

(8) 既設基礎の耐震補強に関する検討（その2）—小口径杭を用いた振動台実験—

株式会社フジタ	正会員	○岸下	崇裕
同上	正会員	斉藤	悦郎
同上	正会員	相良	昌男
土木研究所	正会員	福井	次郎
同上	正会員	大下	武志

1. はじめに

既設基礎の耐震補強は、空頭や近接構造物等の施工上の制約条件を受けるため、従来の工法での対応が難しい場合が多くなっている。近年、狭隘な空間で施工可能な小口径の鋼管杭が注目されているが、地震時の挙動については十分な検討が必要である。本検討では、小口径の鋼管杭で補強された杭基礎構造物の動的挙動および基礎の補強効果を定性的に把握すること目的として振動台による模型実験を実施した。本文は、その実験結果について報告するものである。

2. 実験概要

実験は、大型振動台の上に設置したせん断土槽を用いて重力場で実施した。図1に実験装置の概略図を、写真1にせん断土槽を示す。せん断土槽は、加振方向にせん断変形する15段の独立した鋼製枠からなっている。その内側寸法は、幅1.2m、奥行き0.8m、高さ1.0mである。

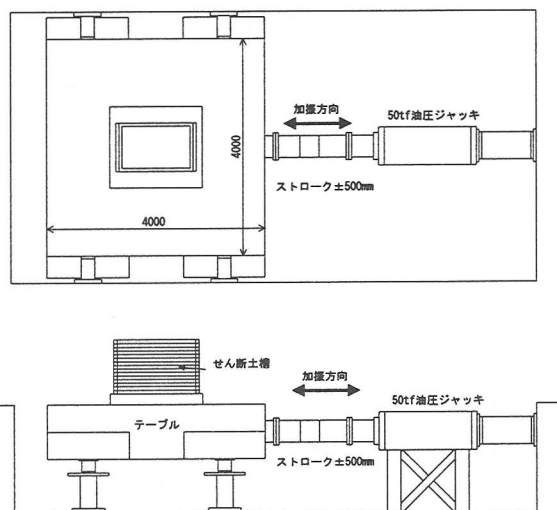


図1 大型振動台

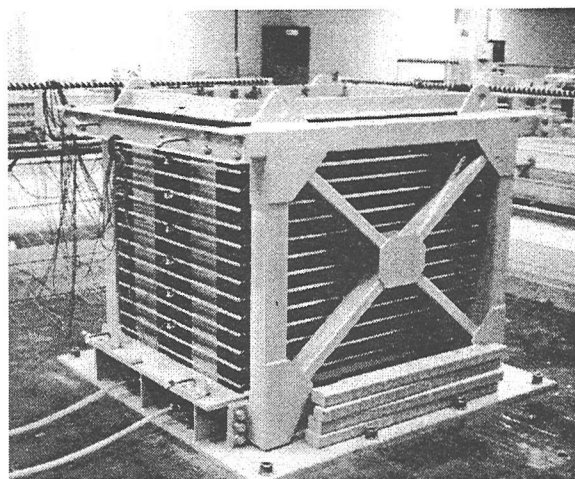


写真1 せん断土槽

a) 模型地盤

模型地盤には、遠州浜岡砂を使用した。表1に浜岡砂の物性値を、図2に粒径加積曲線を示す。図で示されるように浜岡砂は、粒径が良く揃った砂である。模型地盤は、あらかじめ模型杭を設置したせん断土槽内に、空中落下法を用い、フーチング下面まで作成した。落下高さは、初期の相対密度が60%になるように1.5mとした。写真2に空中落下法にて模型地盤を作成している状況を示す。

表1 浜岡砂の物性値

土粒子の密度	ρ_s	2.699 g/cm ³
粒度	礫分	0%
	砂分	100.00%
	シルト分	0.00%
	粘土分	0.00%
	均等係数	2.31
曲率係数	1.03	
最大乾燥密度	$\rho_{d \max}$	1.694 g/cm ³
最小乾燥密度	$\rho_{d \min}$	1.396 g/cm ³

キーワード：耐震補強、既設基礎、小口径杭、斜杭、振動台実験

連絡先：〒243-0125 厚木市小野 2025-1 電話(046)250-7095 FAX(046)250-7139 E-mail:kisisita@fujita.co.jp

