地球温暖化対策に貢献する液状化対策工法の開発

ー丸太打設液状化対策＆カーボンストック工法ー

技術審査証明（技審証第2504号）

(*Log Piling Method for Liquefaction Mitigation and Carbon Stock*)

2016年11月18日

飛島建設株式会社・木材活用地盤対策研究会
沼田淳紀

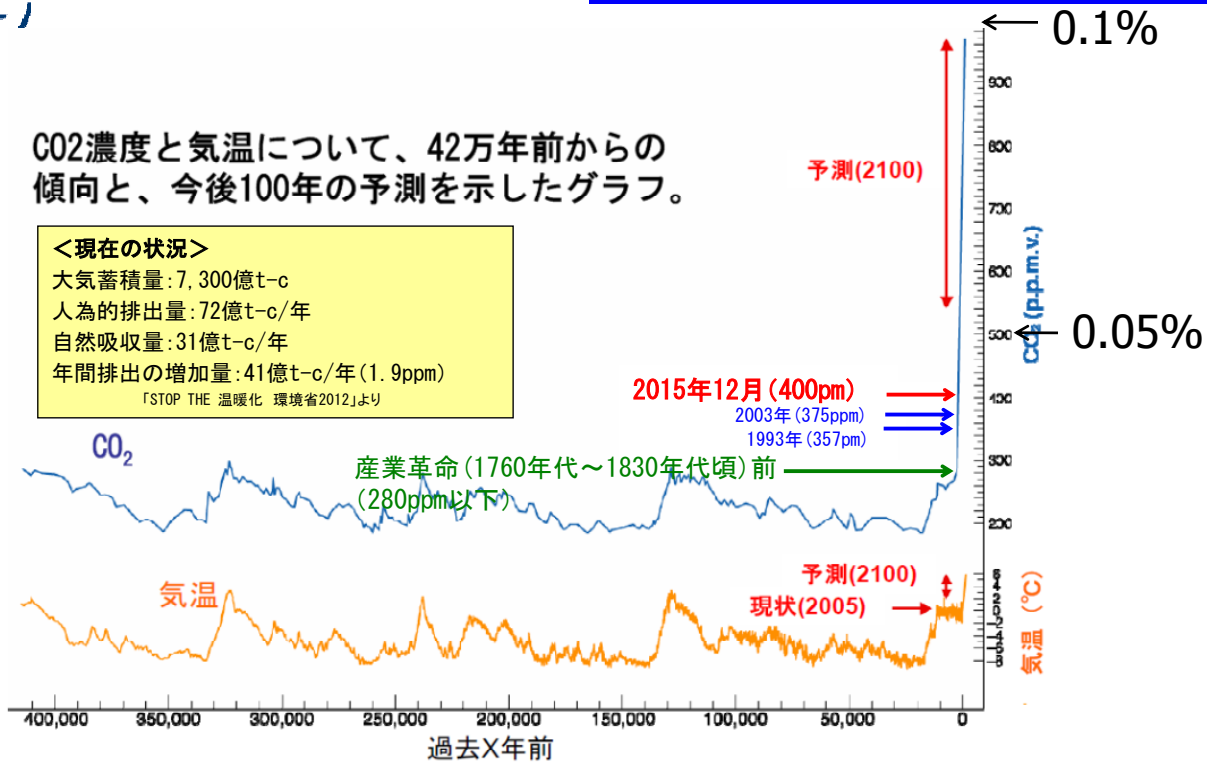
防災のトビシマ TOBISHIMA 建ててから始まる真のお付き合い

内　容

- 地球温暖化と木材利用
- 地盤の液状化
- LP-LiC工法のコンセプト
- 液状化対策効果
- 生物劣化対策
- 炭素貯蔵効果と施工実績
- おわりに

防災のトビシマ TOBISHIMA 建ててから始まる真のお付き合い

地球温暖化と木材利用

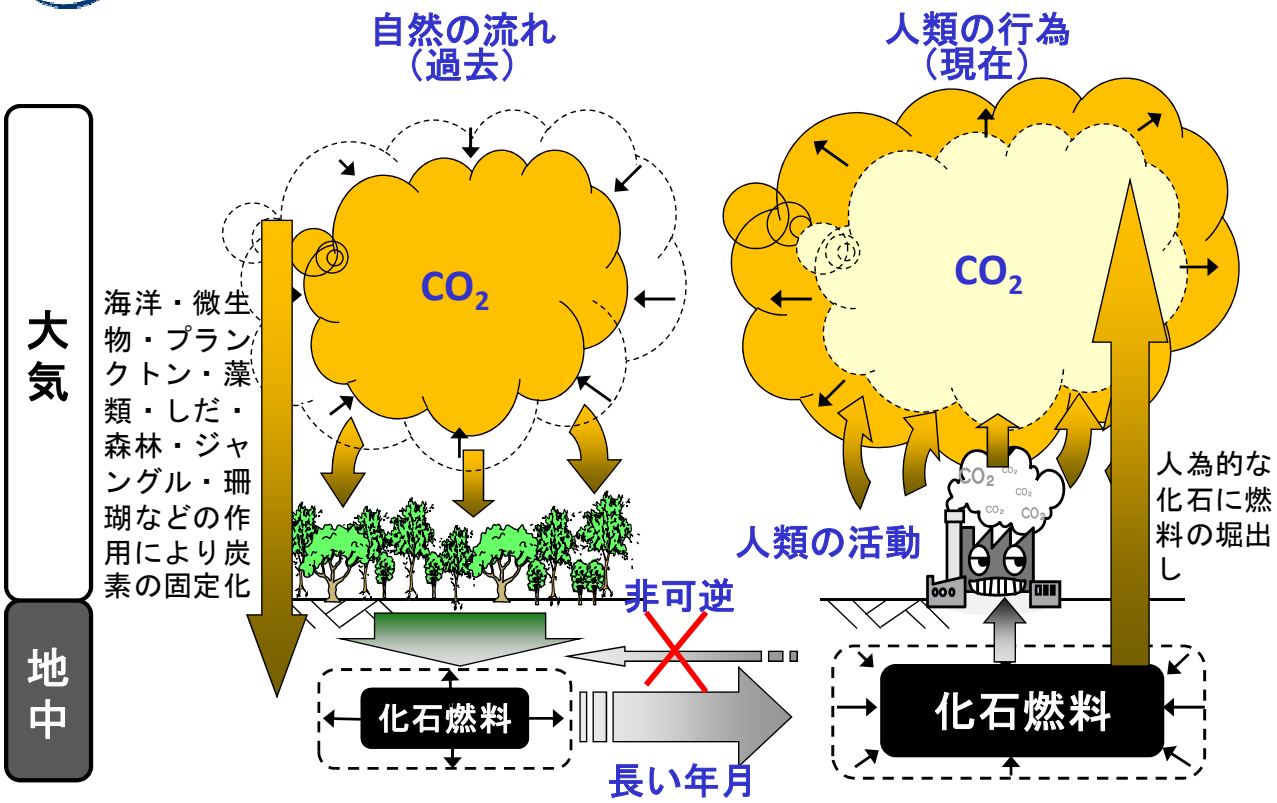


「環境省:地球温暖化の影響資料集, 2007」に加筆

42万年間のCO_2濃度の推移

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

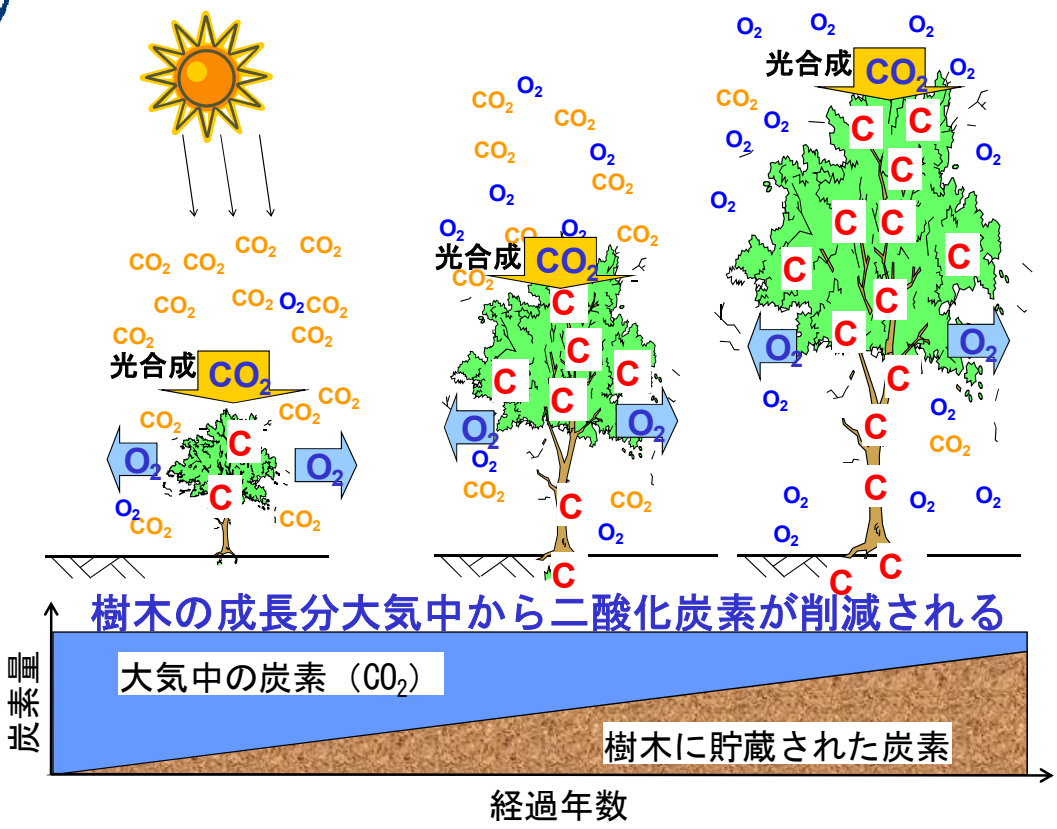
地球温暖化と木材利用



炭素の循環と化石燃料

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

地球温暖化と木材利用

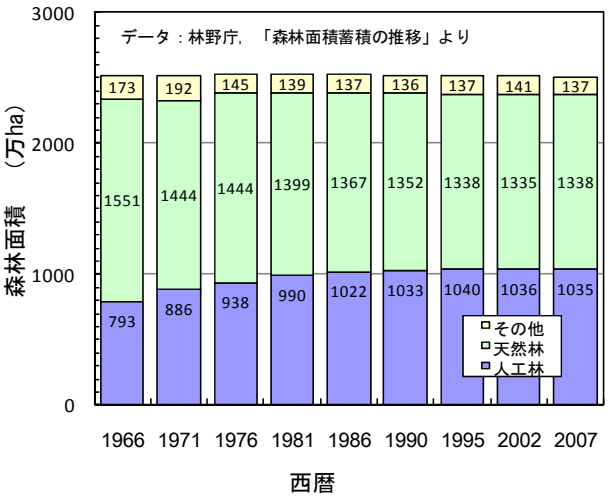


樹木による炭素の固定化

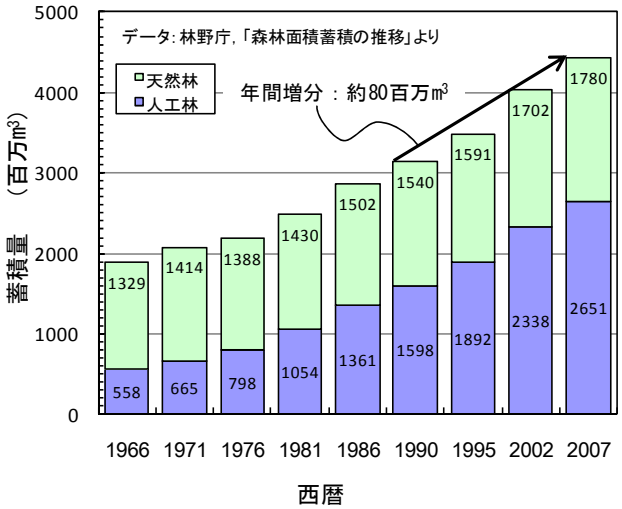
防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

