

コンクリート充填鋼管集成橋脚の L2 と これを超える地震動下でのエネルギー吸収特性

名工大 正会員 海老澤 健正・名工大 名誉会員 後藤 芳顕・名工大 正会員 野中 哲也

1. まえがき:コンクリート充填鋼管集成橋脚で上部構造が支持された連続高架橋においては, L2 地震動に対して, 鋼管集成橋脚に多段に配置されたせん断パネル(同一諸元)で橋脚の運動エネルギーを一様にかつ効率的に吸収することで脚柱をほぼ無損傷に留めるとともに, L2 を超える地震動に対してはコンクリート充填鋼管(CFT)柱の優れたエネルギー吸収能と局部座屈変形抑制機能で橋脚の残留変位を低減するという耐震シナリオが想定されている. ここでは, 鋼管集成橋脚のエネルギー吸収特性と想定されている耐震シナリオの妥当性を図-1 に示す 2 径間連続高架橋模型の大型加振実験¹⁾で明らかにした.

2. せん断パネルのエネルギー吸収特性:多段に設置された各せん断パネルが設置個所によらずエネルギーを一様かつ効率的に吸収することを理論的に考察するとともに,その妥当性を加振実験結果で検証する.

(1) 理論的考察:鋼管集成橋脚は各鋼管柱頂部が上部構造, 基部が基礎に剛結されていると近似的に考えられるので, 橋軸方向と橋軸直角方向の単一鋼管集成橋脚モデルは次のようになる.

橋軸方向モデル:上部構造に剛結された橋脚頂部は高架橋の橋軸方向の変位に対してほぼ水平を保つので, 単一橋脚モデルの頂部は橋軸方向水平変位に対して橋軸直角周りの回転が拘束された図-2(a1)のようなモデルで近似される. このモデルは柱の基部が固定された片持ち橋脚モデルにおいて, 鋼管柱が剛結さ

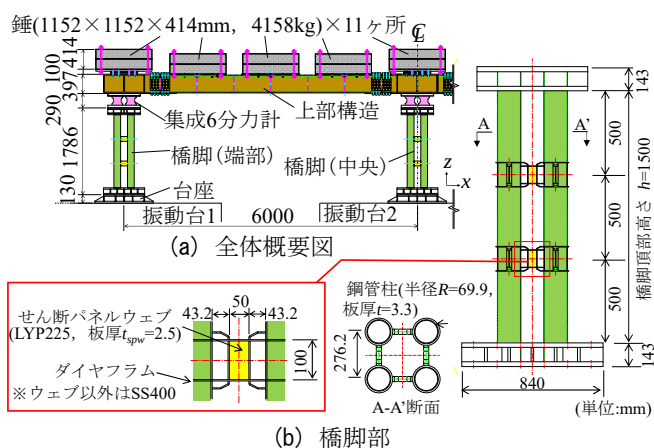
れた橋脚頂部(剛)に橋軸方向水平力 $\bar{H}$, 鉛直力 $\bar{N}$, モーメント $\bar{M} = -\bar{H}h/2$ を作用させた図-2(a2)のモデルと等価である.

橋軸直角方向モデル:通常の高架橋の単一橋脚モデル同様, 片持ち橋脚モデルの頂部から長さ h' の剛部材を立ち上げ, 先端の地震力作用点 G に橋軸直角方向水平力 $\bar{H}$ を作用させた図-2(b1)のモデルで近似できる. これは, 橋軸方向同様, 片持ち橋脚モデルの頂部に橋軸方向水平力 $\bar{H}$, 鉛直力 $\bar{N}$, モーメント $\bar{M} = \bar{H}h'$ を作用させた図-2(b2)のモデルと等価である.

以上のモデル化から, 橋軸直角方向の片持ち橋脚モデルで $h' = -h/2$ とすれば, 橋軸方向のモデルと等価になるので, 鋼管集成橋脚の単一橋脚モデルは, 橋軸方向と橋軸直角方向によらず, h' をパラメータとした片持ち橋脚モデルで統一的に扱うことができる.

