

超過外力に対する杭基礎一体型鋼管集成橋脚の耐震性評価

阪神高速道路株式会社 正会員 ○篠原 聖二
正会員 小坂 崇
正会員 金治 英貞

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で連結した構造を有する橋脚¹⁾である。阪神高速道路が2002年から開発を開始した鋼管集成橋脚は、既に阪神高速道路の海老江JCT²⁾や西船場JCT³⁾で採用され、従来の橋脚に比べて耐震性を向上させながら、経済性や施工性の向上についても実現している。海老江JCTや西船場JCTでは多径間連続橋を構成する複数の橋脚うちの一部に鋼管集成橋脚を適用したが、多径間連続橋のすべての橋脚に鋼管集成橋脚を適用した場合、設計上の自由度が高まり、構造の最適化によるさらなる耐震性の向上が期待される。

そこで本検討では、鋼管集成橋脚を適用した連続高架橋の耐震性を評価するために、橋脚を RC 橋脚、鋼製橋脚、杭基礎一体型鋼管集成橋脚にした 3 ケースの鋼 5 径間連続橋を対象に、道路橋示方書（以下、道示）のレベル 2 地震動に加え、レベル 2 地震動を上回る超過外力に対して、各構造案の耐震性を評価した。

2. 検討条件

(1) 設計条件

一定の設計条件の下、RC橋脚案（第1案）、鋼製橋脚案（第2案）、鋼管集成橋脚案（第3案）における橋梁の設計を行った。各案の構造諸元を表-1に示す。橋梁形式は鋼5径間連続合成細幅箱桁橋、橋長は300m、支間長は5@60mとした。床版は阪神高速道路(株)らが共同で研究開発した、鋼床版と同等の重量でありながら、耐久性に優れた超高強度繊維補強コンクリート床版⁴⁾（UFC床版）を採用した。

支承条件については、RC橋脚と鋼製橋脚については多点固定、鋼管集成橋脚については剛結構造とした。ただし、鋼管集成橋脚案の両端支点については、弾性支承を設けた。

地盤条件を表-2に示す。対象とした地盤は、III種地盤に該当し、表層14.6mの埋土層は液状化が生じると判定される土層のため、地盤反力係数の低減係数 DE を考慮した。基礎構造は、RC 橋脚と鋼製橋脚については、フーチングを有する鋼管ソイルセメント杭とし、鋼管集成橋脚では、フーチングを省略した杭基礎一体型鋼管集成橋脚を採用した。杭本数については、RC 橋脚案では 24 本、鋼製橋脚案では 12 本、杭基礎一体