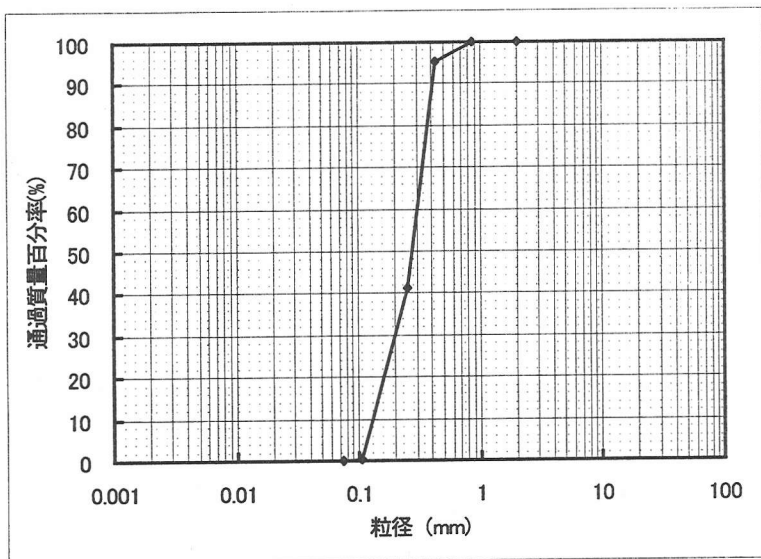


図2 浜岡砂の粒度分布

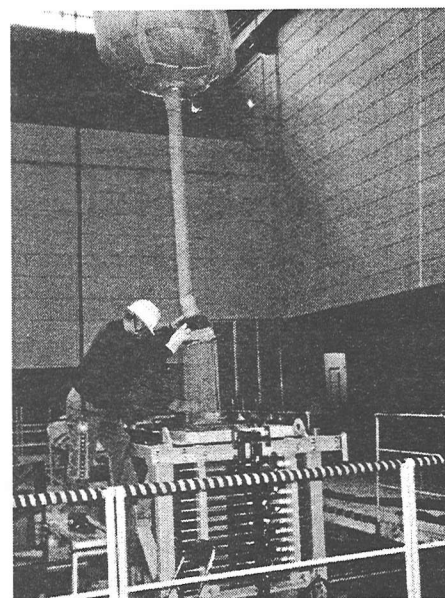


写真2 作成状況

b) 杭模型

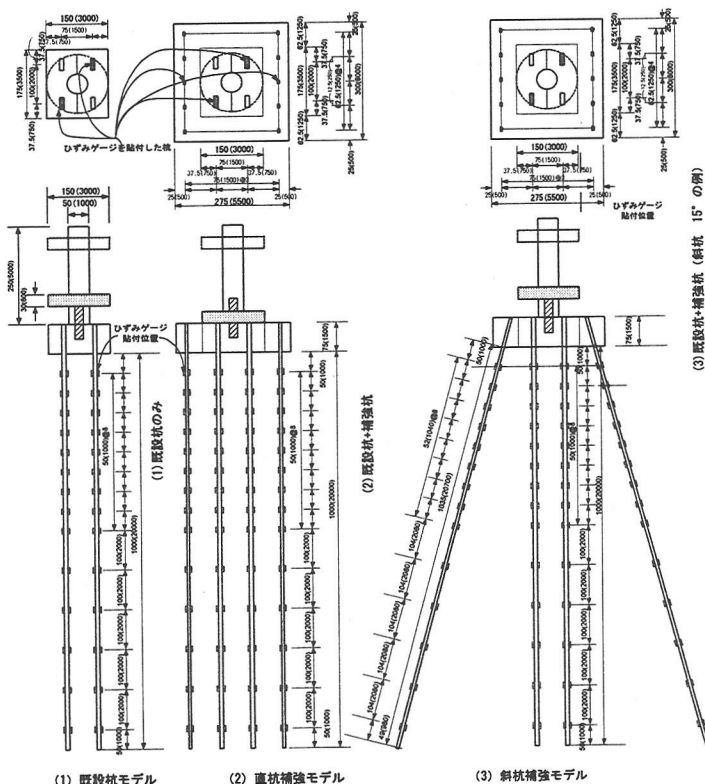
杭模型は、既設杭はφ600mmのPC杭を、補強杭はφ177.8mmの小口径鋼管杭をモデル化し、実物大の1/20スケールで作成した。表2に既設杭および補強杭の諸元を示す。なお、本実験は、補強効果を定性的に把握することを目的としているので、模型杭の曲げ剛性は、相似則により求められた曲げ剛性をさらに1/10にした。既設杭模型は、幅30mm、厚さ5mmのステンレス製平板を、小口径杭模型は幅10mm、厚さ2mmの平板を用いた。表3に模型杭の諸元を示す。既設杭モデルは、4本を群杭としてフーチング部に剛結させ、杭先端部はピン結合とした。補強杭は、片側5本ずつの計10本とした。図3に模型杭の概略図を示す。

表2 検討を行った杭の形状

	杭形式	杭径 φ (mm)	肉厚 (mm)	曲げ剛性 EI(kN・m ²)
既設杭	PHC杭 B種	600	90	2.00E+05
補強杭	高強度鋼管	177.8	12.7	2.47E+03

