

小口径杭で補強した橋台杭基礎の遠心模型振動実験

橋台杭基礎 耐震補強 液状化 遠心模型実験

(株)大林組 正会員 ○粕谷悠紀 国際会員 高橋真一

1. はじめに

近年発生した大規模地震では、地盤の液状化に伴い橋台基礎に損傷が生じた事例がみられる。これらの損傷の要因解明や今後の対策検討を行うため、液状化地盤における橋台基礎の残留変形や背面地盤の沈下に着目した模型実験および数値解析事例がいくつか報告されている^{例え ば 1)}。しかしながら、狭隘地や空頭制限下で施工可能な小口径杭工法で増し杭した場合の補強効果に関する検討事例は少ない。本報では、液状化地盤上の橋台杭基礎を対象とし、小口径増し杭の有無や仕様による補強効果を把握することを目的として実施した遠心模型振動実験結果について報告する。

2. 実験概要

遠心重力 50g 場において、地盤－橋台－杭基礎模型の振動実験を実施した。Fig.1 に模型地盤および計器配置図を示す。実験には内寸 450×150×250mm で 1 側面がアクリル面の鋼製土槽を使用した。土槽底面および側面 4 方向にはテフロンシートを設置し、橋台部と土槽側面にはグリスを塗布して砂の流出を防止した。

Table 1 に実験ケースを示す。実験パラメータは、増し杭の有無および増し杭の仕様である。Table 2 に橋台－杭基礎の諸元を示す。橋台および杭基礎の模型はアルミ製である。いずれも相似則に従い、実物に換算して重心と重量および杭の曲げ剛性が概ね合致するような仕様とした。既設杭はφ700mm の鋼管ソイルセメント杭とし、増し杭はφ225mm の小口径杭とし、杭長はいずれも 6m とした。なお、いずれも所定の杭径になるまで砂を塗布した。各杭計測項目は、振動台加速度、橋台天端および基礎直上加速度、地盤内加速度、橋台部の水平変位および鉛直変位、地盤内の間隙水圧である。

Fig.1 に示すように、模型地盤の底版は碎石 6 号および岐阜硅砂 4 号を用いた透水層と $q_u=1,000\text{kN/m}^2$ で低強度改良土による支持地盤からなる。日光硅砂 7 号 ($\rho_s: 2.685$ 、 $e_{\max}: 1.073$ 、 $e_{\min}: 0.630$) による盛土層 (液状化層) を作製した。盛土層は、相対密度 $D_r=50\%$ (乾燥密度 $\rho_d=1.450\text{g/cm}^3$) を目標とし、5cm ごとに密度管理しながら空中落下法によって作製した。粘性流体は、透水速度が実物と等価になるよう水の 50 倍に調整したメチルセルロース水溶液を用い、重力場において水頭差を利用して透水層より模型地盤に注水した。加振方向は水平 1 方向で橋軸方向とし、入力波は sin 波で周期 1Hz (実物換算) の 60 波とし、振動台加速度が 300gal 程度になるように設定した。なお、実施した 3 ケースいずれも同様な振動台加速度であることを確認している。

3. 実験結果

Fig.2 に過剰間隙水圧の時刻歴を示す。支持地盤付近の GL-5.5m ではいずれのケースも加振開始から 0.2 秒前後で過剰間隙水圧が急激に上昇し、1.0~1.5 秒程度で初期有効応力まで上昇して液状化する結果となった。一方、GL-3.25m (= -65mm × 50/1000) では加振開始から 2.0~2.5 秒前後で過剰間隙水圧が初期有効応力まで上昇し、液状化する結果となった。

