

# 丸太基礎杭設計マニュアル



平成 26 年 3 月

長野県林務部

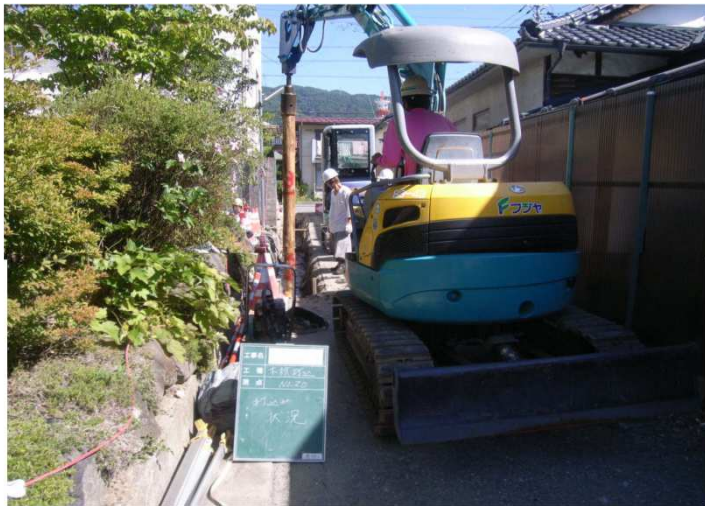
長野県木材協同組合連合会



農業用水路の打設



道路改良事業側溝の打設



道路改良事業



道路改良事業側溝の打設



道路改良事業



道路改良事業

(いずれの写真もエンジン停止状態で撮影)

## ま え が き

木杭による地盤強化は古くから用いられている工法であります、近年代替品が多く活用され木杭で施工する事例は激減しています。

しかしながら、東日本大震災により、東京湾岸の液状化現象による地盤沈下が顕在化し、その対策として丸太打設による地盤改良の有効性が実証されつつあります。

丸太を利用することにより、カーボンストック効果、低コスト化が図られ、森林整備の促進に大きく貢献することができます。

このため、長野県木材協同組合連合会では平成 24 年度において長野庁の補助事業である「地域材供給倍増事業」を導入し、液状化現象対策に取り組み、平成 25 年度では県の「信州の木先進的利用加速化事業」により、軟弱地盤対策に取り組む諏訪市の発注工事等にカラマツの杭材を供給してきました。

これらの施工について、技術的な見地から多くの設計者、現場監督員等に長野県産の丸太を使っていただくことを考え、参考資料として基礎杭設計方法をまとめました。

平成 26 年 3 月

長野県木材協同組合連合会

理事長 細川 忠國

## 目 次

1	総則	
1.1	丸太基礎杭設計マニュアルの位置づけ	1
1.2	丸太基礎杭の定義	2
1.3	用語の定義	3
1.4	適用範囲	4
1.5	杭の配列	5
2	丸太基礎の設計	
2.1	調査	6
2.2	許容支持力の算定方法	7
2.3	材料特性に基づく木杭の許容支持力の計算	12
2.4	杭の配置と反力の計算例	13
3	施工時の留意事項	15
4	丸太基礎杭の設計・施工フロー	16
5	木材を土木用材として安心して使ってもらうためのQ&A	17
5.1	木材を土木用材として使うことは、環境に優しいのでしょうか？	17
5.2	木材は、なぜ腐朽するのでしょうか？	17
5.3	木材腐朽菌とは何ですか？	18
5.4	木材腐朽菌は、どのような環境を好むのでしょうか？	18
5.5	木材を土木用の杭として土に挿して使う場合、どこから腐朽しますか？	19
5.6	土中で使う木杭は長持ちしますか？	19
5.7	土質により、木材の腐朽の進行度合いは違いますか？	19
5.8	樹種によって、耐久性にどの程度の差がありますか？	20
5.9	昔からカラマツは木杭として使われていますが、本当に適しているのでしょうか？	20
5.10	カラマツ丸太は、皮付き・皮むきのいずれで使うべきでしょうか？	21
5.11	防腐剤の加圧注入処理の効果は、どの程度でしょうか？	21
5.12	防腐剤の加圧注入処理は、簡単にできるのでしょうか？	22
5.13	防腐剤の毒性は、どの程度でしょうか？	22
5.14	長野県の丸太はどういう経路で、どんな丸太が販売されていますか？	23
5.15	丸太の基準強度は、国土交通省の「無等級材の基準強度」と同じですか？	24
5.16	木杭の計算に使用する安全率は、道路橋示方書と同じとすべきですか？	24

Q&Aにつきましては、丸太杭を中心にまとめてありますが「森林土木製構造物施工マニュアル」等に掲載されています。「森林土木製構造物設計等指針」にも、多くのことが記載されていますので、参考としてください。  
[http://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/gijutu/mokuzai\\_riyou.html](http://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/gijutu/mokuzai_riyou.html)

## 地域材供給倍増事業・検討委員会・委員名簿

新井藤弘	武重
高見沢敏明	双葉林業（資）
三尾修一	木曾土建工業(株)
藤本隆史	大栄産業(株)
芳川幸一	長野県森林組合連合会
小相沢徳一	東信木材センター(連)
高見勝人	南信木材センター
井上巖	長野森林組合
沼田淳紀	飛島建設(株)技術研究所
桃原郁夫	(独)森林総合研究所
柴田直明	長野県林業総合センター
山内仁人	長野県林業総合センター
毛受誠	長野県林務部
駒瀬勉	中部森林管理局
徳原敏昭	長野県木材協同組合連合会
協力	
畠俊郎	長野工業高等専門学校

## 1 総則

### 1. 1 丸太基礎杭設計マニュアルの位置づけ

本マニュアルは、多くの設計者、現場監督員等に長野県産丸太を使ってもらうことを考え、基礎杭設計方法をまとめた参考資料である。

#### ○設計マニュアル作成の背景

S40年代、通直で腐りにくく成長が早いという特徴を持ったカラマツ材は、港湾の埋め立てや河川の護岸工事に利用され、長野県の杭材取扱量は、10万m<sup>3</sup>を超えていた。現在、カラマツ等の土木用材製品出荷量は、全国5番目(※1)にあるが、建築土木工事の使用材料が木材からコンクリートや鉄に移行したことや、公共工事の減少より現在27千m<sup>3</sup>(H24)と減少している。