表3 模型杭の形状

杭模型	材質	幅 (mm)	厚さ (mm)	曲げ剛性 EI(N・mm ²)
既設杭	ステンレス	30	5	5.52E+07
補強杭	SUS304	10	2	1.18E+06



a) 既設モデル b) 直杭補強 c) 斜杭補強

図3 模型杭概略図

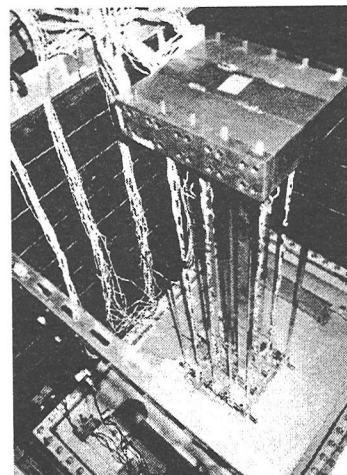


写真3 杭模型設置状況

c) 実験方法

実験は、既設杭モデル、小口径の鋼管杭を直杭で増杭したモデルと斜め(15度)に増杭したモデルで検討を行った。また、各々のモデルに対し上部荷重の影響についても検討を行った。

入力加速度は、地盤模型の固有周期が 0.104 秒に相当するので、周波数 10Hz、最大加速度 100gal~300gal の正弦波とした。図 4 に入力加速度 100gal 時の波形を示す。実験では、加振毎に地盤が沈下するので、模型地盤の表面がフーチング下面の位置になるように砂を入れて実験を行った。写真 4 に加振終了後の沈下状況を示す。

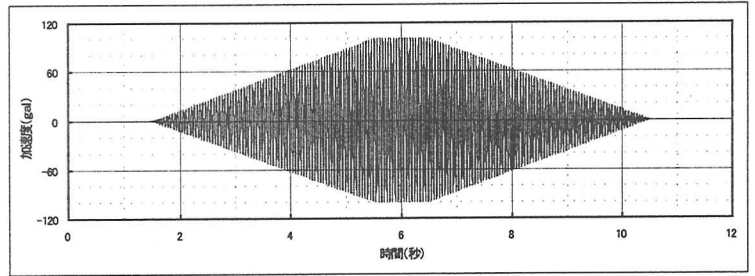


図 4 入力加速度波形

d) 計測方法

計測は、加速度計、レーザー変位計およびひずみゲージのセンサー類を用いて行った。加速度計は、せん断枠、フーチング、構造物上端および地中に設置し絶対加速度量を計測した。レーザー変位計は、せん断枠、フーチングおよび構造物上端に設置し相対変位量を計測した。ひずみゲージは、既設杭モデルおよび補強杭モデルに設置し、加振時に発生する軸力と曲げモーメントを計測した。図 5 に計測位置概略図を示す。

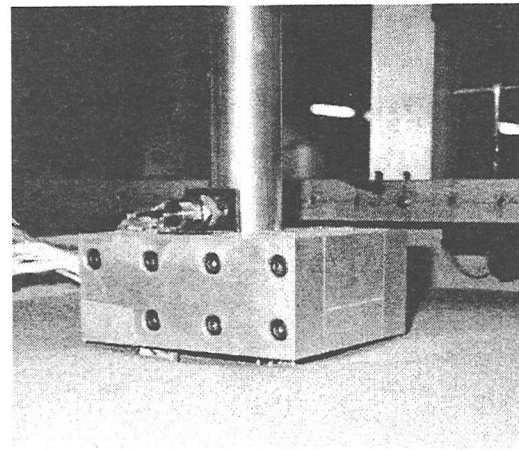


写真 4 加振後の沈下状況

3. 実験結果

a) 最大加速度応答

図 6 に最大加速度応答を示す。図中の上段は、上部重量無し、下段は上部重量有りの結果を示している。図に示すように、せん断土槽の加速度応答 (100cm 以下) は同じ値を示しており、同じ地盤条件で実験が行われていることが確認できた。上部重量無しの場合、橋脚上端およびフーチングの加速度応答は、既設モデルと直杭補強モデルでほぼ同じ傾向を示しているのに対し、斜杭補強モデルは両モデルに比べ小さくなっている。これは、地盤の水平変位の増加に伴い斜杭の前杭が起き上がり、後杭が倒れ込む状態になるため、橋脚躯体が地盤変位と逆方向に変位する回転が生じる。そのため、応答加速度が小さくなったものと考えられる。上部重量有りの場合、入力加速度が 200gal までは、既設モデルに比べ直杭補強モデルの加速度応答が小さくなっている。これは、上部重量の慣性力により生じるフーチングの回転に対して補強杭が抵抗しているためである。