地球温暖化と木材利用

全国土面積（3800万ha）のおよそ 66%



(a) 森林面積の推移

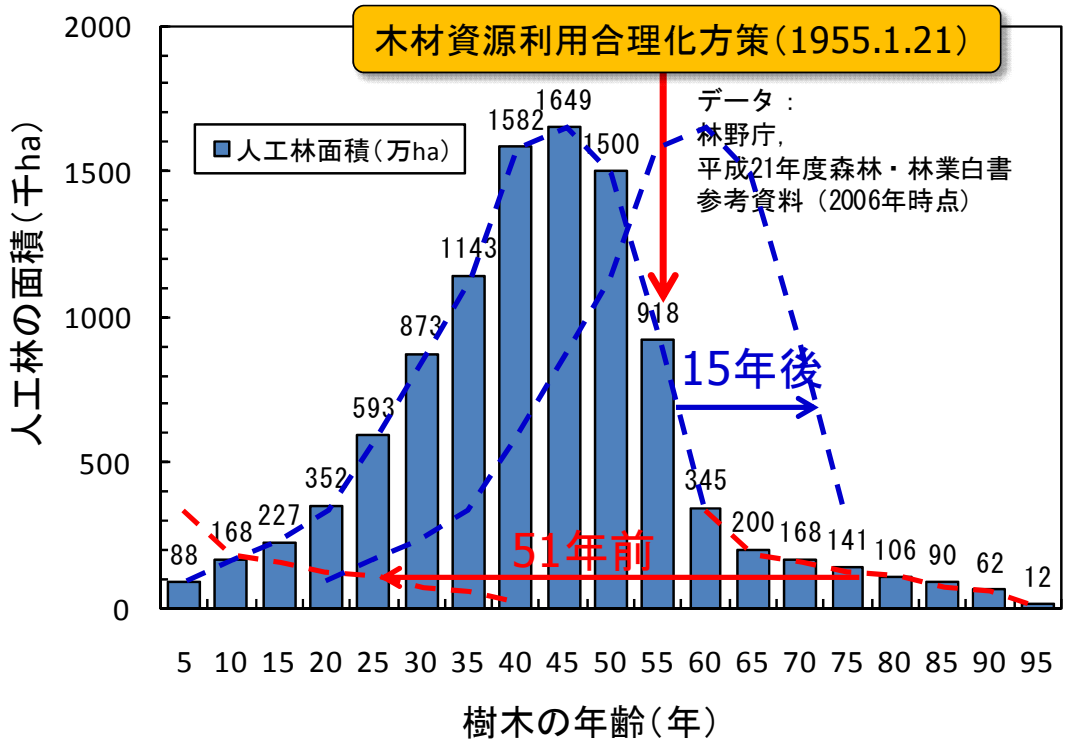


(b) 蓄積量の変化

日本の森林の現状

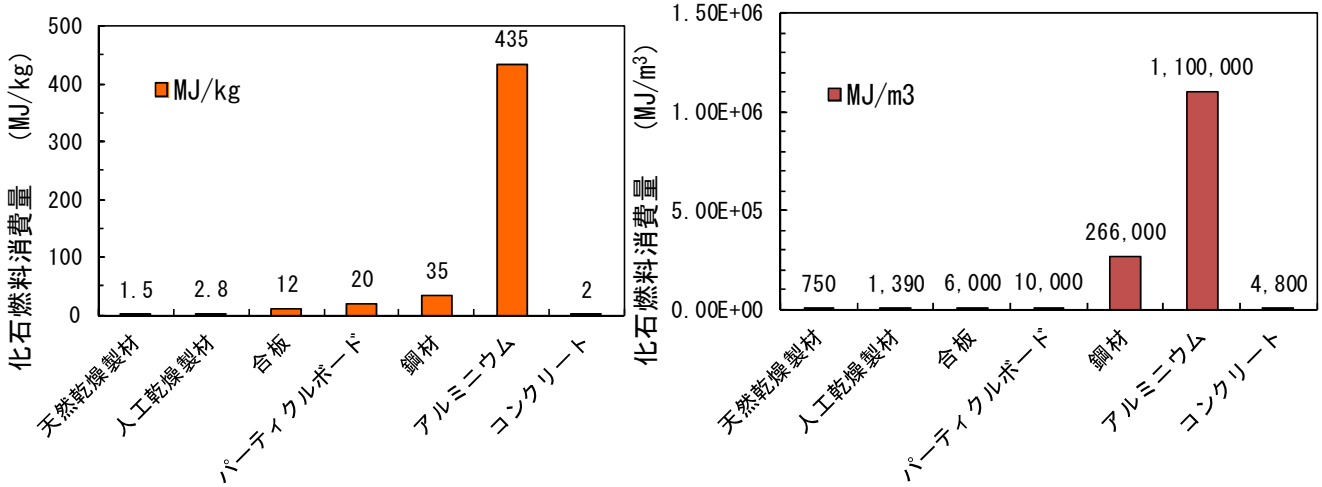
防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

地球温暖化と木材利用



人工林の年齢別面積（2006年時点）

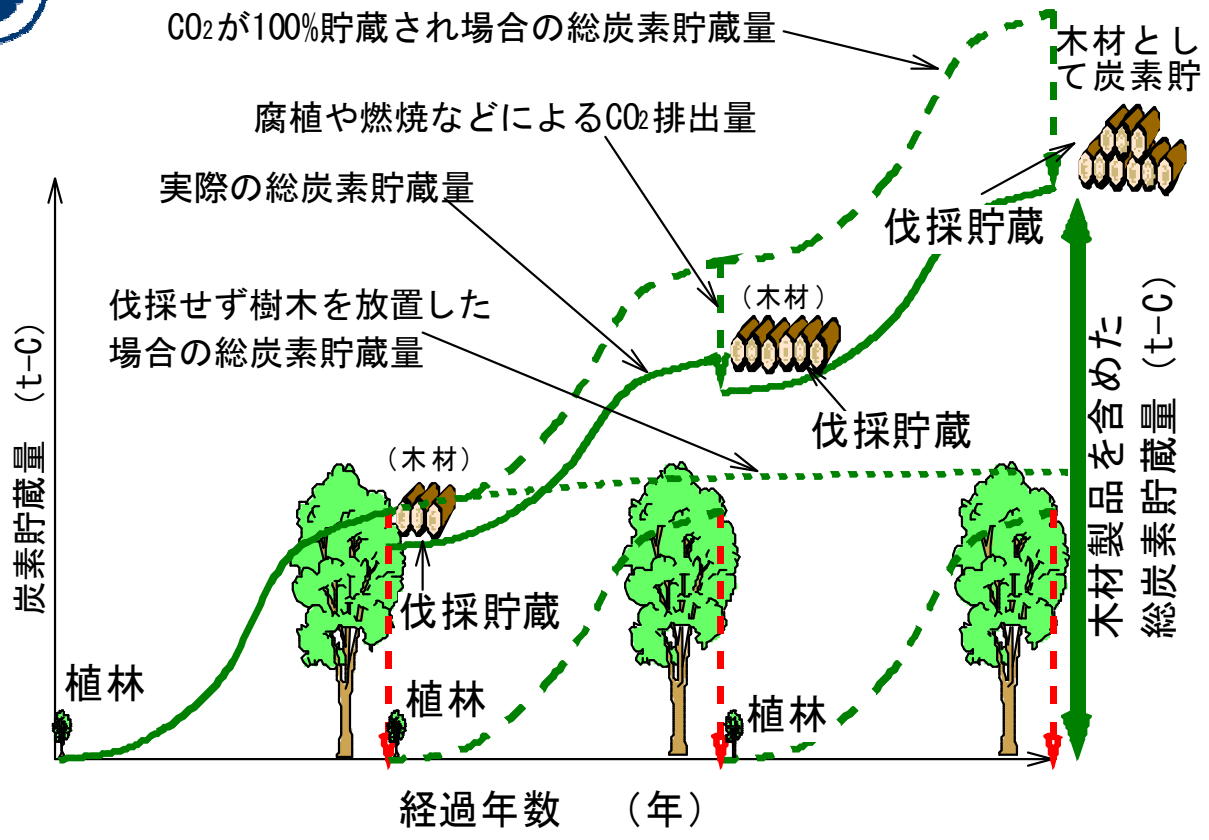
地球温暖化と木材利用



(a) 1kg当たり　　(b) 1m³当たり

材料製造時の化石燃料消費量（有馬2003）
（材料代替省エネルギー効果）

地球温暖化と木材利用



炭素貯蔵効果

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

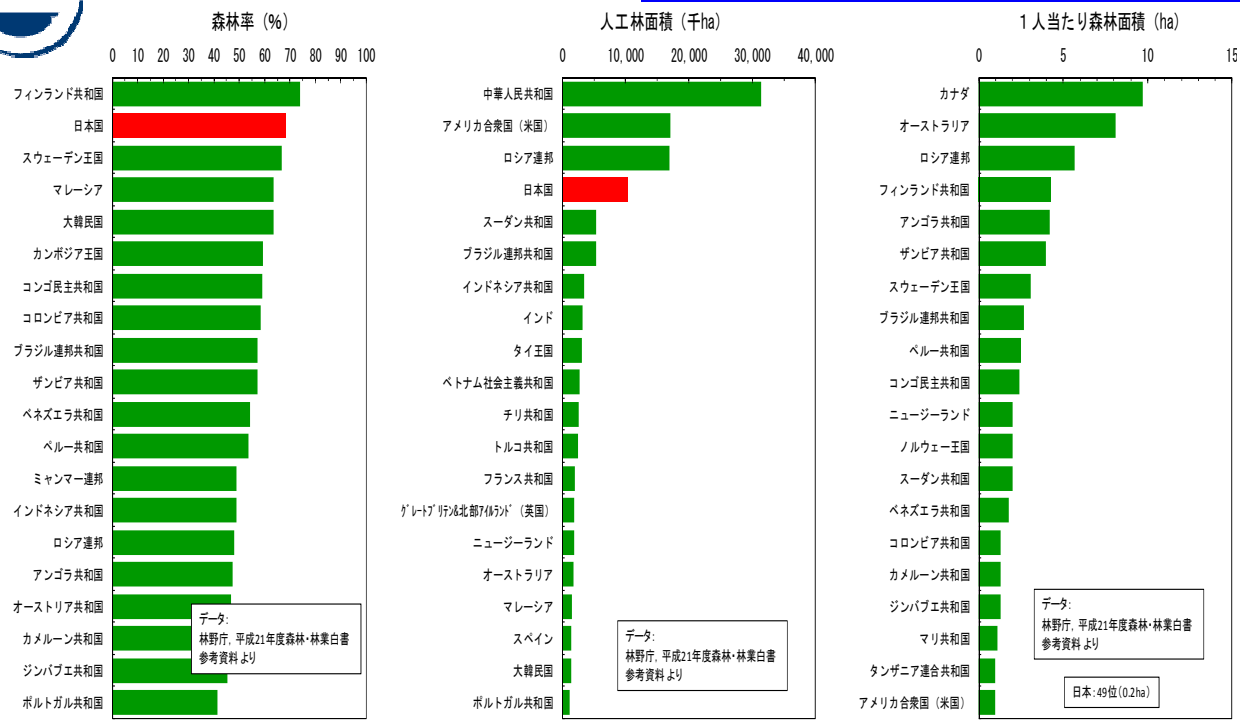
地球温暖化と木材利用

年代：28,000年前の埋没林
樹種：エゾマツ，カラマツなどの針葉樹
地盤：泥炭
最終氷期（約8万～1万年前）の工期に洪水などの環境激変により水没されたとされる．

出来島海岸埋没林（ 28,000年前）

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

地球温暖化と木材利用



世界各国の森林状況

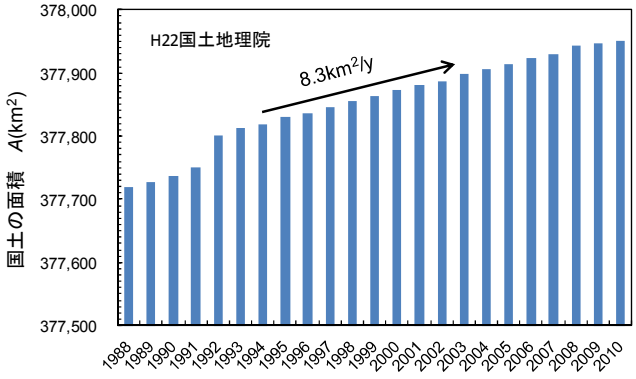
防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

地盤の液状化

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
➢地下水位が浅い ➢緩く堆積 ➢新しい堆積 ➢礫を主体としない	➢粘性土 ➢有機質土	➢常時	➢圧密沈下 ➢すべり破壊	➢沈下 ➢傾斜 ➢水平変位
	➢砂質土	➢地震時	➢液状化 ➢地盤の流動化	➢沈下 ➢傾斜 ➢浮き上がり ➢側方流動

