

超過外力に対する鋼管集成橋脚の 地震応答特性の評価

篠原 聖二¹・小坂 崇²・金治 英貞³

¹正会員 阪神高速道路株式会社技術部 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

E-mail:masatsugu-shinohara@hanshin-exp.co.jp

²正会員 阪神高速道路株式会社技術部 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

E-mail:takashi-kosaka@hanshin-exp.co.jp

²正会員 阪神高速道路株式会社技術部 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

E-mail:hidesada-kanaji@hanshin-exp.co.jp

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。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。また、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。

Key Words: Integrated steel pipe pier, damage control design, hysteretic shear damper

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横つなぎ材で連結した構造を有する橋脚である。本橋脚は、死荷重や活荷重などの鉛直荷重を主部材である鋼管柱で支持し、地震慣性力などの水平荷重を2次部材である横つなぎ材で抵抗する。地震時の損傷を横つなぎ材に集約する損傷制御構造の採用により、主部材である鋼管柱を健全に保つことができるため、地震後直ちに緊急車両および普通車両を通行させることが可能となる。また、復旧が必要な場合でも、せん断パネルを取替えるだけで元構造に戻すことができるため地震時ライフサイクルコストを低減することができる。

これまで、本橋脚と従来型鋼製橋脚を対象とした解析による比較検討の結果、本橋脚は損傷制御構造の採用により、せん断パネルでエネルギー吸収を図り主部材である鋼管の損傷が抑制されること、橋脚頂部の応答変位が低減されることなど従来型鋼製橋脚に対する優位性が明らかにされている¹⁾。また、本橋脚の力学的特性、せん断パネルの履歴減衰効果の確認のために、正負交番荷

による縮小模型実験が実施されている²⁾。さらに、せん断パネルでエネルギー吸収を図る上で重要である鋼管柱と横つなぎ材の接続構造を検討するために要素実験が実施されている³⁾。また、鋼管集成橋脚の設計実務に資する目的で、橋脚高さ、上部構造重量、橋脚形式等の設計条件の差異が、本構造の地震応答特性に与える影響についてパラメータスタディによって検討されている⁴⁾。これらの既往の解析および実験により、本橋脚の設計コンセプトである損傷制御設計の妥当性および従来型鋼製橋脚に対する優位性が確認され、既に阪神高速道路の海老江 JCT⁵⁾や西船場 JCT⁶⁾で採用されている。

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耐震性や経済性等の向上が期待される。さらに、フーチングを有しない杭基礎一体型鋼管集成橋脚⁷⁾は一般的なフーチングを有する橋脚よりもフレキシブルであり、温度変化による上部構造の伸縮に追従できるため、伸縮継手を省略することで多径間化を図ることができると考えられる。伸縮継手を省略し、例えば20径間程度の連続多径間

化を図ることができれば、車両が伸縮継手を通る際の騒音や振動を無くし、また、伸縮継手の損傷や漏水に対するメンテナンス費用の削減が期待できる。

そこで、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。

2. 検討条件

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）における鋼5径間連続合成細幅箱桁橋の設計を行った。以下に、検討条件を示す。

(1) 設計条件

各案のパスを図-1に、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⁹⁾（以下、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を、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地震動の一連の設計を行った3案の橋梁全体系の側面図と正面図を表-3に示す。

(2) 解析条件

比較する3案の解析条件を表-4に示す。上部構造は3本の主桁を線形はり要素でモデル化した。橋脚は、RC橋脚及び鋼製橋脚はM-φ要素で、鋼管集成橋脚は鋼管集成橋脚の設計・製作・架設手引き⁹⁾（以下、手引き）に従い、ファイバー要素でモデル化した。基礎は、RC橋脚及び鋼製橋脚は道路橋示方書に従い集約ばねで、鋼管集成橋脚は手引きに従い、鋼管をファイバー要素でモデル化し、地盤ばねを分布ばねとして設けた。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

表-1 構造諸元

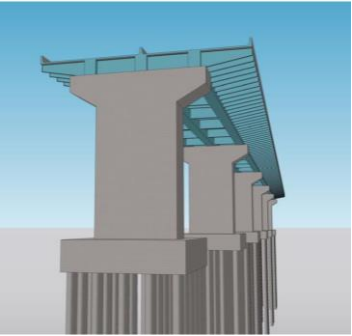
条件	項目	単位	第1案 RC橋脚案	第2案 鋼製橋脚案	第3案 鋼管集成橋脚案
橋梁条件	形式	—	鋼5径間連続合成細幅箱桁橋		
	橋長	—	300m (5@60m)		
	幅員	—	27m (6車線)		
上部構造	床版	—	超高強度繊維補強コンクリート(UFC)床版		
	支承条件	—	固定	固定	剛結
下部構造	橋脚	—	RC橋脚	鋼製橋脚	鋼管集成橋脚
	コンクリート σ_{ck}	N/mm ²	24	—	30(充填Co)
	鋼材	—	SD345	SM570	SM570
基礎構造	フーチング	—	フーチング	フーチング	—
	杭種類	—	鋼管ソイルセメント杭		
	杭本数	本	24	12	4
	杭径	mm	1200	1200	1700
	鋼管径	mm	1000	1000	1500

