（カラマツ属）、アカマツ（マツ属）、ベイマツ（トガサワラ属）が含まれると考えられるが、これらを総称して松杭とすると、松杭は全体の約4割である。一方、スギも全体の約4割を占める。図-10.2.1に、構造物基礎とし、鉄道および道路橋基礎、ビル住宅基礎、火力発電所水路基礎に用いられた木材の樹種を示す。不明を除けば、全てがカラマツ、アカマツ、ベイマツを含めた松杭である。図-10.2.2に、河川構造物に用いられた木材の樹種を示す。約2割がアカマツ、ベイマツを含めた松杭であるが、残り8割はスギである。これは、一般的にスギはカラマツ、ベイマツと耐朽性は同等で、アカマツやクロマツなどよりも耐朽性が高いことや、近年聖牛のような過去使用された工法を見直し木材を使用することがあり、この際現在大量に存在しているスギを使用したということが考えられる。図-10.2.3に、木材の設置期間を示す。約半数が10年未満であるが、約2割は50～100年であり、データの中で最も古いものは、浜松町駅近くの山手線および京浜東北線のレンガ造アーチ高架橋基礎の90年であった。

図-10.2.4～図-10.2.6に、それぞれ地下水位変動域以浅、変動域、変動域以深における腐朽状態を示す。地下水位変動域以浅や変動域では、健全であったものが6割あるが、腐朽したのも4割であることがわかる。このように、地下水位変動域以浅では、腐朽する場合としない場合があるようであり、今後どのような条件でこのような差が生じるのかを明らかにしていく必要がある。一方、地下水位変動域以深では、100%が健全であり、地下水位以深では腐朽が進行しないことが過去のデータから明かとなった。

図-10.2.7に、地下水位変動域以深における樹種の割合を示す。樹種は、カラマツ、アカマツ、ベイマツを含めた松杭が5割以上を占め、スギも3割近く存在している。一般に、土木工事に用いる木材にはカラマツやベイマツを含めた松杭が使用されているが、スギも地下水位以深であれば腐朽が進行せず健全であることがわかる。図中には、それぞれの樹種の内、最も古かった年代を併記した、アカマツ、ベイマツ、松杭はいずれも50年以上経過したものがあり、水中下であればかなりの長期間健全な状態を保つことが確認された。一方、スギは調査した範囲では最大で26年であった。

以上より、今回の調査範囲で木材は、地下水位変動域以深であれば樹種に関係なく、腐朽は進行せず健全であることが分かった。一般に土木工事に用いる木材には松杭が多く使われ、腐朽に対しても抵抗性が高いように思われているが、スギであっても地下水位変動域以深であれば抵抗性が高いことがわかる。なお、旧建築基礎構造設計基準によればスギは、アカマツ、クロマツ、カラマツ、ベイマツと比べると圧縮強度は低く、木材の分野ではスギの耐朽性はカラマツ、ベイマツと同等でありアカマツやクロマツよりもむしろ優れているとされている。

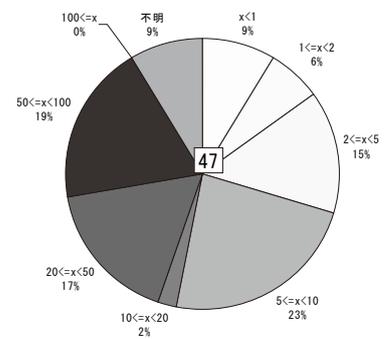
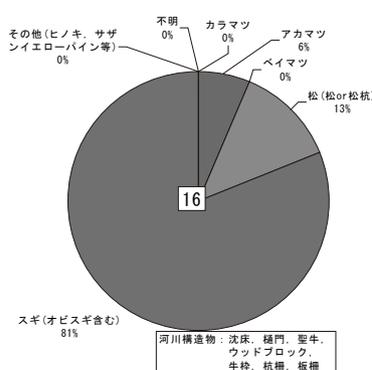
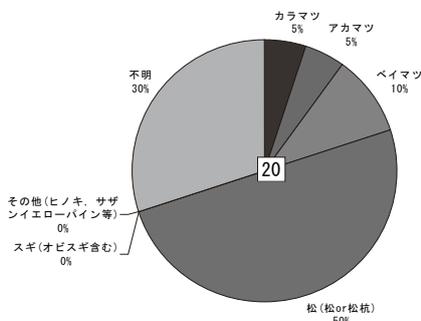


図-10.2.1 基礎・ビル住宅基礎に用いられた木材の樹種 図-10.2.2 河川構造物に用いられた木材の樹種 図-10.2.3 木材の設置期間

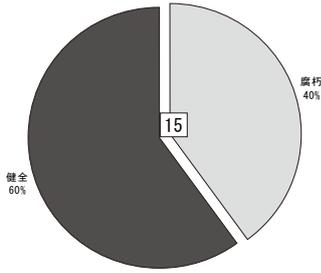


図-10.2.4 地下水位変動域以浅における腐朽状態

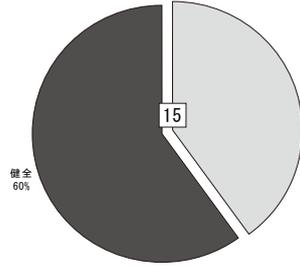


図-10.2.5 地下水位変動域における腐朽状態

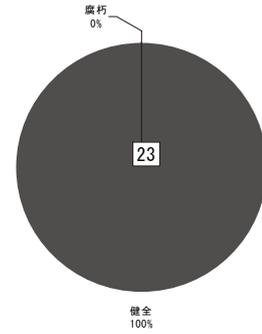


図-10.2.6 地下水位以深における腐朽状態

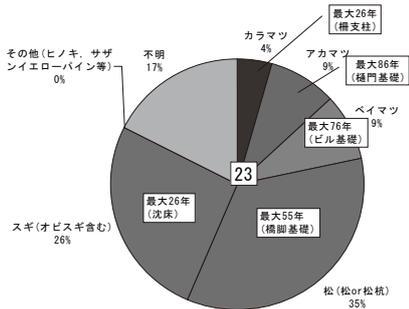


図-10.2.7 地下水位変動域以深における樹種

10.3 木杭基礎の掘出し調査³⁾

平成16年7月の福井豪雨では、福井市内を流れる足羽川の堤防決壊等により甚大な被害が発生した。その後、福井県では足羽川河川激甚災害対策特別緊急事業が採択され、平成16年度より5ヶ年計画で、河床掘削や橋梁架替等の工事（一部は福井縦貫線幸橋整備事業）が進められた。その工事の最中、足羽川河床より昔の橋梁の基礎と思われる丸太状の木杭が数多く発見された。

地球温暖化対策の一手段として木材の地中貯蔵によるカーボンストックに着目し、かつては土木工事において使用されてきた木杭利用の復活を提案しているが、金属やコンクリートに比べて木材の場合は腐朽による強度低下の心配があるため、現在では木材が基礎杭として利用される事例は極めて少ないのが現状である。しかしながら、近年、長期間地中や水中にあった木杭が健全な状態で発掘された事例が数多く報告されており、それらの腐朽程度や強度特性を定量的に明らかにすることは非常に意義深いことと考え、足羽川において掘り出された木杭の調査結果を示す。

【解説】

10.3.1 調査概要

木杭は足羽川の水越橋、幸橋、木田橋の架替工事現場において発見された。各橋梁の位置を図-10.3.1に示す。掘出し地点の様子を写真-10.3.1、地盤柱状図を図-10.3.2に示す。

(1) 水越橋

水越橋の約100m上流側の地点より、直径約30cm、長さ約5mの木杭3本と直径約10cm長さ1~2mの木杭9本が掘り出された。現場付近在住の技術者より、1958（昭和33）年の橋梁拡

張工事の際に設置された仮設歩道用の木橋の基礎杭との証言を得ており、設置期間は48年と推定できる。今回、掘り出された木杭の中では杭径、杭長ともに最も大きく、樹齢も100年以上と古かった。図-10.3.2(a)の柱状図に示す木杭の深度は、杭の観察より河川内の地盤表面位置を推定したものであり、杭頭は約1m河床より突出し、杭の大部分は砂層に貫入されていたと考えられる。

(2) 幸橋

幸橋からは直径約20cm、長さ約2mの木杭2本が掘り出された。幸橋は1932（昭和7）年に木橋から鉄筋コンクリート橋に架け替えられたが、掘り出された木杭はそのP7橋脚基礎として使用されていたものであり、設置期間は74年と推定できる。掘出し作業は鋼矢板で川を締切り行われ、写真-10.3.1(b)に示すように河床には多数の木杭が0.9～1.0mの間隔で打設されており、杭長は1.4m～5.7mとばらついていた。図-10.3.2(b)の柱状図に示すように、表層付近に礫質土と礫混じり砂層があり、比較的N値も大きいことから、これらの層を支持層としていたと考えられる。

(3) 木田橋

木田橋からは直径30cm、長さ3.5mの木杭1本が掘り出された。掘出し位置は現在の木田橋近くに架かっていた1928（昭和3）年施工の銭とり橋の橋脚基礎であり、設置期間は78年と推定できる。木杭は川のほぼ中央にあり、河川を鋼矢板で締切り河床面まで水位を下げて掘り出された。掘出し時には杭頭部約1.4mが地盤より上に出ていたが、試験室に搬入された木杭を観察すると、杭頭部約1.1mが長期間水で洗われたように滑らかに削られた痕跡があり、その上部が地盤表面より突出していたと考えられる。図-10.3.2(c)に示すように杭頭部が1.1mほど地盤より突出していたとすると、粘土層の下部にある砂質シルト層に杭先端があり、杭の大部分は粘土層内にあったと考えられる。杭頭部は水中に没していたと考えられるが、渇水期には水位面より上に存在していたと推測できる。



図-10.3.1 木杭の掘出し地点
(国土地理院2万5千分の1地形図「福井」)



(a) 水越橋



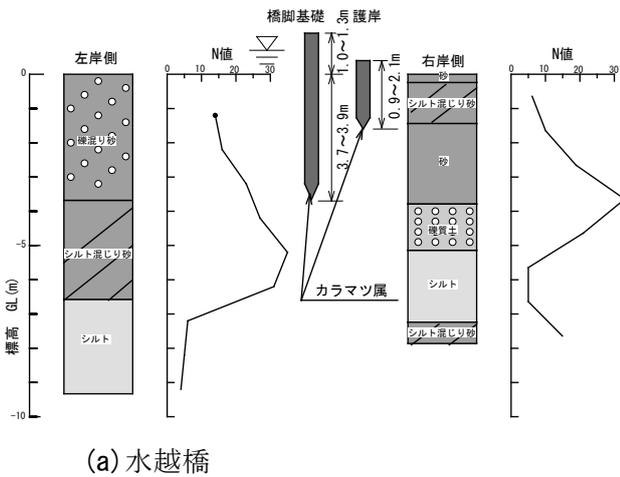
(b) 幸橋



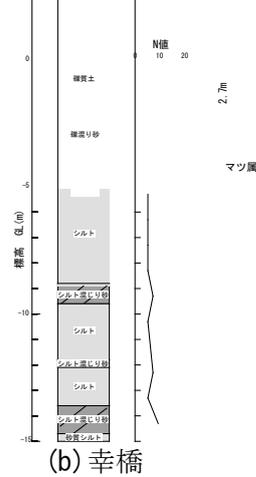
(c) 木田橋

写真-10.3.1 木杭の掘出し状況

杭設置期間：推定1958年～2006年（推定48年）



杭設置期間：1932年～2006年（74年間）



杭設置期間：1928年～2006年（78年間）

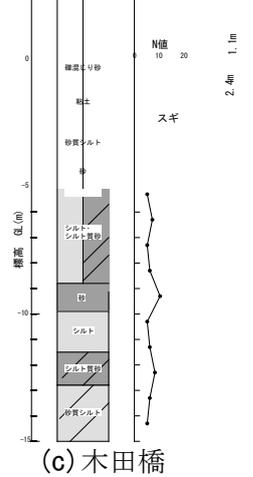


図-10.3.2 木杭掘出し地点の地盤柱状図

10.3.2 調査方法

(1) 目視による腐朽度評価

表-10.3.1に示す「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準（JIS K 1571:2004）」に従い、A、B、Cの3名の評価者が目視により丸太の腐朽度を判定した。

なお、水越橋上流で護岸基礎として使用されていた丸太9本（AswMk04～12）については、腐朽の程度についてはいずれも同程度のように見えたので、割れていない（全周が残っている）ことおよび大きな節（こぶ）が無いことを基準として、AswMk05、06、08の3本を試験対象とした。後述する強度試験等もこの3本について実施した。

表-10.3.1 腐朽度の評価基準

腐朽度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽
5	腐朽によって形が崩れる

(2) ピロディン貫入試験

掘り出した木杭から深度方向に50cm間隔で厚さ10cmの円盤を切り出し、これについて放射方向（表面）48点のピロディン貫入試験を実施した。なお円盤は、気乾状態と飽水状態の2通りの水分状態のものを作成し試験に供した。

(3) 縦圧縮試験

JIS（JIS Z 2101-1994）に準拠し木材試験体の縦圧縮試験および平均年輪幅と含水率の測定を行った。

10.3.3 調査結果および考察

表-10.3.2に調査結果一覧を示す。

(1) 目視による腐朽度評価

図-10.3.3～図-10.3.11にAswMk01、AswMk02、AswMk03、AswMk05、AswMk06、AswMk08、AswSw01、AswSw02、AswKd01の腐朽度評価の結果を示す。それぞれの判定の標高は各区間の中央値とし、実線は3者の平均値である。同図より、GL-1m以深では評価度の平均値が1以下となっており、健全であることがわかる。

(2) ピロディン貫入試験の結果

各木杭の深さ方向のピロディン貫入量について、飽和資料および気乾資料それぞれの結果をまとめたものを図-10.3.12～図-10.3.20に示す。各グラフには見やすさのために腐朽の目安となる貫入値30mmの線を引いた。同図から、半径方向の貫入量は気乾状態および飽和状態の双方においていずれの木杭においても基本的に30mmを下回っており、腐朽していないことが明らかとなった。軸方向の貫入値は30mmを超えている場合があるが、これは腐朽していない木材においても木材の軸に近い部分などでは一般的な値である。

(3) 縦圧縮試験の結果

試験結果の代表例として、図-10.3.21に木田橋の木杭（樹種：スギ属）について深度ごとの縦圧縮強さを示した。比較のために、1974年版日本建築学会「木構造設計基準・同解説」に示された杭材に関する普通構造材の繊維方向許容応力度のスギについての数値（長期応力に対する値、気乾状態、図中に「許容応力度」と表示）および、その湿潤状態に適用する値（気乾状態の70%、図中に「同湿潤時」と表示）の線を、さらにスギの標準的な圧縮強度（木材工業ハンドブックに掲載の平均値、図中に「気乾材標準値」と表示）の線を示した。

この図から、このスギ属の木杭の縦圧縮強度は標準的な値よりは弱いものの、許容応力度よりは高い値となっており、強度が大きく低下した訳ではなく健全性を保っていると評価された。これによりスギ属が木杭として利用できる可能性が、ピロディン試験だけでなく圧縮強度の結果からも示された。

表-10.3.2 調査結果一覧

項目	内 容															
	水越橋上流											幸橋付近		木田橋付近		
木杭No.	Asw Mk01	Asw Mk02	Asw Mk03	Asw Mk04	Asw Mk05	Asw Mk06	Asw Mk07	Asw Mk08	Asw Mk09	Asw Mk10	Asw Mk11	Asw Mk12	Asw Sw01	Asw Sw02	Asw Kd01	
用途（構造物名称）	橋脚基礎			護岸基礎									橋脚(旧P7)基礎		橋脚(旧銭とり橋)基礎	
施工時期	1958(昭和33)年と推定			1958(昭和33)年と推定									1932(昭和7)年		1928(昭和3)年	
調査(採取)時期	2006年			2006年									2006年		2006年	
設置期間	48年と推測			48年と推測									74年		78年	
年輪数*	114	150	116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	33	43	
樹種鑑定	実施	実施	-	-	実施	-	-	実施	-	-	-	-	実施	実施	実施	
樹 種	カラマツ属(樹種鑑定非実施のものも同種と推定)											マツ属	スギ属			
丸太寸法	全長(m) (うち地中部(m)**)	4.8 (3.7)	4.9 (3.6)	4.9 (3.9)	2.1 (不明)	1.5 (不明)	1.3 (不明)	1.2 (不明)	1.1 (不明)	1.1 (不明)	1.1 (不明)	1.1 (不明)	0.9 (不明)	2.7 (不明)	2.2 (不明)	3.5 (2.4)
末口直径(m)	0.31	0.27	0.31	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.17	0.17	0.30	
元口直径(m)	0.32	0.28	0.31	0.12	0.12	0.12	0.14	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.18	0.18	測定不能(欠損)	
地盤との関係	砂層			砂層									礫質土。杭先端部は礫混じり砂層		多くは粘性土。杭先端部は砂質シルト層	
地下水位位置	杭頭部は地盤より突出一部河川水位より上に出る			杭頭部は地盤より突出一部河川水位より上に出る									地盤表面より上に河川水位		杭頭より上に河川水位	
水の種別	淡水			淡水									淡水		淡水	
その他													先端に金属製キャップが付属。			

*：複数の計測結果の平均値。 **：地中部の長さは土砂付着状況や流水による侵食痕などにより推定。

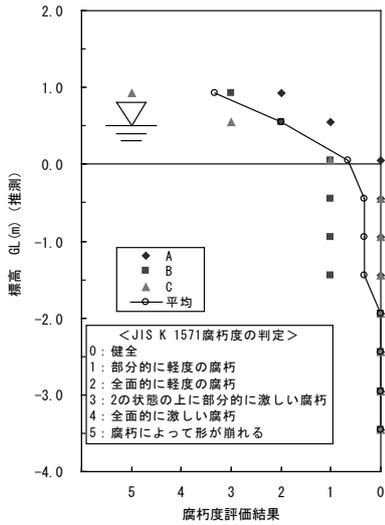


図-10.3.3 腐朽度評価結果
(AswMk01:水越橋上流地点, カラマツ属)

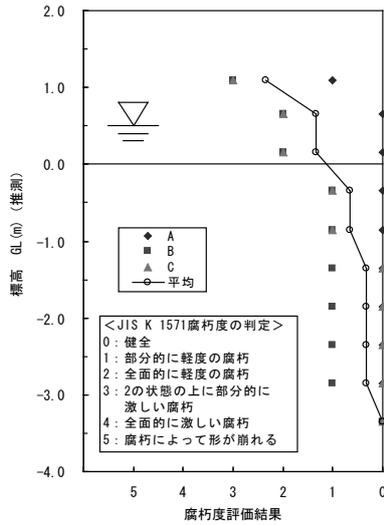


図-10.3.4 腐朽度評価結果
(AswMk02:水越橋上流地点, カラマツ属)

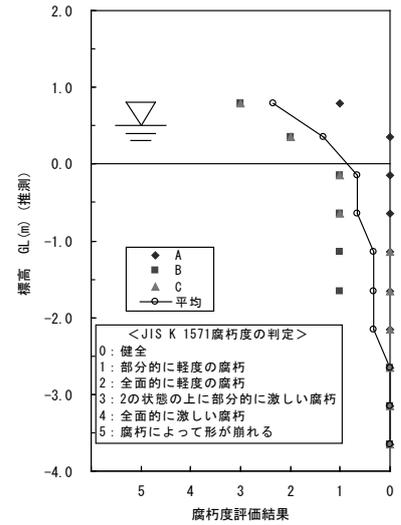


図-10.3.5 腐朽度評価結果
(AswMk03:水越橋上流地点, カラマツ属)

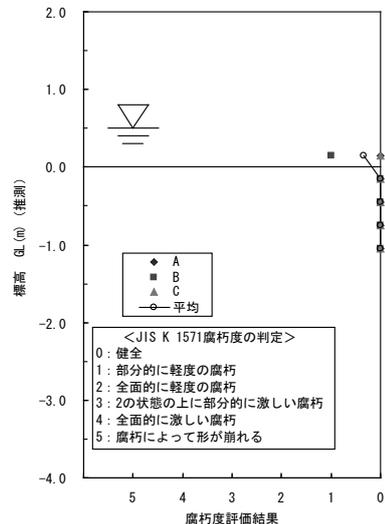


図-10.3.6 腐朽度評価結果
(AswMk05:水越橋上流地点, カラマツ属)

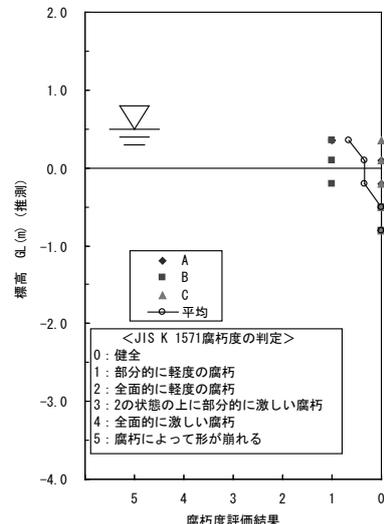


図-10.3.7 腐朽度評価結果
(AswMk06:水越橋上流地点, カラマツ属)

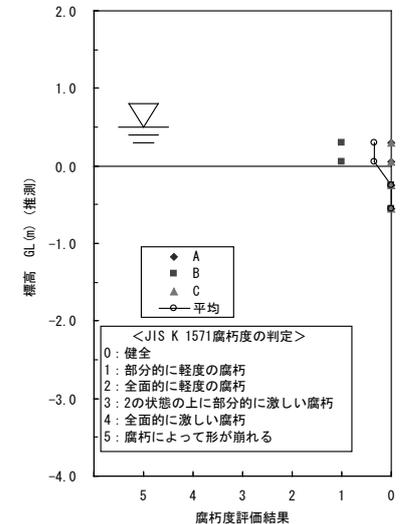


図-10.3.8 腐朽度評価結果
(AswMk08:水越橋上流地点, カラマツ属)

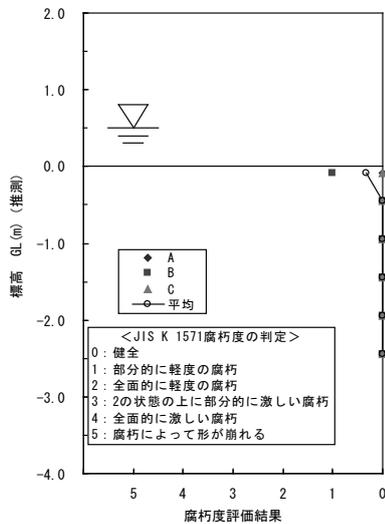


図-10.3.9 腐朽度評価結果
(AswSw01:幸福地点, マツ属)

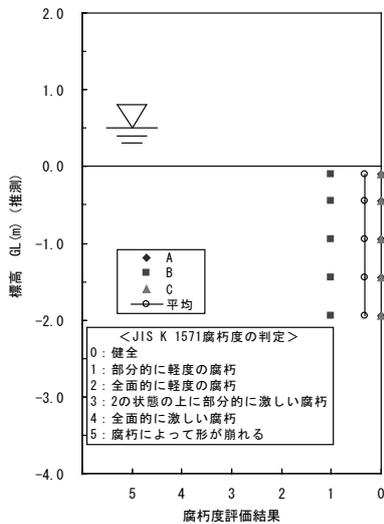


図-10.3.10 腐朽度評価結果
(AswSw02:幸福地点, マツ属)

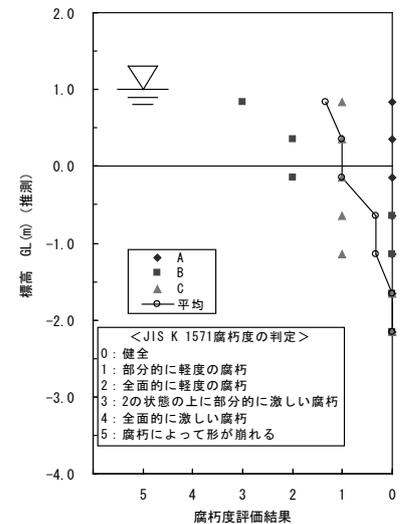


図-10.3.11 腐朽度評価結果
(AswKd01:木田橋地点, スギ属)

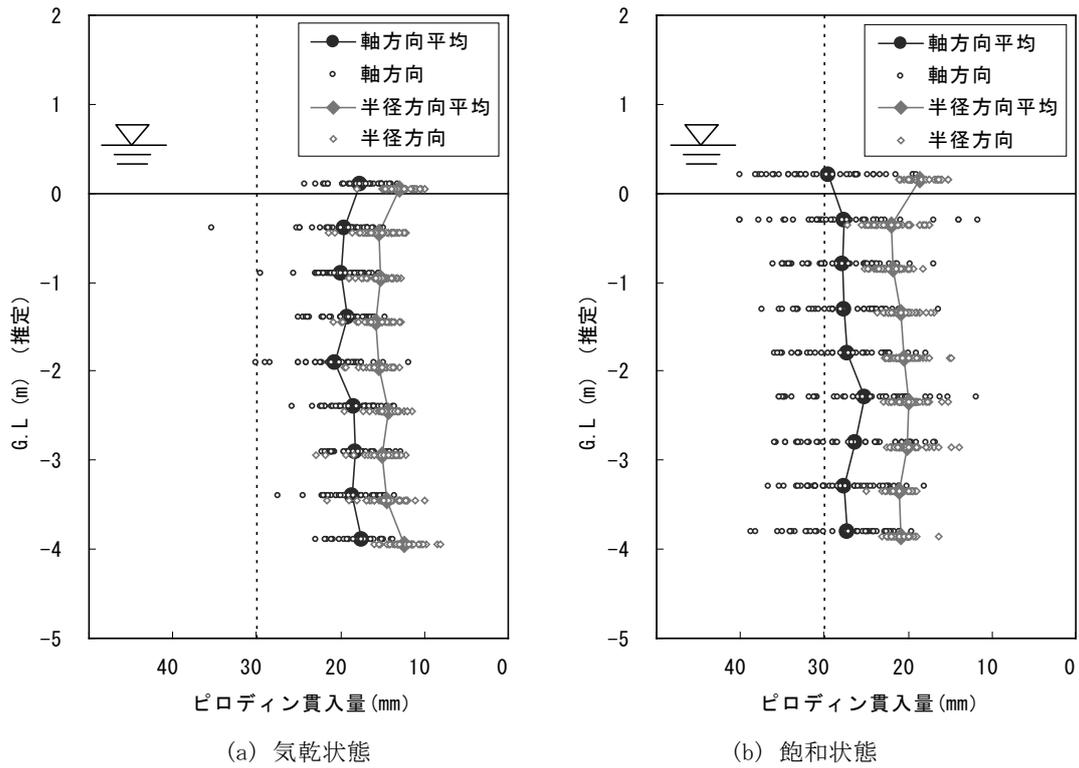


図-10.3.12 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk01:水越橋上流地点, カラマツ属)

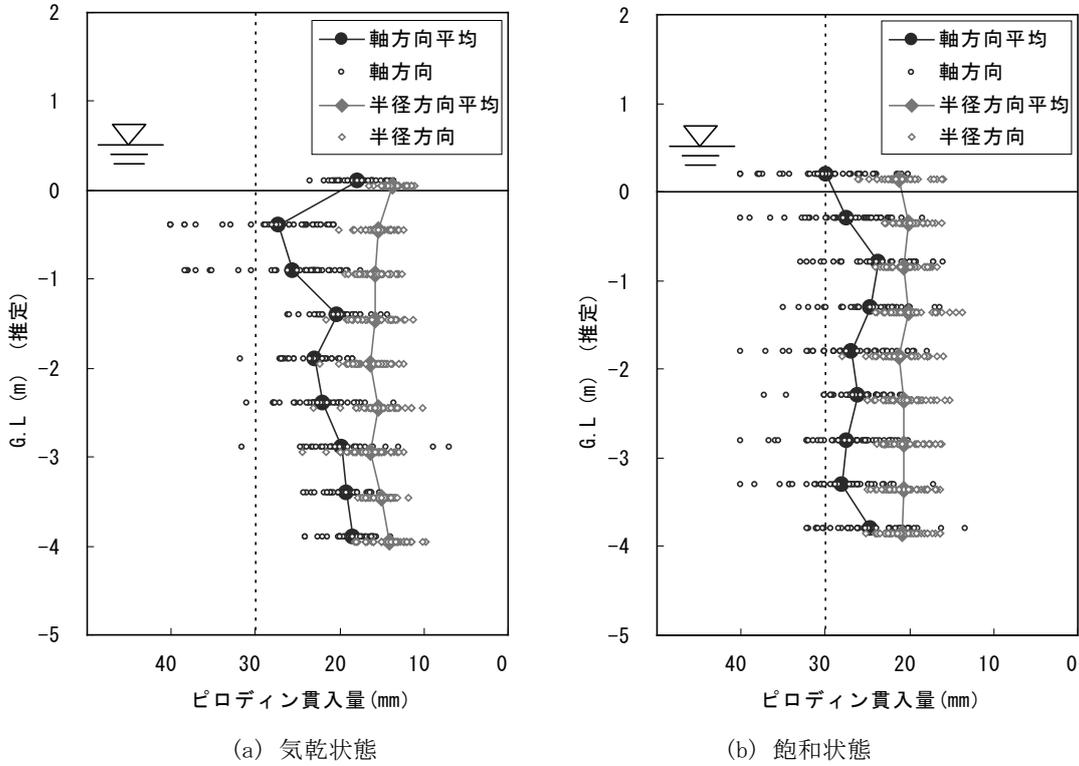


図-10.3.13 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk02:水越橋上流地点, カラマツ属)

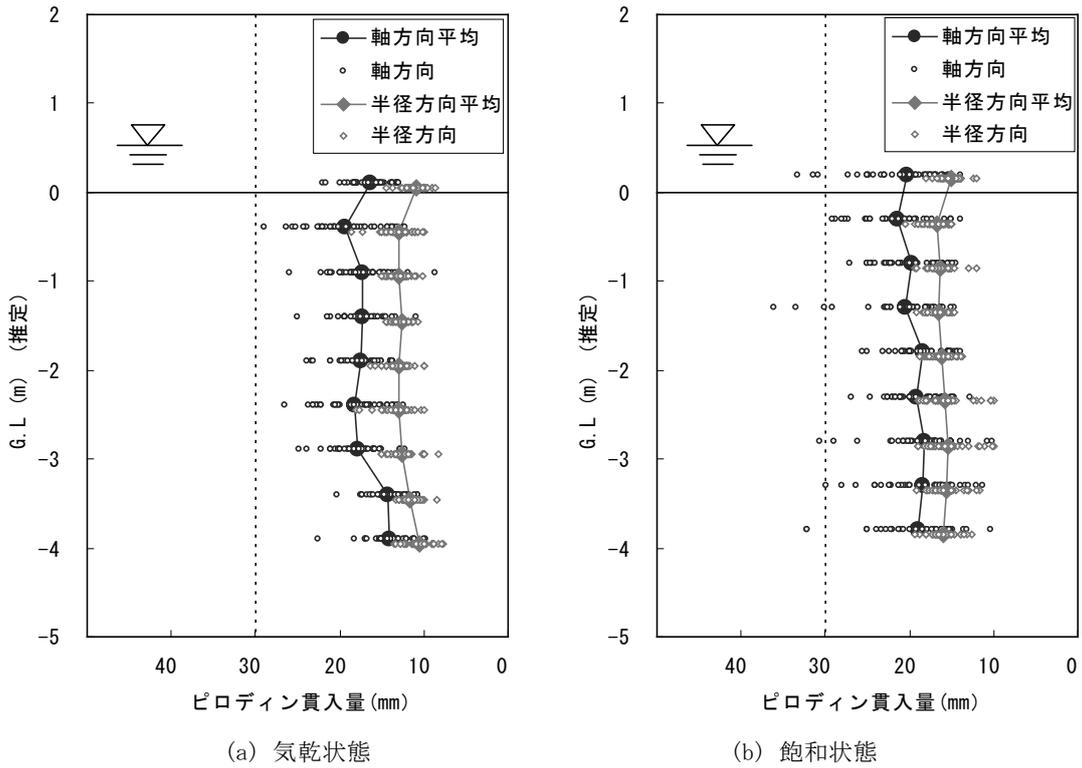


図-10.3.14 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk03:水越橋上流地点, カラマツ属)

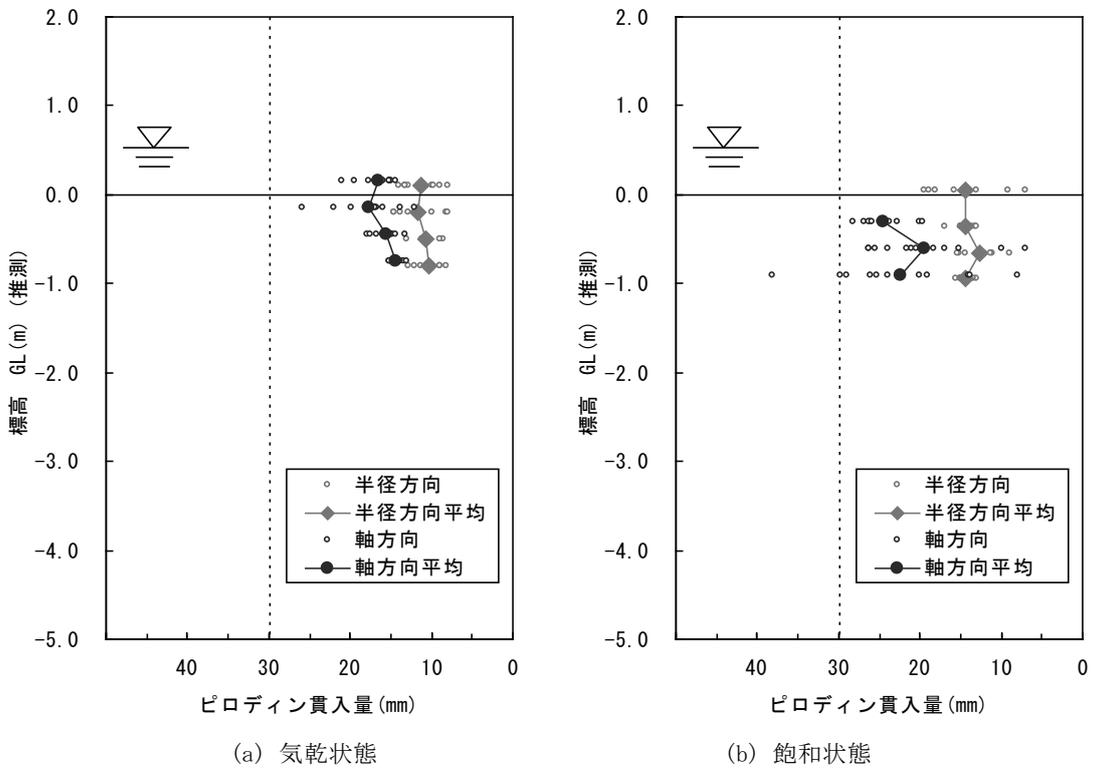


図-10.3.15 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk05:水越橋上流地点, カラマツ属)

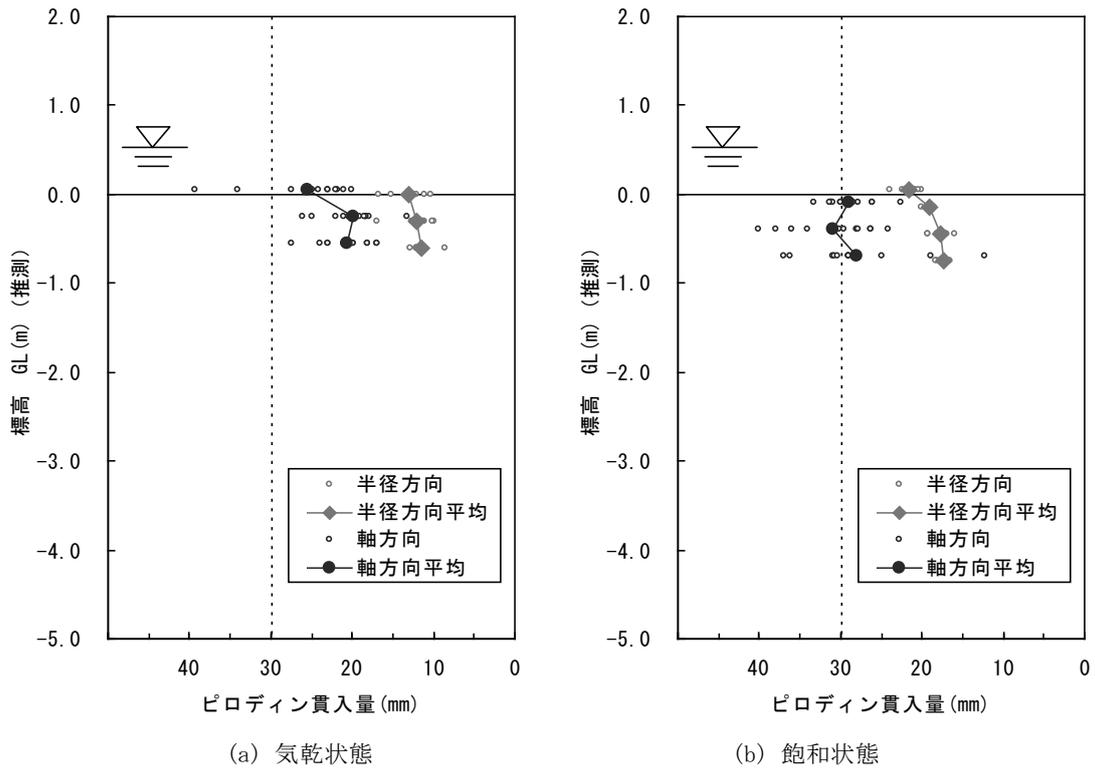


図-10.3.16 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk06:水越橋上流地点, カラマツ属)

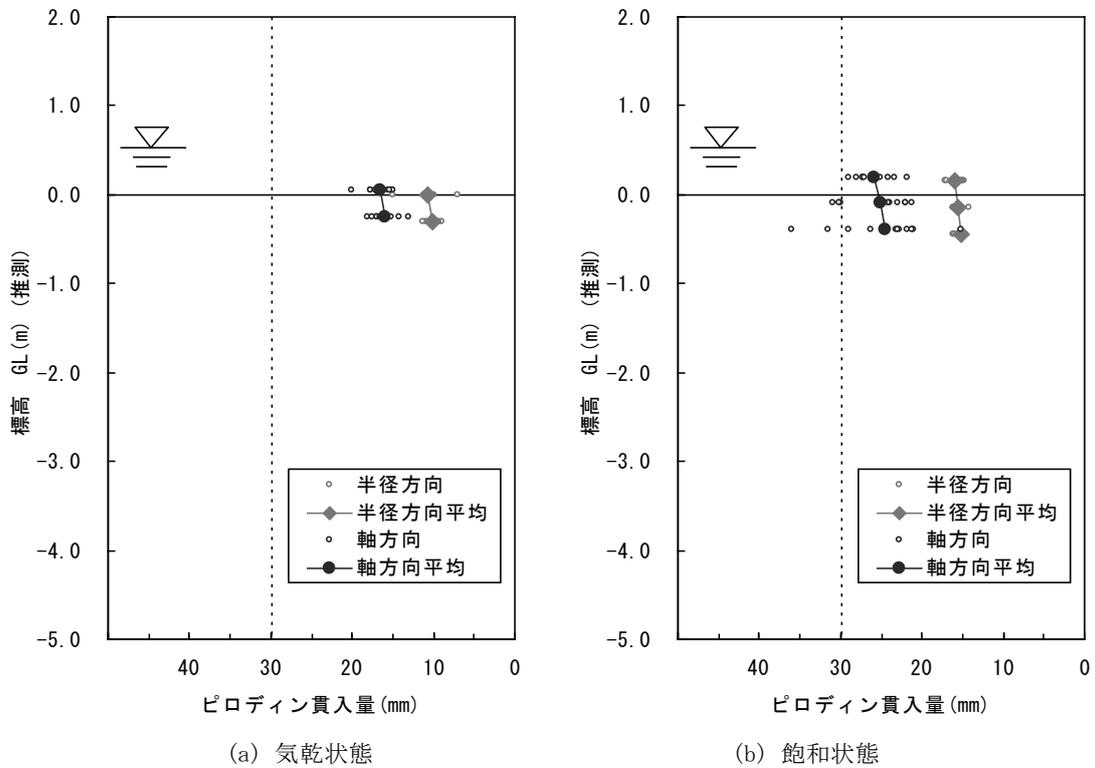


図-10.3.17 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk08:水越橋上流地点, カラマツ属)

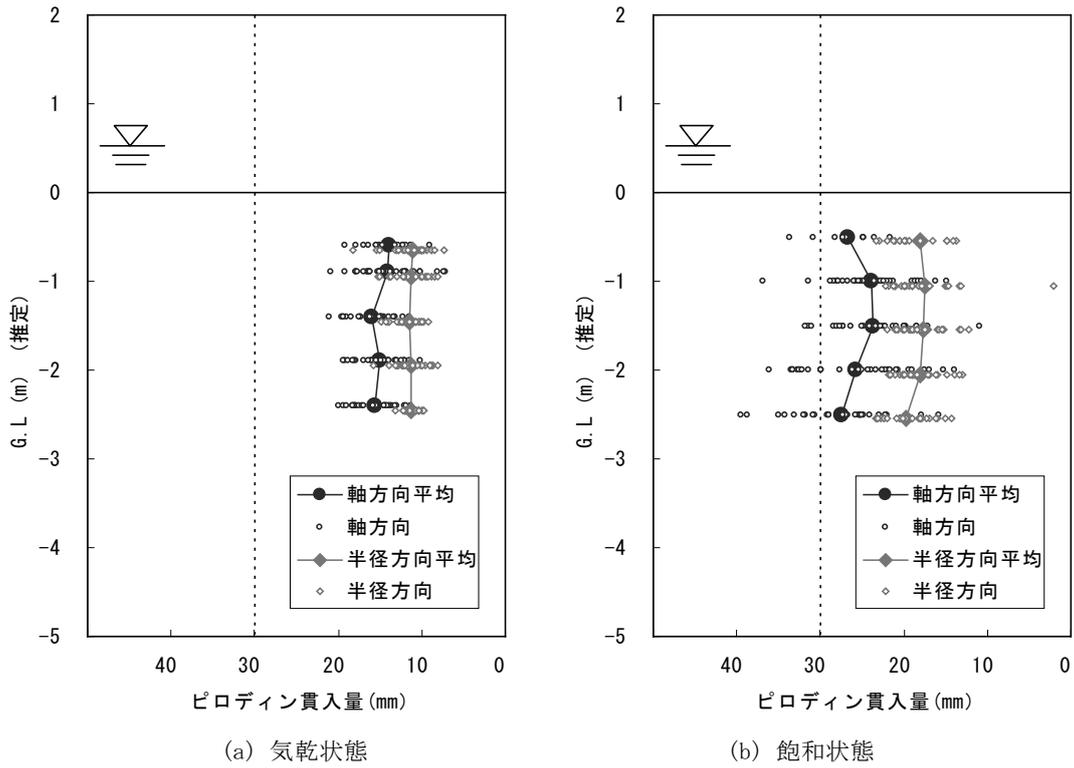


図-10.3.18 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswSw01:幸橋地点, マツ属)

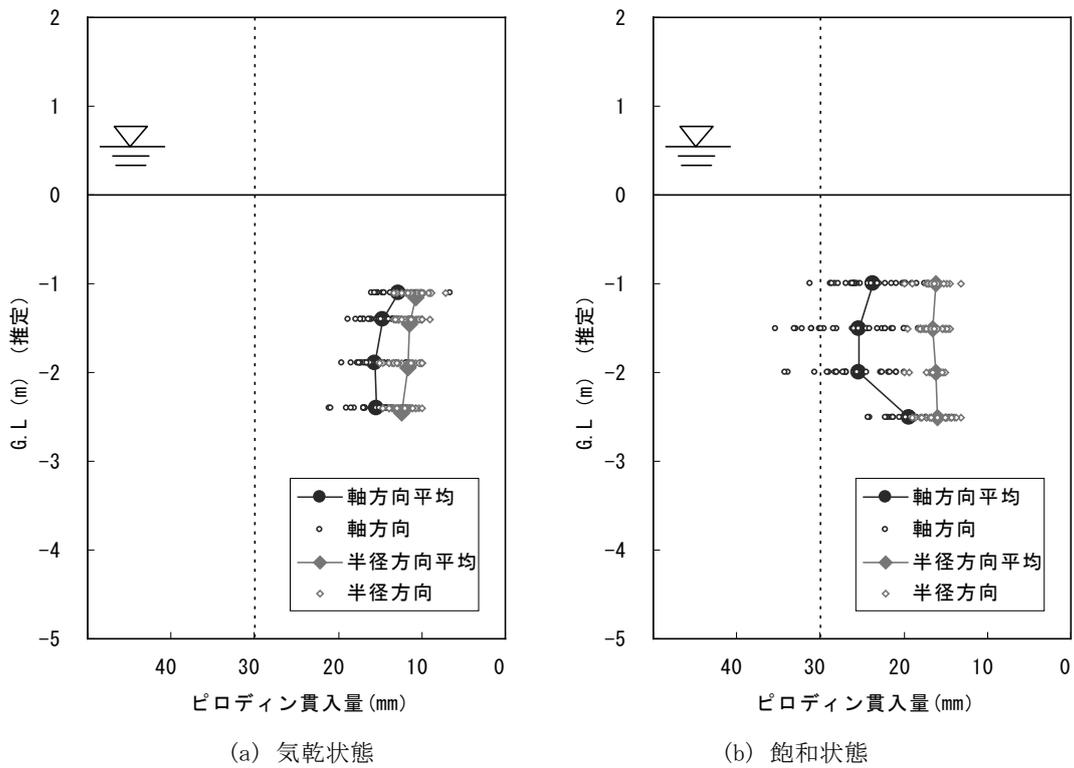


図-10.3.19 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswSw02:幸橋地点, マツ属)

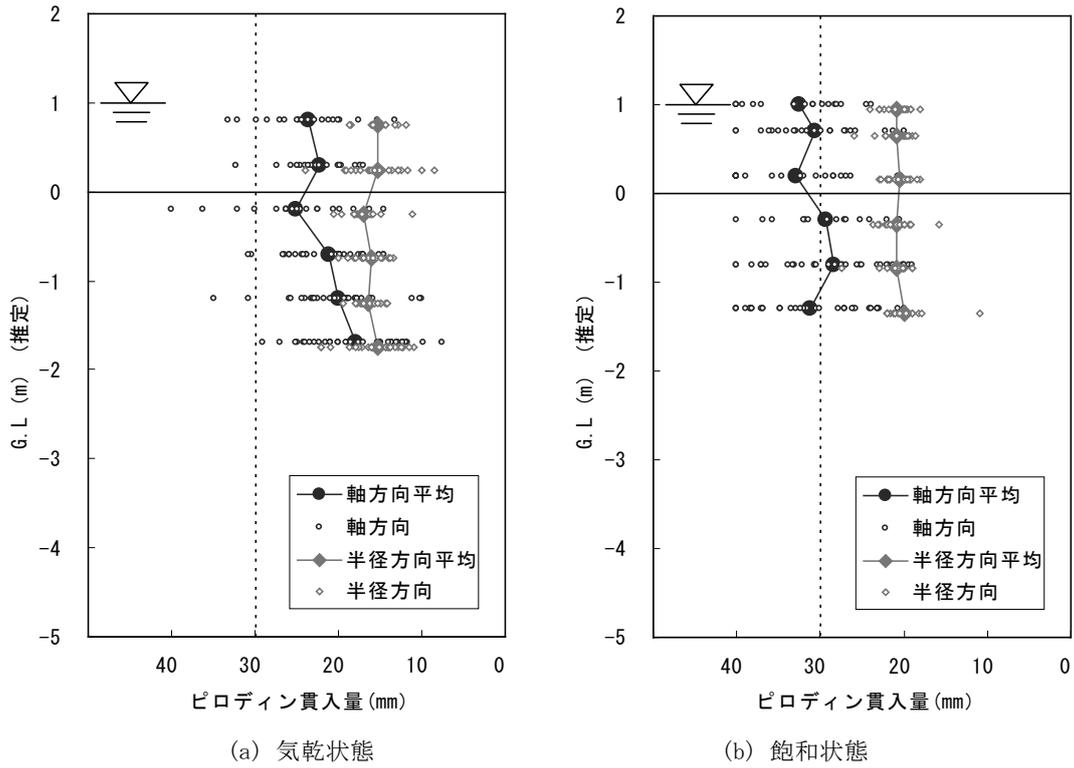


図-10.3.20 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswKd01:木田橋地点, スギ属)