しかしながら長野県の土木工事の木材利用は、カラマツ材が中心であり、今後も安定的な利用が望まれている。また、環境への配慮意識の高まりから、様々な自然共生型の工法への木材利用が進んでおり、かつ、地中や水中で長期間用いられるものは、二酸化炭素の固定の面からも期待されている。

今回の丸太基礎杭設計マニュアルは、多くの設計者、現場監督員等に長野県産丸太を使ってもらうことを考え、杭の関係で多くの土木関係技術者に使用されている道路橋示方書と、森林関係で多く用いられてきた森林土木ハンドブックを中心にまとめた。

また、軟弱地盤対策には、砕石入れ換えなどの置換基礎工法から始まり、石灰系やセメント系などの地盤改良工法、サウンドコンパクション工法など様々な工法があるが、その比較工法の一つとして丸太基礎杭を検討していただき、長野県産丸太の活用に寄与していただきたい。

※1 農林水産統計 平成24年木材統計

## 1. 2 丸太基礎杭の定義

- (1) 樹種は、カラマツを基本とするがスギ等も使用可能である。
- (2) 木杭の選定にあたっては、県産材の利用促進に努めること
- (3) 皮剥ぎ丸太を使用すること

全国的にも木杭の過去からの実績は多くあるが、県内においても、昭和3年に建築された諏訪市の片倉館の下には直径17cm、長さ5.5mの松丸太が数千本打ち込まれ、昭和19年の東南海大地震の震度6の揺れに周辺の多くの建物が倒半壊する中、片倉館はほとんど揺れず、地震後40年たった調査においても外観・内装等に少しも破損状況がなかったという実例や松本城の地下から木杭が出てきたなどの実例がある。

これらのことや全国的な事例から、地盤中の地下水位以下では空気が遮断され、丸太が長期間健全性を保つことがわかる。このような状態が維持されれば、丸太は100年を優に超える長期間、健全性を保つものと考えられ、構造物の耐用年数を考慮しても十分耐久性を満足する材料といえる。

### 【参考文献】

「東南海大地震記録集」

「国内の構造物基礎における木材利用事例と設計方法の変遷」

### 1. 3 用語の定義

本設計マニュアルで用いる主な用語の意味は以下のとおりとする。

- (1) 極限支持力：構造物を支持し得る地盤最大抵抗力
- (2) 許容支持力：極限支持力を所要の安全率で除した支持力
- (3) 常時：荷重の組み合わせにおいて、地震の影響および風荷重を考慮しない状態
- (4) 地震時：荷重の組み合わせにおいて、地震の影響を考慮する状態
- (5) レベル1地震時：地震時のうち、地震の影響として対象構造物の共用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）を考慮する状態
- (6) 支持杭：先端が良質な支持層に貫入している杭
- (7) 摩擦杭：杭から伝わる荷重のほとんどを杭周辺の摩擦抵抗力で支持する杭

#### 【参考文献】

道路橋示方書（I 共通編・IV下部構造編）・同解説 pp.114,



## 1. 4 適用範囲

- (1) 対象構造物：小規模構造物
- (2) 荷重条件：鉛直荷重のみ支持する構造とし、水平支持力は考慮しない
- (3) 木杭条件：木杭は常時地下水位以下にあることか、又は腐朽に対する対策を行うこと

### (1) 対象構造物について

木杭は、断面性能が他の杭に比べ小さいため、主として鉛直荷重のみ支持する構造とし、小規模な擁壁、水路等に使用する。

#### ○ 施工事例

- ・佐賀県：H=2 m以下のL型擁壁に適用
- ・福井県：H=2 m以下のL型擁壁・重力式擁壁・U型擁壁・1 m×1 m程度のボックスカルバート・H=2 m以下の路体盛土に適用。
- ・新潟県：重要度の高い構造物を除いた三面張水路・水槽工・農道の横断暗渠等に適用。）

### 【参考文献】

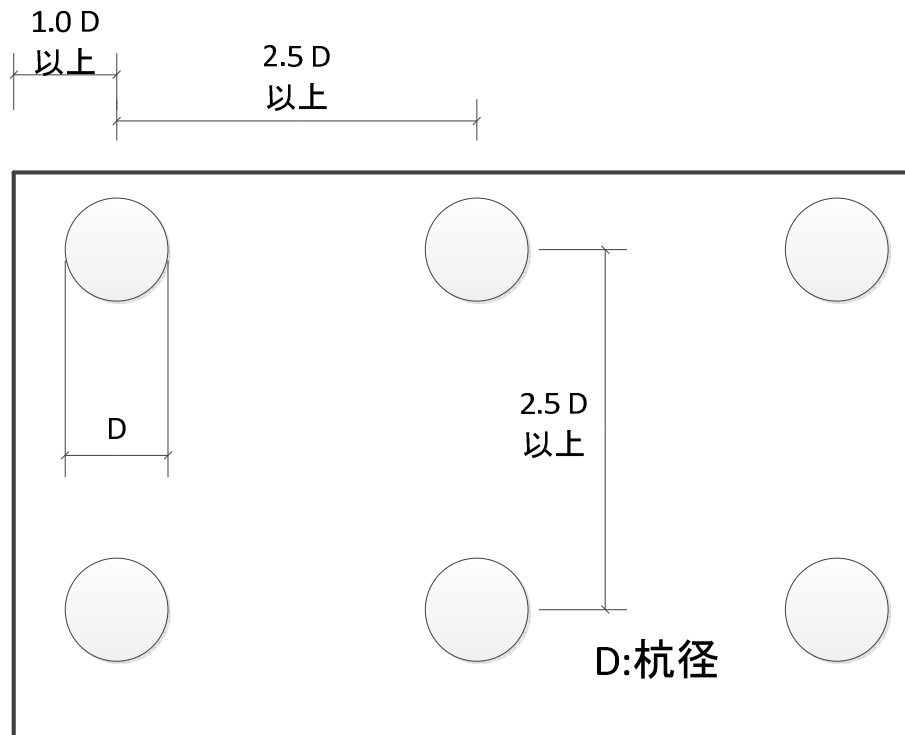
森林土木ハンドブック

## 1. 5 杭の配列

杭の配列は、杭基礎上の構造物の形状や寸法、杭の寸法や本数、群杭の影響、施工条件等を考慮し、長期の接続荷重に対して過度に特定の杭に荷重が集中せず、できる限り均等に荷重を受けるように定めるものとする。