地形	国土面積の割合 (377千km²)	人口比率	資産比率
沖積平野	10%	49%	75%
その他	90%	51%	25%

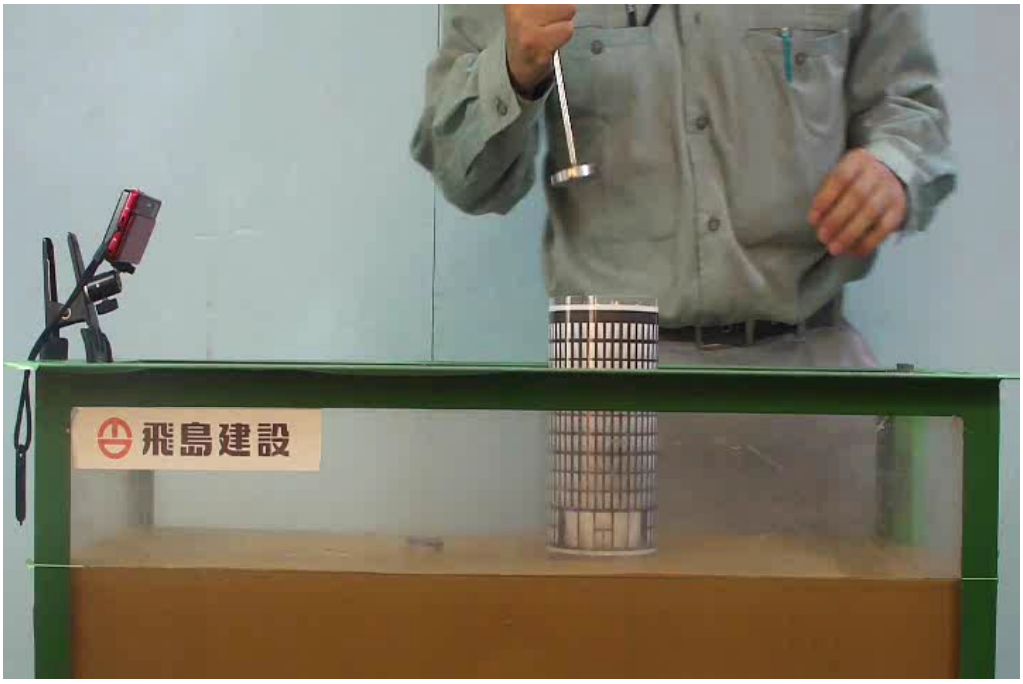
H19年防災白書



軟弱地盤の特徴

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

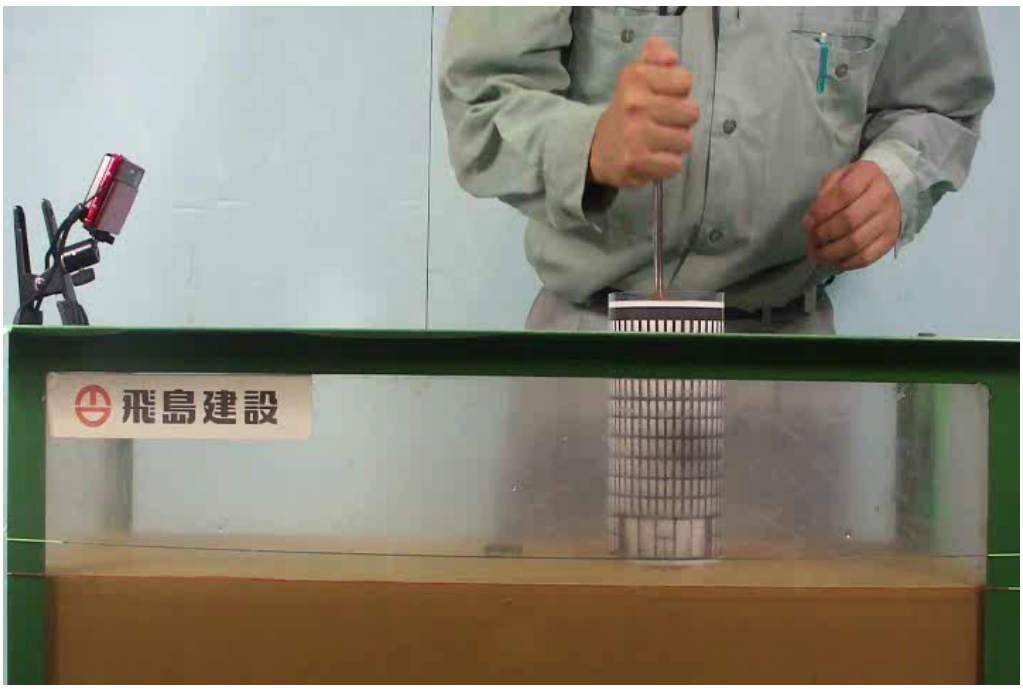
飽和砂，Dr=50%，150Gal加振 **地盤の液状化**



- 静的には支持力は結構大きい
- 繰返し荷重を受けると地盤が液体状に変化

緩い飽和砂の加振実験

飽和砂，Dr=80%，150Gal加振 **地盤の液状化**



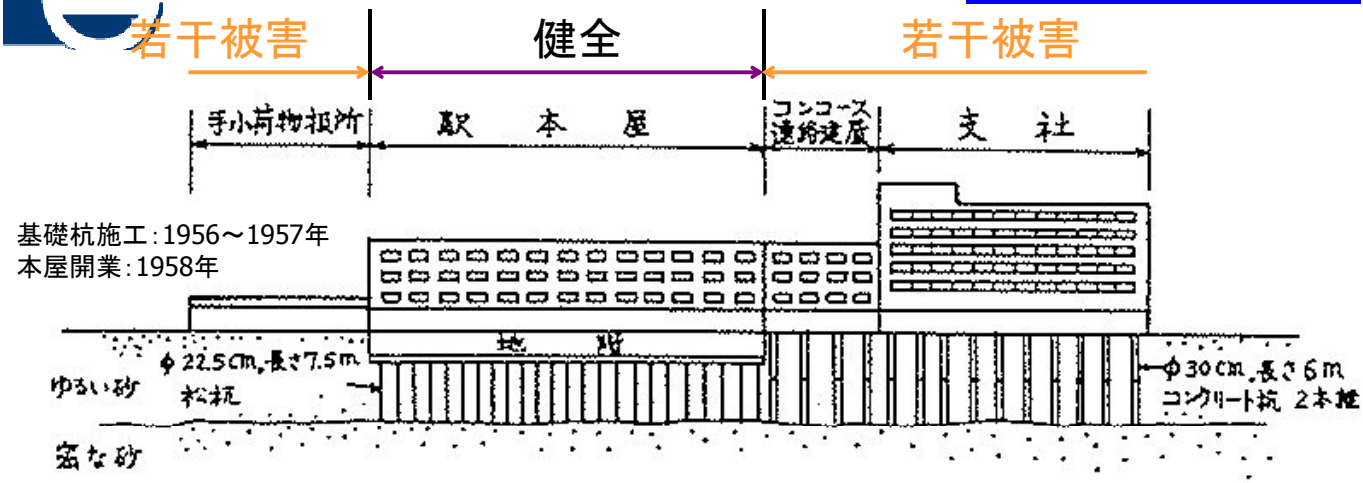
- 支持力が大きい
- 繰返し荷重を受けても地盤は変化しない

密な飽和砂の加振実験

地震と地震被害の教訓

- 地震は必ず発生し，それを防ぐことはできない．
- 地震の発生の予測は，現状では我々が望むような短い時間単位ではできない．
- 地震被害は，かなりの部分で防ぐことができ，身近な対応も効果がある．
- 地震被害は，必ず最も弱いところが受ける．

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い



第２図　新潟駅正面建屋

・・・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.

新潟駅の設計と地震による被害

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

木材を土木材料として用いる場合の強みと弱み

	強　み	弱　み
力学的特徴	・軽い割に強度がある ・弾性領域が広い	・鋼材に比べ強度が低い ・乾燥により変形する
一般的な特徴	・放置すれば自然に返る ・燃料として利用できる ・見た目や感触が良い **・持続可能な材料である** **・生産時のエネルギーが少ない** **・炭素を貯蔵している** **・環境負荷の心配が少ない** **・間接的な環境効果もある** **・加工が容易である** ・比較的塩害に強い ・熱伝導率が低い ・温度応力がほとんど発生しない **・利活用の歴史がある** **・国内のほぼ全域で供給ができる**	・腐朽や虫害がある ・燃えやすい ・形状のばらつきが大きい ・品質のばらつきが大きい ・長大材を得にくい ・均質で大きな構造体を作れない

沼田淳紀，吉田雅穂，濱田政則：木材による1964年新潟地震における液状化対策事例，木材学会誌，Vol.55，No.5，pp.305-315，2009.

LP-LiC工法のコンセプト

江戸時代 → 土、石、木（天然材料）

高度経済成長・バブル → セメント、鉄、人工化学材料

将来 → 土、石、木
（セメント、鉄、人工化学材料を補助的に使用）

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，2006.8.

