

竹の構造に着目したモデル杭を用いた液状化抑制効果の検討

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、伐竹後の竹の有効利用において土木分野で大量の利用が期待されている。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、竹杭を用いた新しい液状化対策工法を考案した。特に、丸太と違いしなりがあり、中空構造で節が存在する竹の性状から、ドレーン効果に着目した。ここでは、構造の異なる竹モデル杭を用いて、小型振動台実験により実験的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。既往の研究³⁾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 振波以下で液状化が確認されている。そこで、今回の振動条件では、モデル杭による改良地盤を考慮して 2.5Hz で最大加速度 150gal(震度 5 程度)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(D.L=50mm)と中部(D.L=100mm)と下部(D.L=150mm) 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。模型地盤の作製は、所定の相対密度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。

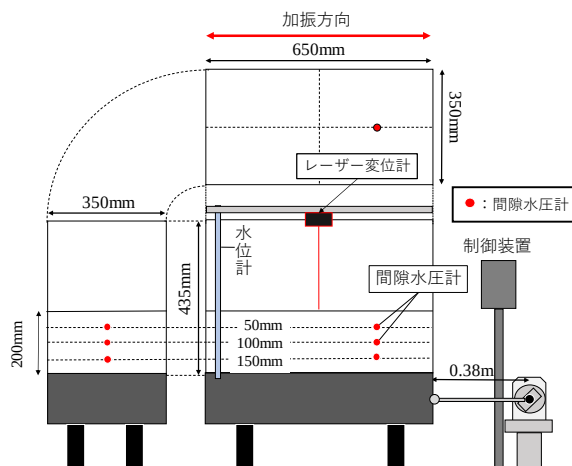


図-1 小型模型土槽振動台の概略図

2-2 液状化対策に用いたモデル杭 竹の構造に着目し、構造の異なる 3 種類の竹モデル杭と比較材料として丸太を模擬した木杭を用いて比較検討を行った。図-2 に各モデル杭の構造を示す。

丸太とは違い竹本来の構造として杭中に空洞があり、節が存在する。これら 2 つの構造に着目し、竹モデル杭として無加工の節ありモデルと節をぬき、排水構造を持たせた節ぬきモデル、竹の径は丸太と比べ小さいことから複数割竹を束ね、束ねた際にできる間隙からの排水を期待した割竹束モデルの 3 種類を用いた。いずれのモデル杭も杭径 10mm、杭長さ 150mm としている。

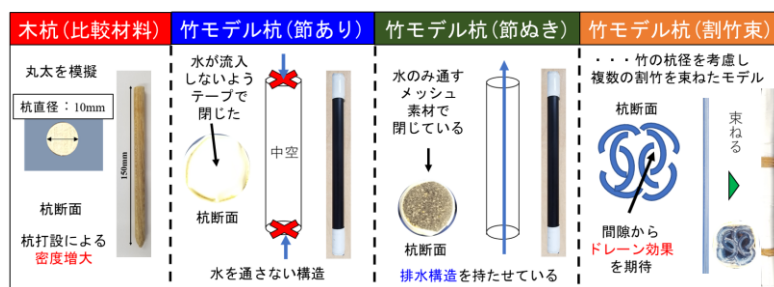


図-2 各モデル杭の構造

表-1 実験条件

杭の種類	加速度 (gal)	打設本数 (本)	初期相対密度 $Dr_0(\%)$
木杭	150	8	60
節あり		13	
節ぬき		25	

2-3 実験条件 竹の構造に着目した構造の異なる竹モデル杭を用いて液状化模型実験を実施した。表-1 に実験条件を示す。また、沼田ら⁴⁾により打設本数増加にともなう密度増加が確認されていることから、打設本数は、8 本(打設後の想定相対密度 $Dr=64\%$)、13 本($Dr=66\%$)、25 本($Dr=70\%$)とした。図-3 に杭の打設配置を示す。いずれの条件も初期相対密度は $Dr_0=60\%$ としている。

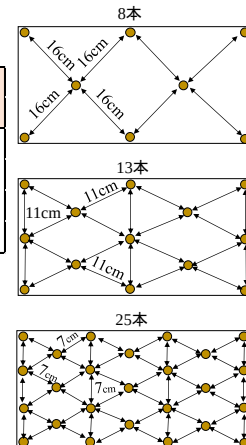


図-3 打設配置

3. 実験結果および考察

図-4(a), (b), (c)に各打設本数における繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係を示す。今回は、下部(D.L=150mm)で計測された間隙水圧をもとにまとめている。