良質な地盤に施工される杭の場合でも、長期の接続荷重に対してできる限り均等に荷重を受けるように配列することを基本とする。

杭の中心間隔が小さくなると群杭としての影響が著しくなるが、杭径の 2.5 倍以上であれば群杭の影響は比較的小さいとともに、施工性についても一般には大きな問題はないと考えられることから杭の最小中心間隔及びフーチング縁端距離は道路橋示方書・同解説IV 下部構造編を参考に下図に示す値を標準とする。



施工場所の制約条件によりフーチングを小さくせざるを得ないような場合は杭中心間隔 2.5 倍より小さくすることも考えられるが、この場合には群杭の影響等について十分に検討することとする。

### 【参考文献】

道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説 pp.381-382

## 2. 1 調査

小規模構造物に関して木杭の適用を検討している場合には、設計および施工に必要な情報を得るために十分な調査をしなければならない。

調査においては、表 2.1.1 を参考に対象地盤に応じた適切な調査を行い必要な値を得るものとする。なお、下表はあくまでも参考例として記載したものである。

また、土質定数についても適切な調査を行い必要な値を算定する。

表 2.1.1 調査方法と調査事項との関係

調査項目	調査方法	対象地盤	得られる値
ボーリング	ロータリーボーリング オーガーボーリング	全て 粘性土，砂質土	
サンプリング	シングルコアチューブサンプラー 固定ピストン式シンウォールサンプラー ロータリー式2重管サンプラー ロータリー式3重管サンプラー ブロックサンプリング	粘性土，砂質土 軟弱な粘性土，緩い砂質土 硬質な粘性土 硬質な粘性土，砂質土 粘性土，砂質土	
サウンディング	標準貫入試験 ベーンせん断試験 動的コーン貫入試験 スウェーデン式サウンディング	砂質土，粘性土 軟弱な粘性土 砂質土，粘性土 砂質土，粘性土	N 値 $\tau_v$ N <sub>d</sub> N <sub>sw</sub>
土質試験	一軸圧縮試験 三軸圧縮試験(UU)	粘性土 全て	qu Cu

### 【参考文献】

道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説 pp.134,135

地盤調査の方法と解説

地盤調査 基本と手引き

## 2. 2 許容支持力の算定方法

### 2. 2. 1 支持杭の計算

地盤から求まる杭の極限支持力は、適切な地盤調査を行った上で下記に示す支持力推定式から算出するか、鉛直載荷試験から求めることとする。

地盤から求まる杭の極限支持力( $R_u$ )を支持力算定式から算出する場合に以下の式(2. 2. 1. 1)を用いる。

$$R_u = q_d \times A + U \times \sum (L_i \times f_i) \quad \text{— 式(2. 2. 1. 1)}$$

ここで、

$R_u$  : 地盤から決まる杭の極限支持力(kN)

$q_d$  : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度(kN/m<sup>2</sup>)

$A$  : 杭先端面積(m<sup>2</sup>)

$U$  : 木杭の周長 (m) なお、杭の周長は末口の値を用いる

$L_i$  : 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応力度(kN/m<sup>2</sup>)

なお、杭先端の極限支持力度は式(2. 2. 1. 2)を用いることとする。

$$q_d / \bar{N} = 100 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \text{— 式(2. 2. 1. 2)}$$

ここで、

$\bar{N}$  : 杭先端地盤の設計用 N 値

$$\bar{N} = (N_1 + \bar{N}_2) \div 2$$

$N_1$  : 杭先端位置の N 値

$\bar{N}_2$  : 杭先端から上方へ 4D の範囲における平均 N 値

周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度  $f_i$  の算出は、表 2. 2. 1. 1 に示すとおりとする。

表 2.2.1.1 最大周面摩擦力度(kN/m<sup>2</sup>)

地盤の種類	砂質土	粘性土
施工方法		
打込み杭工法 (打撃工法, バイブロハンマ 工法など)	2N(≦100)	C 又は 10N(≦150)

ただし、cは地盤の粘着力(kN/m<sup>2</sup>), Nは標準貫入試験のN値とする。

また、N値が5未満の軟弱層では粘着力をN値から推定することは困難なため、別途土質試験により粘着力を求め最大周面摩擦力度を推定することを基本とする。ただし、粘着力を直接求めることが困難な現場においては、ベーンせん断試験結果から粘着力を換算により求めることや、表 2.2.1.1 に示す換算式を検討の結果から適用した新潟県の事例がある。

杭頭における杭の軸方向押込み支持力(R<sub>a</sub>)の算出には式(2.2.1.3)を用いることとする。

$$R_a = \gamma / n \times R_u \quad \text{— 式(2.2.1.3)}$$

ここで、

R<sub>a</sub> : 杭頭における杭の軸方向許容押込み支持力(kN)

n : 表 2.2.1.2 に示す安全率

γ : 表 2.2.1.3 に示す極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数

表 2.2.1.2 安全率

杭の種類	支持杭
荷重状態	
常時	3
レベル1地震時	2

※通常の設計においては「常時」の安全率を用いることとする。

なお、「レベル1地震動とは、従来の設計基準類で標準的に想定されていた地震動に対応するものであって、構造物の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動である。換言すれば、すべての構造物がその供用期間内に体験する確率が極めて高い地震であって、すべての構造物に対して損傷を受けないと言う耐震性能を保有させることは、社会的な要請と合致するばかりでなく経済的にも十分に容認されるものである。ここで損傷を受けないとは、地震後になんらかの補修・補強を行わないで使用できることを意味し、必ずしも

