

マルチ振動台によるレベル2を超える地震動入力下の CFT化した鋼管集成橋脚による連続高架橋の耐震安全性の検討

名工大 学生会員 ○初鹿 雄斗・名工大 フェロー会員 後藤 芳顕・名工大 正会員 海老澤 健正

阪神高速道路 正会員 関川 洋介・阪神高速道路 正会員 岡上 政史・阪高技術センター 正会員 服部 匡洋

1. まえがき: レベル2相当の水平2方向地震動成分の同時入力 (JRT50%) による縮尺 1/10 の連続高架橋模型のマルチ振動台実験を実施した。この実験から、鋼管集成橋脚の CFT 化した鋼管柱とせん断パネル LYP225 の応答ひずみをそれぞれの許容値である $2\varepsilon_y$ と 4% を超えないように設計すると、地震後の残留変位はほとんど生じず、目標とする地震後の使用性を十分満足することを確認できた。ここでは、JRT50% を入力後の連続高架橋模型に、さらに JRT100%, JRT150%, JRT200% の水平2方向成分を連続して入力することで、鋼管集成橋脚で支持された連続高架橋の耐震安全性について検討した。

2. 入力地震動: 入力地震動は JRT 観測波の水平2方向成分 (NS, EW) を基本として、まず、時間軸を相似則から $1/\sqrt{s} = 1/\sqrt{10}$ 倍とするとともに、地震動成分の振幅を 1.0, 1.5, 2.0 倍することで JRT100%, JRT150%, JRT200% を設定した。ここで、地震動の EW 方向と NS 方向をそれぞれ橋軸、橋軸直角方向に対応させた。

3. 実験結果と考察

a) 応答水平変位: 各橋脚頂部の水平変位成分の時刻歴応答の差は小さいので中央の P2 橋脚の JRT150% の結果を図-1 に示す。さらに、地震動の振幅の拡大倍率 JRT50%~JRT200% による各水平変位成分の最大応答値と累積の残留変位の推移を図-2 に示す。水平変位は橋軸直角方向成分が橋軸方向成分に比べ大きく、JRT50% では 3 倍程度大きい。変位成分の値は加振倍率の上昇に応じて増加するが、橋軸方向の増加率が橋軸直角方

向に比べて大きい。その結果、JRT200% では両者の差が 1.5 倍程度に減少する。これは、柱がほぼ弾性状態にある JRT50% では橋軸方向で橋脚に逆対称曲げが生じ、対称曲げとなる橋軸直角方向に比べ水平剛性が大きくなるからである。しかし、加振倍率が増加するにつれて、CFT 柱の上下に塑性化が生じ、逆対称曲げの影響が解消される。残留変位については JRT150% まではほとんど生じないが JRT200% では橋軸直角方向に残留変位が急激に増加する。このように、CFT 化した鋼管集成橋脚では設計地震動の 3 倍の JRT150% までは、ほとんど残留変位が生じない優れた地震後の使用性を持つが、4 倍の JRT200% になると残留変位が急激に増加する特性を示している。これは、JRT200% になると鋼管基部に写真-1 のように明確な局部座屈変形が生じるからである。

b) 鋼管柱のひずみ応答: 中央橋脚の CFT 柱の鋼管基部と上部 (上部構造との接合部近傍) の JRT150% での鉛直方向ひずみについて、橋軸直角方向外縁 (y) 位置と橋軸方向外縁 (x) 位置の応答を図-3 に示す。さらに、各位置での JRT50%~JRT200% における圧縮ひずみと引張りひずみの応答値の最大値を図-4 (a), (b) に、累積の残留ひずみを図-4 (c) に示す。これより、橋軸直角方向の柱基部外縁 (y) 位置でのひずみが最も大きい、上部外縁ではほとんど生じていないことがわかる。これは、橋軸直角方向の柱の変形が片持ち柱のモードとなるからである。一方、橋軸方向では基部外縁 (y) 位置で最も大きなひずみが生じているが、上部外縁でも無視できないひずみを生じている。これは、上部構造に橋脚頂部が剛結されているので、柱の基部のみならず上部にも固定モーメントが発生するからである。加振倍率を JRT50%~JRT200% と増加させると、図-4 (a), (b) のように、ひずみが生じない橋軸直角方向の柱上部外縁 (y) 位置を除き、各点の応答ひずみは加振倍率にほ

