



# 木材を使った軟弱地盤対策の 価値と利用量と設計方法の現状

2026年1月27日

一般社団法人 日本木材地中活用推進協会  
沼田淳紀

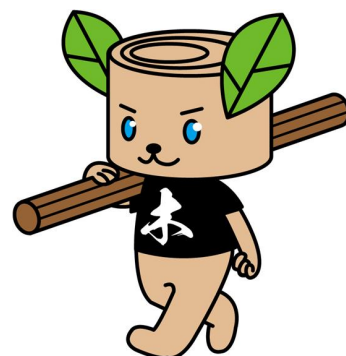


1

## 内容

### 内 容

1. 軟弱地盤
2. 木材活用による炭素固定のメカニズム
3. 木材の地中活用の意義
4. 木材活用の気候変動緩和策の効果
5. 木材地中利用量
6. 設計法の現状



2

# 軟弱地盤



2万年前：100m以上低下  
6千年前：数m上昇



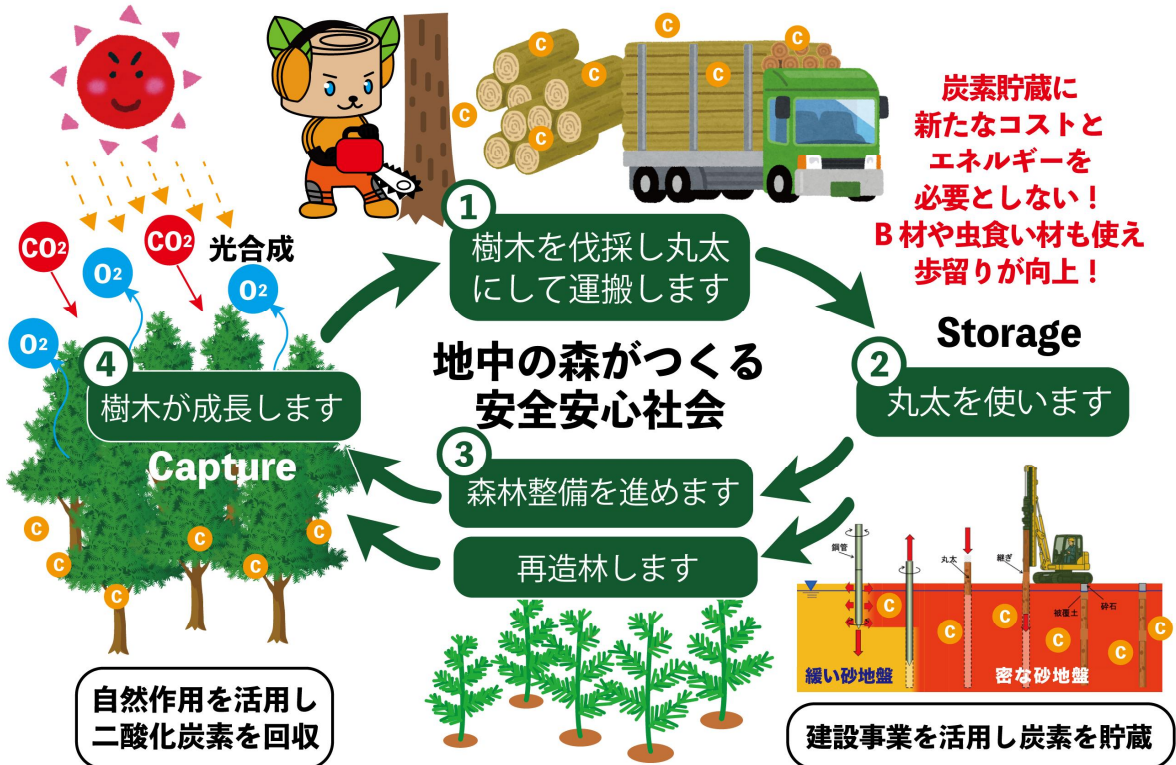
地形	国土面積の割合 (377,334km <sup>2</sup> )	人口比率	資産比率
沖積平野	10%	49%	75%
その他	90%	51%	25%