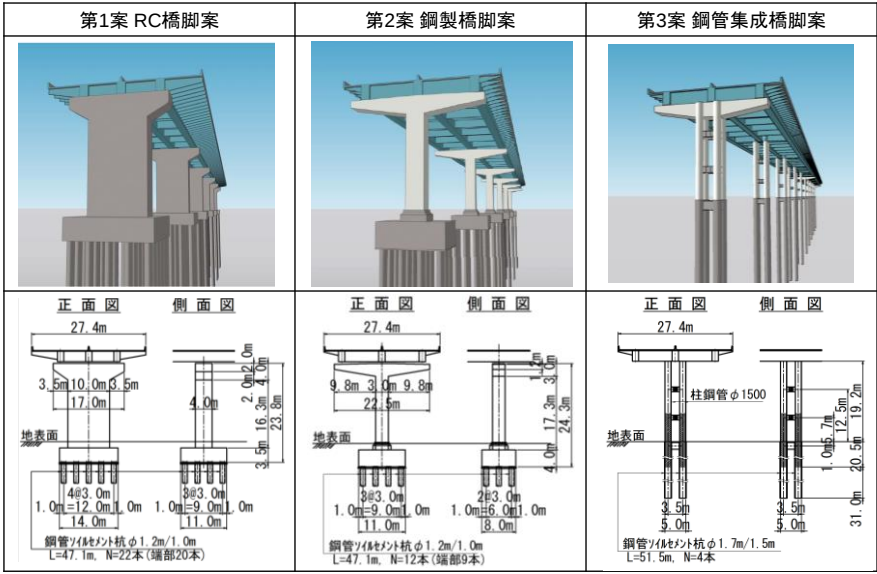
表-1 構造諸元

条件	項目	単位	第1案 RC橋脚案	第2案 鋼製橋脚案	第3案 鋼管集成橋脚案
橋梁条件	形式	—	鋼5径間連続合成細幅箱桁橋		
	橋長	—	300m (5@60m)		
	幅員	—	27.4m (6車線)		
上部構造	床版	—	超高強度繊維補強コンクリート(UFC)床版		
	支承条件	—	固定	固定	剛結
	橋脚	—	RC橋脚	鋼製橋脚	鋼管集成橋脚
下部構造	コンクリート σ_{ck}	N/mm ²	24	—	30(充填Co)
	鋼材	—	SD345	SM570	SM570
基礎構造	フーチング	—	フーチング	フーチング	—
	杭種類	—	鋼管ソイルセメント杭		
	杭本数	本	24	12	4
	杭径	mm	1200	1200	1700
	鋼管径	mm	1000	1000	1500

表-2 地盤条件

地層名	記号	層厚 (m)	N値 (回)	単位体積重量 (kN/m ³)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	変形係数 (kN/m ²)	液状化低減係数	L1	L2
埋土層	B	14.6	7	21	0	38	19600	2/3	—	—
粘性土層	Ac	15	5	16	66	0	14000	—	—	—
砂質土・粘性土互層	Asc	5.5	8	17	0	29	22400	—	—	—
上部洪積互層	Dsgc	14.6	32	20	0	32	89600	—	—	—

表-3 各検討案の構造図 (単位:mm)



キーワード 鋼管集成橋脚, RC 橋脚, 鋼製橋脚, 耐震性能, 地震応答特性, 鋼 5 径間連続合成細幅箱桁橋, 超過外力
連絡先〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3 阪神高速道路(株) 技術部 TEL06-6252-4583

型鋼管集成橋脚では4本で設計が成立した。常時、レベル1地震動、レベル2地震動に対する一連の設計を行った3案の構造図を表-3に示す。

(2) 解析条件

上部構造は3本の主桁を線形はり要素で、橋脚はRC橋脚及び鋼製橋脚はM- ϕ 要素で、鋼管集成橋脚は材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮できるファイバー要素でモデル化した。3案のうち、RC橋脚と鋼製橋脚は橋軸方向、橋軸直角方向をそれぞれ2次元モデルで、鋼管集成橋脚は3次元モデルで構築した。

3. 地震応答特性の評価

レベル2地震動に対して許容値を満足するように設計した各橋脚の荷重-変位関係を図-1と図-2に示す。RC橋脚は変形

能に乏しいため、許容値を満足させるために耐力を上げる必要が生じた。鋼製橋脚や鋼管集成橋脚は変形能に優れており、RC橋脚のように耐力を上げなくても、許容値内に収まることが示された。なお、鋼管集成橋脚の鋼管柱の許容値は、文献2)に準じ、構造弾性範囲の $2\varepsilon_y$ とした。次に3案の地震応答特性を評価するために時刻歴応答解析を実施した。入力する地震動は道示のレベル2地震動(タイプII)に加え、同地震動の加速度を150%入力した超過外力地震動を橋軸方向と橋軸直角方向のそれぞれに入力した。

図-1と図-2の橋脚の荷重-変位関係上に、レベル2地震動(L2)、超過外力地震動(L2ex)を作用させた場合の応答値をプロットしたものを示す。RC橋脚案では、橋軸方向に超過外力を入力した場合に許容値を超過したが、橋軸直角方向については、超過外力を入力しても許容値に収まる結果となった。これは、橋軸直角方向の橋脚耐力が大きいと考えられる。鋼製橋脚案では、橋軸方向、橋軸直角方向いずれの方向においても、許容値内に収まったが、耐震性能3の許容値に対する余裕度は小さいことが示された。一方、鋼管集成橋脚案では、レベル2地震動に対して、橋軸方向、橋軸直角方向ともに道示の耐震性能2よりも高い性能に相当する耐震性能IIaに相当する許容ひずみ $2\varepsilon_y$ 以内に収まっている。さらに超過外力に対しても、橋軸方向では道示の耐震性能2に相当する耐震性能IIbの許容ひずみ $5\varepsilon_y$ 程度に、橋軸直角方向では弾性範囲内に収まっており、かつ、終局に対して余裕を有していることが示された。

