

竹モデル杭の排水性を考慮した液状化対策工法の検討

福岡大学工学部 学生会員 井上 遼大 山本 航司
 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) 正会員 足立 雅樹

1. はじめに 地震大国の日本において、液状化しない強靱な地盤の対策を行うことは重要なことであり、これまで様々な工法で対策が行われている¹⁾。また、近年の社会動向としてSDGsや脱炭素・低酸素社会を意識し、環境に配慮した材料・工法で施工を行うことが求められている。そこで、古来より暗渠として用いられてきた束ねた竹の排水能力²⁾を生かし、液状化時の過剰間隙水圧の消散効果に着目した。さらに、二酸化炭素を吸収した竹を使うことで脱炭素・低酸素社会に貢献できると考えられる。また、材料供給の面においても、竹の成長速度が速いことにより安定し、運搬も容易である。これらを踏まえ、本研究では、束ねた竹の排水効果を有効に活用した竹杭打設による液状化対策工法の開発を目的としている。本報告では、竹を模擬したモデル杭の束数と打設本数による有効性と、現場を想定した竹の形状に着目し、小型模型土槽を用いて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

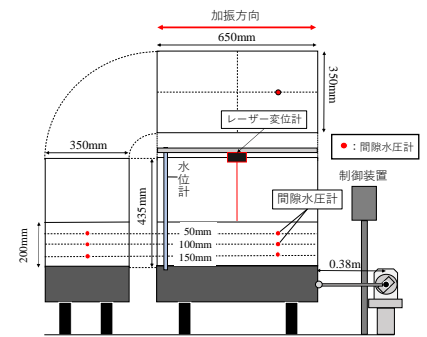


図-1 小型模型土槽振動台の概略図

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（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。

2-2 モデル杭について 表-1に実験に用いたモデル杭の概要を示す。丸太を模擬した木杭は、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。竹のモデル杭として葦の束を用いた。葦は、竹と同じイネ科の植物で、竹と同様に節と空洞を持っている植物である。

2-3 実験条件 実験条件を表-2に示す。

この工法では、竹を束ねる本数により間隙が異なり、排水効果に影響すると考えられる。そこで、表-1に示している打設後の相対密度⁴⁾を66%に統一し、間隙が異なる葦1, 3, 5本束で液状化抑制効果を検討した。また、採取する竹は、上部と下部で直径が異なる。そこで表-1に示しているように、5本束にした際に下部径を細くしたもの、交互に束ねて同一径の束にしたもの、径を変化させていない葦で同一径にしたもので比較・検討した。

表-1 実験に用いたモデル杭の形態

木杭 杭直径: 10mm 杭長さ: 150mm 断面積: 78.5mm ² 間隙率 0% 13本打設時の相対密度 $Dr=60\% \Rightarrow Dr=66\%$	葦1本 杭直径: 4mm 杭長さ: 150mm 断面積: 13.9mm ² 間隙率 0% 64本打設時の相対密度 $Dr=60\% \Rightarrow Dr=66\%$	葦3本束 杭直径: 7mm 杭長さ: 150mm 断面積: 39.2mm ² 間隙率 1.5% 22本打設時の相対密度 $Dr=60\% \Rightarrow Dr=66\%$
葦5本束 杭直径: 9mm 杭長さ: 150mm 断面積: 67.4mm ² 間隙率 11.7% 13本打設時の相対密度 $Dr=60\% \Rightarrow Dr=66\%$	葦5本束(下部が細い) 杭直径 上部: 10.9mm 下部: 6.9mm 断面積 上部: 37.4mm ² 下部: 93.3mm ² 13本打設時の相対密度 $Dr=60\% \Rightarrow Dr=66\%$	葦5本束(交互に束ねた) 杭直径 上部: 10.3mm 下部: 10.5mm 断面積 上部: 83.2mm ² 下部: 86.5mm ² 13本打設時の相対密度 $Dr=60\% \Rightarrow Dr=66\%$

表-2 実験条件

検討内容	モデル杭	打設本数	打設後相対密度
束数と打設本数に関する比較	葦1本束	64箇所	Dr=66%
	葦3本束	22箇所	
	葦5本束	13箇所	
形状に関する比較(全て葦5本束)	同一径	13箇所	Dr=66%
	下部径が細い		
	交互に束ねた		