2007年防災白書

共通項目	対象地盤	被害が生じる時期	生じる課題	生じる被害
<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水位が浅い</li> <li>緩く堆積</li> <li>新しい堆積</li> <li>礫を主体としない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>粘性土</li> <li>有機質土</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常時</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧密沈下</li> </ul>	沈下, 傾斜, 水平変位
	<ul style="list-style-type: none"> <li>砂質土</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>液状化</li> </ul>	沈下, 傾斜, 浮き上がり, 側方流動

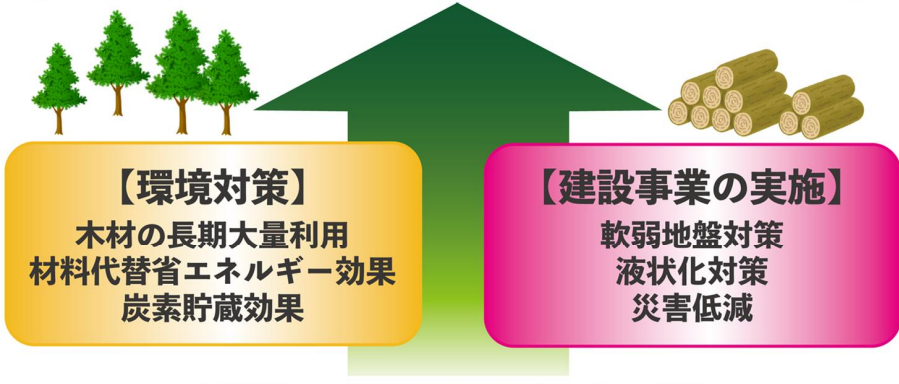


# 木材活用による炭素固定のメカニズム



# 木材の地中活用の意義

気候変動緩和、森林の多面的機能の向上、安全安心社会の構築



木材の地中活用 (木材を活用した軟弱地盤対策)

- 【安全安心社会】  
災害低減(沈下傾斜対策, 液状化被害低減)  
⇒国土強靱化
- 【気候変動対策】  
二酸化炭素排出削減  
二酸化炭素吸収源の拡大  
⇒カーボンニュートラルへ向けた施策 (2030年目標, 2050年目標)
- 【森林の多面的機能の向上】  
水源涵養, 土砂災害防止, 生物多様性保全, 保健・レクリエーション機能, 花粉症対策 etc  
⇒70兆円/年以上の貨幣価値(林野庁HP)
- 【国際貢献】  
持続可能な社会インフラの整備



# 木材活用の気候変動緩和策の効果 CO<sub>2</sub>貯蔵技術の比較

項目	CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage)	CO <sub>2</sub> 吸収 コンクリート	木材地中活用 (液状化対策を想定)
実用化の目的	実用化段階	開発中(一部実用化)	展開中
貯蔵コスト比	1	100	10
コスト負担者	原則全額事業主	工事発注者 一般コンクリートの2~3倍 工事費に含まれる	工事発注者 一般対策と同等 工事費に含まれる
確実性	長期的な漏洩リスクがある	吸収に時間を要し, CNIに到達できない可能性もある	安全・確実に所定量を貯蔵できる
展開性	回収場所, 貯留場所が限られる	製造工場に限られる	全国で展開可能
貯蔵量規模の目安	【目標値】 2030年: 1,300万t-CO <sub>2</sub> /年 2050年: 1.2~2.4億t-CO <sub>2</sub> /年	164万t-CO <sub>2</sub> /年(全てのコンクリートを代替したとして) 17t-CO <sub>2</sub> /年(2023年度実績)	86万t-CO <sub>2</sub> /年(木材地中利用が150万m <sup>3</sup> /年として) 1.7万t-CO <sub>2</sub> /年以上(2023年実績)
その他の主なメリット	既存の施設をCNで稼働できる 回収したCO <sub>2</sub> を資源として利用可能	セメント使用を減らしCNIにしなが らコンクリートを使用可能	メカニズムがシンプル 森林の多面的機能の向上へも 貢献 地盤対策としても有効
課題	コスト, コスト負担者 長期的な安定	鉄筋との相性が悪い	認知度が低い 工法・技術者が不足



