

砂質地盤を対象とした液状化対策方法の設計方法

— LP-LiC工法を例に —

飛島建設株式会社 技術研究所

村田 拓海



1



内容

- 液状化対策の考え方
- LP-LiC工法の概要と特徴
- 設計フロー
- 丸太の生物劣化に対する設計
- 液状化に対する設計
- 実地震での液状化対策効果確認事例
- 木材を用いた新たな液状化対策工法
- まとめ

2



液状化対策の考え方

液状化の対策原理



1995年兵庫県南部地震



964年新潟地震

新潟日報社：新潟地震から40年～大災害を振り返る～



1993年北海道南西沖地震



- 緩い地盤 → 密度増大工法
- さらさらな砂 → 固結・置換工法
- 地下水位が高い地盤 → 地下水位低下工法
- 繰り返し外力発生 → せん断変形抑制工法
- 過剰間隙水圧の発生 → 間隙水圧消散工法
- 構造物の沈下・浮上 → 構造物の変形対策



液状化対策の考え方

液状化と地盤の密度

地盤の構成要素

土粒子 + 水 + 空気

飽和地盤の場合ゼロ

常時は

土粒子 同士が力を伝達しあい
(有効応力)

建物などの荷重を支えている

緩い地盤

地震発生

相対密度：40%
加速度：150gal

飛島建設

密な地盤

地震発生

相対密度：80%
加速度：150gal

飛島建設

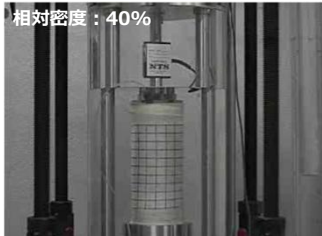


液状化対策の考え方

密な地盤の冗長性

緩い地盤

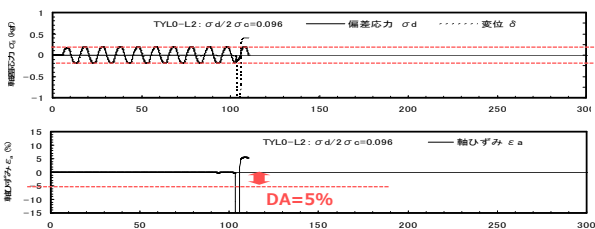
相対密度：40%



ある繰り返し回数に達すると

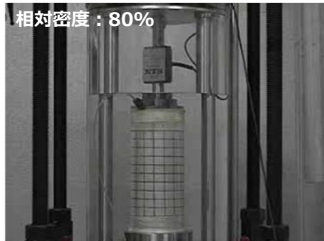
急激に破壊

冗長性：無



密な地盤

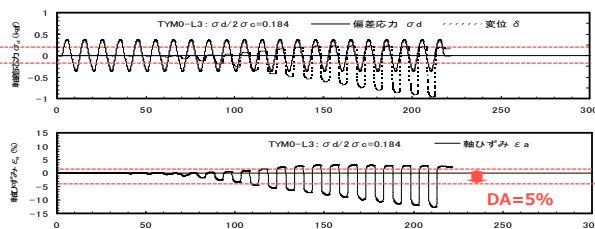
相対密度：80%



所定の繰り返し回数を超えても

急激な破壊はなく
変形の増加もわずか

冗長性：有



液状化対策の考え方

木杭による液状化対策事例

1964年新潟地震

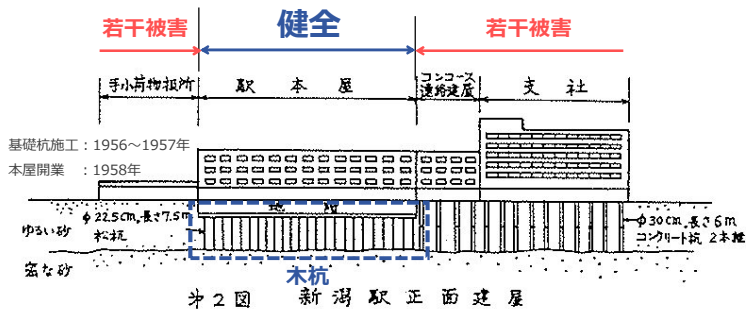
甚大な液状化被害が発生

この地震により「液状化」が広く認知される

新潟駅や周辺も液状化被害を受けた



新潟日報社：新潟地震の記録～自然との半月の戦い～，1964.8.



