

杭基礎一体型鋼管集成橋脚の更なる実橋適用に向けて～基礎部設計パラメータに関する検討～

阪神高速道路株式会社 正会員 ○曾我 恭匡 非会員 岡上 政史
 一般財団法人阪神高速先進技術研究所 正会員 服部 匡洋
 大日本コンサルタント株式会社 正会員 佐々木 達生 正会員 吉澤 努
 北海道大学大学院 正会員 磯部 公一

1. はじめに 鋼管集成橋脚とは、複数本の鋼管柱を橋軸方向および橋軸直角方向に履歴型ダンパー機能を有するせん断パネルによりひとつの柱とした橋脚である(写真-1)。本橋脚の基礎を合理化した杭基礎一体型鋼管集成橋脚に対して、実構造物の 1/20 縮小模型を用いた振動台実験を行い、剛体フーチングに代わる合理的な拘束地中梁による変形特性の利点など耐震性能を評価している¹⁾。杭基礎一体型鋼管集成橋脚を新規路線事業、改築・更新事業などにおいて、構造形式の選択肢のひとつとして取り入れていけるよう、汎用性を高めていく必要がある。しかし、杭基礎一体型鋼管集成橋脚には、橋脚と基礎を接続するマッシブなフーチングが存在しないことから、上部構造－橋脚－基礎構造の挙動を既存の設計手法で適切に評価することが困難であり、フーチングを省略した基礎の適切な減衰の評価など、汎用化するためには設計上の課題が残っている。

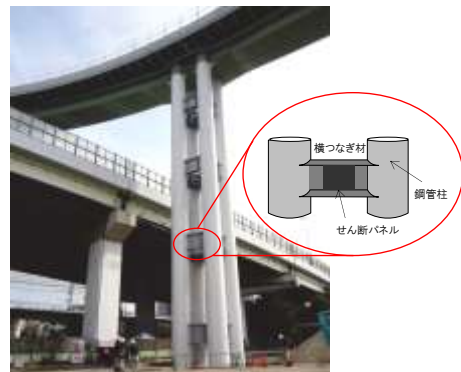


写真-1 実用化された鋼管集成橋脚

2. 再現解析によるモデルの同定 杭基礎一体型鋼管集成橋脚の地震時挙動を精緻に評価するためには、3次元弾塑性有限要素解析を用いて設計することも考えられるが、汎用化の観点から実務設計では橋脚全体をフレームモデルで構築することが望まれる。そこで、フレームモデルによる設計モデルの構築を目的として、過去に実施した振動台実験を対象に、杭基礎一体型鋼管集成橋脚の2次元フレームモデルを用いた再現解析を実施し、地盤の抵抗特性や減衰定数などをパラメータとしたケーススタディを行う。

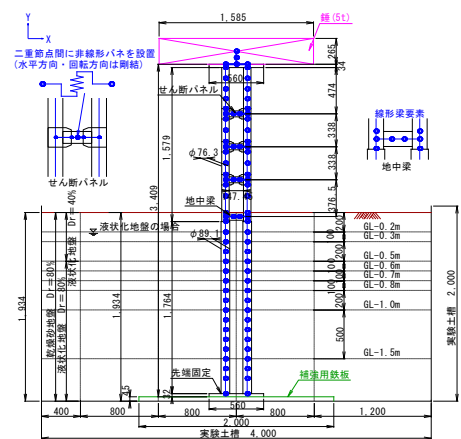


図-1 解析モデルの概要

(1)解析モデル：解析モデルの概要を図-1に示す。杭基礎一体型鋼管集成橋脚のモデル化は、振動台実験で用いた供試体を模擬し、弾性範囲で挙動する橋脚、杭、横つなぎ材、地中梁は線形梁要素として、はりモデルを用いた。また、塑性化するせん断パネルは、1軸ばねモデルとして二重節点間にせん断方向の非線形ばねを設置し、図-2のようなバイリニア移動硬化則とし、降伏剛性はひずみ硬化などを評価してG/100とした。各部位の解析パラメータを表-1に示す。杭および周辺地盤モデルは、実務設計に落とし込むために簡易な「はりーばね」とし、地盤は振動台実験で用いた砂質土の情報を基本に設定し、土質条件を表-2に示すとおりとした。