日本のCO<sub>2</sub>排出量: 11億3,500万t-CO<sub>2</sub> (2022年度環境省)

# 木材地中利用量 木材地中利用のポテンシャル

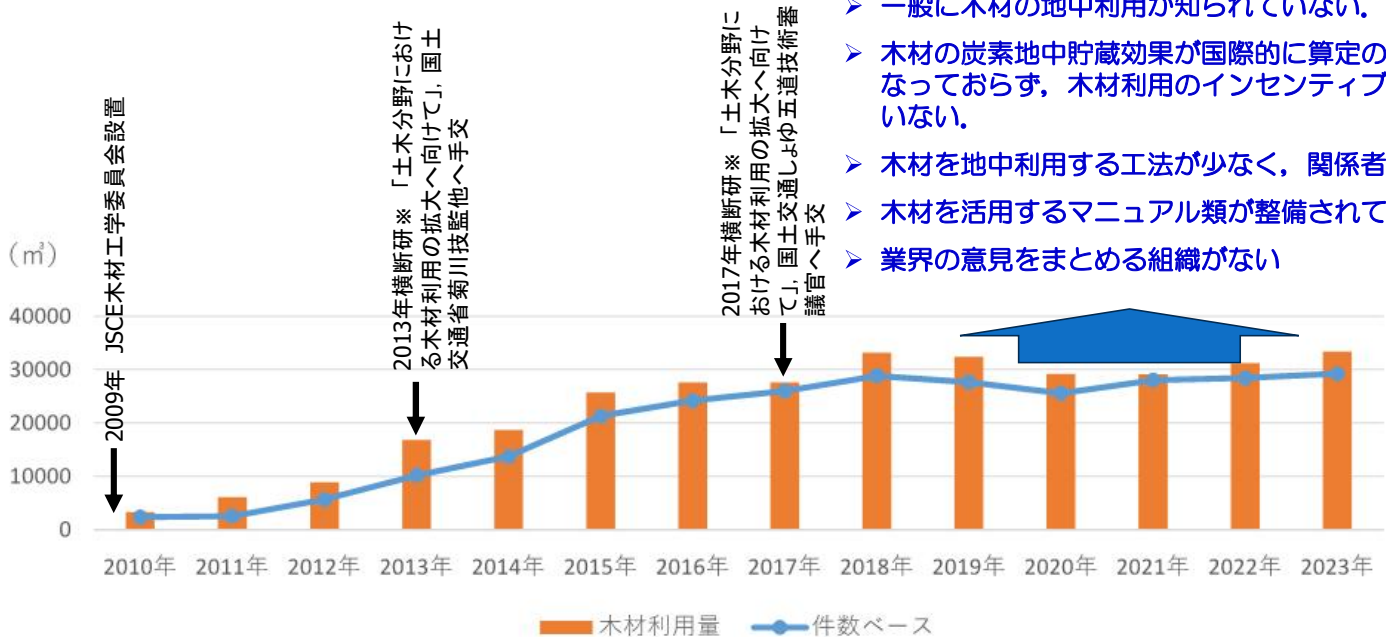


## 土木における木材利用ポテンシャルの推計値

2013年3月提言「土木分野における木材利用の拡大へ向けて」より



# 木材地中利用量 木材地中利用の課題



- 一般に木材の地中利用が知られていない。
- 木材の炭素地中貯蔵効果が国際的に算定の対象となっておらず、木材利用のインセンティブになっていない。
- 木材を地中利用する工法が少なく、関係者も少ない。
- 木材を活用するマニュアル類が整備されていない
- 業界の意見をまとめる組織がない

国際緑化推進センター：軟弱地盤対策のための地中利用木材のCO2蓄積量の評価に関する調査（フェーズⅢ）報告書，2024. 3.