当時の設計者
(斉藤 迪孝氏)

・・・流砂現象のおそれは十分あり得ると言う結論に達した。それで基礎底面から-12mの支持層までゆるい砂層を締固めると共に、建物荷重を支持層に確実に伝達するために杭基礎とすることとし、末口22.5cm、長さ7.5mの松丸太745本（1.5m間隔程度（6.7D、 $a_s=1.8\%$ ））を打設した。・・・

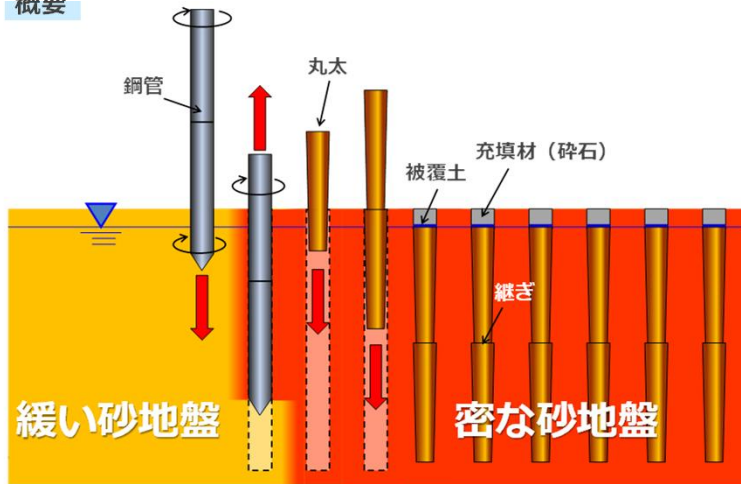
斉藤 迪孝：新潟地震について，第7回地震工学研究発表会講演概要，pp.39-43，1964.10.

木杭打設により地盤が密実化され
液状化被害を受けなかったと事後考察されている



LP-LiC工法の概要と特徴

概要



丸太打設液状化対策&カーボンストック工法

(Log Piling Method for Liquefaction Mitigation and Carbon Stock)

対策原理 密度増大

外力に対して靱性を有する対策原理
想定以上の地震を受けても脆性的な破壊をしない

丸太の役割 体積保持

丸太 ≠ 杭

丸太の体積分だけ地盤の密度が増加
丸太はあくまで「地盤改良体」で杭ではないため、丸太の強度（圧縮・曲げ・せん断等）は設計に使用しない。

第三者評価 取得済み

技術審査証明(技審証第3004号)
建築技術性能証明(GBRC性能証明13-17号改3)
NETIS (KT-190054-A)



LP-LiC工法の概要と特徴

コンセプトと特徴

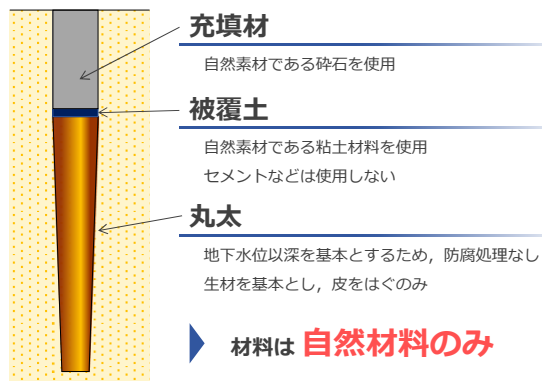
靱性と恒久性を有する気候変動緩和に貢献可能な液状化対策工法

靱性と恒久性

対策原理：密度増大

- ✓ 液状化発生メカニズムの根本原理に基づいている
- ✓ 想定を超えた外力でも変形は限定的で冗長性が高い
- ✓ 地盤の構造自体を強化しているので恒久性が高い
- ✓ 液状化対策工法として実績が多い
- ✓ 維持管理が不要