表-2 地盤条件

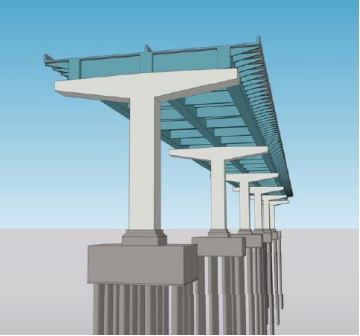
地層名	記号	層厚 (m)	N値 (回)	単位体積重量 (kN/m ³)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	変形係数 (kN/m ²)	液状化低減係数 L1	L2
埋土層	B	14.6	7	21	0	38	19600	2/3	1/3
粘性土層	Ac	15.0	5	16	66	0	14000	—	—
砂質土・粘性土互層	Asc	5.5	8	17	0	29	22400	—	—
上部洪積互層	Dsgc	14.6	32	20	0	32	89600	—	—

表-4 解析条件

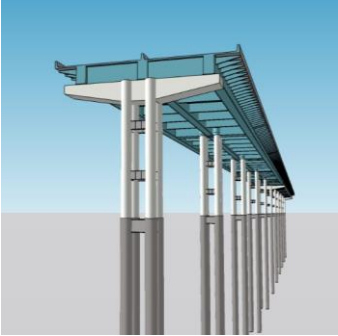
構造種別	第1案 RC橋脚案	第2案 鋼製橋脚案	第3案 鋼管集成橋脚案
上部構造	線形はり	線形はり	線形はり
下部構造	橋脚	M-φ	ファイバー
	せん断バネ	—	ファイバー
	地中梁	—	ファイバー
基礎構造	—	S-Rばね	ファイバー