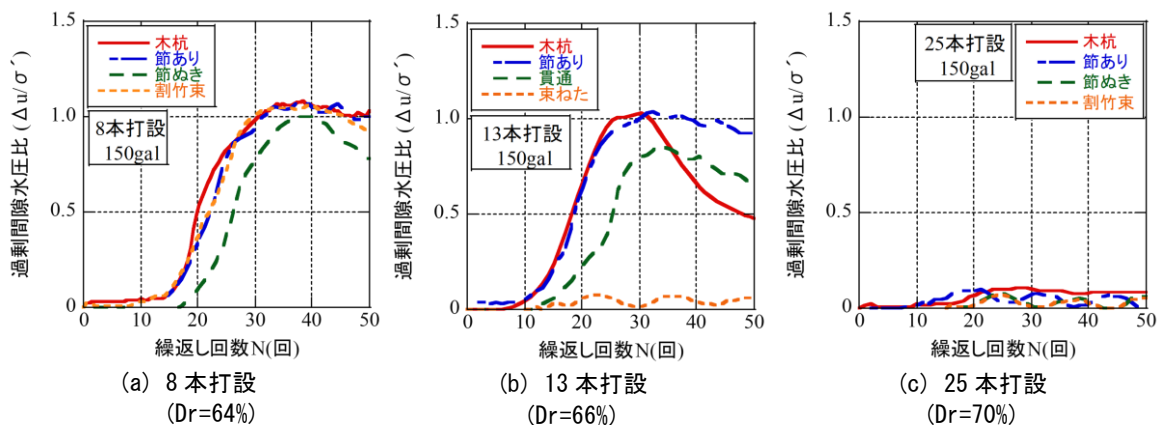


図-4 繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係

打設本数に着目すると、図-4(a)の打設本数8本では、いずれの杭でも過剰間隙水圧比が1.0に達し液状化が発生している。また、図4(c)の打設本数25本では、過剰間隙水圧の上昇が抑制され、液状化に至っていないことがわかる。これは、杭の打設本数増加に伴う相対密度の増加に起因していると考えられる。そして、図-4(b)の打設本数13本の結果を杭の種類に着目しながら考察する。木杭と節ありでは、過剰間隙水圧の急な上昇から過剰間隙水圧比が1.0に達し液状化が発生している。これに対し、節ぬきと割竹束では、繰返し回数が50回を超えても過剰間隙水圧比は1.0に至らず、液状化発生が抑制されていることが確認できる。また、節ぬきモデルと割竹束とでは、図-5に示す過剰間隙水圧の発生に伴う地盤変位量が大きく抑えられていることも確認できる。さらに、図-6に水槽に取り付けた水位計の最大水位上昇量(cm)においては、図-4(b)に示す過剰間隙水圧比の結果と同様に抑えられていることが確認できる。これは、モデル杭に施した排水構造によるドレーン効果により間隙水圧が上手く消散できたことが要因であると考えられる。一方、竹本来の構造である節ありモデルでは、図-6に示す水位計の最大水位上昇量ももっとも高い値を示し、図-4(b)の過剰間隙水圧の消散も他のモデル杭と比べ遅れている。これは、写真-1に示すように杭が中空構造であることと浮力により、杭が地盤中から浮き出しまい、杭の耐震効果を示すことができなかったと考えられる。そこで、図-7にモデル杭の曲げ試験結果を示す。割竹束は、節ぬきモデル杭と比べ曲げ弾性率が低い値を示し、しなやかな材料であることがわかる。これは、杭打設による密度増大と排水構造によるドレーン効果に加えて、杭のしなりによる免震効果があらわれた可能性が考えられる。

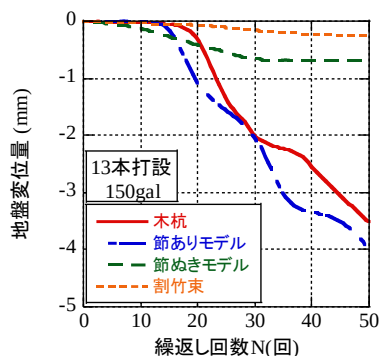


図-5 繰返し回数と地盤変位量の関係 (13本打設 : Dr=66%)

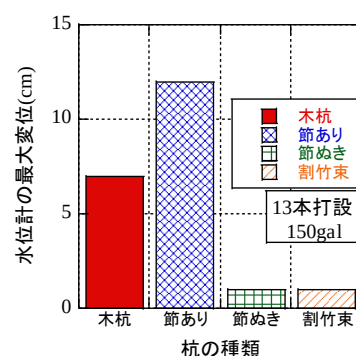


図-6 最大水位 (13本打設)



写真-1 実験後のモデル杭の様子 (節あり(13本打設))

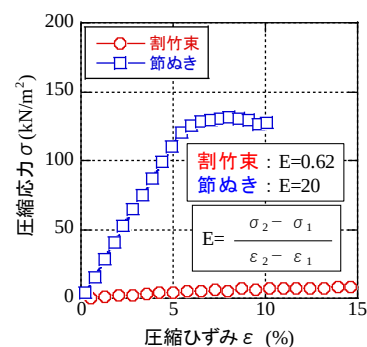


図-7 曲げ試験結果

図-4(b)に示す過剰間隙水圧比の結果と同様に抑えられていることが確認できる。これは、モデル杭に施した排水構造によるドレーン効果により間隙水圧が上手く消散できたことが要因であると考えられる。一方、竹本来の構造である節ありモデルでは、図-6に示す水位計の最大水位上昇量ももっとも高い値を示し、図-4(b)の過剰間隙水圧の消散も他のモデル杭と比べ遅れている。これは、写真-1に示すように杭が中空構造であることと浮力により、杭が地盤中から浮き出しまい、杭の耐震効果を示すことができなかったと考えられる。そこで、図-7にモデル杭の曲げ試験結果を示す。割竹束は、節ぬきモデル杭と比べ曲げ弾性率が低い値を示し、しなやかな材料であることがわかる。これは、杭打設による密度増大と排水構造によるドレーン効果に加えて、杭のしなりによる免震効果があらわれた可能性が考えられる。

4. まとめ 小型模型を用いた竹のモデル杭による実験的検討から、排水構造を持つ竹杭を用いることで液状化抑制効果が確認できた。さらに、杭のしなりによる免震効果に期待できることが示唆された。

【参考文献】

- 1) 岩沢勝巳：竹林拡大を防ぐ放置竹林対策の手引き，千葉県農林水産技術会議資料，2011。
- 2) 本山ら：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。
- 3) 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。
- 4) 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。