気候変動緩和

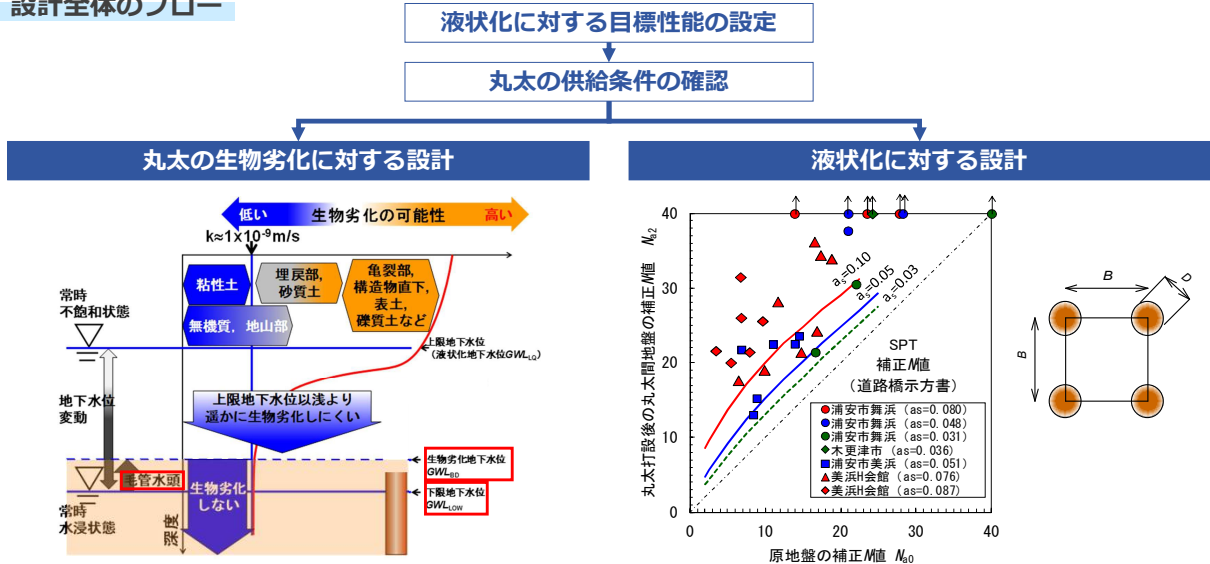


▶ 材料は **自然材料のみ**



設計フロー

設計全体のフロー



設計フロー

丸太の供給条件の確認

丸太 ≠ 工業製品

- ▶ 地域により供給可能な丸太の直径や長さが異なる場合があるため、これを考慮した設計を行う必要がある

以下の寸法の丸太は、比較的多くの地域で供給可能 (2026年1月時点)