## 木材を使った主要な地盤対策工法による実績の推移



※横断研国：日本森林学会，日本木材学会，土木学会による「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」

# 設計法の現状 設計書にある木杭設計の記述の変遷

	道路橋示方書	建築基礎構造設計指針
1955年	木材資源利用合理化方策閣議決定	1955:木材資源利用合理化方策閣議決定
1960年		建築基礎構造設計基準・同解説 「くい材料の許容応力度」の項で記述 くい材料の設計「木くい」の項あり
1964年	道路橋下部構造設計指針くい基礎の設計篇 「杭の分類」の項で記述 構造項目「木ぐい」の項あり	
1966年	道路橋下部構造設計指針調査および設計一般篇 材料「木ぐい」の項あり	
1968年	道路橋下部構造設計指針くい基礎の施工篇 製作、運搬、貯蔵、検査「木くい」の項あり	
1974年		建築基礎構造設計基準・同解説 「杭材料の許容応力度」の項で記述 くい基礎の設計「木ぐい」の項あり
1976年	道路橋下部構造設計指針・同解説くい基礎の設計篇 指針から木ぐいが除外される	1976:道路橋示方書より「木ぐい」姿消す
1988年	1988:建築基礎構造設計指針より「木ぐい」姿消す	建築基礎構造設計指針 指針からは除外され、小規模建築については別の手引きを参照
2001年		建築基礎構造設計指針 指針で扱わないことが明記された



# 設計法の現状 道路橋示方書（1968年版）

## 3. 既製ぐいの打ち込み

### 3.1 製作、運搬、貯蔵、検査

#### 3.1.1 木ぐい

- (1) 木ぐいは割れなどの欠陥のない生丸太で元口から末口までおよそ一様に径が変化し、樹皮を除いた末口の径が設計図書に示す寸法以下であってはならない。
- (2) 木ぐいの両端中心点を結ぶ直線はくい外に出るはならない。
- (3) 木ぐいは打ち込み前に樹皮を取り除かなければならない。また、くい頭部および先端部は、打ち込み中に破損しないよう適切な防護をしなければならない。
- (4) 取り扱いに際しては、くいに損傷を与えぬよう十分注意しなければならない。

#### 〔解説〕

- (1) 通常くい材としては松などの生木を使用することが多い。その材料は強度、耐久性に悪影響を及ぼすような、大節、死節、腐れ節、割れなどの損傷を有しないものでなければならない。また、くい材として元口から末口まで径が一樣に変化することは、地盤中への打ち込み上からも必要である。
- (2) 木ぐいは自然の材料であるため完全に真直なものを得るのは難しいが、鉛直荷重伝達上から、あるいは打ち込み上からもその曲りは、くい材両端中心点を結ぶ直線がくい外に出るようなものを使用してはならない。
- (3) 木ぐいの樹皮は打ち込みのじゃまになるばかりでなく、地盤中で樹幹と分離することが多いので、打ち込み前に皮はぎをしなければならない。  
同時に、すべての枝節はていねいに整形しなければならない。また、くい頭部や先端部の加工は、設計図に明示されていない場合が多いが、打ち込み中のくいの損傷を防ぐため、金具類で補強するのがよい。  
くい頭は、くい中心軸に対して直角に切り、断面は円形に仕上げ、鉄輪または鉄帽を用いる。  
くい先端は截頭角錐形に正しく削り、打ち込みの際に方向のずれないようにする。
- (4) 木ぐいを長期間貯蔵する場合には、曲りや腐蝕が発生しないよう注意しなければならない。

## 5. くい頭の仕上げ

### 5.1 木ぐい

くい頭は打ち込み後、損傷部を切断して仕上げをしなければならない。

#### 〔解説〕

木ぐいは、打ち込み中の打撃力および鉄輪の取り付けなどのため頭部が変形し、弱体化していることが多いから、所要長よりやや長いくいを打ち込み、設計図にしたがって高さ、角度など正確に切断するようにならなければならない。



