

斜杭基礎の制振効果に関する柱非線形模型による振動実験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松浦 光佑 飯塚 貴洋 西岡 英俊
鉄道建設・運輸施設設備支援機構 正会員 森野 達也 陶山 雄介 岡 康博
レールウェイエンジニアリング 正会員 青木 一二三

1. 目的

これまで斜杭基礎高架橋の制振効果には静的な剛性上昇の効果に加えて、動的な応答が抑制される制振効果があることが実証されている¹⁾。しかし、これらの制振効果は柱が線形の条件において得られた結果であり、柱が非線形化した状態における制振効果については明らかにされていない。そこで本実験では、柱の上下端に鉄筋を配置したモルタルで塑性ヒンジを設けた直杭および斜杭（傾斜角 5 度）を有する高架橋模型（約 1/10 スケール）の振動実験を実施し、さらに非線形スペクトル法の適用性について検討した。

2. 模型概要

振動実験は鉄道総合技術研究所の所有するせん断土層および大型振動試験装置を用いて実施した。本稿で取り扱う模型は文献 1) の柱が塑性化しない 2 柱式ラーメン高架橋と、柱の上下端に鉄筋モルタル部材で塑性ヒンジを設けて非線形化する高架橋を模擬した模型を対象とした（図 1）。塑性ヒンジの詳細図を図 2 に示す。入力地震動は、鉄道構造物用の設計地震動²⁾（L1 地震動および L2 地震動スペクトルⅡ）とホワイトノイズ（WN），正弦波 2Hz の天端応答加速度が徐々に大きくなるように加振した。各ケースのホワイトノイズ 50gal 加振時の模型の固有振動数を表 1 に示す。塑性ヒンジの仕様は事前に実施した静的載荷試験結果と大型振動試験装置の加振性能を考慮して天端応答 600gal 程度で塑性化するように設計した。なお、実験の詳細については文献 1), 3) を参照されたい。

3. 水平震度～天端応答変位関係

各ケースの静的な水平震度天端応答変位関係の比較として、水平震度と天端地表面相対変位の関係を図 3 に示す。図中の各プロットの縦軸は各加振段階ごとの天端の応答加速度の最大値（片振幅）を重力加速度で除した値であり、横軸は天端の地表面に対する相対変位の最大値（片振幅）である。また図中には、ホワイトノイズ 50gal 時の固有振動数から逆算した初期剛性を直線で併記した。全ケースともホワイトノイズ 50gal 加振時の固有振動数から求めた剛性がほぼ初期剛性に相当している。塑性ヒンジを設けた CASE5, CASE6 はいずれも明確な折れ曲がり点が生じて降伏震度 $k_{hy}=0.6$ 程度で天端応答が頭打ちとなっていることがわかる。よって、以下では、各模型の荷重変位関係が、ホワイトノイズ 50gal 加振時の固有振動数から求めた剛性を初期勾配として降伏震度 $k_{hy}=0.6$ で塑性化する弾完全塑性のバイリニア型モデルでモデル化できるものとして考察を行う。

図 4 に斜杭化による動的な制振効果を示す。応答変位については、仮に動的な制振効果が無く、振動数依存性や非線形化の程度の差も無視すれば、静的な剛性上昇効果による初期剛性の比の逆数と一致すると考えられ

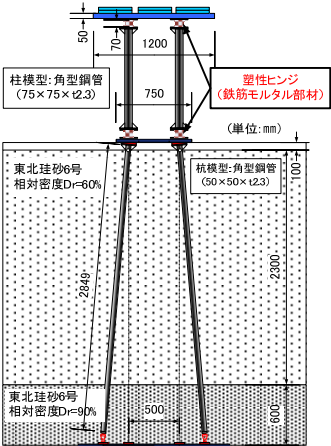


図 1 斜杭模型概要

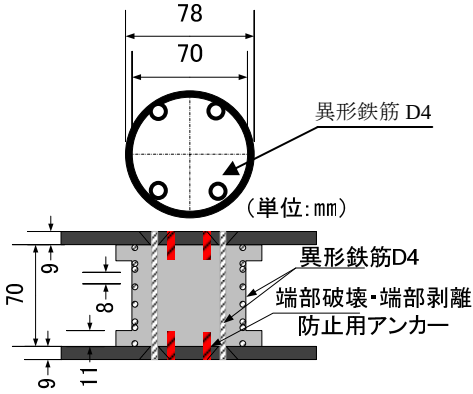


図 2 塑性ヒンジの詳細図

表 1 模型の固有振動数

ケース名	構造物	地盤
CASE1（直杭・線形）	5.6Hz	8.7 Hz
CASE3（斜杭・線形）	6.5 Hz	8.6 Hz
CASE5（直杭・非線形）	4.2 Hz	8.7 Hz
CASE6（斜杭・非線形）	4.5 Hz	8.3 Hz

キーワード 斜杭, 高架橋, 制振効果, 非線形, 振動実験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造

る。動的な制振効果は天端地表面相対変位の低減率（斜杭/直杭）をさらに静的な剛性上昇効果（線形ケース 0.74，非線形ケース 0.87）で除した値とした。斜杭化による動的な制振効果は線形ケースでは 0.6～0.8 と小さくなっており，非線形ケースにおいても加速度が小さい場合を除き，同程度の効果が見られた。よって，非線形化した状態であっても応答変位の動的な制振効果が期待できることが確認でき，特に入力加速度が大きくなるほど動的な制振効果が大きくなる傾向にあることがわかる。