土木材料をウッドファーストで

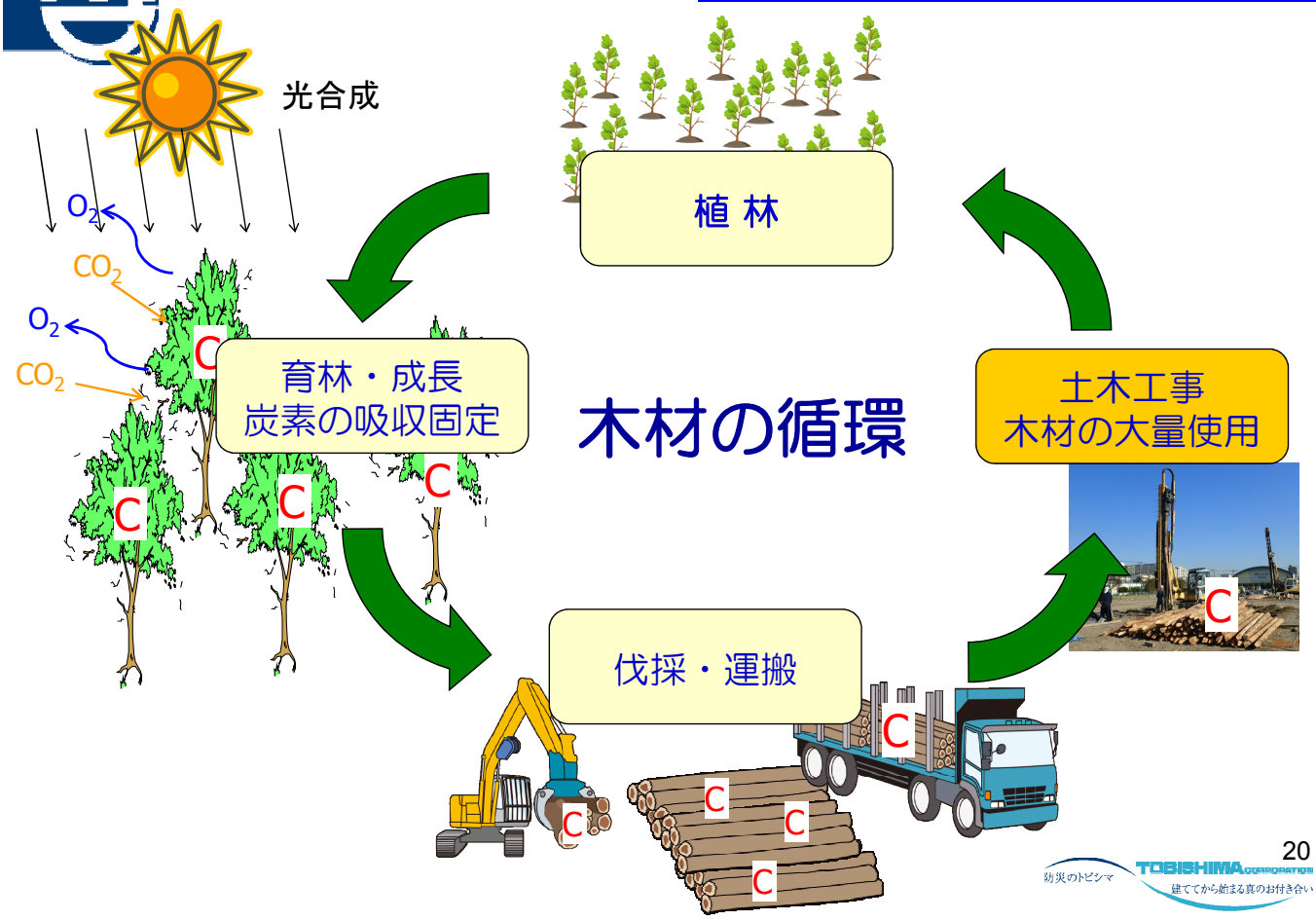
持続可能な建設事業による安心安全な社会構築

地球温暖化緩和
省エネ，炭素貯蔵，森林・林業再生

安心・安全
地震減災

丸太打設液状化対策
&
カーボンストック工法

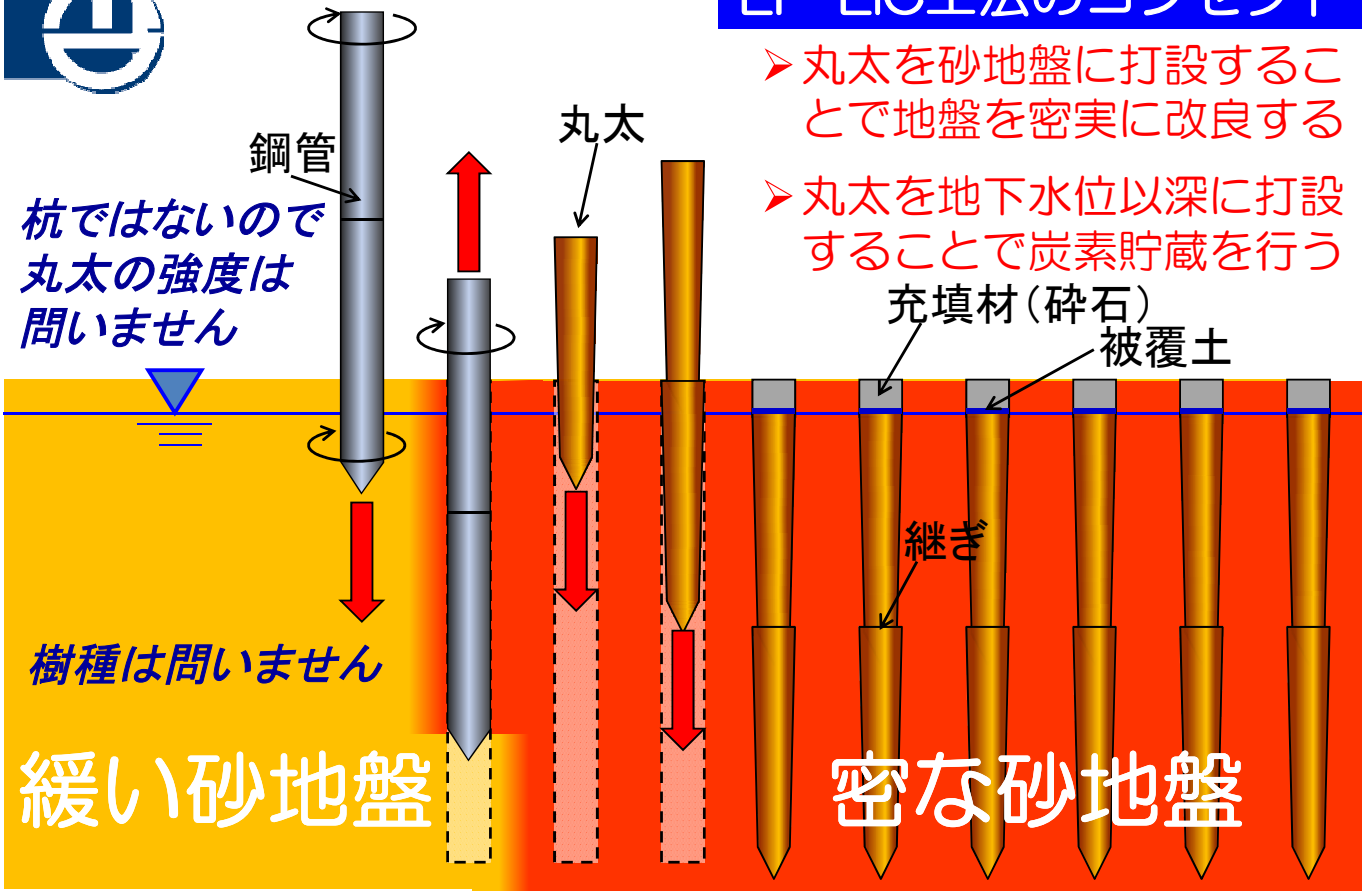
LP-LiC工法のコンセプト



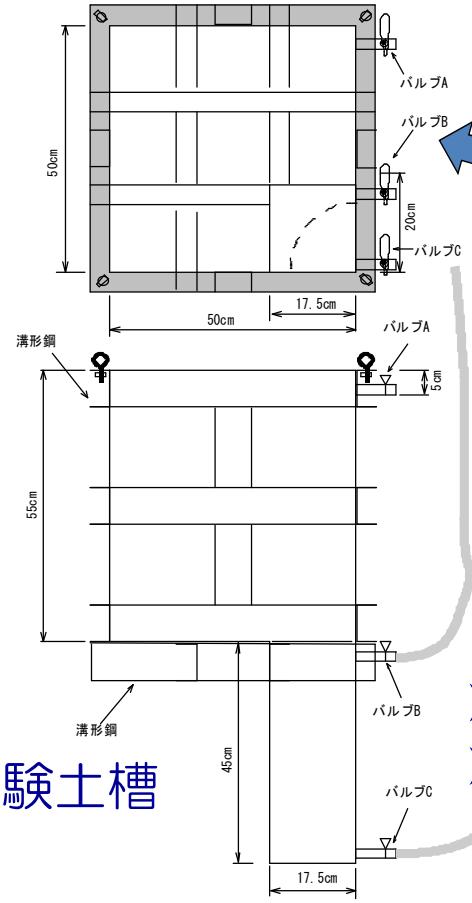
液状化の発生する条件

- 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が作用すること（地震）

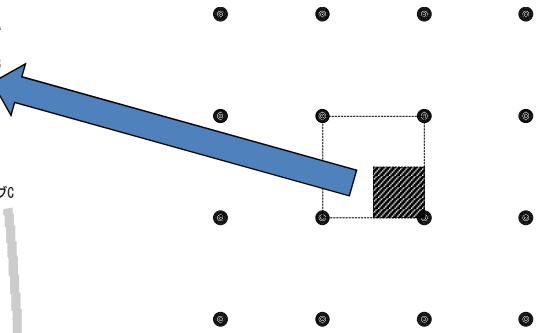
- 丸太を砂地盤に打設することで地盤を密実に改良する
- 丸太を地下水位以深に打設することで炭素貯蔵を行う



地盤の液状化対策原理



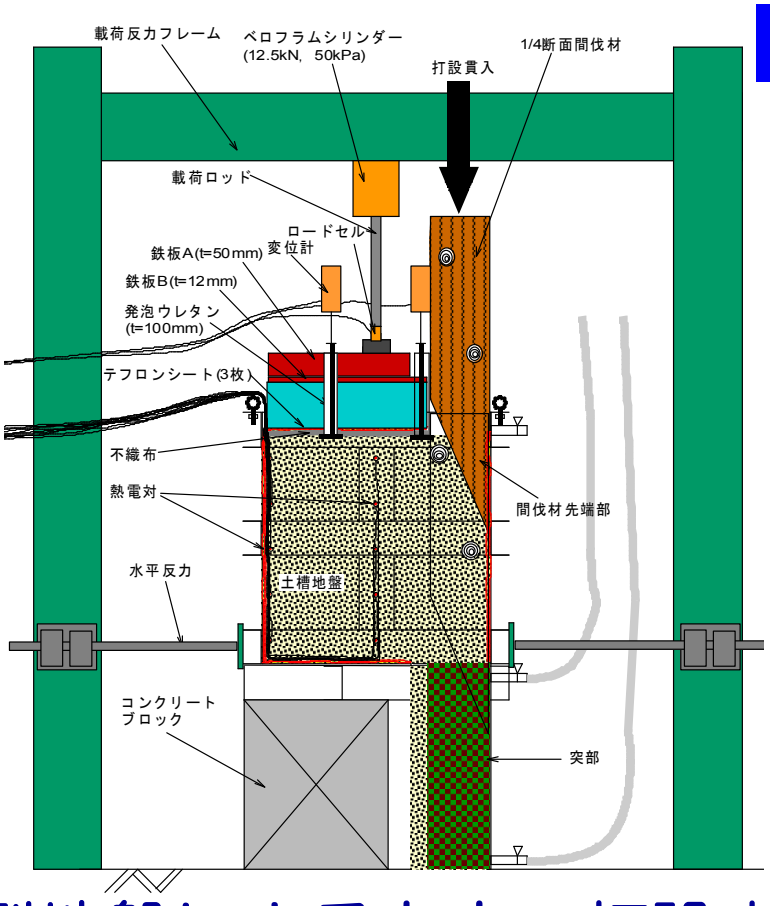
実験土槽



正方形配置した場合の間伐材配置

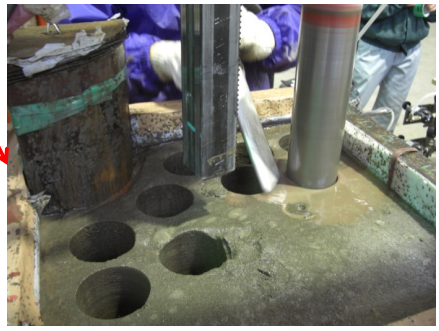
使用した間伐材
- 樹種：スギ
- r=7.5，10.0，15.0cm

模型地盤による丸太の打設実験

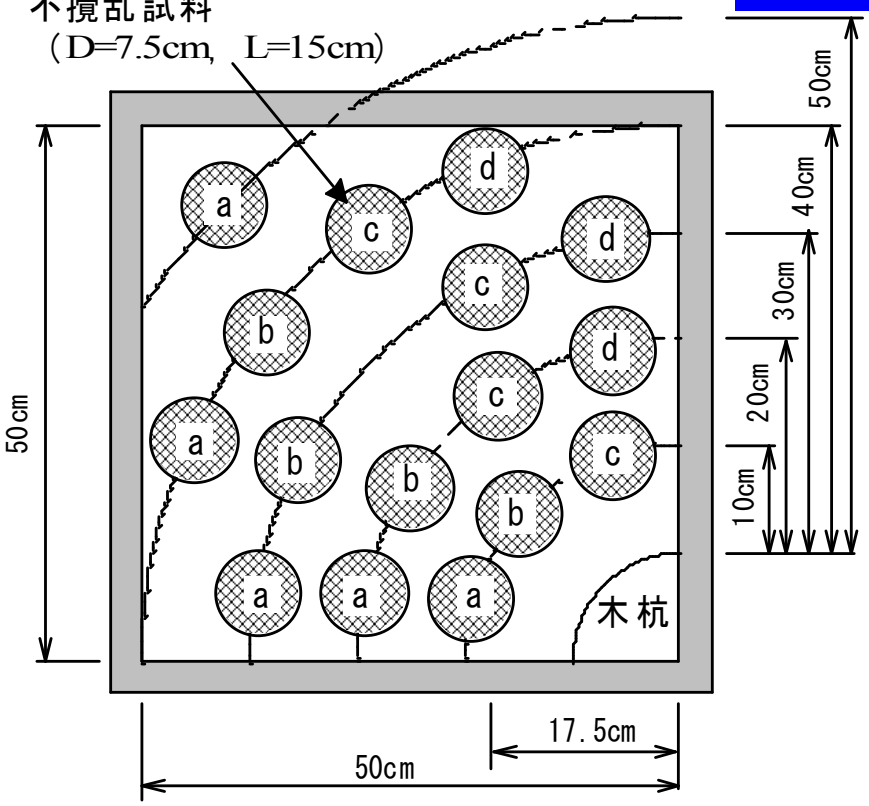


模型地盤による丸太の打設実験の概要

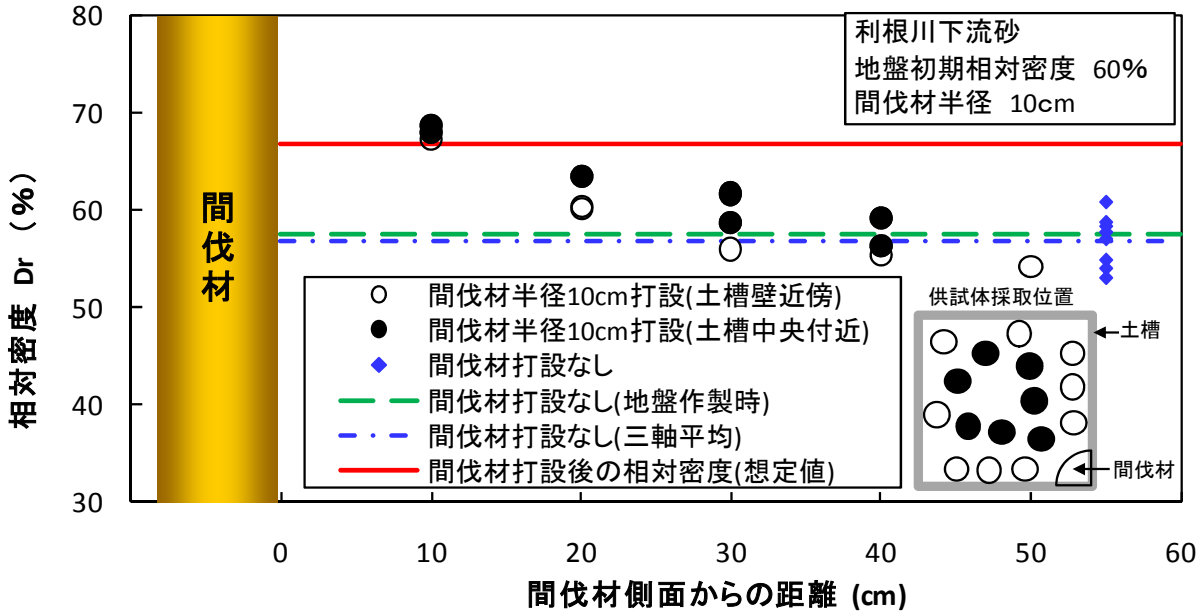
試料含水比調整
↓
土槽地盤作製
↓
飽和化
↓
上載圧載荷
(50kPa)
↓
圧密
↓
間伐材打設
↓
冷水通水
↓
地盤凍結
↓
コアボーリングにて
不攪乱試料採取
↓
コア冷凍庫保存
↓
供試体整形
↓
繰返し非排水三軸試験
(σ_c=50kPa)