(a)RC橋脚



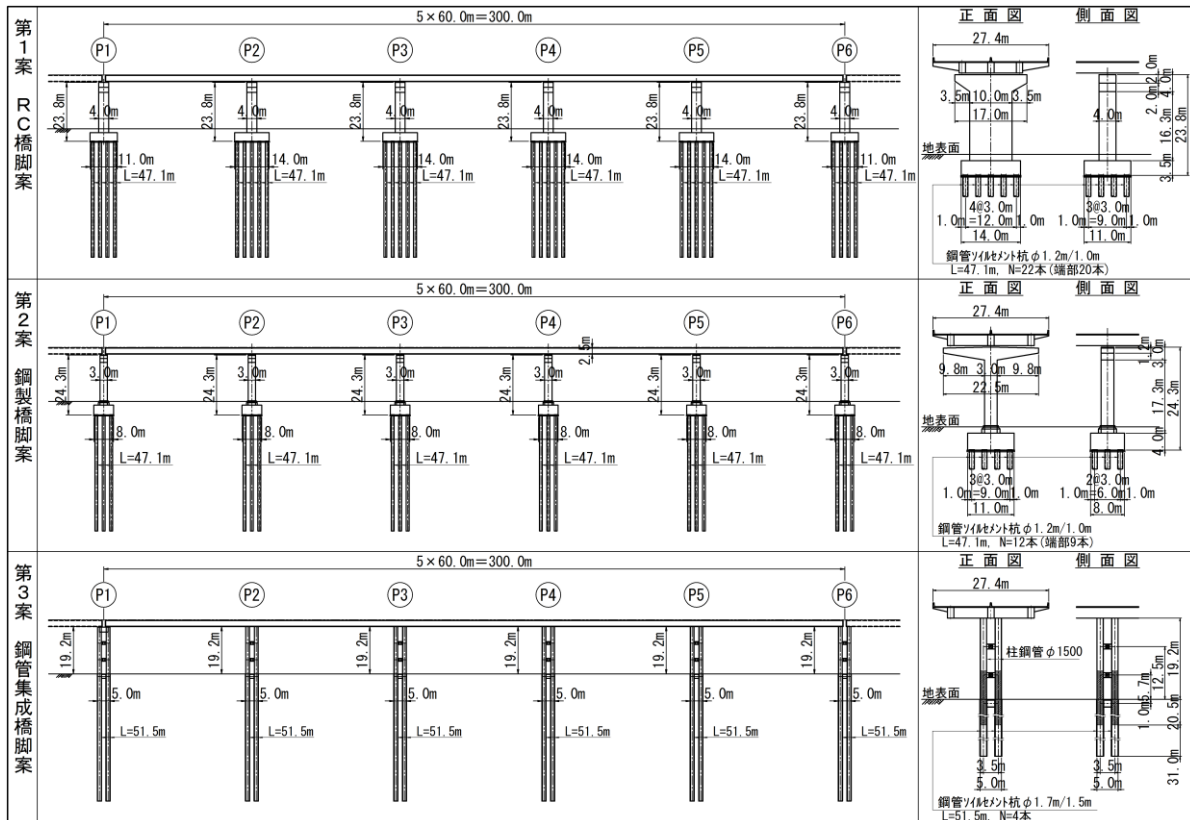
(b)鋼製橋脚



(c)鋼管集成橋脚

図-1 各案の連続高架橋パス

表-3 各案の構造図



れ2次元モデルで、鋼管集成橋脚は橋軸方向、橋軸直角方向を同一の3次元モデルで構築した。鋼管集成橋脚(第3案)の解析モデルを図-2に示す。

従来、道路橋の上部構造および橋脚を対象とした解析では、RC橋脚案や鋼製橋脚案のように、基礎および地盤反力を3方向の集約ばねに置き換えた解析モデルを使用していた。杭基礎一体型の鋼管集成橋脚案では、橋脚と杭基礎が一体となっており、上部構造—橋脚—基礎—地盤の挙動を適切に評価するためには全体構造系を対象に解析を行う必要があると考えた。解析モデルは2軸曲げと軸力変動を考慮できるファイバーモデルを用いて構築し、材料非線形と幾何学的非線形を考慮する複合非線形解析を行う。本構造は橋脚高19.2mに対して、橋脚幅5mと小さく、水平方向の慣性力により発生する付加曲げモーメントの影響を考慮するために、柱部材および杭部材のすべての梁要素には幾何学的非線形を考慮するものとした。鋼管単独断面、コンクリート充填断面のセル分割図を図-3に示す。鋼管断面のセグメント要素は、円周方向に64分割、板厚方向に2分割した。

鋼管、横つなぎ材フランジにおける鋼材、充填コンクリート、せん断パネルの各材料構成則を図-4に示す。鋼材については、図-4(a)に示す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 $E/100$ とする。コンクリートについては図-4(b)に示す応力—ひずみ関係を採用する。なお、除荷と再載荷時剛性は初期剛性とし、

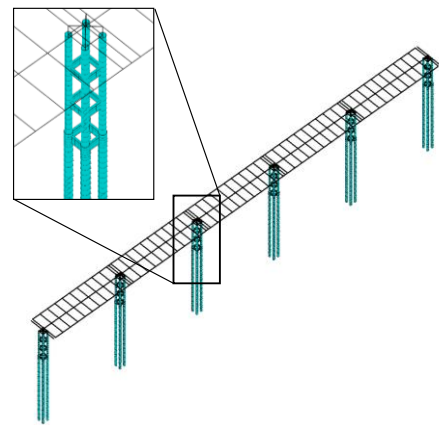


図-2 解析モデル (鋼管集成橋脚案)

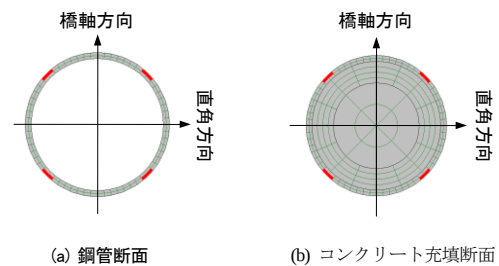
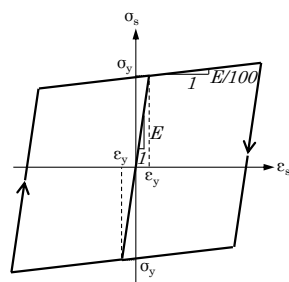


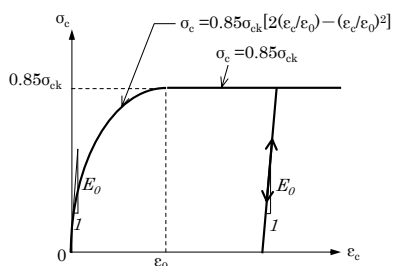
図-3 鋼管断面のセル分割 (鋼管集成橋脚案)

充填コンクリートの圧縮破壊ひずみは文献 10)を参考に 1.1%とする。せん断パネルについては、図-4(c)に示す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 $G/100$ とする。杭基礎の水平方向地盤反力特性、杭周囲の鉛直地盤抵抗特性、および杭先端の鉛直地盤抵抗



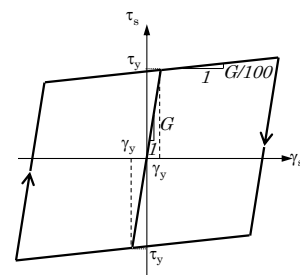
E : ヤング係数(N/mm²)
 σ_y : 降伏応力(N/mm²)
 ε_y : 降伏ひずみ

(a)鋼材の応力-ひずみ関係



σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
 ε_0 : 最大圧縮応力に達する時のひずみ
 E_0 : 初期弾性係数(N/mm²)