全くの無被害であることを意味するものではない。

表 2.2.1.3 極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数

極限支持力推定法	安全率の補正係数
支持力推定式	1.0
鉛直載荷試験	1.2

※載荷試験を行った場合、以下の条件を満たせば補正係数 1.2 を適用することができる。

- 1) 地盤構成がほぼ同じであること。
- 2) N 値や圧縮強度等の地盤の強度特性が類似していること。
- 3) 杭長がほぼ同じであること。

なお、それ以外の条件における設計では補正係数 1.0 を用いることとする。

【参考文献】

道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説 pp.383-394

土木構造物の耐震基準等に関する提言「第二次提言」解説 土木学会 平成 8 年 5 月

基礎木杭設計指針，新潟県農地部 平成 23 年 5 月

森林土木ハンドブック（第 7 版）

## 2. 2. 2 摩擦杭の計算

地盤から求まる杭の極限引抜き抵抗力は、地盤調査結果に基づいて推定した各層の最大周面摩擦力度の和として算出するか、引抜き試験結果から求めることとする。

地盤から求まる杭の極限引抜き抵抗力を地盤調査結果に基づいて算定した各層の最大周面摩擦力度の和として算出する場合には以下の式(2.2.2.1)を用いる。

$$P_u = U \times \sum (L_i \times f_i) \quad \text{— 式(2.2.2.1)}$$

ここで、

$P_u$  : 地盤から求まる杭の極限引抜き抵抗力(kN)

$U$  : 杭の周長(m)なお、杭の周長は末口の値を用いる

$L_i$  : 周辺摩擦力を考慮する層の層厚(m)

$f_i$  : 周辺摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度(kN/m<sup>2</sup>)

杭頭における杭の軸方向引抜き抵抗力( $P_a$ )の算出には式(2.2.2.2)を用いることとする。

$$P_a = 1/n \times P_u \quad \text{— 式(2.2.2.2)}$$

$P_a$  : 杭頭における杭の軸方向許容引抜き抵抗力(kN)

$n$  : 表2.2.2.1に示す安全率

$P_u$  : 地盤から求まる杭の極限引抜き抵抗力(kN)

表 2.2.2.1 安全率

荷重状態 \ 杭の種類	摩擦杭
常時	3
レベル1地震時	2

なお、「レベル1地震動とは、従来の設計基準類で標準的に想定されていた地震動に対応するものであって、構造物の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動である。換言すれば、すべての構造物がその供用期間内に体験する確率が極めて高い地震であって、すべての構造物に対して損傷を受けないという耐震性能を保有させることは、社会的な要請と合致するばかりでなく経済的にも十分に容認されるものである。ここで損傷を受けな

いは、地震後になんらかの補修・補強を行わないで使用できることを意味し、必ずしも全くの無被害であることを意味するものではない。

○ 木杭の安全率について

鋼管杭やコンクリート杭は、先行掘りした上で杭の挿入を行うが、木杭は、そのままの地面に圧入すること、自重が軽いこと、杭表面の水分を吸収し地盤との密着性が高くなること及びテーパー（末口から元口へと太くなっていくこと）があることなどから、周辺地盤への圧密効果や抵抗力が期待できるため、鋼管杭等に比べ安全側に働く傾向にある。

【参考文献】

道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説 pp.395-398

土木構造物の耐震基準等に関する提言「第二次提言」解説 土木学会 平成8年5月

森林土木ハンドブック（第7版）

「木杭の周面摩擦力と先端抵抗について」水谷羊介氏、中村博氏、今野雄太氏



## 2. 3 材料特性に基づく木杭の許容支持力の計算

丸太基礎杭を用いる場合には、材料特性に基づく木杭の許容支持力( $R_{aw}$ )を求め先に求めた杭の許容支持力( $R_a$ )を上回っていることを確認することとする。

木杭を用いた場合の材料から求まる許容支持力は下記に示す式により求めることとする。

$$R_{aw} = \sigma_{cr,a} \times A \quad \text{— (式 2.3.1)}$$

ここで、

$\sigma_{cr,a}$  : 木材の許容応力度で座屈応力度  $\sigma_{cr}$  に安全率を考慮した下表に示す式により求める。

材種	針葉樹	広葉樹
L/r	L/r < 100	L/r < 100
$\sigma_{cr,a}$ (N/mm <sup>2</sup> )	7 - 0.192(L/D) (式 2.3.2)	8 - 0.232(L/D) (式 2.3.3)

なお、

A : 杭の実断面積(mm<sup>2</sup>)

L : 杭長(mm)

$$r : \text{断面 2 次半径} = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{mm})$$

$$I : \text{断面 2 次モーメント} = \frac{\pi D^4}{64} \quad (\text{mm}^4)$$

D : 杭の直径 (mm)

(計算例)

直径 15cm, 長さ 3m のカラ松丸太を杭材として用いた場合の杭材から求まる許容支持力を算定する。

$$\begin{aligned} R_{aw} &= \sigma_{cr,a} \times A \\ &= [7 - 0.192 \times (L/D)] \times \pi D^2 / 4 \\ &= [7 - 0.192 \times (3000/150)] \times 150^2 \pi / 4 \\ &= 55842 \text{N/本} \\ &= 55.8 \text{kN/本} \end{aligned}$$

【参考文献】 森林土木ハンドブック p.559

## 2. 4 杭の配置と反力の計算例

### (1) 杭の所要本数

小規模な擁壁等の杭基礎では、鉛直力のみを杭に負担させるとして設計することが多い。この場合の杭の所要本数は、上部構造の地盤反力をもとに次式により求めることができる。

$$n = \frac{1}{2Ra} (q_1 + q_2) \cdot B \cdot L \quad (\text{式 2.4.1})$$

ここに、

- $n$  : 杭の所要本数
- $Ra$  : 杭の許容支持力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $q_1$  : 底版前端の地盤反力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $q_2$  : 底版後端の地盤反力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $B$  : 底版幅 (m)
- $L$  : 躯体の延長 (m)