実験のフロー

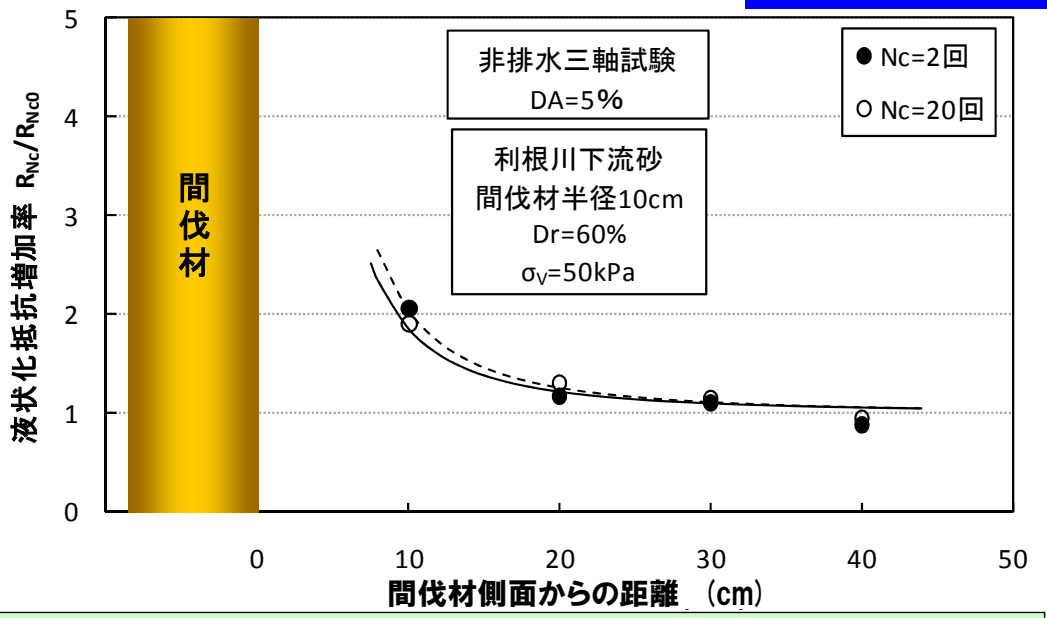


乱さない試料の採取位置



・丸太に近いほど密度が大きくなる。
・土槽壁近傍は土槽中央付近に比べ3%程度密度が小さい。
・丸太から40cm以上離れると、密度はほぼ一定となる。

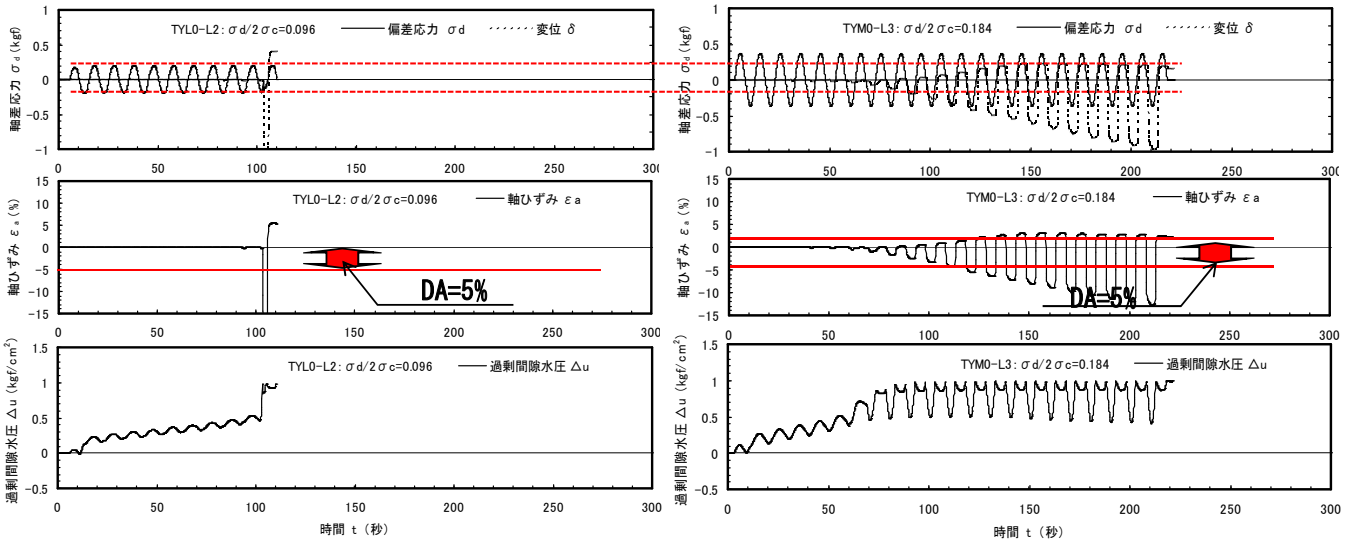
模型地盤内の密度の変化



$$液状化抵抗増加率 = \frac{液状化抵抗R_{Nc}}{液状化抵抗R_{Nc0}}$$

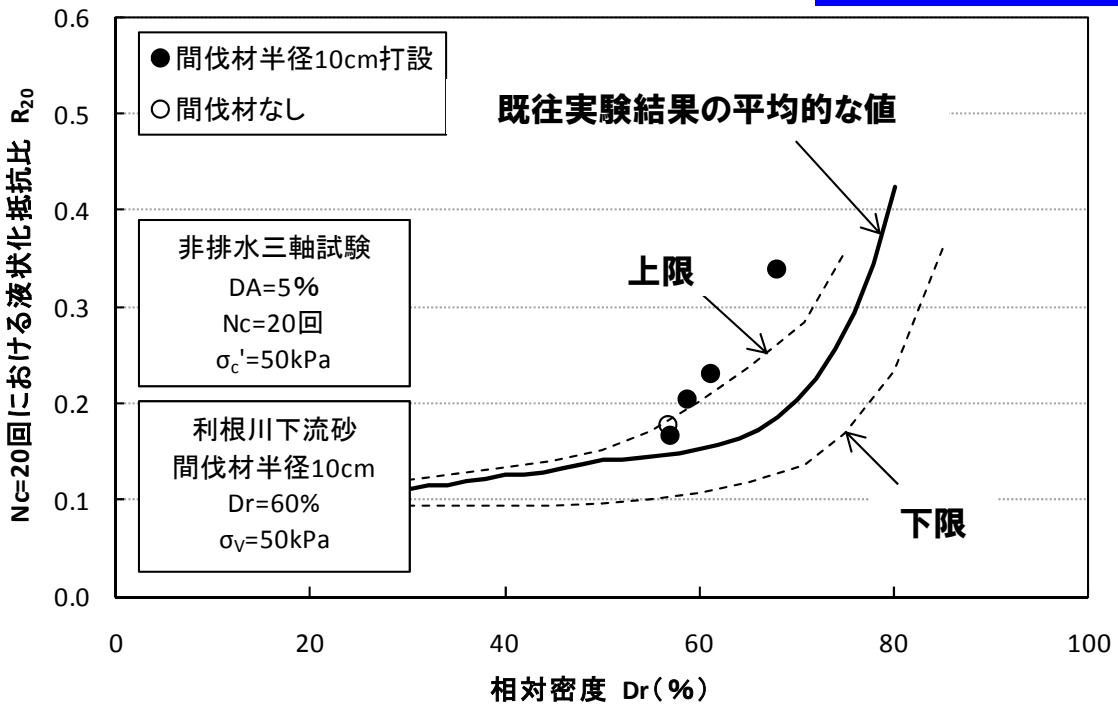
R_{Nc}：丸太側面からのそれぞれの距離における液状化抵抗
R_{Nc0}：丸太材を打設しない場合の液状化抵抗