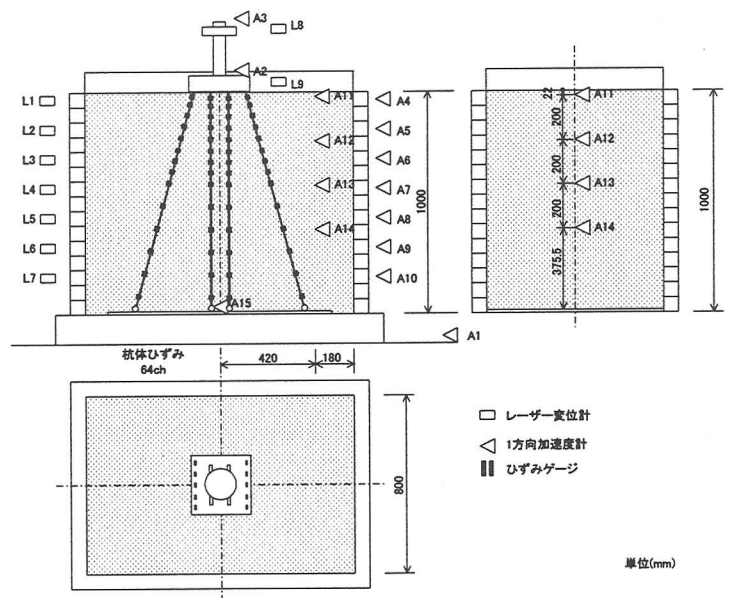


図 5 計測位置図

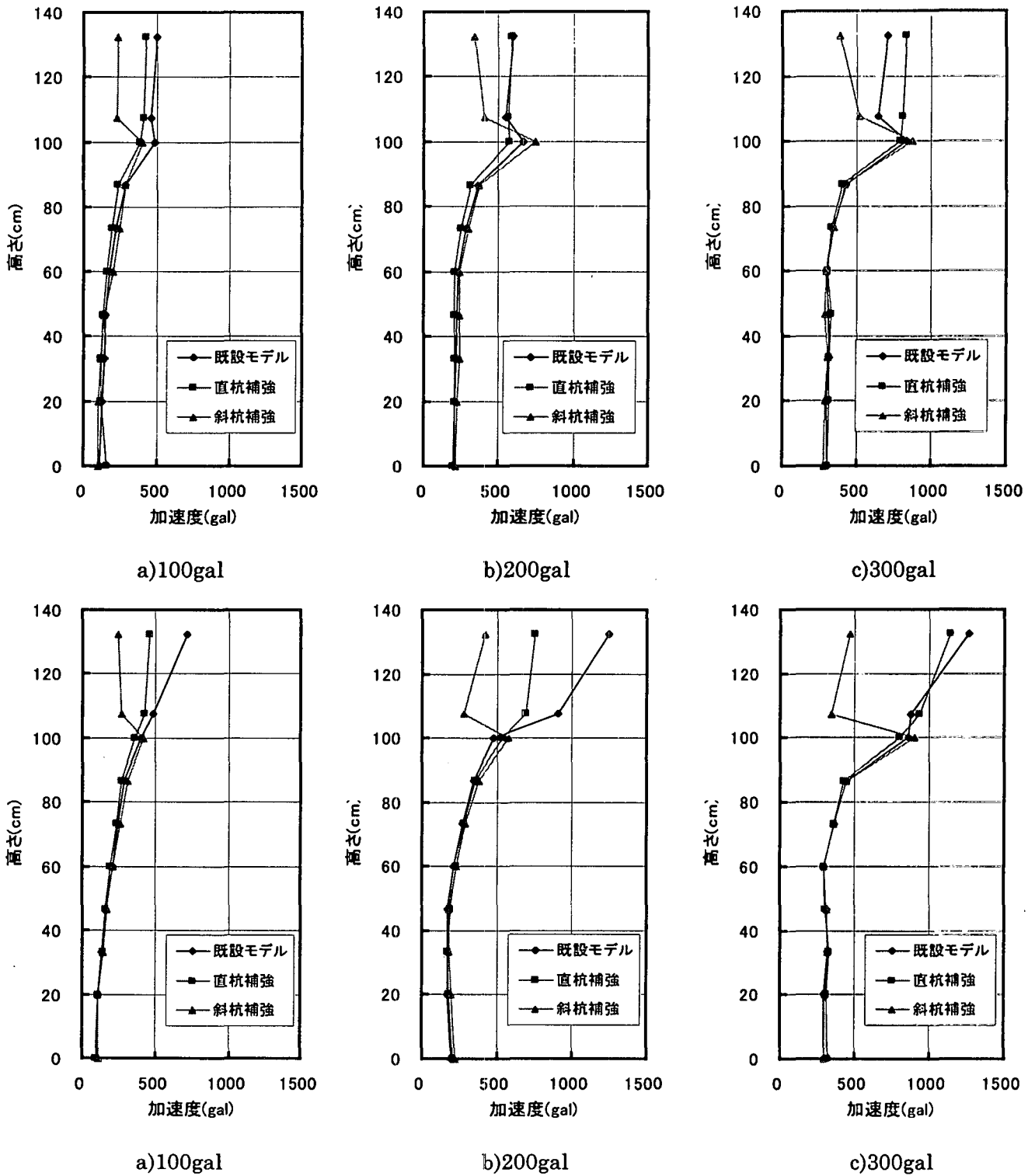


図6 最大加速度分布 (上段：上部重量無し、下段：上部重量有り)