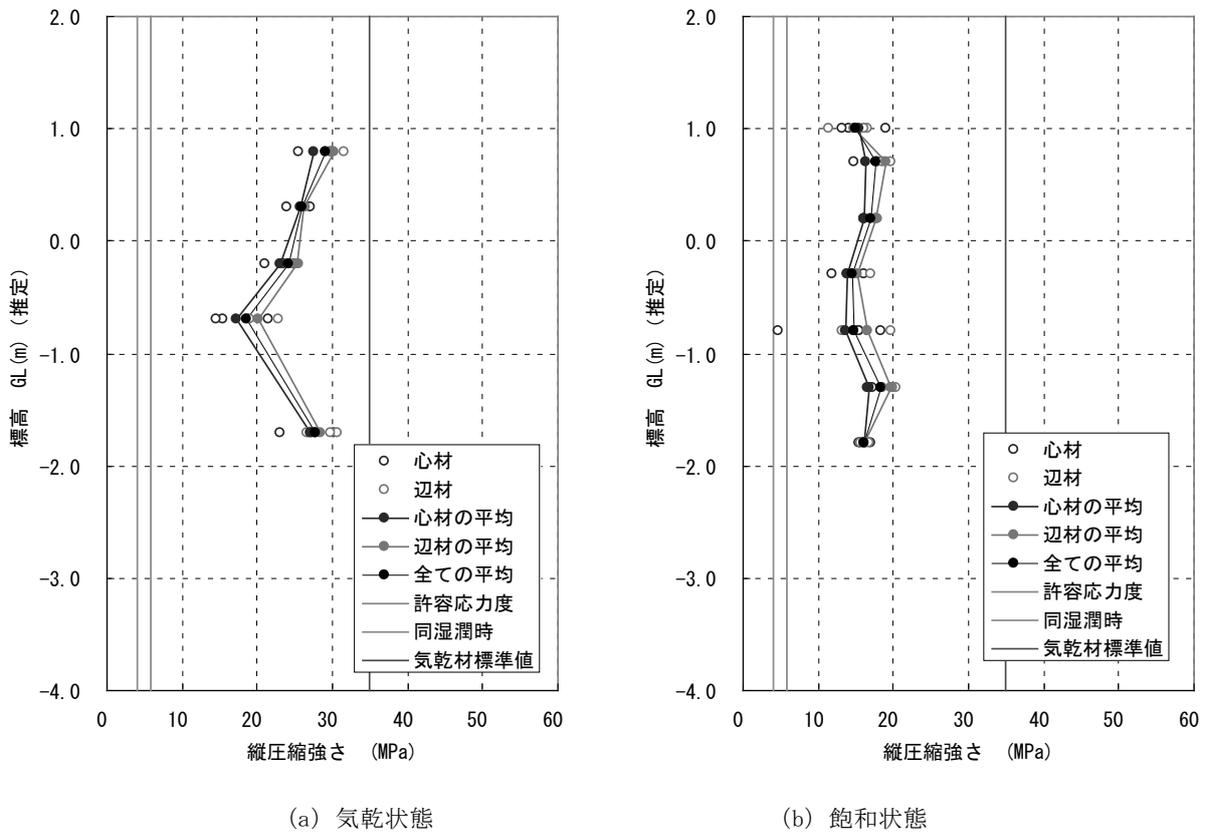


図-10.3.21 深度ごとの縦圧縮強さ (採取地: 木田橋付近, 樹種: スギ属)

(図中の「辺材」は木材の外周側から切り出した試験体(先述の試験体位置記号が「OUT」で表されるもの)を意味しており、木材構造上の辺材ではない部分も含む。)

10.3.4 まとめ

- (1) 足羽川の3地点より旧橋梁や護岸基礎と考えられる木杭は、48年～78年経過したものであり、その樹種は、マツ科カラマツ属、マツ属とスギ科スギ属であった。
- (2) 採取された木杭は、目視観察した限りでは、河床より突出した部分では若干の損傷が確認されたものの、地中に埋まっていた部分に関しては極めて健全な状態であった。
- (3) ピロディン貫入試験によって、各木杭が基本的に腐朽していないということが定量的に評価された。特に木田橋で採取されたスギ属（スギ）については、約60年間地中で埋まっていたものであるが、縦圧縮強さについても健全性を保っていたと評価された。このことからスギの間伐材を木杭として利用できる可能性が示されたといえる。
- (4) 採取された木杭を基礎とした旧幸橋および地震時における橋の使用は不明であるが木田橋の前にあった銭とり橋の基礎は、1948年福井地震にも耐えており、耐震性についても木杭は決して低いものではないといえる。

10.4 既存の木杭基礎構造物の紹介³⁾

福井県内には、鯖江市の下司橋と鯖江大橋、小浜市の西津橋の3橋梁において橋台および橋脚に松杭基礎が使用されていたことが明らかとなっている。) これらの橋梁の完成年度は、それぞれ1957年（昭和32年）、1957年（昭和32年）、1938年（昭和13年）であり、2012年の今日も使用されていることから、それぞれ55年～74年経過後も松杭が健全な状態で機能維持を果たしていることがわかる。

【解説】

10.4.1 下司橋

表-10.4.1 下司橋の緒元

橋名	下司橋	完成年度	S32年	適用示方書	S31年
架橋位置	鯖江市下司町		路線名	一般県道 福井鯖江線	
道路規格	3種1級		橋梁下の状況	吉野瀬川	
橋長	44.90m	有効幅員	9.30m	設計荷重	TL-20
支間割	13.35+17.30+13.35m				
上部工型式	3径間 RC ゲルバー桁橋				
橋台形式	A1	重力式橋台【松杭基礎】	A2	重力式橋台【松杭基礎】	
橋脚形式	壁式小判型橋脚×2基【ケーソン基礎×2基】				



写真-10.4.1 下司橋の現況写真

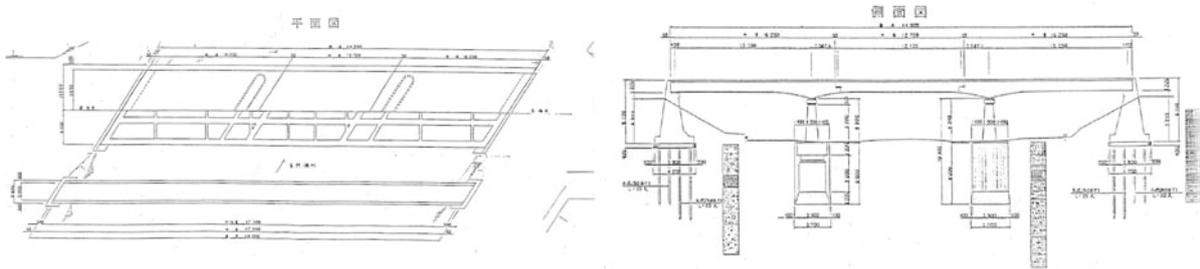


図-10.4.1 下司橋の平面図と側面図

10.4.2 鯖江大橋

表-10.4.2 鯖江大橋の緒元

橋名	鯖江大橋	完成年度	S32年	適用示方書	S31年
架橋位置	鯖江市有定町～下司町		路線名	一般県道 福井鯖江線	
道路規格	3種1級		橋梁下の状況	日野川	
橋長	174.00m	有効幅員	9.00m	設計荷重	TL-20
支間割	28.00×6m				
上部工型式	PC単純ポストテンションT桁橋6連				
橋台形式	A1	重力式橋台【松杭基礎】	A2	重力式橋台【松杭基礎】	
橋脚形式	壁式小判型橋脚×5基【ケーソン基礎×5基】				



写真-10.4.2 鯖江大橋の現況写真

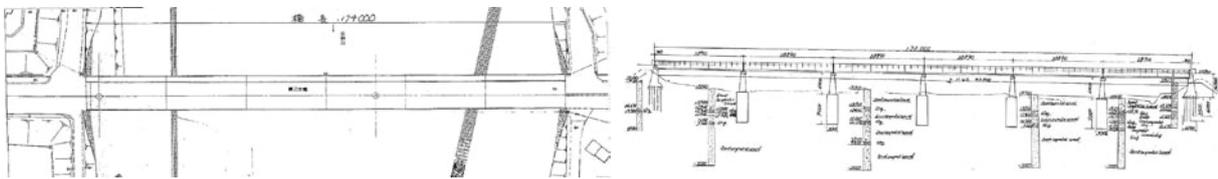


図-10.4.2 鯖江大橋の平面図と側面図

10.4.3 西津橋

表-10.4.3 西津橋の緒元表 西津橋の緒元

橋名	西津橋	完成年度	S13 年	適用示方書	T15 年
架橋位置	小浜市城内		路線名	一般国道 162 号	
道路規格	3 種 4 級		橋梁下の状況	北川	
橋長	123.40m	有効幅員	6.00m	設計荷重	TL-6
支間割	20.00+18.15+22.04+22.00+22.04+18.15m				
上部工型式	5 径間 RC ゲルバー桁橋+PC 単純プレテンション T 桁橋				
橋台形式	A1	控え壁式橋台【松杭基礎】	A2	控え壁式橋台【松杭基礎】	
橋脚形式	ラーメン式橋脚×4 基【松杭基礎×4 基】，壁式小判型橋脚【松杭基礎】				

10.4 既存の木杭基礎構造物の紹介



写真-10.4.3 西津橋の現況写真

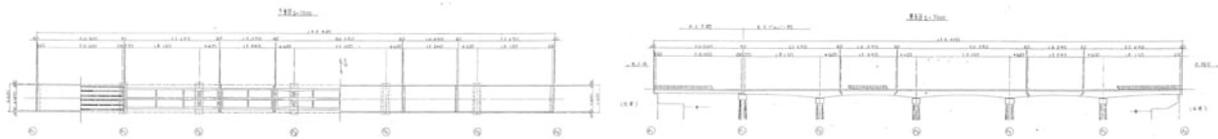


図-10.4.3 西津橋の平面図と側面図

10.5 パイルネット工法の詳細設計⁴⁾⁵⁾⁶⁾

福井県内で施工されたパイルネット工法の概要および設計方法について紹介する。

【解説】

10.5.1 工法の概要

パイルネット工法は、軟弱地盤に打設した杭の頭部を網目状に鉄筋などで連結し、その上方にジオテキスタイルを敷設することにより、盛土荷重を杭と地盤で支持させようとする工法である。杭は摩擦杭として用いられ、杭群と地盤が一体となって沈下するような構造となっている。杭は一般に木杭が使用され、群杭理論により、あらかじめ沈下量を予測して設計する。

10.5.2 設計方法

10.5.2.1 杭間隔の設計

杭間隔は、群杭効果が得られるように次式で求める（図-10.5.1）。

$$\ell = 1.5\sqrt{D \cdot D_f / 2} \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここに、

- ℓ : 杭間隔 (m)
- D : 杭直径 (m)
- D_f : 地中の杭長さ (m)

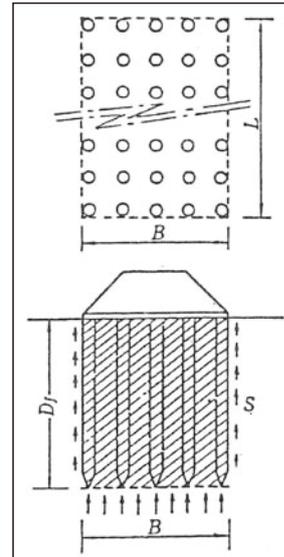


図-10.5.1

10.5.2.2 杭長さの設計

杭の極限支持力は、群杭として計算する。

$$\left. \begin{aligned} R_d &= \{A \cdot (q_d - \bar{P}) + U \cdot D_f \cdot S\} / n \\ \bar{P} &= \bar{\gamma} \cdot D_f + n \cdot W_p / A \end{aligned} \right\}$$

$$q_d = c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (\text{帯状}) \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

(Terzaghi公式、群杭公式)

ここに、

R_d : 杭1本当たりの極限支持力 (tf/本)

A : ブロックの底面積 (㎡)

$$= L \cdot B$$

U : ブロックの周囲長さ (m)

$$= 2(L + b)$$

D_f : 土中に埋まる杭長さ (m)

S : 杭に接する土の平均せん断抵抗 (tf/㎡)

n : 群杭中の杭本数

W_p : 杭1本当たりの重量 (tf/本) (地下水面下にある場合は水中重量とする)

q_d : ブロックの底面を基礎荷重とみなした
時の極限支持力 (tf/㎡) [Terzaghi公式]

D_f : 地中の杭長さ (m)

c : 杭先端部の地盤の粘着力 (tf/㎡)

ただし、長尺な杭については、土中の杭長部の加重平均粘着力を採用することが望ましい。

γ_1 : 地盤から杭先端までの間の土の
単位体積重量 (tf/m³)

γ_2 : 杭先端以下にある地盤の
単位体積重量 (tf/m³)

N_c 、 N_q 、 N_γ : 表-10.5.1に示す支持力係数

表-10.5.1

	N_c	N_γ	N_q
0°	5.3	0	1.0
5°	5.3	0	1.4
10°	5.3	0	1.9
15°	6.5	1.2	2.7
20°	7.9	2.0	3.9
25°	9.9	3.3	5.6
28°	11.4	4.4	7.1
32°	20.9	10.6	14.1
36°	42.2	30.5	31.6
40°	95.7	114.0	81.2
45°	172.3	325.8	173.3
50°	347.1	1073.4	414.7

次に、パイルネット工法の構造特性から

次の条件を整理する。

- ① この工法は、一般的に帯状であり、 $B < L$ の関係から、(2)式中の $U \cdot D_f \cdot S/n$ の項を無視する。
- ② 木杭の場合は、 $n \cdot W_p/A$ の項を無視する。
- ③ 泥炭性地盤の場合は、土の内部摩擦角を $\phi = 0$ とみなし、表-10.5.1より、 $N_c = 5.3$ 、 $N_\gamma = 0$ 、 $N_q = 1.0$ とする。
- ④ 杭底面地盤が一体となって働く有効断面積 A/n を(1)式から、

$$\begin{aligned} A/n &= \pi \cdot \ell^2/4 \\ &= \pi \cdot (1.5 \sqrt{D \cdot D_f/2})^2/4 \\ &= 0.884 \cdot D \cdot D_f \end{aligned}$$

Ⓣ $\bar{\gamma}$ と γ を同一とみなす。

上記条件①～Ⓣを(2)式に代入すると、(3)式となる。

$$R_d = 0.884 \cdot D \cdot D_f \{ (5.3 \cdot c + \gamma_1 \cdot D_f) - \gamma_1 \cdot D_f \} \\ = 4.68 \cdot D \cdot D_f \cdot C \quad \dots\dots\dots (3) \text{ 式}$$

一方、杭1本当たりの上載荷重は(4)式より求められる。

$$P_w = \ell^2 \cdot (\gamma \cdot h + W_s) \quad \dots\dots\dots (4) \text{ 式}$$

ここに、

P_w : 杭1本当たりの上載荷重 (tf/本)

h : 盛土の高さ (m)

γ : 盛土材の単位体積重量 (tf/m³)

W_s : 自動車等の荷重 (tf/m²)

したがって、杭の所要長さ(沈下を前提とした)は、(5)式を満足するように決定する。

$$R_d \geq F_N \cdot P_w \quad \dots\dots\dots (5) \text{ 式}$$

ここに、

F_N : 杭沈下つり合係数 ($F_N = 1.0 \sim 1.2$) を用いる。

以上に示した各式から R_d 、 P_w を求め、 $R_d \geq (1.0 \sim 2.0) \cdot P_w$ であるかチェックする。

10.5.2.3 連結鉄筋の計算

連結鉄筋には、図-10.5.2のようにLamiの定理から $T = P$ となるよう、あらかじめ $\theta = 30^\circ$ のたわみ角をつけたものとする。

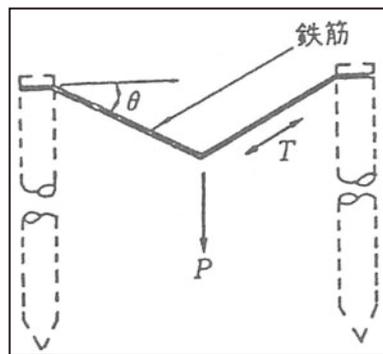


図-10.5.2

次に、鉄筋の許容応力は、(6)式により求められる。

$$S = \tau_L \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4000} \quad \dots\dots\dots (6) \text{ 式}$$

ここに、

S : 許容応力 (tf)

τ_L : 許容応力度 1400kgf/cm²

d : 鉄筋直径 (cm)

一方、鉄筋に作用する引張り力は、(7)式により求められる。

$$T = \frac{0.5 \times \ell^2 \times (\gamma \cdot h + W_s)}{2 \cdot m} \quad \dots\dots\dots (7) \text{ 式}$$

ここに、

T : 鉄筋1本当たりの引張り力 (tf)

ℓ : 杭間隔 (m)

m : 鉄筋の組本数 (シングル $m=1$ 、ダブル $m=2$)

10.5.2.4 土木用シートの設計

$$T = \frac{f \cdot 0.5 \times \ell^2 \times (\gamma \times h + W_s)}{\ell'} \quad \dots\dots\dots (8) \text{ 式}$$

ここに、

τ : シートの所要強度 (kgf/cm)

ℓ' : シートを支える鉄筋延長 (m)

$$\ell' = 2.28 \cdot \ell$$

f : シートの安全率 $f=1.2$ とする。

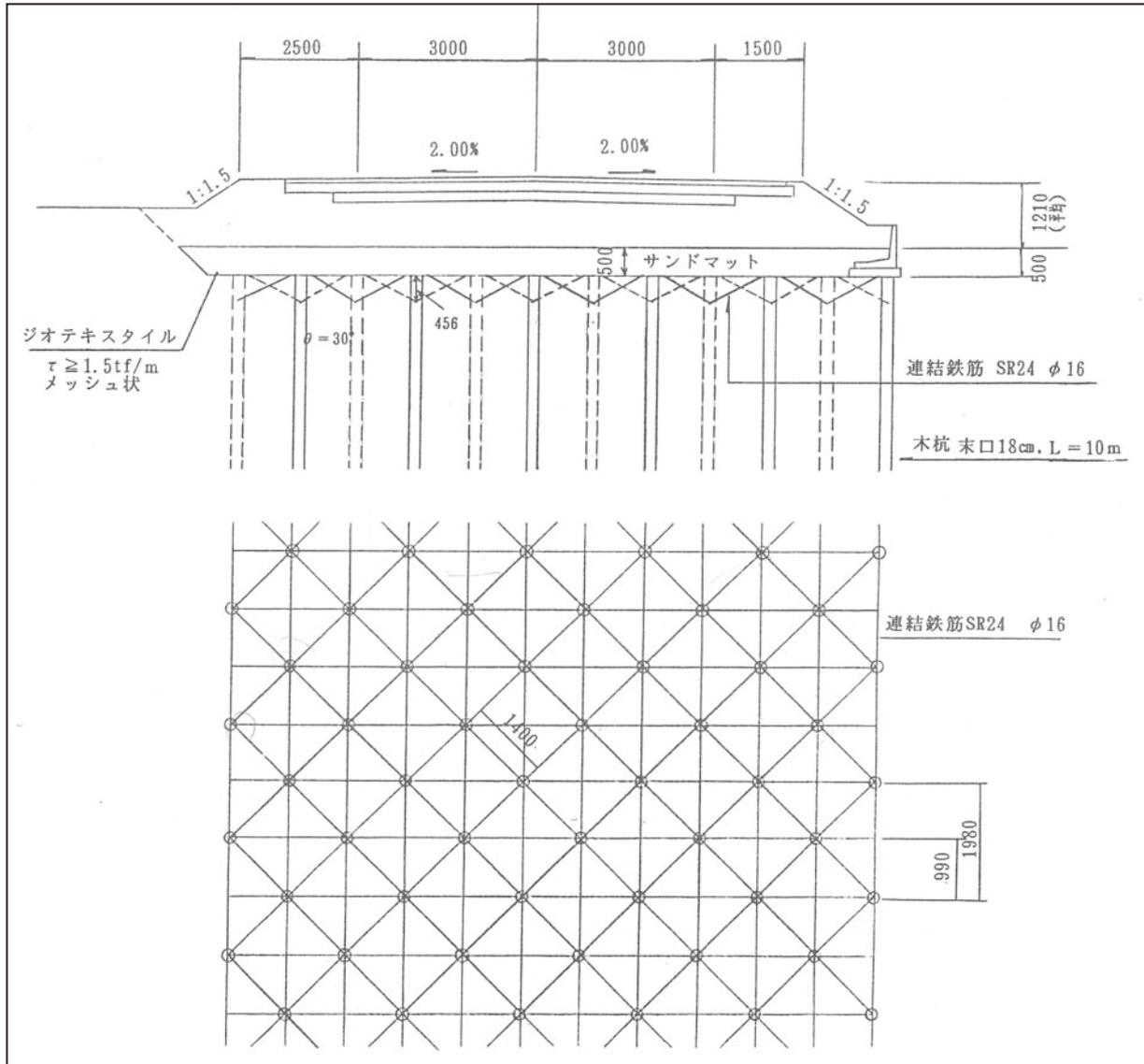


図-10.5.3 設計詳細図

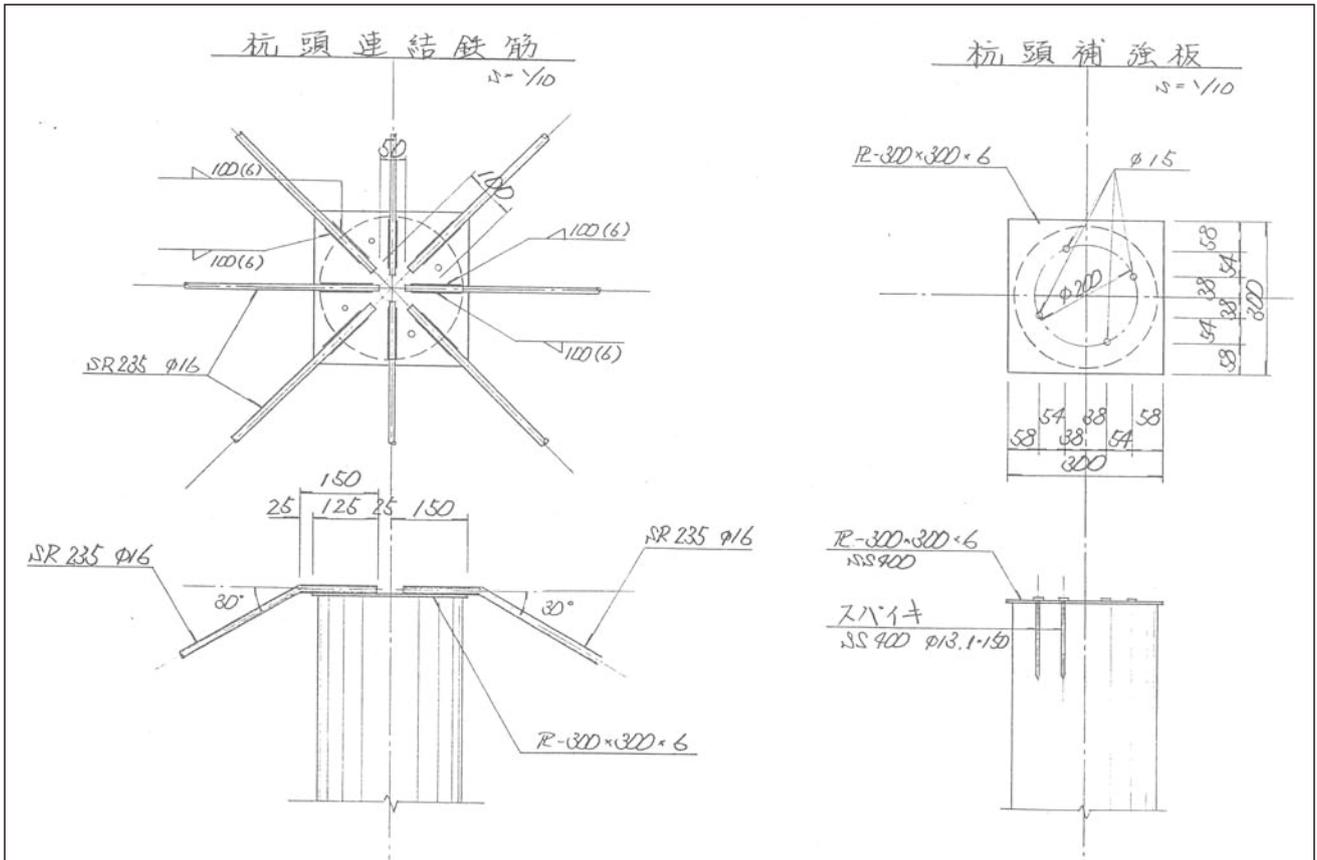


図-10.5.4 設計詳細図

参考文献

- 1) 本山 寛, 沼田淳紀, 吉田雅穂, 久保 光: スギ丸太打設による軟弱地盤対策実験, 地盤工学ジャーナル, vol.7, No.2, 409-420, 2011.
- 2) 佐賀県県土づくり本部・(財)佐賀県土木建築技術協会・(社)佐賀県県土づくりコンサルタント協会: プレキャストL型擁壁(H \leq 2m)の木杭-底盤系基礎~設計マニュアル(第1版)~, 2008.
- 3) 脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査研究:(財)福井県建設技術公社, 2008.
- 4) 奈良 章, 工藤 昇: パイルネット工法による泥炭性超軟弱地盤の改良, 土木施工, Vol 23, No.6 pp.27~34, 1982
- 5) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編, (社)日本道路協会, 2002.
- 6) 泥炭性軟弱地盤対策工指針編集委員会監修, 泥炭性軟弱地盤対策工 指針, (社)北海道開発技術センター, 1988.

福井県木材利用研究会活動記録

議 事 録 目 次

1	準備会 (2010. 2. 1)	1
	〔平成22年度〕	
2	第1回 (2010. 4.20).....	4
	話題提供1 これまでの研究経緯について「脱温暖化社会に向けた 建設工事への木材利用に関する調査・研究」	吉田 雅穂 氏
	話題提供2 「県産間伐材の有効利用拡大計画」	牧田 康弘 氏
		【代理：岩佐 礼三 氏】
3	第2回 (2010. 6.15).....	7
	話題提供1 「県産スギ構造用材の強度と乾燥について」	源濟 英樹 氏
	話題提供2 「スギ丸太を用いた軟弱地盤改良実大実験」	本山 寛 氏
4	第3回 (2010. 8.24).....	10
5	第4回 (2010.10.24).....	11
	話題提供1 「グリーンセンターの木質ペレットボイラ施設の導入 効果について」	野村 崇 氏
	話題提供2 「廃プラスチックと廃木材チップを利用した舗装の技 術開発」	久保 光 氏
6	第5回 (2010.11.25).....	12
	話題提供1 儲かる林業の取り組みについて	鈴木 秀治 氏
	話題提供2 木材を利用した泥炭性軟弱地盤対策工法	中沢 和彦 氏
7	第6回 (2011. 2. 1)	13
	話題提供1 「魚道への木材利用と土砂の除去に関する実験的研究」 「木材のカスケード利用とトラス橋による実証実験」	平沢 秀之 氏
	話題提供2 海洋環境における保存処理木材の耐久性	森 満範 氏
8	第7回 (2011. 3.23).....	15
	話題提供1 森林土木工事における木材の活用事例	辻 淳二 氏
	話題提供2 「間伐エース工法」・「間伐材残存魚礁について」	本所 稔基 氏・岡 拓司 氏
	〔平成23年度〕	
9	第1回 (2011. 6.21).....	17
	話題提供1 「福井地震を経験した木杭基礎構造物の調査」	吉田 雅穂 氏
	話題提供2 「公共建設物等木材利用促進法施行による県の方針」	岩佐 礼三 氏
10	第2回 (2011. 9.16)	19
	話題提供1 カーボンコンクリートについて	植出 浩爾 氏
	話題提供2 福井県産材を利用した木材の地中利用について	水谷 羊介 氏
11	第3回 (2011.11.1).....	21
12	第4回 (2011.12.15).....	22
	話題提供1 「TKウォール工法」(木製緑化補強土壁)の開発	久保 哲也 氏

	福井県で施工した事例紹介	神崎 隆洋 氏・伊内 是成 氏	
	話題提供 2 「知的財産活用方法について－木材での事例－」	河村 光 氏	
13	第 5 回 (2012. 1.19)		25
	話題提供 1 木材に利用できる水性防炎材について	糺谷 秀樹 氏	
	話題提供 2 ウッドピッチを用いた再生アスファルト混合物について	三田村 文寛 氏	
14	第 6 回 (2012. 3.21)		28
	[平成24年度]		
15	第 1 回 (2012. 5.22)		30
	話題提供 1 木材を用いた戸建て住宅の液状化対策技術の開発	吉田 雅穂 氏	
	話題提供 2 安全・安心な乾燥材生産技術の開発	和多田 浩樹 氏	
16	第 2 回 (2012. 7.31)		32
	話題提供 1 木杭による地盤改良の設計	梅田 祐一 氏	
	話題提供 2 福井県における公共建築物等木材利用促進法に基づく 取り組み状況	岩佐 礼三 氏	
17	第 3 回 (2012.10.17)		34
	話題提供 1 福井県における木材利用用途拡大の課題	八杉 健治 氏	
	話題提供 2 大野市新庁舎の整備に向けて	村上 一幸 氏	
18	第 4 回 (2012.10.15)		36
19	第 5 回 (2012.12.12)		37
	話題提供 1 第 2 回「福井の家」コンペにおける県産材の提案など	東畑 慎治 氏	
	話題提供 2 木杭による斜面安定工法の事例－一乗谷朝倉氏遺跡－	荒井 克彦 氏	
20	第 6 回 (2013. 2.27)		39
	話題提供 1 シカの食害対策における現地木材利用	鳥居 直也 氏	
	話題提供 2 ヤシ油を主成分とした環境配慮型保存処理木材の 開発と今後の展望	小澤 聖輔 氏	

福井県木材利用研究会準備会議事録

日時：2010年2月1日（月）13:30～15:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(0-0)（仮称）福井県木材利用研究会準備会議題書

(0-1) 研究会名簿

(0-2) 研究会運営要綱

(0-3) 研究会年間工程

(0-4) 第15回（平成22年度）北陸地域の活性化に関する研究助成事業募集要項

(0-5) 第1回木材利用シンポジウム（土木工事での木材活用による温暖化防止への貢献）

(0-6) 県産材利用拡大行動計画の概要

議題：

1. 会長挨拶（荒井先生）
2. 自己紹介
3. 研究会設立の経緯と運営要綱について（久保）
4. 実施内容（久保）
5. シンポジウムの開催について（久保）
6. 助成制度の応募について（吉田先生）
7. 第1回木材利用シンポジウムについて（吉田先生）
8. 会員の呼びかけ（募集）について
9. その他
10. 次回について

決定事項・今後作業：

1. 会長挨拶

○会長として荒井先生から挨拶がなされた。

2. 自己紹介

荒 井：過去に木杭を用いた研究をしたことがある。

吉田雅：福井県建設技術公社のコーディネートで福井県土木管理課・福井県雪対策・建設技術研究所・福井県総合グリーンセンターと福井工業高等専門学校とで産学官の共同研究（脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究）を行ってきた。

田中康：牧田康弘氏の代理としてきた。

黒 田：鈴木秀治氏の代理としてきた。

中 沢：30年ほど前に、木杭を利用したパイルネット工法の設計・施工に携わったことがある。

白 崎：県産材を利用した住宅について補助金を出したりする業務に関わっている。

吉田眞：平成15年度から福井県雪対策・建設技術研究所と「仮設間伐材と繊維を用いた法面工法の開発に関する研究」を行っている。

久 保：福井県建設技術公社のコーディネートで産学官の共同研究に携わった（脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究）。また、前田工織と共同研究を行っている。福井大学の荒井先生にご指導いただき平成22年度から3ヵ年かけて「軟弱地盤改良の設計方法の研究開発」行う。本研究会の事務局を担当する。

田中房：本研究会が有意義なものとなるようお願いする。

直 井：飛鳥建設は環境に力を入れている。

勝 山：福井県建設技術公社のコーディネーターで福井県土木管理課・福井県雪対策・建設技術研究所・福井県総合グリーンセンターと福井工業高等専門学校とで産学官の共同研究（脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究）を行ってきた。

源 濟：木材の乾燥方法などの研究を行っている。福井県建設技術公社のコーディネーターで福井県土木管理課・福井県雪対策・建設技術研究所・福井県総合グリーンセンターと福井工業高等専門学校とで産学官の共同研究（脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究）を行ってきた。

山 木：本研究会に直接関係することはないが、シンポジウム開催など協力できるところは協力したいと考えている。

辻 　：治山・林道工事において木材の使用は割当てを決め使用している。安全率が必要なもの等、木材使用について工種が限られていたが、今後は今まで使えなかった工種にも使用できるよう木材の利用をもっと研究する必要がある。

服 部：土木部の木材関係の窓口となっている。

3. 研究会設立の経緯と運営要項について、実施内容、シンポジウムの開催について久保氏から、資料0-1から0-3を用いて説明がなされた。

4. 助成制度の応募について、第1回木材利用シンポジウムについて吉田先生から、資料0-4,0-5を用いて説明がなされた。

5. 県産材利用拡大行動計画の概要について田中氏より説明がなされた。

6. 討議

〈決定事項〉

- この会のタイトルは討議の結果、「福井県木材利用研究会」と決定した。
- 福井県木材利用研究会の運営要項について了解を得た。
- 第15回（平成22年度）北陸地域の活性化に関する研究助成事業に応募する。今後も活動資金を得るため積極的に助成金に応募していく。
- メンバー候補の募集は各自進めてよい。

〈次回までの宿題〉

- 研究会の組織及び実行委員会のメンバーは、4月までに荒井先生と久保が協議して決め会員の同意を得る。

〈意見〉

- 福井県木材利用研究会について

田中康：県庁内部にもよく似た間伐材を利用していきましようという会議があり、外部の人も入っている。それとの棲み分けが難しいのではないか。

久 保：今回の研究会は行政の枠を超えた研究会と考えた方が良いのではないか。

田中康：研究会の参加は人事異動になった場合はどうなるのか。

久 保：木材利用に関連する部署にいる方にご参加いただいているが、興味があるのであれば部署が変わってもぜひご参加いただきたい。

源 濟：運営要項の目的のところ「・・・木材利用に関する情報収集および研究開発を行う。」となっているが、研究開発を行うことについては時期尚早ではないか。まずは情報交換を行うところから始めた方がよいのではないか。

田中房：研究会で情報交換をして、各自持ち帰って研究してもらえば良いので「・・・木材利用に関する情報収集および研究開発を行う。」という内容で良いのではないか。

田中房：木材利用のテーマを、例えば地中利用とか絞って研究会を開催していった方がよいのではないか。

吉田雅：佐賀県では、各テーマごとに分科会を設けて行っており福井県より歴史が古い。

久 保：木材利用を考える場合は、建築利用や森林の公益的機能を経済評価するなど総合的に研究する必要があるのでテーマを絞らない方がよいのではないかと考える。

荒 井：木材利用について幅広く考えることで良いのではないか。

山 木：農林水産支援センター、建築士会、県産品活用推進センター、福井県建設センターにも声かけしてはどうか。

黒 田：12月に木材利用シンポジウムを開催するために研究会を始めるのか。

久 保：今回の研究会は木材利用シンポジウムを開催するために行うのではない。研究会の行事の一つとしてシンポジウムがあると考えてもらったほうが良い。

○木材利用シンポジウムin福井について

山 木：佐賀県で行われたシンポジウムの実行委員会のメンバーは？ NPO技術交流フォーラムとの関係は？

久 保：佐賀県は、コンサルタントの方が主体で、NPO技術交流フォーラムの会員と重なる人が多いと思われる。

荒 井：佐賀県で行われた木材利用シンポジウムは、発表者は佐賀県と福井県の方で偏っているため福井県で開催する場合は、全国に発表者を募って行ったほうが良いのではないか。

発表者が多い場合は、1日かけてやっても良いのではないか。

○第1回木材利用シンポジウムについて

吉田雅：第1回木材利用シンポジウムは、今年12月に福井で開催予定のシンポジウムとは全く別物で、学会で行うシンポジウムである。

荒 井：第1回木材利用シンポジウムで特別講演する慶応義塾大学理工学部米田雅子教授が3月12日に福井県建設技術公社主催で行われる建設産業元気講演会に来られるそうなので詳細が決まったらみんなに案内していただきたい。

○その他

資料0-6に基づき、県産材利用拡大行動計画の概要について田中氏より説明いただいた。

辻 　：治山施設の事業費1億円当たりの木材使用量30m³と林道施設の100m当たりの木材使用量6m³が正しいか、再確認してほしい。

田 中：次回の研究会までに調べて報告する。

○次回予定

日時：未定（3月末に日程調整いたします。）

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

平成22年度 第1回福井県木材利用研究会議事録

日時：2010年4月20日（火）15:00～16:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(1-0) 第1回議題書

(1-1) (仮称) 福井県木材利用研究会準備会議事録

(1-2) これまでの研究経緯について「脱地球温暖化社会に向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究」

(1-3) 県産間伐材の有効利用拡大計画

(1-4) 福井県木材利用研究会2010年度年間工程表

(1-5) 研究助成金の状況報告

(1-6) 林業新聞

(1-7) 森林組合と協働で森林整備、事業のすべてを自社で抱え込まない

議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）

2. 前回議事録の確認

3. 話題提供1 / これまでの研究経緯について「脱地球温暖化社会に向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究」（吉田雅穂氏）

4. 話題提供2 / 「県産間伐材の有効利用拡大計画」（牧田氏【代理：岩佐礼三氏】）

5. その他

6. 次回について

決定事項・今後作業：

5. その他

○今年度の研究会の目標

・福井県内で木材に関わる人と組織のネットワークづくりと情報（現状、課題）の共有。

○技術シーズ集の作成

・各機関でA4用紙1枚。冊子体をシンポジウムで配布（助成金次第）。

○見学会（8月）

・候補地の選定（助成金次第でバスによる遠方も可）。

6. 次回について

6月中旬に研究会を開催する。日時については話題提供者の都合を聞いて調整する。

内容：

1. 自己紹介

・阿部（福井高専）：学生が森林組合ヘインターンシップに行ったのがきっかけで木材に興味を持った。

・竹田（福井工大）：橋梁等の構造物・鉄道施設の耐震性能の研究をしている。

・高橋（マルテック）：軽量の木製の残存型枠を販売している。

・伊内（美山森林組合）：間伐材製品を販売している。

・高田（坂川建設）：県産材のスギ皮利用を行っている。

・白澤（株式会社ビオ）：白澤建機株式会社は、株式会社ビオという環境関係の建設コンサルタントも行っている。タワーヤーダやチッパーなどの機械も扱っている。

- ・鳥居（京福コンサル）：古民家の再生に興味を持っている。
- ・村上（大野市役所）：林道整備などを行っている。
- ・神崎（前田工織）：森林保全推進部で法面緑化と間伐材の有効利用を行っている。
- ・八杉（美山森林組合）：間伐材を利用した商品開発を20年以上行ってきた。
- ・坂田（丹南土木）：砂防堰堤整備で流域内の森林整備を行っている。森林を活かした社会資本整備を考えている。

2. 前回議事録の確認

修正事項無く、前回議事録は承認された。

3. 話題提供1 / これまでの研究経緯について「脱地球温暖化社会に向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究」（吉田 雅穂 氏）

- 吉田委員がパワーポイントと資料（1-2）を用いて説明した。
- 概要および質疑応答・意見→本書末尾に記載した。

4. 話題提供2 / 「県産間伐材の有効利用拡大計画」（牧田 氏【代理：岩佐 礼三 氏】）

- 岩佐氏が資料（1-3）を用いて説明した。
- 概要および質疑応答・意見→本書末尾に記載した。

5. その他

○吉田委員が、平成22年度第1回福井県木材利用研究会／検討事項について資料（1-5）を用いて、説明した。研究助成金の状況は以下の通り。

①北陸建設弘済会：平成22年度北陸地域の活性化に関する研究助成事業

申請者：福井県木材利用研究会

題 目：温暖化対策と林業活性化のための建設事業における木材利用促進 → 不採択

②近畿建設協会：平成22年度国土形成の推進における「地域づくり・街づくり」に資する事業支援

申請者：福井県木材利用研究会

題 目：福井県における建設事業での木材利用促進 → 申請中（5月中旬に連絡あり）

③日本学術振興会：平成22年度科学研究費補助金

申請者：吉田 雅穂

題 目：温暖化対策と林業活性化に貢献する間伐材を用いた地盤補強技術の開発 → 採択

－話題提供記録1－ これまでの研究経緯について「脱地球温暖化社会に向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究」（吉田 氏）

○概要

- ・福井県建設技術公社のコーディネートによる産学官共同研究「脱地球温暖化社会に向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究」（H18-19）が福井における木材の地中利用に関する研究の出発点と考えている。飛鳥建設、福井高専、福井県土木部、福井県雪対策・建設技術研究所、福井県総合グリーンセンターの産学官の各機関が、密に連携を取りながらそれぞれ

れの特徴を活かした研究活動を行った。木杭に関する文献や設計法の変遷を調査した。平成18年に足羽川の水越橋、幸橋、木田橋付近で掘り出された丸太の概要と、目視評価、ピロデイン試験、縦圧縮試験による健全度評価の結果を行った。また、敦賀港における丸太打設実験や液状化に伴う構造物の沈下対策に関する模型実験を行っている。

○質疑応答及び意見交換（敬称略。Aは吉田 委員）

荒井：腐朽の条件は？

A：粘性土は腐朽しにくい。地下水位より下でなくても腐朽していない場所もある。ただ杭頭部分は懸念される。

－ 話題提供記録 2 － 「県産間伐材の有効利用拡大計画」（岩佐 氏）

○概要

- ・ 間伐材利用の施策として、山から木を切り出す時に補助をしている（39,000m³のうち15,000m³補助）。また、林業機械の整備にも補助している（森林組合が対象で民間は対象外）。県産材を使用する場合、運搬距離が100km以上になる場合は補助している。その他の補助も県のホームページで見られる（森林組合が対象で民間は対象外）。今年、民間企業も参画した木質バイオマス研究会を設置し、バイオマスの利用実態調査を行う予定。
- ・ 県内の木材需給状況（H20）は、総供給量が21万 3千m³で、その内国産材は13万 5千m³である。その内県産材は10万 9千m³である。別に県産材は 8万m³、山に残された状態である（未利用間伐材）。国産材の県内需要は、県外産材 2万 6千m³、県産材10万 9千m³の内11万 2千m³である。その内、製材用に 7万m³、チップ用に 4万 2千m³利用されている。県産材と外国材を合わせた県内需要は15万 2千m³である。その内、製材用に11万m³、チップ用に 4万 2千m³利用されている。ただし、工務店が直接、木材を購入する部分が入っていない。
- ・ 間伐材は安く使えるのではと思われるが実はコストがかかる。
- ・ 木材は動かせば動かすほどお金がかかる。

平成22年度 第2回福井県木材利用研究会議事録

日時：2010年6月15日（火）15:00～16:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(2-0) 第2回議題書

(2-1) 第1回福井県木材利用研究会議事録

(2-2) 県産スギ構造用材の強度と乾燥について

(2-3) スギ丸太を用いた軟弱地盤改良実大実験

(2-4) 年間工程表

(2-5) 現場見学会（案）

(2-6) 福井県木材利用研究会名簿

- 議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）
2. 前回議事録の確認
3. 話題提供1／「県産スギ構造用材の強度と乾燥について」（源済 英樹 氏）
4. 話題提供2／「スギ丸太を用いた軟弱地盤改良実大実験」（本山 寛 氏）
5. 現場見学会について
6. その他
7. 次回について

決定事項・今後の作業：

5. 現場見学会について
・ 永和住宅工場および美山森林組合加工場を見学する。
7. 次回について
・ 8月24日に現場見学会を行う。

内容：

1. 自己紹介
・ 野尻（営繕課）
・ 城戸（田中地質コンサルタント）
・ 沼田（飛鳥建設）
・ 岡（株式会社岡組）
2. 前回議事録の確認
修正事項無く、前回議事録は承認された。
3. 話題提供1／「県産スギ構造用材の強度と乾燥について」（源済 英樹 氏）
○源済委員がパワーポイントと資料（2-2）を用いて説明した。
○概要および質疑応答・意見→本書末尾に記載した。
4. 話題提供2／「スギ丸太を用いた軟弱地盤改良実大実験」（本山 寛 氏）
○本山氏がパワーポイントと資料（2-3）を用いて説明した。
○概要および質疑応答・意見→本書末尾に記載した。

- 話題提供記録 1 - 「県産スギ構造用材の強度と乾燥について」(源濟 英樹 氏)

○概要

・構造用材の強度・含水率の基準について説明がなされた。福井県産スギ横架材の強度について総合グリーンセンターでの曲げ試験の結果、E70の等級が最多。また、規格外はなく、本数の9割以上がE70以上の等級である。曲げ強さの平均値は、全国の平均値を上回っている。

県産スギ横架材活用事業で使用した横架材の強度・含水率について説明がなされた。福井県内の乾燥方式について説明がなされた。乾燥方式としては、蒸気式(中温、高温)、遠赤外線、熱風・真空、天然がある。スギ構造用材にかかるデータ紹介がなされた。

○質疑応答及び意見交換(敬称略。Aは源濟 委員)

竹 田：木材の強度の幅は地域によって変わってくるものなのか？

A：産地・樹齢によりデータのばらつきが小さくなるが、1つずつヤング係数によって評価する状況だ。

竹 田：木材の強度の上限、設計強度の上限は？

A：曲げ強さをとっている。鉄筋・コンクリートと比べるとばらつきがある。

荒 井：実際使用されている乾燥方式は？

A：福井県内の乾燥方式は大半が蒸気式乾燥である。通常の木材製材は天然乾燥が多い。

荒 井：人工乾燥が普及しないのはコストの関係か？

A：そうだ。県内の会社では、設備投資するお金がない。

- 話題提供記録 2 - 「スギ丸太を用いた軟弱地盤改良実大実験」(本山 寛 氏)

○概要

・実験の目的として(1)丸太打設による軟弱地盤対策効果の確認、(2)丸太を用いた地盤対策工事による二酸化炭素削減効果の確認がある。設計の考え方について説明がなされた。人工軟弱地盤の作製状況、人工地盤の土質特性、丸太打設前の地盤調査結果について説明がなされた。沈下計測方法、計測結果について説明がなされた。地盤対策効果に関する結論として(1)安全率が1を下回る丸太間隔1.0mでは、丸太による支持機能が失われているが、1を上回る丸太間隔0.5mでは支持機能が働いている。(2)沈下量を推定する場合、丸太打設下部の未対策層に、丸太打設厚(丸太長さ)の、丸太間隔0.5mで0.43倍(8.7D)、丸太間隔1.0mで0.73倍(14.7D)の層厚を加えて推定した値が実際の沈下量とほぼ一致した。(3)安全率は、地盤対策当初から比べて1年後は倍程度まで増加する。丸太を地中に打設することにより、工事をすればするほど大気中の二酸化炭素を削減できる。固化改良との経済比較がなされ、適用範囲は深度3-10m地盤のN値20以下である。

○質疑応答及び意見交換(敬称略。Aは本山 氏)