液状化抵抗増加率と丸太側面からの距離



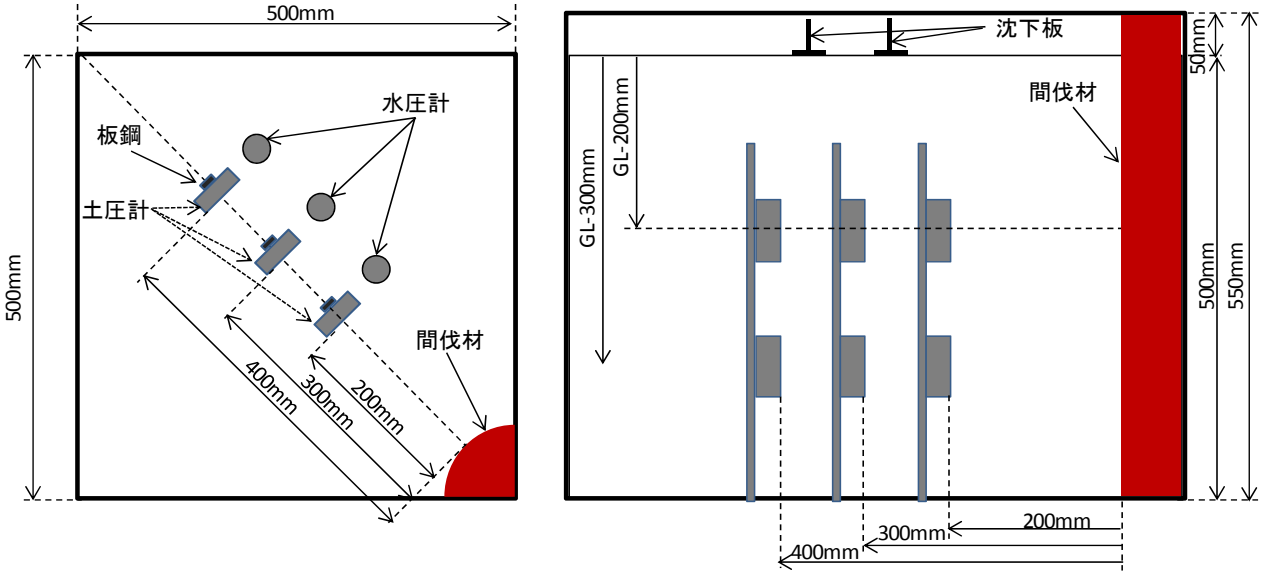
(a)緩い砂　　(b)中密な砂

破壊とductility（靭性）

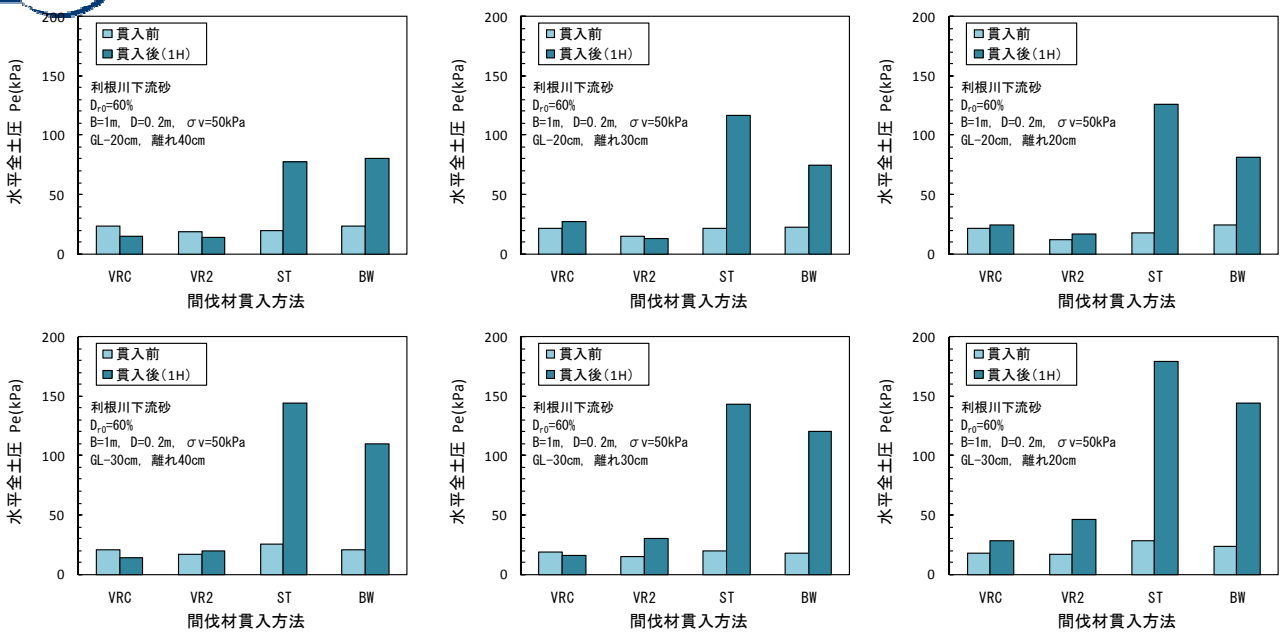


水平方向の土圧の増加 ➡ 過圧密履歴 ➡ 液状化抵抗の増加

液状化抵抗と相対密度の関係



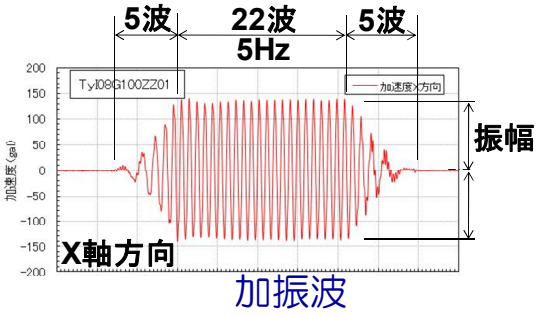
丸太と土圧計・水圧計の設置位置



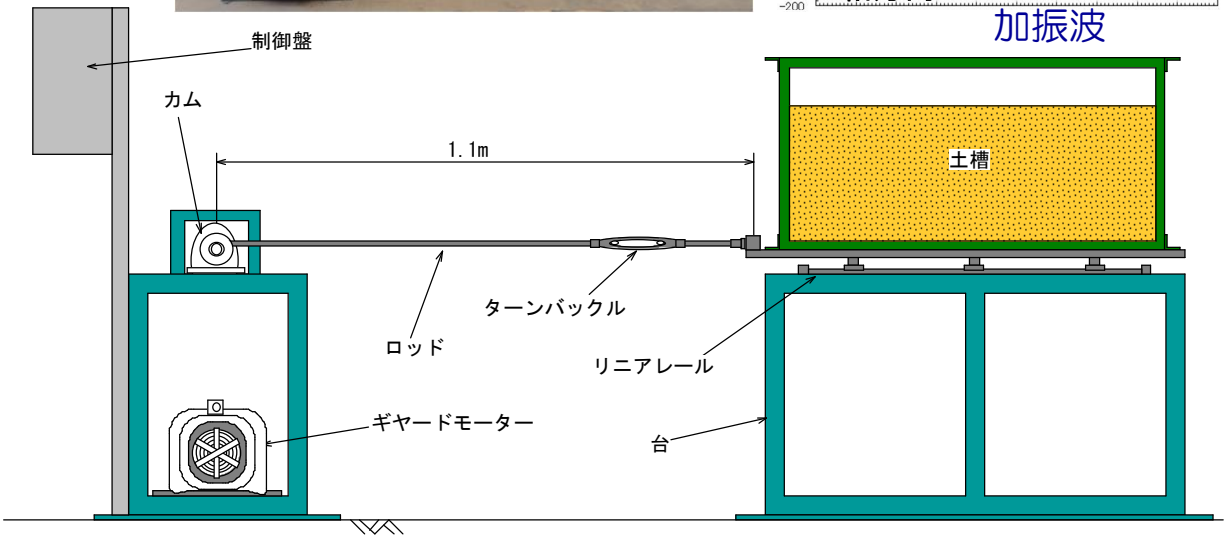
VRC：連続振動，VR2：2分間振動，ST：静的，BW：打撃

丸太打設方法と水平土圧

液状化対策効果



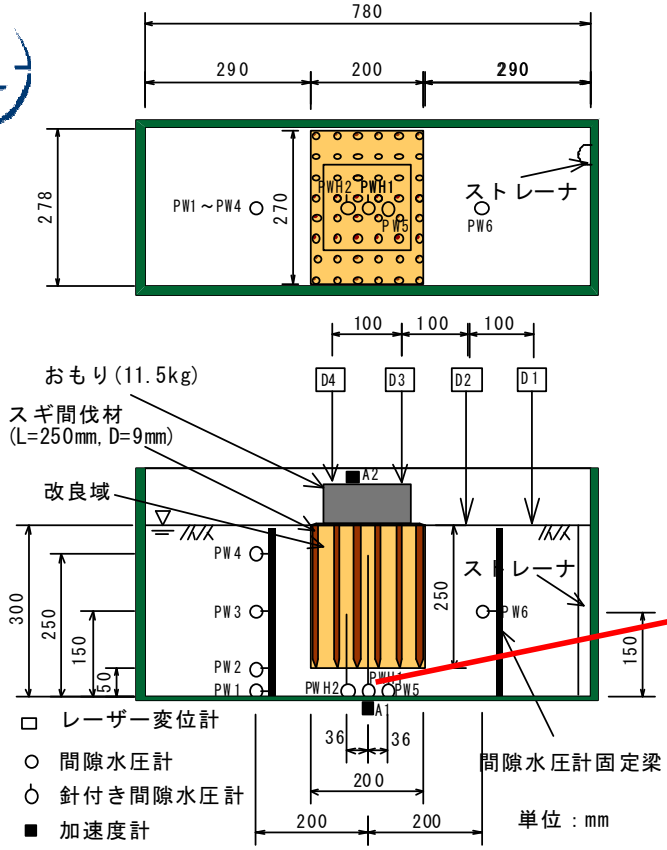
加振波

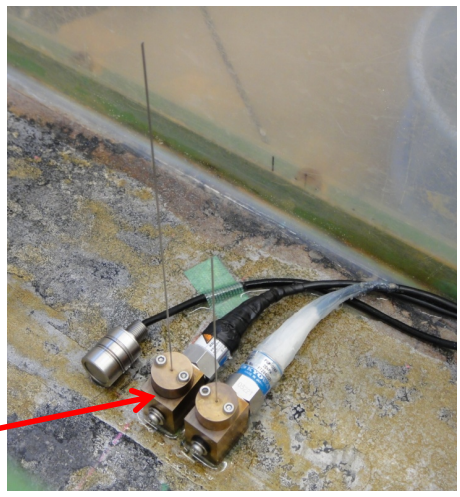


小型振動実験装置と加振波

災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

液状化対策効果



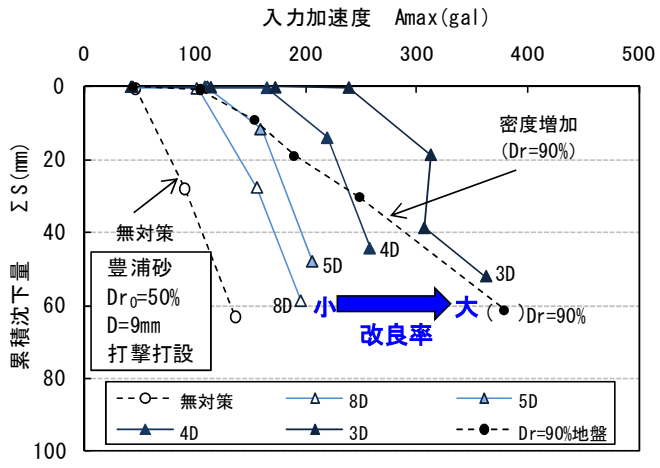


針付き間隙水圧計

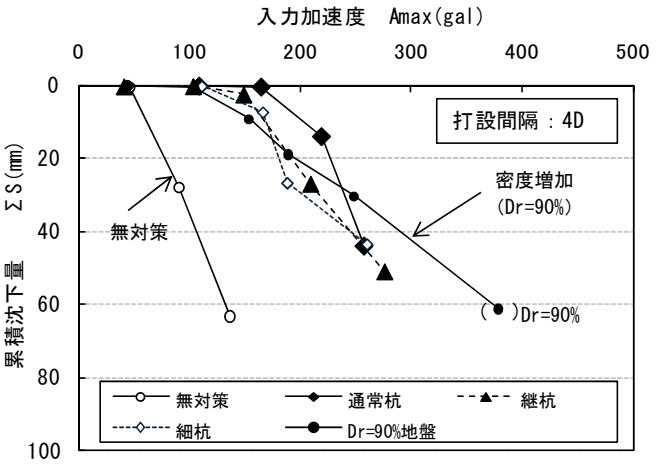
小型土槽とセンサーの配置

災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

液状化対策効果



(a)種々の丸太打設間による沈下量

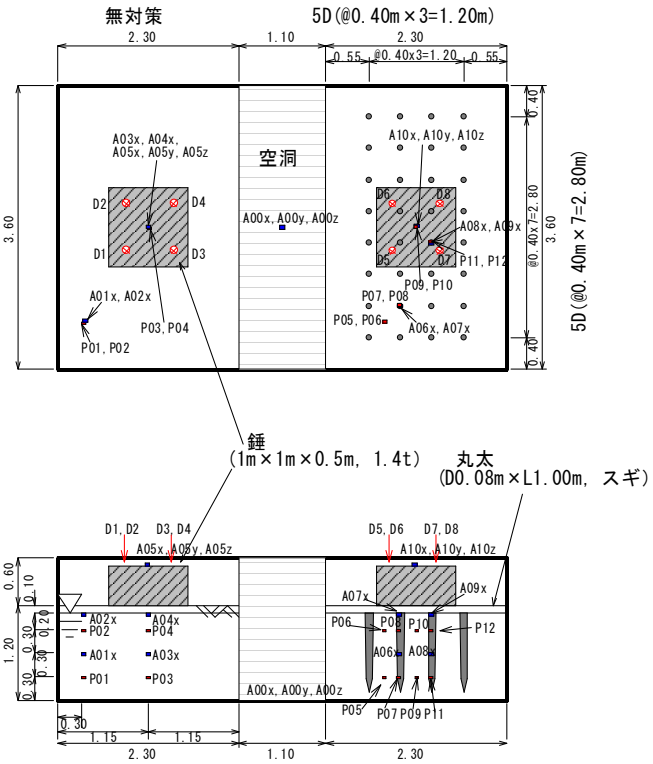


(b)種々の丸太による沈下量

小型振動実験加振実験結果

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

液状化対策効果



大型模型振動実験

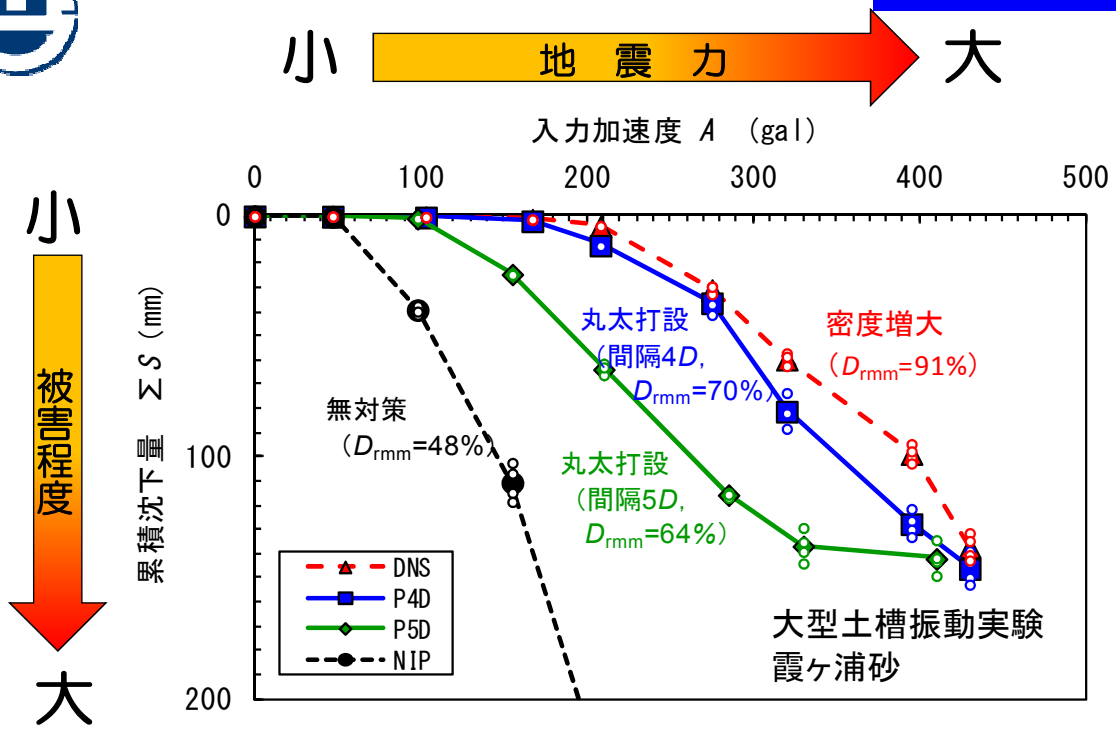
防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

入力加速度：157Gal
地盤対策方法：無対策

無対策地盤の振動実験

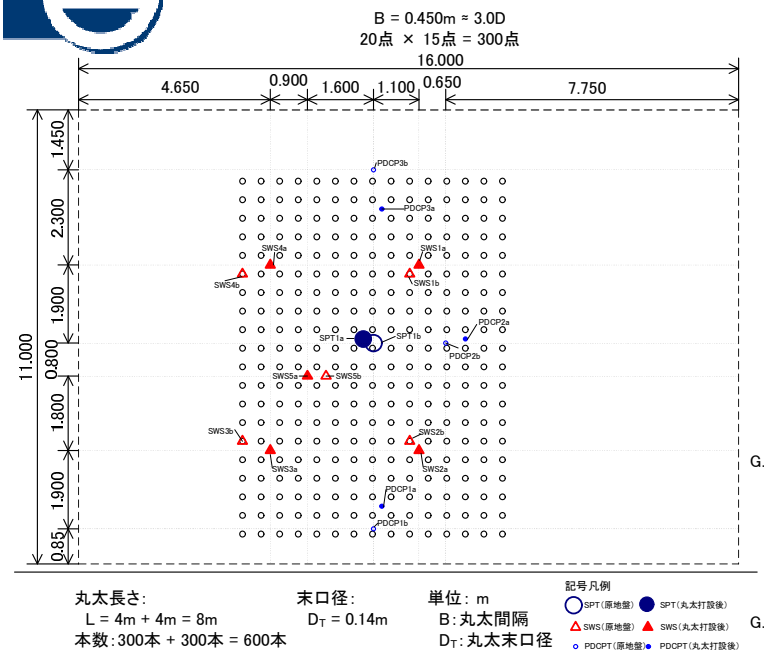
入力加速度：165Gal
地盤対策方法：丸太打設（4D）

丸太打設した地盤の振動実験

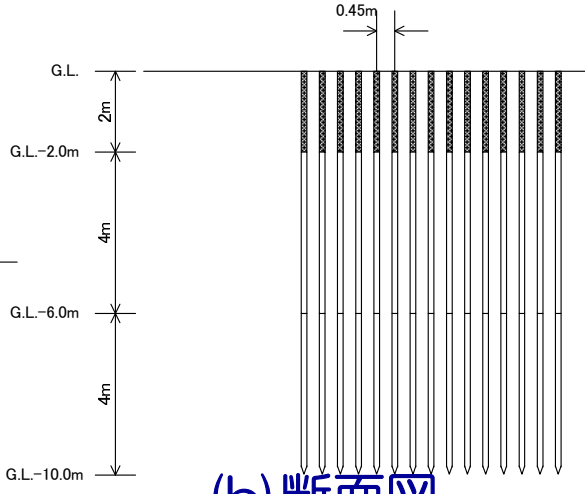


LP-LiCの4D($D_{r\,mm}$=70%)は，密度増大$D_{r\,mm}$=91%と同等の対策効果.

