

地盤改良体を用いた杭基礎構造物の地震時変位抑制に関する実験的検討

東日本旅客鉄道 正会員 ○池本 宏文 フェロー会員 高崎 秀明

1. はじめに

鉄道では、地震時における列車走行安全性の向上が求められており、地震動の規模に応じて変位抑制の対策を検討していく必要がある。杭基礎構造物における地震時の変位抑制対策の一つとして、杭の外周に地盤改良体を構築し、水平抵抗力を向上させる構造¹⁾²⁾が提案されている。これまでに、提案構造について静的水平載荷実験が行われ、変位抑制効果についての研究が進められている。そこで、本研究では地震時の地盤変位を有する場合における提案構造の変位抑制効果を確認するため、せん断土槽を用いた重力場での振動台実験を行ったことから、その内容について報告する。

表1 実験ケース

	内容	順序	橋脚高さ	桁(重錘)
Case1	無対策	①	300mm	4枚(0.8kN)
		②		8枚(1.6kN)
		③	600mm	4枚(0.8kN)
		④		8枚(1.6kN)
Case2	地盤改良併用構造	①	300mm	4枚(0.8kN)
		②	300mm	8枚(1.6kN)
		③		4枚(0.8kN)
		④	600mm	8枚(1.6kN)

2. 実験方法

2.1 模型概要 振動台実験のケースを表1に、模型概要を図1に示す。Case1は無対策、Case2は杭の外周に地盤改良体を構築したケースである。模型縮尺は1/20として、実構造物に桁式橋脚、ラーメン高架橋(高さ6m, 12m)を想定し、相似則³⁾を考慮して模型の諸元を決定した。杭は実構造物に杭長25mの場所打ちコンクリート杭φ1500mm程度を想定し、相似則を適用して実構造物と曲げ剛性、 βL (β :杭の特性値、 L :杭長[$\beta L=3.4$ 程度])を概ね一致させた。また、杭先端は、支持層に十分根入れされているとして、ユニバーサルジョイントを用いたヒンジ結合とした。地盤改良体は、杭の外周にφ200mmの貧配合モルタル(一軸圧縮強度 $q_u=0.6\text{N/mm}^2$)を打設し、 $1/\beta=370\text{mm}$ の範囲を満足するように改良深さを395mmとした。桁慣性力は重錘(1枚0.2kN)を設置することで模擬し、実構造物に桁長10m(重錘4枚)、20mのコンクリート桁(重錘8枚)を想定した。模型地盤は、気乾状態の東北硅砂6号を用いて相対密度 $D_r=80\%$ と設定し、空中落下法により構築した。模型地盤の固有振動数は17Hz程度である。計測機器は、図1に示す位置に加速度計、変位計、ひずみゲージを設置した。模型躯体上部の水平変位量は、振動台を基準(杭先端をゼロ)とした変位量で評価した。また、加振方向は図中の左方向をプラスとした。

2.2 加振条件 入力波形は、鉄道の耐震設計で用いられるL1地震動⁴⁾(最大加速度137gal)を相似則³⁾にしたがって時間軸圧縮したものを用いて、最大加速度を137gal, 500gal, 800galになるように振幅調整したものを用いた。加振は表1の①～④の順序で行い、L1地震動の最大加速度を変えた3波を入力した。本稿では、最大加速度800galの結果について記述する。

3. 実験結果

図2は、橋脚における高さH300mm・重錘4枚(以下、加振①とする)、および高さH600mm・重錘8枚(以下、加振②とする)における加振時の上部加速度と上部水平変位の関係を示したものである。加振①ではマイナス側の最大変位(最小値)は、Case1よりCase2が小さくなっており、変位抑制効果が確認できるがプラス

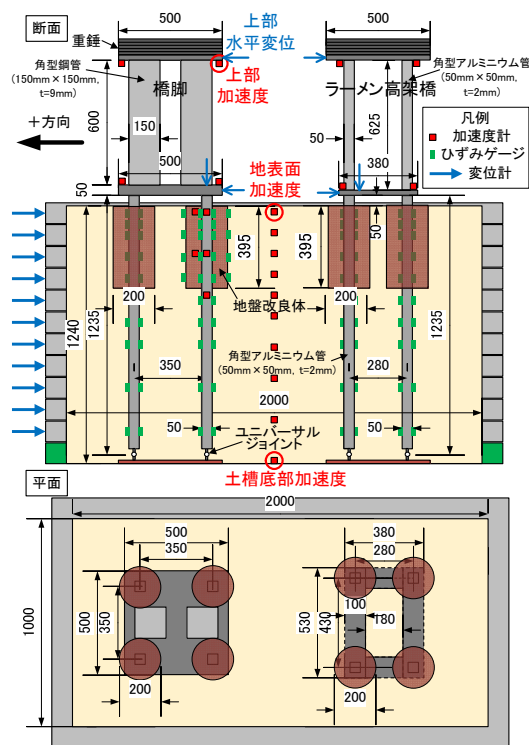


図1 模型概要図

キーワード 杭基礎, 地盤改良, 振動台実験

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地 JR東日本研究開発センター TEL048-651-2552