この統一化したモデルは L2 地震動下では鋼管集成橋脚の柱の塑性化は十分小さい範囲にとどまるように設計されるので, 橋脚の応答は図-2(c)のように橋脚頂部に水平力 $\bar{H}$ のみが作用する場合とモーメント $\bar{M}$ と鉛直力 $\bar{N}$ が作用する場合とに分けて重ね合わせることができる. このとき, モーメント $\bar{M}$ と鉛直力 $\bar{N}$ に対しては片持ち橋脚モデルのせん断パネルが機能しないので実質的には門型のラーメンになる. つまり, せん断パネルの挙動は水平力 $\bar{H}$ のみに支配され, 上下対称に配置されたパネルには等しいせん断力が作用し, エネルギー吸収量も等しくなる.

(2) 加振実験による検証:連続高架橋模型の加振実験で(1)での検討の妥当性を検証する. 図-3 に供試体の損傷度から逆算した L2 相当地震動(50%JRT 水平 2 方向成分)から加速度倍率を徐々に 200%まで増大させたときの P2 橋脚での+x, +y 面のせん断パネルのひずみ応答の最大絶対値の変化を示す. 鋼管集成橋脚の各鋼管柱がほぼ弾性とみなせる L2 相当地震動ではいずれの面も上下段のせん断パネルのひずみはほぼ等しい. 図-4 にはこの時の橋脚に作用する水平力成分 (F_x, F_y) と対応する+x, +y 面のパネルのせん断ひずみ



キーワード: 鋼管集成橋脚, エネルギー吸収能, 耐震, 振動台実験, L2 地震動
連絡先: 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, Tel: 052-735-5021

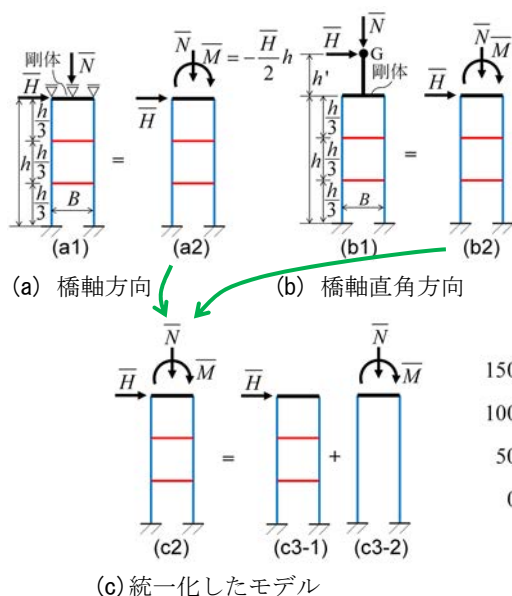


図-2 鋼管集成橋脚の単一橋脚モデル

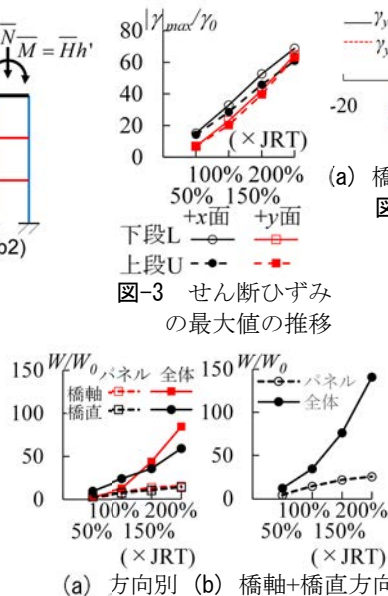


図-5 中央橋脚 P2 の吸収エネルギーの推移

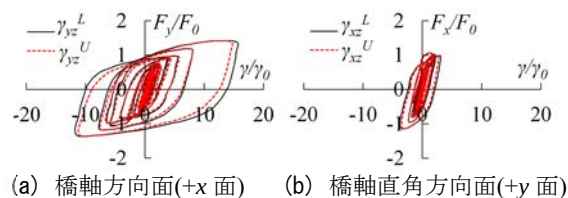


図-4 橋脚 P2 頂部の水平力成分とパネルのせん断ひずみ成分の履歴関係(50%JRT)