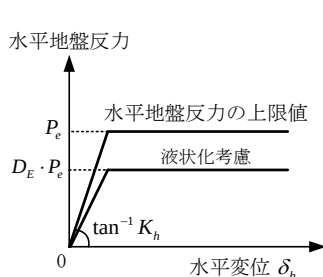
(b)充填コンクリートの応力-ひずみ関係



G : セン断弾性係数(N/mm²)
 τ_y : 降伏せん断応力(N/mm²)
 γ_y : 降伏せん断ひずみ

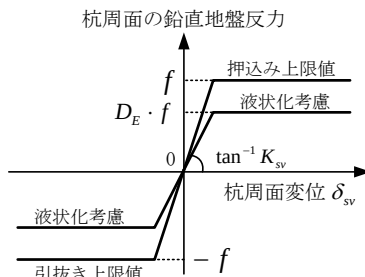
(c)せん断パネルの応力-ひずみ関係

図-4 材料構成則



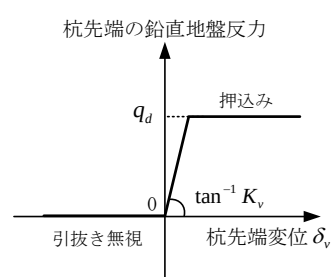
P_e : 上限値(kN/m²)
 K_h : 水平方向地盤反力係数(kN/m³)
 D_e : 土質定数の低減係数(液状化考慮)

(a)杭の水平方向地盤抵抗特性



f : 上限値(kN/m²)
 K_{sv} : 杭周囲の鉛直方向地盤反力係数(kN/m³)
 D_e : 土質定数の低減係数(液状化考慮)

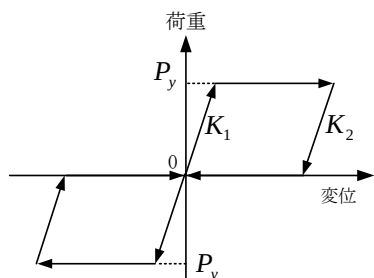
(b)杭周囲の鉛直地盤抵抗特性



K_v : 杭先端の鉛直方向地盤反力係数(kN/m³)
 q_d : 杭先端の極限支持力度(kN/m²)

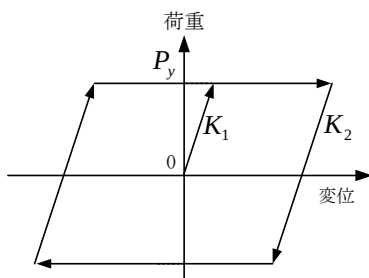
(c)杭先端の鉛直地盤抵抗特性

図-5 杭の地盤抵抗特性



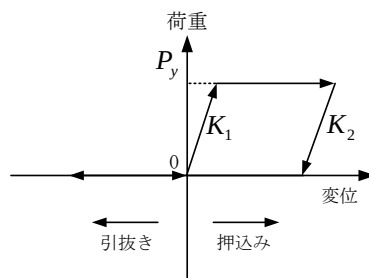
P_y : 降伏荷重
 K_1 : 初期ばね定数
 K_2 : 除荷時のばね定数($K_2=K_1$)

(a)杭の水平方向地盤抵抗特性



P_y : 降伏荷重
 K_1 : 初期ばね定数
 K_2 : 除荷時のばね定数($K_2=K_1$)

(b)杭周囲の鉛直地盤抵抗特性



P_y : 降伏荷重
 K_1 : 初期ばね定数
 K_2 : 除荷時のばね定数($K_2=K_1$)

(c)杭先端の鉛直地盤抵抗特性

図-6 杭の地盤抵抗特性における履歴モデル

表-5 杭の水平方向・鉛直方向地盤抵抗特性

層番号	層厚(m)	水平方向地盤反力				杭周囲の鉛直方向地盤反力				土質定数の低減係数 D_e	
		L1地震時(静的)		L2地震時(静的)		L1地震時(静的)		L2地震時(静的)		L1	L2
		反力係数 K_h (kN/m ³)	上限値 P_e (kN/m ²)	反力係数 K_h (kN/m ³)	上限値 P_e (kN/m ²)	反力係数 K_{sv} (kN/m ³)	上限値 f (kN/m ²)	反力係数 K_{sv} (kN/m ³)	上限値 f (kN/m ²)		
1	14.63	22084	1930	22084	1930	42128	70	42128	70	2/3	1/3
2	15.06	15784.6	619.5	15784.6	619.5	5642.1	66	5642.1	66	1	1
3	5.53	25255.3	2235.4	25255.3	2235.4	4814.6	80	4814.6	80	1	1
4	14.60	101021.2	3873.5	101021.2	3873.5	19258.4	200	19258.4	200	1	1
5	1.68	101021.2	4020.9	101021.2	4020.9	19258.4	200	19258.4	200	1	1

表-6 杭先端の鉛直方向地盤抵抗特性

層番号	層厚(m)	杭先端の鉛直地盤反力係数 K_v		杭先端の極限支持力度 q_d	
		L1地震時(静的) (kN/m ³)	L2地震時(静的) (kN/m ³)	L1地震時(静的) (kN/m ²)	L2地震時(静的) (kN/m ²)
5	1.68	1925845	1925845	4800	4800

抗特性を図-5 と表-5, 6 に、時刻歴応答解析に用いる履歴モデルを図-6 に示す。地盤抵抗特性については、基本的に「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」¹¹⁾

(以下、鉄道標準)に従い設定した。これは道路橋示方書 V 耐震設計編道示¹²⁾ (以下、道示 V) の杭基礎の場合の鉛直地盤抵抗特性が杭頭部に集約ばねで設定されて

