

# —地中に森をつくる— 木材で温室効果ガスを削減する地盤改良技術 (LP-LiC 工法、LP-SoC 工法)

木材活用地盤対策研究会 mokuchiken.com

キーワード：丸太、液状化対策、軟弱地盤対策、地球温暖化対策、炭素貯蔵、省エネルギー

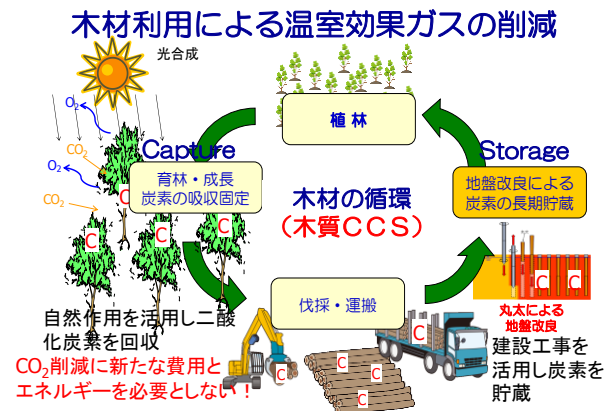
1. 木材(丸太)の地盤改良への活用の背景  
木はその成長過程で光合成を行い、大気中の二酸化炭素から炭素を固定します。地中において、特に地下水位以下では、木材は生物劣化が生じないので、非常に長期にわたって活用することが可能になります。木材を長期間利用するという事は、長期間炭素貯蔵ができるということです。

つまり、丸太による地盤改良は、社会資本の整備、民間資本の整備を実施しつつ、自然の力で蓄えた炭素を長期間貯蔵し、今地球規模の喫緊の課題である地球温暖化の緩和にも貢献できる工法ということが出来ます。光合成に使う太陽エネルギーと地盤改良を通じた社会資本整備によって、CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)をも実現する、まさに SDGs の方向性にふさわしい「地中に森をつくる」地盤改良工法と言えるでしょう。この考え方を示したのが【木材の循環と炭素貯蔵】の図です。

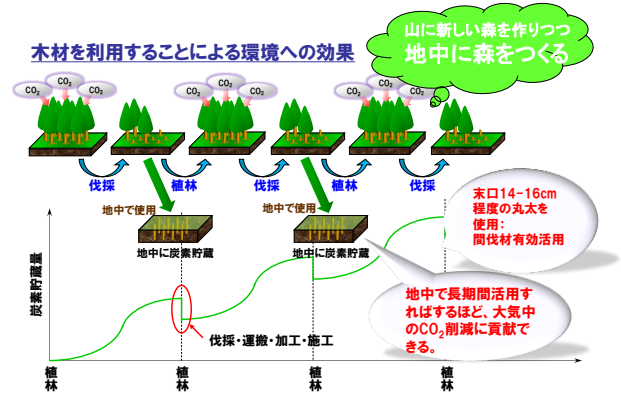
【山に新たな森をつくりつつ、地中に森をつくる】(文献 1)の図-3 に加筆修正)の図に示すように、地盤改良に用いる丸太を切り出した森には、再度植林を行うことで新たな炭素貯蔵が行われます。これを繰り返していくことで、地中に森が増えていき、どんどん炭素貯蔵量が増えていくのです。

## 2. 液状化対策(LP-LiC工法)

木が腐るのは腐朽菌の活動であり、空気



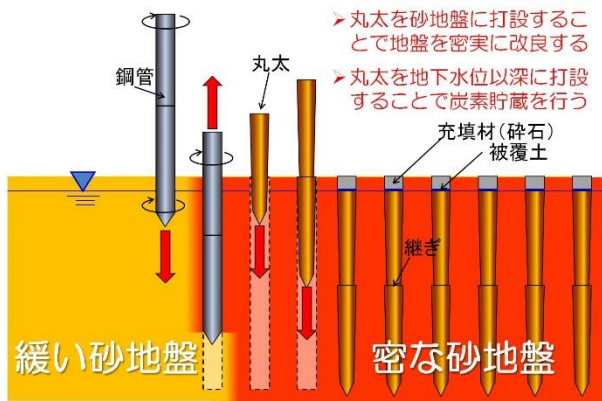
【木材の循環と炭素貯蔵】  
木は成長過程で光合成により大気中の炭素を固定し、長期の利用で炭素貯蔵を実現します。



