

小型振動台実験を用いた竹材打設による液状化対策の基礎的検討

福岡大学工学部

学生会員

福本 祐太

村尾 勇成

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 昨今、突発的な地震が発生し、それに伴い液状化被害が発生している¹⁾。また、発生確率の高い南海トラフ地震では西日本一帯で液状化被害が想定されており、被害を最小化するために事前対策としての液状化対策手法の検討が進められている²⁾。これらの液状化対策手法の1つに丸太打設液状化対策³⁾⁴⁾がある。丸太打設液状化対策とは、丸太を地下水位の浅い緩い砂地盤に地盤改良材として丸太を打設することにより、地盤の密度増大を図る環境負荷の小さい地盤改良工法である。本研究は、放置竹林対策と竹の靱性に着眼し、竹材を使った新しい液状化対策を検討している。本報告では、竹材打設の液状化対策の有効性を示すことを目的に、モデル化した竹材を打設した小型振動台実験による基礎的検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 実験には土質試料として豊浦珪砂を用いた。表-1に土質試料の物理特性を示す。

表-1 土質試料の特性

土質試料	土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$	塑性指数 I_p
豊浦珪砂	2.652	0.902	0.655	N.P

2-2 小型土槽地盤の概要 図-1に模型土槽の寸法と計測機器の配置図を示す。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。土槽は一次元方向にのみ加振可能である。振動装置においては、出力0.38kW、最大振動数25.4Hzで図-2に示す加振波のようにインバーター周波数制御により2.5Hzで40秒、60波の加振波(最大加速度200gal)を与えた。また、間隙水圧計を投入した砂層中央部に、アクリル壁から5cm、表層から10cmの位置に設置した。また、モデル杭上に高さ5cm、幅12cm、重さ1.0kgの重りを載せ、この重りに変位計を設置し、沈下量を測定した。

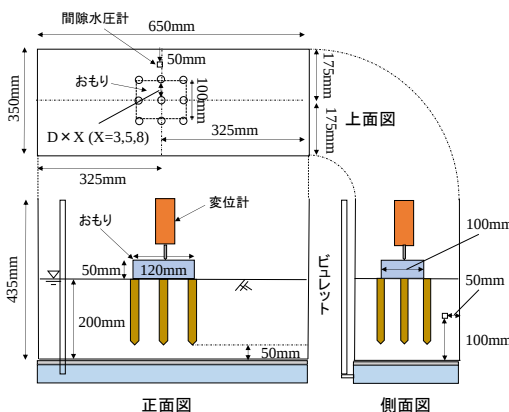


図-1 模型土槽の寸法と配置図

2-3 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、実際の竹をモデル杭に加工して用いた。表-2に実験に用いたモデル杭の形態及び寸法を示す。今回の模型実験は、実際の1/20のスケールで行っている。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、長さ150mmに加工した竹杭を用いた。また、比較対象材料として木材を直径10mm、長さ150mmに加工した木質のモデル杭を用いた。さらに、一般の木杭に比べて小径な竹を用いることから、竹の径を木杭の径に見立て、竹杭を4本束ねた合計3種類のモデル杭により比較検討を行った。いずれのモデル杭も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。

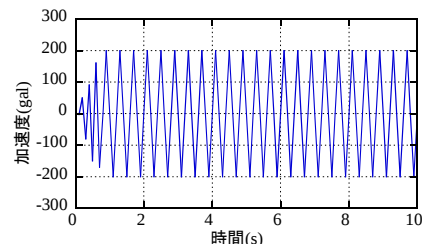


図-2 加振波

表-2 モデル杭材の形態及び寸法

	長さ	直径
木杭	150mm	10mm
竹杭	150mm	5mm
竹束	150mm	10mm

2-4 実験条件 模型地盤は、設定した高さにおいて相対密度が60%になるよう計量した豊浦砂と水を一定量土槽に投入後、土槽内で攪拌し、砂を自然沈殿させ作製した。地下水位は地盤表面に設定した。表-3に実験条件を示す。

杭の打設間隔の違いによる影響について検討を行うため、モデル杭の直径をDとして打設間隔3D, 5D, 8Dの3種類で9本のモデル杭の打設による地盤改良模擬を行った。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、前述した木杭、竹杭、竹束の3種類を用いた。

表-3 実験条件

根入れ深さ (cm)	打設間隔 (D:杭直径)	杭の種類	本数 (本)
15	3D	木杭	9
	5D	竹杭	
	8D	竹束	

3. 実験結果及び考察 図-3(a), (b)に時間経過に伴うモデル構造物(おもり)の沈下量に及ぼす (a) 杭の打設間隔と(b)杭の種類の影響を示す。また、図-4(a), (b)に同一条件における時間経過に伴う最大過剰間隙水圧の関係を示す。間隙水圧は、各振幅における最大過剰間隙水圧を示している。