おり、杭基礎一体型鋼管集成橋脚のようにフーチングがない場合、杭基礎の鉛直方向の地盤抵抗特性を適切に評価できないためである。なお、鉄道標準に記述のない液状化を考慮した土質定数の低減係数、群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数の低減係数、群杭効果を考慮した軸方向許容支持力については、道示 V または杭基礎設計便覧¹³⁾に準じて設定した。なお、ケース 1, 2 のフーチングについては、道路橋示方書 IV 下部構造編¹⁴⁾に基づき、前面の水平抵抗を考慮する。

3. 地震応答特性評価

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）における鋼 5 径間連続合成細幅桁橋の設計を行い、地震応答特性の評価のために、プッシュオーバー解析、固有値解析、時刻歴応答解析を実施した。

(1) プッシュオーバー解析

橋軸方向のプッシュオーバー解析の結果について、水平震度と上部構造位置の水平変位の関係を図-7 に示す。RC 橋脚案と鋼製橋脚案では、RC 橋脚案の方が降伏耐力が大きいが、許容変位に相当する耐力は概ね同等である。鋼管集成橋脚案では、せん断パネルの降伏耐力は、RC 橋脚案や鋼製橋脚案より小さいが、鋼管の許容ひずみに相当する耐力は、RC 橋脚案や鋼製橋脚案の最大耐力よりも大きいことが示された。これは、RC 橋脚案と鋼製

橋脚案の支承条件が固定条件であるのに対して、鋼管集成橋脚案は中間橋脚が剛結条件であるためであると考えられる。また、鋼管集成橋脚は、鋼管よりもせん断パネルが先行して降伏しており、せん断パネルによる損傷制御構造が成立していることがわかる。

橋軸直角方向のプッシュオーバー解析の結果について、水平震度と上部構造位置の水平変位の関係を図-8 に示す。RC 橋脚は壁式橋脚であるため降伏耐力が大きくなっている。鋼製橋脚案と鋼管集成橋脚案の耐力は概ね同等の耐力であり、鋼管集成橋脚案は、剛結条件で支持された橋軸方向よりも耐力が小さくなることが示された。鋼管集成橋脚案は、橋軸方向同様、鋼管よりもせん断パネルが先行して降伏しており、せん断パネルによる損傷制御構造が成立していることがわかる。

(2) 固有値解析

3案の振動特性を評価するために固有値解析を実施した。道路橋示方書のⅢ種地盤のレベル2タイプI地震動、タイプII地震動の標準加速度スペクトルとRC橋脚、鋼製橋脚、および鋼管集成橋脚案の橋軸方向、橋軸直角方向のそれぞれの卓越周期を図-9、図-10に示す。橋軸方向では、RC橋脚案が0.96s、鋼製橋脚案が1.30s、鋼管集成橋脚案が1.11sとなった。鋼管集成橋脚案では、RC橋脚案よりは卓越周期が長くなったものの、中間橋脚の支点条件が剛結であるため、鋼製橋脚よりは短くなった。

橋軸直角方向では、RC橋脚案が0.69s、鋼製橋脚案が1.36s、鋼管集成橋脚案が1.43sとなった。壁式橋脚となったRC橋脚案は、橋軸方向の卓越周期よりも短周期化し、