源 濟：経済性比較の中で、何が一番施工単価に効いてくるのか？

A：プラント代が効いてくる。

吉田眞：丸太は皮付きの場合の方が摩擦力が大きいのではないか？

A：皮の部分が抜ける場合があるので良いとは限らない。

吉田眞：打設方法は？

A：バックホウに杭を打つためのアタッチメントをつける。

荒 井：群杭効果があるのではないか？

A ：実際には検討しないとわからない。

沼 田：2.5Dの考え方により、今回は単杭として考えた。

竹 田：試験区の境界面の影響があるのではないか？パイルネット工法では、杭と杭をロープでつないでいるが、なぜ繋がらなかったのか？

A ：境界面の影響はあると思う。ロープがなくてもサンドマットだけで十分と考えた。パイルネット工法よりも経済的に考えた。

平成22年度 第3回福井県木材利用研究会（現場見学会）

日時：2010年8月24日（火）14:00～17:30

目的：木材の流通・加工施設の現場見学

場所：福井県木材流通センター、美山森林組合加工場見学



県内の素材流通と木材市場等についての説明



競り市等についての説明



原木選別機についての説明



美山森林組合の円柱加工施設等についての説明



皮むき作業についての説明



現場見学会参加者

平成22年度 第4回福井県木材利用研究会議事録

日時：2010年10月24日（火）15:00～16:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(4-0) 第4回議題書

(4-1) 第2回福井県木材利用研究会議事録

(4-2) 間伐材のペレット利用について

(4-3) 廃プラスチックと廃木材チップを利用した舗装の技術開発

(4-4) 年間工程表

(4-5) 福井県木材利用研究会名簿

議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）

2. 前回議事録の確認

3. 話題提供1 / 「グリーンセンターの木質ペレットボイラ施設の導入効果について」
(野村 崇氏)

4. 話題提供2 / 「廃プラスチックと廃木材チップを利用した舗装の技術開発」
(久保 光氏)

5. 木材利用シンポジウムin福井について

6. その他

7. 次回について

決定事項：

- ・ 次回の研究会は11月25日とする。

内容：

1. 自己紹介

- ・ 石塚（高 茂 組）：木材利用について取り組んでいる。研究会で多くのことを学びたい。
- ・ 矢田（矢田商店）：石塚氏と一緒に参加した。

2. 前回議事録の確認

修正事項無く、前回議事録は承認された。

3. 話題提供1 / 「グリーンセンターの木質ペレットボイラ施設の導入効果について」

(野村 崇氏)

○野村氏がパワーポイントと資料（42）を用いて説明した。

4. 話題提供2 / 「廃プラスチックと廃木材チップを利用した舗装の技術開発」

(久保 光氏)

○久保氏がパワーポイントと資料（43）を用いて説明した。

平成22年度 第5回福井県木材利用研究会議事録

日時：2010年11月25日（木）13:30～15:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(5-0) 第5回議題書

(5-1) 第4回福井県木材利用研究会議事録

(5-2) 儲かる林業の取り組みについて

(5-3) 木材を利用した泥炭性軟弱地盤対策工法

(5-4) 年間工程表

(5-5) 福井県木材利用研究会名簿

- 議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）
2. 前回議事録の確認
 3. 話題提供1／儲かる林業の取り組みについて（鈴木氏）
 4. 話題提供2／木材を利用した泥炭性軟弱地盤対策工法（中沢氏）
 5. 木材利用シンポジウムin福井について
 6. 意見交換会
 7. その他
 8. 次回について

決定事項：

- ・次回の研究会は1月18日とする。

内容：

1. 自己紹介
なし
2. 前回議事録の確認
修正事項無く、前回議事録は承認された。
3. 話題提供1／儲かる林業の取り組みについて（鈴木氏）
○鈴木氏がパワーポイントと資料（5-2）を用いて説明した。
4. 話題提供2／木材を利用した泥炭性軟弱地盤対策工法（中沢氏）
○中沢氏がパワーポイントと資料（5-3）を用いて説明した。
5. 木材利用シンポジウムin福井について
吉田氏、勝山氏、久保氏より現状報告がなされた。
6. 意見交換会
各委員より意見がなされ、その意見を集約し、事務局の方で今後の研究会の方向性を検討する。

平成22年度 第6回福井県木材利用研究会議事録

日時：2011年2月1日（火）13:30～15:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(6-0) 第6回議題書

(6-1) 第5回福井県木材利用研究会議事録

(6-2) 木質・セメント成形板の海藻礁への適用

(6-3) 北海道の海洋環境下における保存処理木材の海虫抵抗性

(6-4) 藻礁に利用された木材の海虫による劣化について

(6-5) 年間工程表

(6-6) 福井県木材利用研究会名簿

議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）

2. 前回議事録の確認

3. 話題提供1 / 「魚道への木材利用と土砂の除去に関する実験的研究」
「木材のカスケード利用とトラス橋による実証実験」

函館工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授 平沢 秀之 氏

4. 話題提供2 / 海洋環境における保存処理木材の耐久性

北海道立総合研究機構 森 満範 氏

話題提供3 / パイルネット工法の事例報告

昭和マテリアル株式会社 パイルネット事業部 五十嵐 誠 氏

5. 意見交換会

6. その他

7. 次回について

決定事項：

・次年度は分科会を設けて活動することとする。

内容：

1. 自己紹介

なし

2. 前回議事録の確認

修正事項無く、前回議事録は承認された。

3. 話題提供1 / 「魚道への木材利用と土砂の除去に関する実験的研究」
「木材のカスケード利用とトラス橋による実証実験」

○平沢先生がパワーポイントを用いて説明した。

4. 話題提供2 / 海洋環境における保存処理木材の耐久性

○森氏がパワーポイントと資料（6-2,6-3,6-4）を用いて説明した。

5. 話題提供3 / パイルネット工法の事例報告

○五十嵐氏がパワーポイントを用いて説明した。

6. 意見交換会

○各委員より意見がなされ分科会として活動していく方向となった。

主な意見

- ・異分野の連携と専門的分科会が必要。
- ・木杭のコスト・調達が課題。
- ・設計を勉強したい。
- ・各々の立場での参加。
- ・加工の立場で参加。今年度より、より中身を充実させていければと思う。
- ・設計の立場で参加。本研究会でパイロット事業ができると良い。
- ・分野の違いが良いと思う。良いバランスで研究ができると良い。

平成22年度 第7回福井県木材利用研究会議事録

日時：2011年3月23日（火）13:30～15:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(7-0) 第7回議題書

(7-1) 第6回福井県木材利用研究会議事録

(7-2) 森林土木工事における木材の活用事例

(7-3) 間伐エース工法

(7-4) 残存型粋工法「間伐エース」

(7-5) 年間工程表

(7-6) 分科会希望調査結果

(7-7) 福井県木材利用研究会名簿

議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）

田中慎悟氏（岡野コンクリート(株)）、巨勢容市氏（株式会社巨勢）

2. 前回議事録の確認

3. 話題提供1／森林土木工事における木材の活用事例 県森づくり課 辻 淳二氏

4. 話題提供2／「間伐エース工法」・「間伐材残存魚礁について」

れいなん森林組合 本所 稔基氏
株式会社 グローヴ 岡 拓司氏

5. 次年度の活動について

6. その他

7. 次回について

決定事項：

・分科会の主査を決定した。

木杭（地中利用）分科会 主査 吉田 雅穂 福井工業高等専門学校

河川・砂防分科会 主査 坂田 正宏 福井県丹南土木事務所

建築分科会 未定

バイオマス分科会 主査 野村 崇 福井県総合グリーンセンター

内容：

1. 自己紹介

田中 慎悟 氏（岡野コンクリート株式会社）、巨勢 容市 氏（株式会社巨勢）

2. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

3. 話題提供1／森林土木工事における木材の活用事例 県森づくり課 辻 淳二氏

○辻氏がパワーポイントと資料7-2を用いて説明した。

4. 話題提供2／「間伐エース工法」・「間伐材残存魚礁について」

れいなん森林組合 本所 稔基氏
株式会社 グローヴ 岡 拓司氏

○本所氏と岡氏がパワーポイントと資料7-3,7-4を用いて説明した。

5. 次年度の活動について

事務局より分科会希望調査結果が示された（資料7-6）。

平成23年度 第1回福井県木材利用研究会議事録

日時：2011年6月21日（火）15:00～16:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(1-0) 第1回議題書

- (1-1) 第7回福井県木材利用研究会議事録（案）
- (1-2) スギ丸太打設による液状化地盤の側方流動対策に関する模型振動実験
- (1-3) 福井地震を経験した木杭基礎構造物の調査
- (1-4) 公共建築物等木材利用促進法施行による県の方針
- (1-5) 年間工程表
- (1-6) 福井県木材利用研究会名簿
- (1-7) 第10回木材利用研究発表会での企業展示依頼（1展示あたり1万円）

議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）

鳥羽 浩之 氏 福井県（森づくり課）、新町 誠 氏 福井県（建築住宅課）

- 2. 前回議事録の確認
- 3. 話題提供1 / 「福井地震を経験した木杭基礎構造物の調査」
吉田 雅穂 氏（福井工業高等専門学校環境都市工学科）
- 4. 話題提供2 / 「公共建築物等木材利用促進法施行による県の方針」
岩佐 礼三 氏（福井県農林水産部県産材活用課）
- 5. 分科会の活動状況報告
- 6. その他（第10回木材利用研究発表会での企業展示依頼）
- 7. 次回について

決定事項：

- ・次回研究会は、話題提供いただく兼松日産農林株式会社の都合を聞いて決定する。

内容：

- 1. 自己紹介
なし
- 2. 前回議事録の確認
修正事項なく前回議事録は承認された。
- 3. 話題提供1 / 福井地震を経験した木杭基礎構造物の調査
吉田 雅穂 氏（福井工業高等専門学校環境都市工学科）
○吉田先生がパワーポイントと資料1-2,1-3を用いて説明した。
- 4. 話題提供2 / 「公共建築物等木材利用促進法施行による県の方針」
岩佐 礼三 氏（福井県農林水産部県産材活用課）
○岩佐氏が資料1-4を用いて説明した。
- 5. 分科会の活動状況報告
木杭（地中利用）分科会の活動状況について吉田雅穂先生より報告された。

河川・砂防分科会の活動状況について坂田正宏氏より報告された。

バイオマス分科会の活動状況について野村崇氏より報告された。

建築分科会については、分科会の設置がなされていないとの報告が事務局よりされた。

6. その他

第10回木材利用研究発表会での企業展示について資料1-7を用いて事務局より依頼された。

7. 次回について

話題提供者の都合を聞いて事務局より案内。

平成23年度 第2回福井県木材利用研究会議事録

日時：2011年9月16日（金）13:30～15:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(2-0) 第2回議題書

- (2-1) 第1回福井県木材利用研究会議事録（案）
- (2-2) カーボンコンクリートの水生生物への影響に関する研究
- (2-3) カーボンコンクリートに関する研究
- (2-4) カーボンポーラスコンクリートの浄化機能に関する検証
- (2-5) STOP CO₂ 岡野コンクリート株式会社
- (2-6) 福井県産材を利用した木材の地中利用について
- (2-7) 年間工程表

議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）

八木 秀夫 氏（有家工房）、森下 篤博 氏（株式会社三輝設計事務所）
林 久夫 氏（株式会社ミルコン）、甘利 哲夫 氏（株式会社キミコン）

2. 前回議事録の確認

3. 話題提供1／カーボンコンクリートについて

植出 浩爾 氏（岡野コンクリート株式会社）

4. 話題提供2／福井県産材を利用した木材の地中利用について

水谷 羊介 氏（兼松日産農林株式会社）

5. 分科会の活動状況報告

6. その他

7. 次回について

決定事項：

- ・ 次回の現場見学会は、皆様のご意見を基に事務局で見学場所等を決める。
- ・ 八木 秀夫 氏（有限会社家工房）、森下 篤博 氏（株式会社三輝設計事務所）、林 久夫 氏（株式会社ミルコン）、甘利 哲夫 氏（株式会社キミコン）の入会が承認された。

内容：

1. 自己紹介

八木 秀夫 氏（有限会社家工房）、森下 篤博 氏（株式会社三輝設計事務所）、林 久夫 氏（株式会社ミルコン）、甘利 哲夫 氏（株式会社キミコン）より自己紹介がなされた。

2. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

3. 話題提供1／カーボンコンクリートについて

植出 浩爾 氏（岡野コンクリート株式会社）

○植出氏がパワーポイントと資料2-2,3,4,5を用いて説明した。

4. 話題提供2／福井県産材を利用した木材の地中利用について

水谷 羊介 氏（兼松日産農林株式会社）

○水谷氏がパワーポイントと資料2-6を用いて説明した。

5. 分科会の活動状況報告

木杭（地中利用）分科会の活動状況について吉田雅穂先生より報告された。

河川・砂防分科会の活動状況について伊内是成氏より報告された。

バイオマス分科会の活動状況について野村崇氏より報告された。

6. その他

10月に予定されている現場見学会について見学会として良いところがありましたら事務局までお知らせしてほしい旨の説明がなされた。

7. 次回について

事務局よりお知らせする。

平成23年度 第3回福井県木材利用研究会現場見学会記録

日時：2011年11月1日（火）13:30～16:00

場所：福井市近郊

【見学会状況】



パイルネット施工現場



法留工現場①



法留工現場②

平成23年度 第4回福井県木材利用研究会議事録

日時：2011年12月15日（木）15:00～17:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(4-0) 第4回議題書

(4-1) 第3回福井県木材利用研究会現場見学会記録（案）

(4-2) 「TKウォール工法」（木製緑化補強土壁）の開発

(4-3) 知的財産の活用

(4-4) 福井県木材利用研究会活動報告

(4-5) 佐賀県木材利用研究会活動報告

(4-6) 土木学会の動き

(4-7) 福井県木材利用研究会名簿

(4-8) 森林土木木製構造物施工マニュアル（平成23年度版）

(4-9) TKウォール工法（石川県建設新技術認定製品）

(4-10) 知財戦略支援策ガイド

(4-11) 特許電子図書館ガイドブック

(4-12) O&Dウッド

(4-13) マイトレックACQ

議題：1. 前回議事録の確認

2. 話題提供1／「TKウォール工法」（木製緑化補強土壁）の開発

久保 哲也 氏（前田工織株式会社）

福井県で施工した事例紹介

神崎 隆洋 氏（前田工織株式会社）、伊内 是成 氏（美山町森林組合）

3. 話題提供2／「知的財産活用方法について－木材での事例－」

河村 光 氏（福井県発明協会）

4. 分科会の活動状況報告

5. その他

6. 次回について

内容：

1. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

2. 話題提供1／「TKウォール工法」（木製緑化補強土壁）の開発

久保 哲也 氏（前田工織株式会社）

福井県で施工した事例紹介

神崎 隆洋 氏（前田工織株式会社）、伊内 是成 氏（美山町森林組合）

○久保氏がパワーポイントと資料4-2を用いて説明した。

○神崎氏、伊内氏がパワーポイントと資料4-8,9,12,13を用いて説明した。

3. 話題提供2／「知的財産活用方法について－木材での事例－」

河村 光 氏（福井県発明協会）

○河村氏がパワーポイントと資料4-3,10,11を用いて説明した。

－話題提供記録1－「TKウォール工法」（木製緑化補強土壁）の開発（久保 委員）
福井県で施工した事例紹介（神崎 委員、伊内 委員）

○概要

- ・補強土壁工の壁面材の主要部材は全て間伐材を使用しており、周囲環境への負荷が少なく、二酸化炭素の固定が図れる工法である。間伐材が腐朽しても、高強度・低伸度の壁面補強材で巻き込んでいるので、耐久性に優れている。間伐材の持つ剛性と粘弾性を生かし、十分な盛土転圧が可能で、盛土安定性に優れている。地域の森林組合で組立された大型プレキャスト製品なので、工期短縮が図れる。植生面積を十分に確保したデザインによって、早期に草本類の植生ができる。さらには、周囲の草本・木本類の移入によって、立体的で多様性に富む植生が期待できる。端材発生の低減化による廃棄物の発生抑制、端材の小部材へのリサイクルによって、従来の鋼製緑化補強土壁と同程度以下の工事費となっており経済的である。

○質疑応答及び意見交換（Aは久保 委員、神崎 委員、伊内 委員）

Q：土圧の計算はしているのか？

A：計算は行っている。ただし、ジオテキスタイルを用いて発生した土圧は一般の斜面の土圧よりも小さくしている。

Q：木材で締固めが容易になるとは？

A：壁面材としての効果がある。

Q：勾配は鉛直？

A：1～2分もある。

Q：木材が腐朽した時の隙間の処置は？

A：取り換えを考える。

Q：メンテナンスの基準は？

A：場所によって基準が変わる。メンテの指針が必要と思う。

Q：ジオテキスタイルの耐用年数は？

A：一般的に100年で考えている。

Q：土木事務所での使用はあるのか？

A：現在のところない。

Q：防腐処理はしているのか？

A：石川県の場合は、防腐処理は行っていない。

Q：石川県が防腐処理していないのは、腐朽の条件となる酸素を土の締固めで無くしているからか、それとも多少腐朽しても木材が無くなり、その部分が陥没するようなことまでは起こらないと想定しているからか？

A：腐朽に対して多少の心配はしている。

Q：石川県では防腐処理していないのに何故福井県ではするのか？

A：福井県では腐朽に対して心配する声があるので、美山森林組合の研究を進めている。

Q：防腐加工すると何年くらいもつのか？

A：30年～40年は持つと考えられている。

Q：圧縮加工の効果？

A：細胞がつぶれて、防腐剤が入りやすくなる。寸法は元に戻る。丸状にして圧縮。

Q：一般土木での利用は？

A：なし。林道のみ。

Q：TKウォール工法のTKとはどういう意味か？

A：Thinned wood on bended KneeのTKをとっている。膝を曲げた形をした間伐材という意味である。

Q：従来品？との単価比較は？

A：資料4-9参照

- 話題提供記録2 - 「知的財産活用方法について - 木材での事例 -」（河村 委員）

○概要

- ・有形資産から無形資産へ。21世紀は知識経済社会。知的財産権には、特許権、実用新案、意匠権、商標権などがある。実用新案は期間が短いのでお勧めではない。特許権は、取得した時が一番価値があり、徐々に他から真似されたものができてくるので価値が下がると考えた方がよい。儲けるためには1. 売れる商品を作る「買う人→顧客は何がほしいのか?」「売る人→どうしたら買ってもらえるのか?」「作る人→良い商品を安く」、2. 参入障壁を作る「知財で守る」「ノウハウで守る」「契約で守る」

○質疑応答及び意見交換（敬称略。Aは河村 委員）

Q：試作品などの費用の工面は？

A：1) 産業支援センターで売れるかどうかのアドバイスを行う。2) 国や県の支援制度がある。支援申請書の書き方が難しい。福井市の支援制度（50万円、100万円）がある。農林関係は採択されやすい。

Q：実用新案は意味がない？

A：番号をもらえるだけ。消費者向けには良い。

Q：特許侵害の状況は？

A：大手企業が特許無効の裁判で、中小企業の特許を潰そうとすることがある。

4. 分科会の活動状況報告

木杭（地中利用）分科会の活動状況について久保氏より報告された。

河川・砂防分科会の活動状況について伊内氏より報告された。

バイオマス分科会の活動状況について神崎氏より報告された。

5. その他

6. 次回について

事務局よりお知らせする。

平成23年度 第5回福井県木材利用研究会議事録

日時：2012年1月19日（木）13:30～15:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(5-0) 第5回議題書

(5-1) 第4回福井県木材利用研究会議事録（案）

(5-2) 信越化学との共同研究に関して 株式会社グローケミカル

(5-3) 賀茂別雷神社看板 施工 株式会社グローケミカル

(5-4) 賀茂別雷神社御札所桧皮葺屋根再生塗装工事 株式会社グローケミカル

(5-5) ウッドピッチを用いた再生アスファルト混合物について

議題：1. 前回議事録の確認

2. 話題提供1／木材に利用できる水性防炎剤について

梶谷 秀樹 氏（株式会社グローケミカル）

3. 話題提供2／ウッドピッチを用いた再生アスファルト混合物について

三田村 文寛 氏（県雪対策・建設技術研究所）

4. 分科会の活動状況報告

5. その他

6. 次回について

内容：

1. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

2. 話題提供1／木材に利用できる水性防炎剤について

梶谷 秀樹 氏（株式会社グローケミカル）

○梶谷氏がパワーポイントと資料5-2,5-3,5-4を用いて説明した。

3. 話題提供2／ウッドピッチを用いた再生アスファルト混合物について

三田村 文寛 氏（県雪対策・建設技術研究所）

○三田村氏がパワーポイントと資料5-5を用いて説明した。

－話題提供記録1－木材に利用できる水性防炎剤について

梶谷 秀樹 氏（株式会社グローケミカル）

○概要

・水性防炎剤は、浸透式でノンハロゲン系の水溶性防炎剤である。無毒無臭であり揮発性有機溶媒など一切使用しておらず、人体及び環境にやさしい製品である。また、浸透性のある物であれば素材の風合い、特性、色、形等を変える事なく防炎性能を満たすという特徴を持っている。石川県森林組合連合会では「モエンウッド」という商品名で準不燃材の認定を受けている。

信越化学と延焼抑制剤への応用研究を行っている。賀茂別雷神社看板の施工で水性防炎剤が使用された。また、賀茂別雷神社御札所桧皮葺屋根再生塗装工事において、当社の水性エポキシ樹脂が使用された。

○質疑応答及び意見交換（Aは糇谷 委員）

Q：木材が燃えない原理は？

A：リン酸アンモニウム、硫酸アンモニウムの紛体が木材表面に付着し層となり燃えない。

Q：防炎剤の単価は？

A：200円/m²程度だと思う。

Q：燃焼しても有毒ガスは出ないのか？

A：出ない。

Q：準不燃で不燃ではないのか？

A：不燃ではない。準不燃である。不燃木材で利用されるホウ酸は安全上問題がある。

Q：ボトル（研究会時に回覧した500ml程度のボトル）でいくらするのか？

A：2,000円程度だと思われる。

Q：水性防炎剤を使用した木材の単価は？

A：石川県森連が決められているので詳細はわからない。石川県森連に聞くとわかると思う。

Q：薬剤を注入する窯はどこにでもあるのか？

A：ある。

Q：薬剤を使用することによる木材本来の性能に問題はないのか？

A：ない。使用前に比べて調湿効果が少し増す。

－話題提供記録2－ウッドピッチを用いた再生アスファルト混合物について

三田村 文寛 氏（県雪対策・建設技術研究所）

○概要

・ウッドピッチ→wood(木材)pitch(原油・コールタールなどを蒸留したあとにできる黒い粘着物質)。研究の背景は、温室ガスの削減、工事コストの縮減である。ウッドピッチの生成過程、ウッドピッチの成分と環境基準について説明した。ウッドピッチのアスファルト舗装への利用方法について検討した。具体的にはアスファルトを再生する際の再生用添加剤としての利用を検討した。室内試験の結果、ウッドピッチを用いたアスファルト混合物は従来のアスファルト混合物と同様な方法で配合設計が可能であることがわかった。現場配合の確認を行った結果、室内配合通り現場配合できることがわかった。性能確認（疲労破壊抵抗性、塑性変形抵抗性等）を行った結果、各種基準値を満足した。施工性、ウッドピッチを添加した再生アスファルト舗装材の効果について説明した。

○質疑応答及び意見交換（A是三田村 委員）

Q：石川県のバイオマス発電所からのウッドピッチ排出量は？

A：はっきりした排出量は覚えていないが、福井県内の舗装工事分を賄える量はあったと記憶している。現在、石川県のバイオマス発電所は停止している（山形または大阪から入荷）。

Q：ウッドピッチの他の用途は？

A：重油と混合して燃やしている。防腐剤としての効果もある。

Q：舗装の破壊の定義は？

A：構造上はもっと余裕があるが、国総研では財務省の予算要求上、舗装のわだち部にひび割れができたなら（ひび割れ率20%）疲労破壊と見なしている。構造的な破壊はもっと余裕があると思われる。構造的な破壊の定義は難しく、はっきりと示したもの（ひび割れ

率50%という説がある)はない。

Q：研究の動機は？

A：ウッドピッチの処分に困っていたこととコスト縮減である。福井高専の武井先生より問題提起があり三国土木事務所の坂田氏より相談があり、ウッドピッチの見た目の性状からアスファルト再生の再生用添加剤になると思いつき、当時、ウッドピッチ購入のルートを持っていた前田道路㈱に声をかけ、共同研究に至った。

Q：ウッドピッチを用いた舗装のリサイクルは通常のアスファルト舗装と混ざってしまい、リサイクルする時に支障が生じるのでは？

A：これは舗装全体の問題であり、ウッドピッチを用いた舗装だけの問題ではなく、きちんと舗装台帳整理が成されていれば問題がない。ウッドピッチ入りの舗装のリサイクルの検討は行っていないが、アスファルト舗装全体のリサイクルの問題として繰返し再生（特に再生用添加剤による再生）がされるとアスファルトそのものの性状劣化が問題となっており、国総研が研究に取り組んでいる。

Q：ウッドピッチを用いた舗装の紫外線劣化はあるのか？

A：アスファルト舗装全体として、紫外線劣化はあまりなく熱劣化の方が大きい。ウッドピッチと一般にものの比較は、簡単な試験ではウッドピッチの方が紫外線劣化が少ない結果が出たが詳細には検討を行っていない。

4. 分科会の活動状況報告

木杭（地中利用）分科会の活動状況について福井高専の吉田先生より報告された。

5. その他

- ・次回の研究会は3月を予定しており、分科会の活動報告と次年度の活動内容を議論したいと思うので事務局に提案してほしい。

6. 次回について

事務局よりお知らせする。

平成23年度 第6回福井県木材利用研究会議事録

日時：2012年3月21日（水）15:00～16:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(6-0) 第6回議題書

(6-1) 第5回福井県木材利用研究会議事録（案）

(6-2) 木質バイオマス分科会活動報告

(6-3) 河川砂防分科会活動報告

(6-4) 木杭（地中利用）分科会活動報告

(6-5) 次年度活動計画について

(6-6) H24年度活動計画

(6-7) 土木学会関係（ロードマップ）

議題：1. 前回議事録の確認

2. 分科会の活動状況報告

3. 次年度活動計画

4. その他

5. 次回について

決定事項：

○研究会

- ・6回の定例研究会と1回の現場見学会を通して、木材利用に関する知識と分野間の連携を深める。
- ・JSCEライブラリを利用した木材利用講習会を開催する（12月）。
- ・木材の劣化に関する情報収集。
- ・木材の流通システム。

○木杭（地中利用）分科会

- ・「丸太杭を用いた軟弱地盤対策の設計・施工マニュアル」の作成。
- ・軟弱粘性土地盤に建設する道路の補強技術に関する室内模型実験と現場施工実験（吉田、久保）。
- ・丸太を用いた液状化対策技術に関する模型振動実験（吉田）。

○河川砂防分科会

- ・研修会の報告書作成と発行。
- ・新たな研修会の企画と開催。
- ・福井県の林道における施工事例および崩壊事例の収集。

内容：

1. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

2. 分科会の活動状況報告

- ・木質バイオマス分科会の活動報告がなされた（代理報告：久保）。資料6-2
- ・河川・砂防分科会の活動報告が坂田主査よりなされた。資料6-3
- ・木杭（地中利用）分科会の活動報告が吉田主査よりなされた。資料6-4

3. 次年度活動計画

- ・平成24年度の年間工程表が事務局より示された。
- ・平成24年度の活動計画（案）が吉田先生より示された。資料6-6
- ・土木学会の活動状況および今後の予定について吉田先生より示された。資料6-7

平成24年度 第1回福井県木材利用研究会議事録

日時：2012年5月22日（火）15:00～16:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(1-0) 第1回議題書

(1-1) 第6回福井県木材利用研究会議事録（案）

(1-2) 丸太を用いた戸建て住宅の液状化対策に関する模型振動実験

(1-3) 木造建築解体材を利用した液状化対策技術に関する模型振動実験

(1-4) 柱材の割れを避け！高温セット法

(1-5) 「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」～内容のご紹介～

議題：1. 自己紹介（オブザーバーでの参加者）

和多田 浩樹 氏（福井県総合グリーンセンター）

齋藤 年央 氏（福井県総合グリーンセンター）

2. 前回議事録の確認

3. 話題提供1／木材を用いた戸建て住宅の液状化対策技術の開発

福井工業高等専門学校 吉田 雅穂 氏

4. 話題提供2／安全・安心な乾燥材生産技術の開発

県総合グリーンセンター 和多田 浩樹 氏

5. その他

6. 次回について

決定事項：

○分科会の運営について

・各分科会は、2ヶ月に1回の研究会の時間を一部利用して行う。

内容：

1. 自己紹介

和多田浩樹氏と齋藤年央氏の入会が承認された。

2. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

3. 話題提供1

木材を用いた戸建て住宅の液状化対策技術の開発 福井工業高等専門学校 吉田 雅穂 氏
パワーポイントにより説明がなされた。

Q：模型実験では効果があるが、実際の地盤では木杭を住宅周辺に打つだけでは、不同沈下を十分に抑制できないのではないか。

A：今後実証していく。

Q：福井市の液状化MAPは公開されているか。

A：公開されている。

Q：非液状下層まで杭を打ったら効果があるか。

A：模型実験では、非液状下層まで打っていない。

Q：横方向への移動は、杭の頭を連結すると止められるのでは。

A：検討する。

4. 話題提供 2

安全・安心な乾燥材生産技術の開発 県総合グリーンセンター 和多田 浩樹 氏
パワーポイントにより説明がなされた。

せん断強度は、割れにより低下する。

Q：目標含水率20%は。

A：人工的に可能。

Q：内部割れの確認方法。

A：パソコンによる画像処理。

Q：落とした温度では。

A：やっていない。

Q：せん断強度の低下は何が問題になる。

A：接合部の強度が問題となる。

切り口30cmまで割れが多いことを確認している。

Q：割れ量の評価方法

A：割れの最大長さと面積を画像処理している。

平成24年度 第2回福井県木材利用研究会議事録

日時：2012年7月31日（火）13:30～17:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(2-0) 第2回議題書

(2-1) 第1回福井県木材利用研究会議事録（案）

(2-2) 木杭による地盤改良の設計

(2-3) 福井県における公共建築物等木材利用促進法に基づく取り組み状況

(2-4) 福井県木材利用研究会名簿

(2-5) 地盤改良のためのALiCC工法マニュアル抜粋

(2-6) ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル抜粋

議題：1. 前回議事録の確認

2. 木杭分科会

3. 河川・砂防分科会

4. バイオマス分科会

5. 話題提供1／木杭による地盤改良の設計

株式会社デルタコンサルタント 梅田 祐一 氏

6. 話題提供2／福井県における公共建築物等木材利用促進法に基づく取り組み状況

県産材活用課 岩佐 礼三 氏

7. その他

8. 次回について

決定事項：

○木杭分科会

- ・マニュアルのスケジュールの再確認（9月下旬：原案完成、10月～12月：調整、1月下旬：印刷、3月：発刊・配布

○河川・砂防分科会

- ・「低コストで、壊れにくく、耐久性のある作業道をつくる」うえで、木材を用いた役に立つ作設マニュアル作成については、県森づくり課が関係するので調整してから進める。

内容：

1. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

2. 木杭分科会

マニュアル作成内容について議論

3. 河川・砂防分科会

「低コストで、壊れにくく、耐久性のある作業道をつくる」うえで、木材を用いた役に立つ作設マニュアル作成内容について議論

4. バイオマス分科会

今年度活動内容については今後議論

5. 話題提供1 / 木杭による地盤改良の設計

株式会社デルタコンサルタント 梅田 祐一 氏

パワーポイントにより説明がなされた。

- ・ 福井県小浜市の県道で軟弱地盤対策に木杭を用いた設計を行った。
- ・ 擁壁部分については、佐賀県のマニュアルに基づき設計した。
- ・ 路床部の設計はALiCC工法の設計に準拠して行った。照査の結果、着底式の場合でサンドマットを使用した場合、不同沈下量がNGとなる。サンドマットから浅層改良とするとOKとなることがわかった。昨年、小浜市の県道で行った設計ではジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアルを参考として独自の理論で行っているため整合をとる必要がある。

6. 話題提供2 / 福井県における公共建築物等木材利用促進法に基づく取り組み状況

県産材活用課 岩佐 礼三 氏

パワーポイントにより説明がなされた。

- ・ 木材利用促進法（H22年10月施行）・・・行政が率先して木造化を進める。
- ・ 福井県木材利用基本方針（H23年4月策定通知）
- ・ 県内での木造建築物整備計画を策定しているのは永平寺町だけ→県内市町は消極的
- ・ 県産材木造利用の目標値3,500m³/年（H22年度）→3,000m³/年（H23年度）
減った理由→林道・治山工事は6割減
福井国体に向けて木材利用が考えられたが既存施設を有効利用していく方針（リフォームはカウントされない）
- ・ H24以降 公共施設整備計画 計画施設46施設（木造11）
- ・ 公共施設・公共工事での県産材利用に係る課題
 - ①施設整備、工事予算の縮小
 - ②工事単価（受注業者への納入単価）
 - ③公共施設の建設期間の問題（特に製材品の場合には、猶予期間が必要）
 - ④安定供給、大ロットへの対応（調達）
 - ⑤県産間伐材丸太の生産拡大と加工利用（間伐材を使った木杭の需要）
 - ⑥工事仕様書への県産材使用明記（努力項目）
- ・ 県産材生産の課題
 - ①丸太の生産量
 - ②同一規格丸太の供給
 - ③需要に対する製品の生産（量、規格、時期）
 - ④規格に対応した品質を確保した製品の供給（小径木、中径木製品、乾燥、JAS製品）
 - ⑤県産材製品を提示できない（カタログなど）
 - ⑥製品の価格を安くできない
 - ⑦川上～川下の連携（システム販売）

平成24年度 第3回福井県木材利用研究会議事録

日時：2012年10月17日（水）13:30～17:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(3-0) 第3回議題書

(3-1) 第2回福井県木材利用研究会議事録（案）

(3-2) 福井県における木材利用用途拡大の課題

(3-3) 大野市新庁舎の整備に向けて

(3-4) 年間工程表

(3-5) 建設事業における木材利用研修会（案）

議題：1. 新規会員の紹介

2. 前回議事録の確認

3. 河川・砂防分科会

4. 木杭分科会

5. 話題提供1／福井県における木材利用用途拡大の課題

美山町森林組合 八杉 健治 氏

話題提供2／大野市新庁舎の整備に向けて

大野市役所 村上 一幸 氏

6. その他

7. 次回について

決定事項：

○現場見学会の日時・内容については（案）を作成し提示する。

○建設事業における木材利用研修会（案）について、内容を精査して（案）提示する。

内容：

1. 新規会員

小澤 聖輔 氏（株式会社マーベルコーポレーション）および東畑 慎治 氏（株式会社東畑建築設計事務所）が委員として承認された。

2. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

3. 河川・砂防分科会

作業道・作業路崩壊事例調査の課題について議論

4. 木杭分科会

マニュアル作成内容について議論

5. 話題提供1／福井県における木材利用用途拡大の課題

美山町森林組合 八杉 健治 氏

資料3-2により説明がなされた。

- ・「森林・林業再生プラン」について。

杉価格 昭和30年－4,478円/m³ → 2,838円/m³

就業人口9,000人 → 5,000人（限界集落化）

国産材50%を目指す

木材は、昭和39年に自由化されていて、TPPの影響はない。

補助金 広く浅く → 重点配分 10m³/ha以上で補助対象

コスト削減のため、運搬路の充実

福井県 現在100,000m³/年 → 130,000m³/年（2～3年後）目標

9年後には運搬路が完成して、補助金なしでやっていけるか？

福井県の方向性はあるが、具体策がない。

例）細材を獣害策、土木軟弱地盤、建築基礎、木枠に碎石で木工沈床

- ・木材は、防腐加工していれば約30年は大丈夫。

Q&A

・補助金重点配分 10m³/ha以上で補助対象はOK？ A：厳しくない

・バイオマス100,000m³/年 A：供給体制は困難

話題提供 2 / 大野市新庁舎の整備に向けて

大野市役所 村上 一幸 氏

パワーポイントにより説明がなされた。

- ・市民から新庁舎への意見・提案を募集し、基本設計に反映。
- ・木材を不燃処理するとコスト高となるが、なるべく利用できるように努力している。
- ・建築担当者の木材利用の意識は高くはない。

Q&A

・不燃化との関係？ A：考慮している（県内技術）

・自然エネルギーに雪研の技術を利用。

6. その他

- ・久保委員より、現場見学会について説明がなされた。
- ・吉田委員より、(3-5) 建設事業における木材利用研修会（案）の主旨説明がなされた。

7. 次回について

事務局で内容と日時を調整する。

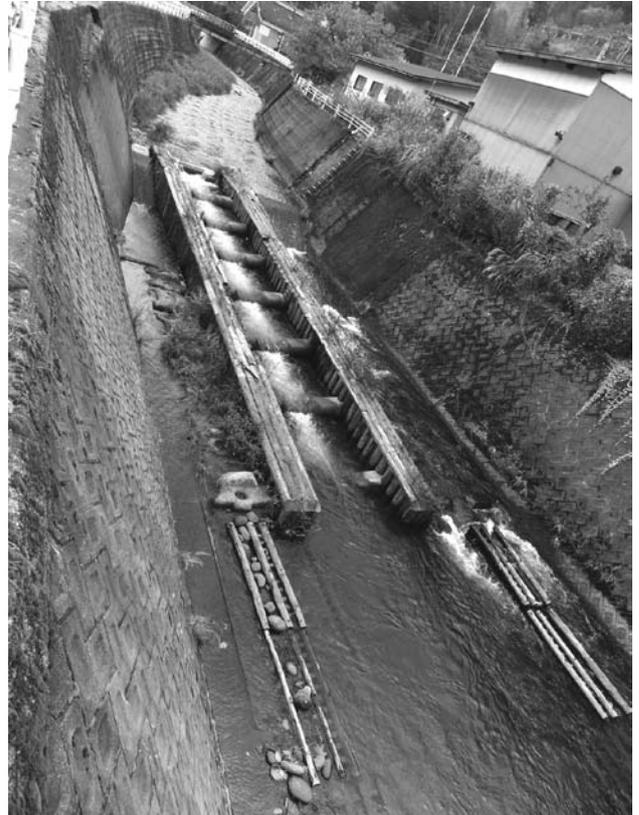
平成24年度 第4回福井県木材利用研究会現場見学会記録

日時：2012年10月15日（木）13:30～16:30

場所：福井市、永平寺町



木製遮音壁



木製型枠を利用した魚道および木工沈床



治山ダムの木製残存型枠



間伐材を支柱に利用した獣害ネット



木製排水溝

平成24年度 第5回福井県木材利用研究会議事録

日時：2012年12月12日（水）15:00～17:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(5-0) 第5回議題書

(5-1) 第3回福井県木材利用研究会議事録（案）

(5-2) 第2回「福井の家」コンペにおける県産材の提案など

(5-3) 木杭による斜面安定工法の事例－乗谷朝倉氏遺跡－

(5-4) 年間工程表

議題：1. 前回議事録の確認

2. 話題提供1／第2回「福井の家」コンペにおける県産材の提案など

株式会社東畑建築設計事務所 東畑 慎治 氏

3. 話題提供2／木杭による斜面安定工法の事例－乗谷朝倉氏遺跡－

福井大学 荒井 克彦 氏

4. 木杭（地中利用）分科会

5. 建設事業における木材利用研修会（案）について（日程調整，講師etc）

6. その他

決定事項：

○建築分科会の主査は東畑慎治氏とする。

内容：

1. 新規会員

中西昭雄氏（中西木材株式会社）が委員として承認された。

2. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

3. 河川・砂防分科会

特になし

4. 木杭分科会

マニュアル作成中

5. 話題提供1／第2回「福井の家」コンペにおける県産材の提案など

株式会社東畑建築設計事務所 東畑 慎治 氏

パワーポイントにより説明がなされた。

話題提供2／木杭による斜面安定工法の事例－乗谷朝倉氏遺跡－

福井大学 荒井 克彦 氏

パワーポイントにより説明がなされた。

6. その他
特になし

7. 次回について
事務局で内容と日時を調整する。

平成24年度 第6回福井県木材利用研究会議事録

日時：2013年2月27日（水）13:30～15:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

岩佐委員の代理：藤田義憲（県産材活用課）

資料：(6-0) 第6回議題書

(6-1) 第5回福井県木材利用研究会議事録（案）

(6-2) シカの食害対策における現地木材利用

(6-3) ヤシ油を主成分とした環境配慮型保存処理木材の開発と今後の展望

(6-4) 年間工程表

議題：1. 前回議事録の確認

2. 話題提供1 / シカの食害対策における現地木材利用

京福コンサルタント株式会社 鳥居 直也 氏

3. 話題提供2 / ヤシ油を主成分とした環境配慮型保存処理木材の開発と今後の展望

株式会社マーベルコーポレーション 小澤 聖輔 氏

4. その他

内容：

1. 前回議事録の確認

修正事項なく前回議事録は承認された。

2. 話題提供1 / シカの食害対策における現地木材利用

京福コンサルタント株式会社 鳥居 直也 氏

パワーポイントにより説明がなされた。

・岐阜県根羽村はシカ肉を料理に利用して地域おこしを行っているようなので参考になると思われる。

Q：被害の状況は？ A：樹木の1～2mの高さを1周齧る。立ち枯れして倒れる。

Q：木製の土留め柵の土砂流動には効果は？ A：表層の押えのみ。

Q：シカの密度は？ A：嶺南で3～4万頭。半数が自然の状態。積雪60cmでシカは死ぬが、暖冬で増加したようである。

Q：化学繊維の獣害防止ネットは？ A：コストに問題。

Q：シカを食べる国への輸出は？ A：コストが合わない。

3. 話題提供2 / ヤシ油を主成分とした環境配慮型保存処理木材の開発と今後の展望

株式会社マーベルコーポレーション 小澤 聖輔 氏

パワーポイントにより説明がなされた。

Q：注入含水率？ A：30%。強制乾燥後に注入。注入深さ1cm程度。

Q：建築用木杭には？ A：法律で注入剤が決められている。

Q：耐久性は？ A：十分にある。

Q：兼松との違いは？ A：同系の材料がある。

Q：外装材としては？ A：注入後でも、自然塗料を塗れる。カビは生えない。

Q：認証は？ A：木材保存協会が行う。

Q：注入の工夫は？ A：木口からが入りやすい。

4. その他

丸太杭工法を用いた軟弱地盤対策の設計・施工マニュアルの詳細について議論した。

木杭（地中利用）分科会議事録 目次

〔平成23年度〕

1	第1回（2011.5.19）	1
2	第2回（2011.6.21）	2
3	第3回（2011.7.27）	3
4	第4回（2011.8.26）	4
5	第5回（2011.11.29）	5
6	第6回（2011.3.21）	7

〔平成24年度〕

7	第1回（2012.5.22）	8
8	第2回（2012.7.31）	11
9	第3回（2012.10.17）	12

平成23年度 第1回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2011年5月19日（木）13:30～15:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(1-0) 第1回議題書

(1-1) 水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎～設計マニュアル（第1版）

(1-2) プレキャストL型擁壁（ $H \leq 2$ m）の木杭－底盤系基礎～設計マニュアル（第1版）

(1-3) 福井県土木部の基礎工設計マニュアルの抜粋

(1-4) 小浜現場実験資料

議題：1. 自己紹介

2. 話題提供1／小浜での現場実験概要 雪対策・建設技術研究所 久保 光 氏

3. 話題提供2／佐賀県の木杭設計マニュアルの紹介 〃

4. 話題提供3／粘性土地盤の模型実験の概要説明

福井工業高等専門学校 吉田 雅穂 氏

5. 話題提供4／福井県土木部の基礎工設計マニュアルの紹介 〃

6. その他

7. 次回について

決定事項：

・次回の分科会までに事務局より分科会の活動内容（案）を示す。

内容：

1. 自己紹介

出席者全員、自己紹介を行った。

2. 話題提供1／小浜での現場実験概要

話題提供2／佐賀県の木杭設計マニュアルの紹介

○久保氏がパワーポイントを用いて説明した。

話題提供3／粘性土地盤の模型実験の概要説明

話題提供4／福井県土木部の基礎工設計マニュアルの紹介

○吉田氏が資料を用いて口頭で説明した。

3. その他

特になし。

4. 次回

福井県木材利用研究会が開催される日とする。

平成23年度 第2回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2011年6月21日（木）13:30～14:50

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(2-0) 第1回議題書

(2-1) 第1回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(2-2) 年次計画・役割分担（案）について

議題：1. 分科会の年次計画・役割分担（案）について

福井工業高等専門学校 吉田 雅穂 氏

2. その他

3. 次回について

決定事項：

- ・分科会会員はマニュアル作成委員会委員を兼ねることとする。
- ・マニュアルの検討は過去のマニュアルを参考にして作成する。
- ・事務局で役割分担とマニュアル作成の工程表を作成する。
- ・雪建からマニュアル作成委員会の委員の委嘱状を出す。
- ・マニュアルは福井県雪対策・建設技術研究所と福井県木材利用研究会の連名で出す。

内容：

1. 前回議事録の確認
修正事項なく了承された。
2. 分科会の年次計画・役割分担（案）について
分科会の年次計画・役割分担（案）について吉田 氏・事務局より説明がなされた。
3. その他
7月8日に小浜の現場実験箇所で開催見学会を予定。
4. 次回
7月に日程調整をして行う。

平成23年度 第3回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2011年7月27日（水）14:30～16:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(3-0) 第1回議題書

(3-1) 第2回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(3-3) 年次計画・役割分担・マニュアル目次（案）について

(3-4) 杭網（パイルネット）工法設計・施工の手引き

- 議題：1. 自己紹介 梅田祐一氏 株式会社デルタコンサルタント
2. 分科会の年次計画・役割分担・マニュアル目次（案）について
雪対策・建設技術研究所 久保
3. その他
4. 次回について

決定事項：

- ・梅田祐一氏（株式会社デルタコンサルタント）の入会が了承された。
- ・マニュアルは、佐賀県のマニュアルを基に各自担当分野について考える。
- ・次回、佐賀県のマニュアルについて事務局より説明する。

内容：

1. 前回議事録の確認
一部修正し、了承された。
2. 年次計画・役割分担・マニュアル目次（案）について
事務局より年次計画・役割分担・マニュアル目次（案）が示された。
3. その他
・会計検査院の方で農業用水路に木杭を用いた件で問題があった（坂田氏）。
4. 次回
8月に日程調整をして行う。

平成23年度 第4回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2011年8月26日（木）13:30～15:30

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(4-0) 第4回議題書

(4-1) 第3回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(4-2) 高島三号栈橋基礎の設計について

(4-3) 地中木材の腐朽対策技術に関する共同研究報告書（2007-2009）

(4-4) 道路技術基準の体系

(4-5) 木杭（杉杭）バックホウ打設歩掛

議題：1. 自己紹介 甘利 哲夫 氏（株式会社キミコン）、藤田 貴準 氏（株式会社キミコン）
2. 佐賀県のマニュアルの考え方について 県雪対策・建設技術研究所 久保 光 氏
3. その他
4. 次回について

決定事項：

・甘利 哲夫 氏（株式会社キミコン）、藤田 貴準 氏（株式会社キミコン）の入会が承認された。

内容：

1. 前回議事録の確認
修正事項なく了承された。
2. 佐賀県のマニュアルの考え方について
佐賀県のマニュアルについて久保研究員の方から説明がなされた。
Q：佐賀県のマニュアルにおいて安全率1.5とした根拠は？
A：末口面積で設計しているが元口面積との平均では1.5倍となり設計上1.5の安全率がある。
詳細は、次回までに調べておく。
3. その他
佐賀県のマニュアルについて疑問点を事務局までお知らせいただければまとめて佐賀県のマニュアル作成担当者に聞いて次回までに調べておく。
4. 次回
10月に日程調整をして行う。

平成23年度 第5回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2011年 11月29日（火）13:30～15:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(5-0) 第5回議題書

(5-1) 第4回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(5-2) 東日本大震災における木杭基礎構造物の現地調査

