

竹杭の排水能力と曲げ剛性に着目した液状化対策工法の検討

福岡大学工学部 学生会員 前田 理沙 山下 航
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣
 みらい建設工業株式会社 正会員 足立 雅樹

1. はじめに 近年、生態系や環境問題となっている放置竹林において、竹の伐採後の有効利用率向上のために、土木分野での大量利用が期待されている¹⁾。また、竹は軽量であるため、運搬が容易であり、生長スピードが早い²⁾ため、土木工事における供給力もある資材である。これらのことから、竹は木材に代わり循環型社会において SDGs 観点からも注目される材料である³⁾。一方、環境に配慮した液状化対策工法として、杭の材質においても脱炭素化を考慮した工法が開発されている。そこで本研究では、既に実績がある丸太打設液状化対策工法³⁾を参考に、古来暗渠⁴⁾として用いられていた竹の排水能力と靱性を有効に活用する竹杭打設による液状化対策工法を開発を行っている。本報告では、竹の形状を模擬したモデル杭と小型模型土槽を用いて、特に竹杭の排水能力と曲げ剛性に着目して液状化抑制の有効性を実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2-1 小型模型土槽振動台と模型地盤作製 図-1 に小型模型土槽振動台の概略図を示す。使用する土槽は、アクリル製の土槽(高さ435mm×幅650mm×奥行き350mm)を振動台の上に固定し設置した。土槽は一次元方向のみ加振可能である。加振はギヤードモーターによりカムを回転させ、カムに取り付けられたロッドを土槽と連結し水平振動を与えた。今回の振動条件は、既往の研究⁵⁾により無補強地盤 $Dr=60\%$ において加速度 100gal(震度4程度)の振動を与えた際に、10波以下で液状化が確認されているため、改良地盤では、2.5Hzで最大加速度 150gal(震度5弱)の加振波を与えた。また、加振中は、間隙水圧計をモデル杭間の上部(DL-5cm)と中部(DL-10cm)と下部(DL-15cm)3箇所土中の間隙水圧の計測を行った。さらに、レーザー変位計により垂直変位方向に地盤変位量を測定した。また、水位の変動として水位計から水位の最大値を測っている。模型地盤は、豊浦標準砂を初期相対密度 $Dr_0=60\%$ となるよう水中落下法により作製し、地下水位は地盤表面とした。

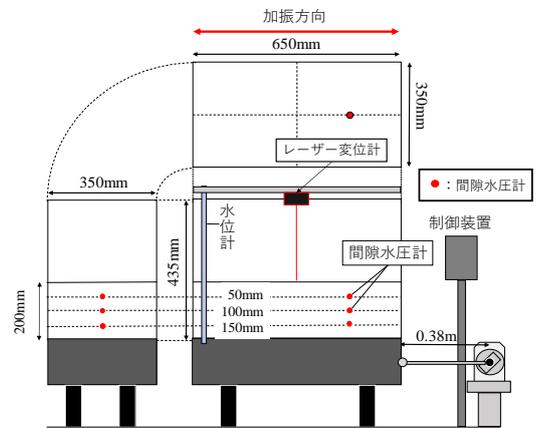


図-1 小型模型土槽振動台の概略図

表-1 実験に用いたモデル杭の形態

名称	丸太杭	竹モデル杭		
	木杭	割竹束	竹串束	葦束
杭断面	1cm 間隙無し	1cm 0.1cm 0.50cm	1cm 0.3cm	1cm 0.42cm
特徴	全面木製	筒状を半割	竹素材	節あり空洞
間隙率 (%)	0.0	35.9	19.0	11.7
杭全景				
曲げ弾性率 E (GPa)	4.44	0.02	0.70	0.10