### (2) 杭の配置

杭の配置は、各杭に均等に鉛直荷重が加わるようにその配置を決めるのが理想的である。杭の配置は次式を参考に決定する。

$$Q = \frac{1}{2} (q_1 + q_2) \cdot B \quad (\text{式 2.4.2})$$

$$\tan\theta = \frac{q_1 - q_2}{B} \quad (\text{式 2.4.3})$$

$$A_i = \frac{Q_i}{Q} \quad (\text{式 2.4.4})$$

$$X_i = \frac{-q_2 + \sqrt{q_2^2 + (q_1 + q_2) \cdot A_i \cdot B \cdot \tan\theta}}{\tan\theta} \quad (\text{式 2.4.5})$$

$$g_i = X \cdot \tan\theta + q_2 \quad (\text{式 2.4.6})$$

$$G_i = \frac{2g_i + g_{i-1}}{3} \cdot \frac{X_i - X_{i-1}}{3} \quad (\text{式 2.4.7})$$

$$K_i = G_i + X_{i-1} \quad (\text{式 2.4.8})$$

ここに、

- $q_1$ : 底版前端の地盤反力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $q_2$ : 底版後端の地盤反力 (kN/m<sup>2</sup>)

$Q_i$  : 0 点から  $X_i$  の範囲の地盤反力 (kN)

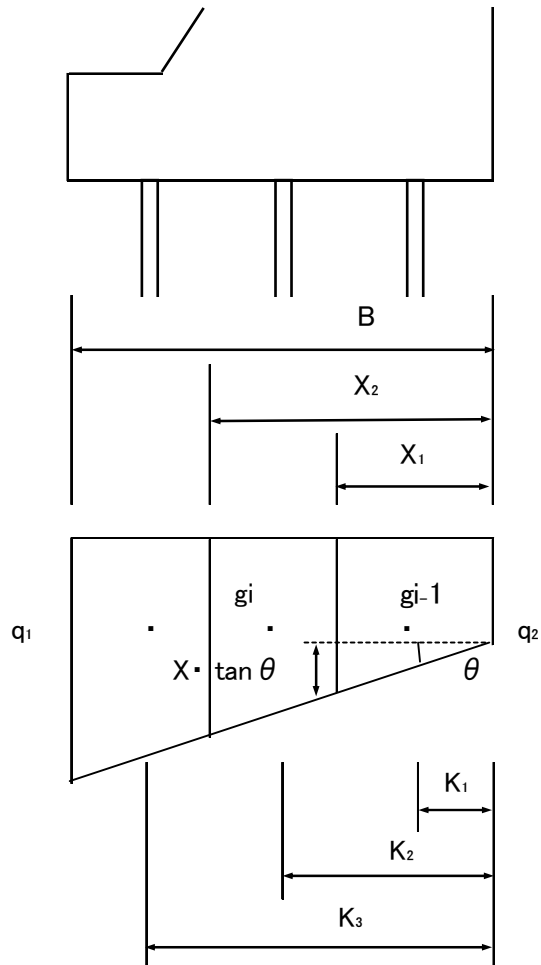
$X_i$  : 0 点から  $A_i$  に対する距離 (m)

$B$  : 底版幅 (m)

$g_i$  :  $X_i$  の位置における地盤反力強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$G_i$  :  $i$  番目の杭が負担する面積の重心位置 (m)

$K_i$  : 0 点から  $i$  番目の杭までの距離 (m)



【参考文献】

森林土木ハンドブック p.562

### 3 施工時の留意事項

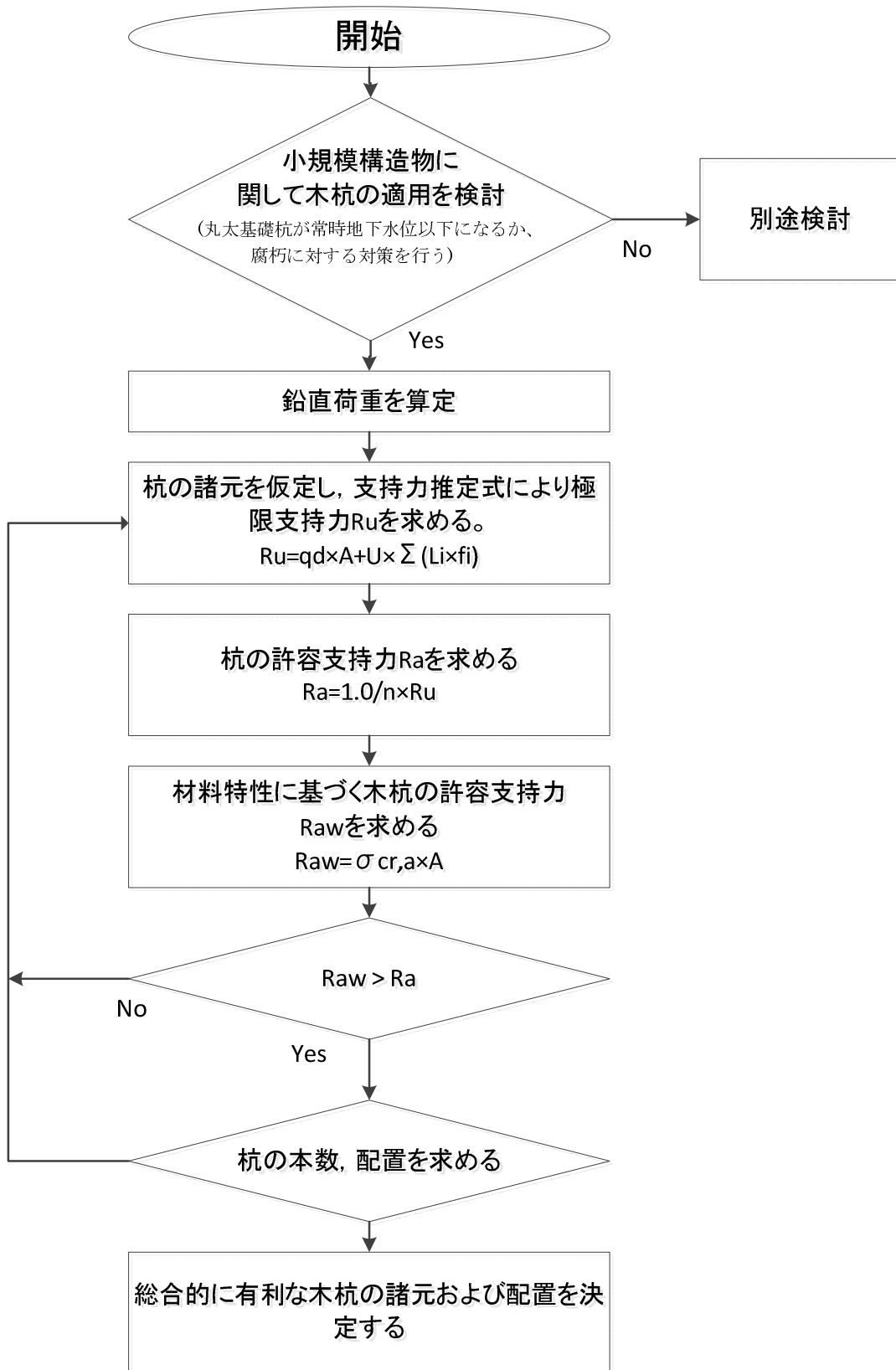
杭本体に曲げを生じさせず、軸力のみを負担させる構造とするため、施工に当たっては、杭頭部を一定の高さにし、杭と杭の間には擁壁基礎部に行う敷礫を詰めるとともに目潰しを行い、十分につき固めた上で構造物を施工する。