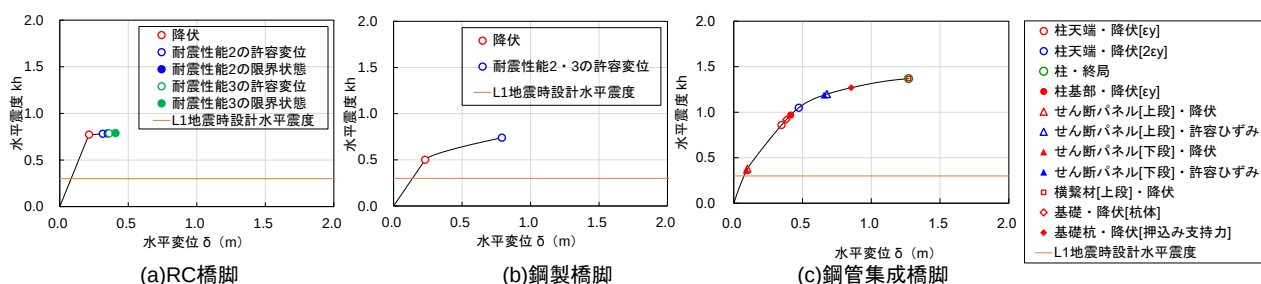


図-7 プッシュオーバー解析結果（橋軸方向）

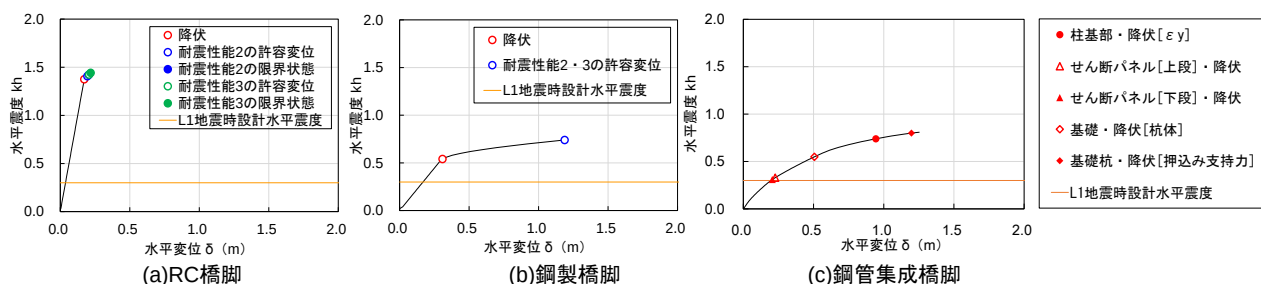


図-8 プッシュオーバー解析結果（橋軸直角方向）

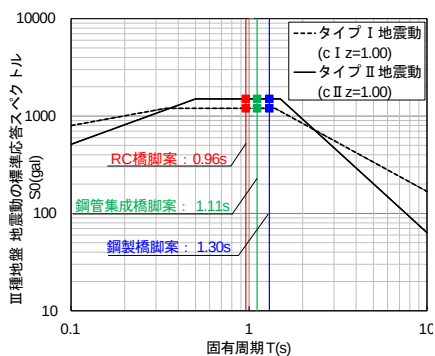


図-9 加速度応答スペクトルと卓越周期の関係(橋軸方向)

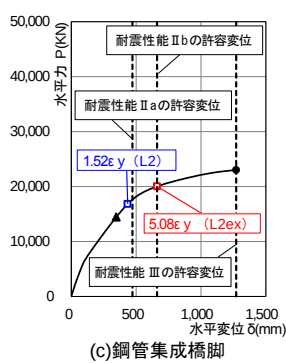
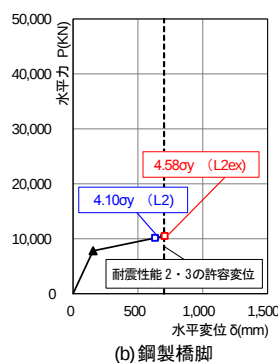
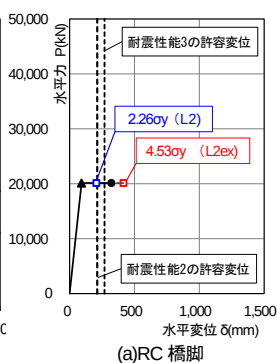


図-11 橋脚の荷重－変位関係および応答値(橋軸方向)

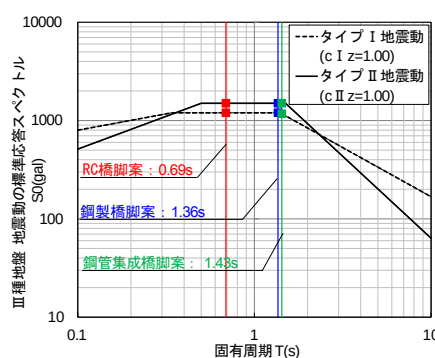


図-10 加速度応答スペクトルと卓越周期の関係(橋軸直角方向)

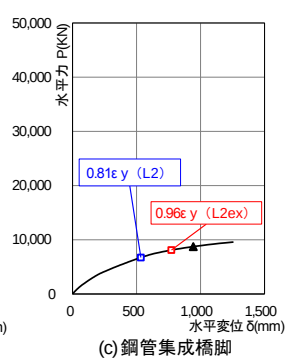
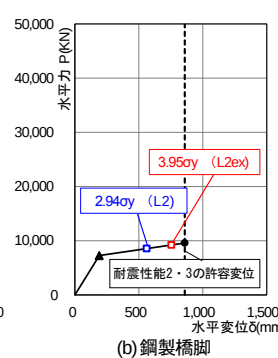
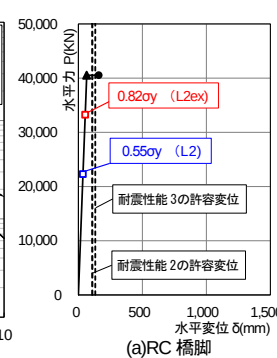


図-12 橋脚の荷重－変位関係および応答値(橋軸直角方向)

鋼製橋脚案では、橋軸方向の固有周期と同等、鋼管集成橋脚案では、橋軸方向の固有周期よりも長周期化した。また、橋軸直角方向における鋼製橋脚と鋼管集成橋脚の固有周期は同程度であった。