末口呼び径	0.16m
長さ	2.0m, 3.0m, 4.0m
樹種	スギ

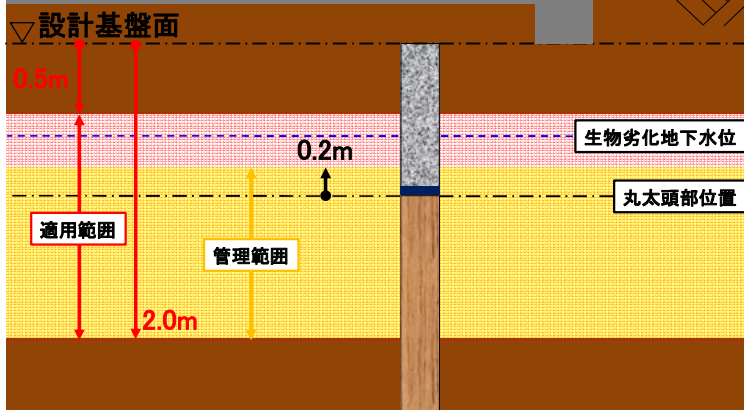
概略設計などでは
これらの丸太の寸法を用いて
設計を行うとよい



丸太の生物劣化に対する設計

丸太頭部位置の適用範囲と管理値

▽設計GL



頭部位置 常水面以下

常水面が求まっていない場合は、地下水位変動域の下限値（下限地下水位）を常水面とする

適用範囲 GL-0.5~2.0 m

丸太頭部は基礎などに連結しない
必ず充填材の層を設ける
被覆土の施工性からGL-2.0mが限界

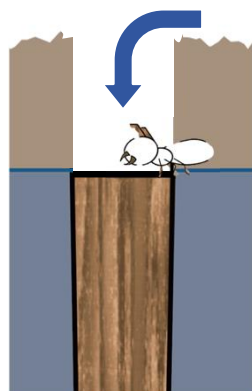
管理値 設計位置 + 200 mm

丸太は、発注した長さよりも200mm程度長いものが納品されることが多い。これより上側の管理値を設定
丸太頭部の充填材層は設計では改良範囲とみならず、このため、丸太頭部位置の下側の管理規定はない



丸太の生物劣化に対する設計

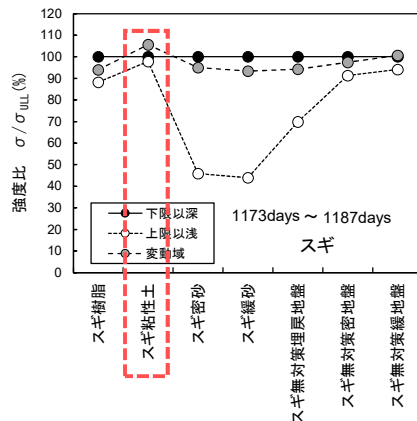
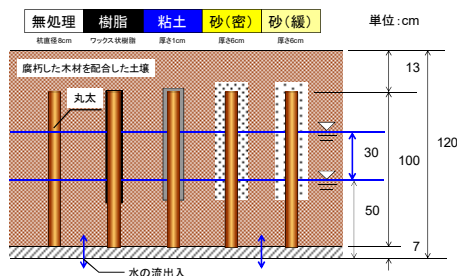
丸太頭部の被覆



腐朽菌やシロアリが
地表面から侵入する可能性

丸太頭部の被覆材の必要事項

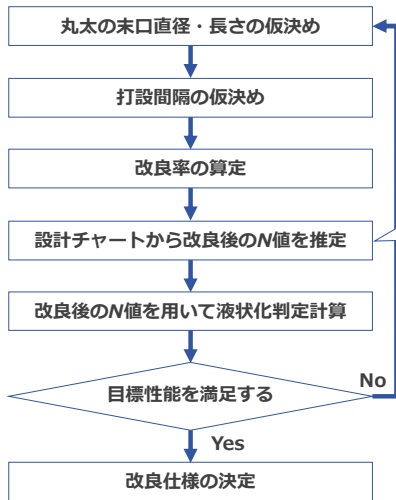
- ① 地表面から侵入した腐朽菌やシロアリが丸太に到達することを防ぐ
- ② 環境負荷が小さい材料 = 自然素材



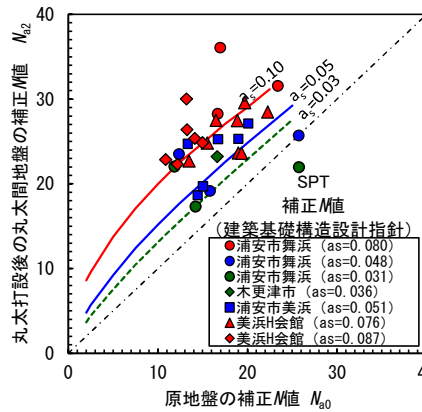


液状化に対する設計

液状化対策の設計のフロー



設計チャート



正方形配置

$$a_s = \frac{\pi D^2}{4B^2}$$

正三角形配置

$$a_s = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left(\frac{D}{B}\right)^2$$