このとき、構造物がコンクリート造の場合には、杭をコンクリート中に埋め込まないように留意することが必要である。

#### 【参考文献】

森林土木ハンドブック p.567

#### 4 丸太基礎杭の設計・施工フロー



## 木材を土木用材として安心して使ってもらうためのQ & A

木材を土木用材として安心して使っていただけるよう、土木関係の設計者や現場監督等の皆様からよく聞かれる疑問・質問に対して、以下に簡単な答えをまとめてみました。

木材の特性を理解した上で、適材適所による木材の利用拡大をさらに進めていただき、その結果として健全な森林（国土）が増えることを期待しております。

### 5.1 木材を土木用材として使うことは、環境に優しいのでしょうか？

(答)

間伐（間引き伐採）は森林を健全な状態にし、二酸化炭素の吸収を促進します。また、高齢化し成長の鈍った林を伐採して植林し直すと、若い木々が勢いよく成長して、二酸化炭素の吸収が増大します。従って、特に人工林（人間が植樹して造った林）では、間伐・伐採・植林を繰り返すことが大切です。

伐採した木を土木用材として使う場合は、長さを揃えて切ったり皮をむいたりする程度の加工しかしません。そのため、加工時に排出される二酸化炭素はわずかです。

土木用材として使っている間も、木材中に炭素を貯蔵したままの状態です。空気中の二酸化炭素濃度を下げる（地球の温暖化を防止する）のに役立っています。

このように、木材はその製造（成長）、利用の過程において、二酸化炭素の吸収・貯蔵という、環境に優しい効果を発揮しています。そして、大量に使えば使うほど、その効果は増大します。

さらに、健全な森林は地滑りの軽減等、国土の安全にも貢献しています。川や海の水質改善にも役立っています。

ですから、ぜひ木材を土木用材としても積極的に使ってください。

### 5.2 木材は、なぜ腐朽するのでしょうか？

(答)

木材は、最終的に枯渇してしまう石油資源等と違い、繰り返し再生可能な生物材料の一つです。樹木は、空気中の二酸化炭素と根から吸い上げた水を使って葉の中で光合成をし、自分の体（幹や枝）を作っています。そして、死んだ後はいろいろな生物などによって分解され、再び二酸化炭素と水に戻ります。木材はこのような自然の循環の中で生成・消滅しているので、切り倒したまま放っておくと徐々に分解されていきます。この分解の中で、特に木材腐朽菌によるものを「腐朽」と呼んでいます。

木材を腐朽させずに長期間使いたい場合は、常に乾燥した状態または常に水没した状態で使用する、防腐剤<sup>※注</sup>を加圧注入して使用するなど、いろいろな工夫が必要になります。

注：今日の JIS や JAS では「木材保存剤」という呼び方になっていますが、このパンフレットでは一般の方にも分かりやすくするため、馴染みのある「防腐剤」という表現に統一してあります。

### 5.3 木材腐朽菌とは何ですか？

(答)

我々は木の幹の部分を木材として利用していますが、この木材を作っている成分そのものを分解し、栄養源とする菌を木材腐朽菌と言います。食用にするシイタケなども、木材腐朽菌の一つです。木材を作っている成分そのものを分解してしまうので、この菌に侵されると木材はボロボロになってしまいます。

木材腐朽菌は腐った木材中やその周辺の土の中にいますが、胞子を作り、風に乗ってどこへでも飛んでいきます。

### 5.4 木材腐朽菌は、どのような環境を好むのでしょうか？

(答)

木材腐朽菌が活発に活動するために必要なのは、酸素・水分・養分・温度です。これらの条件がすべて揃った場合に、はじめて腐朽が進行します。

酸素は空気の中に含まれているので、たいていの場所ではいつでも供給されてしまいます。河川の底や地下水位以下で木材が腐朽されないのは、この酸素がないからです。

水分は、雨水の他、川や土中からも補給されます。多くの木材腐朽菌が好む木材の含水率は、50～100%です。従って、常に乾燥した状態で使えば、ほとんど腐朽されずにすみます。

養分は、木材そのものです。心材（赤身）部分は木材腐朽菌の嫌う成分を大なり小なり含んでいるので、樹種によって腐朽の速度が異なります。辺材（白太）部分は、どの樹種でも簡単に腐朽されてしまいます。木材を防腐剤で処理すれば、その部分は養分として使えなくなるので、長期間腐朽されずに利用できます。

温度も、木材腐朽菌の活動に関係します。他の生物と同様、一般的には 20～30℃を好みます。

### 5.5 木材を土木用の杭として土に挿して使う場合、どこから腐朽しますか？

(答)

最初に腐朽するのは、地表面に近い部分〔地際(ぢぎわ)部分〕です。ここは空気が供給されるとともに、水分も多いからです。

次に腐朽し易いのが、杭の上端部と地表面に近い土中です。杭の上端部は雨水を吸い込んで湿ったままの状態になりやすいので、腐朽も進みます。木橋の欄干などで柱の先端を銅板などで覆っているのは、腐朽しやすい先端部を守るための知恵です。杭の地中部も水分が多いので、杭の周辺にスペースが生じて空気が供給されたり、地表面から腐朽が進み、木材内に空気が入ってきたりすると腐朽します。

