

平成 25 年度
森林整備加速化・林業再生事業
(農林水産省補助事業)

木造公共施設整備等事業
(地域利用開発)
ハイブリッド木製杭の開発
実施報告書

和光コンクリート工業株式会社

平成 26 年 3 月

木造公共施設整備等事業（地域利用開発）
ハイブリッド木製杭の開発
実施報告書

目 次

まえがき

（報告書要旨）

1. 事業実施の概要	1
1. 1 背景.....	1
1. 2 目的.....	1
1. 3 実施方法	1
2. ハイブリッド木製杭の設計、仕様書検討	6
2. 1 木材の仕様.....	8
2. 2 複合材の検討	12
2. 3 施工方法の検討	15
3. 性能確認試験	25
4. 試験結果考察および市場性検討.....	36
5. 今後の課題等	44
附属資料 A 委員会議事録.....	48
附属資料 B 打合せ記録等.....	56
附属資料 C 委員会説明資料等	88

まえがき

国内における木材需要が減少傾向で推移する中、これまで様々な分野で木材需要拡大に向けた取り組みが行われて来ており、土木分野における需要開拓においても間伐材等を使用した合板型枠、撤去が不要な木製コンクリート型枠、木製ガードレール、木製遮音壁、木製魚礁等の開発・施工も行われているが、木材需要を拡大するためには更なる用途開発の必要がある。

民間建築現場向けに木杭を利用した地盤補強工法が開発されているが、木材耐久性の観点から地下水位以下での使用に制約されていることから、地下水位を考慮する必要の無い木製杭の開発に対する市場のニーズが存在している。

国内に多く流通させることが可能なスギ材を用いたハイブリッド構造杭とすることによって、木の利点を生かしながら木材の弱点を補い、今後活発になってくることが予想される築堤工事や宅地の嵩上工事など防災対策のための土木工事に使用可能な技術を開発する必要があると考え木製ハイブリッド杭の開発事業を提案した。

木材と組み合わせる材料としてコンクリートとモルタルを採用し、新しい3タイプのハイブリッド木製杭を完成させ、実物大の杭打設試験によってさまざまなデータを収集することができた。

本事業により開発された3タイプのハイブリッド木製杭や、今後これらを発展改良させたハイブリッド木製杭の利用が進むことによって、木材需要の拡大に繋がることを願っている。

最後に、本事業を推進するために設置した委員会に於いて多くの方々の多大なご協力に厚くお礼申し上げる次第である。

木造公共施設整備事業（地域利用開発）
ハイブリッド木製杭開発推進委員会

木造公共施設整備等事業（地域利用開発）

ハイブリッド木製杭開発推進委員会

（順不同・敬称略）

（委員）

委員長： 飯村 豊 宮崎県木材利用技術センター 所長
石田 良行 宮崎県環境森林部 山村・木材振興課 みやざきスギ活用推進室長
高橋 利典 宮崎県県土整備部 技術企画課長
北村 良介 鹿児島大学 名誉教授
瀬崎 満弘 宮崎大学工学部 准教授
酒匂 一成 鹿児島大学大学院 理工学研究科 准教授
加藤 英雄 （独）森林総合研究所 材料接合研究室 主任研究員
山本 知治 宮崎県森林組合連合会 事業部長

（オブザーバー）

河野 文顕 キューキ工業株式会社 技術開発部 部長
興梠 真樹 キューキ工業株式会社 技術開発部 部長

（事務局）

金丸 和生 和光コンクリート工業株式会社 代表取締役
川島 満成 和光コンクリート工業株式会社 常務取締役
張 日紅 和光コンクリート工業株式会社 製品開発チームリーダー

報告書要旨

1. ハイブリッド木製杭に関する学識経験者、実務経験者、利用予定者、素材生産者からなる委員会を開催し、以下の開発目標に沿って検討した。（事前打合せ 10 回、検討委員会 3 回）
 - 1) 利用者が安心して使用できる、耐久性があり、施工性の容易なハイブリッド木製杭
 - 2) コスト競争力の高いハイブリッド木製杭
2. ハイブリッド木製杭について以下の調査及び分析を行った。
 - 1) 先行文献調査を実施。（「フロンティア環境における間伐材利用技術の開発」成果報告書等）
 - 2) 先行事例調査を実施。（環境パイル等）
 - 3) 適用法令等調査を実施。（特に関連する法律は無い。コンクリートミルク等使用する場合にも土対法の適用は受けない）
 - 4) 発注先に対して、液状化発生危険区域調査を実施。鹿児島大学、宮崎大学、キューキ工業に対してヒアリング実施。
3. 先行調査結果を基にハイブリッド木製杭の設計を行った。