橋軸方向、橋軸直角方向ともに、3案の卓越周期では、タイプⅡ地震動の加速度スペクトルの方が大きくなることが示された。

(3) 時刻歴応答解析

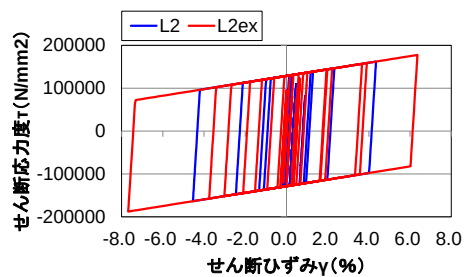
レベル2地震動に対して許容値を満足するように設計した各橋脚の荷重-変位関係を図-11と図-12に示す。RC橋脚は変形能に乏しいため、許容値を満足させるために耐力を上げる必要が生じた。鋼製橋脚や鋼管集成橋脚は変形能に優れており、RC橋脚のように耐力を上げなくても、許容値内に収まることが示された。なお、鋼管集成橋脚の鋼管柱の許容値は、文献⁹⁾に準じ、構造弾性範囲の $2\delta_y$ とした。次に3案の地震応答特性を評価するために時刻歴応答解析を実施した。入力する地震動は道路橋示方書¹²⁾のレベル2地震動(タイプⅡ)に加え、同地震動の加速度を150%入力した超過外力地震動を橋軸方向と橋軸直角方向のそれぞれに入力した。

図-11と図-12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

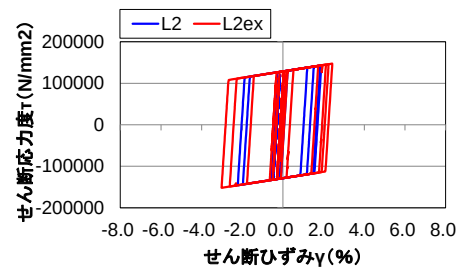
軸方向に超過外力を入力した場合に許容値を超過したが、橋軸直角方向については、超過外力を入力しても許容値に収まる結果となった。これは、橋軸直角方向の橋脚耐力が大きいためと考えられる。鋼製橋脚案では、橋軸方向、橋軸直角方向いずれの方向においても、許容値内に収まったが、耐震性能3の許容値に対する余裕度は小さいことが示された。一方、鋼管集成橋脚案では、レベル2地震動に対して、橋軸方向、橋軸直角方向ともに道示の耐震性能2よりも高い性能に相当する耐震性能Ⅱaに相当する許容ひずみ $2\delta_y$ 以内に収まっている。さらに超過外力に対しても、橋軸方向では道示の耐震性能2に相当する耐震性能Ⅱbの許容ひずみ $5\delta_y$ 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) セン断パネルの応答

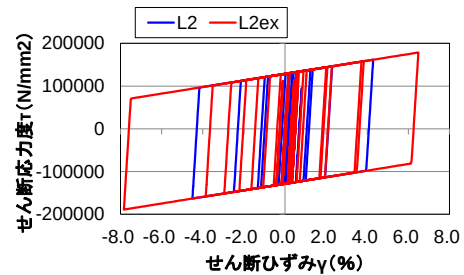
鋼管集成橋脚案のせん断パネルのせん断応力度－せん断ひずみ関係の応答履歴を図-13、図-14に示す。橋軸方向については、上段、下段ともに、せん断パネルの応答値が、レベル2地震動で4%程度、超過外力地震動で8%と効果的に機能していることが示された。せん断パネルのエネルギー吸収により、橋脚の応答を抑制できたと考えられる。一方、橋軸直角方向については、上段、下段ともに、せん断パネルの応答値が、レベル2地震動