(5-3) マニュアル関連資料（佐賀県のマニュアルに対するQ & A）

(5-4) マニュアル関連資料（調査対象職種の定義・作業内容）

(5-5) マニュアル関連資料（粘土地盤における周面支持杭-底盤系の支持機構に関する研究）

呉 文経 氏

- 議題：1. 自己紹介 山崎 氏（坂川建設株式会社）、西浦 氏（三谷セキサン株式会社）
2. 東日本大震災における木杭基礎構造物の現地調査 福井高専 吉田雅穂 氏
3. （仮称）福井県の木杭利用による軟弱地盤対策設計・施工マニュアル事務局案について
雪対策・建設技術研究所 久保 光 氏
4. その他
5. 次回について

決定事項：

- ・山崎 氏（坂川建設株式会社）、西浦 氏（三谷セキサン株式会社）、坪田 氏（セキサンピーシー）の入会が承認された。
- ・木杭打設バックホウ施工打設部掛のとび工は計上しない。
- ・バケットをアタッチメントに変えてブレーカーとして使用する。
- ・複合地盤の設計の考え方や木杭の安全率1.5について、基本的に佐賀県マニュアルに従う。
- ・佐賀県マニュアルは $H \leq 2m$ のプレキャストL型擁壁を対象としている。重力式擁壁への適用、施工時検討方法等については今後の課題とする。
- ・背面土が砂質土の場合は、 $H \leq 1.2m$ の歩道部においても側圧を考慮した設計を行う方向で検討を進める。ジオグリッドを敷いて対応する方法も考えられるが、効果を実証しがたいものと考えられる。
- ・マニュアルの内容は基本的に既存マニュアル（道路路体対策⇒パイルネット工法、L型擁壁・ボックスカルバート⇒佐賀県マニュアル）をベースにして、適用限界をそれに合わせる。道路路体対策の適用限界については $H \leq 5m$ という考え方もあるが、今後の課題とする。
- ・吉田先生の方でマニュアル作成の担当部分を考えてみる。

内容：

1. 前回議事録の確認
修正事項なく了承された。
2. 東日本大震災における木杭基礎構造物の現地調査 福井高専 吉田 雅穂 氏
パワーポイントにより説明がなされた。
Q：木杭打設した箇所が液状化しないメカニズムは？
A：軟弱地盤に杭を打つことにより地盤が密になり液状化しにくくなる。模型実験でも確かめられている。

Q：浄水場は部分的な補修ではなくて全面的に改修するとのことであるが理由は？災害復旧工事などでは部分的に行うのだが。

A：よくわからない。全面的に改修する時に、たくさんの木杭が出てくるので調査させていただきたいと伝えた。

Q：手元資料パワーポイントp7浄水場の被災状況に、法肩部で35cm沈下とありますが、木杭打設範囲も沈下が生じているのでしょうか。それとも木杭打設範囲は沈下が生じておらず、打設境界から折れ曲がるように沈下しているのでしょうか。

A：木杭打設範囲も沈下が生じていた。折れ曲がるような現象は見受けられなかった。盛土のはらみ出しが見られた。

Q：プール横の木杭設置箇所（幅2m）に関して、木杭の上部はどのようになっているのか？

A：盛土である。

3. その他

12月6日の土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会拡大運営委員会において福井県木材利用研究会の活動状況について久保氏から報告する。

4. 次回

日程調整して連絡する。

平成23年度 第6回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2012年3月21日（水）13:30～14:50

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(6-0) 第6回議題書

(6-1) 第5回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(6-2) 軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担（案）

(6-3) マニュアル分担作業状況（梅田）

(6-4) 丸太を用いた軟弱粘性土の地盤補強技術に関する模型実験

(6-5) 軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測

- 議題：1. 福井県の木杭利用による軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担（案）および
今後の進め方について 福井高専 吉田 雅穂 氏
2. マニュアル分担作業状況報告 デルタコンサルタント 梅田 祐一 氏
3. 丸太を用いた軟弱粘性土の地盤補強技術に関する模型実験 福井高専 吉田 雅穂 氏
4. 軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測 雪建技 久保 光 氏
5. その他
6. 次回について

決定事項：

- ・マニュアル分担案について承認された。資料6-2 次回5月に概要提出。

内容：

1. 前回議事録の確認
一部修正し了承された。
2. 福井県の木杭利用による軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担（案）および
今後の進め方について吉田主査より説明がなされた。
 - ・分担者の了解の確認が必要。
3. マニュアル分担の作業状況について梅田委員より説明がなされた。
 - ・福井県基礎工設計マニュアルの見直しをしているのでマニュアルの記述は削除
4. 話題提供1／丸太を用いた軟弱粘性土の地盤補強技術に関する模型実験
吉田 雅穂 氏（福井高専）
5. 話題提供2／軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測
久保 光 氏（雪建技）
 - ・杭打設による堆積増加と杭間強度の関係を解析すると良い。
6. その他
 - ・マニュアルは箱型の様式の方がわかりやすいのでフォーマットをお送りする。
7. 次回について
 - ・5月の連休明けを予定

平成24年度 第1回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2012年5月22日（火）13:30～14:50

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(1-0) 第1回議題書

(1-1) 第6回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(1-2) 軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担（案）

(1-3) マニュアル分担作業状況（各委員より）

(1-4) 脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究（目次）

- 議題：1. 福井県の木杭利用による軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担（案）の分担作業状況報告 藤田 委員，梅田 委員，中沢 委員，山崎 委員，山木 委員，直井 委員，久保 委員
2. その他
3. 次回について

決定事項：

- ・目次を整理する（吉田 主査）。
- ・マニュアル原稿未提出の委員は原稿を早く提出する。

内容：

1. 前回議事録の確認

一部修正し承認された。

2. マニュアル分担の作業状況について各委員より説明がなされた。

1.1 背景と目的（久保 委員）

○県予算要求資料等の抜粋で作成した。記述内容を格調高くする必要があるため、各委員の大幅な加筆修正を願いたい。

Q：全国版基準で対応できない理由を解説の部分に記述願いたい。

A：了解。

Q：まえがき部分にでも、擁壁，カルバートは、佐賀県のマニュアルを参考にしたこと、道路路体部を追加したことを明記しておくが良い。

A：了解。

1.2 適用条件（梅田 委員）

○前回の分科会で説明した資料をマニュアルフォーマットに合わせて作成した。

Q：佐賀県のマニュアルに加筆修正した部分分かるように作成した方が良い（マニュアル完成段階ではわからないようにするが）。

A：了解した。

1.4 丸太の選定方法（藤田 委員）

Q：使用材料の表-1.4.1は、福井県の現状に合致しているか？供給条件から選定条件を設定する必要があると思われるため、木材の種類，末口径，長さに関する調査が必要と思われる（2.1 福井県の森林・林業の現状，2.2間伐材の特徴の結果を反映させる必要がある）。表5の木材の許容応力度で示す内容はこれでよいか？

A：表-1.4.1の15cmというのではない。JASで1～13cmまでは1cm刻みでそれ以上は2cm刻み

となる。よって15cmは14cm (14.0～15.9) となる。表5で示す内容はこの程度で良いと思う。

注意事項として、材料の供給に支障が出るケースはどのような時か明示する。

○擁壁編

- 3.1 対象とする擁壁の種類 (梅田 委員)
- 3.2 木杭－底盤系基礎の選定フロー (梅田 委員)
- 3.3 木杭－底盤系基礎の支持機構 (梅田 委員)

○カルバート編

- 3.1 対象とするカルバートの種類 (梅田 委員)
- 3.2 木杭－底盤系基礎の選定フロー (梅田 委員)
- 3.3 木杭－底盤系基礎の支持機構 (梅田 委員)
- 3.4 丸太周面支持力の現場確認 (久保 委員)

Q：3.4については参考資料にしてはどうか？

A：了解。

- 3.4.1 敦賀港における現場実験 (久保 委員)
- 3.4.2 佐賀県における現場実験 (久保 委員)

4.1 設計の基本 (藤田 委員)

Q：(4)はここで記述すべきか？

A：ここでは基本的事項だけ記述し、具体的な検討方法は4.6.3に追加する。

Q：4.2.2の解説で示している杭頭変位を考慮しないことを(5)として記述すべきではないか？

A：了解。

4.2 木杭－底盤系基礎の支持力 (藤田 委員)

4.2.1 木杭－底盤系基礎の鉛直支持力 (藤田 委員)

Q：木杭－底盤系基礎の鉛直支持力→木杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力に変更しては？

A：その方が良いと思う。

4.2.2 木杭－底盤系基礎の水平支持力 (藤田 委員)

Q：4.2.1と同様。

4.4 木杭の鉛直周面支持力算定 (藤田 委員)

4.5 基礎地盤の水平支持力算定 (鳥居 委員) ※欠席のため次回説明

4.6 木杭－底盤系基礎の設計 (鳥居 委員) ※欠席のため次回説明

4.6.1 鉛直支持力の計算 (鳥居 委員) ※欠席のため次回説明

Q：ここに4.2.2式を追加してはどうか？

A：鳥居委員と調整する必要がある。

4.6.2 一般部擁壁の水平支持力の計算 (鳥居 委員) ※欠席のため次回説明 (2)→4.6.2に訂正

4.6.3 擁壁設置時の計算を追加

○擁壁編

5.1 プレキャストL型擁壁寸法 (駒野 委員)

Q：図-5.1.1は必要か？二次製品メーカーによって寸法が違うため不必要では？

A：佐賀県に掲載した理由を聞いてみる。

5.2 木杭の配置パターン (駒野 委員)

5.2.1 一般部擁壁の配置例 (駒野 委員)

5.2.2 歩道部擁壁の配置例（駒野 委員）

○ボックスカルバート編（駒野 委員）

5.1 プレキャストボックスカルバートの縦締（駒野 委員）

5.1.1 一般部擁壁の配置例

5.1.2 縦連結の定着部の構造

5.2 場所打ちボックスカルバートの継手

5.3 杭頭処理

（b）は場所打ちボックスカルバートの場合なので修正する。

6.3.5 木杭基礎の掘出し調査の結果（山木 委員）

○もう少しコンパクトにする予定である。Q：参考資料とした方が良いのでは？

A：了解。

6.3.6 既存の木杭基礎構造物の紹介（山木 委員）

○参考資料とする。

8.1 施工時の留意事項（山崎 委員）

○内容については、更に今後検討。

8.3 丸太工法の施工管理基準（直井 委員）

○内容については、更に今後検討。

8.4 丸太杭の打設歩掛（直井 委員）

○バックホウ打設についてはとび工の計上は必要ないと思われる。

パドラを使用する場合は、本歩掛程度でないと採算が合わない。

9 他工法との経済比較（久保 委員）

○9.1-9.3について、小浜で行った施工結果から他工法との比較を行う予定である。

9.1 ①プレキャストL型擁壁

9.2 ②ボックスカルバート

9.3 ③道路路体

10.2 パイルネット工法（中沢 委員）

○短杭と長杭で設計を考慮した方が良く考える。

パイルネット工法については参考資料扱いとする。

福井県で行った設計はパイルネット工法と考え方違うところもあるので久保の方で案を作成する。

h.1 設計計算と施工事例（L型擁壁）（久保 委員）

h.2 設計計算と施工事例（ボックスカルバート）（久保 委員）

h.3 道路（路体）（久保 委員）

○h.1-h.3について、小浜で行った設計計算と施工事例を掲載予定。

i 参考資料（久保 委員）

○添付資料のとおりまとめた。全体構成を見て再構成の必要有り。

3. 次回について

- ・7月中に行う予定。

平成24年度 第2回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2012年7月31日（火）13:30～15:00

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

他分科会参加者 城戸 渉：株式会社田中地質コンサルタント、
伊内 是成：美山町森林組合、角川 幸男：前田工織株式会社

資料：(2-0) 第2回議題書

(2-1) 第1回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(2-2) 軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担修正（案）

(2-3) マニュアル分担作業状況（各委員より）

議題：1. 福井県の木杭利用による軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担（案）の分担作業状況報告
岩佐 委員、勝山 委員、久保 委員（代理）
2. その他
3. 次回について

決定事項：

- ・ボックスカルバートの設計、プレキャストL型擁壁の設計、道路路体の設計は重複する部分もあるかもしれないが単独で設計できるような目次構成とする。
- ・マニュアル原稿未提出の委員は原稿を早く提出する。
- ・工法選択のフロー図を作成する。

内容：

前回議事録について承認された。

- ・マニュアル分担の作業状況について各委員より説明がなされた。

2.1 福井県の森林、林業の現状

- ・プロダクトイン→マーケットイン
- ・教会→境界
- ・間伐材の購入先の電話番号や住所も記述する。
- ・間伐材を注文して材料が納入されるまでにどの程度の日数を要するのかもでき可能な範囲で記述する。
- ・間伐材を利用することはCO₂削減に有効であり環境に良いことを記述する。

6.3 木材の劣化

- ・ここでは、地中の地下水位以深に打設された丸太杭は耐久性に問題がないことを明記すべき。記述内容も必要である。

8.6.4 丸太杭の打設歩掛（パドラ）

- ・特に意見なし

平成24年度 第3回木杭（地中利用）分科会議事録

日時：2012年10月17日（火）13:50～14:50

場所：福井県雪対策・建設技術研究所大会議室

資料：(3-0) 第2回議題書

(3-1) 第1回福井県木杭（地中利用）分科会議事録（案）

(3-2) 軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担修正（案）

(3-3) マニュアル分担作業状況（各委員より）

議題：1. 福井県の木杭利用による軟弱地盤対策設計・施工マニュアル分担（案）の分担作業状況報告
2. その他
3. 次回について

決定事項：

- ・原稿がまとまったら数人で言葉使い等をチェックする。
- ・原稿未提出の担当者は、早く原稿を提出すること。

内容：

前回議事録について承認された。

- ・マニュアル分担の作業状況について各委員より説明がなされた。
 - 2.1 福井県の森林、林業の現状
 - ・方向性についても記述されているが、現状と留意すべき点を記述する。
 - 2.2 間伐材の特徴
 - ・「間伐材は利用できるんだ」という姿勢で記述する。
 - 5.1 杭頭処理
 - ・目次を修正。
 - ・木杭の配置パターンは4本配置のみとする。1.25φは記載。
 - 6.3.2 木材が腐朽する条件
 - ・腐朽条件として光やphは記述しなくて良いか確認。

河川・砂防分科会 名簿

	伊 内 是 成	美山町森林組合
	岡 拓 司	株式会社グローヴ
	角 川 幸 男	前田工織株式会社
主査(H24)	城 戸 涉	株式会社田中地質コンサルタント
	高 橋 武 彦	有限会社マルテック
	田 中 慎 悟	岡野コンクリート株式会社
	吉 田 眞 輝	前田工織株式会社
主査(H23)	坂 田 正 宏	福井県丹南土木事務所
	野 村 崇	坂井農林総合事務所
	鳥 羽 浩 之	福井県森づくり課
	村 上 幸 一	大野市役所

河川砂防 分科会活動報告

【平成23年度】

活動年月	活動内容	
2011年8月26日 (第1回)	四万十川方式林道の課題の整理	参加者5名
2011年10月13日 (第2回)	ツインソーについての情報共有。講習会の企画打合せ。	参加者5名
2011年11月22日 (第3回)	長野県の作業道マニュアルの情報共有、講習会の企画打合せ。 杭網（パイルネット）工法設計・施工の手引きの紹介	参加者5名
2012年2月20日 (第4回)	3月2日の講習会の打合せ	参加者5名
2012年3月2日	講習会実施「福井県における森林路網整備のポイント」 2012年3月2日(金) 13:00~16:00 (社) ふくい農林水産支援センター 研修館 (福井市寮町 52-21) 【県農業試験場敷地内】 ① 地域の地質にあわせた壊れない道づくり 13:00~14:30 東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授 酒井秀夫 (参考資料「長野県森林作業道作設マニュアル 平成23年1月」) http://www.rincon.or.jp/sagyodo/index.html ② 木材利用から進める森林整備の推進と持続可能な地域づくり 14:40~15:40 長野県根羽村森林組合 代表理事組合長 小木曾亮式	約70名

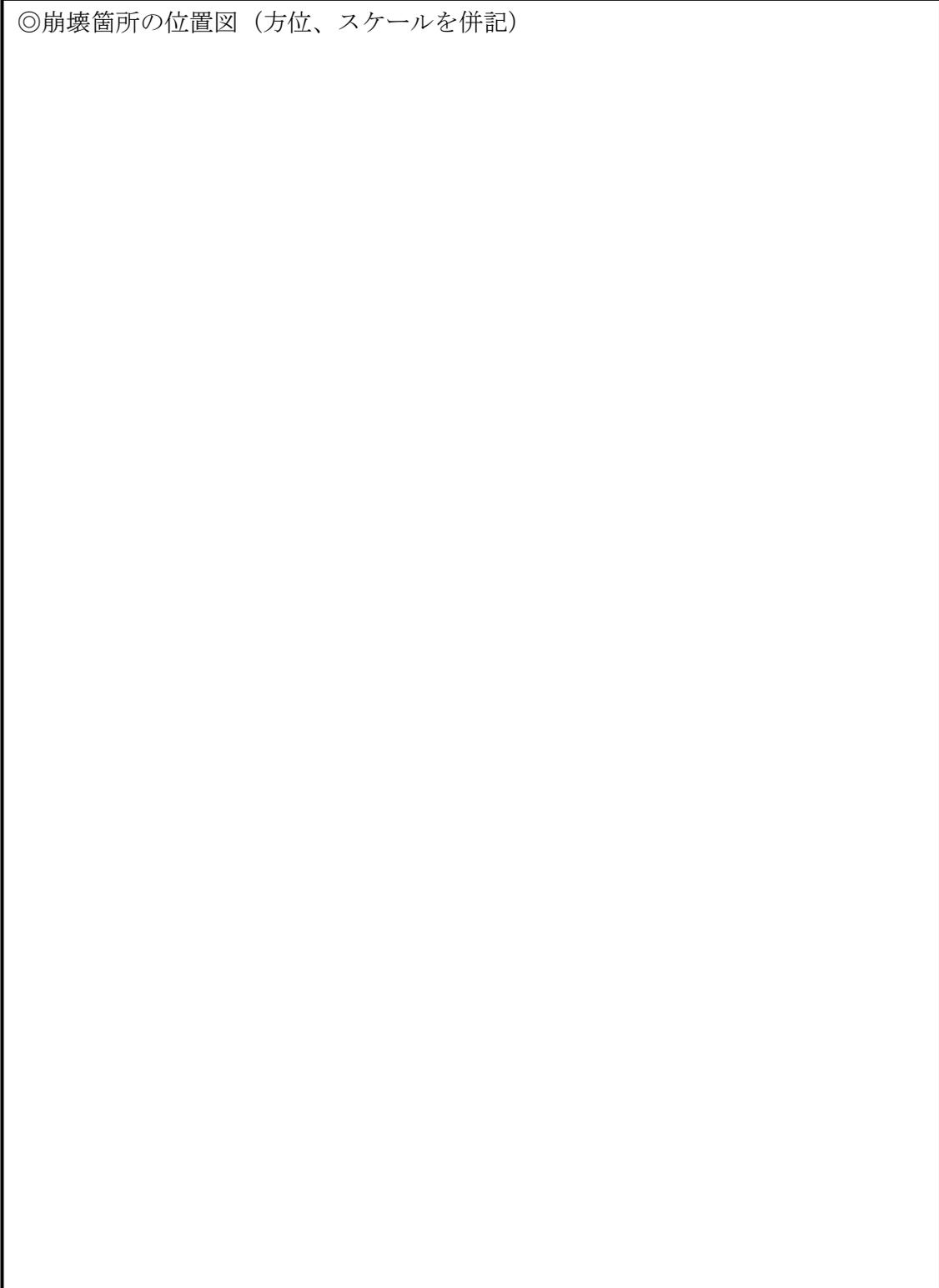
【平成24年度】

活動年月	活動内容	
2011年8月26日 (第1回)	平成24年度の部会の活動内容の検討と今後の方針の決定	参加者5名
2011年10月16日 (第2回)	福井県における作業道・作業路崩壊事例調査票作成	参加者3名

作業道・作業路崩壊事例調査票

記入年月日		平成24年 月 日			
崩壊地の概要	施設管理機関				
	崩壊位置	福井県			
	詳細図	1. 無し 2. 有り (平面図 ・ 横断図 ・ スケッチ図)			
	崩壊箇所	1. 法面 2. 道路 3. その他 ()			
	斜面・法面	1. 切土 2. 盛土 3. その他 ()			
	崩壊規模	高さ m	幅 m	深さ m	崩壊土砂量 m ³
	勾配	崩壊箇所 °		周辺斜面 °	
	崩壊時の気象条件				
地質・土質	年代	1. 第四紀 2. 第三紀 3. 中・古生層 4. その他			
	地質	1. 泥質岩 2. 砂岩 3. 花崗岩 4. 凝灰岩 5. 土砂 6. その他 ()			
	土質	1. 黒ボク 2. 粘性土 3. 砂質土 4. 礫質土 5. まさ土 6. その他 ()			
構造	道路	道幅	m		
		舗装	1. 砕石 2. コンクリート 3. 無し 4. その他 ()		
	法面	排水	1. 無し 2. 有り (施工:)		
		保護工	1. 無し 2. 有り (施工:)		
		排水	1. 無し 2. 有り (施工:)		
崩壊に対する調査・対策	原位置試験	1. 無し 2. 有り (ボーリング・簡易貫入試験・その他)			
	室内試験	1. 無し 2. 有り (CBR・突き固め・物理・力学・その他)			
	対策工	1. 無し 2. 有り (施工:)			
備考	<p>林道や林業専用道は先に事業（復旧）申請するため、県なり市町が事前に現地把握することは可能であるが、作業道については、今年度の越前市で被害が多く発生した豪雨災害のようなケースでは復旧前に状況を把握するが、通常は、事業（復旧）完了後に補助申請されるため、県は検査する段階で初めて現場に行くことになる。</p>				

◎崩壊箇所の位置図（方位、スケールを併記）



バイオマス分科会 名簿

	石 塚 義 徳	株式会社 高茂組
	駒 野 裕 一	株式会社サンワコン
	森 洋 市	株式会社サンワコン
	坂 田 正 宏	福井県三国土木事務所
主査	野 村 崇	福井県総合グリーンセンター
	齋 藤 年 央	福井県総合グリーンセンター
	村 上 幸 一	大野市役所

木質バイオマス分科会活動報告

【平成23年度】

活動年月	活動内容
2011年7月21日 (第1回)	電子メールによる情報交換会 (地域内循環を目指した木質エネルギー利用について) 参加者5名
2011年7月26日 (第2回)	電子メールによる情報交換会 (施設の省エネ対策としての木質エネルギー利用について) 参加者5名
2011年8月3日 (第3回)	電子メールによる情報交換会 (地域での事例紹介について) 参加者5名
2011年9月27日 (第4回)	電子メールによる情報交換会 (キリ油について) 参加者2名

論 文

No.	著 者	タイトル	発表先	ページ
1	久保 光 源 英樹 野村 崇 吉田 雅穂 沼田 淳紀 本山 寛	約60年間地盤中にあったスギ丸太の含水比調査	第46回地盤工学研究発表会	1
2	久保 光 野村 崇 吉田 雅穂 沼田 淳紀 本山 寛	足羽川から掘り出されたスギ丸太の健全性評価	第10回木材利用研究発表会	3
3	吉田 雅穂 宮脇 紀恒 久保 光 沼田 淳紀 本山 寛	丸太を用いた軟弱粘性土の地盤補強技術に関する模型実験	第47回地盤工学研究発表会	9
4	久保 光 吉田 雅穂 本山 寛 沼田 淳紀	軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測	第47回地盤工学研究発表会	11
5	久保 光 吉田 雅穂 沼田 淳紀 本山 寛	丸太杭打設による杭間隔の違いが地盤に及ぼす影響	土木学会第67回年次学術講演会	13
6	久保 光 吉田 雅穂 沼田 淳紀 平山 竜朗 正田 大輔	福井県における小規模構造物の軟弱地盤対策に杭丸太を用いた施工事例	第11回木材利用研究発表会	15
7	本山 寛 沼田 淳紀 吉田 雅穂 久保 光	スギ丸太打設による軟弱地盤対策実験	地盤工学ジャーナル	22
8	久保 光	「木材利用シンポジウムin福井」の概要	木材工業	34
9	吉田 雅穂 宮島 昌克 久保 光 沼田 淳紀	丸太を用いた地盤補強技術	北陸路	39

約 60 年間地盤中にあったスギ丸太の含水比調査

スギ, 杭丸太, 含水比

福井県雪対策・建設技術研究所 正会員 ○久保 光
 社団法人 ふくい農林水産支援センター 源濟英樹
 福井県総グリーンセンター 野村 崇
 福井工業高等専門学校 正会員 吉田雅徳
 飛島建設 国際会員 沼田淳紀
 飛島建設 正会員 本山 寛

1. はじめに

木杭基礎は古くから用いられてきたが、木材資源利用合理化方策（1955 年閣議決定）や腐朽に対する懸念などからあまり使用されなくなってきた。しかし、杭丸太を構造物の基礎や地盤補強に用いることは、木材として長期的に地中に固定できる地球温暖化防止対策としては極めて有効である。このような杭丸太の利用が促進されれば、木材需要の拡大および間伐材の有効利用が促進される。

この様な背景から、足羽川で掘り出された旧木田橋橋脚基礎、旧幸橋橋脚基礎、旧水越橋橋脚基礎などの杭丸太を調査し、地下水位変動域以深であれば樹種に関係なく、腐朽は進行せず、健全であることを明らかにした¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

本研究では、杭丸太を用いた設計方法の基礎資料とするため、足羽川の浚渫工事で掘り出された杭丸太（スギ）の含水比について調査および試験を行ったので報告する。なお、本論文では木材分野での表現を括弧内に記す。

2. 試験概要

2. 1 杭丸太調査

図-1 は、旧木田橋の位置を示す。2009 年 8 月、足羽川の浚渫工事で、旧木田橋の橋脚基礎の流木よけに使用されていたと考えられ、約 60 年間足羽川の河床（地中）にあったと考えられる杭丸太（スギ）が数本発見された。その中から直径 25cm、長さ 3.2m の杭丸太を詳しく調査した。写真-1 は、掘り出された杭丸太の全景を示す。また、図-2 に示すように粘土層の下部にある砂質シルト層に杭先端があり、杭の大部分は粘土層内にあったと考えられる。



図-1 木田橋の位置

(国土地理院 2 万 5 千分の 1 地形図「福井」に加筆)

2. 2 供試材料および試験方法

図-3 は、供試材料の区分を示す（杭先端から 50cm ピッチに区分し厚さ 5cm の円盤を切り出した）。切り出した各円盤の髓から半径方向に 20mm、半径方向と直角に 30mm、繊維方向（厚さ）に 30mm の木片を採取した（図-4）。採取した木片の絶乾（全乾）状態の測定を行った。絶乾状態の測定方法の詳細を以下に示す。気乾状態の測定後、木片を乾球温度 104°C の条件の恒温乾燥器内に静置し、重さが変化しなくなった時点を絶乾状態とみなし、重さ、寸法を測定した。



写真-1 杭丸太全景

2. 3 試験結果および考察

図-5 は、供試材料の区分の心材と辺材の乾燥（全乾）密度を示す。心材と辺材の乾燥密度を比較すると、心材の方が、密度が大きいがわかる。杭丸太の深さ方向で心材と辺材の乾燥密度を比較しても、心材と辺材の密度の変化が小さいことから、杭丸太の深さ方向に腐朽は生じなかったと考えられる。

図-6 は、各区分の髓から半径方向における含水比（含水率）の状況を示す。含水比の算出は（式 1）による。髓(P)を中心に含水比が高く、辺材部分(L3~L5, R3~R5)の外側に近くなるに従い含水比が高くなる傾向を示した。初期における杭丸太の各区分の含水比は不明であるが、元美山森林組合工場長の八杉健治氏からの聞き取り調査結果から、当時は葉枯らし乾燥が主流で杭丸太の含水比は 80% 程度であったと推察される。L5, R5 は含水比が約 200% 近くあることから、葉枯らし乾燥で辺材部分の自由水が減少したところに地中の水分を杭丸太が吸収したと考えられる。このように杭丸太が、地中の水分を吸収すれば、杭丸太を打設することにより発生する過剰間隙水圧の上昇を抑制することおよび地中の水分を消散することができ、他のコンクリート杭や鋼管杭と比較して杭丸太の長所となると考えられる。

$$W(\%) = (A - B) / B \times 100 \quad (\text{式 1})$$

ここで、W は含水比、A は乾燥前の木片の重量、B は全乾状態の木片の重量を示す。

Moisture content of cedar logs placed in the ground for 60 years : Hikaru Kubo^{*1}, Hideki Gensai^{*2}, Takashi Nomura^{*3}, Masaho Yoshida^{*4}, Atsunori Numata^{*5}, Hiroshi Motoyama^{*5}, (*1 Snow Management & Construction Technology Research Center of Fukui Pref., *2 Fukui Agriculture Forestry and Fisheries Support Center, *3 Fukui Prefectural General Green Center, *4 Fukui National College of Technology, *5 Tobishima Corporation.

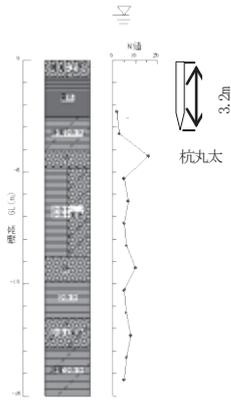


図-2 柱状図

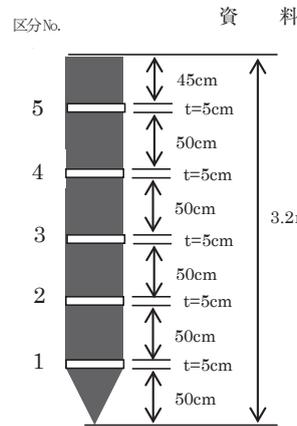


図-3 供試材料の区分

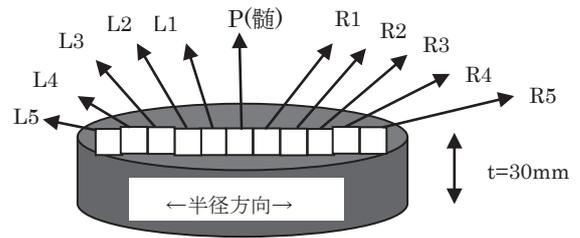


図-4 円盤状の断面からの木片採取位置

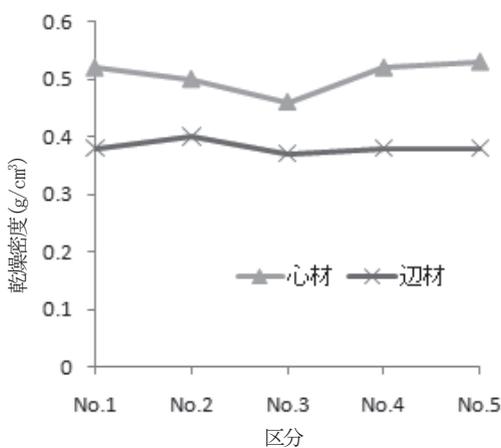


図-5 各区分の心材と辺材の乾燥密度

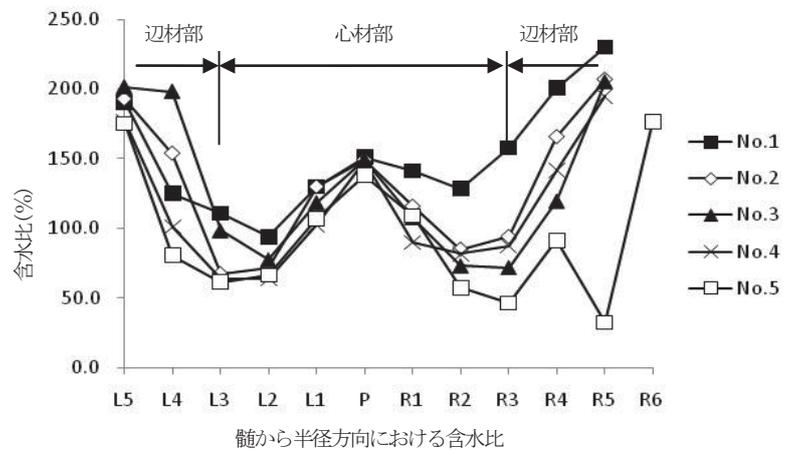


図-6 各区分の含水比の状況

3. まとめ

約60年間、河川水位以下の地中に存在した杭丸太(スギ)を掘り出し、切り出した円盤状の断面から木片を採取し密度および含水比を調査した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 乾燥(全乾)密度は、心材の方が大きかった。また、深さ方向の差異はほとんどなかった。
- (2) 供試材料の各区分から切り出した含水比(含水率)を調査した結果、髓の含水比(約150%)が高く、土壌に近い辺材部分ではさらに高く約200%の含水比であった。また、切り出した各区分の木片の含水比は、地中の深さ方向の影響は見られず同様の傾向を示した。

以上の結果から、杭丸太の辺材部は、地中の水分を吸収し過剰間隙水圧の上昇を抑制する効果や地中の水分を消散する可能性があることがわかった。

謝辞

杭丸太採取にあたり、足羽川激特対策工事事務所 工務課 森下倫光主査および坂川建設(株)にご協力いただいた。杭丸太の樹種鑑定は、(独)森林総合研究所の安部久博士にご協力いただいた。また、佐賀大学名誉教授 三浦哲彦先生、(独)森林総合研究所 小林功氏、桃原郁夫氏にご助言いただいた。ここに記し感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 沼田淳紀, 上杉章雄, 吉田雅徳, 久保 光, 野村 崇: 足羽川で採取した木杭調査の概要, 第7回環境地盤工学シンポジウム, 地盤工学会, pp. 85-88, 2007. 8.
- 2) 吉田雅徳, 沼田淳紀, 上杉章雄, 久保 光: 足羽川における木杭の掘り出し調査, 第42回地盤工学会, pp. 2213-2214, 2007. 8.
- 3) 本山 寛, 沼田淳紀, 吉田雅徳, 久保 光, 野村 崇, 直井義政: 足羽川木田橋橋脚基礎に使用された杭丸太の健全性調査, 第44回地盤工学会, pp. 1789-1790, 2009. 8.
- 4) 久保 光, 野村 崇, 吉田雅徳, 本山 寛, 沼田淳紀: 足羽川における木杭基礎の掘り出し調査(その2), 福井県雪対策・建設技術研究所年報22号, pp. 84-88, 2009. 8.

足羽川から掘り出されたスギ丸太の健全性評価

Health Evaluation of Cedar Logs Excavated from Asuwa River.

○久保 光* 野村 崇** 吉田雅穂*** 沼田淳紀**** 本山 寛****

KUBO Hikaru, NOMURA Takashi, YOSHIDA Masaho, NUMATA Atusnori and MOTOYAMA Hiroshi

*博(工学) 福井県雪対策・建設技術研究所 (〒918-8108 福井県福井市春日3丁目303)

**農修 福井県総合グリーンセンター(〒910-0336 福井県坂井市丸岡町楽間15)

***博(工学) 福井工業高等専門学校(〒916-8507 福井県鯖江市下司町)

***博(工学) 飛鳥建設株式会社技術研究所 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)

***工修 飛鳥建設株式会社技術研究所 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)

ABSTRACT Wood piles have been used since ancient times, though fear of decay has caused a decline in their usage. However, if the conditions of underground wood piles can be determined, their uses can then be promoted. Therefore, an evaluation was made on the health of cedar logs buried under Asuwa River for approximately 60 years. After subjecting them to visual evaluations, the Pildyn test, the longitudinally-compression test, and the full bend test, it is clear that the excavated cedar logs are in healthy condition.

Keywords: 腐朽, スギ, ピロディン, 実大曲げ試験
decay, Japanese cedar, Pildyn, Full bend test

1. はじめに

木杭基礎は古くから用いられてきたが、木材資源利用合理化方策（1955年閣議決定）や腐朽に対する不安感などからあまり使用されなくなってきた。しかし、木杭（杭丸太）を構造物の基礎、軟弱粘性土地盤対策や液状化対策などに用いることは、木杭が腐朽しなければ二酸化炭素を長期的に地中に固定することになるので地球温暖化防止対策としても極めて有効である。このような木杭基礎などの利用が促進されれば、木材需要の拡大および間伐材の有効利用が促進され、地球温暖化防止や森林の防災機能の向上、林野事業の活性化にも繋がると考えられる。

このような背景から筆者らは過去に打設された木杭などの掘出し調査や文献調査を数多く行ってきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。その結果、地下水の下限以深では100年を超える長期耐久性があることがわかってきた。変動域以浅では腐朽する場合もあるが、腐朽していない事例も数多く存在し、地盤が地下水位以浅で酸化状態にあるにもかかわらず80年以上経過した木杭がほとんど健全な状態で見つけられた事例もある。さらに地下水変動域以浅においても地盤条件によっては長期耐久性がある可能性が大きいことがわかった。本研究では、木杭基礎などの地中利用促進の大きな課題となっている木材腐朽に関する調査を行い、健全性を実証した。具体的には、足羽川で掘り出された旧木田橋橋脚基礎の杭丸太（スギ）の健全性を目視評価および物理的試験により評価した。

2. 調査方法

2.1 供試材料および試験方法

図-1は、杭丸太掘出し地点を示す。写真-1は、掘出し地点の様子を示す。写真-2は、掘出した杭丸太の状況（AswKd01）を示す。供試材料は、足羽川から掘出された杭丸太（樹種鑑定の結果、樹種はスギ）を用いた¹⁾。最初に杭丸太の用途、施工時期、寸法の計測を行った。また、杭丸太の設置されていた環境条件を明らかにするために、ボーリング柱状図から、地盤と杭丸太基礎の関係を調査した。杭丸太の腐朽度は、目視による「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準（JIS K 1571:2004）」及びピロディン貫入試験（ピン貫入試験）、縦圧縮試験（JIS Z 2101-1994に準

抛), 縦振動法によるヤング係数測定, 実大曲げ試験により評価した. ピロディン貫入試験は, ピン貫入試験の一種であり, 腐朽が進行した木材ほどその貫入量が大きくなる. 腐朽の目安は, 貫入量 30mm 程度である. 詳細な試験方法は文献²⁾を参照されたい. なお供試体は, 各深度で湿潤状態と飽和状態の2種類とした. ここで2種類の供試体を用意したのは, 掘り出したときの湿潤状態と地下水位以下で飽和した状態の杭丸太における値を求めるためである. 縦圧縮試験は, 杭丸太の軸方向圧縮強さを求めるためのものである. 縦圧縮試験用供試体として, ピロディン貫入試験終了後の円盤状供試体から, 3cm×3cm×6cmの四角柱供試体を4個ずつ切り出した. また, 圧縮試験は, JIS Z 2101-1994に準拠して杭丸太の軸方向に圧縮した. 8本採取された杭丸太のうち, 6本は目視腐朽度評価と湿潤状態のピロディン貫入試験のみを行い, 残りの2本(AswKd00, AswKd06)については全ての試験を行った. 縦振動法によるヤング係数測定は, AswKd01~06を用いた. 試験に供した杭丸太は, 試験前に中央直径, 密度および縦振動法によるヤング係数を測定した. 試験は, (社)日本農林規格協会の針葉樹の素材規格(縦振動ヤング係数区分)に従った. 実大曲げ試験は, AswKd02~04を用いた. 曲げ試験は, スパン2,400mmの中央集中荷重方式で実大材用強度試験機(WU-1000・TK21型 東京衡機製造所製)を用いた. 試験は, 財団法人日本住宅・木材技術センターの建築用木材性能評価事業報告書⁴⁾に従った.



図-1 杭丸太掘り出し地点



写真-1 掘出し地点の様子



写真-2 杭丸太の状況 (AswKd01)



写真-3 1代目木田橋(福井地震にて落橋)
福井県立図書館文書館所蔵

3. 調査結果および考察

3.1 杭丸太の用途, 施工時期, 寸法

木田橋は, 今までに3度架け替えられており, 現在の橋が4代目である. 1代目は, 1928年(昭和3年)に完成した木橋であり, 1948年(昭和23年)の福井地震により落橋し撤去された(写真-3). 2代目は, 1949年(昭和24年)に建設された木橋であり, 1957年(昭和32年)まで供用された. 3代目は, 1957年にコンクリート橋として完成し, 最近まで供用されていた. しかし, 2004年(平成16年)7月の福井豪雨の災害対策事業として, 2005

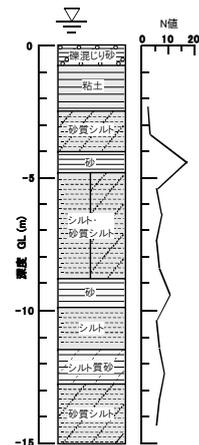


図-3 地盤柱状図

年(平成 17 年)10 月より 4 代目木田橋の建設が開始され、2008 年(平成 20 年)12 月に供用が開始された。本研究で採取した杭丸太は、福井市在住(以前木田地区に住んでいた)で当時の木田橋周辺の写真を数多く所持していた橋本義則氏に聞き取り調査を行った結果、2 代目木田橋の橋脚基礎であることが分かった。当該丸太は、4 代目木田橋近傍の河床より採取された。橋本氏によれば、採取した杭丸太は 2 代目木田橋の供用が終了した後、橋梁を撤去する際に河川水位面以下で橋脚基礎を切断することにより残されたものである。掘り出された杭丸太の諸元を表-1 に示す。杭丸太は建設されてから約 60 年間、河川水位下に存在していたことがわかる。

3.2 杭丸太の設置されていた環境条件

図-3 は、杭丸太付近の地盤柱状図を示す。地盤は、ほとんどが N 値 10 以下の軟弱層である。杭は、約 2~4m 貫入されており、粘土層直下の砂質シルト層または砂層を支持地盤としたものと考えられる。

表-1 杭丸太の諸元

項 目		内 容							
採取位置		木田橋下流							
杭丸太No.		AswKd00	AswKd01	AswKd02	AswKd03	AswKd04	AswKd05	AswKd06	AswKd07
用途(構造物名称)		橋脚基礎(旧銭とり橋)							
施工時期		1949(昭和24)年							
調査(採取時期)		2006年		2008年					
設置期間		57年		59年					
樹齡(年)*		43	28	35	29	30	41	31	43
樹種鑑定		スギ科スギ属							
丸 太 寸 法	全長(m)	3.50	3.30	3.70	4.00	4.20	4.10	4.70	3.60
	地中部(m)**	2.40	2.40	2.60	2.70	4.20	3.70	3.30	2.10
	末口直径(m)	0.30	0.30	0.32	0.32	0.30	0.31	0.30	0.26
	元口直径(m)	測定不能(欠損)	0.28	0.27	0.28	0.34	0.32	0.28	0.23
地盤との関係		粘性土および砂質シルト層							
地下水位の位置		杭頭より上に河川水位							
水の種別		淡水							
その他		先端に金属製キャップが付属しているものあり							

*: 複数の計測結果の平均値, **: 地中部の長さは土砂付着状況や流水による浸食痕などにより推定

3.3 目視腐朽度評価

図-4 は、目視腐朽度評価結果を示す。なお、河床位置は、杭丸太表面の変状を目視評価した結果により推定した。評価は、GL-1m 以浅では腐朽がやや進行しており、GL-1m 以深では健全となった。これは、河床より上では常に河川の水の影響を受けるため、表面にやや物理的劣化が進行したものと考えられる。逆に、河床以深の特に粘土層および砂質シルト層など低透水層である GL-1m 以深では、健全であった。

3.4 ピロディン貫入試験結果

図-5 は、ピロディン貫入試験結果を示す。(a)は、8 本の杭丸太の湿潤状態におけるそれぞれの平均値である。各杭丸太によりばらつきはあるものの、貫入量の平均は 10mm から 30mm の間に収まっており、杭丸太全体としては腐朽の程度は低いといえる。また、深度が浅くなるに従い貫入量が大きくなる傾向を示している。これは、目視腐朽度評価でも述べたように、水流などの影響を受けることにより物理的劣化が生じたためと考えられる。(b)は、AswKd00 と AswKd06 の飽和状態の結果である。飽和状態では、ほとんどの点で貫入量が 20mm から 30mm の間にあり、湿潤状態に比べ若干貫入量が大きい、全体的には健全であることがわかった。

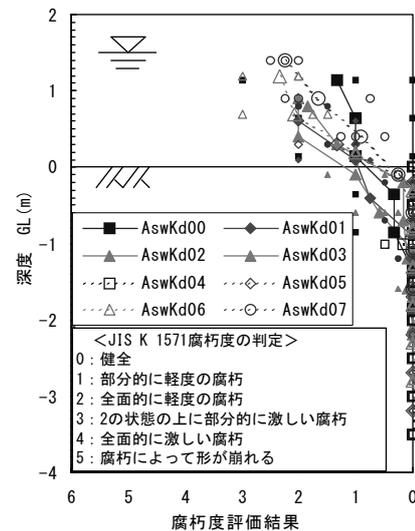


図-4 目視腐朽度評価結果

3.5 縦圧縮試験結果

図-6 は、縦圧縮試験結果を示す。AswKd00 は、縦圧縮強さが湿潤状態で約 25MPa、飽和状態で約 16MPa であり、気乾材の標準値に比べ小さい値であるが、許容応力度に比べ約 4 倍と十分大きな値を示している。AswKd06 は、湿潤状態、飽和状態共に縦圧縮強さが約 15MPa であり、いずれも気乾材の標準値より小さい値を示しているが、許容応力度に比べ十分大きな値を示している。ここで、AswKd06 では湿潤状態(含水比：約 150%)と飽和状態(含水比：約 250%)で縦圧縮強さがほぼ同等であるのに対し、AswKd00 では湿潤状態(含水比：約 18%)と飽和状態(含水比：約 240%)で縦圧縮強さに大きな差が見られた。これは、AswKd06 は湿潤状態と飽和状態で含水比に大きな差がないのに対し、AswKd00 は採取から試験開始までの期間が長く、杭丸太が乾燥し含水比が低下したことで湿潤状態から気乾状態(含水比：約 15%)となり、飽和状態に比べて強度が増加したためと考えられる。また、いずれの杭丸太においても深度方向における縦圧縮強さに差がほとんど認められなかった。これは作製した供試体が杭丸太表面から数 cm、または、それより中心側から切り出されたため、物理的損傷の影響をほとんど受けていなかったからであると考えられる。

3.6 ヤング係数及び曲げ試験結果

表-2 は、縦振動によるヤング係数を示す。平均値は、 6.7kN/mm^2 であった。表-3 は、縦振動ヤング係数区分を示す。今回の試験結果は、この区分によると Ef70 に区分される。比較対象として、福井県敦賀市の実証実験に用いた福井県産の新材スギ丸太(長さ 3m, 末口 15cm)は、160 本の内 96%が Ef70 等級以上であった(42%が Ef70 等級, 43%が Ef90 等級)。このことから、掘出された杭丸太の縦振動ヤング係数区分も当初は、仮に Ef90 等級であったとすると、59 年間、河川水位以下の地中に存在することで 1 ランクしか低下しなかったと言える。

写真-4 は、実大曲げ試験状況を示す。表-4 は、曲げヤング係数および曲げ試験結果を示す。杭丸太の含水率の平均値は 19.9%であった。曲げ強度の平均値は 25.9N/mm^2 、曲げヤング係数の平均値は 5.4kN/mm^2 であった。新材杭丸太(含水率：約 16.6%)の試験結果⁵⁾では、曲げ強度の平均値は 43.6N/mm^2 、曲げヤング係数の平均値は 7.4kN/mm^2 とあり、曲げ試験の結果、杭丸太は新材杭丸太に対して曲げ強度