側の最大変位（最大値）では Case2 のほうが大きくなる傾向にある．それに対して，加振②では Case1 よりも Case2 のほうが上部水平変位は小さくなっており，地盤改良体による変位抑制効果が発揮されている．図 3 は，変位抑制効果を比較するために，縦軸に Case1 と Case2 における最大・最小の応答変位量の比（変位比）をとり，横軸に Case1 の各加振における橋脚の固有振動数（土槽底部と上部加速度間の伝達関数のピーク値を固有振動数として評価）で整理したものである．橋脚，および高架橋ともに固有振動数が小さくなるほど，変位発生比率が小さくなる傾向を示している．変位抑制が 2 割程度（変位比 0.8）の点もあるものの，地盤の固有振動数である 17Hz 付近では変位比は 1.0 を上回る傾向が確認できる．

図 4 は，加振①において，変位抑制効果が働かなかった上部変位のプラス側の最大変位時，および加振②において変位抑制効果の大きい，プラス側最大変位時における，引抜き側の杭の曲げモーメント分布（ひずみゲージの計測値）を示したものである．加振①では，杭頭部では Case2 のほうが大きく，中間部では Case1，2 とともに概ね同程度の分布となっている．それに対して，加振②では，杭頭部，中間部ともに Case2 のほうが小さくなっている．加振②において曲げモーメントが小さくなるのは，既往の研究²⁾と同様の傾向であり，地盤改良体により水平抵抗力が増加しているものと考えられる．それに対して加振①において，Case2 で曲げモーメントが小さくならなかったのは，杭よりも幅の広い地盤改良体に地盤変位が作用力として働いたために，杭頭の曲げモーメントは低減せず，中間部において曲げモーメントの増加につながったものと考えられる．その結果，改良体より地盤変位抑制効果が発揮されなかったものと考えられる．

4. まとめ

本研究では，以下の知見が得られた．

- ・ 構造物の固有振動数によっては，地盤改良体による水平抵抗力の増加により杭体の発生断面力が低減され，変位抑制効果が発揮される場合と，発揮されない場合がある．
- ・ 本実験の条件では，構造物の固有振動数が地盤固有振動数付近では，変位抑制効果が発揮されなかった．

参考文献 1)佐名川ら：地盤改良併用杭基礎の水平抵抗特性に関する模型実験と解析，第 45 回地盤工学研究発表会，pp.1195～1196，2010． 2)佐名川ら：地盤改良併用杭基礎構造に関する改良体損傷後の水平抵抗特性，第 46 回地盤工学研究発表会，pp.1269～1270，2011． 3) Iai：SIMILITUDE FOR SHAKING TABLE TESTS ON SOIL-STRUCTURE-FLUID MODEL IN 1G GRAVITATIONAL FIELD, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.29, No.1, pp105～118, 1989． 4)公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，2012．

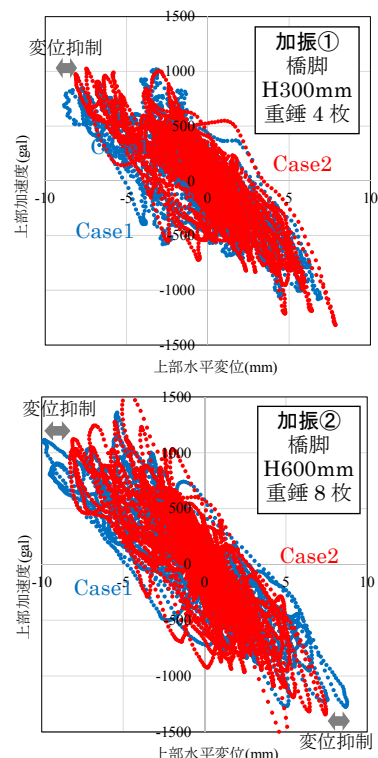


図 2 加速度変位関係

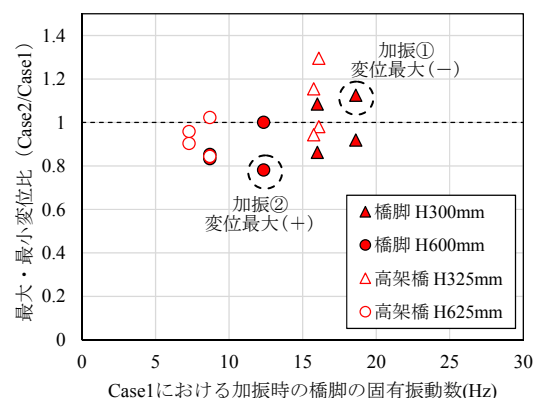


図 3 Case1・2 の最大・最小変位比

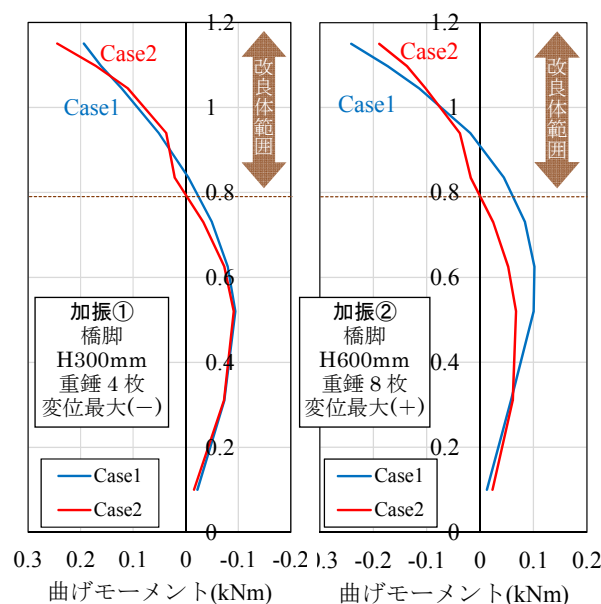


図 4 曲げモーメント分布（引抜き側）