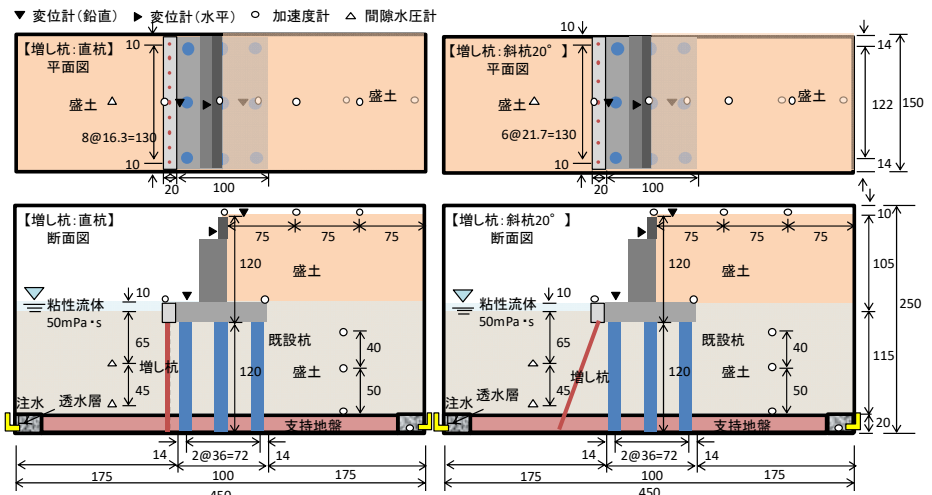


Fig.1 模型地盤と計器配置図

Table 1 実験ケース

ケース	既設杭	増し杭
Case1	9本 直杭	なし
Case2	9本 直杭	9本 直杭
Case3	9本 直杭	7本 斜杭20°

Table 2 橋台－杭基礎の諸元

杭名称		鋼管仕様	杭径	杭長	固化材強度
既設杭	鋼管ソイルセメント杭	SKK400 φ500mm t10mm	ソイル セメント径 φ700mm	6.0m	ソイル セメント 1.0N/mm ²
		φ9mm t1.0mm	φ14mm	120mm	
増し杭	小口径杭	STK400 φ165.2mm t7.1mm	グラウト径 φ225mm	6.0m 20°の時 は6.35m	グラウト 30N/mm ²
		φ4mm t0.5mm	φ4.5mm	120mm	

Fig.3に橋台の水平変位量（実線）および傾斜角（破線）の時刻歴を示す。水平変位量は実物換算した値である。Case1 は加振初期から橋台の水平変位量は増大し、残留変位量は約 2.5m で傾斜角は 12.5° であった。小口径杭 9 本で増し杭した Case2 の残留変位量は約 1.3m で傾斜角は 6.6° であり、Case1 と比較して 5 割低減した。斜杭 20° の小口径杭 7 本で増し杭した Case3 の残留変位量は約 0.5m で傾斜角は 2.4° であり、Case1 と比較して 8 割低減した。この結果、液状化地盤において、小口径杭でも橋台前面部への増し杭は効果的であること、さらに斜杭のほうが本数は少ないにも関わらず有効であることが明らかになった。

Fig.4 に橋台背面地盤の変位量分布を示す。この結果は、加振後に土槽中心で計測した実測値を整理したものである。Case1 は橋台が前面に傾斜することにより広範囲に沈下するのに対し、Case2 は沈下量が 7 割程度抑制される結果となった。一方、Case3 は沈下量が最も少なく、背面地盤が盛り上がる結果となった。これは、加振中に橋台が前面に傾斜しようとしても斜杭が回転モーメントに対して有効に抵抗し、慣性力によって移動した表面砂を押し返したために発生したものと考えられる。なお、実験は 2 次元平面ひずみモデルであるが、実際は 3 次元モデルであり背面地盤の盛り上がり量は、非常に小さくなると推察される。

Fig.5 に橋台の傾斜角－杭の傾斜角関係を示す。杭の傾斜角は加振実験後に分割可能な橋台部を解体し、盛土層を撤去したのちに 1 本ごと実測して計測したものである。Case1 は杭ごとに差異はあるものの概ね橋台の傾斜角より小さくなる結果となった。Case2 および Case3 は既設杭および増し杭ともに橋台の傾斜角より小さくなる傾向がみられた。この理由として、橋台背面から作用する偏土圧の影響により橋台部の傾斜が増大したためと推察される。

Fig.6 に橋台天端における加速度の時刻歴を示す。Case1 および Case2 は加振初期より橋台天端の加速度は増幅し、加振後 0.3～0.4 秒程度で最大値に到達後、減衰する傾向を示した。これは、慣性力および橋台背面から作用する偏土圧に対して、杭が抵抗する際に増幅するものの、橋台が前面に傾斜することにより減衰したものであると思われる。一方、Case3 は加振初期に+500gal 付近まで増幅するものの、斜杭による回転モードの抵抗によって橋台の変状が抑制されたことにより、加速度も抑制されたと考えられる。

