

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業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)	