大型模型振動実験結果

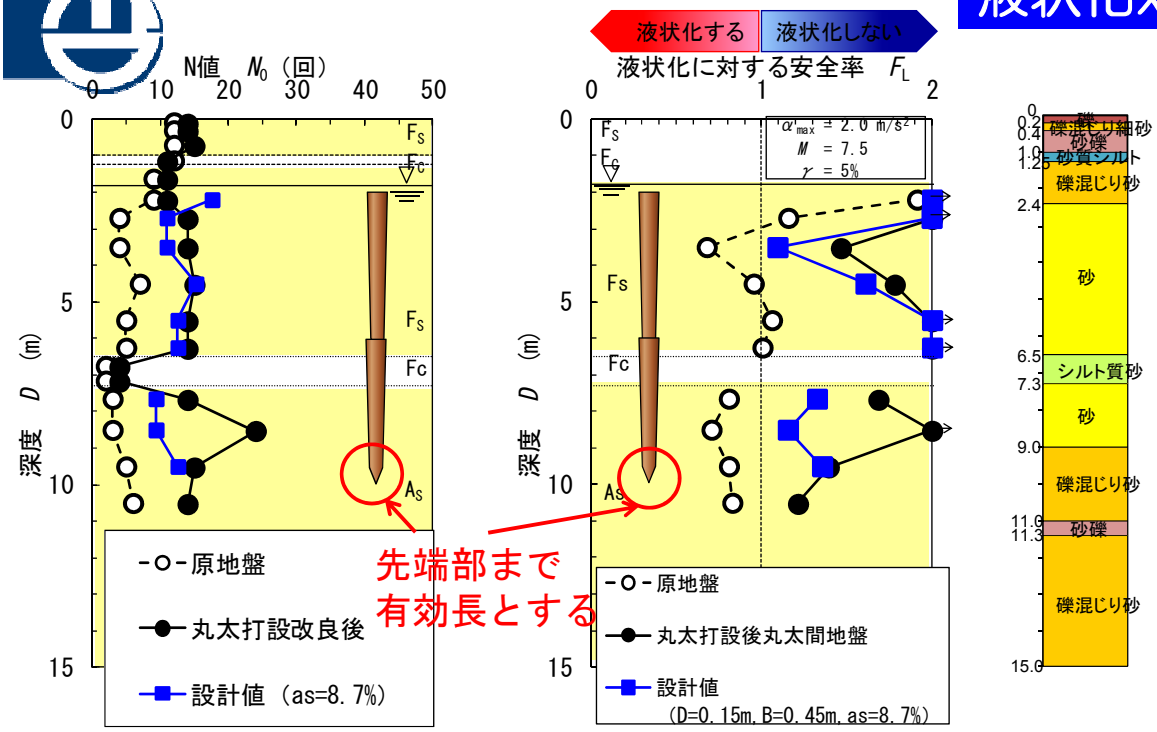


(a) 平面図



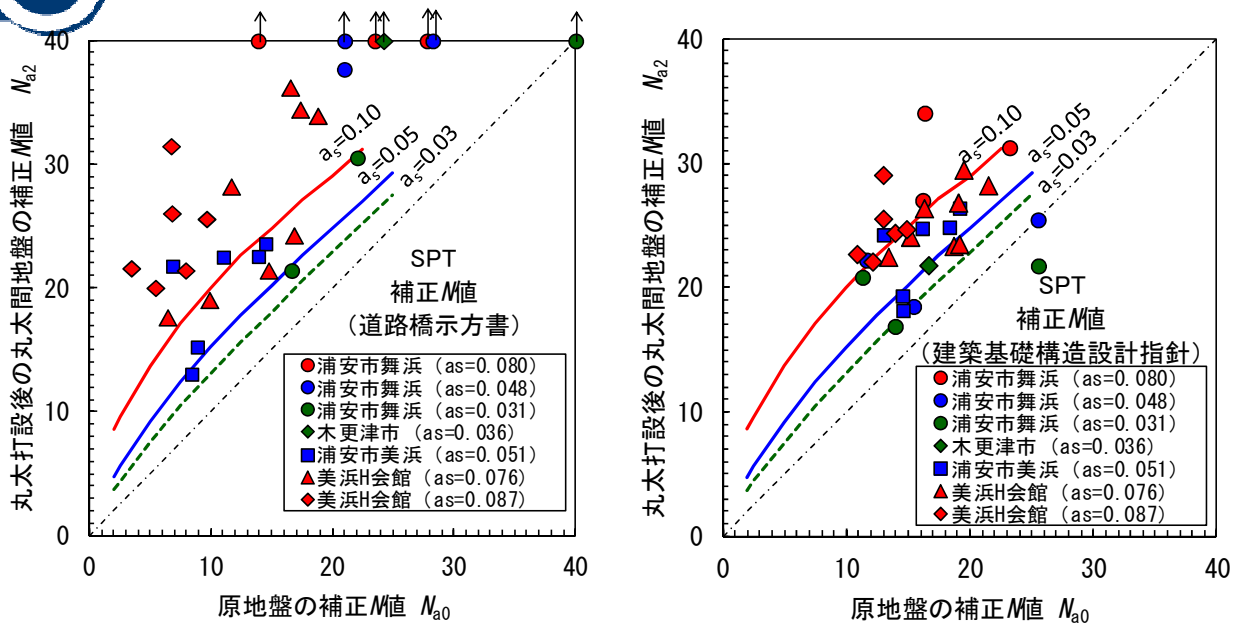
(b) 断面図

丸太打設実大現場実験



(a) N値　　(b) 液状化安全率

地盤密度と液状化の可能性

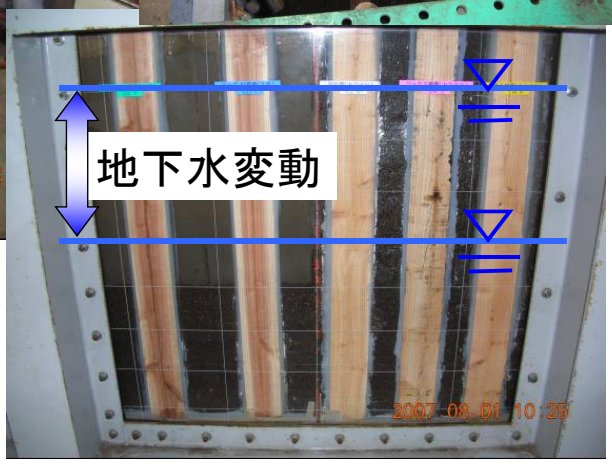


(a) 道路橋示方書　　(b) 建築基礎構造設計指針

締固め効果のSCP工法との比較(補正N値)

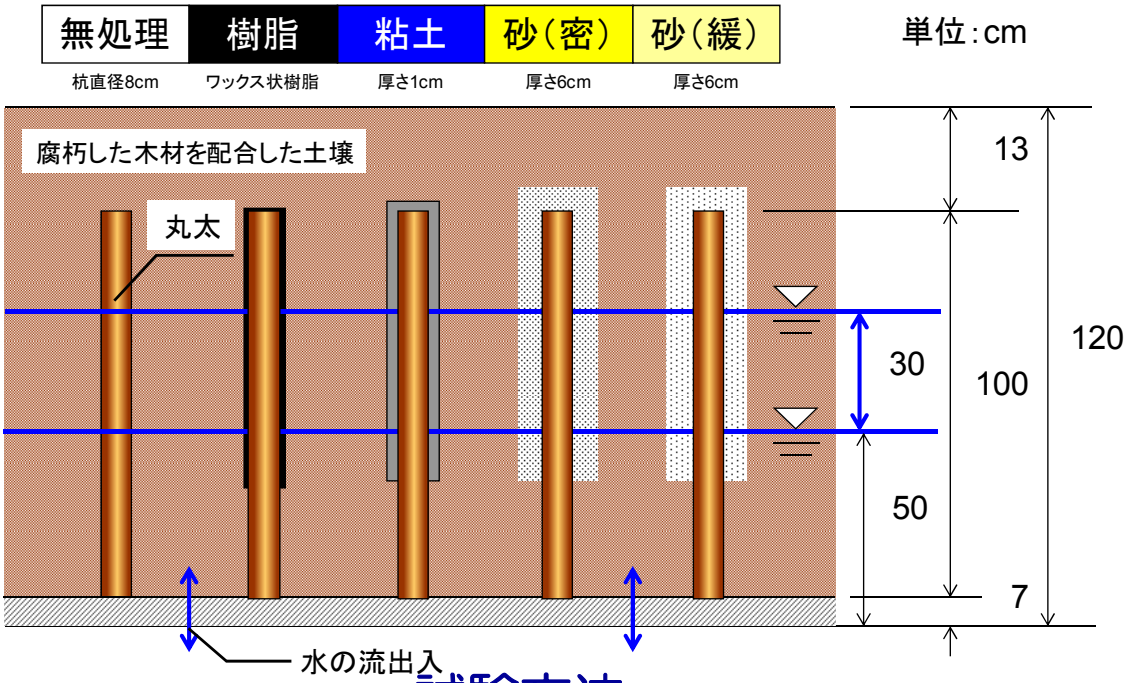
検討方法	長　所	短　所
既存木材の調査 ・文献調査 ・現地堀出し調査	・耐久性を実年数で計測可能 ・実際の環境での把握が可能	・新しい対策方法のデータは取れない ・各種条件を設定できな
実験 ・促進試験 ・模型実験 ・実地盤での実験	・新しい対策方法の検討が可能 ・各種条件を厳密に設定可能	・長い実年数のデータは取れない