### 5.6 土中で使う木杭は長持ちしますか？

(答)

これまでの調査結果によれば、地下水位以下であれば少なくとも50～60年以上、全く問題なく使用できています。

地下水位の変動域、さらにその上の地下水位以浅になると、多少腐朽されやすくなります。とは言え、東京都内の学士会館など、地下水位が低下しても数十年間問題なく使用できている例もあります。従って、地下水位以浅だからといって、必ずしも急激に腐朽が進むわけではありません。

日本では、例えば城やその石垣の下などに木材を敷いています。地盤が軟弱な諏訪湖周辺(長野県)の建物やJR新潟駅の駅舎の下にも木杭が使われ、現在まで何度もの大きな地震に耐えています。最近改修工事が終わった東京駅の下にも木杭がたくさん打たれていて、改修時にほとんど腐朽していない状態で掘り出され、話題になりました。このように、木杭は木材を使い慣れた日本人の知恵の一つであり、日本全国で長期間にわたって使い続けられてきた技術です。

### 5.7 土質により、木材の腐朽の進行度合いは違いますか？

(答)

砂質土と粘土では、地下水位以浅の場合、一般に酸素を通しにくい粘土の方が腐朽されにくいと言えます。しかし、地下水位以下であれば、土質の影響はほとんどありません。



## 5.8 樹種によって、耐久性にどの程度の差がありますか？

(答)

辺材（白太）部分は、どの樹種も腐朽されやすく、樹種による差はほとんどありません。

しかし、心材（赤身）部分は、樹種によって色が違うように、木材腐朽菌を寄せ付けない成分の種類や含有量も異なっています。そこで、一般に下記のような表が作られています。

なお、この表は3×3×60cm程度の杭を地面に挿して実験したものであり、試験地は茨城県です。杭の太さや杭を打つ地域によって、耐用年数は違ってきます。勿論、土に挿して使うのか、地上あるいは地中で使うのかによっても違ってきます。従って、あくまでも樹種間の比較の目安として見てください。

### 心材（赤身）の耐久性※

耐久性の区分	樹種名
大（野外で7～8.5年）	ヒノキ、アスナロ、ヒバ、クリ、ケヤキ、ニセアカシヤ
中（野外で5～6.5年）	カラマツ、スギ、クヌギ、ナラ
小（野外で3～4.5年）	モミ、アカマツ、クロマツ、コナラ
極小（野外で2.5年以下）	トドマツ、エゾマツ、シラカンバ、ブナ

※ 森林総合研究所監修「改訂4版 木材工業ハンドブック」（丸善）のP.787による。

## 5.9 昔からカラマツは木杭として使われていますが、本当に適しているのでしょうか？

(答)

木杭に求められる性能は、耐久性と強度でしょう。

まず、耐久性については、例えば上の表でカラマツとスギの心材（赤身）の耐久性は同じく「中」ランクです。辺材（白太）の腐朽しやすさも同程度です。

しかし、同じ太さの丸太を使う場合、カラマツの方が腐朽されやすい辺材（白太）部分が薄く、耐久性に優れた心材（赤身）部分の比率が高くなります。

そのため、丸太全体で見れば、カラマツは耐久性に優れていると言えます。強度については、下記の表のとおりです。

### 無等級材の基準強度※

樹種	基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	圧縮強さ	引張強さ	曲げ強さ	せん断強さ
アカマツ、クロマツ	22.2	17.7	28.2	2.4
カラマツ、ヒバ、ヒノキ	20.7	16.2	26.7	2.1
ツガ	19.2	14.7	25.2	2.1
モミ、エゾマツ、トドマツ、スギ	17.7	13.5	22.2	1.8

※ 国土交通省告示第1524号（旧 建設省告示第1452号）の「六 無等級材」による。

従って、木材価格等も含めた総合評価で、木杭にはカラマツが適していると評価され、多用されてきたのでしょう。

#### 5.10 カラマツ丸太は、皮付き・皮むきのいずれで使うべきでしょうか？

(答)

長野県から出荷されているカラマツ杭を調べてみると、主として中京圏・四国は皮付き、関東圏は皮むきとなっています。一般的な用途の場合は、いずれの使い方もあるようですが、原則としては、設計者の指示に従うことになります。

設計者からの指示がなく、かつ、木杭として利用する場合には、皮をむいた方がよいように思われます。摩擦杭として使用する時には、皮付きだと皮がはがれ、期待する摩擦力が得られない場合が考えられます。支持杭として支持力のみを期待する場合はいずれでもよいと思われますが、通常加算される摩擦力も期待するならば、皮むきの方がよいでしょう。

また、皮付きは、キクイムシなどの虫害も受けやすい傾向にあります。

#### 5.11 防腐剤の加圧注入処理の効果は、どの程度でしょうか？

(答)

スギの辺材を地面に挿し、最も腐りやすい地際部の腐朽状況を観察すると、無処理の場合は3年程度で腐朽してしまうのに対し、防腐剤（ACQ）を加圧注入した場合は25年程経過した現在もまだほとんど腐朽が進行していないそうです（茨城県での実験）。

従って、防腐剤の加圧注入処理の効果は絶大です。ただし、これは防腐剤が完全に注入された場合の話です。太い丸太の内部まで防腐剤を完全に注入することはほとんど不可能なので、実際の耐久性はこれよりも少なめになります。

特に、カラマツの心材（赤身）へは防腐剤の注入が困難なので、仮に防腐剤の加圧注入をしたとしても、カラマツ心材（赤身）の耐久性改善はあまり期待できません。勿論、カラマツの辺材（白太）部分へは防腐剤が入りますので、辺材（白太）部分の耐久性は改善されます。

なお、防腐剤の塗布処理でもある程度の防腐効果はありますが、加圧注入処理ほどの効果は期待できません。

## 5.12 防腐剤の加圧注入処理は、簡単にできるのでしょうか？

(答)