3-1 杭の間隔の影響 図-3(a)よりモデル杭の打設間隔の違いがおもりの沈下量に及ぼす影響は、打設間隔の狭い3D, 5D, 8Dの順に沈下量が大きくなっている。特に打設間隔が最大である8Dにおいてはほとんど沈下が生じてないことがわかる。また、図-4(a)の時間経過に伴う最大間隙水圧の発生状況は、打設間隔の狭い3D, 5Dでは振動開始直後に最大間隙水圧の急激な増加が生じ、図-3(a)に示す最大沈下量に達した時点から徐々に水圧が消散していることがわかる。今回の実験では、同一のモデル杭本数(9本)にて、杭の間隔を広げるため、杭に囲まれた改良範囲が拡大する。したがって、杭打設に伴う地盤密度増加による地盤改良効果より、杭による地盤拘束効果が結果に現れたことが考えられ、今後の杭の打設本数も含め検討課題である。

3-2 杭の種類の影響 図-3(b)に打設間隔5Dにおける、杭の種類の違いによるおもりの沈下量は、竹杭が最も沈下量が大きく、竹束が最も沈下を抑制していることがわかる。また、図-4(b)の時間経過に伴う最大過剰間隙水圧の発生状況から、おもりの沈下量が多い木杭と竹杭は初期段階に急な間隙水圧の増加傾向がみられる。また、木杭は図-3(b)に示す最大沈下量に達した時点から徐々に間隙水圧が消散しているのに対し、沈下量が多い竹杭については消散していないことがわかる。これらは杭打設による砂層の相対密度変化が影響していると考えられる。そこで、地盤改良面積を $B^2=200\text{mm} \times 200\text{mm}$ とし、杭断面積 A と改良した面積との比率を式-1の a_s :改良率とした時、改良率4%以下の場合においては、式-2を用いることで、杭の打設により変化した相対密度を算出できる³⁾ことから、打設後の相対密度を求めた。打設後の相対密度を表-4に示す。

4. まとめ 1) 同一本数で杭間隔を広げると、杭による地盤拘束効果により液状化抵抗が生じることが明らかとなった。また、同一杭間隔では、杭径が大きい方が地盤密度を密にすることができ、改良効果が示された。2) 竹杭は束ねることで、剛性の増加とドレーン効果による液状化対策効果を期待できることが示された。

【参考文献】1) 京都大学防災研究所ホームページ：近年の地震における液状化被害京都大学防災研究所公開講座 28回, 2017. http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/kokai/potal/h29/h29_ppt3.pdf. 2) 国土交通省中部地方整備局ホームページ：南海トラフ巨大地震による津波高・浸水域等 <http://www.cbr.mlit.go.jp/kisojo/jishintsunamitaisaku/pdf>. 2012. 3) 本山ら：液状化対策における関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. 4) 本山ら：関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.

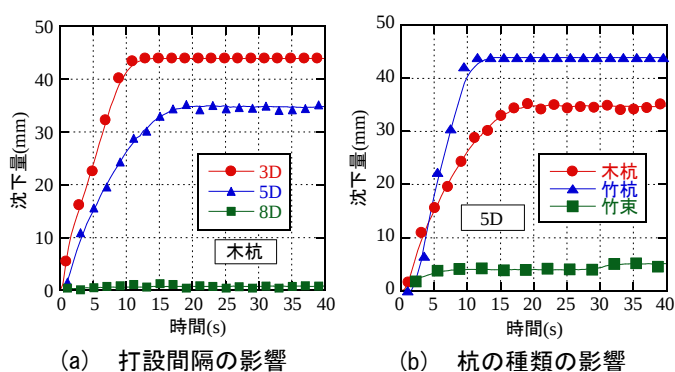


図-3 おもりの沈下量

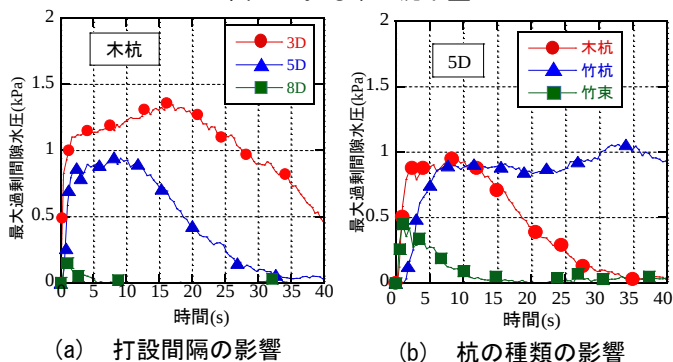


図-4 最大間隙水圧の発生状況

$$a_s = \frac{A}{B^2} \times 100 (\%) \dots \dots \dots \text{式-1}$$

$$D_r = D_{r0} \left(1 - \frac{a_s}{100} \right) + \frac{a_s(1+e_{\max})}{(e_{\max}-e_{\min})} (\%) \dots \text{式-2}$$

A:杭材断面積(m^2)

B:地盤の幅(m)

 a_s :打設による地盤の改良率(%) D_r :杭材間の想定相対密度(%) D_{r0} :打設前の初期地盤の相対密度(%) $e_{\max}$:地盤の最大間隙比 $e_{\min}$:地盤の最小間隙比

表-4 改良率と打設後の相対密度

杭の種類	木杭	竹杭	竹束
改良率 a_s (%)	1.76	0.44	1.77
想定相対密度(%)	72.4	63.1	72.6