生物劣化に対する検討方法



大型模型地盤を用いた腐朽促進試験

生物劣化対策



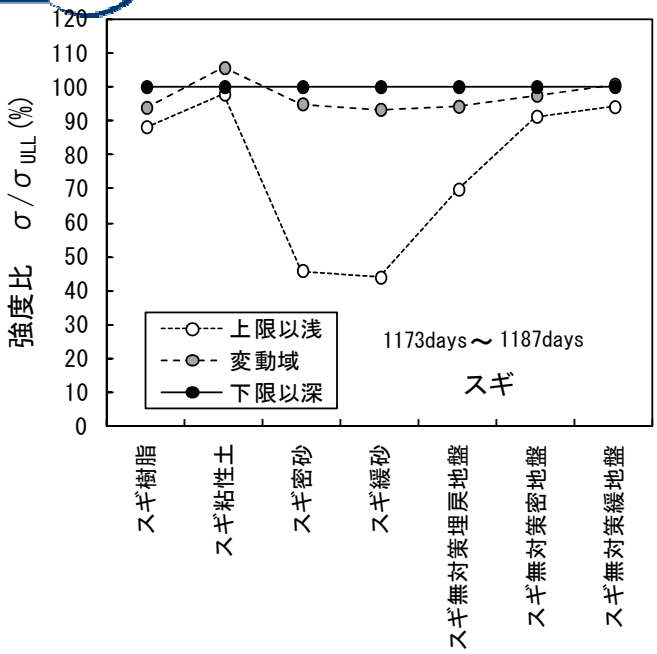
試験方法

使用樹種：カラマツ，スギ

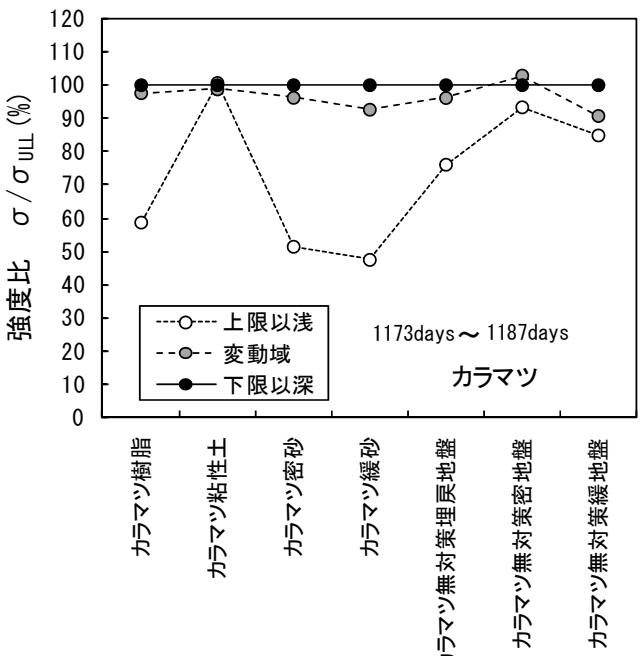
大型模型地盤を用いた腐朽促進試験

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

生物劣化対策



(a)スギ

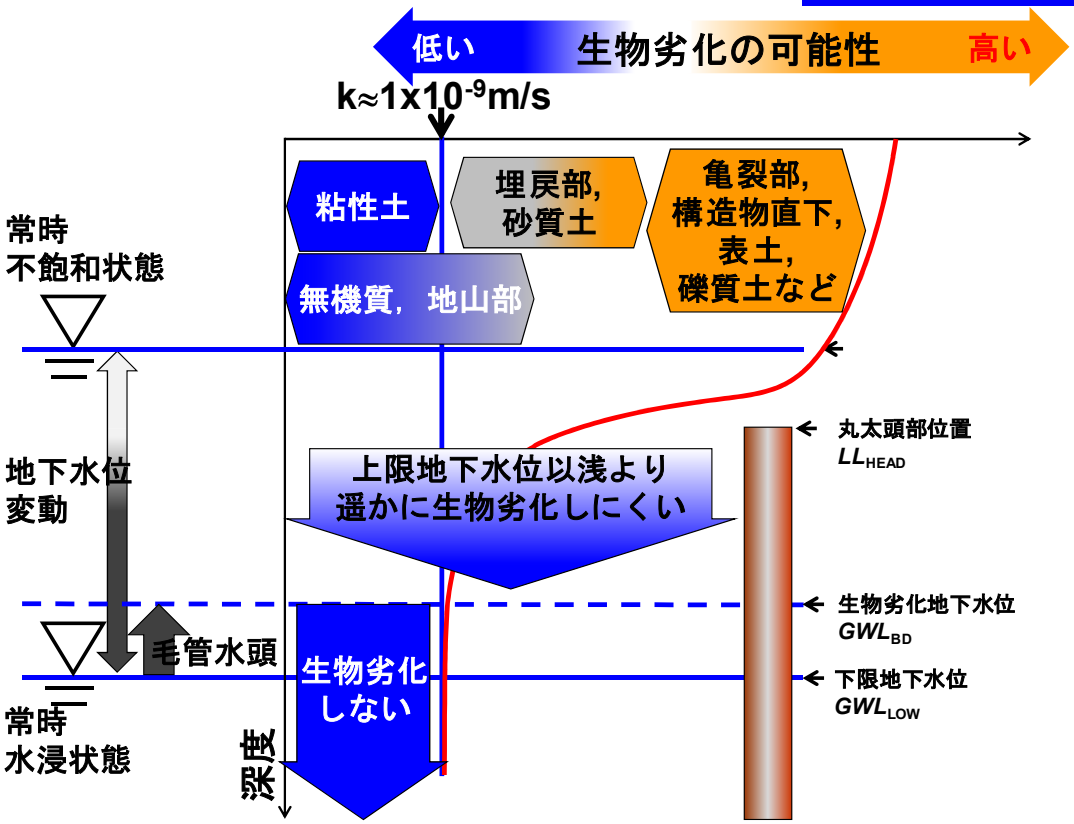


(b)カラマツ

縦圧縮強さ比（3.2年経過後）

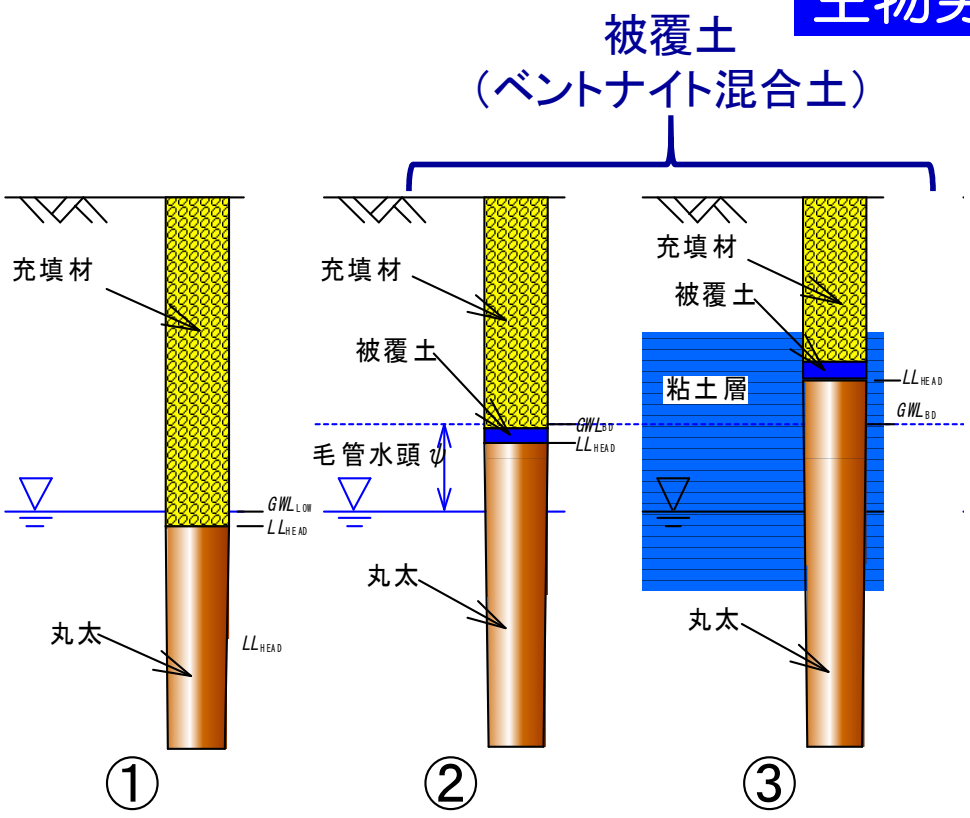
防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

生物劣化対策



地中における木材の腐朽の可能性

生物劣化対策

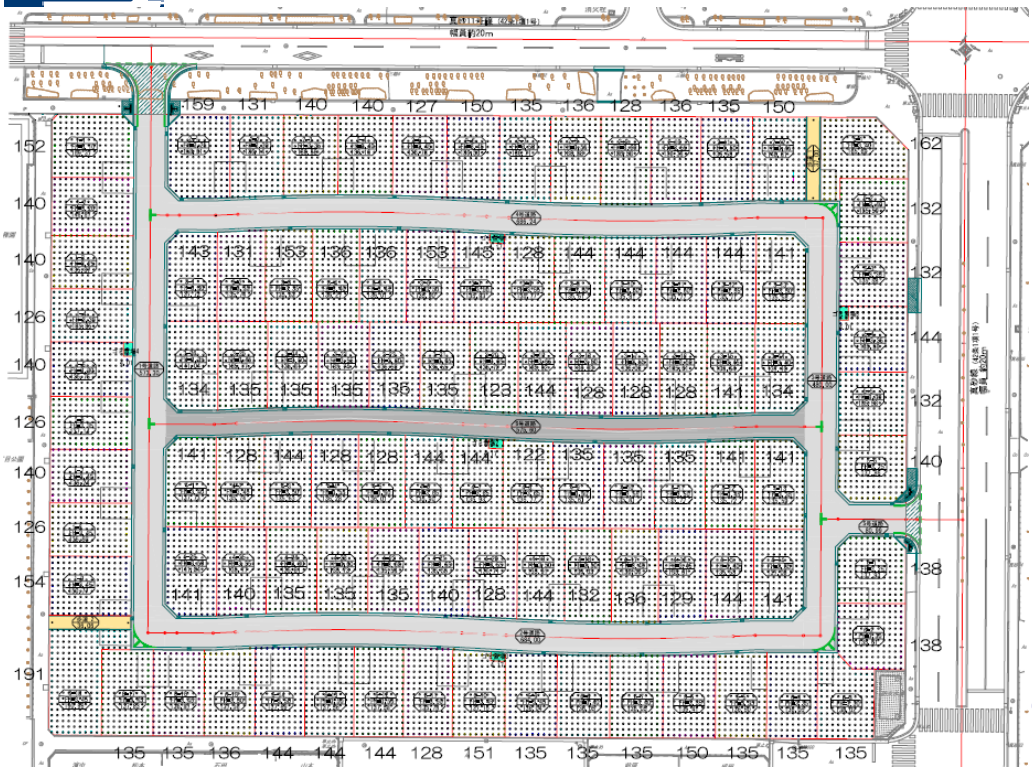


丸太頭部の生物劣化対策方法

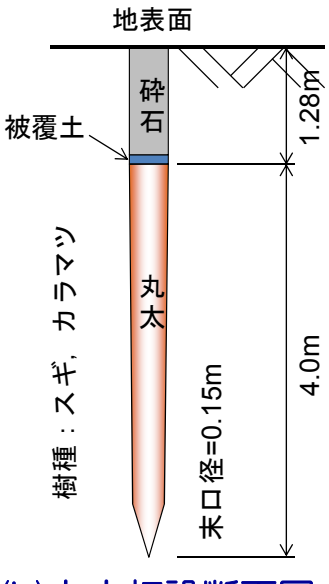
液状化対策の概要

（場所：千葉県美浜区　大規模分譲住宅の事例）

項　目	内　容
改良面積	13,382.29m^2
改良深さ	5.28m
改良体積	70,658m^3
丸太寸法	末口0.15m×長さ4.0m （先付けあり，皮剥ぎ，テーパー付き）
丸太打設間隔	1.0m（正方形配置）
打設点数	7,000本（スギ）+6,420本（カラマツ）＝13,420本
丸太使用材積	1,207.8000m^3



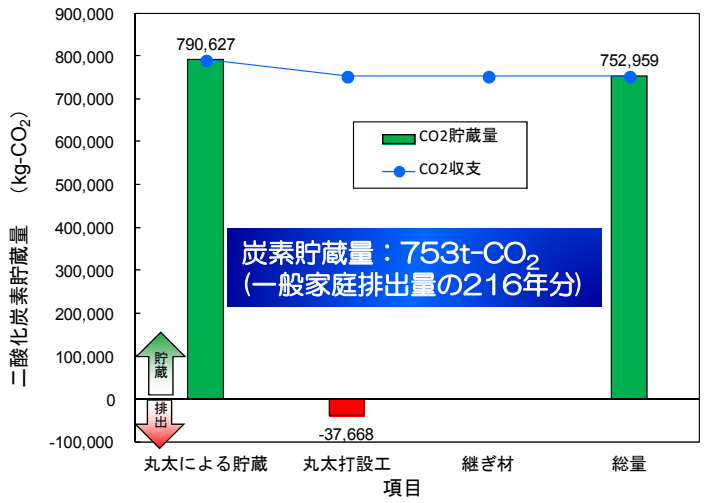
(a) 丸太打設伏図



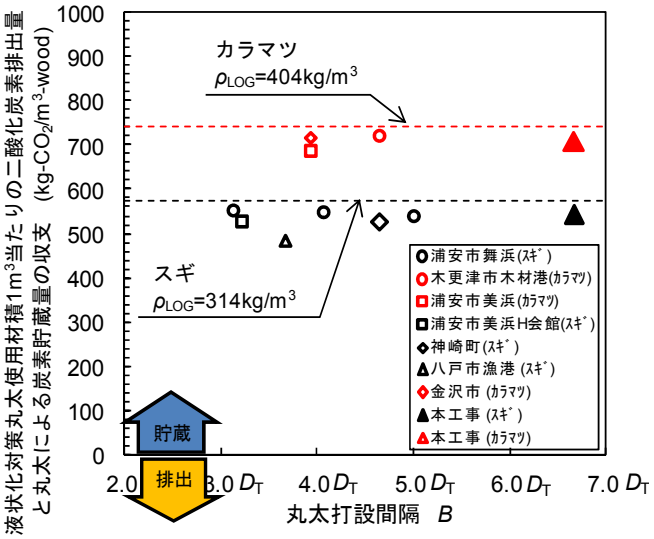
(b) 丸太打設断面図

液状化対策の概要

炭素貯蔵効果と施工実績



(a) 丸太による炭素貯蔵量と工事による二酸化炭素排出量



(b) 丸太材積1m³当たりの丸太による炭素量と工事による二酸化炭素排出量（二酸化炭素換算）

炭素貯蔵効果

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い

おわりに

LP-LiC工法の特長

● 安 全 ・ 安 心	・信頼性の高い密度増大を対策原理としており，確実な液状化対策効果を発揮.
● 地球温暖化緩和	・炭素を地中に長期間貯蔵することができる. ・製造時の消費エネルギーが小さい丸太を使用するので，省エネルギーである.
● 近 隣 へ の 配 慮	・自然素材を用いるので，地下水汚染などの心配がない. ・丸太は地盤に静的に圧入するので，低振動・低騒音である. ・大型重機を必要としないので，市街地・狭隘地での施工が可能. ・丸太を無排土で圧入するので建設残土の発生がない. ・プラントなどの設備を必要としない. ・丸太打設による周辺地盤への変位はほとんど生じない.
● 木 材 の 活 用	・丸太は，構造材のような高品質の木材である必要がない. ・林業再生，地域林業の活性化に貢献できる.

防災のトビシマ TOBISHIMA CORPORATION 建ててから始まる真のお付き合い