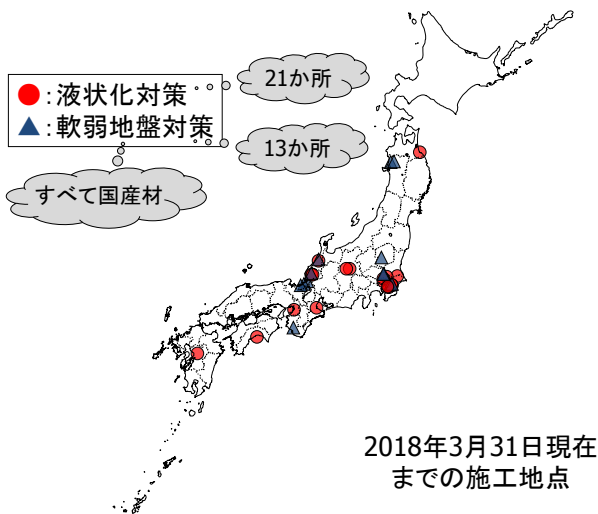
【山に新たな森をつくりつつ、地中の森をつくる】  
(文献 1) の図-3 に加筆修正)  
丸太による地盤改良で地中に森をつくります。山では再度植林し、また使う、この過程を繰り返すことで、炭素貯蔵量はどんどん増加します。

の供給が継続しなければ、菌も活動できず生物劣化は進みません。地下水が発生条件となる液状化の対策に丸太を用いることは非常に合理的と言えます。丸太の圧入で地盤の密度を増大させるという考えを設計、施工に取り入れ、液状化対策工法を開発しました。これが丸太打設液状化対策&カーボンストック工法 (LP-LiC 工法: (Log Piling Method for Liquefaction Mitigation and Carbon Stock)) です。【液状化対策の原理と効果】に工法の概要を示します。

2012 年の実証施工実験以来、2014 年の(一財)先端建設技術センターの技術審査証明取得を経て、【施工実績】に示すように徐々に実績も増えつつあります。



**【液状化対策の原理と効果】**  
液状化の可能性がある地盤に丸太を圧入して、地盤を締固めることで確実に液状化を防ぎます。炭素を貯蔵し地球温暖化緩和も同時に実現します。



**【施工実績】**  
丸太による地盤改良の施工実績は全国各地に広がりつつあります。

### 3. 軟弱粘性土地盤への適用拡大 (LP-SoC工法)

地震時に液状化する砂質地盤だけでなく、軟弱地盤には、粘性土地盤も多くあります。粘性土地盤では常時に構造物の沈下、傾斜といった被害が生じるため、軟弱粘性土地盤にも対策が必要となる場合が多々あります。

そこで新たな取り組みとして、主に軟弱粘性土地盤を対象とした丸太による地盤改良工法の開発を進めています。【軟弱地盤の特徴】にそれぞれの地盤の特徴と対応する工法を示します。

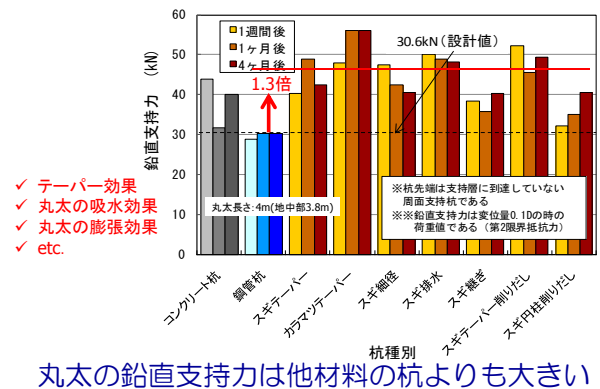
以前の実験で、丸太は周面積が同じコンクリートの杭や鋼管杭よりも大きな支持力が期待できる<sup>1)</sup>という結果が得られていました。【種々の杭の鉛直支持力の比較】にその結果を示します。



地形	国土面積の割合 (377千km <sup>2</sup> )	人口比率	資産比率
沖積平野	10%	49%	75%
その他	90%	51%	25%

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	対応工法
> 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	LP-SoC工法
	> 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	LP-LiC工法

**【軟弱地盤の特徴】**  
沖積低地には軟弱地盤が多く、国土面積の10%程度ですが、人口の50%、資産の75%が集中しています。



**【種々の杭の鉛直支持力の比較】<sup>1)</sup>**  
丸太の支持力が他材料より大きいのは、丸太のテーパ一効果、吸水効果、膨張効果などと推定されます<sup>2)</sup>。

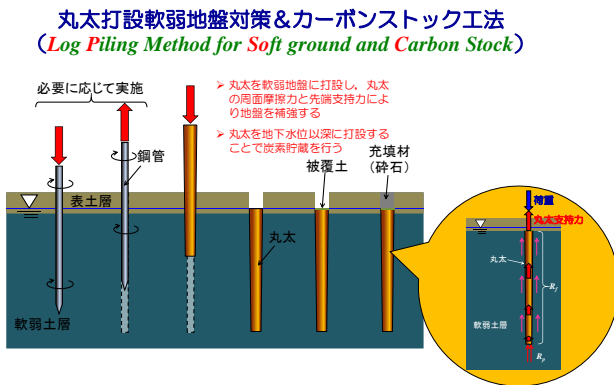
# 特集

丸太打設軟弱地盤対策&カーボンストック工法 (LP-SoC 工法: (Log Piling Method for Soft ground and Carbon Stock)) の原理を【軟弱地盤対策の原理と効果】の図に示します。液状化対策とは考え方が異なり、丸太を地中に打設することで、丸太先端部の支持力と丸太の周面摩擦力により、上部の荷重を支えるという考え方<sup>3)</sup>です。