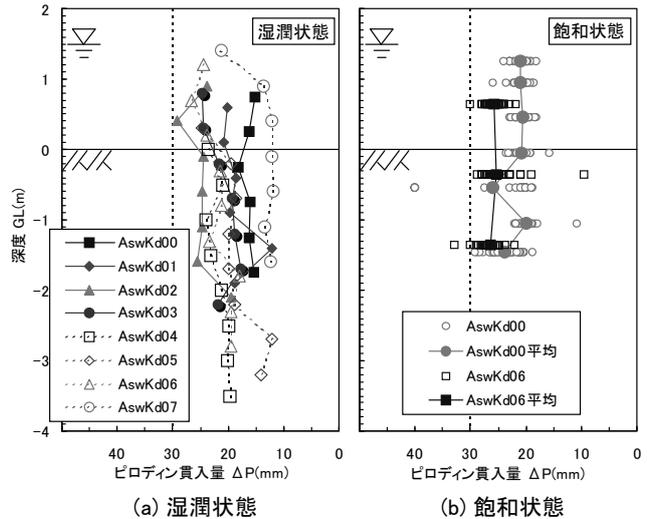


図-5 ピロディン貫入試験結果

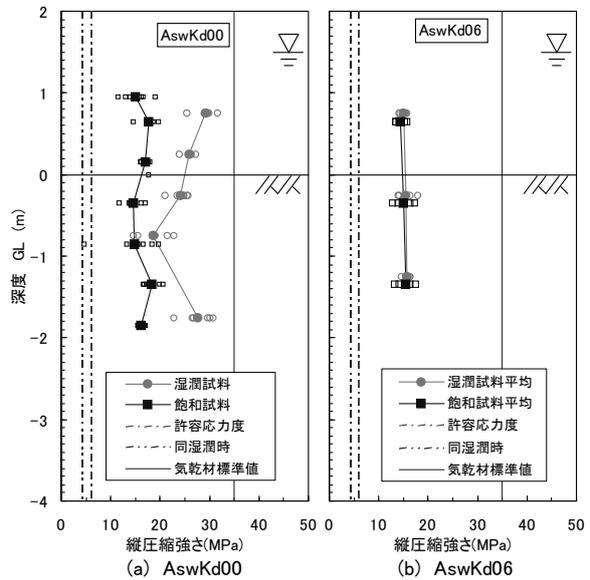


図-6 縦圧縮試験結果

表-2 縦振動によるヤング係数(3 本)

	中央直径 (mm)	密度 (kg/m^3)	Efr (kN/mm^2)
平均	324	694	6.7
最大	333	807	7.1
最小	315	546	6.4

記号: Efr:縦振動によるヤング係数

表-3 縦振動ヤング係数区分

区分	縦振動ヤング係数(kN/mm^2)
Ef 50	3.9以上 5.9未満
Ef 70	5.9以上 7.8未満
Ef 90	7.8以上 9.8未満
Ef 110	9.8以上11.8未満
Ef 130	11.8以上13.7未満
Ef 150	13.7以上

は 59%，曲げヤング係数は 73%となった。また、ヤング係数の割に強度が若干小さくなる結果となっている。曲げ試験において破断された杭丸太の状況を目視で観察したところ、心材および辺材部分すべてにおいて腐朽は確認されなかった。ところで、木杭の許容曲げ応力度は、道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計篇 1964 版(日本道路協会発行)によれば 5.4 N/mm²であるので機能的に十分な強度を持っていたと言える。

図-7 は、曲げ試験における曲げ-たわみ曲線を示す。比例限度が曲げ強さに占める割合は、平均値、最小値で 0.46，最大値で 0.47 であり、通常言われている 2/3 より小さい値となった(図中は、Aswkd03 の比例限度を示す)。最大荷重は、最も荷重の小さい Aswkd04 において 135kN であった。また、その時のたわみ量は 17.8mm であり、コンクリート杭や鋼管杭に比べて靱性に優れていると考えられる。このような性質は、地震時に地盤に生じる大きなせん断変形に対して追従できる靱性を有している可能性がある。

表-4 曲げヤング係数および曲げ強度(3本)

	含水率 (%)	MOE (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)
平均	19.9	5.4	25.9
最大	22.2	5.9	30.5
最小	18.3	4.8	22.5

記号: MOE:曲げヤング係数、MOR:曲げ強度

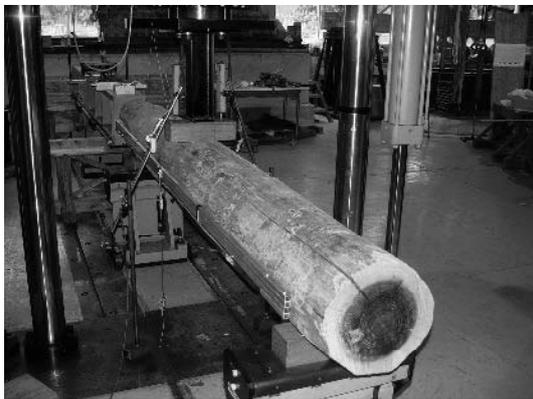


写真-4 実大曲げ試験状況

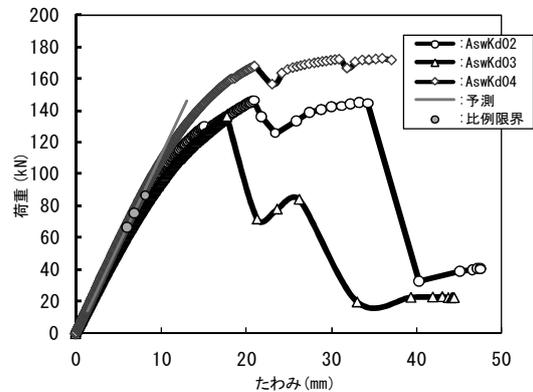


図-7 曲げ-たわみ曲線(3本)

4. まとめ

約 60 年間、河川水位以下の地中に存在した杭丸太(スギ)の健全性を目視腐朽度評価、ピロディン貫入試験、縦圧縮試験、縦振動法によるヤング係数および実大曲げ試験を用いて評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 目視腐朽度評価の結果、GL-1m 以浅では腐朽がやや進行していた。河床以深の粘土層および砂質シルト層など低透水層である GL-1m 以深では、健全であった。
- (2) ピロディン貫入試験の結果、湿潤状態の杭丸太は、貫入量の平均は 10mm から 30mm の間に収まっており、杭丸太全体としては腐朽の程度は低い。飽和状態の杭丸太では、ほとんどの点で貫入量が 20mm から 30mm の間にあり、湿潤状態に比べ若干貫入量が大きい、全体的には健全である。
- (3) 縦圧縮試験の結果、AswKd0, AswKd06 共に許容応力度に比べ十分大きな値を示している。
- (4) 縦振動ヤング係数区分では、Ef70 に区分され、新しい丸太の区分と比べても 1 ランク低下する程度であった。
- (5) 実大曲げ試験の結果、許容応力度に比べ、約 5 倍の値を示していることがわかった。

以上の結果から、足羽川から掘出された杭丸太は、杭基礎としての機能を現在もなお十分満足し、健全性を有していることがわかった。今後、土木工事などで木材の有効利用が促進され、地球温暖化防止や森林の防災機能の向上、林野事業の活性化にも繋がることを期待する。

謝辞

杭丸太採取にあたり、足羽川激特対策工事事務所 工務課 森下倫光主査および坂川建設(株)にご協力いただいた。杭丸太の樹種鑑定は、(独)森林総合研究所の安部久博士にご協力いただいた。

実大曲げ強度試験を行うにあたり，元福井県総合グリーンセンター 林業試験部 土田博澄総括研究員，源濟英樹主任研究員にご協力をいただいた．ここに記し感謝の意を表する．

参考文献

- 1) 産学官共同研究報告書：脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究，（財）福井県建設技術公社，pp109，2008.
- 2) 本山 寛，沼田淳紀，吉田雅穂，久保 光，野村 崇，直井義政：足羽川木田橋橋脚基礎に使用された杭丸太の健全性調査，第44回地盤工学会，pp. 1789-1790，2009.
- 3) 久保 光，野村 崇，吉田雅穂，沼田淳紀，本山 寛：足羽川から掘り出されたスギ丸太の実大曲げ試験による健全性評価，pp807-808，2010.
- 4) 財団法人 日本住宅・木材技術センター：建築用木材性能評価事業報告書，1999.
- 5) 宮城県林業試験場：林業試験場成果報告第9号．1994.

丸太を用いた軟弱粘性土の地盤補強技術に関する模型実験

木杭 軟弱地盤 模型実験

福井工業高等専門学校 正会員 ○吉田 雅穂
 福井工業高等専門学校 宮脇 紀亘
 福井県雪対策・建設技術研究所 正会員 久保 光
 飛鳥建設技術研究所 国際会員 沼田 淳紀
 飛鳥建設技術研究所 正会員 本山 寛

1. はじめに

著者らは、地球温暖化対策や林業活性化に貢献することを目的として、建設事業における木材利用を促進させるため、昭和30年頃までは土木・建築構造物の基礎杭に利用されていた丸太を、地盤に打設して補強材（丸太杭）として利用する技術を提案している¹⁾。ここで対象とする地盤は、構造物基礎として支持力不足や不等沈下が問題となる軟弱粘性土や、地震時の液状化が問題となる飽和砂質土である。木材を構造物として利用する時に懸念されるのは、腐朽による劣化や強度低下であるが、前述の地盤は地下水位の高い場合が対象となるため、木材が腐朽しにくい条件での利用となる。これは、橋梁や鉄筋コンクリート建築物の基礎杭として利用されていた木杭の掘り出し調査を行った結果、地下水位変動域以下に打設されていた場合、腐朽による劣化や強度低下が認められず健全な状態であった事例²⁾を多数確認していることに基づいている。したがって、このような条件下で丸太を利用することにより、建設事業における木材利用が促進されることが期待される。

著者らは、既に丸太を用いた液状化対策技術の有効性を示しているが³⁾、本研究は軟弱粘性土地盤における丸太を用いた地盤補強技術の有効性について実験的に検討を行うものである。現在、福井県小浜市の県道拡幅工場の現場を利用して、丸太打設による路体補強の施工実験を実施している⁴⁾。本研究では、この現場実験を模擬した室内模型実験を行い、丸太打設が地盤補強の効果に与える影響を明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

図-1に実験装置の概要を示す。模型地盤を作製する土槽は内寸で長さ900mm×奥行200mm×高さ650mmの鋼製であり、側壁は強化ガラス製で地盤を側面から観察可能である。圧密後の軟弱粘性土地盤層の厚さは450mm、表層の砂質土地盤（サンドマット）の厚さは25～30mmとした。同地盤の左側は丸太打設による改良地盤、右側は未改良地盤の2種類で構成されている。使用した丸太模型は直径6mm、長さ200mmであり、福井県産スギの間伐材より作製されたものである。また、丸太は長期間水中保管したものを使用し、その密度は約1.1g/cm³であった。丸太打設は静的に地盤表面から圧入する方法とし、土槽の短手方向に4行、長手方向に3列の正方形配置で、計12本を50mm間隔で打設した。これは、改良率1.1%、丸太直径Dとした時の打設間隔8.3Dの打設条件に相当する。なお、本模型実験は、小浜市県道における現場実験⁴⁾の諸元を参考にしており、対象地盤の軟弱粘土層厚9,000mm、サンドマット層厚500mm、丸太の末口直径120mm、長さ4,000mm、打設間隔1,000mmの20分の1を想定した。土槽壁面には水圧計と土圧計を深度100mm間隔で設置しており、以下に示す実験開始から終了まで1分間隔で計測を続けた。

実験の流れは次の通りである。①含水比69%（液性限界の2倍）に調整したスラリー状の粘性土（ $\rho=2.761\text{g/cm}^3$, $U_c=14.61$, $k=1.86\times 10^{-6}\text{cm/s}$, 砂まじり粘土）を土槽に投入、②地盤表面上に初期圧密用載荷板（27.7kg）を設置し、おもり及びベロフラムシリンダーを用いて最大50kN/m²となるまで段階的に載荷して約1ヶ月間の圧密、③完成した軟弱粘性土地盤の左側に丸太を打設し、その上に珪砂7号（ $\rho=2.66\text{g/cm}^3$, $D_{50}=0.85$, $U_c=0.88$, $k=4.79\times 10^{-3}\text{cm/s}$ ）によるサンドマットを敷設して約1週間の静置、④改良地盤と未改良地盤の所定の位置に、ステンレス製の載荷板（幅120mm×奥行170mm×厚さ12mm）を設置し、その上に2.5kgと5kg

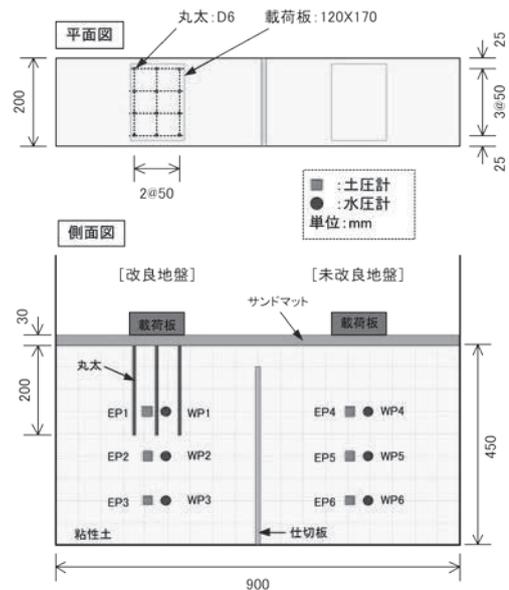


図-1 実験装置の概要

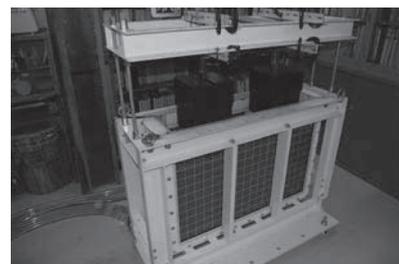


写真-1 載荷試験の様子

Experimental study on ground reinforcement technique by installing logs into soft clay soil
 Masaho Yoshida and Motonobu Miyawaki (Fukui National College of Technology), Hikaru Kubo (Snow Management and Construction Technology Research Center of Fukui Prefecture), Atsunori Numata and Hiroshi Motoyama (Tobishima Corporation)

のおもりを順次載せることで、載荷試験の1回目（最大 83.8kg）を行い約1週間の静置（写真-1 参照）、⑤改良地盤と未改良地盤のそれぞれに載荷試験の2回目（最大 138.4kg）を実施、⑥載荷試験後、両地盤（改良地盤は丸太間の地盤）においてコーン貫入試験を実施、⑦サンドマットと粘性土のサンプリングを実施

3. 実験結果および考察

図-2 は載荷試験1回目の結果を示したものである。同図は載荷した荷重を載荷板の面積で除した鉛直応力と、地盤沈下量を初期地盤厚で除した鉛直ひずみの値に変換して示してある。未改良地盤では 20kN/m²、改良地盤では 30kN/m² を超える辺りからひずみが大きくなり始める傾向を示しており、丸太の周面摩擦抵抗により改良地盤の支持力が向上していることが確認できる。

図-3 はコーン指数の深度分布を示したものである。同図左側にはサンドマットと丸太の位置を併記している。同図より、丸太を打設した範囲において改良地盤のコーン指数が未改良地盤を上回る結果が確認できる。これは、丸太打設により周辺地盤の締め固めが促進され、丸太間の密度が増加したためと考えられる。

図-4 は丸太打設とサンドマット敷設後に計測された間隙水圧 (EP1) の時間履歴波形を示したものである。図-1 より、EP1 の水圧計は丸太先端部の打設深度に位置しているため、丸太打設により地盤が乱された影響で水圧が上昇したと考えられるが、その消散は早い段階で開始している。既往の実験⁵⁾において、液状化時に発生した過剰間隙水圧が丸太周面に沿って地表に消散しやすくなるという結果が得られており、この結果も同様の効果が発揮されたと推測できる。

4. おわりに

本研究では、道路工事における軟弱地盤対策として、丸太打設による路体の地盤補強の現場施工実験を模した室内模型実験を実施した。その結果、丸太打設により地盤支持力が向上することを明らかにした。また、その要因は丸太による周面摩擦力に加えて、丸太周辺地盤の密度増加が影響していることを示した。

なお、模型実験では福井高専学生の井上広平氏、辻岡 晃氏、村田拓海氏の協力を得た。また、本研究は科学研究費補助金（課題番号：22560504、課題名：温暖化対策と林業活性化に貢献する間伐材を用いた地盤補強技術の開発、研究代表者：吉田雅穂）の補助を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 飛鳥建設, 福井工業高等専門学校, 福井県: 脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究, 福井県建設技術公社, 109p., 2008. 2) 吉田雅穂, 沼田淳紀, 上杉章雄, 久保 光, 源 濟英樹, 野村 崇: 足羽川で掘り出された木杭の健全度調査, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, pp.183-184, 2007. 3) 吉田雅穂, 平野文睦, 宮島昌克, 沼田淳紀, 上杉章雄: 丸太打設による液状化対策に関する基礎的模型振動実験, 第 43 回地盤工学研究発表会平成 20 年度発表講演集, pp.1605-1606, 2008. 4) 久保 光, 吉田雅穂, 本山 寛, 沼田淳紀: 軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測, 第 47 回地盤工学研究発表会平成 24 年度発表講演集, 投稿中, 2012. 5) 吉田雅穂, 宮島昌克, 沼田淳紀, 木内貴之, 渡邊雄大, 内藤法子: スギ丸太を利用した液状化対策工法に関する模型振動実験, 第 44 回地盤工学研究発表会平成 21 年度発表講演集, pp. 1425-1426, 2009.

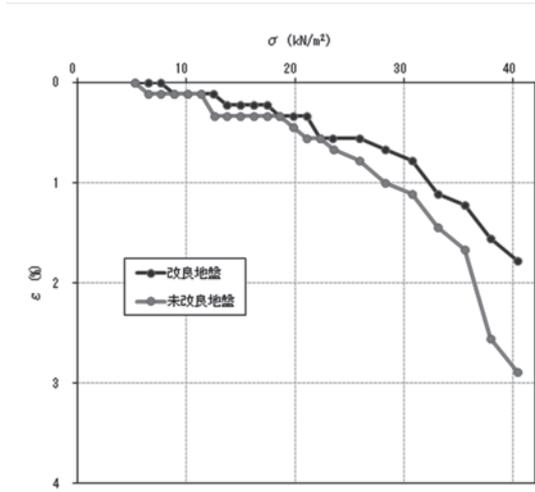


図-2 載荷試験の結果

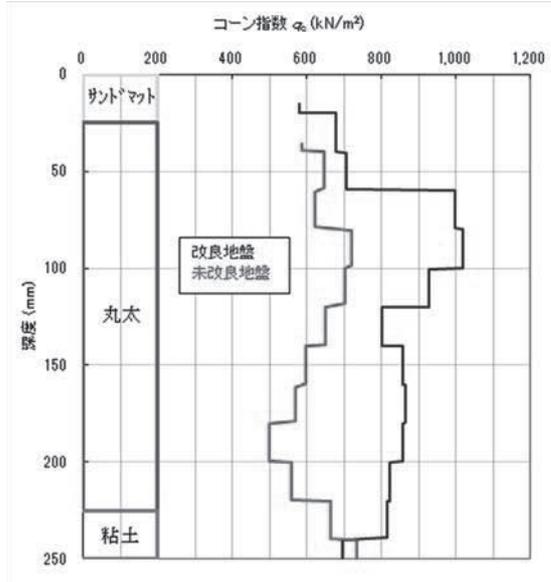


図-3 コーン貫入試験の結果

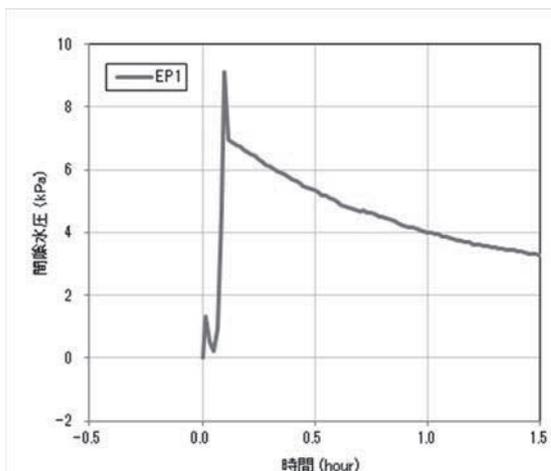


図-4 間隙水圧の時刻履歴波形 (EP1)

軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測

スギ丸太 設計方法 軟弱地盤対策

福井県雪対策・建設技術研究所 正会員 ○久保 光
 福井工業高等専門学校 正会員 吉田雅徳
 飛鳥建設技術研究所 正会員 本山 寛
 飛鳥建設技術研究所 国際会員 沼田淳紀

1. はじめに

丸太杭による軟弱地盤対策の既存技術として杭網(パイルネット)工法¹⁾²⁾があるが、設計を改良すると更に効果的な点もある。具体的には、杭網工法は、RC杭も対象としており丸太杭のテーバー効果(末口と元口の寸法の差)や杭と地盤との摩擦および杭の吸水効果が設計に反映されていない。また、丸太杭打設による杭間地盤の強度増加についても明らかとなっていない。そこで本研究では、丸太杭による設計法を確立するため、実際に丸太杭を道路下の軟弱粘性土地盤対策に用いた時の調査結果を基に、第一段階として丸太杭の打設間隔の違いが杭間強度に及ぼす影響を検討したので報告する。

2. 実験概要

福井県小浜市内において、道路の軟弱地盤対策として車道部分(6.0m)に丸太杭(スギ)を打設した。丸太杭は、φ12cm, L=4.0mを用いた。丸太杭は、A区で1.0m間隔(60本打設)B区で1.5m間隔(28本打設)で打設し、これらの2試験区の丸太杭打設後1週間経過した地盤の性状および強度を比較する。1試験区の大きさは横断方向に6m、縦断方向に10.0mとした。写真-1は、A区の丸太杭打設終了状況を示す。現道は、かつて幅4.0m程度と狭く、大型車両のすれ違いが困難な状態であった。表-1は、道路規格を示す。



写真-1 丸太杭打設終了状況(A区)

施工場所付近で調査ボーリング(深さ6.4m)を行った結果、土質構成は4層に区別される。第1層(表土)は、層厚0.4mで暗茶灰色を呈する礫混りシルトよりなる耕土である。含水量は多く、草根及び腐植物が混入する。第2層(粘性土1)は、層厚3.8mで暗茶灰色を呈するシルト層よりなる。含水量は多く上層は微細砂分が少量混入するが、ほぼ均質である。全体に少量の炭化した腐植物が点在する。第3層(粘性土2)は、層厚0.35mで暗灰色を呈する礫混りシルト層よりなる。含水量はやや多い。混入する礫は2~15mm程度の亜円礫主体で不均質である。第4層(粘性土第3)は、暗灰色を呈するシルト層よりなる。含水量はやや多い。所々に腐植物が少量点在している。

表-2は、深さ3.60m~4.40mから採取した試料土の性状試験結果を示す。粒度は、シルト分54.6%、粘土分19.0%、砂分26.1%、礫分0.3%を含んだ細粒であり、地盤材料の分類では低液性限界の砂質シルト(MLS)に分類される。コンシステンシー指数(Ic)は0よりも小さい値(Ic=(32.37-40.04)/6.33=-1.24)となり、不安定な状態であることを示しており、また液性指数(IL)も1よりも大きい値(IL=(40.04-26.04)/6.33=2.21)となり不安定な状態と言える。

3. 実験方法および評価方法

地盤の性状試験の実験項目は、表-2の一般、コンシステンシー特性について行う。実験方法は、日本工業規格(JIS)・地盤工学会基準(JGS)土質試験法に準拠する。試料は、シンウォールにて図-1の位置(深さ1.7~2.5m)から採取した。地盤強さは、前述の方法で採取した試料を用いた一軸圧縮試験および図-1に示した位置(ただし、シンウォールにて試料を採取した位置とは違う位置)にて実施したポータブルコーン貫入試験(単管式)結果を用いて評価する。

4. 実験結果および考察

表-3に、A区とB区の杭打設直後と1週間後の試料土の物理試験結果を示す。

表-1 道路規格

道路規格	3種3級
設計速度	50km/h
幅員構成	車道 3.0m(2車線)
	路肩(歩道なし) 0.75m
	路肩(歩道有り) 0.50m
	歩道 2.5m
	路上施設帯(両側) 0.5m
合計	10.75m

表-2 試料土の物理試験結果

	深さ(m)	3.60~4.40
一般	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.820
	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.300
	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.674
	自然含水比 w_n (%)	40.04
	間隙比 e	1.06
	飽和度 S_r (%)	101.27
	土の含水比試験 w (%)	38.94
粒度	礫分(2~75mm) (%)	0.30
	砂分(75μm~2mm) (%)	26.10
	シルト分(5~75μm) (%)	54.60
	粘土分(5μm未満) (%)	19.00
特性シス	液性限界 w_L (%)	32.37
	塑性限界 w_p (%)	26.04
	塑性指数 I_p (%)	6.33
分類	分類名	砂質シルト
	分類記号	MLS

Measurement for increment of soil strength between piles driving into the poor ground

Hikaru Kubo (Snow Management & Construction Technology Research Center of Fukui Pref).

Masaho Yoshida (Fukui National College of Technology).

Hiroshi Motoyama (Tobishima Corporation).

Atsunori Numata (Tobishima Corporation).

乾燥密度は、A区は増加したが、B区はほとんど変化しなかった。間隙比は、A区で小さくなったが、B区はほとんど変化しなかった（杭打設間隔の影響と考えられる）。含水比は、A区において低下がみられたが、B区では含水比が低下しなかった。これは、深度3.1m付近の砂質層からの湧水が原因と考えられる。A区のコンシステンシー指数(Ic)は0に近い値(Ic=(33.77-32.54)/12.50=0.10)となり、不安定な状態であることを示す。液性指数(IL)は1に近い値(IL=(32.54-21.27)/12.50=0.90)となり、やはり不安定な状態と言える。B区のコンシステンシー指数(Ic)は0よりも小さい値(Ic=(33.94-35.92)/13.28=-0.15)となり、不安定な状態であることを示す。液性指数(IL)は1に近い値(IL=(35.92-23.03)/13.28=0.97)となり不安定な状態と言える。

図-2は、A区とB区の杭打設直後と1週間後の一軸圧縮試験結果を示す。杭打設直後と1週間後の一軸圧縮試験結果を比較すると、一軸圧縮強さはA区においては約1.3倍、B区においては約1.1倍増加していることがわかった。

図-3、4は、A区、B区のポータブルコーン貫入試験結果を示す。A区、B区共に、杭打設直後と養生7日を比較するとポータブルコーン貫入試験から求めた一軸圧縮強さは、一軸圧縮試験から求めた一軸圧縮強さと同様に増加傾向にあることがわかった。

5. まとめ

福井県小浜市内の県道の軟弱地盤対策として車道部分(6.0m)に末口直径12cm、長さ4.0mの丸太杭(スギ)を打設し、杭間隔の違いが杭間地盤にどのような影響を及ぼすのかA区(杭間1.0m)、B区(杭間1.5m)を比較検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 乾燥密度、間隙比は、Aは増加したが、B区はほとんど変化しない。
- (2) A区の含水比は、杭打設直後と1週間後を比較すると低下している。
- (3) A区、B区のコンシステンシー指数(Ic)、液性指数(IL)から、採取した試料は不安定である。
- (4) 杭打設直後と1週間後の一軸圧縮試験結果を比較すると、一軸圧縮強さはA区においては約1.3倍、B区においては約1.1倍増加した。
- (5) ポータブルコーン貫入試験結果から、A区(杭間1.0m)、B区(杭間1.5m)共に、杭打設直後と養生7日を比較する一軸圧縮強さは増加傾向にある。

以上の結果から、丸太杭打設から1週間で杭間の地盤強度が増加していることがわかった。杭間の地盤は、路体部分になることから上載荷重により更に増加すると考えられる。今後、これらの杭間強度増加を設計に反映できるように検討したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、福井県嶺南振興局小浜土木事務所 山田嘉晴主任、平山竜朗主事および(株)下前産業にご協力いただきました。また、福井大学名誉教授 荒井克彦先生、佐賀大学名誉教授 三浦哲彦先生、(独)土木研究所 堤祥一研究員、佐賀県木材利用研究会の宮副一之氏および福井県木材利用研究会の皆様にご指導、御助言をいただきました。本研究は、科学研究費助成事業(研究種目:基盤研究C、課題番号:22560504、研究代表者:吉田雅徳)の助成を受けて行いました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1)財団法人鉄道総合技術研究所:杭網(パイルネット)工法設計・施工の手引き, pp. 33, 2000. 3.
- 2)日本道路協会:道路土工-軟弱地盤対策工指針, 丸善, 1986. 11

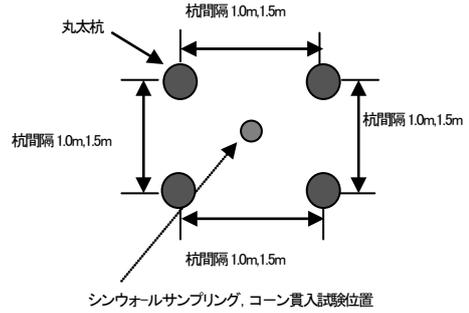


図-1 試料採取, 試験位置

表-3 試料土の物理試験結果

試験項目	A区		B区	
	打設直後	1週間後	打設直後	1週間後
試料採取深さ(m)	1.70~2.50		1.70~2.50	
湿潤密度 ρt(g/cm ³)	1.815	1.897	1.885	1.883
乾燥密度 ρd(g/cm ³)	1.321	1.433	1.408	1.386
土粒子の密度 ρs(g/cm ³)	-	2.703	-	2.704
自然含水比 wn(%)	37.47	32.54	33.94	35.92
間隙比 e	-	0.89	-	0.95
飽和度 Sr(%)	-	98.69	-	101.98
液性限界 wL(%)	-	33.77	-	36.31
塑性限界 wp(%)	-	21.27	-	23.03
塑性指数 Ip(%)	-	12.50	-	13.28

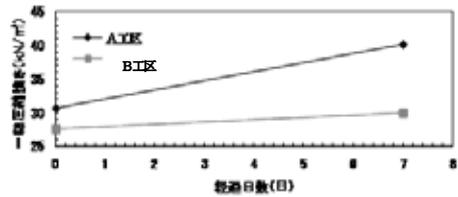


図-2 一軸圧縮試験結果

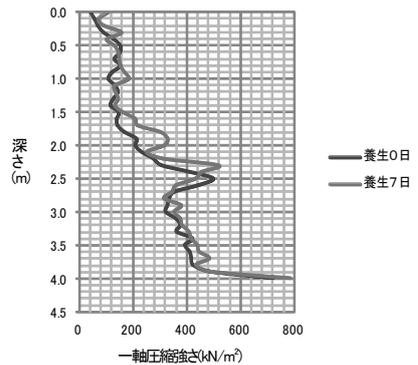


図-3 ポータブルコーン貫入試験結果(A区)

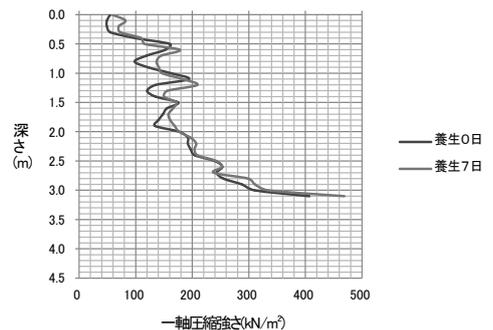


図-4 ポータブルコーン貫入試験結果(B区)

丸太杭打設による杭間隔の違いが地盤に及ぼす影響

福井県雪対策・建設技術研究所 正会員 ○久保 光
 福井県工業高等専門学校 正会員 吉田雅徳
 飛鳥建設技術研究所 国際会員 沼田淳紀
 飛鳥建設技術研究所 正会員 本山 寛

1. はじめに

丸太杭による軟弱地盤対策の既存技術として杭網(パイルネット)工法¹⁾²⁾があるが、設計を改良すると更に効果的な点もある。具体的には、杭網工法は、RC杭も対象としており丸太杭のテーパー効果(末口と元口の寸法の差)や杭と地盤との摩擦および杭の吸水効果が設計に反映されていない。また、丸太杭打設による杭間地盤の強度増加についても明らかとなっていない。文献³⁾では、丸太打設により杭間強度が増加することを明らかにした。具体的には、丸太杭打設直後と1週間後の一軸圧縮試験結果を比較すると、一軸圧縮強さはA区(杭間隔1.0m)においては約1.3倍、B区(杭間隔1.5m)においては約1.1倍増加した。本研究では、丸太杭による設計法を確立するため、実際に丸太杭を道路下の軟弱粘性土地盤対策に用いた時の調査結果を基に、丸太杭の打設間隔の違いが地盤に及ぼす影響を検討した。

2. 試験概要

福井県小浜市内において、道路の軟弱地盤対策として車道部分(6.0m)に丸太杭(スギ)を打設した。丸太杭は、φ12cm, L=4.0mを用いた。丸太杭の打設間隔は、A区で1.0m間隔(60本打設)、B区で1.5m間隔(28本打設)とした。1試験区の大きさは横断方向に6m、縦断方向に10.0mとした。写真-1は、A区の丸太杭打設終了状況を示す。現道は、かつて幅4.0m程度と狭く、大型車両のすれ違いが困難な状態であった。表-1は、道路規格を示す。また、舗装構成は、路床改良(石灰改良)70cm、下層路盤20cm、上層路盤20cm、表層5cmとした。施工場所付近で調査ボーリング(深さ6.4m)を行った結果、土質構成は4層に区分される。第1層(表土)は、層厚0.4mで暗茶灰色を呈する礫混りシルトよりなる耕土である。含水量は多く、草根及び腐植物が混入する。第2層(粘性土1)は、層厚3.8mで暗茶灰色を呈するシルト層よりなる。含水量は多く上層は微細砂分が少量混入するが、ほぼ均質である。全体に少量の炭化した腐植物が点在する。第3層(粘性土2)は、層厚0.35mで暗灰色を呈する礫混りシルト層よりなる。含水量はやや多い。混入する礫は2~15mm程度の亜円礫主体で不均質である。第4層(粘性土第3)は、暗灰色を呈するシルト層よりなる。含水量はやや多い。所々に腐植物が少量点在している。表-2は、試料土の性状試験結果を示す。粒度は、シルト分54.6%、粘土分19.0%、砂分26.1%、礫分0.3%を含んだ細粒であり、地盤材料の分類では低液性限界の砂質シルト(MLS)に分類される。コンシステンシー指数(Ic)は0よりも小さい値(Ic=(32.37-40.04)/6.33=-1.24)となり、不安定な状態であることを示しており、また液性指数(IL)も1よりも大きい値(IL=(40.04-26.04)/6.33=2.21)となり不安定な状態と言える。



写真-1 丸太杭打設終了状況(A区)

表-1 道路規格

道路規格	3種3級
設計速度	50km/h
幅員構成	車道 3.0m(2車線) ---
	路肩(歩道なし) 0.75m ---
	路肩(歩道有り) 0.50m ---
	歩道 2.5m ---
	路上施設帯(両側) 0.5m ---
合計	10.75m

表-2 試料土の物理試験結果

一般	深さ(m)	3.60~4.40
	湿潤密度 ρ _t (g/cm ³)	1.820
	乾燥密度 ρ _d (g/cm ³)	1.300
	土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)	2.674
	自然含水比 w _n (%)	40.04
	間隙比 e	1.06
	飽和度 S _r (%)	101.27
	土の含水比試験 w(%)	38.94
	礫分(2~75mm) (%)	0.30
	砂分(75μm~2mm) (%)	26.10
粒度	シルト分(5~75μm) (%)	54.60
	粘土分(5μm未満) (%)	19.00
	液性限界 w _L (%)	32.37
	塑性限界 w _p (%)	26.04
テコンシステンス	塑性指数 Ip(%)	6.33
	分類名	砂質シルト
分類	分類記号	MLS

3. 実験方法および評価方法

A区およびB区の杭間に機械式層別沈下計(型式:SMH-90L-7PW)をそれぞれ1カ所設置し、杭打設による地盤の層別沈下量を計測する。測定深さは、杭打設地盤表面から1m, 2m, 3m, 4m, 5m, 7m, 9mの7点とする。層別沈下計の計測は、データロガー(型式:TDS-102-20 (株)東京測器研究所製)にて行った。A区については、途中から手動計測に切り替えた。また、B区については、工事の関係上一部データが取得できなかった。計測期間は、丸太杭打設から240日間とした。A区は、2011年7月8日12時から丸太杭打設を開始した。また、丸太杭打設から1週間養生後(2011年7月16日)、路床改良土(サンドマット)を敷設した。B区は、2011年7月21日12時から丸太杭打設を開始した。また、丸太杭打設から1週間養生後(2011年7月30日)、路床改良土(サンドマット)を敷設した。舗装工事終了後(11月初旬)、A区、B区の舗装表面の両外側線および中心線に2m間隔で鉋を設置し沈下量を定期的に計測した(初期値は12月に測定)。評価方法は、A区とB区に設置した層別沈下計の計測結果および舗装の表層沈下量から丸太杭の打設間隔が地盤に及ぼす影響を比較検討した。

キーワード: スギ丸太 設計方法 軟弱地盤対策

連絡先: 〒918-8108 福井県福井市春日3丁目303 Tel:(0776)35-2412 Email:h-kubo-1v@pref.fukui.lg.jp

4. 試験結果および考察

図-1 は、A 区の各層の沈下量を示す。丸太杭打設直後、地盤表面の盛り上がりが見られた(最大で 40mm 程度)。この原因は、丸太杭打設により、杭間の地盤が圧縮されたためと考えられる。また、路床改良土を敷設した際には、各層共に当初地盤より 20mm 程度沈下した。杭打設から 40 日経過後に下層路盤まで仕上げた時点で通行規制を行い交通解放したがその影響はほとんどないと考えられる。また、130 日経過後にすべての工事が完了し交通解放したが各層の沈下量はほとんどなかった。図-2 は、舗装の表層部分の初期値計測後、2 ヶ月目(2012.2.7)、3 ヶ月目(2012.3.8)の沈下量を示す。中心線および両外側線の測点の沈下量は 1mm 程度でほとんど沈下していないことがわかった。

図-3 は、B 区の各層の沈下量を示す。丸太杭打設直後、A 区のように地盤表面の盛り上がりは見られなかった。この原因は、A 区が杭間隔 1.0m に対して B 区は 1.5m であることから、杭間地盤の圧縮量が A 区ほどではなかったためと考えられる。図-4 は、舗装の表層部分の各測点の初期値計測後、2 ヶ月目(2012.2.7)、3 ヶ月目(2012.3.8)の沈下量を示す。A 区と同様に中心線および両外側線共に沈下量は 1mm 程度でほとんど沈下していないことがわかった。

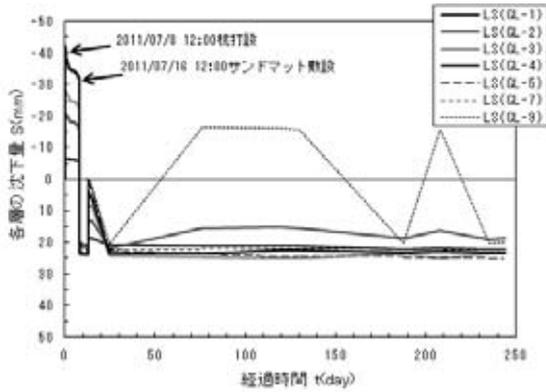


図-1 各層の沈下量(A区)

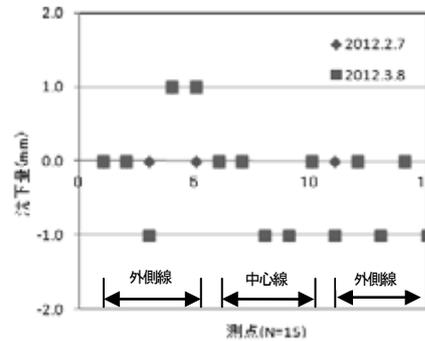


図-2 表層部分の沈下量(A区)

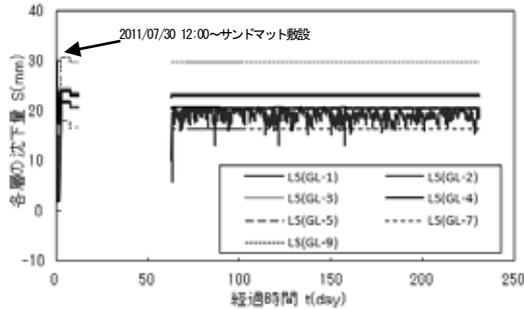


図-3 各層の沈下量(B区)

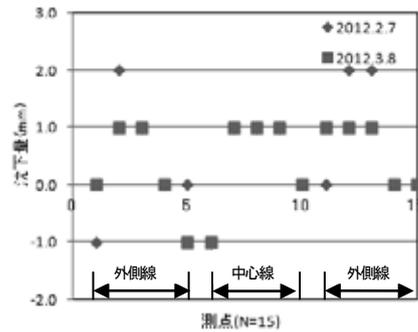


図-4 表層部分の沈下量(B区)

5. まとめ

丸太杭の打設間隔の違いが地盤に及ぼす影響を検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) A区(丸太杭間隔 1.0m)は、丸太杭打設直後、地盤表面の盛り上がりが見られたが、B区(丸太杭間隔 1.5m)は見られなかった。
- (2) A区、B区共にサンドマット敷設後、地盤沈下した。
- (3) A区、B区共に交通解放後、地盤沈下はほとんど見られない。

以上の結果から、丸太杭打設による杭間隔の違いが地盤に及ぼす影響を明らかにした。今後、間隙水圧計測データや土圧計データを解析し杭間の違いが地盤に及ぼす影響を検討したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、福井県嶺南振興局小浜土木事務所 山田嘉晴主任、平山竜朗主事および(株)下前産業にご協力いただきました。また、福井大学名誉教授 荒井克彦先生、佐賀大学名誉教授 三浦哲彦先生、(独)土木研究所 堤祥一研究員、佐賀県木材利用研究会の宮副一之氏および福井県木材利用研究会の皆様にご指導、御助言をいただきました。本研究は、科学研究費助成事業(研究種目: 基盤研究C, 課題番号: 22560504, 研究代表者: 吉田雅穂)の助成を受けて行いました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 財団法人鉄道総合技術研究所: 杭網(パイルネット) 工法設計・施工の手引き, pp. 33, 2000. 3.
- 2) 日本道路協会: 道路土工-軟弱地盤対策指針, 丸善, 1986. 11.
- 3) 久保光, 吉田雅穂, 沼田淳紀, 本山寛: 軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測, 第 47 回地盤工学研究発表会投稿中, 2012. 7.

福井県における小規模構造物の軟弱地盤対策に杭丸太を用いた施工事例

Construction case of using log piles to improve small scale structures on soft ground in Fukui Prefecture

○久保 光* 吉田雅穂** 沼田淳紀*** 平山竜朗**** 正田大輔*****

KUBO Hikaru, YOSHIDA Masaho, NUMATA Atsunori, HIRAYAMA Tatusrou, SHODA Daisuke

*博(工学) 福井県雪対策・建設技術研究所(〒918-8108 福井県福井市春日3丁目303)

**博(工学) 福井工業高等専門学校(〒916-8507 福井県鯖江市下司町)

***博(工学) 飛鳥建設株式会社技術研究所(〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)

**** 福井県福井土木事務所(〒918-0853 福井県福井市城東4丁目28-1)

*****博(農学) (独)農研機構 農村工学研究所(〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6)

ABSTRACT A summary of design methods in accordance to the national standard and to Saga Prefecture's local rules. Also, a design method is proposed utilizing special characteristics of log piles. More specifically, regarding prefectural road constructions in the city of Obama, Fukui Prefecture, surface bearing capacity is designed at a safety factor of 1.5. Next, usage of cedar logs to countermeasure the soft ground foundations of box culverts and ditches and their workability were examined. Then, the volume of subsidence was measured. After studying the validity of the design and construction, with the safety factor of surface bearing capacity set at 1.5, it was found that there are no problems in practice.