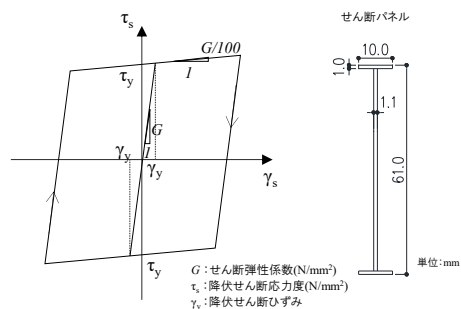


図-2 せん断パネルの材料構成則

表-1 解析パラメータ

モデル形式	部位	断面剛性 (kN)	せん断剛性 (kN)	曲げ剛性 (kN/m ²)
線形梁	橋脚	1.3×10 ⁵	1.3×10 ⁵	87
	杭	1.5×10 ⁵	1.5×10 ⁵	140
	地中梁	2.8×10 ⁴	9.5×10 ³	17
非線形ばね	せん断パネル	1.7×10 ⁴	5.2×10 ³	7.4

表-2 土質条件

地盤	土質条件				
	層厚(m)	平均N値	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (°)	せん断弾性波速度 V _{SD} (m/s)
砂質土	0.500	1	16	41	220
	0.500	11	16	41	235
	0.500	18	16	41	250
	0.389	27	16	41	250

キーワード 鋼管集成橋脚, フーチングレス, 杭基礎, 地盤ばね, 等価減衰定数

連絡先 〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-4 TEL 06-6203-8888

(2)検討ケース：本検討における，解析ケースごとの検討パラメータを表-3に示す．検討項目は①加速度および変位波形と最大・最小応答値，②杭の曲げモーメント分布と変位分布，③卓越周期，④対数減衰率とし，それぞれ実験結果と解析ケースの比較を行う．なお，ここではすべて乾燥地盤のケースを示す．

3. 解析結果と考察 (1)地盤抵抗特性値について：地盤抵抗ばねのばね定数を静的変形係数 E_0 から求めた Case1 と動的変形係数 E_d から求めた Case2 を実験結果と比較し，ばね定数の設定方法を検討した．図-3の橋脚天端での応答加速度の時刻歴波形より，時刻 13 秒までの区間では実験と解析の差異が小さく，解析により実験結果が概ね良好に再現されている．橋脚天端の加速度波形について，時刻 13~20 秒の自由振動区間に対して算出したフーリエスペクトルを図-4に示す．ピークとなる周期は Case1 で 0.569 秒，Case2 で 0.518 秒と実験結果 0.594 秒に対する比はそれぞれ 96%と 87%である．固有値解析で求めた解析モデルの1次の固有周期は 0.563 秒と Case1 の方が Case2 より一致している．

(2)周辺地盤モデルについて：Case1 に対して，ペンゼンモデルを適用した Case3 と実験結果を比較し，周辺地盤モデルについて検討した．図-5は橋脚天端最大変位時の曲げモーメントと変位分布であり，Case1 と Case3 の両者に明瞭な差異は認められない．設計の実務の上では簡易な「はりばねモデル」による解析で最大応答値を精度よく評価できると考えられる．

(3)地盤の等価減衰定数の設定について：地盤ばねを，履歴減衰を考慮しない非線形弾性とし，代わりにばね要素に減衰定数を 10%，20%，30%と設定し，それぞれ Case4-1, 4-2, 4-3 とし Case1 と比較して地盤ばねに設定する減衰定数について検討した．時刻 13~20 秒の区間における自由振動区間の波形から，橋脚天端の加速度波形を用いて以下の式で対数減衰率 δ を求め，各ケース間で比較を行った．

$$\delta = \ln(a_n/a_{n+1}) \quad (\delta : \text{対数減衰率}, a_n : n \text{ 番目の波の振幅})$$

