

摩擦接合による増し杭補強を用いた新幹線高架橋の応答加速度抑制に関する実験的検討

東日本旅客鉄道株式会社

正会員 ○野本 将太 正会員 阿部 慶太
フェロー会員 高崎 秀明 正会員 池本 宏文

1. はじめに

新潟県中越地震、東北地方太平洋沖地震において新幹線の脱線被害が発生しており、新幹線沿線全体での列車走行安全性の向上を考えると、軌道面に発生する不同変位の抑制が有効となる。不同変位の抑制方法は、上部工での対策が難しい軟弱地盤の場合、基礎の補強が有効と考えられる。基礎補強の一つとして増し杭補強が挙げられるが、全体の剛性が高まることで新幹線車両に入力される応答加速度が増大し、列車走行安全性が低下する可能性がある。そこで、増し杭補強時に増大する応答加速度を抑制させる工法として、摩擦材による増し杭の接合方法（以下、摩擦接合）を検討した。本研究では、摩擦接合による増し杭補強における、高架橋天端の応答加速度の抑制効果を確認するため、1/20の縮尺模型を用いた1G場での振動台実験を実施した。

2. 実験方法

表1に試験ケース、図1に模型概要を示した。試験ケースは、増し杭の形状により分けており、Case1が直杭、Case2が斜杭(5°)とし、各Caseで既設フーチングと増しフーチングとの接合方法を変更した。

「分離」は、既設フーチングと増しフーチングに遊間を設けることで、無体策状態での実験を模擬した。「固定」は、既設フーチングと増しフーチングをボルトにて固定し、通常増し杭補強を模擬した。

今回導入する摩擦接合は、「摩擦」として、摩擦力のみで増しフーチングを結合した状態を模擬した。接合面にズレが発生することで、摩擦損失が発生し、既設高架橋の応答加速度の減衰を期待する。図1の平面図に示した接合面に、摩擦材を貼り付け、摩擦接合ロットにより締め付けた。摩擦接合ロットに荷重計を設置し、導入される摩擦力を管理した。摩擦材は、一様な摩擦力が期待でき、摩擦力を調整しやすいよう動摩擦係数が0.4と小さい材料を選定した。摩擦力の影響を調べるため、摩擦力を変化させたケースを、3ケース設定した。

模型の縮尺は、1/20に設定した。実構造物に鉄道の桁式橋脚を想定し、Iaiが提案する相似則を考慮して模型の諸元を決定した。模型杭は、相似則を適用して実構造

表1 試験ケース一覧

	増し杭	接合方法	摩擦力	入力波形
Case1-1	直杭	分離	—	L1地震動 ¹⁾ 137Gal (相似則に伴い時間圧縮)
2		摩擦	0.24kN	
3			0.40kN	
4			0.80kN	
5		固定	—	
Case2-1	斜杭(5°)	分離	—	基礎面(G1地盤)より入力
2		摩擦	0.24kN	
3			0.40kN	
4			0.80kN	
5		固定	—	

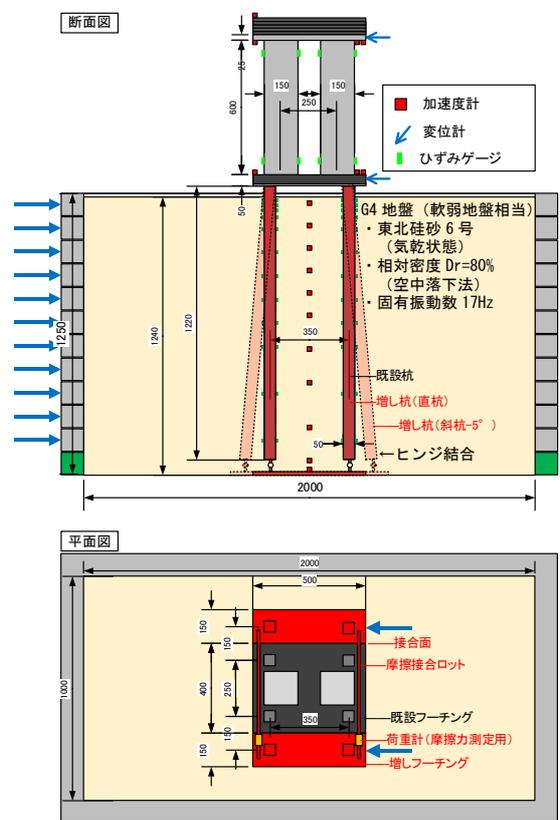


図1 模型概要

物と曲げ剛性、 βL (β : 杭の特性値, L : 杭長 [$\beta L=3.4$ 程度]) が概ね一致するように、角型アルミニウム管 (□50mm×50mm, $t=2$ mm) を用いた。また、杭先端は、ヒンジ結合とした。

増し杭は、諸元を既設高架橋の杭と同様とし、既設杭と同じ本数設置した。鉄道構造物では線路脇の用地が確保できないことが多いため、増し杭および増しフーチングの設置位置は、線路方向に設定した。