# 設計法の現状 建築基礎構造設計（1974年版）

1. 木材の許容応力度については、繊維方向の許容応力度として日本建築学会「木構造設計規程・同解説」に表 28.1 のような値が定められている。

表 28.1 普通構造材の繊維方向許容応力度 (単位: kg/cm<sup>2</sup>)

樹種	長期応力に対する値	長期応力に対する値			短期応力に対する値 $s_f$
		圧縮 $Lf_c$	引張り・曲げ $Lf_t, Lf_b$	せん断 $Lf_s$	
針葉樹	I類	あかまつ・くろまつ・からまつ・ひば・ひのき・つが・べいまつ・べいひ	80	90	7
	II類	すぎ・もみ・えぞまつ・とどまつ・べいすぎ・べいつが	60	70	5
広葉樹	I類	か し	90	130	14
	II類	くり・なら・ぶな・けやき・アビトン	70	100	10
	III類	ラワン	70	90	6

くいの場合には常時地下水面にあるような状態で使用することになっているから、常時湿潤状態にある場合を適用して、表 28.1 の値の 70% を採用する。したがって、普通構造材で針葉樹 II 類の場合、長期許容圧縮応力度は 42 kg/cm<sup>2</sup>、広葉樹 II、III 類で 49 kg/cm<sup>2</sup>、その他はいずれも 50 kg/cm<sup>2</sup> 以上となる。実際にくい材として使用されるのは、まつ・からまつ・べいまつがほとんどで、この場合はいずれも針葉樹 I 類に属し  $80 \times 0.70 = 56 \text{ kg/cm}^2$  となる。木ぐいを使用される場合は、地盤中に打撃によって貫入設置されるであろうこと、設置後はその状態を確認しえないことなども考慮して、本文に示したようなまるめた値 50 kg/cm<sup>2</sup> を採用することにした。その他の種類のものをくいとして使用する場合は、針葉樹 I 類で 50 kg/cm<sup>2</sup>、同 II 類で 40 kg/cm<sup>2</sup>、広葉樹 I 類で 50 kg/cm<sup>2</sup>、同 II、III 類で 45 kg/cm<sup>2</sup> を長期許容圧縮応力度とすればよいであろう。

木ぐいでは元口と末口で直径が変化するのが一般であるから、材料による許容支持力を算定する場合には、その最小断面について考えなければならない。



- 近ごろその使用は少なくなってきたが、木ぐいの材料としては、まつ・べいまつ・からまつなどの生材となっている。ときには、くり・ひのきなども用いられることがある。これらの材料は天然のものであるため、材料についてはその形状および欠陥についてよく吟味し適材を選定しなければならない。まず、割れや、やにつぼなど強度上欠陥となるものがなく、元口から末口まで径が一樣に変化するものが望まれる（元口とは材木の根元に近いほうの切口のことであり、末口とは反対側の端部のことである）。樹皮は打込みのじゃまになるとともに、地盤中で樹幹と分離するので、打込み前にくいごしらえの 1 つとしてはいしておく。摩擦擦ぐいとして木ぐいを使用する場合には、とくにこのことはたいせつである。くいの先端には地盤の状況によってくつ金物などの補強材を取付けるようにするが、打込み時に障害を起こさないようにするため末口の径は 12 cm 以上のものを使用することになっている。
- 木ぐいは自然の材料であるため、完全にまっすぐなものを得るのはむずかしく、くいの中心線が多少わん曲するのはやむをえない。しかし、くい材のわん曲は打込みの際の傾斜の発生、応力伝達時の曲げ応力の発生など好ましいものではないので、その程度は経験的にくい材の両端中心線を結ぶ直線がくい材の外に出ない範囲に押えることが必要とされている。さらに、木ぐいを継ぐいとして使用する場合には、よりまっすぐなくい材を選ばなければならない。
- 木ぐいは完全に水中に浸っていれば、建物の耐用年限に対して十分な耐久性をもっている。Chellis<sup>31.1)</sup> は、ベニスの鐘楼やアムステルダム の王宮の基礎ぐいの場合について数百年から千年に及ぶ耐久性の例をあげている。しかし、木ぐいを乾湿交互にうける状態におくと急速に腐朽する。木ぐいの退化の原因は、一般の木材と同じく菌類による腐朽と白あり・甲虫による虫害がその主たるものである。クレオソートなどの防腐剤を注入するなどの方法が効果があるといわれる。木ぐいを使用する場合は、常水面以下に確実に保たれる場合を除き、耐久性について適切な処置を施すことが必要である<sup>31.1), 31.2)</sup>。
- くいの間隔の最小は施工上の観点からきめられている。従来の数多くの経験から、木ぐいの場合としては、くい径の 2.5 倍、かつ 60 cm 以上の値がとられている。