一次設計

 - ・ 木材は無等級の皮剥丸太、末口14cmとし、長さは3mと4mとした。
 - ・ コンクリートと組み合わせることで保存処理未実施丸太でも長期耐久性を確保する。
 - ・ 常時水中に位置する下側を皮剥丸太、水位の変動が危惧される上側をコンクリートとするAタイプと、皮剥丸太を全長にわたって現場打ちモルタルで被覆するBタイプの2タイプとした。

二次設計

 - ・ 皮剥丸太を全長にわたり工場においてコンクリートで被覆するCタイプを追加した。
4. 一次設計、二次設計に沿って試作を行った。

一次試作

 - ・ A, B, Cタイプについて試作を行い、試験施工を実施した。
 - ・ Bタイプについては、11/29の試験施工においてBタイプの先端コマ、皮剥丸太、ケーシングを同時に吊上げるためのワイヤー固定方法について再検討を行うこととなった。

二次試作

 - ・ Bタイプ施工時の対策等について第二次試作を行い、本試験を実施した。
5. 性能確認試験を実施した。
 - 1) 模型試験
 - ・ 実物大試験の実施に先立ち、Bタイプのモルタル打設が可能かどうか、ひび割れ発生が生じないかどうかを確認するために予備試験を実施し、施工が可能であることと、木材は乾燥していないものが好ましいことが分かった。またモルタルの食い込み量は4%程度であることが分かった。

2) 静的試験

- ・ A、B、Cタイプの曲げ強度確認、接合部の強度確認、木材の曲げ強度を確認した。
- ・ 小径丸太での設計が可能のように、上記3タイプで使用した丸太よりも小径タイプ丸太による静的試験を実施した。

3) 実物大杭打設試験

- ・ 実物大試験を実施するため意図的にN値3程度の軟弱地盤を作成した試験場を作成した。
- ・ その試験場で3タイプの施工試験を行いすべて施工可能であることを確認した。
- ・ 3タイプについて杭効果の確認及び施工性と歩掛調査を実施した。

以上の試験結果から、3タイプのハイブリッド木製杭について一定の成果が確認できた。

6. 本事業での取組み、成果等をまとめた報告書を作成した。

1. 事業実施の概要

1. 1 背景

森林・林業再生プランに掲げる「10年後の木材自給率50%以上」という目標を達成し、木材の利用拡大による森林の適切な整備や地球温暖化防止への貢献を実現するためには、「公共建築物等木材利用促進法」の推進により住宅のみに依存しない木材の需要構造を作るとともに、木材製品や木質バイオマスへの地域材利用を促進するための実需を拡大させる必要がある。

このため農林水産省は家具、建具、公園資材、土木資材等の新たな地域材市場の開拓に向けた水平連携等木材産業活性化への活動等を支援している。

近年、木杭を用いた地盤対策の利用技術が確立され、実際の液状化防止や軟弱地盤改良の施工に応用され始め、国産材の利用範囲が大きくなる可能性が広まっている。

一方で、木製杭の使用に際しては、耐久性やコストに対して発注者サイドの不安が多いことが分かっている。

このような背景を踏まえ、当事業では木材を主材料として用いながら耐久性を確保するために複合材料を用いたハイブリッド構造とし、更にコスト的にも既存の地盤改良工法同等とできるハイブリッド木製杭を開発することとした。

1. 2 目的

本事業では、平成25年度木造公共施設整備等事業（地域利用開発）に基づく国産木材の利用拡大に寄与するため、次を目標とした。

- 1) 利用者が安心して使用できる、耐久性があり、施工性の容易なハイブリッド木製杭を開発すること。
- 2) コスト競争力の高いハイブリッド木製杭を開発すること。

1. 3 実施方法

本事業では、「ハイブリッド木製杭開発推進委員会の開催」「ハイブリッド木製杭の調査及び分析の実施」「ハイブリッド木製杭の設計」「ハイブリッド木製杭の試作」「ハイブリッド木製杭の性能確認試験」の5項目を実施した。