4. まとめ

本検討では、レベル2地震動に対して許容値を満足するように設計したRC橋脚、鋼製橋脚、杭基礎一体型鋼管集成橋脚に支持される連続高架橋に対して、レベル2地震動を上回る超過外力を入力し、各構造案の地震応答特性を比較することで、杭基礎一体型鋼管集成橋脚の耐震性を評価した。得られた主な知見は以下のとおり。(1)レベル2地震動に対して設計を行った結果、RC橋脚は耐力が大きく、変形能が乏しい構造となったのに対して、鋼管集成橋脚はRC橋脚に比べて耐力は小さいものの、変形能に優れた構造となった。(2)超過外力を入力した結果、RC橋脚案では、許容値を満足しないケースがあったが、鋼管集成橋脚案では、道示の耐震性能2に相当する耐震性能IIbの許容値程度に収まり、かつ、鋼製橋脚よりも、終局に対して余裕を有していることが示された。

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，Vol.50A，pp.559-566，2004. 2) 篠原ら：鋼管集成橋脚の技術コンセプトと構造設計，橋梁と基礎，Vol.48，pp.31-36，2014.2. 3) 谷口ら：西船場JCTにおける既設橋梁拡幅部の耐震設計，第18回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム，pp.295-298，2015.7. 4) 小坂ら：鋼床版と同等の軽量かつ耐久性の高いUFC道路橋床版の開発，プレストレストコンクリート，Vol.56，No.1，Jan.2014.

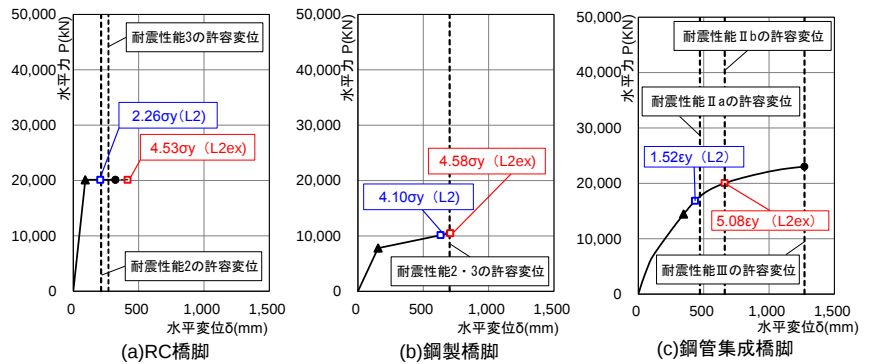


図-1 橋脚の荷重-変位関係および応答値(橋軸方向)

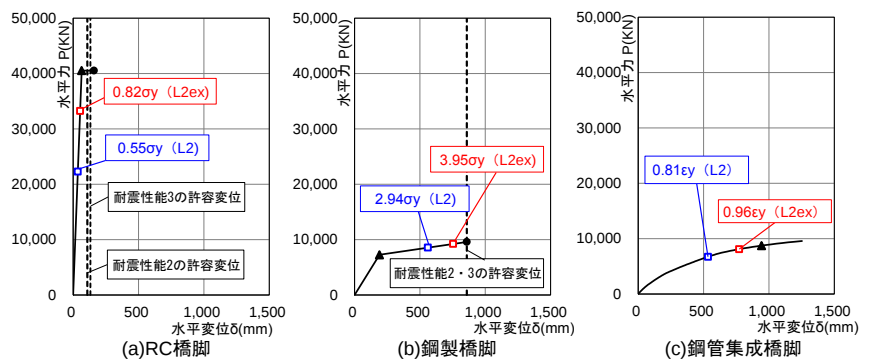


図-2 橋脚の荷重-変位関係および応答値(橋軸直角方向)