効果を確認する実験を各地の様々な地盤で行いました。その一例の様子を【軟弱地盤対策の実験】に示します。生物劣化の影響を受けないように、丸太頭部は地表より低くし、水中に没することを基本としています。そのため、【丸太の押し込み試験】<sup>4)</sup>は図のように頭部が地中にある丸太に適用できるような工夫を施しています。

3年間に4地域で実施した24ケースの押し込み試験<sup>3)</sup>結果について、SWS試験から推定した丸太の長期許容鉛直支持力と押し込み試験から求めた丸太の長期許容鉛直支持力の関係を図【既往の設計法と丸太の押し込み試験結果】に示します。いずれも、押し込み試験から求めた丸太の長期許容鉛直支持力はSWS試験からの推定値より大きく、その比率 $\xi$ は下限値で1.13、平均値で1.41でした<sup>2)</sup>。

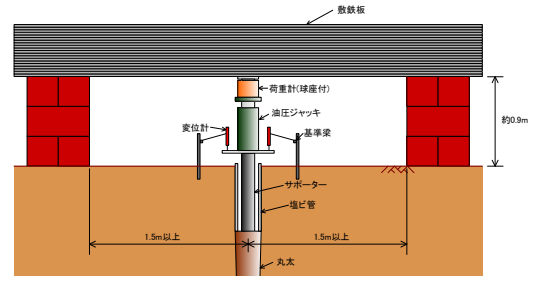
丸太単体の地中における支持力は、(一財)日本建築センターによる評定をすでに取得しています。引き続き、地盤の支持力を含めた設計法、施工法、品質管理法の開発を進めています。



【軟弱地盤対策の原理と効果】<sup>3)</sup>  
丸太先端部の支持力と丸太の周面摩擦力により、地盤を補強する<sup>3)</sup>。

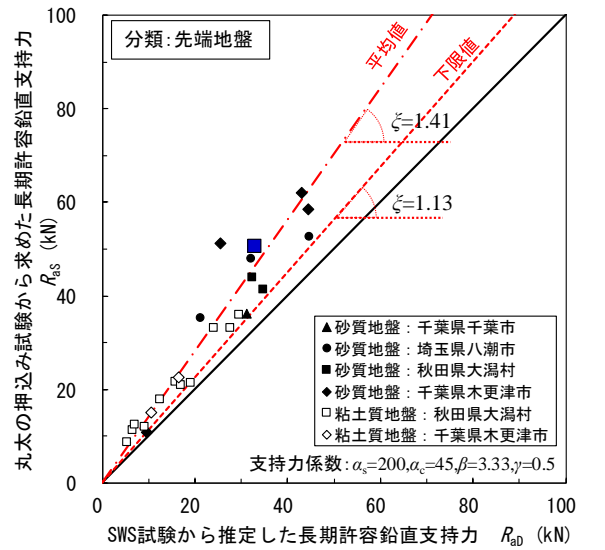


【軟弱地盤対策の実験】  
様々な地盤で軟弱地盤対策の実験を実施しました<sup>4)</sup>。



JGS 1811-2002に準拠

【丸太の押し込み試験】<sup>4)</sup>  
丸太の押し込み試験の一例です。地表より低い丸太頭部の押し込みができるよう工夫されています<sup>4)</sup>。



## 既存の設計法による設計値と押し込み試験結果の関係

【既往の設計法と丸太の押し込み試験結果】<sup>2)</sup>  
押し込み試験から求めた丸太の長期許容鉛直支持力はSWS試験からの推定値より大きく、その比率 $\xi$ は下限値で1.13、平均値で1.41でした<sup>2)</sup>。



## 木材を地盤改良の材料として用いる場合の長所と短所

	長所	短所
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	・放置すれば自然に戻る ・燃料として利用できる ・見た目や触覚が良い ・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 ・均質で大きな構造物を作れない