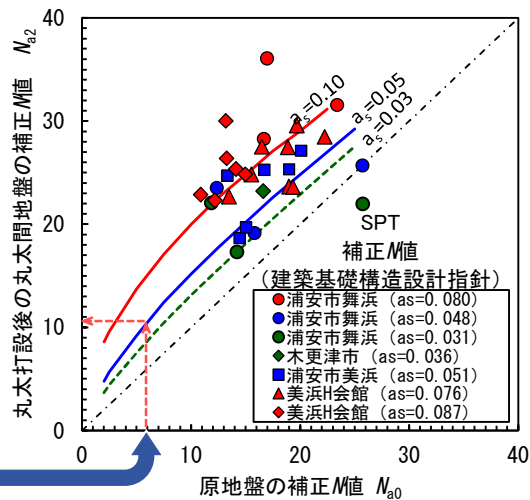
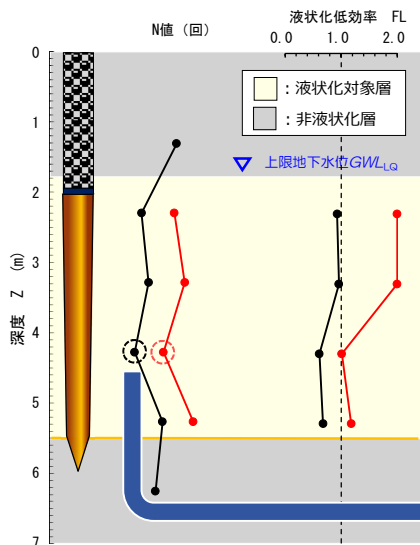
矩形配置

$$a_s = \frac{\pi D^2}{4B_1 B_2}$$



液状化に対する設計

改良後のN値の推定方法





液状化に対する設計

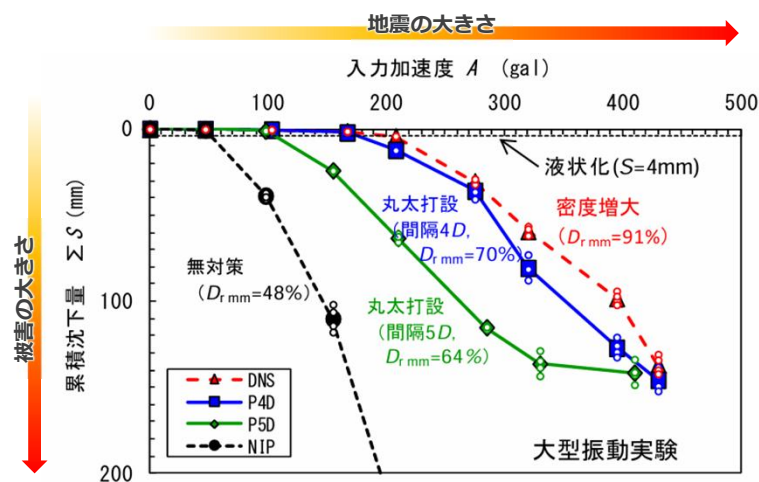
設計に使用できる地盤調査とN値

評価機関	先端建設技術センター (ACTEC)	日本建築総合試験所 (GBRC)
証明名称	先端建設技術・技術審査証明	建築技術性能証明
種別	土木系	建築系
認定工法	液状化対策工法	密度増大工法
設計に使用できる地盤調査	標準貫入試験	標準貫入試験 スクリーウエイト貫入試験 簡易動的コーン貫入試験 オートマチックラムサウンディング試験 ピエゾドライブコーン試験
設計に使用できるN値	N値 換算N値 N_1 (拘束圧補正N値) 補正N値 N_3 (細粒分補正N値)	N値



液状化に対する設計

密度増大効果以上の液状化対策効果



沼田淳紀, 村田拓海, RIAZ Seima, 三村佳織, 原忠: 大型振動実験による丸太打設の液状化対策効果, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学) 71 (4), I_274-I_283, 2015.