入力波形には、L1地震動(G1地盤)を用いた。⁽¹⁾

キーワード 杭基礎, 基礎補強, 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

3. 実験結果

今回は、加振時に高架橋天端に作用する応答加速度が新幹線車両に入力されると仮定して結果を整理した。

図2に、直杭のケースにおける、高架橋天端の水平方向の加速度スペクトルを示した。また、図示した固有周波数は、杭先端部からの伝達関数より求めた。増し杭補強を行うことで、高架橋天端の加速度スペクトルは、高周波数側へ変化した。「摩擦」は、「固定」と比較してスペクトルの形状は類似しており、概ね15Hz以上で加速度振幅を抑えられる結果となった。

導入する摩擦力による影響を比較するため、加速度スペクトル振幅を5Hz毎に積分した。図3・4に、それぞれ増し杭が直杭・斜杭のケースを示す。加速度振幅積分値は、導入される摩擦力に比例して上昇する傾向を示した。「摩擦」は、固有周波数を含む範囲では「固定」より大きい値を示した。しかし、その他の周波数帯では、「固定」と比較して加速と振幅積分値が抑えられている。斜杭のケースでは、10~25Hzにおいて、「摩擦」が「分離」と同等まで加速度振幅積分値が抑えられている。摩擦接合による減衰は、増し杭に斜杭(既設杭と異なる形状)を用いたほうが、効果が高いと考えられる。

また、宮本ら²⁾の実験より、車両に対する加振周波数が1~2Hzのとき、脱線リスクが高くなることが分かっている。本研究の相似則を適用すると概ね10~20Hzとなり、「摩擦」において加速度振幅を顕著に抑制した周波数帯と一致する。摩擦接合を用いることで、通常増し杭補強よりも、高架橋天端の応答加速度を抑制し、列車走行安全性に与える影響を低減することができる。

図5に、L1地震動による固有周期と、加速度スペクトルの全周波数帯の積分値を示した。「摩擦」での加速度振幅積分値は、摩擦力に比例して上昇するが、「固定」と比較して小さくなる傾向を示した。特に、増し杭が斜杭のケースについては、摩擦力が0.24kN, 0.4kNの結果において、「分離」よりも加速度振幅積分値を小さく抑えることができた。また、「摩擦」での固有周期は、「固定」と「分離」の間に分布した。

4. まとめ

本研究では、摩擦接合を用いた増し杭補強について、以下の知見が得られた。

- ・通常の増し杭補強と比較し、高架橋天端の応答加速度を抑制し、列車走行安全性に与える影響を低減することができる。

- ・摩擦接合の減衰効果は、斜杭のように既設杭と異なる形状の増し杭を用いることで、高めることができる。

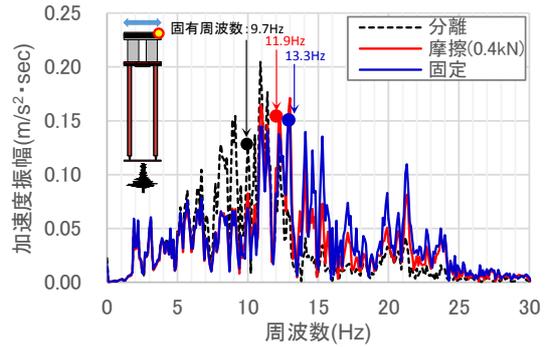


図2 高架橋天端の加速度スペクトル(直杭)

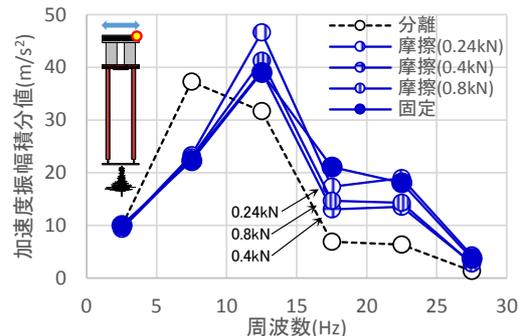


図3 5Hz毎に積分した加速度スペクトル(直杭)

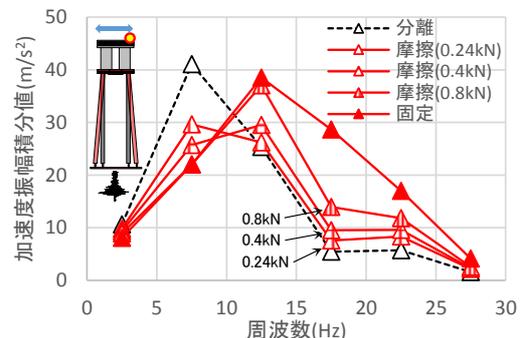


図4 5Hz毎に積分した加速度スペクトル(斜杭)

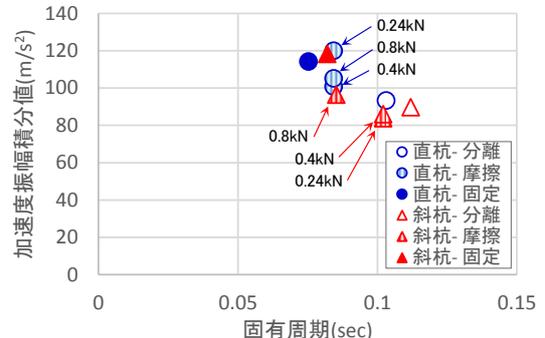


図5 加速度スペクトルの全積分値と固有周期

参考文献

1) 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. 2) 宮本ら：大変位軌道振動による実物大鉄道車両の加振実験，日本機械学会論文集（C編），Vol.71，No.706，pp.1849-1855，2005.6