b)変位分布

図7に既設杭の変形量と橋脚上端およびフーチングの変位量を示す。図の上段は上部荷重無しの結果を、下段は上部荷重有りの結果を示している。図は、既設杭の杭頭部における曲げモーメントが最大となる時刻の値を示している。既設杭の変形量は、曲げモーメントの値を積分して求めた。その際曲げモーメントは、実験より求められた値をスプライン関数により補間して用いた。上部重量がないケースの直杭補強モデル変位は、既設モデルに比べ大きくなっている。これは、補強後のフーチングが大きくなり、慣性力が大きくなったためと考えられる。しかし、補強後の模型全体重量が補強前に比べ2.8倍(上部構造重量無し時)であるのに対し、杭頭での変位が1.4倍程度であることから、小口径杭を補強することにより基礎の水平抵抗力が増加したことが確認できた。斜杭補強モデルは、加速度の挙動と同様に杭頭部や橋脚躯体の応答を抑える

効果があることが確認できた。また模型上部とフーチングの変位がほぼ同じ値を示していることから、上部重量のないケースは、橋脚模型がサイドスローしていると分かる。上部重量がある場合の直杭補強モデルの変位は、既設モデルに比べ小さくなっている。上部重量があるケースは、ないケースに比べ上部重量の慣性力が増えるため、フーチングには水平力に加え回転力（鉛直力）が作用することになる。既設杭の周りに補強杭を配置している補強モデルでは、既設杭モデルに比べ水平方向および鉛直方向の抵抗力が増しているため、上部重量が無い場合の結果に比べ顕著に補強効果が現れたものと思われる。なお上部構造重量があるケースの既設モデルにおいて、橋脚上部で変位が著しく大きくなっているのは、上部構造の慣性力により生じる橋脚基部の回転力に対して、既設基礎が耐えられなくなり傾いたためである。写真5に構造物模型が実験後傾いた状況を示す。