項目	設計に考慮
密度増大	○
丸太の剛性	—
水平土圧増加	—

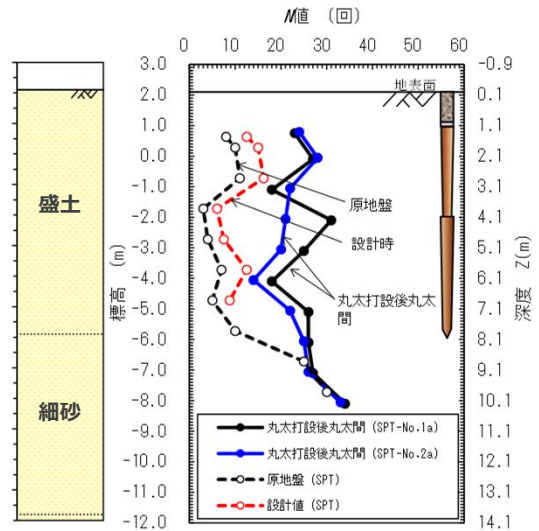


実地震での液状化対策効果確認事例

漁港岸壁の背後盛土の液状化対策（青森県八戸市）



施工期間 : 2015年11月～2016年3月
 丸太末口径 : 0.15 m
 丸太長さ : 7.0 m (4.0 m + 3.0 m)
 打設間隔 : 0.55 m
 打設箇所数 : 3,446 箇所
 使用材積 : 434 m³ (青森県産スギ)

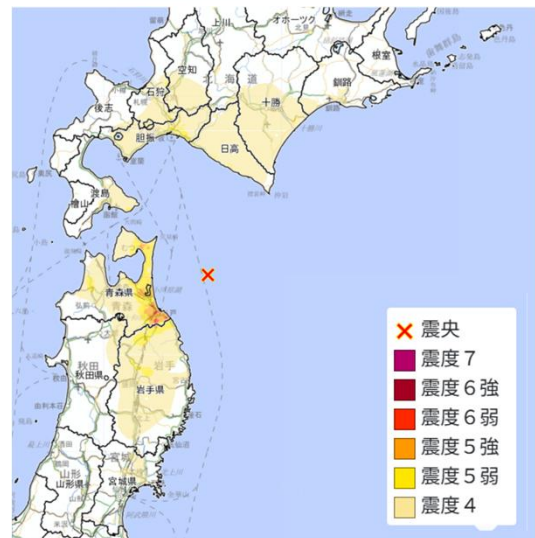


実地震での液状化対策効果確認事例

地震概要

地震 : 令和7年青森県東方沖を震源とする地震
 発生日時 : 2025年12月8日 (月) 23時15分
 発生場所 : 青森県東方沖 (八戸の東北東約80km)
 震源深さ : 54km
 マグニチュード : 7.5
 最大震度 : 震度6強