4. おわりに

本報では、液状化地盤上の橋台杭基礎を対象とし、小口径増し杭の有無や仕様による補強効果を把握することを目的として実施した遠心模型振動実験結果について述べた。実験の結果、液状化地盤において、小口径杭でも橋台前面部への増し杭は効果的であること、さらに斜杭にすることで補強本数の低減および背面沈下量の抑制に有効であることが明らかになった。

【謝辞】本実験を進めるにあたって、独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所に多大なるご協力をいただきました。ご協力いただきました関係諸氏に深甚の謝意を表します。

【参考文献】1) 梶田幸秀ら：液状化地盤上にある橋台杭基礎の地震時応答に関する実験的研究、土木学会論文集 A1(構造・地震工学)、Vol.71、No.4(地震工学論文集第 34 巻)、pp.611-621、2015。

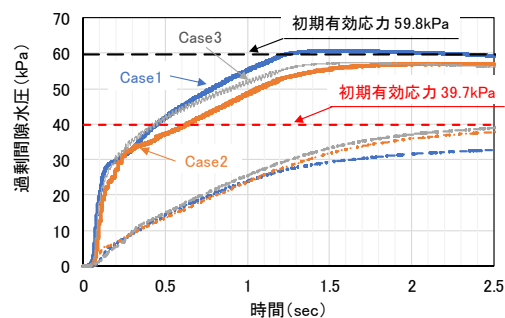


Fig.2 過剰間隙水圧の時刻歴

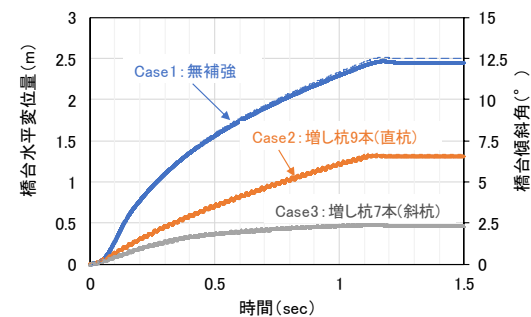


Fig.3 橋台の水平変位量および傾斜角の時刻歴

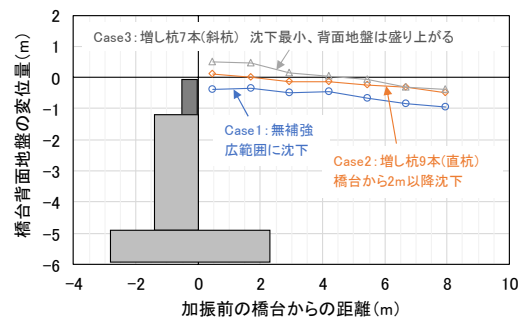


Fig.4 橋台背面地盤の変位量分布

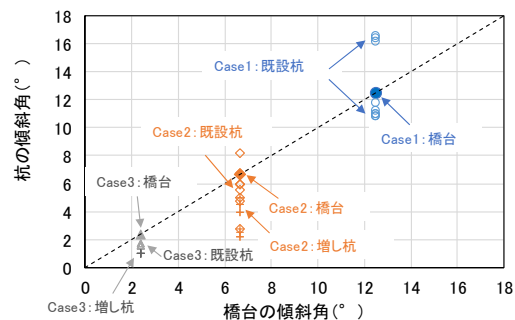


Fig.5 橋台の傾斜角－杭の傾斜角関係

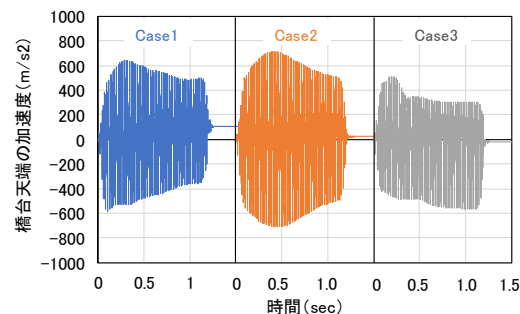


Fig.6 橋台天端における加速度の時刻歴