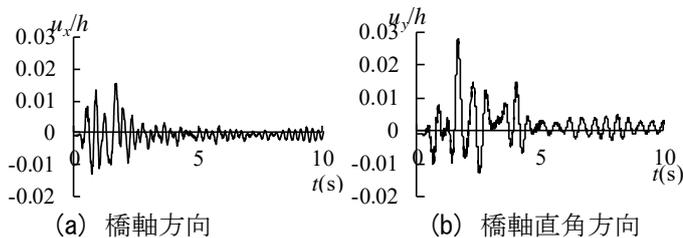


図-1 橋脚水平変位の時刻歴応答

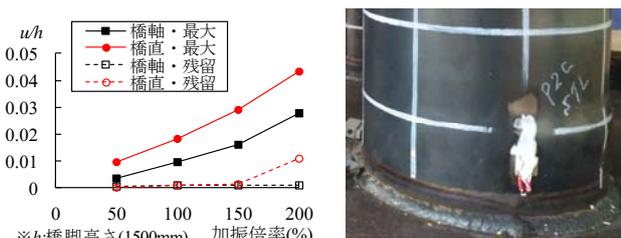


図-2 橋脚の最大変位と累積残留変位の推移



写真-1 橋脚基部の局部座屈変形

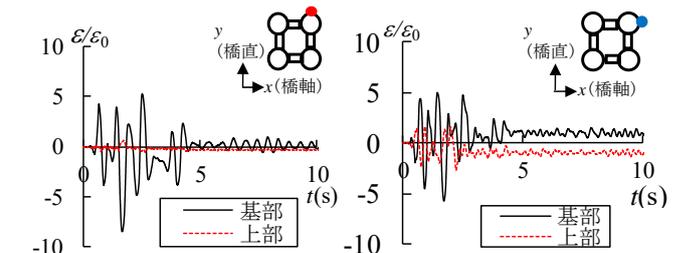
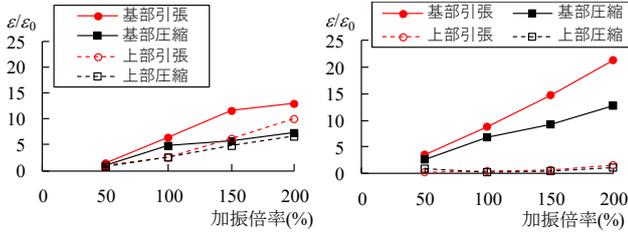


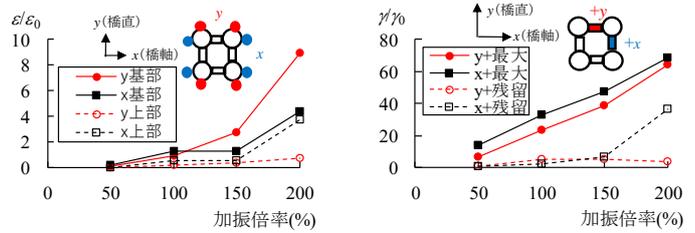
図-3 CFT柱基部における鋼管の鉛直方向軸ひずみの時刻歴応答

キーワード 鋼管集成橋脚、コンクリート充填柱、連続高架橋、振動台実験、想定外地震動

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市中区御器所町 名古屋工業大学 TEL052-735-5021 FAX052-735-5563