# 設計法の現状 現在使われている設計方法

※公共土木工事の設計指針等

【パイルネット工法（1975年）】※括弧内は木材利用量（ただし、パイルネット工法とは限らない）北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県(2,341m<sup>3</sup>(2020年度), 2,332m<sup>3</sup>(2021年度)), 山形県、福島県、茨城県、栃木県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、富山県、石川県、福井県(631m<sup>3</sup>(2020年度)), 山梨県、長野県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、福岡県、佐賀県(6,460m<sup>3</sup>(2020年度), 5,264m<sup>3</sup>(2021年度), 3,330m<sup>3</sup>(2022年度))、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県

【パイルネット工法の記載なし】

群馬県

【独自の設計指針／マニュアルを作成している】

新潟県、福井県、長野県、佐賀県、（秋田県）

【民間企業開発工法（建設技術審査証明・建築技術性能証明・BCJ評定を取得）】

環境パイル（S）工法（環境パイル(S)工法協会）

QPパイル工法（(株)九州パイリング）

LP-LiC・LP-SoC工法（木材活用地盤対策研究会→LP工法協会）



# 設計法の現状 鉛直支持力の基本的な考え方

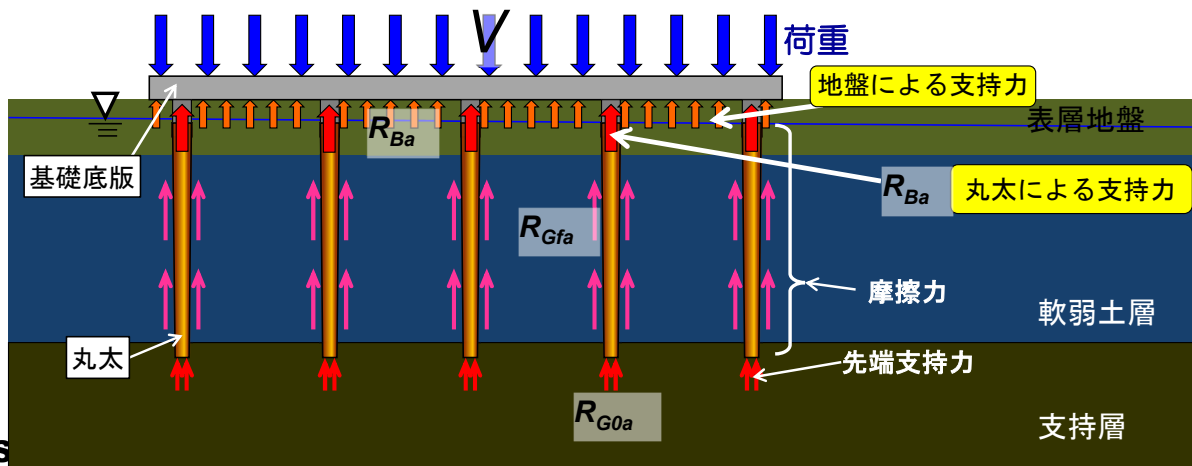
構造物の荷重：V

丸太部を除く地盤部分の支持力： $R_{Ba}$

丸太部の支持力： $R_{Ga}$

丸太先端部の支持力： $R_{G0a}$

丸太周面部の摩擦力： $R_{Gfa}$



# 設計法の現状 鉛直支持力の基本的な考え方

マニュアル名称	杭間隔	構造物の安定	基礎底面の地盤支持力	丸太の許容鉛直支持力
杭網(パイルネット)工法設計・施工の手引き	$B \leq$ 土被り圧 (丸太頭部から盛土天端)	式-バ2 $V \leq n_w R_{Ga}$		
基礎木杭設計指針 (新潟県)	$B \geq 2.5D$	$V \leq n_w R_{Ga}$		$R_{Ga} \leq R_{Wa}$
丸太基礎杭設計マニュアル (長野県)	・以下を推奨(群杭効果が生じない範囲) $B \geq 2.5D$	対象面積について、構造物地盤下面に作用する鉛直荷重Vが以下を満足するように丸太を配置しなければならない。?? $V \leq n_w R_{Ga}$ ?		以下であること 式-長10 $R_{Ga} \leq R_{Wa}$