2-2 モデル杭について 表-1 に実験に用いたモデル杭を示す。排水能力を考慮した3種類の竹モデル杭は、①半分に分った竹を複数束ねた割竹束、②竹串を束ねた竹串束、③竹と同じイネ科で、節と空洞を持つ葦を束にした葦束を用いた。一方、比較対象モデル杭として、丸太を模擬した木杭を用いた。モデル杭は、打設時の貫入抵抗を考慮し、杭先から 1.0cm ペンシル状に加工している。いずれのモデル杭は杭径 1.0cm、長さ 15.0cm としている。さらに、断面積を $A=0.785\text{cm}^2$ に統一し、打設に伴う模擬地盤の相対密度変化を統一している。また、表には各モデル杭の排水能力の評価となる断面積に対する間隙面積を間隙率(%)と曲げ試験(JIS R5201)から求めた曲げ弾性率⁶⁾を示している。

2-3 実験条件 モデル杭の打設は、図-2 に示す位置に13本配置した。振動液状化実験は、モデル杭打設による地盤密度の増加を考慮して 2.5Hz で最大加速度 150gal(震度5弱相当)の加振波を与えた。なお、モデル杭の打設による地盤の想定相対密度増加⁷⁾は $Dr=66\%$ としている。

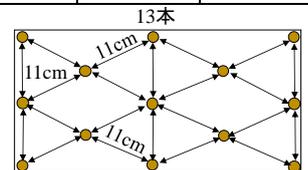


図-2 打設配置

3. 実験結果及び考察 図-3(a)～(d)に各モデル杭における土槽内に設置した間隙水圧計(図-1)で計測された間隙水圧と繰返し回数の関係を示す。なお、間隙水圧計の設置位置と間隙水圧の発生状況を確認するため縦軸を水圧発生に対して下方を正としている。いずれの杭においても、土被り圧の大きい下部(DL-15cm)に対し、上部(DL-5cm)の位置において繰返し回数に伴う、過剰間隙水圧の発生量が大きいことがわかる。杭の種類の影響では、(a)木杭は過剰間隙水圧の発生が他の杭よりも顕著であり、いずれの深さにおいても有効応力 $\sigma' = 0\text{kPa}$ となり、液状化に至っていることが確認できる。一方、竹のモデル杭の過剰間隙水圧の発生は、木杭に比べると緩やかに発生しており、(d)葦束、(c)竹串束、(b)割竹束の順に発生抑制され、液状化には至っていないことがわかる。これは、モデル杭間の排水にともなう間隙水圧の消散が影響していると考えられる。そこで、モデル杭の間隙率と間隙水圧の関係を図-3(a), (b)に示す。(a)繰返し回数 $N=30$ における間隙水圧に着目すると、木杭はいずれの深さ方向において、1.5kPa程度の過剰間隙水圧が増加している。これに対し、葦束、竹串束、割竹束の順に間隙率(表-2)の増加に伴う、過剰間隙水圧の発生抑制がみられる。このように、竹特有な構造を利用した排水能力による間隙水圧消散効果はかなり大きいことが明らかとなった。しかしながら、今回の検討において、間隙率20%以上では水圧消散に大きな効果の差が生じないことも示された。また、土層中心部の(b)DL-10cmにおける過剰間隙水圧変化から繰返し回数に伴う間隙水圧の抑制効果を見ると、間隙率の大きいモデル杭の方が明らかに大きいことも確認できる。これは、竹モデル杭は、土層中央部において繰返しにともなって発生する過剰間隙水圧を上手く消散させていると言える。次に、図-4と同じ条件におけるモデル杭の曲げ弾性率と間隙水圧の関係を図-5(a), (b)に示す。図-5(a)より、最も高い曲げ弾性率を示す木杭において、過剰間隙水圧の発生を抑制する効果がないことがわかる。一方、曲げ弾性率の低い各竹モデル杭は、過剰間隙水圧の抑制効果があるが、曲げ弾性率との相関性はみられないことがわかる。また、図-5(b)において繰返し回数の変化においても図-5(a)と同様に曲げ弾性率に関係性はみられない。このように、今回の実験では、モデル杭の剛性による過剰間隙水圧の発生抑制効果よりも、竹の特有の排水能力による過剰間隙水圧の消散効果の方が液状化に対して有効であることがわかった。

4. まとめ 竹モデル杭の打設による液状化実験により、モデル杭の剛性よりも竹の特有の排水能力を上手く活用する方が過剰間隙水圧の発生を抑制でき、液状化抑制効果があることが明らかとなった。