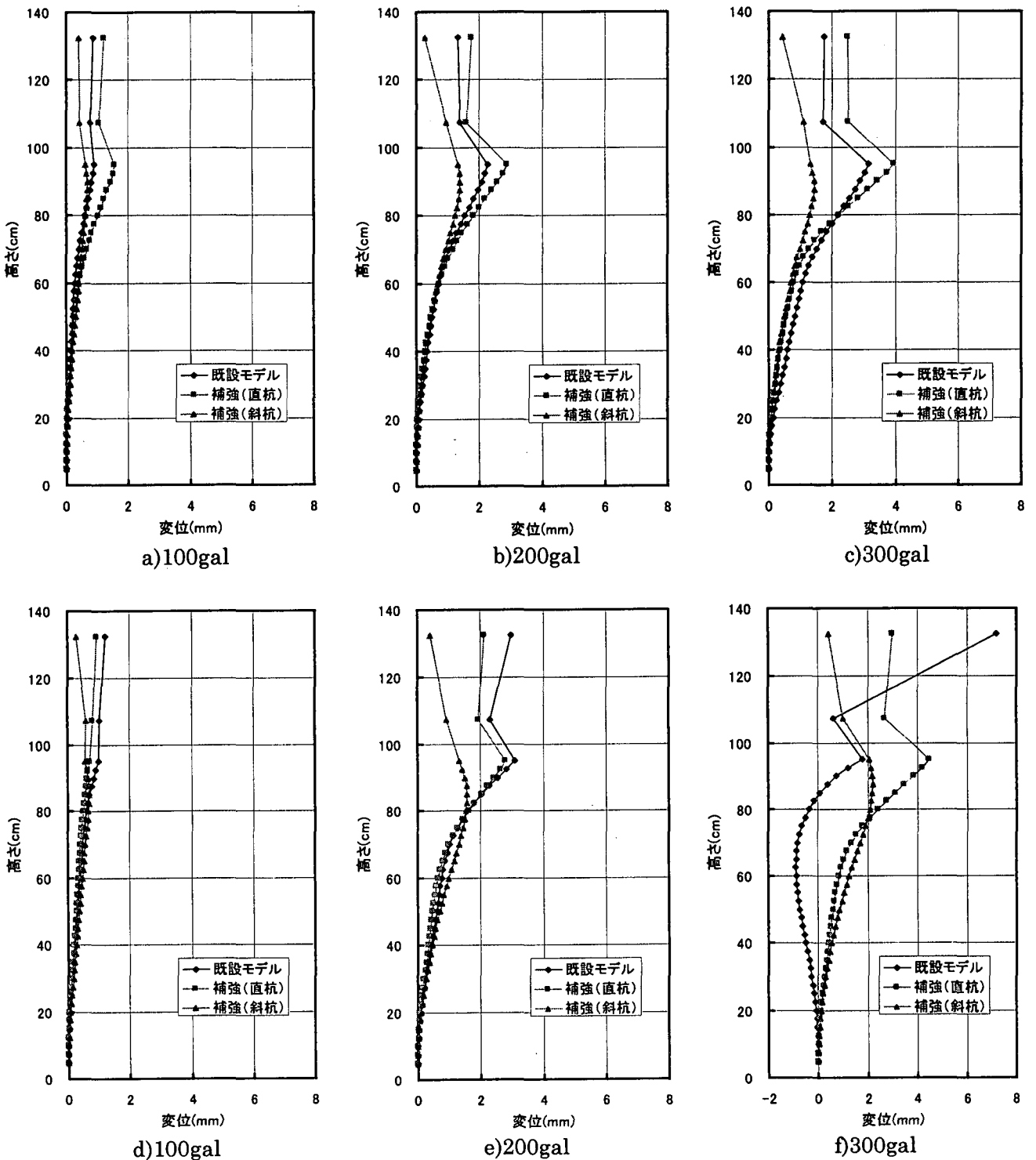


図7 変位分布（上段：上部重量無し、下段：上部重量有り）

c) 最大曲げモーメント分布

図 8 に既設杭に作用する最大曲げモーメントの絶対量を示す。上部重量が無いケースでは、既設モデルの結果に比べ、直杭補強モデルにおいて大きな値を示している。これは変位分布で示したように、補強に伴いフーチング重量が増えたためである。上部重量があるケースでは、変位分布と同様の傾向が得られた。また曲げモーメントの分布は、既設モデルと直杭補強モデルとで同じ分布傾向を示した。変位分布においても同じ傾向を示していることから、小口径杭による増し杭補強は、既設基礎の変形や断面力に対して影響はないものと考えられる。斜杭補強の曲げモーメント分布は、杭頭部から

