

小型模型土槽振動台を用いた竹材打設による液状化対策に関する実験的検討

福岡大学大学院 学生会員 福本 祐太
 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、竹の伐竹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⁾。このような背景から、本研究では、自然素材を活用した液状化対策として実績のある丸太打設液状化対策²⁾を参考に、竹材を液状化対策杭として用いた液状化対策工法を考案した。そこで今後の実施に向けて、小型振動台を用いて基礎的検討を実施している³⁾。本報告では、模型内で竹のしなりや排水性を考慮するために剛性の異なるモデル杭の種類に着目し、実験的な検討を行った結果について報告する。

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⁴⁾により $Dr=60\%$ において加速度 100gal(震度 5 弱程度)の振動を与えた際に、10 振波以下で液状化が確認されていることから、図-2 に示している 2.5Hz で最大加速度 100gal の加振波を与えた。また、加振中は、間隙水圧計を模擬構造物直下の上部(D.L=50mm)と中部(D.L=100mm)の 2 箇所改良範囲内(土槽中央 200mm×200mm)の中央、杭間中に設置し、土中の過剰間隙水圧の計測を行った。さらに、模擬構造物(重さ 1.0kg)を地表面に載せ、垂直変位方向に沈下量を測定した。模型地盤の作製は、設定した高さから所定の相対密度となるよう豊浦砂を計量し、水中落下法により作製した。また、加振前の土槽内の地下水位は地盤表面に設定した。

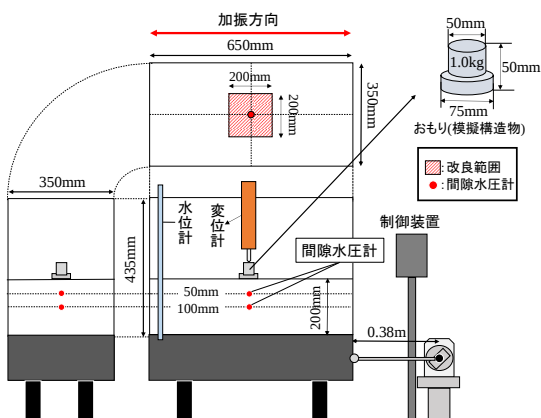


図-1 小型模型土槽振動台の概略図

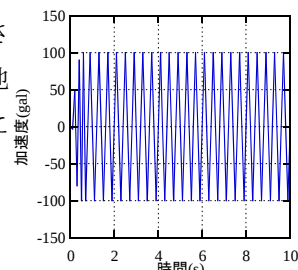


図-2 加振波

2-2 液状化対策に用いたモデル杭 竹材の打設による液状化対策効果について検討を行うために、曲げ剛性の異なる 4 種類のモデル杭を用いた。表-1 に実験に用いたモデル杭の形態寸法及び材料特性を示す。ここで示す曲げ弾性率とは、曲げ試験(JIS K7171⁵⁾等)により算出されたひずみ 0.05~0.25%における各材料の弾性率である。模型実験は、実際の 1/20 程度のスケールで行い、杭長を 150mm としている。一般的な孟宗竹の径は、平均直径 100mm であることから、竹材を直径 5mm に加工した竹ひごをモデル杭として用いた。また、比較材料として木材を直径 10mm に加工した木質のモデル杭を用いた。木杭と竹杭は、打設時の杭の貫入抵抗を考慮し、先端を下部から 1cm、それぞれペンシル状に加工している。さらに、竹が中空構造であることや曲げ弾性率が低いことを考慮し、杭直径 $D=6\text{mm}$ のフッ素チューブ(チューブ①)と、さらに曲げ弾性率の低い杭直径 $D=4\text{mm}$ のシリコンチューブ(チューブ②)をモデル杭として用いた。ここで、剛性の低いチューブ等のモデル杭は、針金を添え、土槽内に打設している。

表-1 モデル杭の形態及び材料特性

杭の種類	杭の形態及び寸法	杭直径 (mm)	曲げ弾性率 (GPa)
木杭	150mm	10mm	7.50
竹杭		5mm	6.50
チューブ①		6mm	1.99
チューブ②		3mm	1.63

表-2 実験条件

相対密度 $Dr(\%)$	打設本数 (本)	打設間隔 (D:杭直径)	加速度 (gal)	杭の種類
60	9	5D	100	木杭
80				竹杭
				チューブ①
				チューブ②

2-3 実験条件 表-2に実験条件を示す。モデル杭の種類の違いによる影響について検討を行うため、前述した4種類、9本のモデル杭を改良範囲(土槽中央 200mm×200mm)に杭間隔を直径の5倍で打設し、改良地盤を模擬した。