青森県の八戸市で震度6強を観測したほか、
 北海道から近畿地方にかけて震度6弱～1
 を観測

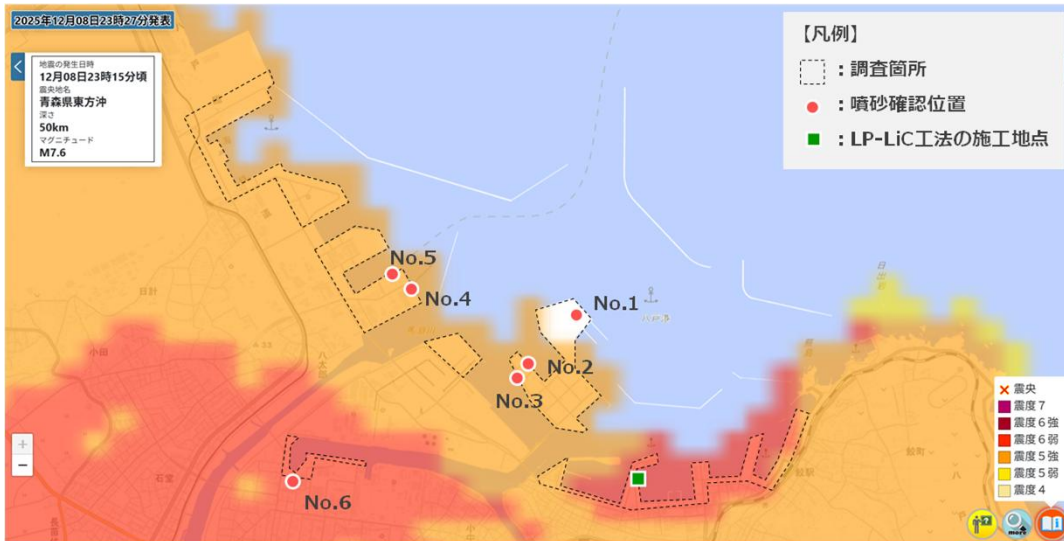


気象庁：推計震度分布
https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#13/40.525/141.502/&contents=estimated_intensity_map (2025.12.11閲覧)



実地震での液状化対策効果確認事例

LP-LiC工法の施工箇所と推計震度



実地震での液状化対策効果確認事例

液状化発生：ポートアイランド

推計震度：震度5強





実地震での液状化対策効果確認事例

LP-LiC工法施工箇所

推計震度：震度6弱



LP-LiC施工箇所



調査日：2025年12月10日

噴砂は認められない



岸壁の腹みだしは認められない



目地の開きは認められない

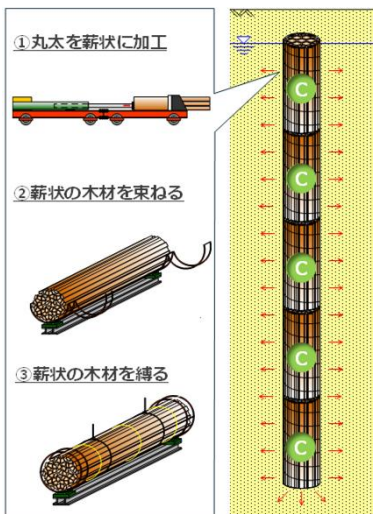


木材を用いた新たな液状化対策工法

概要

LP-LiC工法の課題

- ① 最大施工深度が12mであるため、**20mまでの改良**に対応できない。また、径が細いため、**改良面積**が広い場合に打設箇所数が多い、コスト高になりやすい
- ② 樹木の先端や根本など、径が極端に細いまたは太い部分は使用できない



概要

- ✓ 基本コンセプトはLP-LiC工法と同じ
- ✓ 対策原理は「密度増大」で排水効果も期待できる

改良深度と改良径

- ✓ 木質コラムは径を任意に調整できるため、大径化可能
- ✓ 3点式杭打機を使用するため20mまでの改良が可能



高い歩留まり

- ✓ 丸太を薪状に加工するため、どのような径の丸太でも使用可能





まとめ

- ✓ 丸太打設液状化対策&カーボンストック工法（LP-LiC工法）は、「密度増大」を対策原理とした液状化対策工法である。
- ✓ LP-LiC工法の設計は、丸太の供給条件を考慮したうえで、「生物劣化に対する設計」と「液状化に対する設計」を行う必要がある。
- ✓ LP-LiC工法の液状化対策効果は、密度増大以上の効果があり、実地震に対しても効果を発揮した。

ご清聴ありがとうございました