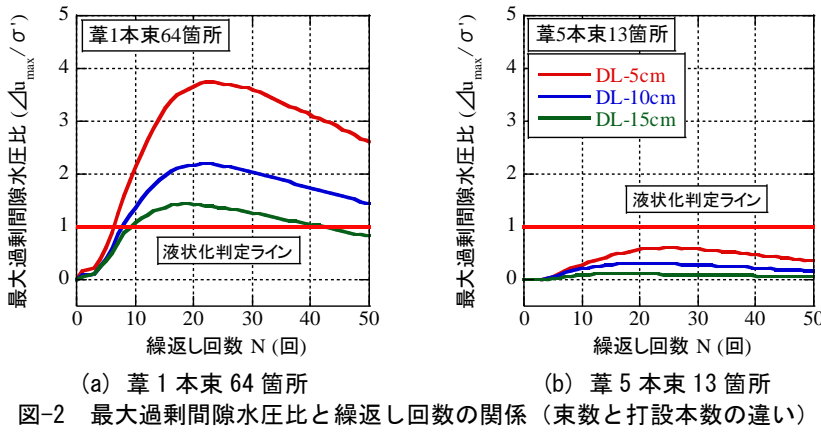


図-2 最大過剰間隙水圧比と繰返し回数（束数と打設本数の違い）

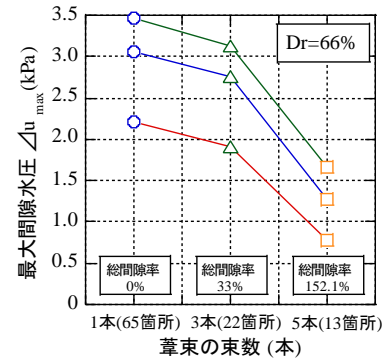


図-3 最大間隙水圧と束数の関係

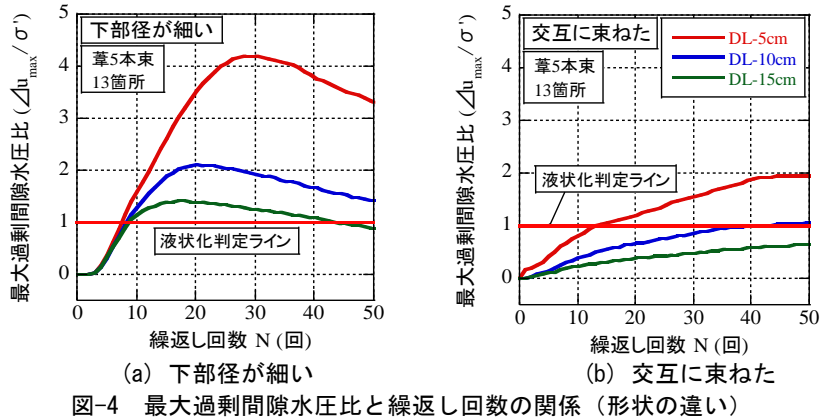


図-4 最大過剰間隙水圧比と繰返し回数の関係（形状の違い）

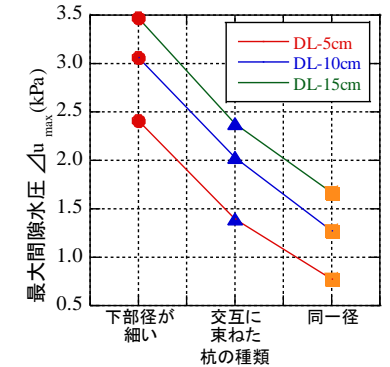


図-5 最大間隙水圧と杭の種類関係

3. 実験結果及び考察

3-1 束数と打設本数による改良効果 図-2(a), (b)に同相対密度下における葦1本束64箇所、5本束13箇所の最大過剰間隙水圧比と繰返し回数の関係を示す。1本束では、いずれの深さ方向において、繰返し回数に伴う最大過剰間隙水圧比の増加により、1.0を超え液状化したことが確認できる。一方、葦5本束では、過剰間隙水圧比の上昇がみられず、液状化を抑制できていることがわかる。また、図-3に最大間隙水圧とモデル杭の束数の関係を示す。いずれの深さにおいても1本束、3本束、5本束の順に最大間隙水圧が低下していることがわかる。これは、1本束は間隙率0%に対して、3本束で間隙率1.5%（総間隙率33%）、5本束で11.7%（総間隙率152.1%）であり、間隙率が大きいほど間隙水圧の上昇を抑制したと考えられる。このように同一の相対密度であっても、打設本数よりも、葦を束ねた間隙による排水効果の方が過剰間隙水圧を消散でき、液状化抑制に効果的であることがわかった。

3-2 現場を想定した竹の形状の影響 図-4(a), (b)に形状の異なる杭束の最大過剰間隙水圧比と繰返し回数の関係を示す。(a)の下部の細いモデル杭では、全ての地点で繰返し回数N=8程度で液状化していることがわかる。これらは、先端が細く間隙が小さいため、集水効果が低く過剰間隙水圧の消散に至らなかったと考えられる。(b)の交互に束ねたモデル杭では、DL-5cm, 10cmにおいて最大過剰間隙水圧比が増加し液状化している。これは、従来の同一の竹径の束に対し、葦を交互にすることで間隙が減少したことが要因と考えられる。次に、図-5に最大間隙水圧と杭の種類関係を示す。図より、下部径が細い、交互に束ねた、同一径の順で最大間隙水圧が低下していることがわかる。そのため、現場では、竹の形状違いにより間隙が変化し、排水機能が変化するため、真竹や淡竹のような同一径の竹の利用し間隙の確保することが望ましいと考えられる。また、竹の径が異なっても、交互に束ね、打設本数を増やすことで竹杭を用いた液状化対策ができると考えられる。

4. まとめ 竹モデル杭の打設による液状化実験により、打設本数を増やすことよりも杭に間隙を持たせた方がドレーン効果により過剰間隙水圧を抑制でき、液状化抑制効果があることが明らかとなった。また、現場で使用する際には、竹の特性を考慮して打設する必要があることが示された。

【参考文献】 1) 大西智晴、吉富宏紀：液状化対策工法，コンクリート工学，50巻1号，pp.109-112，2012.2) 庄司英信、守島正太郎：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，pp.2-9，1948.3) 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.