なお、それぞれの実施内容は次の通りである。（表 1.3.1）

1) ハイブリッド木製杭開発推進委員会の開催

ハイブリッド木製杭の有識者、利用予定者、素材生産者等からなる委員会を開催し、開発の進捗状況確認及び開発の妥当性確認を行った。

2) ハイブリッド木製杭の普及拡大に関する調査・試験の実施

ハイブリッド木製杭について以下の調査及び分析を行った。

- a. 先行文献調査を実施。（「フロンティア環境における間伐材利用技術の開発」成果報告書等）
- b. 先行事例調査を実施。（環境パイル等）
- c. 適用法令等調査を実施。（特に関連する法律は無い。コンクリートミルク等使用する場合にも土対法の適用は受けない）

- d. 発注先に対して、液状化発生危険区域調査を実施。鹿児島大学、宮崎大学、キューキ工業に対してヒアリング実施。
- 3) 先行調査結果を基にハイブリッド木製杭の設計を行った。
- 一次設計
- ・木材は無等級の皮剥丸太、末口 14 c m とし、長さは 3m と 4m とした。
 - ・コンクリートと組み合わせることで保存処理未実施丸太でも長期耐久性を確保する。
 - ・常時水中に位置する下側を皮剥丸太、水位の変動が危惧される上側をコンクリートとする A タイプと、皮剥丸太を全長にわたって現場打ちモルタルで被覆する B タイプの 2 タイプとした。
- 二次設計
- ・皮剥丸太を全長にわたり工場においてコンクリートで被覆する C タイプを追加した。
- 4) 一次設計、二次設計に沿って試作を行った。
- 一次試作
- ・ A, B, C タイプについて試作を行い、試験施工を実施した。
 - ・ B タイプについては、11/29 の試験施工において B タイプの先端コマ、皮剥丸太、ケーシングを同時に吊上げるためのワイヤー固定方法について再検討を行うこととなった。
- 二次試作
- ・ B タイプ施工時の対策等について第二次試作を行い、本試験を実施した。
- 5) 性能確認試験を実施した。
- a. 模型試験
- ・実物大試験の実施に先立ち、B タイプのモルタル打設が可能かどうか、ひび割れ発生が生じないかどうかを確認するために予備試験を実施し、施工が可能であることと、木材は乾燥していないものが好ましいことが分かった。
- b. 静的試験
- ・ A, B, C タイプの曲げ強度確認、接合部の強度確認、木材の曲げ強度を確認した。
 - ・小径丸太での設計が可能のように、上記 3 タイプで使用した丸太よりも小径タイプ丸太による静的試験を実施した。
- c. 実物大試験
- ・実物大試験を実施するため意図的に N 値 3 程度の軟弱地盤を作成した試験場を作成した。
 - ・その試験場で 3 タイプの施工試験を行いすべて施工可能であることを確認した。
 - ・3 タイプについて杭効果の確認及び施工性と歩掛調査を実施した。
 - ・耐久性比較のため、皮剥丸太と保存処理丸太も施工した。
 - ・小径タイプ丸太による設計に繋がるように、静的試験を実施した。
- 6) 本事業の成果等をまとめた報告書を作成した。

表 1.3.1 本事業の主要活動の実施概要

実施日	主要活動（参加者）	内容
平成 25 年 6 月 12 日	委員会の事前打合せ （北村、酒匂、金丸、川島）	委員会への参加要請 開発の方向性協議等
平成 25 年 7 月 2 日	委員会の事前打合せ （瀬崎、金丸）	委員会への参加要請 開発の方向性協議等
平成 25 年 7 月 12 日	委員会の事前打合せ （北村、酒匂、金丸）	液状化に関する調査結果協議 タイプ A、B2 通りで進めることの確認
平成 25 年 7 月 12 日	委員会の事前打合せ （瀬崎、金丸）	上記に加えて、試験施工方法確認 施工に関するアドバイザー紹介
平成 25 年 7 月 29 日	第 1 回委員会 （委員会メンバー）	委員会設置趣意説明 ハイブリッド木製杭の仕様確定 ・ A、B タイプの開発 ・ 皮剥丸太を使用 ・ 人為的に作った軟弱地盤試験地で試験を行う 次回委員会で実物試験見学を行うことを決定
平成 25 年 9 月 2 日	模型試験 1 ・ グラウト打設試験 （木材：乾燥材） （川島、高橋、金丸、他）	実物大実験実施前に以下の項目を確認した ・ グラウト打設時に木材の浮き上がりが無いこと ・ グラウトが規定の厚さで木材の周りに施工されていること ・ グラウトの食い込み量 ・ 施工後のひび割れ発生量 ・ グラウトの性状（流動性、施工性、圧縮強度） ・ グラウトからの重金属溶出
平成 25 年 9 月 28 日	模型試験 2 ・ グラウト打設試験 （木材：生材） （川島、高橋、金丸、他）	木材を乾燥材から生材に替えて施工後のひび割れを確認した。 生材（乾燥していない材）ではひび割れが発生しない。ハイブリッド杭には生材が好ましい。
平成 25 年 10 月 8 日	施工に関する打合せ 1 （河野、興梠、金丸、川島）	3 タイプのハイブリッド杭の施工実現性について 杭打機について 現場でのグラウト（モルタル）練混ぜについて 施工歩掛について 杭先端形状について 試験施工日程調整
平成 25 年 11 月 1 日	施工に関する打合せ 2 （河野、興梠、金丸、川島）	予備試験について 本試験について 試験前後の地盤調査について
平成 25 年 11 月 13 日 ～	試験場の地盤改質作業 （川島、サンアイ）	バックホウによる掘削後、スケルトンバケットで礫分のふるい分け。埋戻・転圧・整地実施。