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(令和元年度改定版)~ (佐賀県)	・1m <sup>2</sup> あたり1本程度を標準とする。 ・継ぎ杭などで長くする場合は、次式より長くする。 $B \leq 1.5 \sqrt{\frac{L}{D/2}}$	底盤支持力を計算して不足支持力を丸太の周面支持力で補う $V \leq R_{Ba} + n_w R_{Ga}$	基礎底面の地盤の極限支持力 $R_{0a}$ は、以下の設計法により求める。 ・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編,Ⅳ下部構造編) ・土地改良事業計画設計基準(設計(水路工))	$R_{Ga} \leq R_{Wa}$ ?
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~設計マニュアル(第1版)から (佐賀県)	・擁壁1個に最小3本配置する	底盤支持力を計算して不足支持力を丸太の周面支持力で補う $V \leq R_{Ba} + n_w R_{Ga}$	基礎底面の地盤の極限支持力 $R_{0a}$ は、以下の設計法により求める。 ・道路橋示方書(道路用擁壁) ・土地改良事業計画設計基準(農道用擁壁) ・建築基礎構造設計指針(宅地造成用擁壁)	$R_{Ga} \leq R_{Wa}$ ?
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 (福井県)	・1m <sup>2</sup> あたり1本程度を標準とする ・2.5D以上とする ・ボックスカルバート1個あたり4本以上	・ボックスカルバート、擁壁 対象面積について、構造物地盤下面に作用する鉛直荷重Vが以下を満足するように丸太を配置しなければならない。 ①丸太先端支持の場合 式-幅7 $V \leq n_w R_{Ga}$ ②丸太が支持層に至らない場合 式-幅8 $V \leq R_{Ba} + n_w R_{Ga}$ ・道路路体 円弧すべり面法による安定計算が安全率 $F_s$ が1.2以上であること 円弧すべりのすべり抵抗は以下より求める $\sigma_{av} a_w \ell + \beta_s (c \ell + W \cos \alpha \tan \phi) (1 - a_w)$	基礎底面の地盤の極限支持力 $R_{0a}$ は、以下の設計法により求める。 ボックスカルバート・擁壁 ・道路橋示方書(道路用擁壁) ・土地改良事業計画設計基準(農道用擁壁) ・建築基礎構造設計指針(宅地造成用擁壁)	・ボックスカルバート、擁壁 ・道路路体 $R_{Ga} \leq R_{Wa}$

**B≤2.5 : 群杭効果**  
↓  
**単杭計算を可能に**



## 設計法の現状 液状化対策の基本的な考え方

- 液状化の発生を抑制する
  - 液状化を許容するが構造物被害を抑制する
  - 避ける（2011年Canterbury地震）
- 液状化発生の抑制方法⇒液状化発生の要因を取り除く
- 飽和している地盤（地下水位が高い地盤）
  - 均等な粒径で塑性指数が小さい砂地盤（さらさらな砂）
  - 緩い地盤（人工地盤を含めた新しい地盤）
  - ある程度以上の繰返し外力（地震）