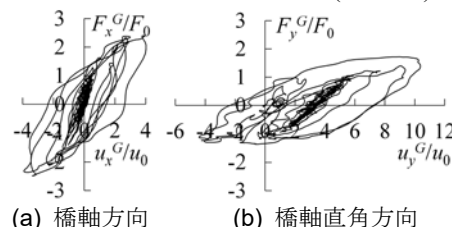


図-6 JRT200%での中央橋脚 P2 の質量中心における水平力-水平変位の履歴曲線

成分を逆転する。そして、200%JRT
では、前者は後者の 1.5 倍程度にな

成分(γ_{xz}, γ_{yz})の履歴関係を示す。これより、同じ方向では上下パネルの履歴曲線は一致している。また、橋軸方向と橋軸直角方向では、最大振幅は異なるが、パネルは、いずれも同様の履歴曲線を描いており、その応答が水平力のみに支配されるという、理論的検討の妥当性が検証できる。

100%JRT 以上では、CFT 柱の基部と頂部に塑性化の差が生じる。その結果、図-3 のように、同じ方向に機能する上下パネルのせん断ひずみの最大絶対値にも差が生じるが、その差は小さく、上下パネルはほぼ等しく有効に機能していることがわかる。

3. 耐震シナリオとエネルギー吸収特性: 50%JRT～200%JRT の地震動入力による中央橋脚 P2 の橋脚全体とせん断パネルの吸収エネルギーの増加を、橋軸方向成分、橋軸直角方向成分、両方向成分の和に分けて図-5 に示す。同図には各ケースのせん断パネルの吸収エネルギーの総和も示す。図-5 より、50%JRT、100%JRT では、橋脚の吸収エネルギーは橋軸直角方向成分が橋軸方向成分より大きい。このとき、せん断パネルの吸収エネルギーが橋脚全体に占める割合は、橋軸方向成分(約 60%)、橋軸直角方向成分(約 30%)、橋軸直角方向成分+橋軸方向成分(約 40%)で、いずれもほとんど変化しない。これより、L2 相当の 50%JRT を超える 100%JRT までせん断パネルは L2 の場合と同様に有効に機能していると言える。

150%JRT 以上では、P2 橋脚の橋軸方向成分，橋軸直角方向成分とも吸収エネルギーの増加率は大きくなる．とくに，橋軸方向成分が急増し，橋軸直角方向

る。せん断パネルの吸収エネルギーが橋脚全体に占める割合は、150%JRT→200%JRT において、橋軸方向で 30%→17%、橋軸直角方向で 28%→22%、橋軸直角方向+橋軸方向の和で 28%→18%のように大きく減少する。これらから、加振倍率 150%以上での橋脚の吸収エネルギーの急増はもっぱら CFT 柱の塑性化によるものであることがわかる。

吸収エネルギーの橋軸方向成分が加振倍率 150% 以上で急増するのは、橋軸方向の CFT 柱の塑性化モードが橋軸直角方向と異なることによると考えられる。すなわち、100%JRT 以下では、すべてのせん断パネルが塑性化しているほか、CFT 柱基部鋼管の橋軸直角側を中心に塑性化が生じている。その結果、橋軸直角方向の吸収エネルギーが大きい。一方、150%JRT 以上では、CFT 柱の橋軸直角方向の塑性化モードは変化しないが、橋軸方向では、柱の基部に加えて頂部の鋼管が塑性化するとともに、振動周期が橋軸直角方向に比べて短く、より多くの繰返しを受けるので、橋軸方向の吸収エネルギーが急増すると考えられる。

以上の検討から、L2 地震動まではせん断パネルがエネルギー吸収部材として有効に機能し、L2 を超えると、CFT 柱が主にエネルギー吸収をする想定シナリオ通りの挙動を確認できる。このとき、鋼管集成橋脚の履歴曲線は、図-6 に示すように、200%JRT でも耐力低下は生じず安定しており、倒壊に至るような挙動は見られない。

謝辞: 本研究の一部は、阪神高速道路株式会社との共同研究によるものである.

参考文献: 1) 後藤ら, 土論 A1, Vol.77, No.1, pp.199-218, 2021.