防腐剤の加圧注入処理自体は、時間単位で実施できます。ただし、その前後に乾燥処理が必要となるので、それに多くの時間を要します。

木材は生物材料なので、主として長さ方向に細長い細胞がぎっしり並んでいます。我々が使う部分では細胞の殻（細胞壁）だけが残った状態になっていて、殻の中は空洞状態です。立木の時には、この空洞に水が入っています。そこで、防腐剤を注入する前に木材を乾燥させ、この空洞内の水を抜き、内部を空にする必要があります。含水率で言うと、30%程度にまで乾燥させる必要があります。含水率30%というのは、乾燥割れが発生しはじめる程度の乾燥状態です。従って、県によっては乾燥割れが十分に発生してから防腐剤を加圧注入するように指導しているところもあります。

防腐剤（通常は水溶液）を加圧注入した後も、木材中に薬剤を固着させるため、再度乾燥させる必要があります。

注入処理前後の乾燥（養生期間を含む）には、人工乾燥機を用いても合計で1ヶ月以上、天然（自然）乾燥では合計で数ヶ月を要します。必要十分な乾燥をしないと注入処理の効果が得られませんので、事前に木材業者等と十分な打合せをし、日程の確保に努めてください。

## 5.13 防腐剤の毒性は、どの程度でしょうか？

(答)

最近の防腐剤（ACQ, AACなど）には、クロムやヒ素などの有害物質は使用されていません。また、木材に注入された薬剤は乾燥に伴って木材中に固着されますので、使用時に溶け出して環境を汚染する心配もありません。最終的に産業廃棄物として処理する際にも、一般の木材と同様、「木くず」として扱えます（家庭等から廃棄される場合は一般廃棄物扱いです）※。

従って、通常の使用方法なら、特に毒性を心配する必要はないと言えます。

貴重な湿原の木製遊歩道（木道）などにも、最近では防腐剤を加圧注入した木材が広く使われています。これらのことから、最近の防腐剤の安全性はお分かりいただけると思います。

※ 以前使用されていたCCA（クロム、銅及びヒ素系木材防腐剤）で処理された木材については、別途、建設リサイクル法等の規定に従って処理してください。

## 5.14 長野県の丸太はどのような経路で、どんな丸太が販売されていますか？

(答)

丸太の多くが長野県内の木材センター、木材流通会社、木材加工会社などから販売されています。

### ○ 丸太の直径について

丸太は、丸太の先端側（細い側）を末口といい、この径によって分別されています。

農林規格（JAS）及び木材センターでの取扱いにおいては、末口径を以下のように分別しています。

JAS 規格、木材センター及び設計の木材取扱径 単位：c m

規格径 (JAS)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	
末口径 範囲	以上	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22
	未満	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24
木材センター での分別	6 以上 - 9 未満			9 以上 - 12 未満			12 以上 - 14 未満		14 以上 - 18 未満		18 以上 - 20 未満	20 以上 - 22 未満	22 以上 - 24 未満	
設計で主に使用 されている径	6		8~12						14	16~20				
	6-8						10~14		16					

### ○ 丸太の長さについて

山側の採材長さ

材長	2 m材	3 m材	4 m材	長尺（4 m超え）
実寸長	2.05~2.10m	3.05~3.10m	4.05~4.10m	
取扱量	主に合板	少	多	注文のみ
備考	末口径 16cm 以上は、主に合板	柱等に使用	ほとんどの材が 4 m材で集荷される	注文材となるので時間が必要

※上表における「実寸長」は、森林内で採材時に切断されている概ねの長さです。

### ○ 設計にあたって

- 末口径において、12cm 未満は土木用材の丸太等に、16cm 以上は合板や建築用材として多く利用されていますが、12cm 以上 16cm 未満の径については、利用が少なく、この径を利用していただくと、丸太全体の活用が促進されます。
- 伐採の基本は、4 m材です。中途半端な長さでの注文は、無駄が多くなりますし、4 m超えの材の注文は、注文が入ってから伐採となるため納材までに時間が必要となります。

### 5.15 丸太の基準強度は、国土交通省の「無等級材の基準強度」と同じですか？

(答)

木杭に多く使われるカラマツなどの針葉樹は、成長しはじめてしばらくの未成熟材と、10年から15年程度以降の成熟材部分に分けられます。材質の強度面からすると、未成熟材は繊維の長さも短く強度も小さいですが、外側にある成熟材は繊維が長く強度が高くなります。

一般的に木材の強度として用いられている国土交通省の「無等級材の基準強度」は、柱材や梁桁材としての使用を想定した値です。丸太の場合は成熟材がすべて残っており、繊維の目切れも生じていないので、強度的には有利になり安心して使っていただけると言えます。

### 5.16 木杭の計算に使用する安全率は、道路橋示方書と同じとすべきですか？

(答)

道路橋示方書で念頭に置かれている鋼管杭やコンクリート杭は、先行掘りした上で杭の挿入を行いますが、木杭は、そのままの地面に圧入すること、自重が軽いこと、杭表面の水分を吸収し地盤との密着性が高くなること及びテーパー（末口から元口へと太くなっていくこと）があることなどから、周辺地盤への圧密効果や抵抗力が期待できるため、鋼管杭等に比べ安全側に働く傾向にあります。※4

このため、それぞれの団体において実験を繰り返し、安全率を独自に導いており、その代表的なものは以下のとおりです。

これらのことから、条件が整えば、道路橋示方書の安全率より下げられると考えられます。

杭の安全率比較表

	安全率		対象構造物	備考
	支持杭	摩擦杭		
道路橋示方書	3	6		
森林土木ハンドブック	3		小規模構造物	3種類の式を掲載
新潟県 ※1	—	3	三面張水路・水槽・農道横断暗渠工等	先端抵抗力考慮 地下水位以下
佐賀県 ※2	—	1.5	1m×1m～3m×3m 程度のかべト、H=2.0m 以下のL型擁壁	先端抵抗力及び基礎地盤の支持力を考慮 地下水位以下
福井県 ※3	—	1.5	1m×1m～3m×3m 程度のかべト、H=0.6～2.0m 程度の擁壁・路体盛土	
長野県	3	3	小規模構造物	座屈の計算・杭の配置を考慮 地下水位以下

※1 新潟県農地部：基礎木杭設計指針

※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≤2m)の木杭—底盤系基礎設計マニュアル、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

※3 福井県木材利用研究会、福井県雪対策・建設技術研究所：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

※4 「木杭の周面摩擦力と先端抵抗について」水谷羊介氏、中村博氏、今野雄太氏