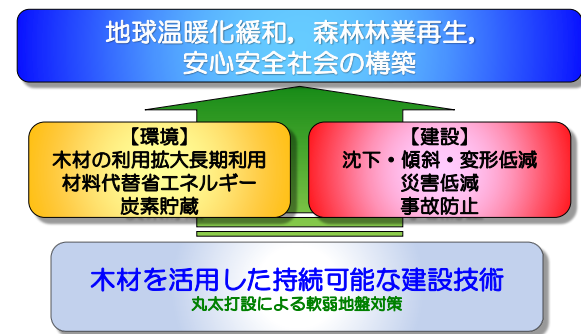
丸太の地中利用(地盤改良)で短所がほとんどなくなる

【木材利用の長所・短所】<sup>5)</sup>  
丸太を地盤改良に用いることで、木材利用の短所がほとんどなくなり、木材の持つ長所だけを引き出せる。

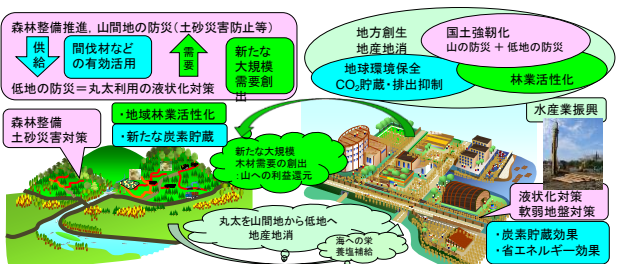
項目	内容
● 安全・安心	・実績が多く、歴史も長く、自然に調和している。 ・適切に用いられれば100年を優に超えて安定で実績がある。
● 地球温暖化緩和	・炭素を地中に長期間貯蔵することができる。 ・ほとんど加工を必要としないので、省エネルギーである。 ・持続可能な材料である。
● 近隣への配慮	・自然素材なので、地下水汚染などの心配がない。 ・材料の飛散がない。 ・容易に切断可能なので改良深さの調整が簡単である。 ・プラントなど必要とせず材としてそのまま使用できる。 ・低振動・低騒音で圧入するのに寸法・強度・コストが適切である。 ・残土を発生しないように無排土で圧入するのに寸法・強度・コストが適切である。 ・周辺地盤に変位を発生させないために、細く強度がある。 ・養生が不要なので次工程にすぐ入れる。
● 木材の活用	・構造物のような高品質ではない木材を使用できる。 ・林業再生、地域林業の活性化に貢献できる。

【丸太による地盤改良工法の特長】  
社会基盤の強化、地球温暖化緩和、森林林業再生、地域材活用といった多様な機能

### 丸太を使った地盤改良のコンセプト



### 【丸太を用いた地盤改良のコンセプト】



【多様な効果】  
木材を用いた地盤改良工法の活用により、国土強靱化を行えば、同時に地球環境保全、林業活性化、地方創生といった様々な効果を生み出します。

## 4. 今後の展望

丸太による地盤改良工法は、砂地盤の液状化対策はもちろんのこと、軟弱粘性土地盤を主体とした支持力強化の工法としても活用の拡大を図っていきたいと思います。

図【木材利用の長所・短所】に示すように、丸太を地盤改良に用いることで、乾燥して変形する、腐朽や虫害がある、燃えやすい、形状・品質のばらつきがあるといった木材利用の短所がほとんどすべてなくなり、木材の持つ長所だけを引き出すことが可能となります。

図【丸太による地盤改良工法の特長】に示すように、安全・安心、地球温暖化緩和、近隣への配慮、木材の活用という4項目で有効性のある特長があることがわかります。これらの特長を生かして社会基盤整備などの地盤改良に用いることで、持続可能な建設技術による持続可能な社会の実現が可能になると考えられます。これを図【丸太を用いた地盤改良のコンセプト】に示します。

社会基盤の強化、地球温暖化緩和、森林林業再生、地域材活用といった多様な機能を持つ、丸太を用いた地盤改良工法の活用により、国土強靱化など建設事業を行えば、同時に地球環境保全、林業活性化、地方創生といった様々な効果を生み出すことができると考えられます(図【多様な効果】)。

参考文献  
1)富松義晴, 沼田淳紀, 濱田政則, 本山寛, 三輪滋: 持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント), Vol.68, No.2, pp.80-91, 2012.7.  
2)村田拓海, 沼田淳紀, 川崎淳志, 橋本佳大, 佐々木修平, 藤野一, 佐々木貴信: 軟弱地盤中における丸太の鉛直支持力, 第53回地盤工学研究発表会発表講演集, pp853-854, 2018.  
3)沼田淳紀, 村田拓海, 三輪滋: 丸太を使った地盤改良の現状と新しい取り組み, 木材利用システム研究, Vol.4, pp.27-30, 2018.  
4)沼田淳紀, 村田拓海, 川崎淳志, 橋本佳大, 佐々木修平, 藤野一, 佐々木貴信: 軟弱地盤中における丸太の押込み試験, 第53回地盤工学研究発表会発表講演集, pp851-852, 2018.  
5)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.

お問い合わせ先: 木材活用地盤対策研究会  
e-mail: office@mokuchiken.com  
URL://www.mokuchiken.com