Keywords : 地盤対策、丸太
ground improvement, log pile

1. はじめに

公共工事の設計は、全国版基準の考え方に従って行われることが多い。自治体が国の補助を受けて行う工事では、そのことが必要条件とされる場合もある。ところが、軟弱地盤の場合、全国版基準では対応できないこともある。例えば、道路橋示方書・同解説(2002)では、先端支持力3、周面支持力4の安全率を採用しているが、これに基づき設計するとコスト高であるのみならず杭丸太の設計は末口寸法で設計することから末口と元口の寸法の違いにより杭間隔が狭くなりすぎて杭の打設も困難となる場合がある¹⁾。よって本研究では、杭丸太の特性を活かした設計方法について検討する。次に、その設計方法に基づき設計を行い、現場施工を実施した。施工後のモニタリング調査を行い設計方法の妥当性について検討する。

2. 設計法の比較検討

道路橋示方書・同解説(2002)²⁾ [以降道路橋と呼ぶ]・鉄道構造物等設計標準・同解説(2000)³⁾ [以降鉄道と呼ぶ]・建築基礎構造設計指針(2007)⁴⁾ [以降建築と呼ぶ]・港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)⁵⁾ [以降港湾と呼ぶ]・杭網(パイルネット)工法設計・施工の手引き(2000)⁶⁾ [以降パイルネットと呼ぶ]・プレキャストL型擁壁(H≤2m)の木杭-底盤系基礎(佐賀県)~設計マニュアル第1版~(2006)⁷⁾ [以降佐賀県と呼ぶ]、以上6つの基準について比較検討を行う。

いずれの設計方法も基本式(1)は以下のとおりである。

$$R_a = \frac{1}{n_p} R_p + \frac{1}{n_f} R_f \quad (\text{kN}) \quad (1)$$

ここで、

R_a : 杭1本当たりの許容鉛直支持力(kN)

R_p : 単杭の基準先端支持力(kN)

R_f : 単杭の基準周面支持力(kN)

n_p, n_f : 各荷重状態に対する安全係数

2.1 支持力式比較

6つの基準における先端支持力と周面支持力の式を表-1にまとめて、比較検討を行う。

(1)先端支持力について

砂質系の土については、道路橋を除いて各設計とも300Nとしている。なお、道路橋についても、上限値は300Nである。粘性土については、鉄道とパイルネット(9c or 100N)、または建築と港湾(6c)がそれぞれ同様の基準を定めている。粘性土の設計に着目すると、建築と港湾の基準の方が設計値を小さくしている。道路橋では、砂質土と同様の提案式が用いられている。また、建築については、上記以外で静的貫入試験結果 q_c を支持力式に直接用いることができるようにしている。このことから、他の支持力算定に比べ粘性土の先端支持力については、各設計法により考え方に差異がある。佐賀県は軟弱地盤を対象としていて、先端支持力を見込んでいないのが特徴である。

(2)周面支持力について

砂質土については、鉄道とパイルネット(3N+30)または建築と港湾、道路橋、佐賀県(2N)が同様の基準を定めている。このことから、建築と港湾、道路橋、佐賀県の基準の方が設計値を小さくしている。また、砂質土の周面支持力度の算定法は、上記の先端支持力度における粘性土設計基準とほぼ同じ組み合わせである。粘性土については、鉄道と道路橋、パイルネット(c or 10N)または建築と港湾、佐賀県(c)が同様の基準を定めている。いずれの基準においても算定式にほぼ差異が見られない。

また、建築と港湾において、先端と周面支持力度ともに粘性土では、N値での評価を認めていない。加えて、表-2に示す通りN値やcに上限値が設けられているため、各設計で式が同じであっても、必ずしも同じ値にならないことに留意しなければならない。

2.2 安全率比較

本節では、軟弱地盤中に丸太を打設することを考え、安全率の比較検討を行う。表-3は、6つの基準における安全率を示す。軟弱地盤を想定すると、周面(摩擦杭)の安全率の比較となるが、先端(支持杭)と周面(摩擦杭)で安全率の値が異なるのは、道路橋だけである。その道路橋における周面の安全率4が、他の安全率と比較して最も大きいことがわかる。杭の材料として木材を基準に明記している港湾とパイルネット、佐賀県の安全率はそれぞれ2.5、2、1.5となっており、道路橋よりかなり小さいことがわかる。最も小さい佐賀県の基準では、プレキャストL型擁壁(H=2m以下)の底盤支持力を計算して不足支持力を杭丸太の支持力で補うという考え方である(基礎地盤鉛直支持力に関する安全率は3、杭丸太の水平支持力、鉛直支持力に関する安全率は1.5)。また、周面の安全率が1.5と小さいのは、杭丸太のテーパ効果や杭丸太と原地盤の周面摩擦力、杭丸太の吸水機能による原地盤水分の排水効果などを加味した結果である。佐賀県と比較して道路橋では、底盤支持力を見込まず鉛直荷重を全て杭に持たせる設計となっている。これにより杭丸太を用いる場合、過剰設計となり不経済となるばかりか杭と杭の間隔が狭くなりすぎて施工に支障をきたす場合も報告されている⁷⁾。ところで、鉄道と港湾については状況に応じて詳細に安全率の設定がなされている。港湾の括弧内の数字は、不完全と思われる支持層内に杭先端を止める場合である。

上記のとおり6つの基準の安全率を比較検討した結果、佐賀県の安全率1.5が実務上、最適と考えられる。

2.3 設計法のまとめ

道路橋、鉄道、建築、港湾、パイルネット、佐賀県の基準について比較検討した結果、以下の考え方で設計を行う。

- (1)支持力式は、佐賀県と同様、底盤支持力の不足分を杭丸太の支持力で補う設計法で先端支持力は見込まず周面支持力のみとする。
- (2)安全率は、佐賀県と同様、1.5とする。

表-1 各設計基準の支持力式比較

支持力式比較表		道路橋 (2002)	鉄道 (2000)	建築 (2007)		港湾 (2007)	パイルネット (2000)	佐賀県 (2006)
先端支持力度 (kN/m ²)	砂質土	100N	300N	300N	0.7 q_c	300N	300N	-
	粘性土		9c or 100N	6c		6c	9c or 100N	-
周面支持力度 (kN/m ²)	砂質土	2N	3N+30	2N		2N	3N+30	2N
	粘性土	c or 10N	c or 10N	c		c	c or 10N	c
それぞれのN 値について	先端支持力度	杭先端地盤の設計N値	杭先端地盤の設計N値	杭先端から下に1d上に4d間の平均N値		杭先端位置でのN値と杭先端より上方へ杭径4倍までの範囲内の平均N値との平均N値		杭先端地盤の設計N値
	周面支持力度	標準貫入試験のN値	各層のN値	杭周面地盤の平均N値		各層のN値		各層のN値
								標準貫入試験のN値

表-2 各設計基準の N 値と cu の上限比較

(N値、 cu)比較表		道路橋 (2002)	鉄道 (2000)	建築 (2007)	港湾 (2007)	パイルネット (2000)	佐賀県 (2006)
先端支持力度 (kN/m^2)	砂質土	$N < 40$	$N < 33.3$	$N < 60$	$N < 50$	-	-
	砂礫		$N < 50$	-	-	-	-
	硬質粘性土、軟岩		$cu < 2222.2, N < 200$	$cu < 3000$	cp	-	-
周面支持力度 (kN/m^2)	砂質土	$N < 50$	$N < 40$	$N < 50$	N	$N < 66.7$	$N < 50$
	粘性土	$N < 15$	$cu < 150, N < 15$	$cu < 100$	ca	$cu < 50, N < 50$	$0.3 \gamma z < c$

cp : 杭先端位置での非排水せん断強度(kN/m^2) ca : i 層の平均付着力(kN/m^2)

表-3 各計基準の安全率比較

安全率比較表	先端						周面					
	道路橋	鉄道	建築	港湾	パイルネット	佐賀県	道路橋	鉄道	建築	港湾	パイルネット	佐賀県
常時	3	-	-	-	2	-	4	-	-	-	2	1.5
長期使用限界状態	-	10/3	-	-	-	-	-	10/3	-	-	-	-
暴風時、レベル1地震時	2	-	-	-	1.43	-	3	-	-	-	1.43	-
使用限界状態	-	2.5	3	-	-	-	-	2.5	3	-	-	-
損傷限界状態	-	-	1.5	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-
レベル1地震動に関する変動状態	-	-	-	100/66(2)	-	-	-	-	-	100/66	-	-
終局限界状態	-	2	1	-	-	-	-	2	1	-	-	-
地震時使用限界状態	-	10/6	-	-	-	-	-	10/6	-	-	-	-
地震時終局限界状態	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-

()内の数値は、不完全と思われる支持層内に杭先端を止める場合

3. 設計法の比較検討

3.1 地盤調査

設計に必要な地盤定数を得るため、施工場所付近においてボーリング調査(深さ 6.4m)およびスウェーデン式サウンディング試験(深さ 10m, 5m 間隔)を 5 箇所、簡易動的コーン貫入試験(JGS 1433-2003)を 1 箇所(深さ 12m)行った。表-4 は、ボーリング調査結果を示す。土質構成は 4 層に区分される。第 1 層(表土)は、層厚 0.4m で暗茶灰色を呈する礫混りシルトよりなる耕土である。含水量は多く、草根及び腐植物が混入する。第 2 層(粘性土 1)は、層厚 3.8m で暗茶灰色を呈するシルト層よりなる。含水量は多く上層は微細砂分が少量混入するが、ほぼ均質である。全体に少量の炭化した腐植物が点在する。第 3 層(粘性土 2)は、層厚 0.35m で暗灰色を呈する礫混りシルト層よりなる。含水量はやや多い。混入する礫は 2~15mm 程度の亜円礫主体で不均質である。第 4 層(粘性土 3)は、暗灰色を呈するシルト層よりなる。含水量はやや多い。所々に腐植物が少量点在している。更に表-4 は、試料土の性状試験結果を示す。粒度は、シルト分 54.6%、粘土分 19.0%、砂分 26.1%、礫分 0.3% を含んだ細粒であり、地盤材料の分類では低液性限界の砂質シルト(MLS)に分類される。コンシステンシー指数(I_c)は 0 よりも小さい値($I_c = (32.37 - 40.04) / 6.33 = -1.24$)となり、不安定な状態であることを示しており、また液性指数(IL)も 1 よりも大きい値($IL = (40.04 - 26.04) / 6.33 = 2.21$)となり不安定な状態と言える。表-5 は、土留式自由勾配側溝およびボックスカルバートの設計に用いる N 値および粘着力を示す。

土留式自由勾配側溝の N 値および粘着力は、スウェーデン式サウンディング試験により求めた。平均 N 値は 2.2、平均一軸圧縮強度(qu)は $31.7 kN/m^2$ であった。この値を用いて粘着力(c)を求めると $8N$ より 17.6、 $qu/2 = 31.7/2$ より 15.9 となり安全側の 15.9 を用いる。ボックスカルバートの N 値および粘着力は、簡易動的コーン貫入試験により求めた。平均 N 値は 5.3 で粘着力(c)は $8N$ より 42.4 を用いる。

3.2 基礎工選定

福井県小浜市内の県道拡幅工事において、軟弱地盤のため土留式自由勾配側溝($B=0.3m, H=0.7\sim$

表-4 ボーリング調査結果

		深さ(m)	1.60~2.40	3.60~4.40	5.60~6.40
一般	湿潤密度 $\rho_t (g/cm^3)$		1.946	1.820	1.700
	乾燥密度 $\rho_d (g/cm^3)$		1.466	1.300	1.117
	土粒子の密度 $\rho_s (g/cm^3)$		2.707	2.674	2.655
	自然含水比 $w_n (%)$		32.9	40.04	52.20
	間隙比 e		0.85	1.06	1.38
	飽和度 $S_r (%)$		104.7	101.27	100.65
	土の含水比試験 $w (%)$		30.54	38.94	51.51
	礫分(2~75mm) (%)		0.00	0.30	0.00
	砂分(75 μm ~2mm) (%)		12.00	26.10	5.50
	シルト分(5~75 μm) (%)		58.60	54.60	74.70
粒度	粘土分(5 μm 未満) (%)		29.40	19.00	19.80
	液性限界 $w_L (%)$		28.54	32.37	44.00
	塑性限界 $w_p (%)$		19.95	26.04	29.74
	塑性指数 $I_p (%)$		8.59	6.33	14.26
分類	分類名		砂混り粘土	砂質シルト	砂混りシルト
	分類記号		CL-S	MLS	ML-S

表-5 N 値および粘着力

構造物	平均 N 値	粘着力(c)
土留式自由勾配側溝	2.2	15.9
ボックスカルバート	5.3	42.4

1.2m,L=80m) 基礎およびボックスカルバート (B=1.8m,H=1.1m,L=9.7m)の支持力が不足していることから、基礎工の検討を行った。

表-6 は、道路規格を示す。基礎工形式の選定は、基礎工設計マニュアル⁸⁾に従った。表-7 は、計画地における基礎工法の評価である⁹⁾。従来の工法選定では、杭丸太は直接基礎として検討されるため不経済、支持層が不明との理由で工法選定の対象にならない。ここでは、土留式自由勾配側溝基礎については、石灰安定処理工法を行うことで現場にて土のサンプリングを行い、配合試験を行った。その結果、一軸圧縮試験の目標強度(200kN/m³)を得るためには固化材添加量が 1,050kg/m³ 必要と推定されたため、石灰安定処理工での施工は経済的に困難と判断し、佐賀県のマニュアル⁷⁾に基づき杭丸太の周面支持力のみで安全率 1.5 で設計した。底盤の支持力は、道路橋²⁾に従い、安全率 3 とした。その結果、丸太直径 15cm、長さ 3m の杭丸太は、土留式自由勾配側溝 1m あたり 2 本必要であることがわかった。次にボックスカルバート基礎についてこま型基礎と杭丸太を比較検討する。石灰安定処理工法が経済的には最も良いが、ボックスカルバートについては、石灰安定処理工法では必要な支持力が得られないため、こま型基礎工法を選定した。しかしながら、佐賀県のマニュアル¹⁰⁾の支持力式および安全率を用いて杭丸太を設計すると経済的にも環境的にも良いと考えられたため再検討することとした。その結果、丸太直径 15cm、長さ 3m の杭丸太は、ボックスカルバート 1.1m あたり 2 本必要であることがわかった。また、杭丸太を用いた方が約 50 万円程度(直接工事費)安くなることがわかった。

表-6 道路規格

道路規格	3種3級
設計速度	50km/h
幅員構成	車道 3.0m (2車線)
	路肩(歩道なし) 0.75m
	路肩(歩道有り) 0.50m
	歩道 2.5m
	路上施設帯(両側) 0.5m
合計	10.75m

表-7 基礎工法の評価

工法	評価
置換工法	△
プレミックス工法	×
セメント安定処理工法	×
石灰安定処理工法	◎
締固め工法	×
重錘落下締固め工法	×
こま型基礎工法	○
シート・ネット・グリッド工法	△
杭基礎	×

3.3 杭丸太基礎の設計

基礎コンクリート下面に作用する荷重は、土留式自由勾配側溝およびボックスカルバート本体の安定計算結果とモルタルおよび基礎コンクリートの自重を考慮した。基礎地盤の許容鉛直支持力は、道路橋²⁾の基礎地盤の鉛直支持力計算による。本設計では、佐賀県と同様に杭丸太ー底盤系基礎の支持力計算により行った。杭丸太ー底盤系計算では、簡便的に杭丸太周面支持力と底盤支持力がそれぞれに極限支持力を発揮しているものと考え、それぞれの極限支持力を重ね合わせて求めた。基礎地盤の支持力不足を杭丸太の周面摩擦力により補完すると考え、まず底盤支持力を計算し、不足支持力を杭丸太の周面支持力で補った。安全率は、底盤地盤支持力 3、杭丸太の周面支持力 1.5 にて設計した。基礎地盤の水平支持力は、基礎コンクリートと地盤との間に働くせん断抵抗力に対して安全率 1.5 を確保した。せん断抵抗力は、道路橋示方書²⁾ 下部構造編 p.280 の(10.3.2)式を準用し(2)式で求めた。本設計では、鉛直支持においては底盤の許容鉛直支持力の不足分を木杭基礎が分担していることから、底盤の許容支持力は 100%発揮されていると考える。このため底盤下面のせん断抵抗力算出においては、底盤の許容鉛直支持力を用いた。

$$RHb=cB \cdot Ae + Rvba \cdot \tan\phi_B \tag{2}$$

ここで、

RHb : 基礎底面と地盤との間のせん断抵抗力(kN)

C_B : 基礎底面と地盤との間の付着力(kN/m²)

Ae : 有効載荷面積(m²)

$Rvba$: 基礎地盤:の許容鉛直支持力(kN)

ϕ_B : 基礎コンクリート底面と地盤との間の摩擦角(°)

図-1 は、ボックスカルバートの断面図、図-2 は、土留式自由勾配側溝の断面図を示す。どちらも杭丸太の杭頭は、基礎コンクリートに 5cm 根入れしているだけのため杭丸太と基礎コンクリートの結合状態はヒンジ結合と考える。

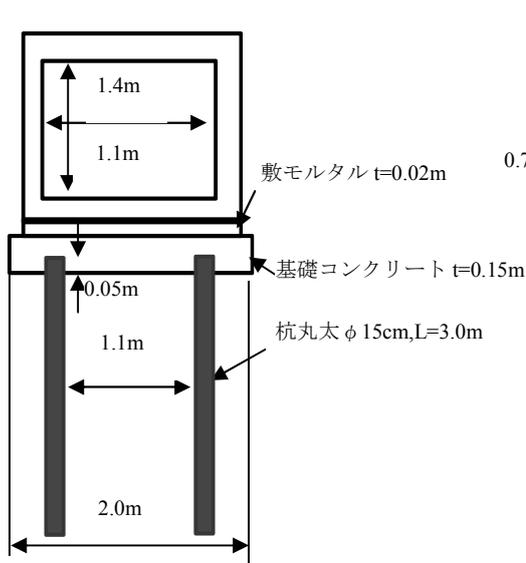


図-1 ボックスカルバート断面図

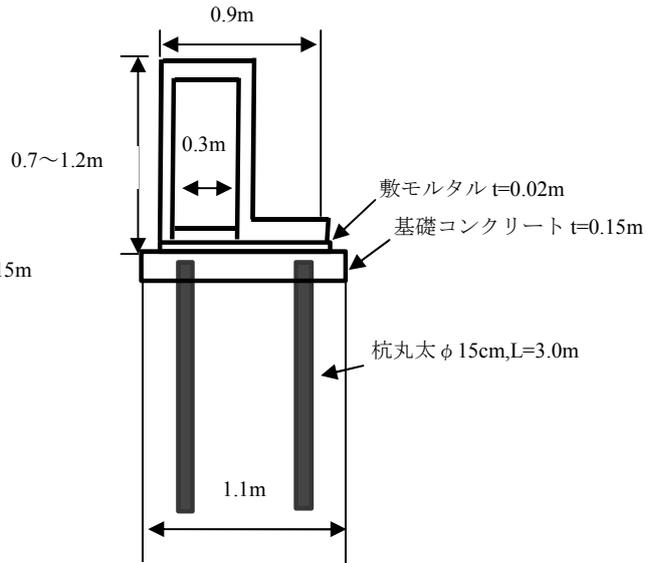


図-2 土留式自由勾配側溝断面図

4. 基礎工の施工およびモニタリング調査

4.1 基礎工の施工

拡幅する道路を横断するボックスカルバート基礎に、杭丸太($\phi 15\text{cm}$, $L=3\text{m}$)を18本打設した(写真-1)。使用する杭丸太は、福井県産スギ間伐材を用いた。土留式自由勾配側溝基礎に、杭丸太($\phi 15\text{cm}$, $L=3\text{m}$)160本打設した(写真-2)。施工機械は、専用のアタッチメントを取り付けたバックホウ(0.7m^3)を用いた(写真-3)。施工上、特に問題となることはなかった(石灰安定処理工法では、降雨の影響で施工できないこともあるが杭丸太基礎では降雨の影響はなかった)。

4.2 モニタリング調査

図-3は、道路供用開始(11月中旬)から約1ヶ経過後、約3ヶ経過後、約4ヶ経過後の土留式自由勾配側溝およびボックスカルバートの定点(1箇所)の表面沈下量を示す。縦軸はベンチマークからの高さを示す。土留式自由勾配側溝およびボックスカルバートの表面は、全く沈下していないことがわかった。写真-4、写真-5は、6ヶ経過後の土留式自由勾配側溝およびボックスカルバートの状況を示す。目視確認の結果、沈下によるひび割れや漏水等はなかった。

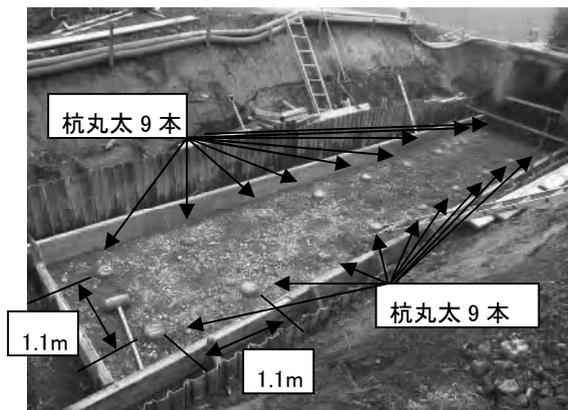


写真-1 ボックスカルバート基礎(全景)

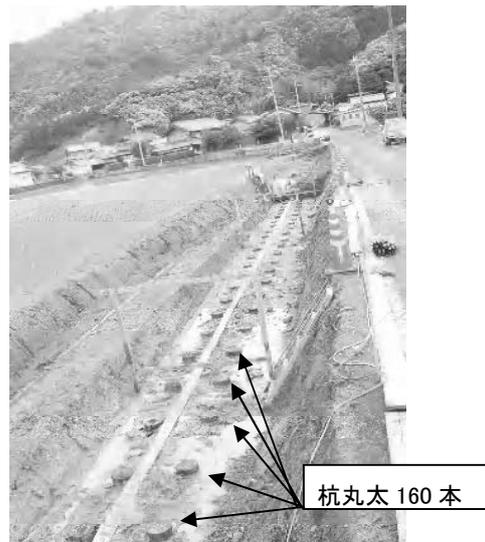


写真-2 土留式自由勾配側溝基礎(一部分)



写真-3 専用アタッチメントでの打設

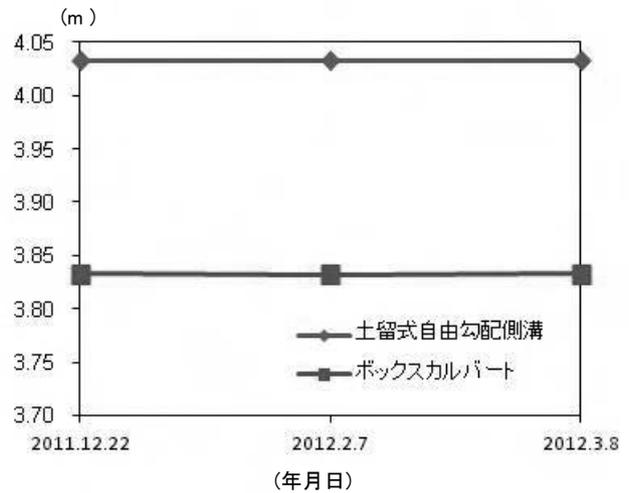


図-3 土留式自由勾配側溝およびボックスカルバートの沈下量



写真-4 土留式自由勾配側溝の状況



写真-5 ボックスカルバートの状況

5. まとめ

全国版基準の考え方や佐賀県のローカルルールを考え方を整理し、杭丸太の特性を活かした設計方法を提案した。また、その設計方法に基づき土留式自由勾配側溝基礎およびボックスカルバート基礎の設計を行い、現場施工を実施した。施工後のモニタリング調査を行い設計方法の妥当性について検討した。具体的には以下のとおりである。

- (1) 福井県小浜市の県道拡幅工事において、木杭周面支持力と底盤支持力がそれぞれに極限支持力を発揮しているものと考え、スギ杭丸太の周面支持力は安全率1.5で設計した。
- (2) ボックスカルバート基礎および土留式自由勾配側溝基礎の軟弱地盤対策にスギ杭丸太 (φ15cm, 長さ 3m) を使用して施工したが施工性に問題はなかった。
- (3) 道路供用開始から約4ヶ月経過後、ボックスカルバートおよび土留式自由勾配側溝の表面沈下量を測定した結果、全く沈下していないことがわかった。

6ヶ月経過後、目視確認の結果、沈下によるひび割れや漏水等はなかった。

以上のとおり、周面支持力のみ安全率 1.5 にて設計・施工し安全率・施工の妥当性について検討した結果、実務上問題ないことがわかった。長期的な安定性の検討は、今後必要である。

謝辞：本研究を行うにあたり、福井県嶺南振興局小浜土木事務所および(株)下前産業にご協力いただきました。また、福井大学名誉教授 荒井克彦先生、佐賀大学名誉教授 三浦哲彦先生、(独)土木研究所 堤祥一研究員、佐賀県木材利用研究会 宮副一之氏および福井県木材利用研究会の皆様にご指導、御助言をいただきました。

本研究は、科学研究費助成事業（研究種目：基盤研究 C、課題番号：22560504、研究代表者：吉田雅穂）の助成を受けて行いました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1)三浦哲彦：軟弱粘土地盤における木杭基礎～ローカルルール作りの歩み～(2010),木材利用シンポジウム in 福井講演概要集,pp33-36
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (2002)
- 3)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 (2000)
- 4)日本建築学会：建築基礎構造設計指針 (2007)
- 5)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説 (2007)
- 6)鉄道総合技術研究所：杭網(パイルネット)工法設計・施工の手引き (2000)
- 7)佐賀県土木建築技術協会：プレキャスト L 型擁壁 (H=2m 以下) の木杭-底盤系基礎 (佐賀県)～設計マニュアル第 1 版～ (2006)
- 8)京福コンサルタント株式会社：(県単)道路改良工事 測量調査設計業務委託 栗田その 1 (2010)
- 9)福井県土木部：基礎工設計マニュアル(2000)
- 10) 佐賀県土木建築技術協会：水路用ボックスカルバートの木杭-底盤系基礎～設計マニュアル (第 1 版)～(2005)

スギ丸太打設による軟弱地盤対策実験

本山 寛¹, 沼田淳紀¹, 吉田雅穂², 久保 光³

- 1 飛鳥建設(株)・技術研究所
- 2 福井工業高等専門学校・環境都市工学科
- 3 福井県・雪対策・建設技術研究所

概 要

地球温暖化防止対策は、喫緊に解決しなければならない課題の一つである。筆者らは、建設分野において大気中の二酸化炭素削減に貢献できる方法として、建設材料への木材利用を考えている。その具体的な方法の一つが、丸太打設による軟弱地盤対策である。木杭は、古来多く用いられてきたが、現在ではほとんど用いられず、その工学的性質は不明な点が多い。そこで、人工軟弱地盤を作製し、そこに丸太打設を行い、沈下、丸太間地盤の強度、丸太の引き抜き抵抗の検討を行った。沈下計測の結果、丸太打設間隔が短い区画では、丸太打設間隔が長い区画や無対策区画に比べて沈下量が約半分に抑えられた。また、丸太間地盤は1年後には地盤の強度が増加し、特に丸太打設間隔の狭い区画での強度増加が大きかった。さらに、丸太の周面支持力は、1年経過後には当初の倍程度となることが分かった。

キーワード：地球温暖化，地盤対策，丸太，安全率，周面摩擦

1. はじめに

地球温暖化防止対策は、喫緊の課題である。これは、建設分野においても例外ではない。筆者らは、建設分野において大気中の二酸化炭素削減に貢献できる技術として、建設材料への木材利用を考えている。その具体的な方法の一つとして、丸太打設による軟弱地盤対策を提案している¹⁾。

筆者らは、人工の軟弱地盤にスギ丸太を打設し、地盤対策効果および大気中の二酸化炭素削減効果について検証を行った。その結果、丸太打設により軟弱地盤対策工事を実施した場合、工事そのものが大気中の二酸化炭素削減に繋がることを既に明らかにしている²⁾。

一方、丸太打設による地盤対策効果は、丸太の周面摩擦抵抗が鋼管杭などに比べて大きく、荷重に対する支持力の増加が期待できる³⁾⁴⁾。さらに、丸太は加工が容易であるので、丸太に排水機能を付加し、間隙水圧の消散および地盤強度の増加を促進させる効果も期待できる。しかしながら、丸太打設による地盤の強度増加や丸太と地盤の複合地盤としての支持力等については不明な点が多い。

そこで、丸太打設による地盤沈下の抑制効果、丸太間地盤の強度の増加、丸太の荷重に対する支持力を確認するために、実験開始から1年間、地盤の沈下計測と地盤調査を実施し、1年後に丸太の引き抜き試験を実施した。本稿では、これらの結果を示し、さらに丸太打設による地盤対策の有効性と設計方法の方向性を示す。

2. 実験方法

2.1 実験ヤードの概要

実験ヤードの概要を図1に示す。実験ヤードは、良質な砂礫の埋立地盤に、底面幅5m、長さ20m、深さ4mとなるようにトレンチを掘削し、埋立地から採取した土を投入し人工軟弱地盤を作製した。周辺地盤の地下水位はおおよそGL-3.0mにあるが、人工軟弱地盤の地下水位を計測した結果、実験期間を通じてサンドマット内部にあることが分かった。

実験ヤードは、丸太打設(間隔0.5m)、丸太打設(間隔1.0m)、無対策および土シート敷設の4つに区画分けした。ここで、土シートとはポリエステル製のジオテキスタイルであり、厚さ0.19mm、引張強さ1.2N/30mmのものである。今回使用した丸太は、直径0.15m、長さ3mである。丸太の直径および打設間隔は、丸太打設間隔が0.5mの区画では安全率が1を大きく上回るように、打設間隔が1.0mの区画では1を大きく下回るように設定した。これは、丸太を摩擦杭として考え、これにより盛土荷重を支えることを想定したときに、丸太打設間隔の違いによる対策効果の違いが明確になり、かつ施工性を考慮し打設間隔が切りの良い数値となるようにしたためである。盛土は、RC造2階建ての構造物荷重を想定し、サンドマット厚さ0.5m、盛土厚さ1.5mとした。

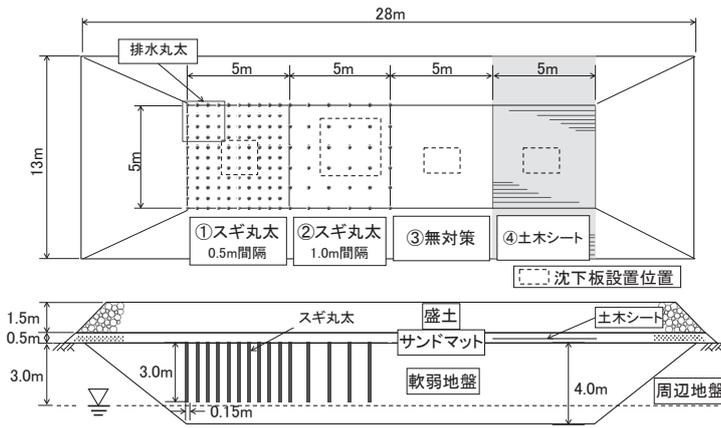


図1 実験ヤード

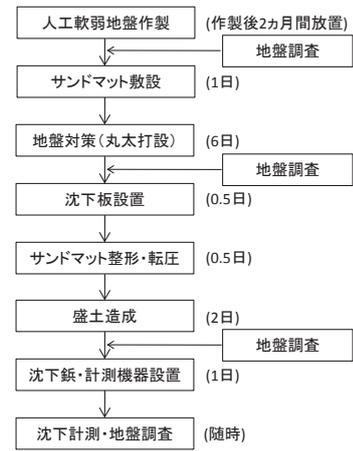


図2 施工フロー

2.2 施工手順と地盤調査

図2に施工フローを示す。丸太打設は、人工軟弱地盤を造成後約2ヶ月放置してから実施した。丸太は、人工軟弱地盤上にサンドマットを厚さ0.5mで敷き均してから打設した。これは、軟弱地盤上での重機の作業足場の確保と、丸太打設時の軟弱地盤表面の膨れ上がりを抑制するためである。なお丸太打設は、図1の上から下へ向かう方向に打設した。丸太を0.5m間隔で打設した区画では、一部に排水機能を持たせた丸太(以降、排水丸太と呼ぶ)を16本打設した。丸太打設後、各層の沈下を計測するために丸太頭部、軟弱地盤上、およびサンドマット上に沈下板を設置した。その後、サンドマットを成形、転圧し、その上に湿潤密度 $\rho=2.0t/m^3$ の礫質土により厚さ1.5mの盛土を造成した。盛土造成後、天端に1m間隔(一部1.5~2m間隔)の格子状に沈下鉤を打ち込んだ。

人工軟弱地盤の試料は、軟弱地盤造成直後に乱した試料を採取し、丸太打設前に乱さない試料を採取した。また、ポータブルコーン貫入試験(以下、CPT試験)⁵⁾およびスウェーデン式サウンディング試験(以下、SWS試験)⁶⁾を実施した。これらのサウンディング試験は、丸太打設前、直後および盛土施工後は定期的に行われ、地盤対策効果の確認を行った。ただし、CPT試験は、地盤中の礫にロッド先端が当たり適切な評価ができなかったため地盤対策前以外では実施していない。

2.3 人工軟弱地盤の物理特性

表1、図3に、人工軟弱地盤の物理特性および粒度組成を示す。人工軟弱地盤の材料は、埋立材料に用いたトンネル建設現場から発生した建設発生土の細粒分を海岸埋立時に採取し、海水を混ぜながらスケルトンバケットで礫を取り除いたものである。この地盤は、塑性指数が11.3、粘土分が10%以上、また、細粒分が30%程度含まれており、細粒分質砂質礫に分類される、礫分と砂分を主体とする極めて粒径範囲の広い土質である。また、人工軟弱地盤は、湿潤密度 $\rho=2.2t/m^3$ 、含水比 $w=15\%$ であり、SWS試験より推定した N 値はほとんどの範囲で0~3の範囲にあり、その平均は2程度である。

表1 人工軟弱地盤の物理特性

工学的分類			細粒分質砂質礫	
土粒子密度	ρ_s	g/cm ³	2.693	
粒径9.5mm以下含水比	$w_{9.5}$	%	21.6	
粒度組成	最大粒径	D_{max}	mm	37.5
	礫分含有率	P_G	%	41
	砂分含有率	P_S	%	28
	シルト分含有率	P_M	%	18
	細粒分含有率	P_f	%	31
	粘土分含有率	P_c	%	13
	60%粒径	D_{60}	mm	2.3
	50%粒径	D_{50}	mm	0.69
	30%粒径	D_{30}	mm	0.063
10%粒径	D_{10}	mm	0.0026	
均等係数	U_c		900	
曲率係数	U_c'		0.6	
液塑性限界	液性限界	w_L	%	31.7
	塑性限界	w_p	%	20.4
	塑性指数	I_p		11.3
強熱減量	強熱減量	L_1	%	4.5
	強熱時間	h	h	1

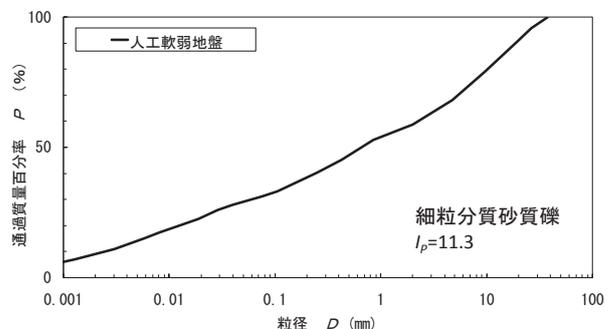


図3 人工軟弱地盤の粒度組成

2.4 人工軟弱地盤の地盤調査結果

人工軟弱地盤の地盤調査項目は以下の通りである。

- ①ポータブルコーン貫入試験 (JGS 1431-2003)

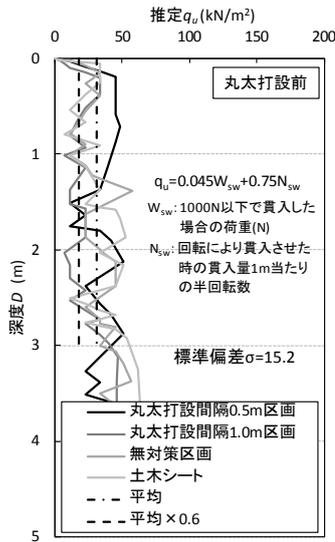


図4 丸太打設前のSWS試験結果

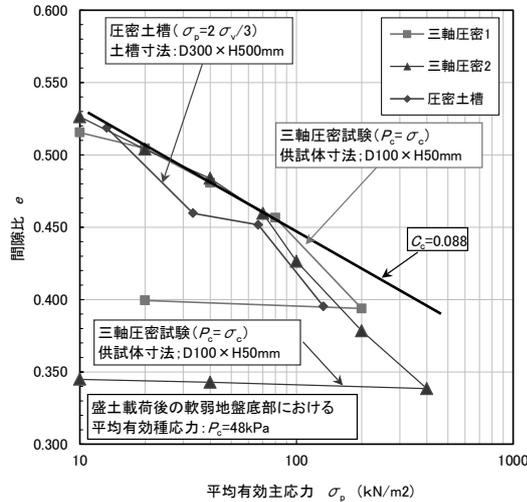


図5 人工軟弱地盤のe-logpの関係

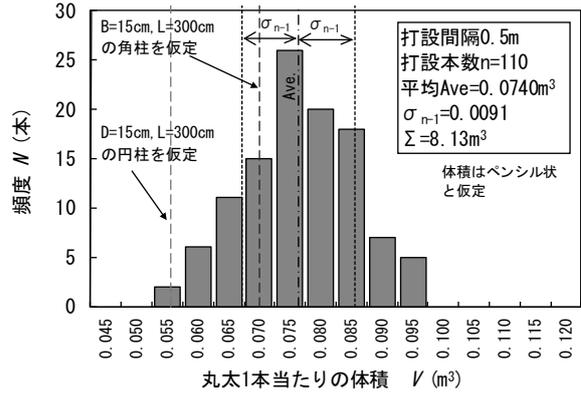
- ②スウェーデン式サウンディング試験(JIS A 1221)
- ③一軸圧縮試験 (JIS A 1216)
- ④圧密非排水(CU)三軸圧縮試験 (JGS 0523-2000)

③と④には、シンウォールチューブ(内径75mm×長さ200mm)で採取した乱さない試料を用いた。CPT試験、シンウォールチューブにより採取した乱さない試料の一軸圧縮試験および三軸圧縮試験については、コーン先端の礫当たり、シンウォールチューブの礫当たりにより適切な結果が得られなかった。そこで、これ以降の実験結果の考察には、SWS試験結果を用いることとする。

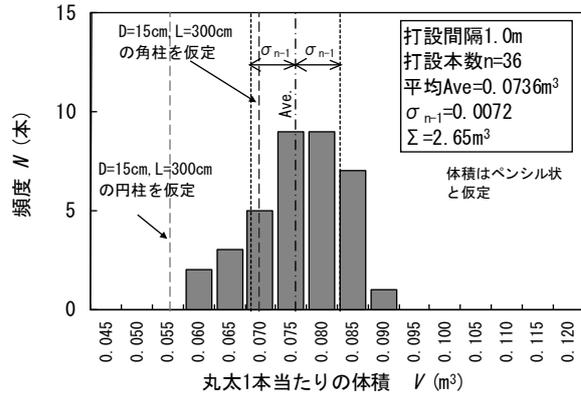
図4に、丸太打設前のSWS試験結果およびSWS試験結果から推定した q_u を示す。図中には、後述の平均値×0.6の値も併記した。深度は人工軟弱地盤表面からの値である。各区画とも値の変動が大きい。これは、スクリーポイントが礫に当たるためである。SWS試験結果から、式(1)を用いて一軸圧縮強さ q_u を推定した(以下、推定 q_u と呼ぶ)⁶⁾。

$$q_u = 0.045W_{sw} + 0.075N_{sw} \quad (1)$$

ここで、 q_u : 一軸圧縮強さ (kN/m²)



(a) 丸太打設間隔0.5m 区画



(b) 丸太打設間隔1.0m 区画

図6 実験に用いた丸太の体積

W_{sw} : 1000N以下で貫入した場合の荷重(N)
 N_{sw} : 回転貫入させた時の貫入量1m当たりの半回転数(回/m)

推定 q_u は、平均的には30kN/m²程度であった。

図5に、人工軟弱地盤のe-logpの関係を示す。これは、乱した試料の粒度組成を9.5mm以下に調整したものによる三軸圧密透水試験⁷⁾(D100×H50mm)および乱した試料による圧密土槽試験(D300×H500mm)の結果より求めた。圧密土槽試験では、静止土圧係数 K_0 を0.5として平均有効主応力を求めた。これらの試験結果を近似する直線を引き、その傾きより地盤の圧縮指数を $C_c=0.088$ と推定した。

また、三軸圧密透水試験結果より、粒度調整した乱した試料の透水係数は $2.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ ($2.0 \times 10^{-8} \text{cm/s}$)程度であり、実際の人工軟弱地盤でも透水性が低いものと考えられる。さらに、人工軟弱地盤の土質は砂礫を含むものの、粘土分や組成指数も小さく粘性的な挙動を示すと考えられたことから、推定 q_u の平均値から人工軟弱地盤の粘着力 c_u を15kN/m²と考えた。

2.5 実験に使用した丸太

実験に使用した丸太は、末口直径0.15m、長さ3mで発注したものである。樹種はスギで、皮を剥いた状態のも

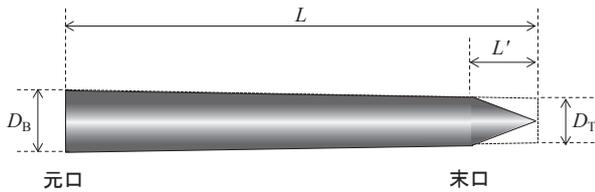


図7 丸太の形状および各部の長さ



写真1 排水機能付き丸太

のを使用した。図6に、打設した丸太1本当当たりの体積のヒストグラムを、丸太打設間隔が0.5mと1.0mのそれぞれの区画ごとに示す。体積は、図7に示すように丸太の先端をペンシル状に尖らせた時の体積減少分を考慮して式(2)より求めた。

$$V = \frac{\pi L}{12} (D_B^2 + D_B D_T + D_T^2) - 0.6187 L' D_T^2 \quad (2)$$

ここで、 V ：先端形状を考慮した丸太の体積(m³)

L ：杭長(m)

L' ：杭先端部長さ(m)

D_B ：元口直径(=元口周長/ π)(m)

D_T ：末口直径(=末口周長/ π)(m)

図6には、末口直径0.15m、長さ3mの円柱を仮定した場合の体積と、底面の1辺が0.15m、長さ3mの角柱を仮定した場合の体積(末口二乗法)も併記した。ここで、末口二乗法とは、丸太の体積を概算する際に林業で用いられる方法であり、丸太の末口直径を二乗したものに丸太の長さを掛けて体積を求めるもので、実際の体積と概ね一致することが知られている。丸太打設間隔が0.5mおよび1.0mいずれの区画でも、実際の体積の平均値は、円柱を仮定した場合の1.4倍、角柱を仮定した場合の1.1倍となった。これは、実際の丸太はテーパーが付いているため末口と元口で直径が異なり、元口の方が大きいことから、末口直径を基にして計算された体積よりも大きくなるためである。

本実験では、排水機能を持った丸太も用いた。この丸太は、丸太周面に幅10mm、深さ10~20mmの溝を軸方向に8本掘り、その溝に排水材をはめ込んだものである(写真1参照)。通常の丸太および排水丸太を用いて、軸方向

表2 周面摩擦力に対する安全率 n_f

杭形式	設計基準	常時
周面摩擦杭	道路橋 文献8)	4
	鉄道 文献9)	3.33
	建築 文献10)	3
	港湾 文献11)	2.5
	パイルネット 文献12)	2
	佐賀県 文献13)	1.5

の見かけの透水係数を求めた。通常の丸太は、厚さ50mmに輪切りにした丸太をさらに中心角約90度で扇型に切り出した供試体を、難透水性材料でも試験可能な三軸圧密透水試験装置⁷⁾に丸太の軸方向に水が流れるように設置し透水係数を求めた。三軸圧密透水試験装置を用いたのは、丸太の透水性が低いと推定されたためである。排水丸太は、厚さ約200mmで輪切りにした供試体を直径300mm、高さ350mmのモールドに丸太の軸方向に透水するように設置し、丸太周面とモールド壁面の隙間を粘性土で埋め、変水位透水試験により透水係数を測定した。この結果、通常丸太の透水係数は $6.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ ($6.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$)であるのに対し、排水機能を付加した丸太の透水係数は、 $4.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ($4.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$)相当であった。したがって、この丸太は通常の約700倍通水性がある。

3. 丸太打設による軟弱地盤対策の施工条件設定

3.1 丸太打設間隔の設定

既往の設計基準に示される許容鉛直支持力は、いずれも式(3)として求められる⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。

$$R_a = \frac{1}{n_p} R_p + \frac{1}{n_f} R_f \quad (3)$$

ここで、 R_a ：杭1本当当たりの許容鉛直支持力(kN)

R_p ：単杭の先端支持力(kN)

R_f ：単杭の周面摩擦力(kN)

n_p ：先端支持力に対する安全率

n_f ：周面摩擦力に対する安全率

本実験では、丸太を摩擦杭として考えており、先端支持力を考慮しないこととした。また、盛土荷重に対する丸太の支持力の安全率は、丸太の周面摩擦力を丸太1本当たりに作用する盛土荷重で除したものである。

表2に、各設計基準の周面摩擦力 R_f に対する安全率 n_f を示す。道路橋示方書・同解説⁸⁾、鉄道構造物等設計標準・同解説⁹⁾、建築基礎構造設計指針¹⁰⁾では、いずれも安全率を3以上としている。それに対し、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹¹⁾、杭網(パイルネット)工法設計・施工の手引き¹²⁾、プレキャストL型擁壁($H \leq 2\text{m}$)の木杭-底盤系基礎(佐賀県)~設計マニュアル¹³⁾では、それぞれ安全率が2.5, 2, 1.5である。ここで、文献11)では性能設計への移行にともない部分係数が使用されていたため、その逆数を安全率とした。文献13)は、丸太のテーパー効

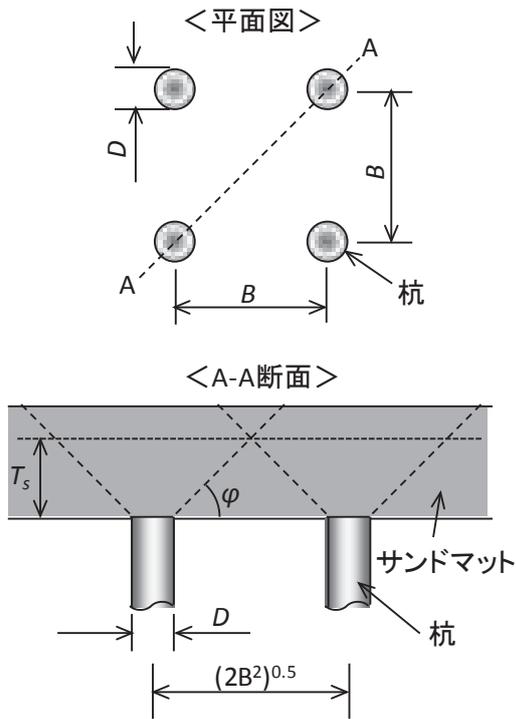


図8 サンドマットの必要厚さ

果や木材と原地盤間の摩擦力，木材の吸水効果による原地盤内の水分の排水効果などを加味し，さらに構造物底盤が負担する鉛直支持力を考慮した結果，安全率が小さくなっている。

丸太の周面摩擦力は，対象地盤が均質な粘性土地盤である場合，式(4)により求められる⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。

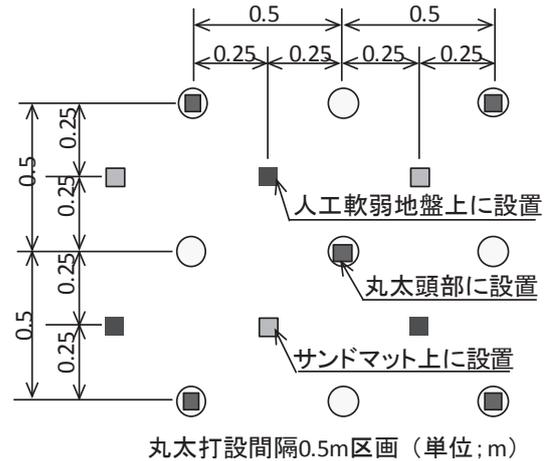
$$R_f = ULc_u \quad (4)$$

ここで， U ：丸太先端（末口）における周長(m)
 L ：地盤内に打設される部分の丸太の長さ(m)
 c_u ：地盤の粘着力（粘性土の場合）(kN/m²)

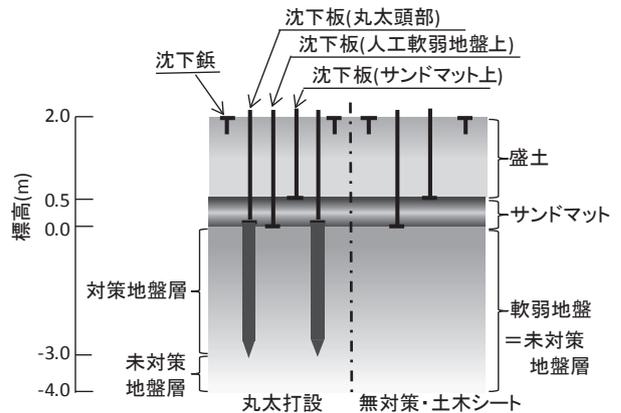
人工軟弱地盤は，細粒分質砂質礫に分類されるが，粘土分が10%以上含まれており，また，組成指数も10以上であることから式(4)を適用した．SWS試験より推定した人工軟弱地盤の粘着力は $c_u=15$ kN/m²であることから，丸太1本当たりの周面摩擦力は21kNとなる。また，全上載荷重は，サンドマットおよび盛土の湿潤密度がそれぞれ $\rho=1.6t/m^3$ ， $2.0t/m^3$ であることから，37 kN/m²となる。これより，丸太1本当たりに作用する荷重は，丸太打設間隔が0.5mの区画で9.4kN/本，1.0mの区画で37kN/本となる。したがって，SWS試験データに基づく粘着力を用いて求められる安全率は，丸太打設間隔が0.5mの区画では2.3，1.0mの区画では0.6となる。

3.2 サンドマット厚さの設定

サンドマットの最低厚さは，式(5)より，最も厳しい条件として丸太を先端支持杭と仮定し，図8に示すように，正方形配置した対角線に対しそのサンドマットの主働崩壊面がサンドマット表面までおよばないような厚さとなるように設定した¹⁴⁾。



(a) 沈下板配置平面図



(b) 沈下板および沈下鉄配置側面図

図9 沈下板および沈下鉄配置図

$$T_s = \frac{(2B^2)^{0.5} - D}{2} \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)_f \quad (5)$$

ここで， T_s ：サンドマットの最低厚さ(m)

B ：丸太打設間隔(m)

D ：丸太直径(m)

ϕ ：サンドマットの内部摩擦角(deg)

本実験では，サンドマットの内部摩擦角を $\phi=35$ deg，丸太直径0.15mとすると，必要なサンドマット厚さは丸太打設間隔0.5mで0.15m，丸太打設間隔1.0mで0.33mであることから，道路土工軟弱地盤対策工指針¹⁵⁾に示されるサンドマットの最低厚さ0.5mと設定した。

4. 盛土荷重に対する沈下の検討

4.1 沈下の計測

図9に，沈下板および沈下鉄の配置図を示す。沈下鉄は，盛土造成後(丸太打設から8日後)に，盛土天端表面に長さ約0.15mのステンレス製の鉄を1m間隔(一部約2m間隔)で打ち込んだ。沈下板は，各区画のほぼ中心付近の丸太頭部(丸太打設区画のみ)，人工軟弱地盤上，サンドマット上に設置した。ここで，丸太頭部の沈下板は，丸太先