波のサイクルごとの対数減衰率と平均値を図-6に示す．Case1 と Case4-1 は減衰を過小評価しており，Case4-2 が実験結果に近い．また，Case4-3 では減衰を過大評価している．

4. まとめ 杭基礎一体型鋼管集成橋脚に関して，限られた実験結果との比較ではあるが，以上の検討結果を総合的に判断し，杭基礎一体型鋼管集成橋脚の実務レベルにおける設計モデルとして，表-4に示すパラメータを提案する．

<参考文献>

- 1) 金治ら：履歴型ダンパー付鋼管集成橋脚の損傷制御構造に関する基礎的研究，構造工学論文集，(公社)土木学会，Vol. 50A, pp. 559-566, 2004.
- 2) 磯部ら：振動台模型実験による杭基礎一体型鋼管集成橋脚の耐震性能評価，土木学会論文集 C (地圏工学)，Vol. 72, No. 4, pp. 327-338, 2016.

表-3 検討パラメータ

	Case1	Case2	Case3	Case4
地盤抵抗特性値	静的 E_0	動的 E_d	双曲線モデル	静的 E_0
周辺地盤モデル	はりばね		ペンゼンモデル	はりばね
地盤ばね履歴特性	履歴ループ			非線形弾性
地盤ばね減衰定数	0%			10%, 20%, 30%
減衰モデル	Rayleigh減衰			

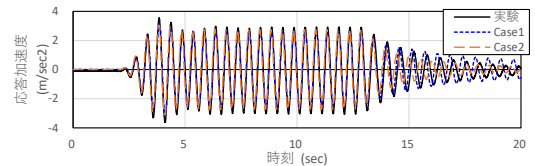


図-3 実験・解析による加速度波形 (橋脚天端)

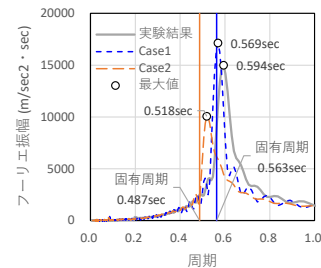


図-4 自由振動区間 (時刻 13~20 秒) のフーリエスペクトル(Case1・Case2)

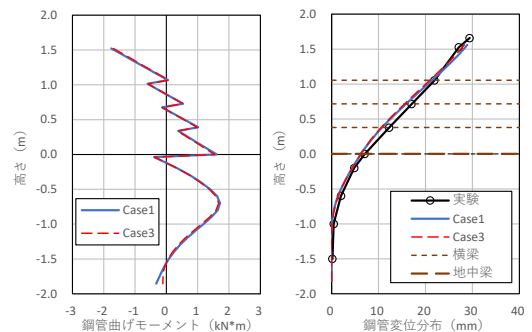


図-5 鋼管曲げモーメント分布と鋼管変位分布 (Case1・Case3)

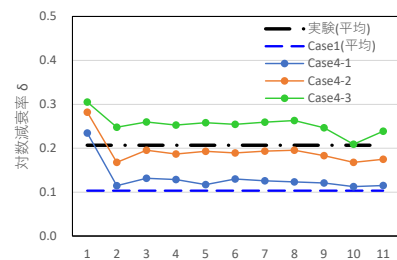


図-6 減衰振動の波形から算出した対数減衰率 (実験結果, Case1, Case4)

表-4 提案パラメータ

地盤抵抗特性値	静的変形係数 E_0
入力地震動	地表面波
周辺地盤モデル	はりばね
地盤ばね履歴特性	非線形弾性
地盤ばね減衰定数(%)	20%
減衰モデル	Rayleigh減衰