3. 実験結果及び考察 図-3(a), (b)に各相対密度の過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。いずれの相対密度においても無対策地盤では、経過 5 秒付近から過剰間隙水圧比が上昇し、経過 10 秒付近で過剰間隙水圧比が 1.0 付近に達している。これは、経過 5 秒で 10 振波の加速度を与えていることから、既往研究⁴⁾と同様の条件で液状化が確認できたことを示している。また、相対密度の高い $Dr=80\%$ では、60% に比べ過剰間隙水圧比の上昇速度が抑制されている。一方で、対策を施した地盤では、 $Dr=60\%$ のチューブ②以外で過剰間隙水圧の上昇が抑制されていることが確認でき、杭打設による液状化対策効果が現れていることが示されている。写真-1(a), (b)に $Dr=60\%$ における木杭とチューブ②における実験終了時の模擬構造物の沈下状況を示す。図-3で過剰間隙水圧が上昇したチューブ②において模擬構造物が完全に地盤内に沈下している状況がわかる。また、図-4(a), (b)に模擬構造物の沈下量を示す。図-3(a), (b)と同様な傾向を示しており、相対密度の高い $Dr=80\%$ では、60% に比べ構造物の沈下が抑制されていることがわかる。一方で、対策を施した地盤では、 $Dr=60\%$ のチューブ②以外で構造物沈下の抑制が確認でき、杭打設による液状化対策効果が現れていることが示されている。そこで、モデル杭の種類の違いにより材質が異なり、剛性や曲げ特性が異なることから、表-1 に示した各材料の曲げ弾性率(GPa)に着目し検討を行った。図-5(a), (b)に各振動回数に伴う過剰間隙水圧比及び構造物沈下ひずみと曲げ弾性率の関係を示す。ここで示す沈下ひずみとは、最大沈下量を模擬構造物の高さである 50mm と設定し、その最大沈下量に対する変化率としている。図より、曲げ弾性率の高い木杭と竹杭は、振動回数に伴う過剰間隙水圧の増加がみられず、沈下ひずみが抑制されており、液状化対策効果が現れている。また、木杭と竹杭に比べ曲げ弾性率の低いチューブ①においては、木杭と竹杭と同程度の液状化抑制効果が確認できた。しかし、チューブ①より低い曲げ弾性率のチューブ②においては、振動回数に伴う過剰間隙水圧の増加がみられ、沈下ひずみも増加を示している。これらは、杭の曲げ剛性が液状化抑制効果に重要な材料特性であることを示している。

4. まとめ モデル杭の打設による液状化対策は、有効であることが示された。また、杭の曲げ剛性の違いによりその対策効果が大きく異なることも明らかとなった。

【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、放置竹林対策の手引き 2) 本山ら：液状化対策における間伐採打設による地盤の密度増加，第 46 回地盤工学研究発表会，pp.2173-2174，2011. 3) 福本ら：小型振動台を用いた竹材打設による液状化対策 第 54 回地盤工学研究発表会，pp.1699-1700，2019. 4) 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. 5) プラスチックー曲げ特性の求め方 日本工業規格 <https://kikakurui.com>.

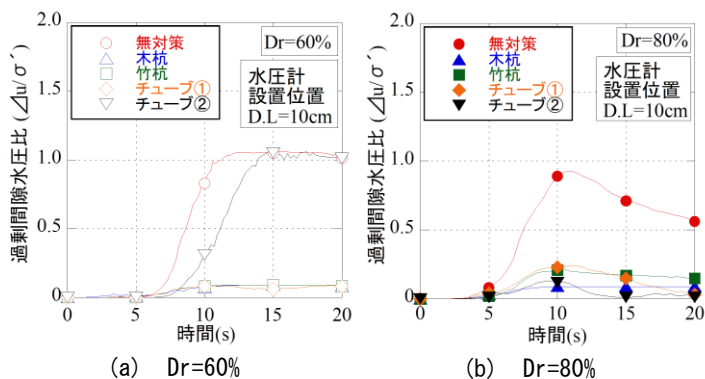


図-3 過剰間隙水圧比の時刻歴

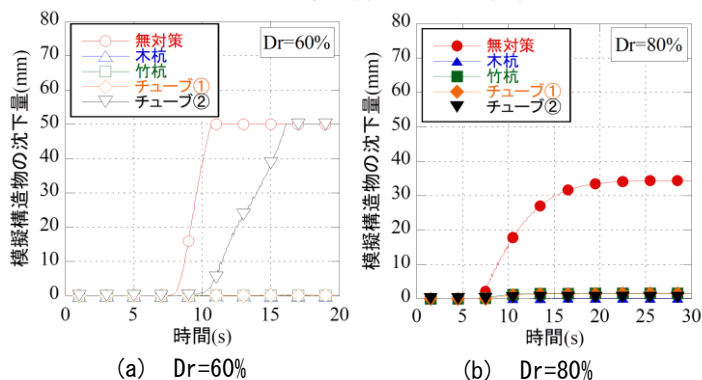


図-4 模擬構造物の沈下量

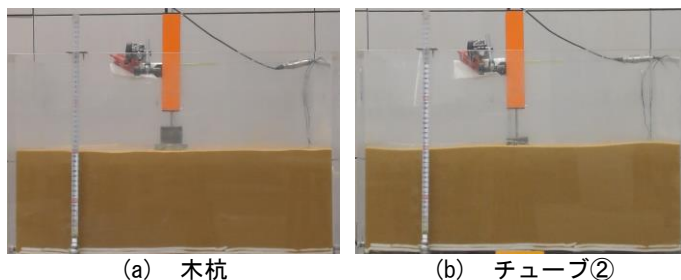
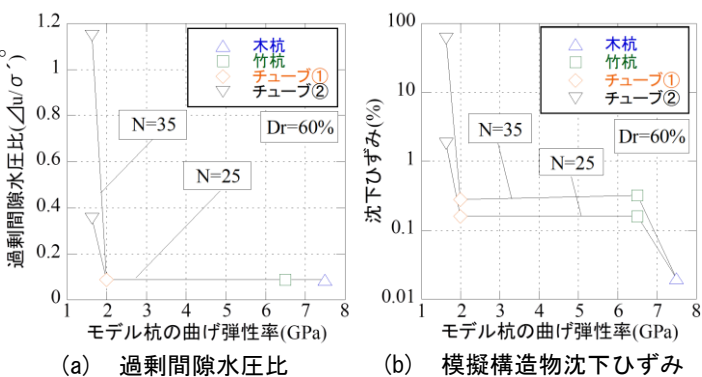
写真-1 模擬構造物の沈下状況 ($Dr=60\%$ 実験終了時)

図-5 各液状化指標と曲げ弾性率の関係