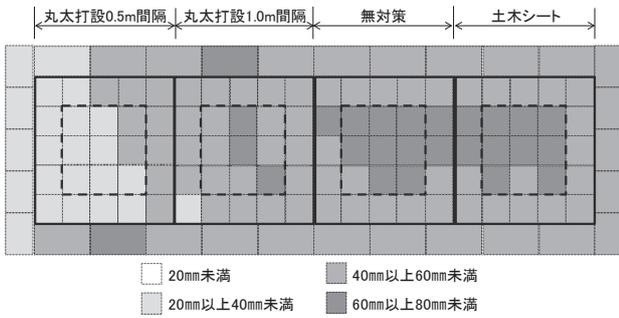


図 10 丸太打設完了より 397 日後の盛土表面における沈下量

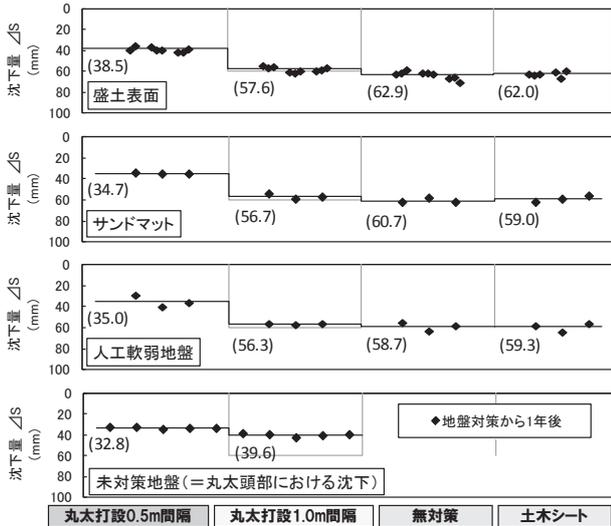


図 11 397 日後の沈下板および沈下鉤の計測結果

端部深度以深における沈下計測を目的にしている。本計測に用いた沈下板は、ステンレス製の板(0.1m×0.1m×0.005m)にステンレス製の棒(直径 0.01m、長さ 1.7m と 2.2m)を溶接したものである。盛土層およびサンドマット層との摩擦を避けるために、ステンレス棒部分は、内径約 0.05m の塩ビ管に通し外部と縁切りした。人工軟弱地盤上に設置した沈下板は、サンドマット施工後に、設置位置のサンドマットを一部剥ぎ取り設置し、設置完了後再度サンドマットを埋め戻し転圧した。

図 9 に示すように、ここでは無対策および土木シートの区画では人工軟弱地盤の GL0m~4m までの全深度が未対策地盤層とし、丸太を打設した区画では丸太打設以深の GL-3m~-4m を未対策地盤層、丸太を打設した GL0m~-3m までは対策地盤層と呼ぶ。

沈下鉤および沈下板の初期値計測は、丸太打設完了から 8 日後に実施した。そのため、本沈下計測結果には、サンドマット施工から丸太打設完了までの 8 日間および丸太打設完了から盛土施工および地盤調査、計測機器設置の 7 日間、計 15 日間の沈下量は含まれていない。その後、沈下計測は、丸太打設完了から 29, 64, 125, 216, 307, 397 日後の計 6 回実施した。計測は、水準測量により行った。

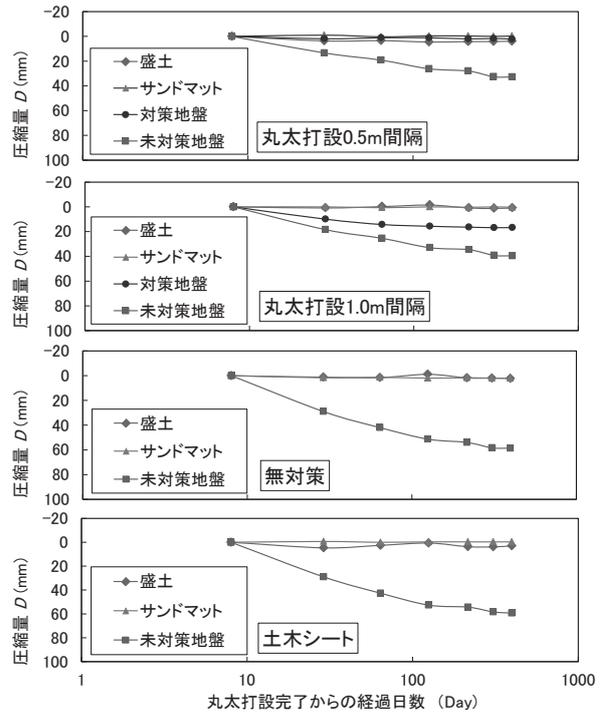


図 12 各層の圧縮量の経時変化

4.2 沈下計測結果

図 10 に、丸太打設完了から 397 日後の盛土表面における格子ごとの沈下量を示す。各格子の沈下量は、その中心位置に設置した沈下鉤の沈下量を示したものである。これより、各区画の中心付近に比べ周辺部では沈下量が小さくなっていることが多く分かっていく。これは、周辺部分はトレンチの法面部分であるため軟弱地盤層厚が薄いためと考えられる。したがって、盛土表面における沈下計測結果は、上記の影響を少なくするために各区画の中心 3m×3m の範囲を用いた。

図 11 に、丸太打設完了より 397 日後の沈下板および沈下鉤の計測結果を示す。なお、周辺地盤は良質な砂礫で埋立てられており、沈下が微小であると考えられるため、未対策地盤より下では沈下は生じないものとした。丸太打設間隔が 0.5m の区画では、盛土表面の沈下量は 38.5mm で、サンドマット上と軟弱地盤上、未対策地盤層上部と差は少なく、したがって、沈下のほとんどは未対策地盤層で発生したものと考えられる。丸太打設間隔が 1.0m の区画では、盛土表面における平均沈下は約 57.6mm であった。その沈下量は、サンドマット上、軟弱地盤上とほぼ同じであるが、未対策地盤層上部では軟弱地盤層上部と 16.7mm の差があり、未対策地盤層でも 39.6mm の沈下が発生している。無対策と土木シートの区画の盛土表面沈下量は、平均値でそれぞれ 62.9mm と 62.0mm である。これは、丸太打設が 1.0m の区画と比較して 5mm 程度大きいのみでほぼ等しい。

図 12 に、各層の圧縮量の経時変化を示す。沈下計測開始から 397 日が経過し、各区画とも圧密が進んでいるが、沈下はまだ完全には終了していない。丸太打設間隔が

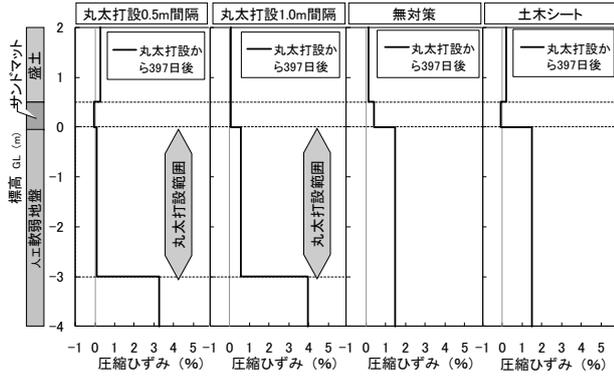


図 13 各層の圧縮ひずみ

表 3 人工軟弱地盤層の沈下量と未対策地盤層における圧縮量の比較

区画	丸太 0.5	丸太 1.0	無対策	土木シート
人工軟弱地盤層の沈下量	35.0	56.3	58.7	59.3
未対策地盤層の推定圧縮量	15.5	15.5	78.2	78.2

1.0m の区画以外では対策地盤，サンドマットおよび盛土での圧縮がほぼ 0 であり，盛土表面の沈下は未対策地盤で生じていることが分かる。一方，丸太打設間隔が 1.0m の区画では，前述したように 397 日経過後に対策地盤層で 16.7mm，未対策地盤層で 39.6mm 圧縮している。

4.3 各層の圧縮ひずみ

図13に，各沈下量の差分を圧縮量とし，これより求めた各層の圧縮ひずみを示す。圧縮ひずみは式(6)により求めた。

$$\epsilon_c = \frac{\Delta S}{S} \times 100 \quad (6)$$

ここで， ϵ_c ：圧縮ひずみ(%)

ΔS ：各層の圧縮量(mm)

S ：各層の初期層厚(mm)

各区画とも盛土層およびサンドマット層ではほとんどひずみが発生していない。丸太打設間隔が 0.5m の区画では，未対策地盤層でひずみが約 3.3%発生しているものの，対策地盤層におけるひずみの発生はほぼ 0 である。また，丸太打設間隔が 1.0m の区画では，対策地盤層でも 0.6%程度のひずみが発生しており，未対策地盤層では約4%発生している。この区画に対策地盤層におけるひずみが発生しているのは，丸太打設間隔が広く，丸太およびサンドマットのみでは盛土荷重を支えられず，丸太間地盤も圧縮されたものと考えられる。無対策および土木シートの区画における未対策地盤のひずみは，いずれも約 1.5%である。

4.4 丸太打設地盤における沈下の考察

表 3 に，沈下計測結果から求めた軟弱地盤層における沈下量と，沈下が未対策地盤層のみで生じると仮定した場合の未対策地盤層厚と圧縮指数 $C_c=0.088$ から求めた推定圧縮量の比較を示す。沈下量は一次元圧密として計算した。ここで，荷重増分は 37kN/m^2 ，各区画の未対策地

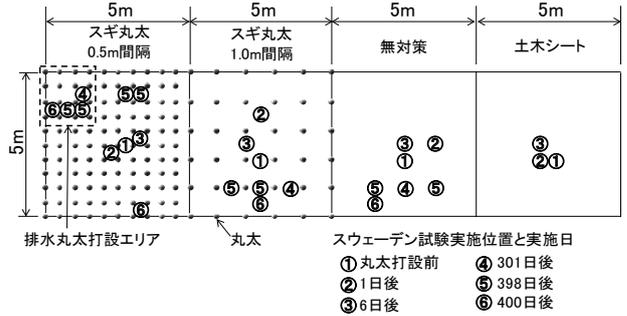


図 14 SWS 試験実施位置と実施日

盤層厚を丸太打設区画で丸太下部の 1.0m，それ以外の区画で 4m とし，各区画の未改良地盤層中央における初期平均有効主応力と荷重増分を加えた平均有効主応力から圧縮量を求めた。ここで，静止土圧係数 K_0 は 0.5 とした。圧縮量は，無対策，土木シート区画では計測値とほぼ一致しているが，丸太打設区画では両区画とも推定圧縮量が計測値よりも大幅に小さくなっている。これは，対策地盤層であっても丸太間地盤において圧縮が生じているためと考えられる。

そこで，対策地盤層厚をいくつに見なせば推定圧縮量と適合するかも求めるために，丸太打設区画において推定圧縮量が計測値と等しくなるように圧縮地盤層厚を逆算した。その結果，圧縮地盤層厚は，丸太打設間隔が 0.5m の区画では 2.3m，1.0m の区画では 3.2m に相当すると推測される。これより，丸太の未対策地盤層への食い込み量は，丸太打設間隔が 0.5m の区画では約 20mm，1.0m の区画では 39mm と推測される。以上より，丸太打設による地盤対策層厚のうち，0.5m の区画で杭長 $L=3.0\text{m}$ の約 43%にあたる 1.3m，1.0m の区画で杭長の約 73%にあたる 2.2m が，実際には圧縮層になっており，圧縮した分は丸太が未対策地盤にくい込んだ可能性が高いことが考えられる。

5. 丸太を打設した地盤の強度変化

5.1 丸太打設地盤の調査

図 14 に，SWS 試験を実施した位置を実施日ごとに示す。図中の試験実施日は，沈下計測と同様に丸太打設完了からの経過日数である。実施位置に統一性が無いのは，丸太打設位置や沈下板設置位置を避け，かつ試験位置が重ならないようにしたためである。なお，「②1日後」は，盛土前に試験を実施し，それ以降は盛土後に実施した。

5.2 丸太打設地盤の強度およびその変化

図 15 に，実験開始より 301 日後および 398 日後(以降，両者とも 1 年後とする)の SWS 試験結果より推定した一軸圧縮強さ q_u を示す。ただし，398 日後は各区画とも 2 ヶ所で SWS 試験を実施しているが，丸太打設間隔が 1.0m および無対策の区画ではスクリーポイントが礫にあたり計測できなかった場所があるため，各 1 ヶ所の結果を載せ

ている。図中の1点鎖線は、GL0~3mの推定 q_u の平均値を示した。

図16に、GL0~3mにおける推定一軸圧縮強さ q_u の平均値を区画ごとに示す。図中の破線は、丸太打設前の値であり、一点鎖線は支持力計算に用いた 30 kN/m^2 である。どの区画も、丸太打設完了から1日後および6日後の値は丸太打設前の値とほぼ等しく、丸太を打設しただけでは今回対象としたような地盤では丸太間地盤の強度増加は認められない。しかしながら、地盤対策完了から1年経過後は、無対策を含む全ての区画で地盤の強度増加が認められ、特に丸太打設間隔が 0.5m の区画と排水丸太を打設した区画で増加量が大きかった。

そこで、経過日数に対する丸太間地盤の強度増加を求めるために、丸太打設前の初期地盤の推定一軸圧縮強さを 30 kN/m^2 と仮定し、それぞれ i 日後の推定一軸圧縮強さ q_{ui} の増加率($=q_{ui}/30$)を求めた。図17にその経時変化を示す。図中の曲線は、各区画の q_{ui} の増加率を想定したものである。丸太打設後1週間程度では、地盤の強度増加はほとんど認められないが、1年経過後は、無対策の区画で約1.4倍、丸太打設間隔が 1.0m の区画で約1.7倍、丸太打設間隔が 0.5m の区画で約2倍、排水機能付きの区画で2倍以上の強度増加が認められる。ここで、無対策の区画および丸太打設間隔が 1.0m の区画における地盤の強度増加は、鉛直方向の圧密を主にするものと考えられる。これは、既に示したように、丸太打設間隔が 1.0m の場合は一次元圧密試験結果に基づいて推定した圧縮量(78.2mm)と計測結果(56.3mm)がほぼ等しい値であること、また、丸太1本の平均断面積を丸太1本が受け持つ面積で除した値を改良率とすると、丸太打設間隔 0.5m の区画では 10.4% であるのに対し、 1.0m の区画では 2.6% と小さく、丸太打設による水平方向への圧縮が小さかったためと考えられる。一方、丸太打設間隔が 0.5m の区画では、密に丸太を打設したことにより地盤が水平方向にも圧縮され、これによっても地盤強度の増加があったと考えられる。なお、丸太打設による地盤の盛り上がりは計測しておらず詳細は不明だが、少なくとも目立った盛り上がりはなかった。また、丸太打設当初は過剰間隙水圧が上昇しているため、丸太打設から1週間程度では他の区画と地盤強度に差が生じていなかったものと考えられる。さらに、1週間後から1年後にかけて排水丸太の区画で通常丸太の区画よりも早く強度増加が生じたと推定される。これは、この間の両者の差は確認できていないが、1年後の平均推定 q_u は排水丸太の方が約 2 kN/m^2 大きく、また前述の様に排水丸太の方が通常丸太に比べ約700倍透水性が大きいことから、排水丸太区画の方が過剰間隙水圧の消散が早く、丸太間地盤の一軸圧縮強さの増加も早かったと考えたためである。

以上より、今回の実験で対象となった細粒分質砂質礫の軟弱地盤に丸太を打設した場合、丸太間地盤の強度は、丸太打設直後には増加が認められないが、時間の経過とともに鉛直方向の圧密による強度増加、さらに丸太打設

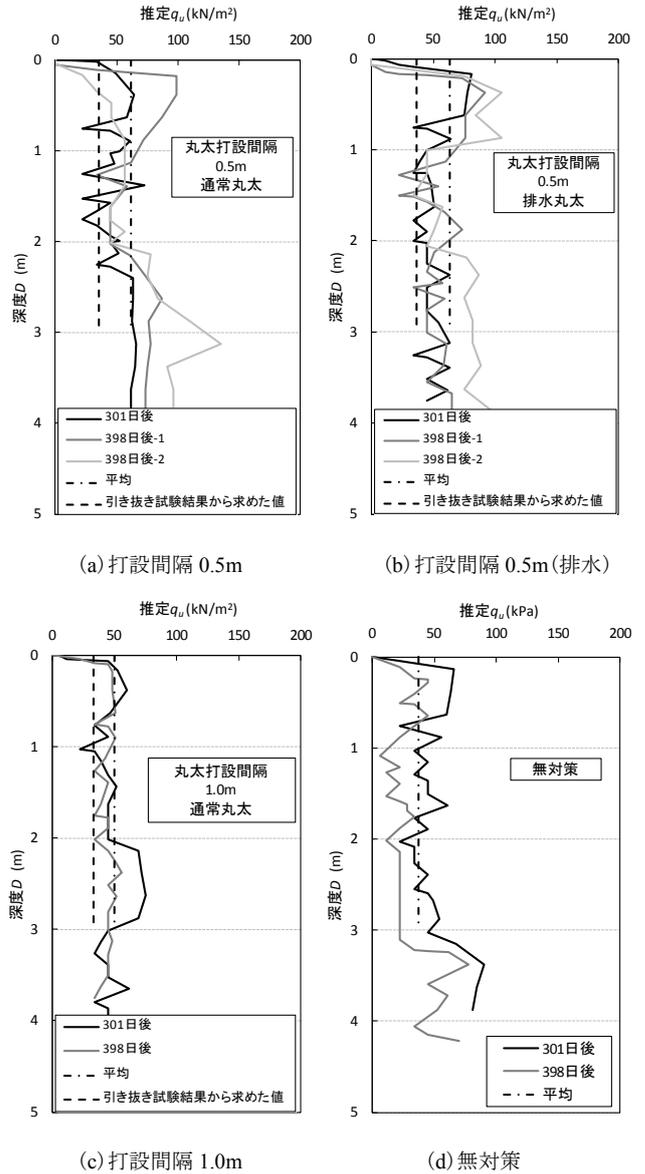


図15 SWS試験結果より推定した一軸圧縮強さ(1年後)

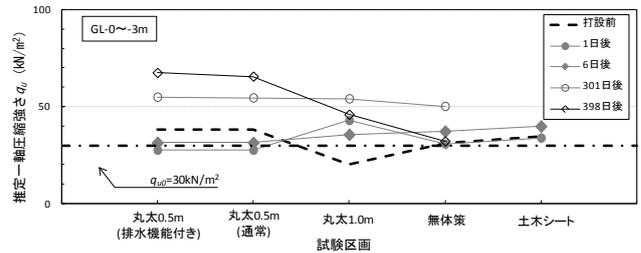


図16 各区画の地盤の推定一軸圧縮強さ

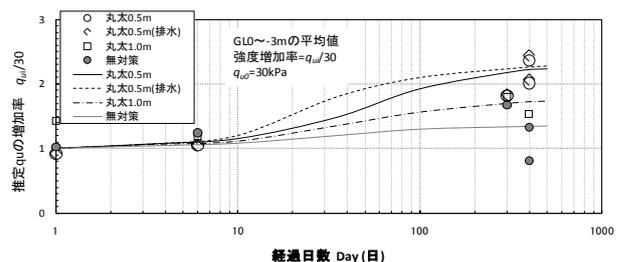


図17 丸太打設完了からの地盤の推定一軸圧縮強さの経時変化

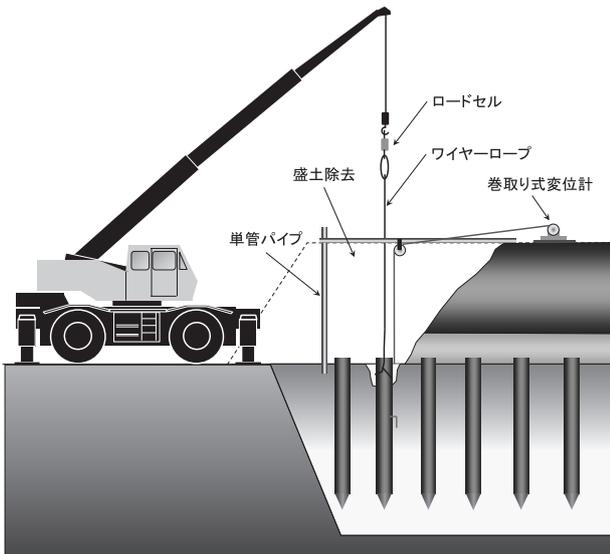


図 18 丸太引き抜き試験概念図

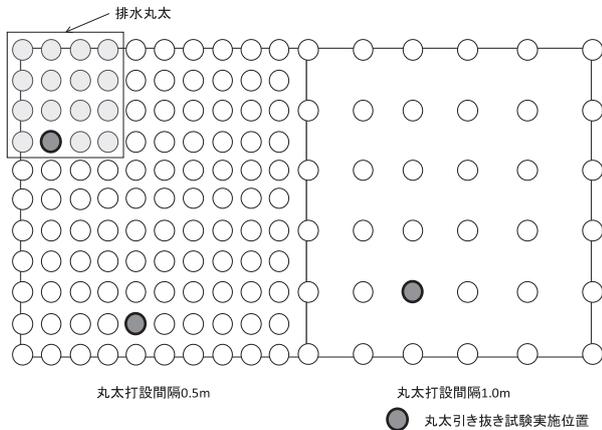


図 19 丸太引き抜き試験位置

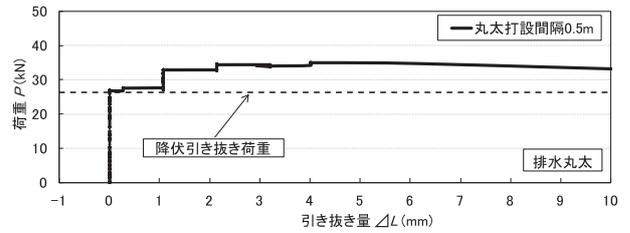
間隔が短い場合には水平方向の圧縮による強度増加も加わり、1年後には1.5倍から2倍程度の強度増加があることが分かった。

6. 丸太の周面摩擦力の検討

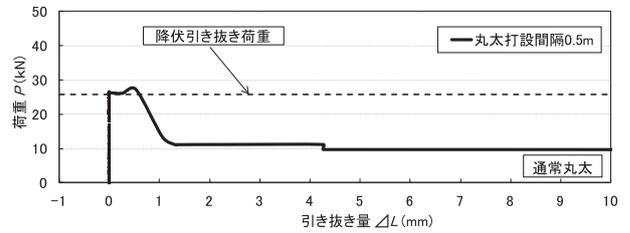
6.1 周面摩擦力の調査方法

打設した丸太の周面摩擦力を求めるため、丸太打設から401日後(以降、1年後とする)に丸太の引き抜き試験を行った。図18に、丸太引き抜き試験の概念図を示す。軟弱地盤表面から深さ30cm程度地盤を掘り下げ、丸太頭部にワイヤロープを巻き付けた後、丸太をクレーンで鉛直方向に引き抜いた。引き抜き試験は、荷重を1kN増加させ1分間保持するという作業を繰返す段階載荷で実施した。引き抜き荷重は、クレーンのフックに取り付けた最大荷重100kNのロードセルで計測した。また、引き抜き時の丸太の引き抜き量は、丸太頭部に取り付けられた巻取り式変位計で計測した。

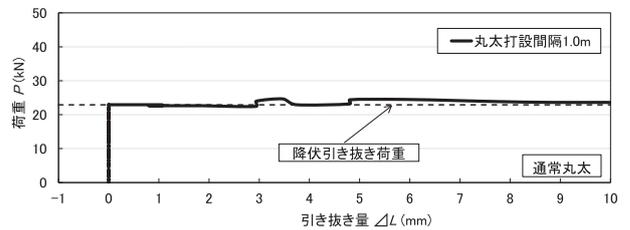
図19に、丸太の引き抜き試験位置を示す。丸太の引き抜き試験は、排水丸太の区画で1本、丸太打設間隔が0.5mおよび1.0mの区画でそれぞれ1本ずつ合計3本実施



(a) 打設間隔 0.5m (排水)



(b) 打設間隔 0.5m (通常)



(c) 打設間隔 1.0m

図 20 引き抜き荷重と変位の関係

表 4 引き抜き試験結果

	丸太 No.	周面積 A m^2	降伏引き抜き荷重 P $kN/本$	引き抜きに対する摩擦応力 P_u kN/m^2
排水丸太	43	1.355	26.2	18.1
丸太 0.5m	54	1.195	25.8	17.9
丸太 1.0m	152	1.144	22.3	16.7

した。

6.2 打設から1年が経過した丸太の周面摩擦力

図20に、引き抜き荷重と引き抜き量の関係を示す。排水機能付き丸太以外は、降伏荷重となるときにほぼ最大引き抜き荷重となった。ここで、降伏荷重は引き抜き荷重 - 引き抜き量の関係が急折する点の荷重である。

表4に、各区画の丸太の引き抜き試験結果を示す。丸太周面の単位面積当たりの引き抜き荷重は、式(7)より求めた。

$$P_u = \frac{P}{\pi R_1 L_1 + \pi \left(\frac{R_2}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{R_2}{2}\right)^2 + L_2^2}} \quad (7)$$

ここで、 P_u ：引き抜きに対する摩擦応力(kN/m²)

P ：降伏引き抜き荷重(kN)

R_1 ：末口および元口の平均直径(m)

R_2 ：末口直径(m)

表5 円柱の丸太形状を仮定したときのSWS試験結果より求めた安全率

区画	周面積 m ²	丸太打設当初の値			1年後		
		推定 q_u (SWS 試験) kN/m ²	周面摩擦応力 P_u (SWS 試験) kN/m ²	安全率 F	推定 q_u (SWS 試験) kN/m ²	周面摩擦応力 P_u (引き抜き試験) kN/m ²	安全率 F
		排水丸太	1.4	18	9.0	1.4	38
丸太 0.5m	1.4	18	9.0	1.4	37	18	2.8
丸太 1.0m	1.4	18	9.0	0.3	30	17	0.6

※丸太打設当初の推定 q_u は、設定時の推定 $q_u=30\text{kN/m}^2$ を 0.6 倍したものである。

表6 実際の丸太寸法を仮定してSWS試験結果より求めた安全率

区画	周面積 m ²	丸太打設当初の値			1年後		
		推定 q_u (SWS 試験) kN/m ²	周面摩擦応力 P_u (SWS 試験) kN/m ²	安全率 F	推定 q_u (SWS 試験) kN/m ²	周面摩擦応力 P_u (引き抜き試験) kN/m ²	安全率 F
		排水丸太	1.7	18	9.0	1.7	38
丸太 0.5m	1.7	18	9.0	1.7	37	18	3.4
丸太 1.0m	1.6	18	9.0	0.4	30	17	0.6

※丸太打設当初の推定 q_u は、設定時の推定 $q_u=30\text{kN/m}^2$ を 0.6 倍したものである。

L_1 : 頭部掘削深度およびペンシル部分を除いた丸太長(m)

L_2 : 杭先端のペンシル部分の長さ(m)

式(7)では、先端のペンシル部分やテーパの面積を考慮した。これより求まる値 P_u を引き抜きに対する摩擦応力とした。摩擦応力は、丸太打設間隔が 0.5m の区画の排水丸太と通常の丸太ではほとんど差が認められず、丸太打設間隔が 1.0m の区画はそれよりやや小さな値となった。

7. 荷重に対する丸太の支持力の安全率

丸太打設当初と、実験開始から1年後のSWS試験結果を基に、丸太1本当たりの周面支持力の安全率について検討する。

まず丸太打設から1年後について、周面摩擦応力から一軸圧縮強さ q_u を逆算した。求められた q_u は図15(a)~(c)中に破線で併記した。これより、引き抜き試験から求めた q_u は、SWS試験から推定した q_u の平均値の0.55~0.65倍(約0.6倍)であり、SWS試験結果のばらつきはほぼ下限値に位置することが分かる。しかし、実施工では一般的に引き抜き試験は実施されないため、地盤調査結果を基準として安全率を求める必要がある。そこで、SWS試験結果から求めた1年後の推定 q_u の平均値に0.6を掛けた値をそれぞれの区画の推定 q_u とし、支持力の安全率を算出した。また、地盤対策初期の推定 q_u は、地盤対策初期と丸太打設から1年後を同じ基準で比較するために初期の平均値 30kN/m^2 を0.6倍し、その値を用いて支持力の安全率を計算した。ただし、ここで用いた丸太の形状は、円柱状とした。これは、実際に丸太に作用している先端支持力と、ペンシル状としたことで周面積が減少した分の周面摩擦力の減少分が相殺するものと考え、かつ計算を

簡単にするためである。

表5に、上述した方法で求めた丸太を打設した区画の安全率を示す。安全率は、丸太打設当初は丸太打設間隔が0.5mの区画で1.4、1.0mの区画で0.3であったが、実験開始から1年後は、排水丸太の区画で2.9、0.5mの区画で2.8、1.0mの区画で0.6まで上昇した。

図6に示した通り、実際に使用した丸太の直径は設計値の末口直径0.15mよりも大きい。そこで、SWS試験結果を用いて実際に打設された丸太の寸法に対する安全率を求めた。表6に、実際の丸太寸法の平均値に対する安全率を示す。この丸太の寸法は、丸太のテーパによる末口直径と元口直径の違いも考慮している。安全率は、丸太打設当初は丸太打設間隔が0.5mの区画で1.7、1.0mの区画で0.4であったが、実験開始から1年後は、排水丸太の区画で3.5、0.5mの区画で3.4、1.0mの区画で0.6まで上昇した。したがって、表5、表6の比較より、実際の丸太の寸法における安全率は、設定時の寸法(D=0.15m、長さL=3.0m)の値よりも約1.2倍大きくなっている。また、丸太打設間隔が1.0mの区画では、丸太よりも軟弱地盤が荷重を負担していると考えられる。

以上より、丸太打設を実施してから1年が経過し、1年後の安全率は当初の2倍程度まで上昇すること、また、丸太を円柱と仮定したものと比べて実際に打設した丸太は径が大きく、安全率も設計値よりも実際の値の方が約1.2倍大きくなることが明らかとなった。

8. 結論

本実験により、以下が明らかとなった。

- 1)安全率が1を下回る丸太間隔が1.0mの区画では沈下量が無対策区画と同等であったが、安全率が1を上回る丸太間隔が0.5mの区画では沈下量が小さく、丸太打設間

隔が小さい場合は沈下抑制効果がある。

- 2) 軟弱地盤の圧縮指数から沈下量を推定すると、対策地盤層のうち丸太打設間隔が 0.5m の区画で杭長の約 4 割相当、1.0m の区画で杭長の約 7 割相当が未対策地盤層と同様に沈下層となっている可能性が高い。
- 3) 人工軟弱地盤の推定一軸圧縮強さは、丸太打設前の値と比べ、丸太打設から 1 週間程度ではどの区画も差がないが、1 年後は無対策の区画で 1.4 倍、丸太打設間隔が 1.0m の区画で 1.7 倍、丸太打設間隔が 0.5m の区画で 2 倍となった。これより、推定一軸圧縮強さは時間経過により増加するとともに、丸太打設による水平方向への圧縮によってより一層増加すると考えられる。
- 4) 丸太周面支持力の安全率は、丸太間地盤の強度が増加することから、丸太打設当初に比べ 1 年後には 2 倍程度まで増加する。
- 5) 丸太の周面支持力は、実際の丸太の周面積を考慮した場合には設計時の末口直径を用いた円柱状の丸太を仮定した場合の約 1.2 倍大きくなり、設計にはこれを考慮すべきである。

謝辞

本実験を行うに当たり、福井県敦賀港湾事務所の林泰正主査、福井県総合グリーンセンターの野村崇主事、名田庄森林組合の本所稔基課長、早稲田大学の濱田政則教授、(株)地域環境研究所の中村裕昭代表取締役はじめ多くの方々にお世話になった。ここに記して、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 沼田淳紀，上杉章雄：地球温暖化対策のための木材利用の可能性について，第 14 回地球環境シンポジウム，土木学会，pp.97-102，2006.8
- 2) 沼田淳紀，外崎真理雄，濱田政則，久保光，吉田雅徳，野村崇，

- 本山寛：丸太打設地盤改良による地球温暖化対策の可能性，第 8 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.399-404，2009.7
- 3) 増田貴之，水谷洋介：松杭の支持力特性（その 2），第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集，地盤工学会，pp.1401-1402，2006.7.
- 4) 三浦哲彦，呉文徑，中村六史，一瀬智郎：軟弱粘土中の周面支持機構に関する実験的考察，土木学会論文集 No.517/III-31，pp.67-72，1995.
- 5) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，第 6 編，第 5 章ポータブルコーン貫入試験，丸善，pp.290-295，2004.
- 6) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，第 6 編，第 4 章スウェーデン式サウンディング試験，丸善，pp.280-289，2004.
- 7) 筒井雅行，沼田淳紀，松崎達也，染谷昇：三軸圧密透水試験装置，第 40 回地盤工学研究発表会発表講演集，地盤工学会，pp.2521-2522，2005.7.
- 8) 日本道路協会：12 章 杭基礎の設計，道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編，pp.348-433，2002.
- 9) 鉄道総合技術研究所：10 章 杭基礎，鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，pp.201-264，丸善出版，2000.
- 10) 日本建築学会：第 6 章 杭基礎，建築基礎構造設計指針，pp.173-326，2007.
- 11) 日本港湾協会：2.4 杭基礎，港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻)，pp.584-648，2007.
- 12) 鉄道総合技術研究所：設計，杭網(パイルネット)工法設計・施工の手引き，pp.6-18，2000.
- 13) 佐賀県県土づくり本部，(社)佐賀県県土づくりコンサルタント協会，(財)佐賀県土木建築技術協会，佐賀大学低平地研究センター：2. 木杭-底盤系基礎の選定と支持機構，プレキャスト L 型擁壁 (H≤2m) の木杭-底盤系基礎 (佐賀県)～設計マニュアル第 1 版～，pp.8-11，2006.
- 14) ジオテキスタイル補強土工法普及委員会：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル，第 5 章ジオテキスタイルを用いた軟弱地盤対策工法，pp.250-252，財団法人土木研究センター，2000.
- 15) 日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針，第 5 章対策工の設計と施工，pp.124，1986.

Experiment of soft ground improvement due to log piling of Japanese cedar

Hiroshi MOTOYAMA¹, Atsunori NUMATA¹, Masaho YOSHIDA² and Hikaru KUBO³

1 Tobishima Corporation, Reseach institute of technology

2 Fukui National College of Technology, Department of Civil Engineering

3 Fukui Prefectural Government, Snow Management & Construction Technology Research Center of Fukui

Abstract

Preventing global warming has been one of the anurgent issues require imminent attention. The authors propose the use of wood as a construction material to contribute towards effectively reducing the emission of CO₂. A practical example of the usage is log piles for improving soft ground. Although log piling have been widely adopted in the past, it is rarely found in modern constructions. Due to this reason, the engineering properties of log piles are not well understood. To investigate this, the authors conducted a field experiment using full-scale cedar logs piled into the artificial soft ground. As a result, settlement of the area with small pile interval is approximately half of those with large pile interval as well as the non-improved ground. The foundation strength of all area increased one year later. Especially, the foundation strength of the area with small pile interval experienced the highest increment. Furthermore, the safety factor of skin resistance increased twice as large compared to the initial value.

Key words: global warming, ground improvement, log pile, safety factor, skin resistance

「木材利用シンポジウム in 福井」の概要

久保 光*

1. はじめに

平成22年12月11日(土)、福井県国際交流会館において「木材利用シンポジウム in 福井」が開催された(昨年、佐賀県で初開催されたのに続き2回目)。このシンポジウムは産学官で組織する実行委員会(委員長:吉田雅穂 福井工業高等専門学校 准教授)主催、土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会(日本森林学会、日本木材学会、土木学会(木材工学特別委員会))との共催で行われた(土木学会CPDプログラム4.3ユニット)。また、社団法人近畿建設協会、国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所、福井県、財団法人福井県建設技術公社、福井市、福井県森林組合連合会、福井県木材組合連合会、特定非営利活動法人ドラゴンリバー交流会からご後援をいただいた。

シンポジウムには学校関係、民間関係、行政関係ら194名(定員162名)が参加し、会場は満席となった(写真1)。

福井県 農林水産部県産材活用課の田中昌文課長のあいさつに続き、農林水産省 林野庁林政部木材利用課の香月英伸総括課長補佐が「木材利用促進の施策と公共建築物木材利用促進法」、福井大学大学院工学研究科建築建設工学専攻の石川浩一郎教授が、「木造建築物における修復と環境創造による木材需要の創出」、早稲田大学理工学術院社会環境工学科の濱田政則教授が「土木分野における木材の活用に向けて」をテーマに講演された。引き続きポスターセッションが行われ出展者と参加者との間で熱い議論が交わされた。その後、福井県農林水産部県産材活用課 県産材住宅推進室の岩佐礼三主任が「福井県における木材利用の現状と木材利用促進の取り組み」、福井県森林組合連合会業務部販・購買課の西口賢利課長が「低コスト化に向けた木材の生産・流通体制について」、中西木

材株式会社の中西昭雄代表取締役社長が「地域木造住宅市場活性化に向けて」、福井県総合グリーンセンター林業試験部木材開発研究グループの野村崇研究員が「総合グリーンセンターの木質ペレットボイラ施設の導入効果について」をテーマに発表された(以上、県内者発表)。次に、飛鳥建設株式会社 技術研究所の沼田淳紀主席研究員が「地中における木材の耐久性について」、佐賀大学の三浦哲彦名誉教授が「軟弱粘土地盤における木杭基礎～ローカルルール作りの歩み～」をテーマに発表された(以上、県外者発表)。

以下、シンポジウムの概要について報告する。



写真1 シンポジウム会場の様子

2. 特別講演

2.1 木材利用促進の施策と公共建築物木材利用促進法

農林水産省 香月英伸氏

2010年5月、公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律(以下、公共建築物木材利用促進法)が成立、2010年10月1日に施行された。

本法律は、森林整備の推進等を目的として、木材利用の促進を図るため、公共建築物等における木材利用を促進するものである。

* 福井県雪対策・建設技術研究所

現状では、公共建築物の木造による整備は7.5%ときわめて低調であるが、本法律により、木造による整備率は、24%程度に向上することを期待している。また、成熟した森林資源の有効活用や、地球温暖化防止のための低炭素社会の実現、失業対策の一環としての山村地域での新規雇用の確保などの必要性から、2009年末に策定された「森林・林業再生プラン」では、10年後に自給率を50%以上とする目標が示された。この目標を達成するためには、木材供給コストの削減と、木材需要の創出の両輪の政策が必要である。

2.2 木造建築物における修復と環境創造による木材需要の創出

福井大学 石川浩一郎氏

低炭素社会の実現が求められている。木造建築物における修復と環境創造による木材需要の創出が有効な手法であると考えられる。

本講演では、最古の古材を使用した元興寺の移築、国産材を使用したリフォームやマンション内装等のリサイクル・リフォーム、地震被害と耐震診断、ハイブリッド構造等について述べられた。

元興寺は、日本初の仏教寺院・飛鳥寺（奈良県明日香村）が前身で、平城遷都（710年）に移築された。年輪年代測定法で調査したところ、屋根裏の頭貫に飛鳥時代初期の586年ごろに伐採されたヒノキが建築部材として現役で使われていることがわかった。また、奈良時代、平安時代、鎌倉時代の木材も使われていた。古材による修復・再生が行われており、名建築は補強・補修に優れている。日本の一般的な住まいの平均寿命は25年前後（木造住宅の「法定耐用年数」は24年）と言われている。欧州諸国は、第一次世界大戦以前に建った住宅が20%程度残っているのに対し、日本は戦前に建った住宅の5%しか残っていない。今後は耐震補強やリフォーム等に木材を活用し住宅の長寿命化を促進させたりリサイクルさせることが重要であろう。

2.3 土木分野における木材の活用に向けて

早稲田大学 濱田政則氏

現在、土木事業ではコンクリートや鉄が主な材

料として使用されているが、土木と木材の歴史は、むしろこれらの材料よりもはるかに長い。しかし、近年において土木工事の主要な部材に木材が使用されることはほとんど皆無となった。このような木材利用の減少には、1955年に閣議決定された「木材資源利用合理化方策」の影響が考えられる。しかしながら、木橋や、河川構築物の木製ダム・沈床・水制工などでは量は少ないものの現在でも木材が活用されて来ている。これらに加えて、道路盛土、河川堤防、護岸などの軟弱地盤対策や道路の遮音壁、ガードレール、落石緩衝壁などへの木材利用の可能性は大きく、一部実際の土木工事で用いられて来ている。これらの土木構造物のために要求される木材の品質、規格のグレードは様々であるが、課題に対する対応技術を開発すれば、土木分野での利用は大幅に増大すると考えられる。木材の土木分野での活用を拡大するためには分野横断的・学際的取り組みが必要である。このような背景を受け、「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（委員長：今村祐嗣 京都大学名誉教授）」が発足し、調査・研究が開始されている。さらに、（社）土木学会に木材工学特別委員会が設置され、横断的研究会と連携し研究を行っている。

木杭が液状化・流動化対策に有効であることを1964年新潟地震の文献調査、模型実験結果により考証した。

3. ポスターセッション

ポスター発表は、1時間のコアタイムを設け18件の発表があった。参加者も多く活発な意見交換がなされ会場は熱気に溢れていた（写真2）。発表タイトルと発表者は以下のとおりである。

1. 木橋を通じて考える今後の木材利用の考え方
福岡大学 渡辺 浩氏
2. 最近の佐賀県における木材利用研究会活動報告
株式会社九州構造設計 宮副 一之氏
3. 天然乾燥木杭モデルへの木材保存剤の注入
森林総合研究所 桃原 郁夫氏
4. 海洋環境における保存処理木材の耐久性
(地独)北海道立総合研究機構 森 満範氏
5. 木杭の周面摩擦力と先端抵抗について

- 兼松日産農林㈱ 水谷 羊介氏
6. パイルネット工法 木杭による軟弱地盤の改良
昭和マテリアル株式会社 五十嵐 誠氏
 7. 人工軟弱地盤における丸太打設地盤改良効果
について 飛鳥建設株式会社 本山 寛氏
 8. 木タールを用いた再生アスファルト混合物に
ついて 前田道路株式会社 藤井 弘氏
 9. TKウォール工法(木製緑化補強土壁)の開発、
施工、経年変化調査
前田工織株式会社 神崎 隆洋氏
 10. 鉄芯木製軽量法砕工
前田工織株式会社 保浦 成徳氏
 11. 地球温暖化防止と林業活性化に貢献するスギ
丸太を利用した液状化対策工法の開発に関す
る研究 福井工業高等専門学校 渡邊 雄大氏
 12. 間伐エース工法 小径間伐材を利用した安
全・廉価・高能率な残存型砕工法
れいなん森林組合 本所 稔基氏
 13. 樹皮繊維混合クレイ舗装
坂川建設株式会社 高田 隆夫氏
 14. 木材を利用した泥炭性軟弱地盤対策工法
株式会社田中地質コンサルタント 中沢 和彦氏
 15. カーボンコンクリートに関する研究
岡野コンクリート株式会社 田中 慎悟氏
 16. 水性防炎剤-GP 防炎剤-
株式会社グローケミカル 糀谷 秀樹氏
 17. 木材防腐処理を活用した間伐材の有効活用
美山町森林組合 伊内 是成氏
 18. 「ふくい元気な森・元気な林業戦略」につ
いて
福井県農林水産部県産材活用課 杉山 英生氏



写真2 ポスター発表の様子

4. 一般発表

4.1 福井県における木材利用の現状と木材利 用促進のための取り組み

福井県 岩佐礼三氏

県内の木材生産額は約14億円(全国30位代)と少ないが森林資源は充実してきている。昨年3月に作成した「ふくいの元気な森・元気な林業戦略」である①コミュニティ林業を中心とした川上の丸太安定供給体制の構築、県産材製品の品質向上に向けた生産加工の協業化、③県産材による住宅や施設整備推進の3プロジェクトを着実に実行することで環境に貢献する木材産業界の活性化を図り、元気で安全な福井県の実現に貢献したいと考える。

4.2 低コスト化に向けた木材の生産・流通体 制について

福井県森林組合連合会 西口賢利氏

県内の森林資源は充実してきており、需要においても増加している。しかしながら路網整備及び森林整備が遅れているのも事実であり、森林・林業の担い手である森林組合が森林所有者と一丸となって地域ぐるみ生産活動や計画的な路網の整備、林業・木材産業等関係者の連携を図った中で、生産～流通のコスト削減へ取り組み、適正な森林整備、安定供給体制の確立を目指して行きたいと考える。

4.3 地域木造住宅市場活性化に向けて

中西木材株式会社 中西昭雄氏

地域工務店は地域材を活用した木造建築を普及するための大きな役割を担っており、地域工務店の受注獲得数の向上が地域材を用いた地域木造住宅の活性化に直結するといっても過言ではない。しかしながら、地域工務店のほとんどが中小零細企業であり大手ハウスメーカー等と比較し、企画力、営業力が見劣りする。平成11年、福井県の支援で県内の木造住宅を建設する工務店が集まって福井県木の家共同組合が組織され団結して県民に喜ばれる住まいづくりを目指して活動を続けている。平成22年度に国土交通省の「地域木造住宅市場活性化推進事業」に採択された。その内容は以下のとおりである。(1)木造住宅の担い手育成

事業の開催、(2)携帯電話の機能を活用した住まいの相談サービスの運用試験、(3)地域密着で行う木造住宅の普及イベントの開催

4.4 総合グリーンセンターの木質ペレットボイラ施設の導入効果について

福井県総合グリーンセンター 野村 崇氏

総合グリーンセンターに導入したペレットボイラの運転結果では、これまでの化石燃料ボイラと比べてランニングコストをあまり変化させることなく多くの二酸化炭素排出削減を行うことができた。しかし、灰の処理手間など日常の管理手間が増えることも事実であるので、これらのことも考慮に入れてペレットボイラ導入検討時の参考資料として今回の事例が活用されることを期待する。

4.5 地中における木材の耐久性について

飛鳥建設㈱ 沼田淳紀氏

地中における木材の耐久性について検討する目的で、文献調査、木材掘出し調査、腐朽促進試験を実施し以下のことが明らかとなった。(1)地中の地下水位変動域上限以浅では、木材は腐朽する可能性があるが条件によっては腐朽しない場合がある。(2)地中の地下水位変動域では、木材は腐朽する場合がある。しかしながら、大型土槽を用いた腐朽促進試験では、この領域は一部強度低下が認められるものの、それ以外は腐朽は認められず、地下水位変動域上限以浅よりも腐朽しにくいといえる。(3)地下水位変動域下限以深では、空気が存在しないので木材は腐朽せず、高い耐久性を有する(スギについても同様であり、樹種によらない)。

4.6 軟弱粘土地盤における木杭基礎

～ローカルルール作りの歩み～

佐賀大学名誉教授 三浦哲彦氏

軟弱地盤上に設ける軽量構造物の基礎に木杭を使う技術を対象として先人の考え方を再評価することから始まり、地域技術者が協働して地域版マニュアルを作成した経緯を紹介する。低平地であり地下水位の高い佐賀平野においては、古くから木杭が広く使われていた。先人が木杭基礎を用いる際にどのような考え方をしたのか、佐賀城石垣

(復元)の説明図などを参考に推測した。大学で木杭に関する研究成果を公表したが、木杭を公共工事において普及させるためには技術者が抱えている懸念事項を払拭する必要があると感じられた。2003年に発足した「木材利用研究会」の一つの狙いは、発注者と受注者とが木杭利用について意見を交換し、ローカルルールを纏めて公表し、もって木杭使用に対する技術者の心理的障壁を取り除くことにあったといえる。木材利用研究会の研究成果として水路用ボックスカルバートの木杭一長盤系基礎～設計マニュアル、プレキャストL型擁壁(H \leq 2m)の木杭一底盤系基礎～設計マニュアルが発刊された。発注者側で本マニュアルを用いた工事も発注されている。