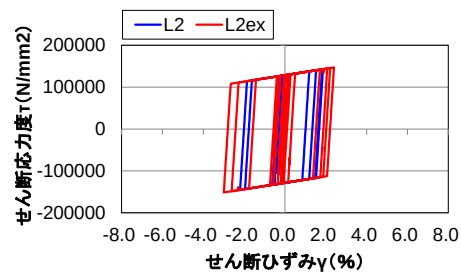
(a)上段



(a)上段



(b)下段



(b)下段

図-13 せん断パネルのせん断応力度—せん断ひずみの関係（橋軸方向）

図-14 せん断パネルのせん断応力度—せん断ひずみの関係（橋軸直角方向）

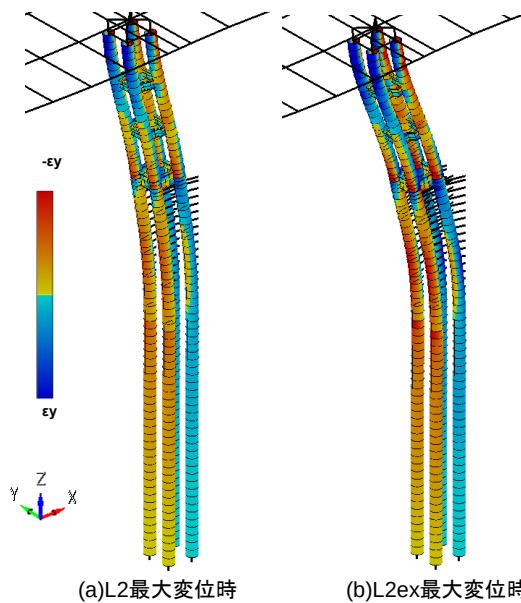


図-15 最大変位時のひずみコンター図（橋軸方向）

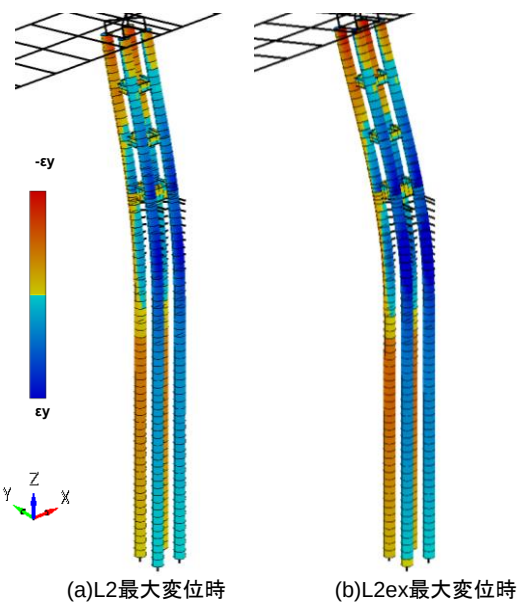


図-16 最大変位時のひずみコンター図（橋軸直角方向）

で 2%程度，超過外力地震動で 3%と橋軸方向ほど機能していないことが示された。

向ほど機能していないことがわかる。

(5) 最大応答時の変形モード

鋼管集成橋脚案において，橋脚天端の変位が最大となった場合のひずみコンター図を図-15，図-16 に示す。橋軸方向については，橋脚の変形が SWAY モードになっており，鋼管間に相対変位が生じるため，せん断パネルが効果的に機能することがわかる。一方，橋軸直角方向については，Cantilever モードになっており，鋼管間に大きな相対変位が生じないため，せん断パネルが橋軸方

4. 結論

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。得られた主な知見を以下に示す。

- (1) プッシュオーバー解析の結果、鋼管集成橋脚案は、主部材である鋼管よりもせん断パネルが先行して降伏し、損傷制御構造が成立していることが示された。
- (2) 固有値解析の結果、橋軸、橋軸直角方向ともにRC橋脚案が卓越周期が短い結果となった。鋼管集成橋脚案の卓越周期は、橋軸方向では鋼製橋脚案よりも短く、橋軸直角方向では、鋼製橋脚案と同等であることが示された。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 鋼管集成橋脚案については、特に橋軸方向については、橋脚の変形がSWAYモードであるため、せん断パネルが効果的に機能し、せん断パネルのエネルギー吸収により、橋脚の応答を抑制できたと考えられる。橋軸直角方向については、橋脚の変形がCantileverモードであるため、橋軸直角方向ほどせん断パネルが機能していないことが示された。

参考文献

- 1) 金治英貞，鈴木英之，野中哲也，馬越一也：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，土木学会構造工学論文集，Vol.50A，pp.559-566，2004。
- 2) 金治英貞，米谷作記子，林 訓裕，豊島 径，西海健二：鋼管集成橋脚の縮小モデル載荷試験による力学
- 3) 西海健二，豊島 径，金治英貞，林 訓裕：鋼管集成橋脚における接続部のエネルギー吸収性能に関する実験的研究，第 9 回地震時保有水平体力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.25-28，2006。
- 4) 篠原聖二，金治英貞，鬼木浩二，杉浦邦征：履歴型ダンパー機能を有する鋼管集成橋脚の地震応答特性，土木学会構造工学論文集，Vol.58A，pp.471-483，2012.3。
- 5) 金治英貞，篠原聖二：損傷制御設計を用いた鋼管集成橋脚の開発とシミュレーション技術，土木学会第 15 回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，2012.8。
- 6) 谷口惺，堀岡良則，杉山裕樹：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。
- 7) 篠原聖二，金治英貞，鬼木浩二，木村亮：杭基礎一体型鋼管集成橋脚の構造提案と地震時応答解析，土木学会論文集 C（地圏工学），（公社）土木学会，Vol.69，No.3，pp.312-325，2013.7。
- 8) 一宮利通，金治英貞，小坂崇，齋藤公生：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。
- 9) 阪神高速道路(株)：鋼管集成橋脚の設計・製作・架設手引き，2015.6。
- 10) 天野麻衣，葛西 昭，宇佐美勉，葛 漢彬，岡本真悟，前野 裕文：コンクリート部分充填鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する実験的及び解析的研究，構造工学論文集，Vol.44A，pp.179-188，1998。
- 11) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物，2002.12。
- 12) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.3。
- 13) (社)日本道路協会：杭基礎設計便覧，2007.1。
- 14) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2002。

SESMIC RESPONSE CHARACTERISTICS OF STEEL PIPE INTEGRATED PIER WITH SHEAR LINK AGAINST GREAT EARTHQUAKE

Masatsugu SHINOHARA, Takashi KOSAKA and Hidesasa KANAJI

The steel pipe integrated pier is composed of four steel pipes interconnected with shear links along its height. Steel pipes as main members, support vertical load (such as dead load and live load). Shear links as sub members resist horizontal load (such as seismic load). The application of the damage control design can reduce a response of the pier and it can keep steel pipes wholesome during earthquakes. So, not only emergency vehicles but ordinary vehicles can pass immediately after earthquakes. This paper describes seismic response characteristics of steel pipe integrated pier with shear link against great earthquake.