

## 学位論文審査の結果の要旨

氏 名	三村 佳織
審 査 委 員	主査 原 忠 副査 松本 伸介 副査 治多 伸介 副査 張 浩 副査 沼田 淳紀

論 文 名

丸太による液状化対策工法の地盤改良効果と生物劣化に関する研究

### 審査結果の要旨

2016 年熊本地震など、近年発生した大地震では液状化による土木・建築構造物の被害が確認されている。2011 年東北地方太平洋沖地震では、震源から遠く離れた海岸埋立地でも被害が確認され、大量の噴砂、道路や上下水道、電気、ガスなどのライフラインの寸断、建物周辺の不同沈下、護岸堤防のはらみ出しなどの深刻な被害が生じたほか、津波避難の遅延やコンビナートの被災による復興遅延を引き起こした。発生確率の高い南海トラフ地震や首都圏直下型地震でも類似の被害が予測されており、液状化地盤を改良するなど事前の対策が急務となっている。

一方、地球温暖化は地球規模の課題とされ、2015 年に開催された気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）において、我が国は 2030 年度に 2013 年比で温室効果ガスを 26%削減する約束草案を提出している。今後の土木・建築工事では低炭素型社会の構築が求められ、工事中に排出される温室効果ガス削減のための工法開発、普及が必要とされている。特に、地球温暖化防止に果たす森林の役割は益々大きくなっており、木材を地中に打設することにより成長過程で固定化された炭素を半永久的に貯蔵できる地中利用への期待が高まっている。現在、限りある資源の有効な利用が求められており、建設工事で副次的に得られる建設発生木材の再資源化も喫緊の課題となっている。

申請者らにより開発された丸太打設による液状化対策&カーボンストック工法（LP-LiC 工法）は、木材を地下水位の浅い緩い砂地盤に無排土で打設し、地盤を密実化することで液状化の発生を抑止する地盤改良法で、丸太に固定化された炭素を長期間地中に貯蔵する環境負荷の極めて小さい工法である。LP-LiC 工法の信頼性を高めながら、更なる利用拡大を目指すには、丸太打設による地盤改良効果や優位性を定量的に検証し、木材固有の課題である形状や品質のばらつき、腐朽や虫害の問題など、自然素材である木材を地盤改良材として用いることの疑念を払しょくする必要がある。また、解体工事で発生する建設発生木材の利用を拡大させ、再生資源の利活用を推進するためには、強度や健全性を簡易に評価し、再利用の可否を現場で簡易に判断できる実務的な判定方法が求められている。

本論文では、LP-LiC 工法の普及を図り、更なる木材の地中利用拡大と再生資源の利活用を促進するための基礎的検討を行うため、はじめに、大型振動台による模型実験を行い、丸太打設前後の各種のサウンディングから得られた地盤の液状化強度を既往の締固め工法のそれと比較した。続いて、腐朽菌や害虫が生息する水位変動域で長期間地盤に埋設された木材について、現地調査および室内試験を行い、地下水位変動の影響を受けやすい状況での生物劣化の程度を健全度と力学特性から評

価した。最後に、供用期間を終えた土木使用木材の現地調査および室内試験を行い、強度や健全性が不明確な建設発生木材の再利用の可否を現場で簡易に判断できる判別法を提案した。

大型模型実験は、内寸縦 3.6m、横 5.7m、高さ 1.8m の土槽を使用し、霞ヶ浦砂で作成した液状化地盤上には、液状化による建築構造物の沈下を模擬するために、木造 2 階建て住宅を想定した縦 1.0m、横 1.0m、高さ 0.5m で質量約 1.1t のコンクリート製の荷重（実スケールの 1/20）を載せた。実験は 4Hz、20 波の正弦波で行い、振幅を約 50Gal ずつ増やすステップ加振し最大 400Gal まで振動を加え、丸太打設の効果を未改良地盤、締固め地盤の結果と比較した。実験結果から、丸太を打設することで木造家屋を模擬した錘の沈下が抑制され、大地震を模擬した 400Gal の大きな加振力を加えた場合であっても地盤改良効果が継続し、丸太打設間隔が丸太直径の 4 倍の場合には相対密度 91%に相当する密な地盤とほぼ同じ累積沈下量に収まることが明らかになった。実験結果から計算した無対策と密度増大地盤の繰返し抵抗力は、室内要素試験で得られた相対密度に対する液状化強度の変化傾向とほぼ一致していた。一方、丸太を打設した地盤の繰返し抵抗力は、相対密度が 60%以上になると 2 倍以上の強度を示し、地盤を締め固める場合に比べ丸太打設による液状化対策効果が大きいことが分かった。

地下水位変動の影響を受けやすい木材の地中利用時の生物劣化の評価は、水制工や乱杭工などに利用された木材に対して行い、設置期間や施工環境、水位変動や樹種などが生物劣化に及ぼす影響を検証した。回収した木材を分析したところ、腐朽の程度は水位により大きく異なり、水位変動域では腐朽部の周囲が劣化しヤング係数は約 60%まで低下していたが、心材部は周囲が腐朽した場合であってもヤング係数は生木と変わらず健全な状態を保持していた。一方、地下水位以浅の地盤と地表との境界部では生物劣化が生じていたが、木材の打設箇所が透水性の高い砂礫地盤では、地下水位以浅であっても毛管現象により地盤が高含水率状態に保持されるため、腐朽や虫害の影響を受けず健全であった。これらの結果をとりまとめ、地盤改良材に木材を用いる場合の長期耐久性を評価し、打設深度選定上の留意点を整理した。

供用期間を終えた土木使用木材を対象とした実験は、熊本県八代市荒瀬ダム、青森県八戸市八戸漁港、高知県高知市鏡川の 3 地点から回収された木材を用い、健全性や強度性能を目視判定、ピロディン試験、縦圧縮試験、縦振動法により再利用の可能性を評価した。材料は土木・建築材への利用実態に基づき、末口径 0.12~0.18m、矢高が末口径の 40%以下、長さ 4.0m 程度の丸太を任意に選別した。その結果、地下水位以下に埋設された木材は、目視判定の被害度が 2 以下、ピロディン打込み深さが 30mm 以下の条件では、生材と同等のヤング係数を有することが分かった。また、縦振動法で得られたヤング係数は、回収直後の高含水率丸太であっても縦圧縮試験とそれと概ね線形関係を示すことから、回収丸太の力学的性質を現場で判断できる可能性が示された。目視判定とピロディン試験により健全性が確認され、縦振動法により生木と同等のヤング係数が得られた建設発生木材は、一般的な木杭打設機の圧入力よりも大きな座屈荷重を有することから、地中への丸太打設が行えると判断された。これらの結果を整理し、再利用が可能な建設発生木材の強度や健全性を現場で判定できる簡易な判別法を提案した。

一連の結果は、既存の液状化改良工法との違いや優位性を評価し、地盤改良材に木材を用いる場合の長期耐久性や施工上の留意点を定量的に示した点に新規性があり、工法の信頼性や利用拡大に大きく寄与するものである。さらに、再利用が可能な建設発生木材を現場に居ながら判定できる提案方法は、持続可能な社会の形成や、遅れている建設発生木材の利活用を促進するための具体策を示している。

本論文の公開審査は平成 29 年 8 月 5 日に高知大学農林海洋科学部で開催され、申請者の論文発表とそれに関する質疑応答が行われた。引き続き開催された学位論文審査委員会において、本論文の内容について慎重に審査した結果、審査委員全員一致して博士（農学）の学位を授与するに値するものと判定した。