【参考文献】 1) 岩沢勝巳：千葉県農林水産技術会議資料：竹林拡大を防ぐ。放置竹林の手引き, ppl-8, 2015. 2) 谷口ら：竹チップを用いた土系舗装の防草効果の検証, 平成27年度土木学会西部支部研究発表会, V-053, pp727-728, 2016. 3) 本田ら：間伐材打設による液状化対策の小型振動実験, 木材利用研究論文報告集, pp.43-49, 2011. 4) 庄司ら：九州地方における暗渠排水の今昔, 農業土木研究 16 巻.1-2 号, pp2-9, 1948. 5) 山下ら：地盤の密度が液状化による浮上りに与える影響, 土木学会第56回年次学術講演会, III-A194, pp.388-389, 2001. 6) 高山ら：短繊維維材添加による気泡混合軽量土の脆性的挙動の改善, 人工地盤材料の利用技術に関するシンポジウム発表論文集, pp55-58, 2005. 7) 沼田ら：液状化対策における間伐材打設による地盤の密度増加, 第46回地盤工学研究発表会, E-07, pp.2173-2174, 2011.

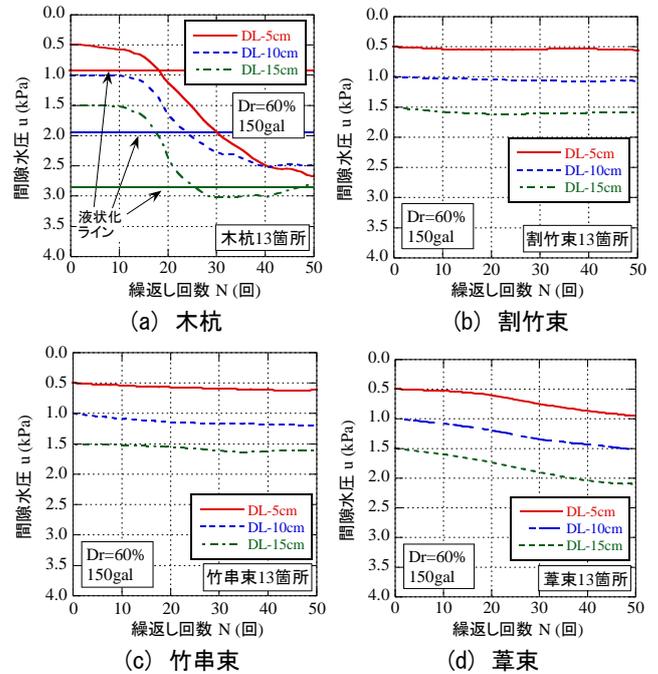


図-3 間隙水圧と繰返し回数の関係

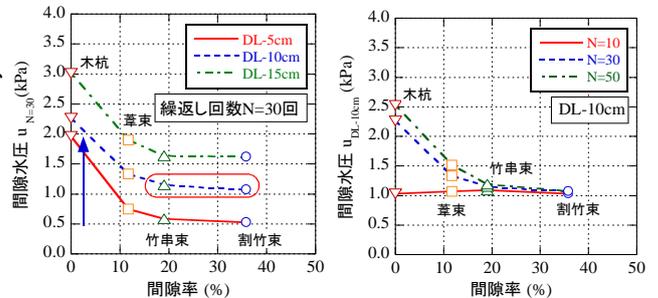


図-4 モデル杭の間隙率と間隙水圧の関係

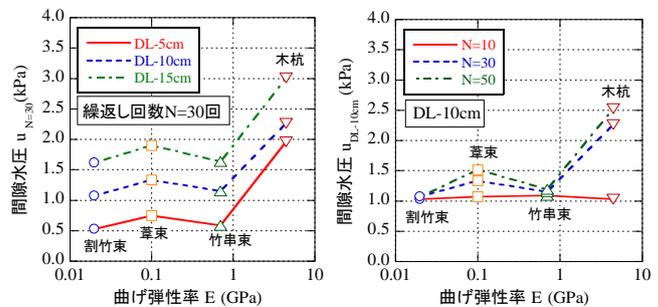


図-5 モデル杭の曲げ弾性率と間隙水圧の関係