4. 非線形スペクトル法の適用性

耐震標準で用いられている非線形スペクトル法は，同じ降伏震度であっても構造物の固有周期が異なれば所要降伏震度スペクトルから異なる応答塑性率が求まる。ここではこの非線形スペクトル法の適用性について検討する。L2 地震動の基盤 800gal 入力時は，振幅調整前の設計地震動（基盤波＝G1 地盤）の最大加速度（749.6gal）とほぼ同一であることから，耐震標準（平成 11 年版）に示される所要降伏震度スペクトルとの比較を行う。各ケースの降伏震度（ $k_{hy}=0.6$ ）と実構造物換算の固有周期から読み取った応答塑性率を振動実験の実測値と比較した結果を表 2 に示す。なお，所要降伏震度スペクトルは上部構造物（RC，SRC）を用い，その地盤種別は，Case5，Case6 での実物換算した地盤の固有周期に応じて G4 地盤とした。実験で得られた応答塑性率と，非線形スペクトル法による応答塑性率を比較すると，斜杭については両者の差が大きくなっており，非線形スペクトル法が過大評価となっていることがわかる。その比率は 0.7 倍程度となっており，図 4 の動的な制振効果とほぼ一致している。すなわち，斜杭基礎の静的な剛性上昇効果を考慮して非線形スペクトル法を適用しても，動的な制振効果までを評価することはできず，斜杭基礎に非線形スペクトル法を適用する際には，別途動的な制振効果分を低減する必要があることが確認できた。

なお，斜杭基礎の動的な制振効果分を低減する非線形スペクトル法で低減する方法については，別報⁴⁾にて検討しているので参照されたい。

表 2 所要降伏震度スペクトルから求まる応答塑性率

ケース名	構造条件	所要降伏震度スペクトル (L2 地震動スペクトルⅡ 749.6gal)			加振実験結果 (L2_800gal)	
		等価固有周期 (実物換算)	降伏震度	応答塑性率 a	応答 b	b/a
Case5	直杭	1.33s	0.6	1.91	2.19	115%
Case6	斜杭	1.25s	0.6	2.10	1.49	70%

参考文献 1) 森野達也，米澤豊司，石井秀和，青木一二三，西岡英俊，佐名川太亮，飯塚貴洋，室野剛隆：斜杭基礎の制振効果に関する模型振動実験，第 67 回土木学会年次学術講演会，2012 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，1999.10 3) 飯塚貴洋，松浦光佑，西岡英俊，森野達也，陶山雄介，岡康博，青木一二三：柱の非線形化を考慮した斜杭高架橋の制振効果，第 48 回地盤工学研究発表会，2013（投稿中） 4) 仲秋秀祐，本山紘希，室野剛隆，西岡英俊，森野達也，陶山雄介，青木一二三：斜杭基礎の動的な制振効果を考慮した構造物の応答評価に関する初期的検討，第 48 回地盤工学研究発表会，2013（投稿中）

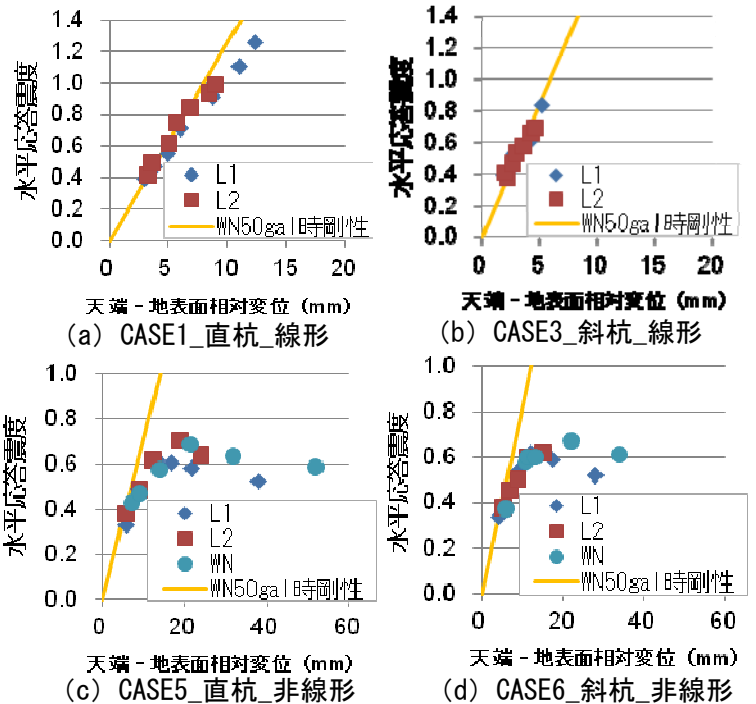


図 3 水平震度～天端地表面相対変位関係

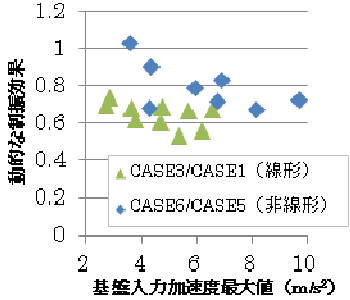


図 4 天端地表面相対変位の低減率