5. おわりに

シンポジウム終了後、同会場にて講師の方々を交えて懇親会が開催された。48名の参加者を得て、和やかな雰囲気の中で分野横断的な交流がなされた。乾杯のご発声は福井県森林組合連合会会長の関孝治氏より頂き、閉会のご挨拶は福井県雪対策・建設技術研究所所長の畠山重久氏より頂いた。なお、シンポジウムの詳しい状況は、紙面の都合上掲載できなかったためホームページをご覧ください(<http://toshichan.be.fukui-nct.ac.jp/yoshida/mokuzai/>)。

最後に、シンポジウム開催にあたり、師走のお忙しい中、講師を引き受けて下さいました講演者、ポスター発表者の方々、ご参加いただいた多数の方々実行委員会、福井県木材利用研究会(会長：荒井克彦 福井大学 名誉教授)等の関係各位に感謝の意を表す。



写真3 懇親会出席者

丸太を用いた地盤補強技術

福井工業高等専門学校	吉田雅穂
金沢大学大学院	宮島昌克
福井県雪対策・建設技術研究所	久保 光
飛島建設株式会社技術研究所	沼田淳紀

1. はじめに

漢字は三千年以上前の古代中国の殷王朝に生まれ、今も日本語の中で使い続けられている。この漢字の成り立ちを研究し、新しい漢字の世界を確立されたのが福井県出身の故白川静博士である。目に見える形を具体的に描いたものを象形文字と呼び、例えば、「木」の古代文字は木の幹と枝と根を表す「𣎵」と書かれていた。一方、会意文字は複数の漢字の意味を組み合わせたもので、「木偏」と組み合わせた漢字には「杭、板、柵、架、棧、棚、棒、棟、楼、槽、橋、欄」など多数ある。ここに示した漢字は、いずれも昔は木で作られていた物であるが、現在は木以外の材料で作られることが多くなった。しかし今、環境という視点から、これらの漢字が持つ本来の意味を考える時期が来たように思える。

近年、木材利用により得られる森林活性化、炭素貯蔵、化石資源代替などの地球温暖化防止に資する効果という、効率性だけでは計れない付加価値が見直されてきている。また、2010年5月には「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が成立し、建設事業で木を使い、森を育て、林業の再生を図る事業が急ピッチで進むことが期待されている。

振り返ると、平成16年福井豪雨において、市街地では河川の堤防決壊等による浸水被害、また、山間地域では土石流とともに押し流された流木による二次災害が発生するなどし、改めて、社会資本整備による都市の防災力の向上と、森林整備による水土保全機能の強化の重要性が認識されることとなった。この水害は激甚災害に指定されることとなり、平成16年度より5カ年計画で足羽川の河床掘削や橋梁架替等の工事が進められ、平成21年に竣工した。その工事の最中、足羽川の水越橋、幸橋、木田橋の河床付近より、古くは70年以上前の橋梁に用いられていた木杭が多数発見され、平成18年に行われた掘り出し調査の結果、非常に健全な状態であることが明らかとなった。これが、著者等における土木

事業における木材利用促進に関する一連の研究の出発点であった。丁度この頃は、平成17年の京都議定書の発効を受けて、国内外で温暖化対策に関する意識が高まり始めた時期であり、森林吸収による二酸化炭素の削減を目的とした森林整備と木材利用の促進を建設分野でも検討を始めた時期とも重なる。

木材を土木事業で利用していた昭和30年代頃までに対し、鋼やコンクリートなどの人工材料を利用することが当たり前となった現代において、木材の利用を復興させるためには、木材を利用する際の懸念材料を払拭し、木材を利用することによる新たな付加価値を見出すことが大変重要と考えられる。本文ではこの様な観点で福井県を舞台に行ってきた研究の一部を紹介する。

2. 地中にある木材の健全性

福井市内を流れる足羽川の河川改修および橋梁架替工事の最中、河床より昔の橋梁の基礎や護岸の基礎である丸太状の木杭が多数発見された。この木杭の健全性を調査するため、水越橋、幸橋、木田橋付近より計22本の木杭を掘り出し、それらの設置環境、採取状況、表面観察調査、ピロディン試験、縦圧縮試験による腐朽度の評価を行った。

本章では、樹種鑑定の結果、スギ属と判断された木田橋の調査結果²⁾について述べる。木田橋からは平成18年～20年に直径30cmで長さ3.3m～4.7mの木杭が8本採取された。採取位置は写真1に示すように、現在の木田橋近くに架かっていた昭和24年施工の銭とり橋の橋脚基礎であり、設置期間は57年～59年と推定できる。図1の木杭表面の観察による腐朽度評価では、河床より突出した部分では若干の損傷が確認されたものの、地中に埋まっていた部分に関しては極めて健全な状態であった。図2の縦圧縮試験では、縦圧縮強さが湿潤状態で約25MPa、飽和状態で約16MPaであり、気乾材の標準値に比べると小さい値であるが、設計における許容応

力度に比べ約4倍と十分大きな値を有していた。これらの評価を、水越橋上流付近（樹種：カラマツ属，設置期間：48年）や幸橋付近（樹種：マツ属，設置期間：74年）で掘り出された木杭でも実施したが、木田橋付近の木杭と同様に健全であることが確認された¹⁾。

以上より、掘り出された木杭は48年～74年もの間、土中もしくは河川水位以下にあり、いずれの樹種においても腐朽程度は低く、健全な状態であったことが明らかとなった。



写真1 木田橋下流側の木杭

3. 木杭打設地盤の耐震性

昭和23年福井地震では、福井平野の広い範囲で大きな地震動と液状化に伴う地盤沈下や側方流動が発生した。したがって、当時の木杭基礎を有する構造物を調査することにより、その耐震性能を検証することが可能である³⁾。前章で述べた木田橋の下流側に架かる幸橋は、車道と電車が共存する鉄筋コンクリート単純T桁橋（橋長133m）として昭和8年に建設された。以来、昭和20年の福井空襲、昭和23年の福井地震、平成16年の福井豪雨など、度重なる災害に耐え、平成19年の架け替え工事に至るまで74年間供用された。写真2は架け替え工事の際に、第7橋脚を撤去した時に現れた木杭頭部の様子である。

図3は福井地震で発生した幸橋周辺の水平方向の地盤変位ベクトルを写真測量により求め、現在の地形図上にプロットしたものであり、変位データの精度は±0.73mである。同図左側で最大4.6mの大きな地盤変位が生じており、その多くが河道中心方向に変位していることがわかる。一方、同図右側の幸橋取り付け部においては、左岸側で1.9m、右岸側で1.7mの地盤変位が発生している。報告書によれば、幸橋の被害は左岸側橋台部で鉄筋コンクリートの柱が亀裂傾斜し、親柱が少し移動したが、橋脚や上部構造への被害はなく地震後の橋の通行に支障は生じなかった。

以上より、福井地震の震源域近くに存在していた木杭基礎を有する橋梁が、その周辺地盤で1m超の側方流動が発生していたにも関わらず、顕著な構造被害は見られず、地震直後も橋梁としての機能を有していたことを明らかにした。

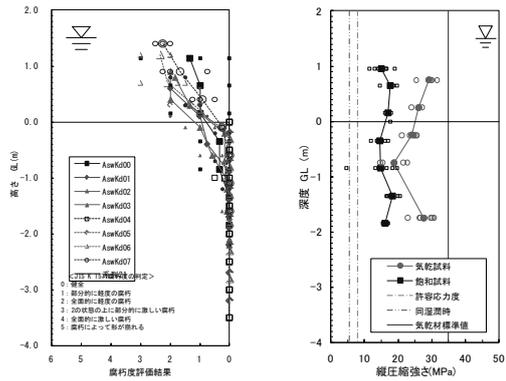


図1 腐朽度評価の結果 図2 縦圧縮試験の結果



写真2 幸橋第7橋脚の木杭頭部

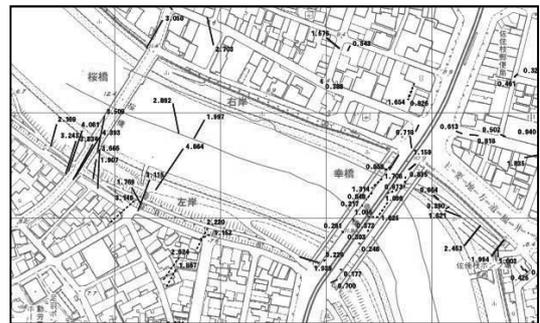


図3 地震で生じた幸橋周辺の地盤の水平変位

4. 丸太を用いた軟弱地盤対策による環境貢献

丸太を軟弱地盤対策として用いた場合の効果と、工事による二酸化炭素排出と丸太による炭素貯蔵の収支についての検討を行うために、福井県敦賀市の敦賀港敷地

内に人工の軟弱地盤を作製し、実際の間伐丸太（長さ 3m，末口 0.15m）を用いた実験を平成 20 年より開始した⁴⁾。図 4 は現場実験の概要を示したものであり、深さ 4m，底面が縦 5m 横 20m のトレンチを掘り、そこに人工の軟弱地盤を作製した。実験ヤードは 4 つの区画に分けられており、丸太を 0.5m 間隔で打設、丸太を 1.0m 間隔で打設、無対策、土木シートをそれぞれに施し、その上に厚さ 0.5m のサンドマットと厚さ 1.5m の盛土を施工した。丸太の径と丸太間隔は、丸太を摩擦杭と考え既往の設計法による支持力の計算に基づき決定し、丸太間隔 0.5m では安全率が 2 を超え、丸太間隔 1.0m では安全率が 1 を下回るように設定した。二酸化炭素の収支の算出では、丸太産出にかかわる林業における地拵え植林から盛土施工に至るまでの二酸化炭素排出量を求めた。

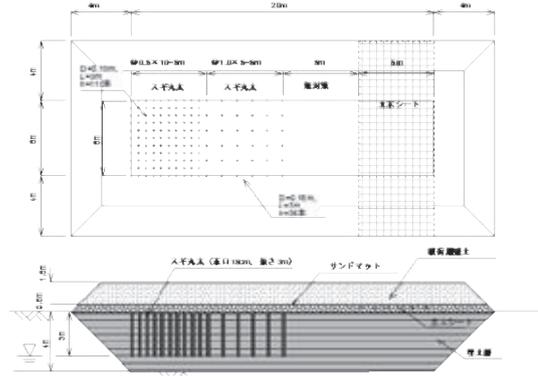


図 4 現場実験の概要

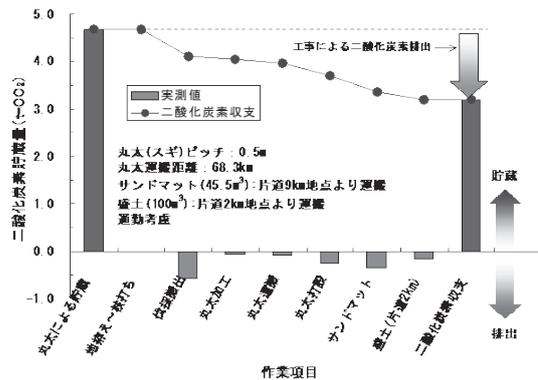


図 5 丸太の炭素貯蔵量と工事の二酸化炭素排出量

図 5 は 0.5m 間隔で丸太を打設した場合の、丸太による炭素貯蔵量と各作業による二酸化炭素排出量を示したものである。同図より、工事による二酸化炭素排出量よりも丸太に固定された炭素貯蔵量の方が大きく上回り、工事自体が二酸化炭素削減に寄与することがわかる。全工程では、伐採搬出、丸太打設、サンドマット、盛土の作業工程で二酸化炭素排出量が多く、この内訳では伐採搬出においては通勤における排出が多く、サンドマットと盛土施工においてはダンプによる運搬による排出が多かった。

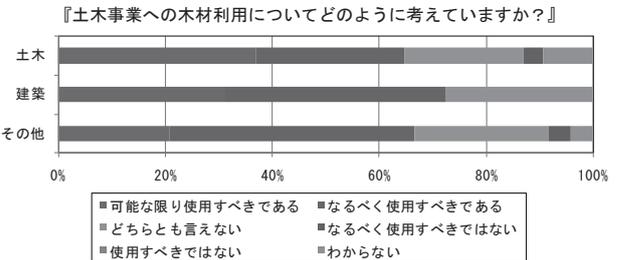


図 6 土木における木材利用に対する技術者の意識

以上より、丸太を地中に打設して軟弱地盤対策を行った場合には、丸太による炭素貯蔵量が工事による二酸化炭素排出量を上回り、工事自体が環境対策となり得ることを示した。また、その効果を得るためには、二酸化炭素排出の多くを占める運搬距離を減らすため、材料を可能な限り現場近くから調達する、いわゆる地産地消とすると良いことがわかった。

5. 建設技術者の木材利用に対する意識

平成 21 年土木の日に福井市内で開催された「フクイ建設技術フェア 2009」において、来場者に対し土木事業における木材利用に関するアンケート調査を実施した。調査は、会場で対象者にアンケート用紙を配布し、その場で 11 個の質問に回答してもらう方式で行った。有効回答数は 107 件（男性 71 名，女性 13 名，不明 23 名），回答者の職業・専門分野は土木 51%，建築 27%，その他・不明 22%であった。図 6 は土木事業における

木材利用に対する意識を、回答者の職業・専門分野で比較したものである。いずれの分野においても利用に肯定的な意見は 60～70%であり、否定意見の理由としては、森林伐採による環境破壊や腐朽・虫害を懸念する意見が多かった。しかし、これらの懸念材料は、間伐材を有効利用することや木材を地中で利用することにより克服できることであり、技術者へ正しい知識を伝えることが重要であることが明らかとなった。

6. 丸太を用いた戸建て住宅の液状化対策技術

著者らは、建設工事における木材利用促進を目的として、丸太を液状化対策工法に利用することを提案しており⁵⁾、木材の腐朽の心配のない地下水位以深の軟弱な砂

質土地盤にスギ丸太を打設することにより、液状化時の構造物の沈下抑制効果を模型振動実験により明らかにしている⁶⁾。

その後、2011年東日本大震災が発生し、東京湾沿岸部や利根川流域において甚大な液状化被害が発生した。特に、戸建て住宅の沈下や傾斜の被害は甚大であり、長時間の地震動や相次ぎ発生した余震が被害を増大させたことが明らかとなっている。戸建て住宅のような小規模建築物の液状化対策としては、各種工法が提案されているが、既設構造物に対する対策は非常に困難であり、新設であっても経済的な理由で対策が行われない場合が多い。本章では、丸太を用いた既設の戸建て住宅の液状化対策工法の有効性について、模型振動実験による検討を行った結果⁷⁾を示す。

図7に模型実験の概要を示す。振動台上にアクリル製の土槽（幅800mm×奥行き400mm×高さ500mm）を設置し、その中に模型地盤を作製した。模型地盤は珪砂7号（密度2.66g/cm³、平均粒径0.85mm）を用いて水中落下法で作製した相対密度約40%の緩詰め飽和砂層であり地下水位は地表面とした。丸太模型は直径12mmで長さ300mmの円柱状であり、本実験では周囲打設、頭部固定、斜め打設の3つの打設方法を提案した。同図は周囲打設の場合であり、構造物の周囲に30mm間隔で2列、計64本打設するケースである。頭部固定の打設方法は周囲打設と同じであるが、地表面から突出している丸太頭部に丸太の数だけ穴の空いたアクリル板を設置して、頭部の水平移動を拘束したケースである。図8は傾斜打設の場合であり、同図の左右端にある丸太24本のみを15度だけ傾斜させて打設したケースである。いずれのケースも丸太は土槽底部とは固定されておらず、数cmだけ離れた状態となっている。丸太の打設方法は、地盤作製後に周辺地盤をできるだけ乱さないように静的に貫入した。また、丸太は長期間水中保管したものを使用し、その密度は約1.1g/cm³であった。なお、比較対象として丸太を打設しない無体策地盤のケースも行った。地表面に設置した構造物模型は底面が150mm四方で、高さ112mmの防水処理を施した木箱で、重さは3.45kg、設地圧は1.5kN/m²（べた基礎の2階建て木造住宅の接地圧15kN/m²の10分の1を想定）である。なお、構造物模型は丸太頂部に静置してあるだけで連結されていない。入力波は振動数5Hzの正弦波で最大加速度120galであり、加振時間は20秒とした。

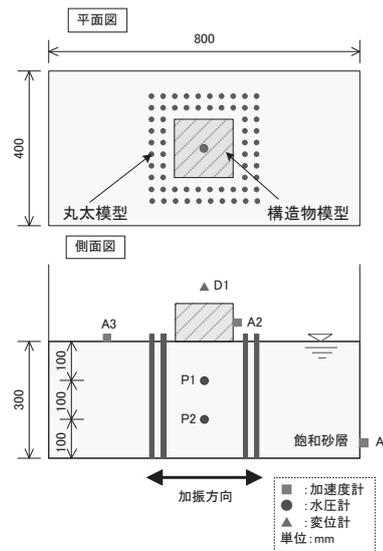


図7 模型実験の概要（周囲打設）

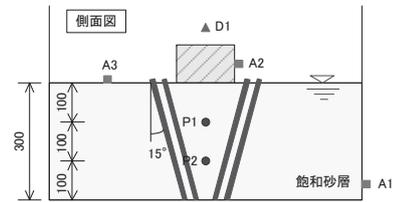


図8 模型実験の概要（傾斜打設）

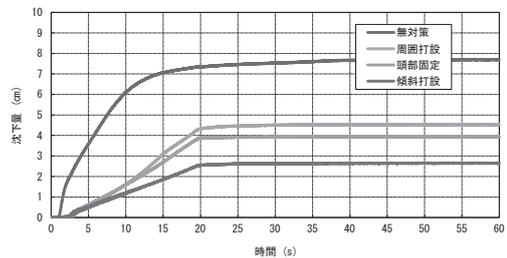


図9 構造物模型の沈下量の時刻歴波形

なお、実験中は入力加速度（A1）、構造物模型と地盤の応答加速度（A2、A3）、地盤内の過剰間隙水圧（P1～P4）、構造物模型の鉛直方向変位量（D1）を計測した。

図9は上記4ケースにおける構造物模型の沈下量の時刻歴波形を示したものである。全てのケースにおいて沈下の大部分は加振中に発生し、対策地盤では加振終了と同時に沈下が終了している。対策地盤の場合、斜め打設、頭部固定、周囲打設の順に効果が大きく、最も効果の大きかった斜め打設では、無体策の約3分の1まで沈下を軽減していた。周囲打設の場合、構造物が沈下すると構造物下部地盤は圧縮されて丸太と共に側方に変形するが、頭部固定の場合では、丸太の側方移動が拘束されているため沈下が軽減されたと考えられる。また、傾斜打設の場合は、構造物下部の地盤変形領域が狭くなってい

るため、さらに、沈下が軽減されたと考えられる。

以上より、既設構造物の周辺地盤に丸太を打設することにより構造物の沈下を抑制することが可能であることを明らかにした。また、丸太頭部を固定して丸太の側方移動を抑制し、構造物下部地盤に斜めに打設して構造物直下のせん断変形領域を小さくすることで、その効果はさらに向上することがわかった。

7. 丸太を用いた軟弱粘性地盤の補強技術

前章で示した液状化対策技術の開発と共に、著者等は軟弱粘性土地盤を対象とした、丸太を用いた地盤補強技術の開発にも取り組んでいる。現在、福井県小浜市の県道拡幅工事の現場を利用して、丸太打設による路体補強の施工実験（写真3）を実施している⁸⁾。本章では、この現場実験を模擬した室内模型実験を行い、丸太打設が地盤支持力に与える影響を検討した結果を示す⁹⁾。

図10に模型実験の概要を示す。模型地盤を作製する土槽は内寸で長さ900mm×奥行き200mm×高さ650mmの鋼製であり、側壁は強化ガラス製で地盤を側面から観察可能である。圧密後の軟弱粘性土地盤層の厚さは450mm、表層の砂質土地盤（サンドマット）の厚さは25~30mmとした。同地盤の左側は丸太打設による改良地盤、右側は未改良地盤の2種類で構成されている。使用した丸太模型は直径6mm、長さ200mmであり、福井県産スギの間伐材より作製されたものである。また、丸太は長期間水中保管したのものを使用し、その密度は約1.1g/cm³であった。丸太打設は静的に地盤表面から圧入する方法とし、土槽の短手方向に4行、長手方向に3列の正方形配置で、計12本を50mm間隔で打設した。これは、改良率1.1%、丸太直径Dとした時の打設間隔8.3Dの打設条件に相当する。なお、本模型実験は、小浜市県道における現場実験⁸⁾の諸元を参考にしており、対象地盤の軟弱粘土層厚9,000mm、サンドマット層厚500mm、丸太の末口直径120mm、長さ4,000mm、打設間隔1,000mmの20分の1を想定した。土槽壁面には水圧計と土圧計を深度100mm間隔で設置しており、以下に示す実験開始から終了まで1分間隔で計測を続けた。

実験の流れは次の通りである。①含水比69%（液性限界の2倍）に調整したスラリー状の粘性土（ $\rho=2.761\text{g/cm}^3$, $U_c=14.61$, $k=1.86\times 10^{-6}\text{cm/s}$, 砂まじり粘土）を土槽に投入、②地盤表面上に初期圧密用載荷板（27.7kg）を設置し、おもり及びベロフラムシリン



写真3 丸太の現場打設実験

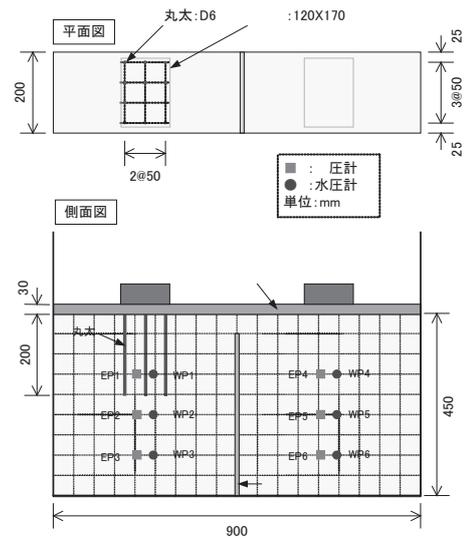


図10 模型実験の概要

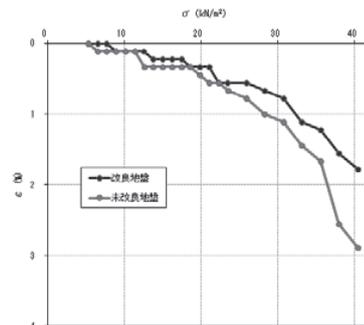
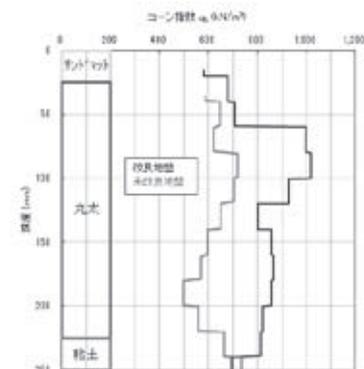


図11 载荷試験の結果



ダーを用いて最大 50kN/m^2 となるまで段階的に荷重して約 1 ヶ月間の圧密, ③完成した軟弱粘性土地盤の左側に丸太を打設し, その上に珪砂 7 号 ($\rho=2.66\text{g/cm}^3$, $D_{50}=0.85$, $U_c=0.88$, $k=4.79\times 10^{-3}\text{cm/s}$) によるサンドマットを敷設して約 1 週間の静置, ④改良地盤と未改良地盤の所定の位置に, ステンレス製の載荷板 (幅 $120\text{mm}\times$ 奥行き $170\text{mm}\times$ 厚さ 12mm) を設置し, その上に 2.5kg と 5kg のおもりを順次載せることで, 載荷試験の 1 回目 (最大 83.8kg) を行い約 1 週間の静置, ⑤改良地盤と未改良地盤のそれぞれに載荷試験の 2 回目 (最大 138.4kg) を実施, ⑥載荷試験後, 両地盤 (改良地盤は丸太間の地盤) においてコーン貫入試験を実施, ⑦サンドマットと粘性土のサンプリングを実施

図 11 は載荷試験 1 回目の結果を示したものである. 同図は載荷した荷重を載荷板の面積で除した鉛直応力と, 地盤沈下量を初期地盤厚で除した鉛直ひずみの値に変換して示してある. 未改良地盤では 20kN/m^2 , 改良地盤では 30kN/m^2 を超える辺りからひずみが大きくなり始める傾向を示しており, 丸太の周面摩擦抵抗により改良地盤の支持力が向上していることが確認できる.

図 12 はコーン指数の深度分布を示したものである. 同図左側にはサンドマットと丸太の位置を併記している. 同図より, 丸太を打設した範囲において改良地盤のコーン指数が未改良地盤と比べて平均で約 1.4 倍に増加した. これは, 丸太打設により周辺地盤の締め固めが促進され, 丸太間の密度が増加したためと考えられる.

以上より, 軟弱粘性土地盤に丸太を打設することにより, 地盤支持力が向上することを明らかにし, その要因が丸太による周面摩擦力に加えて, 丸太周辺地盤の密度増加が影響していることを示した.

8. おわりに

現在, 福井県では木材利用に関わる 間 業, 研究機関, 公 に所属する会員約 40 名で構成される「福井県木材利用研究会」を平成 22 年 4 月に発足させ, 県内における木材利用の促進と利用者 ット ークの構築を目指す活動を行っている. また, 平成 22 年 12 月 11 日には福井市内で「木材利用シン ム in 福井」を開催し, 木材を供 する林業, 木材を加工する製材業, 木材を利用する土木・建築等の建設業, そして, 公 や 育・研究機関の関 者約 200 名が参加し, 分野横断的な連 を深めることができた. さらに, 同研究会で

は平成 24 年度完成を目標に「丸太を用いた軟弱地盤対策の設計・施工マ アル」の作成に取り組 ている.

今後は, これらの活動を通じて, 環境 荷の少ない古き良き技術として, 土木事業における木材利用の正しい知識を人 に伝え, 木材の特 を活かした設計法と施工法の技術開発を行っていく 定である. さらに, 日本の な木材資源を 材 所に有効利用することで, 持続可能な社会を構築する手段を考えていきたい. なお, 本研究は科学研究費補助金 (課題番号: 19560501, 20246078, 22560504) の補助を受けて実施したものであり, ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 飛島建設, 福井工業高等専門学校, 福井県: 脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究, 福井県建設技術公社, 109p., 2008.
- 2) 吉田雅穂, 沼田淳紀, 上杉章雄, 久保光, 源濟英樹, 野村崇: 足羽川で掘り出された木杭の健全度調査, 土木学会第 62 回年次学術講演会, pp.183-184, 2007.
- 3) 吉田雅穂, 田 , 沼田淳紀, 久保光: 福井地震における地盤の側方流動が木杭基礎構造物に与えた影響に関する考察, 土木学会第 65 回年次学術講演会, CS, pp.49-50, 2010.
- 4) 沼田淳紀, 本山寛, 久保光, 吉田雅穂, 田 , 中村 昭, 外 真理雄: 丸太打設による地盤改良工事における二酸化炭素排出量と貯蔵量の算出, 第 44 回地盤工学研究発表会, pp.1793-1794, 2009.
- 5) 吉田雅穂, 平野文睦, 宮島昌克, 沼田淳紀, 上杉章雄: 丸太打設による液状化対策に関する基礎的模型振動実験, 第 43 回地盤工学研究発表会, pp.1605-1606, 2008.
- 6) 吉田雅穂, 宮島昌克, 沼田淳紀, 木内貴之, 渡邊雄大, 内藤法子: スギ丸太を利用した液状化対策工法に関する模型振動実験, 第 44 回地盤工学研究発表会, pp.1425-1426, 2009.
- 7) 吉田雅穂, 村田拓海, 井上広平, 宮島昌克, 沼田淳紀: 丸太を用いた戸建て住宅の液状化対策に関する模型振動実験, 土木学会第 67 回年次学術講演会, CS, pp.21-22, 2012.
- 8) 久保光, 吉田雅穂, 本山寛, 沼田淳紀: 軟弱粘性土地盤での丸太打設による丸太間強度増加の実測, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.995-996, 2012.
- 9) 吉田雅穂, 宮脇紀互, 久保光, 沼田淳紀, 本山寛: 丸太を用いた軟弱粘性土地盤補強技術に関する模型実験, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.997-998, 2012.

提 言

「土木分野における木材利用の
拡大へ向けて」

2013 年 3 月 12 日

関係各位

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会
委員長 今村祐嗣

一般社団法人日本森林学会
会長 井出 雄二

一般社団法人日本木材学会
会長 服部 順昭

公益社団法人土木学会
会長 小野 武彦

提言「土木分野における木材利用の拡大へ向けて」

1. 背景

一般社団法人日本森林学会，一般社団法人日本木材学会，公益社団法人土木学会では，2007年に3学会による「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」を発足させて調査研究を重ね，この度，関係省庁，関係諸団体，教育機関などへ向けて，提言「土木分野における木材利用の拡大へ向けて」をまとめました。

IPCC 第4次報告には，地球の温暖化は疑う余地のないこと，20世紀半ば以降に観測された世界の平均気温の上昇は，人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が非常に高いこと，世界の平均気温を2～3℃の上昇で安定化させるには今後20～30年にわたる削減努力と投資が必要であることが示され，地球温暖化は深刻かつ人類にとって大きな課題であることが報告されました。

樹木は，光合成により二酸化炭素を吸収して成長し，酸素を放出します。したがって，大気中の二酸化炭素は木材成分の炭素として固定化され，樹木の成長は温室効果ガスである二酸化炭素の削減に大きく貢献します。地史的には，このような長期的な自然作用により，人類が誕生できる環境が整ったともいえます。森林が地球環境に大きく影響し，地球温暖化の緩和に寄与していることはいうまでもありません。

一方，森林を適切に管理しながら伐採し，木材製品として可能な限り長期間使うことも，炭素循環という点で人間生活の中に新たな森を築くことと同じ意味を持ち，森林と同様に地球温暖化の緩和に貢献します。わが国の森林資源は，1950年代頃までは枯渇し木材利用を制限せざるを得ない状況にありましたが，現在は極めて豊富な状態にあり，むしろ伐採し使用しなければならない状態へと移行しています。わが国において樹木が年間に成長する量は，国内で生産される木材製品の総量とほぼ同じ段階にまで達し，豊富で持続可能な森林資源を活用することが求められています。これからは，特に国産材を用材として大量に使用できるように，木材利用の裾野を広げて行く必要があります。

2011年東北地方太平洋沖地震では、多くの人命と財産が失われ、安心安全な社会を構築する必要性が再認識されました。このような想定することが難しい自然現象に対峙することも含め、社会基盤を整備していくことが土木の主要な使命ですが、それに際しては、従来の短期的な経済効率重視の視点から、持続可能な社会の創出への転換を行っていくことも重要です。そのためにも、環境への負荷が低く持続的な資源であり、地球の温暖化防止にも寄与する木材を土木分野で復活させるべきと考えます。

2009年に「森林・林業再生プラン（12月25日農林水産省）」が発表され、2020年までに木材自給率を50%にするという目標が掲げられました。2010年には、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成22年法律第36号、5月26日）」が公布され、土木分野も含めた木材利用の促進が法律によって定められました。さらに、森林・林業再生プランを反映した「森林・林業基本計画」が2011年に閣議決定されました。このように、政策的にも木材利用の促進に向けた環境が整備されつつあります。

この間、日本森林学会、日本木材学会、土木学会による横断的研究会では、土木における木材の利用拡大に向けて共同研究の推進、シンポジウム・研究発表会・講習会の開催、木材利用に関するライブラリの発行を行うとともに、土木分野における木材利用量のポテンシャルの推計等にも取組み、将来的に土木での木材利用量を400万 m^3 /年までに増加させるためのロードマップを作成しました。

これを進めていくためには、関係省庁、関係諸団体、教育機関などの協力が是非とも必要であり、この度、土木分野における木材利用の拡大へ向けた提言をまとめました。

2. 提言の内容と社会への効果

土木分野における木材利用の拡大へ向けて、これを具現化するために以下を提言します。

- (1) 土木分野における木材利用技術の開発推進
- (2) 木材関連の設計法などの作成と規準類への掲載
- (3) 地球環境や景観などに対する木材の価値の定量化と標準化
- (4) 土木分野の学校教育における木材関連教育の実施
- (5) 土木利用拡大へ向けた分野横断的な連携の強化

これを実施することで、以下の波及効果が考えられます。

- ・ 豊富な森林資源を積極的に使用することによる持続可能な土木事業の実施
- ・ 木材利用による省エネルギー効果や炭素貯蔵効果による地球温暖化緩和
- ・ 木材需要の拡大による森林・林業再生
- ・ 林業における新規雇用の創出など

(1) 土木分野における木材利用技術の開発推進

今まで木材が利用されてこなかった新たな分野と、既にあるが今まで利用の拡大に今一步繋がらなかった既存の分野について、木材の特徴を活かした利用技術の開発推進が必要です。

新規分野では、液状化地盤対策や軟弱粘性土地盤対策への木材利用などが考えられています。木材は、地中の地下水位以深にあれば100年以上も健全な状態を保つことが知られています。このような地中での長期耐久性の特徴を活かし、液状化地盤対策や軟弱粘性土地盤対策材料として木材を使用しつつ、木材に固定された炭素を長期間貯蔵することで、土木工事の中で温室効果ガスの削減に貢献することが期待されています。

既存分野では、木橋、ガードレール、遮音壁や法面緑化など、木材の良さが理解されつつも、なかなか利用の拡大に繋がらなかった分野での技術の開発です。腐るといった木材の特徴をむしろうまく活用して、緑化資材の植生が安定するまでは法面の保護材として木材を用いること、木材の軽く加工しやすいといった特徴を活かし、震災時の応急復旧用の橋を木製にすること、さらに再使用、再利用を含むカスケード的な利用方法も期待されています。

(2) 木材関連の設計法などの作成と規準類への掲載

現状においても、木材使用を制限している規準は見当たらず、基本的には要求性能を満足すれば木材は使用してよいこととなっています。

しかしながら、土木分野において積極的に木材を対象とした設計法は、現在ほとんどなく、むしろ、規準類から姿を消して行く傾向にあります。また、鋼材やコンクリートについては標準値が示されているものの木材については記載がなかったり、参考扱いとされているなど、木材が設計者にとって使いにくいものとなっているのが現状です。アンケート結果でも、設計法がないために使用できないといった回答が見受けられます。木材を使って行く利点があってもそれを使う設計方法が示されていないと、具体的な利用に繋がらないのは当然といえます。

今後、設計法や試験法などを国際標準とも照らしながら作成していくとともに、得られた成果については順次規準類へ掲載し、使用できる環境を整えていく必要があります。

(3) 地球環境や景観などに対する木材の価値の定量化と標準化

木材が地球環境や景観面において優位であっても、その価値が客観的に評価できないために、初期の経済性のみが評価されて、木材が採用されない場合が多くみられます。我が国は、2013年以降は温室効果ガスの削減義務はありませんが、国際的にも木材の炭素貯蔵効果が算定対象となり、社会において利用される木材が増えれば炭素吸収と同等に評価されることになりました。このように木材利用の環境貢献の価値が注目されており、他分野とも連携しそれらの価値の定量化と、それを誰でも同じように求められる標準化を行う必要があります。

例えば、液状化対策として砂杭による密度増大工法、セメント系の深層混合処理工法、丸太打設工法を比較すると、深層混合処理工法に比べ自然材料である砂を用いる密度増大工法は、省エネルギー効果により工事による二酸化炭素排出量が大幅に削減されます。さらに丸太を用いた場合には、丸太の炭素貯蔵効果により、炭素貯蔵量が二酸化炭素排出量を上回り、工事をする事自体が温室効果ガス削減に寄与します。

一方、景観などは人による好みもあり定量化が難しい分野ではありますが、多くの人が木質の良さを感じるのも事実です。これを科学的に明らかにし、定量化と標準化を行い積極的にアピールすることが大切です。

(4) 土木分野の学校教育における木材関連教育の実施

中学生や社会人のアンケート結果において、「木材利用が環境破壊につながる」といった、木材利用についての根本的な誤解が未だに多く聞かれます。大学では、使用される建設材料の教科書から木材関連の記述がほぼなくなり、土木技術者にとって木材は今やなじみの薄い材料になりました。木材についての知識がなければ、木材が使用されないばかりか、誤解されるのはむしろ当たり前といえます。

木材利用の拡大をはかるという国の施策により、今後土木分野においても木材利用の拡大が取り上げられていますが、これに対応するためには、木材利用に関する教育が必要不

可欠です。

(5) 土木利用拡大へ向けた分野横断的な連携の強化

木材は、鋼材やコンクリートと異なって森林で生産される生物資源という特性のために、植林から使用に至るまでの技術の共有化と、需要と供給のバランスが必要であり、土木だけでは解決できないことが多くあります。

森林や木材の現状を考えずに土木分野で設計したところ、木材が特注材となってしまったが、森林や木材の事情を知り、それを設計に反映すれば、一般的な木材でも十分であったといったケースもあります。木材は多くの場合、ほぼ伐採時の品質を保持し最終的に使用されます。生物劣化や不均質な力学特性といった他の土木材料としては馴染みの少ない特性も有しています。

このような背景から、環境貢献を共有認識とし、日本森林学会、日本木材学会、土木学会が2007年より「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」を発足し、学際横断的な研究を開始しました。これが核となり、現在では、各都道府県の研究会との連携も行われています。今後更に、業界団体や他学協会との連携を強化し、今後の社会に向けた木材利用技術の開発、規準類の作成、地球環境や景観などの価値の定量化と標準化、教科書の作成などを実施していく必要があります。

3. 提言に向けて

関係各位におかれましては本提言に基づき、適切な政策の誘導と助成、人材面での支援、人材教育・育成、調査研究の推進、相互調整などを行って戴き、具体的な活動へ反映していただきますことをお願い申し上げます。関係各位の御協力を賜り、日本森林学会、日本木材学会、土木学会の3学会では、横断的研究をさらに推進し、土木分野における木材利用の拡大へ繋げる所存です。

4. 賛同団体

本提言に、以下の団体が賛同しています。

学術団体：(社)砂防学会、(公社)地盤工学会、森林利用学会、(一社)日本建築学会、(公社)日本木材加工技術協会、(公社)日本木材保存協会

その他団体：国土緑化推進機構、全国素材生産業協同組合連合会、全国町村会、全国木材協同組合連合会、全国木材組合連合会、大日本山林会、日本森林技術協会、(社)日本プロジェクト産業協議会、日本木材総合情報センター、(一社)日本林業経営者協会、木橋技術協会、木材利用システム研究会、木材利用推進中央協議会

※学術団体：日本学術会議協力学術研究団体

福井県木材利用研究会運営要綱

福井県木材利用研究会の運営要綱

(1) 目的

木材の生産、加工、流通に関わる団体との連携を図りながら、木材利用に関係する会員が、建設事業における木材利用に関する情報収集および研究開発を行う。

(2) 構成

木材利用に関係する会員で構成する。

(3) 研究事項

- ・ 建設事業における木材利用の推進
- ・ 木材の利用と供給のネットワークづくり
- ・ 地球温暖化対策への貢献
- ・ 課題解決のための研究テーマの作成と助成制度などへの応募

(4) 運営

研究会は、前記の研究事項について協議し、結果をとりまとめ、今後の活動に活かす。

(5) 事務局

研究会の事務局は、福井県雪対策・建設技術研究所で行う。

(6) 開催頻度

2ヶ月1回程度とする。

(7) 会費

無料

(8) 組織（案）

部 門	所 属
民 間	福井県森林組合連合会、コンサルタント、総合建設業、工務店 他
学識経験者	福井大学、福井県立大、福井工大、福井高専 他
行 政	福井県、県内市町 他

福井県木材利用研究会名簿

役 職	氏 名	所 属
会長	荒井克彦	福井大学
副会長	吉田雅穂	福井工業高等専門学校
副会長	中沢和彦	株式会社田中地質コンサルタント
委員	阿部孝弘	福井工業高等専門学校
委員	石川浩一郎	福井大学
委員	小形信男	福井大学
委員	竹田周平	福井工業大学
委員	伊内是成	美山町森林組合
委員	石塚義徳	株式会社高茂組
委員	梅田祐一	株式会社デルタコンサルタント
委員	岡拓司	株式会社グローヴ
委員	小澤聖輔	株式会社マーベルコーポレーション
委員	勝山義史	飛鳥建設株式会社
委員	角川幸男	前田工織株式会社
委員	河村光	福井県発明協会
委員	神崎隆洋	前田工織株式会社
委員	城戸涉	株式会社田中地質コンサルタント
委員	巨勢容市	株式会社巨勢
委員	駒野裕一	株式会社サンワコン
委員	高田隆夫	坂川建設株式会社
委員	高橋武彦	有限会社マルテック
委員	竹内雅美	前田工織株式会社
委員	竹中靖康	株式会社ビオ
委員	田中慎悟	岡野コンクリート株式会社
委員	坪田高士	セキサンピーシー株式会社
委員	鳥居直也	京福コンサルタント株式会社
委員	直井義政	飛鳥建設株式会社
委員	西浦志比兵衛	三谷セキサン株式会社
委員	西口賢利	福井県森林組合連合会
委員	沼田淳紀	飛鳥建設株式会社
委員	林久夫	株式会社ミルコン
委員	東畑慎治	株式会社東畑建築設計事務所
委員	藤田貴準	株式会社キミコン
委員	森洋市	株式会社サンワコン
委員	森下篤博	株式会社三輝設計事務所
委員	八杉健治	美山町森林組合
委員	山崎忠夫	坂川建設株式会社
委員	吉田眞輝	前田工織株式会社
委員	渡辺仁一	株式会社渚技研
委員	山木忠嘉	公益財団法人福井県建設技術公社
委員	岩佐礼三	福井県農林水産部県産材活用課
委員	鈴木秀治	福井県農林水産部県産材活用課
委員	鳥羽浩之	福井県農林水産部森づくり課
委員	野村崇	元福井県農林水産部総合グリーンセンター（現坂井農林総合事務所）
委員	和多田浩樹	福井県農林水産部総合グリーンセンター
委員	齋藤年央	福井県農林水産部総合グリーンセンター
委員	服部正秀	元福井県土木部土木管理課（現敦賀土木事務所）
委員	矢田部剛	福井県土木部土木管理課
委員	坂田正宏	福井県土木部三国土木事務所
委員	大崎辰巳	福井県土木部雪対策・建設技術研究所
委員	村上幸一	大野市役所
事務局	久保光	福井県土木部雪対策・建設技術研究所

あとがき

福井県は、県面積の約3/4が森林で覆われていますが、間伐材は約2割しか有効利用されておらず、残りは山に放置されています。それが豪雨で流出すると、災害拡大の要因になる可能性があります。適切な間伐を行い、間伐材を有効利用することは、カーボンストック（二酸化炭素の固定化）を行うとともに、豪雨災害や土石流災害の発生と被害拡大を未然に防止することにつながるのではないかと考えられます。

平成18年から公益財団法人福井県建設技術公社のコーディネートにより、飛鳥建設株式会社、福井工業高等専門学校、福井県の産学官の各機関が連携し、県産間伐材の利用に関する研究を行ってきました。その結果は、産学官共同研究報告書の「脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査・研究」および「県産間伐材を活用した浅層地盤改良工法の研究開発」としてまとめています。この研究では、粘性土が腐朽対策に有効であることや、水位変動による腐朽程度の進行状況、実際に木杭を利用することによる二酸化炭素削減効果、経済的有利性など多くの知見を得ることができました。

さらに、設計に用いる安全率の考え方や設計方法を確立するために、平成22年からは、「杭丸太による路体・路床改良の設計方法の研究・開発」を行っています。具体的には、「室内模型軟弱地盤を用いた地盤補強のための丸太打設が地盤支持力に与える影響」や「福井県小浜市内の県道の軟弱地盤対策として丸太打設による路体補強実験」の研究です。

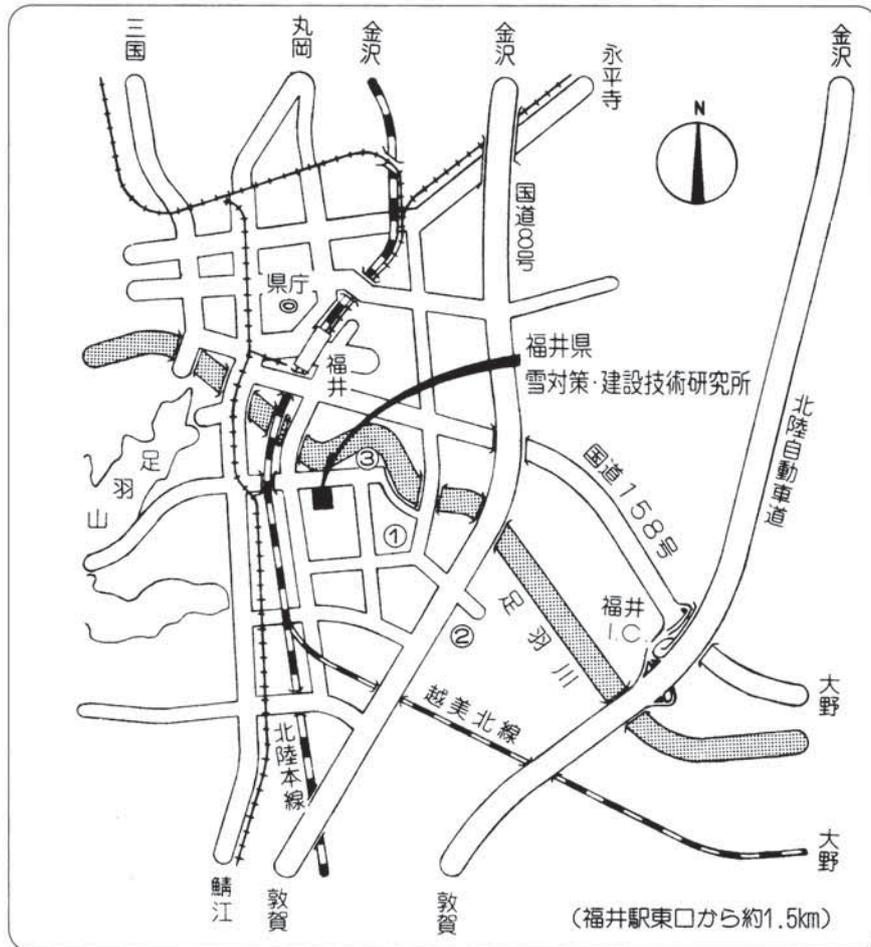
今回、これらの研究成果を「丸太杭工法を用いた軟弱地盤対策の設計・施工マニュアル」としてまとめました。このマニュアルが多くの方に有効に活用されますと幸いです。今後、本マニュアルについて御意見をお寄せいただき、さらに技術の蓄積と練磨を重ねていきたいと考えています。

最後に、御指導いただきました、佐賀大学名誉教授 三浦哲彦先生、佐賀県木材利用研究会（会長：宮副一之氏）、共同研究を行いました関係機関、福井県木材利用研究会（会長：福井大学名誉教授 荒井克彦先生）、土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（委員長：京都大学名誉教授 今村祐嗣先生）および土木学会木材工学委員会（委員長：早稲田大学 濱田政則先生）の関係各位に厚く感謝申し上げますとともに、今後ともご指導ご鞭撻賜りますようお願い申し上げます。

平成25年3月

福井県雪対策・建設技術研究所
所長 大崎 辰巳

■所在地見取図



- (注) ① 福井南郵便局
② 福井県産業会館
③ 福井刑務所

丸太杭工法を用いた軟弱地盤対策の 設計・施工マニュアル ～産学官共同研究報告書～

発行日 平成25年3月
発行所 福井県木材利用研究会
福井県雪対策・建設技術研究所
〒918-8108 福井市春日3丁目303
TEL 0776-35-2412
FAX 0776-35-2445
<http://www.fklab.fukui.fukui.jp/yk/>
E-mail yukiken@ain.pref.fukui.jp
印刷所 足羽印刷株式会社
TEL 0776-23-3732