11月21日		
平成25年11月14日	打合せ (北村、酒匂、金丸、川島)	<ul style="list-style-type: none"> ・試験地の土埋戻し時の注意点について ・試験地の埋戻し土について ・試験実施前後の地盤調査について ・ハイブリッド杭の静的試験内容については加藤委員に確認すること。
平成25年11月22日	試験場地盤調査(試験前) (キューキ工業)	<ul style="list-style-type: none"> ・スウェーデン式サウンディング試験 ・地盤高さ
平成25年11月29日	実物大試験の予備試験 1 (北村、瀬崎、酒匂、河野、興梠、加藤、金丸、川島、高橋他)	<p>油圧式バックホウを用いた予備試験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・杭打専用機械が必要であることが判明 ・Bタイプ施工方法について改善が必要であることが判明
平成25年12月5日	実物大試験の予備試験 2 (河野、興梠、川島、高橋他)	<p>杭打専用機械を用いた予備試験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・A, B, Cタイプともに施工可能であった。(5本施工) ・先行オーガの直径は1タイプ大きいものが好ましいことが判明
平成25年12月11日 ～12日	実物大試験の本試験 (飯村、北村、瀬崎、酒匂、河野、興梠、加藤、金丸、川島、高橋他)	<p>A, B, C3タイプ、皮剥丸太及び保存処理丸太杭の打込み。(合計30本)</p> <p>施工性の確認等実施。</p>
平成25年12月12日	第2回委員会 (委員会メンバー)	<p>第1回WG議事録確認</p> <p>模型試験実施報告</p> <p>A, B, C3タイプの仕様説明</p> <p>地盤改質工事の概要及び地盤調査報告</p> <p>予備試験実施報告</p> <p>本試験実施及び見学</p> <p>各種データ収集実施</p>
平成25年12月12日	試験場地盤調査(試験後) (キューキ工業)	<ul style="list-style-type: none"> ・スウェーデン式サウンディング試験 ・地盤高さ
平成25年12月12日	実物大試験を受けての打合せ1 (加藤、金丸、川島)	<ul style="list-style-type: none"> ・皮剥丸太径について(小径の検討も必要) ・3タイプのメリット・デメリットを表にする。 ・静的試験実施時の注意事項(スパン等)
平成25年12月19日 ～20日	静的試験1 (川島、高橋他)	<p>静的試験を実施してハウブリッド木製杭の曲げ強度、接合強度を確認した。</p>
平成26年1月10日	実物大試験を受けての打合せ2 (北村、酒匂、金丸、川島)	<ul style="list-style-type: none"> ・実物第試験実施前後における地盤調査結果に関する考察 ・試験場の土質試験について
平成26年2月4日	第3回委員会 (委員会メンバー)	<p>第2回WG議事録確認</p> <p>施工後の試験から、杭による締固め効果が確認で</p>

		きた。 コスト比較も踏まえ、当初目標を達成できたと判断。 仕様比較について、委員会での意見を基に完成させる。 報告書は事務局が「もくじ」を作成。委員の勝因を得た後本文を組み立てる。
平成 26 年 3 月 15 日	実物大試験の表面確認 (川島、金丸、高橋他)	耐久性確認のため、皮剥丸太を被覆しているコンクリートやモルタルに有害なひび割れが発生していないかどうかを確認した。
平成 26 年 3 月 30 日	報告書作成	メールによる内容確認作業を経て報告書を完成させた。



写真 1.1 第 1 回委員会実施状況



写真 1.2 第 2 回委員会実施状況



写真 1.3 第 3 回委員会実施状況