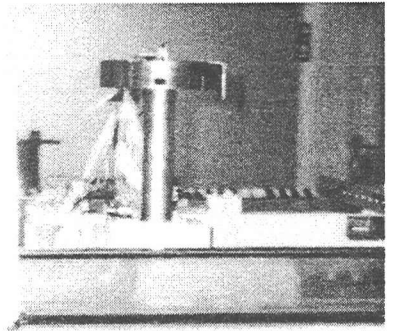


写真5 模型の傾き状況

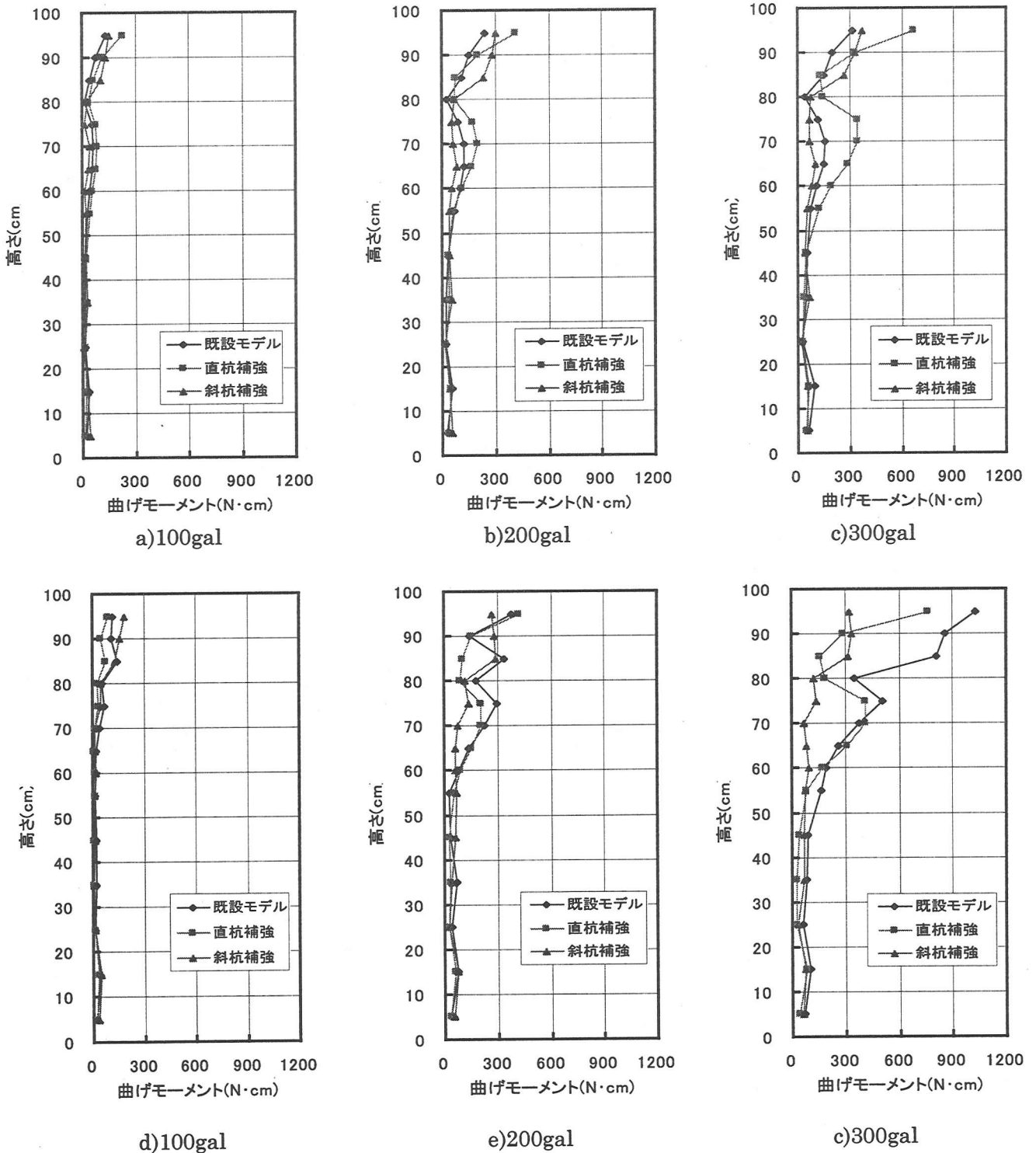


図8 最大曲げモーメント分布 (上段：上部重量無し、下段：上部重量有り)

15cm の範囲に分布している。加速度分布や変位分布の傾向と同様に作用力方向に対して前面の斜杭が抵抗しフーチングの応答が抑止されたためである。

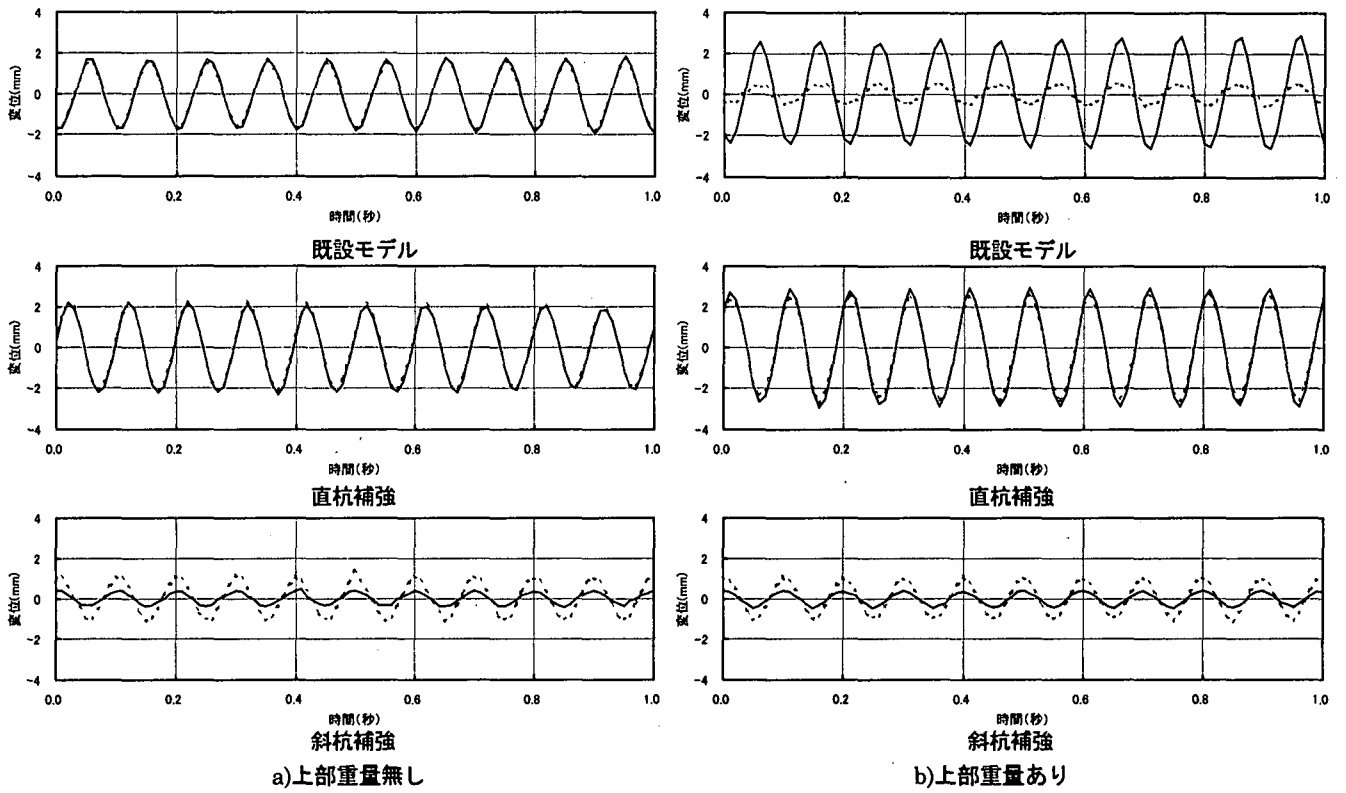


図9 変位時刻歴応答 (実線：模型上端部、破線：フーチング部)

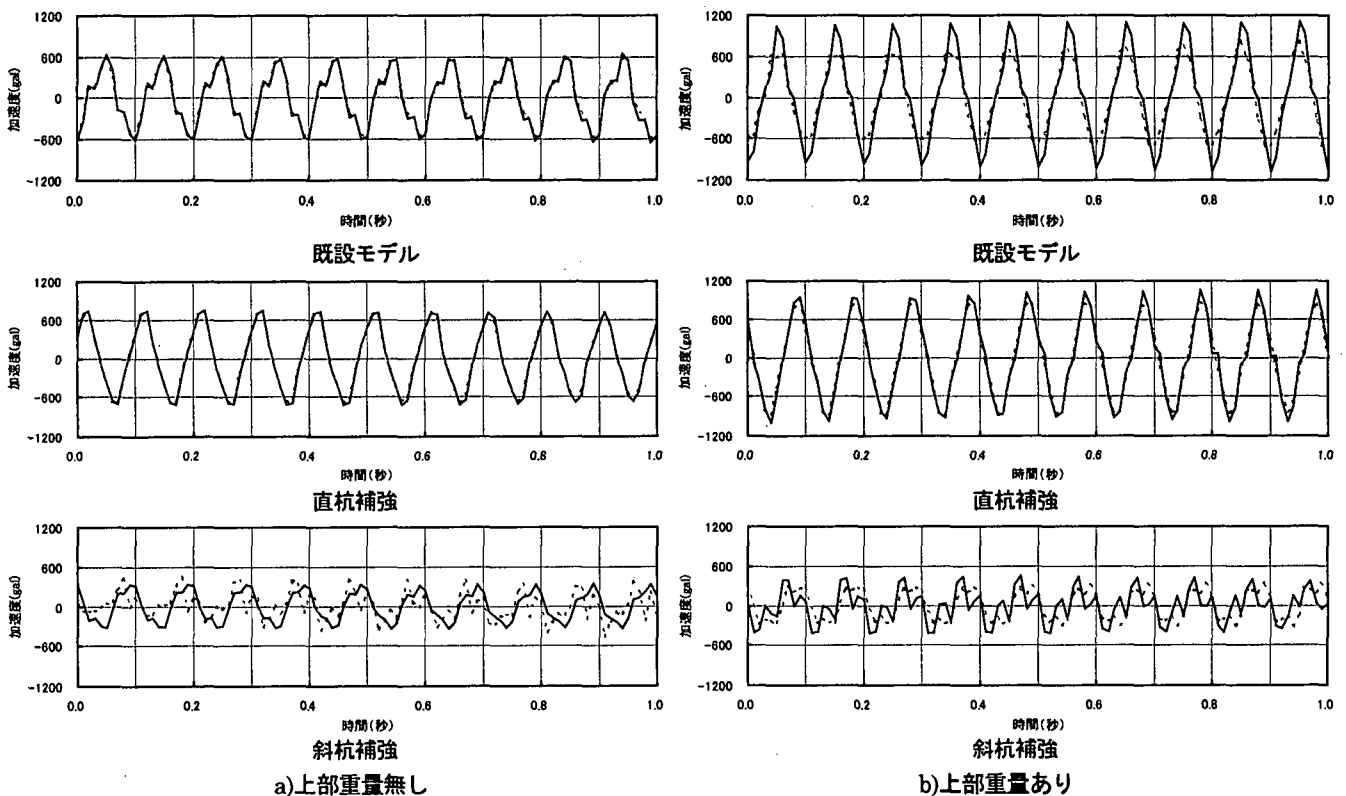


図10 加速度時刻歴応答 (実線：模型上端部、破線：フーチング部)

d) 時刻歴応答

図9に模型上端とフーチングの変位応答を図10に加速度応答を示す。図中の実線は、模型上端の応答を破線はフーチングの応答を示している。図で示されるように、既設モデルおよび直杭補強モデルでは、変位応答、加速度応答ともに同位相に反応している。それに対し斜杭補強モデルは、変位応答において同位相の応答を示すものの、加速度応答においては位相のずれや作用外力とは反対方向の加速度が生じている。これは、水平変位量が大きくなるにつれ斜杭の前杭が立ち上がり、後杭が倒れこむことにより、フーチングが作用外力とは逆方向に回転を起こすために生じたものと考えられる。

4. おわりに

本振動台実験により、定性的であるが以下の効果が確認された。

- ・異形杭で補強された直杭モデル時刻歴応答は、既設モデルと同じ応答を示し、問題の無い事が確認された。
- ・小口径の鋼管での増し杭は、補強効果があることが確認された。
- ・斜杭による補強では、斜杭の変形性能による構造物の応答を抑える効果が確認された。

なお、本検討は、国土交通省土木研究所共同研究「既設基礎の耐震補強技術の開発」の平成12年度における活動の一環として行われたものである。