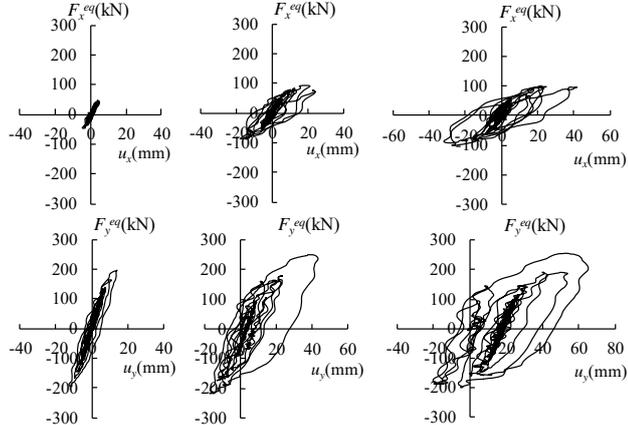


(a) 橋軸直角方向外縁(y) 最大ひずみ (b) 橋軸方向外縁(x) 最大ひずみ

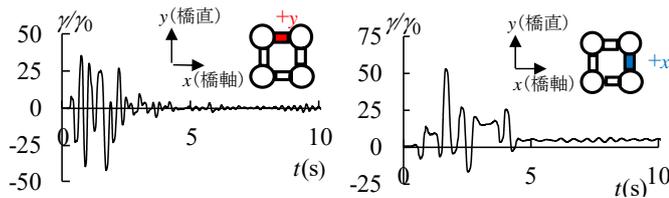


(c) 残留ひずみ (d) せん断パネルの最大応答ひずみと残留ひずみの推移

図-4 CFT 柱の最大軸ひずみと累積残留軸ひずみの推移



(a) JRT x 50% (b) JRT x 150% (c) JRT x 200% 図-5 橋脚柱の等価水平力-水平変位関係の履歴曲線



(a) +y 面 (b) +x 面 図-6 せん断パネルのひずみの時刻歴応答

ば比例して増加する。このとき、残留ひずみは図-4 (c) のように加振倍率 JRT150%まではほとんど見られないが、JRT200%と増加させると急激に橋軸直角方向外縁に残留ひずみが増加する。この傾向は残留変位と整合する。

c) 橋脚柱の履歴曲線:加振倍率 JRT50%~JRT200%での等価水平力成分と水平成分の関係で表した中央橋脚柱の履歴曲線の推移を図-5 に示す。これより、橋軸直角方向の応答が大きく生じていることがわかる。JRT150%までは鋼管に局部座屈変形はほとんど生じず橋脚は荷重低下の無い紡錘型の履歴曲線を示す。JRT200%になると鋼管基部に明確な局部座屈変形が生じるため橋軸直角方向の復元力の上昇が頭打ちになるが、安定した履歴曲線を描いている。これは柱を CFT 化した効果であると考えられる。

d) せん断パネルのひずみ応答:せん断パネルのひずみ応答は上段と下段、+面と-面の差がほとんどないため、中央橋脚の下段における+x 面、+y 面のパネルの JRT150%での応答の推移を図-6 に、各ケースの最大応答ひずみと残留ひずみを図-7 に示す。図-6 から、高架橋の橋軸方向の弾性固有周期が橋軸直角方向に比べ短

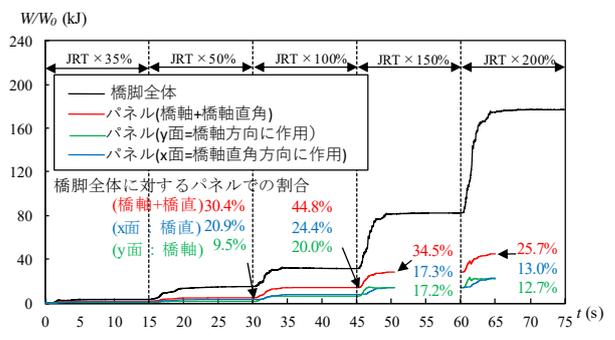


図-8 吸収エネルギーの時刻歴

いので、+y 面の応答ひずみの変動周期は+x 面に較べ明らかに短い。また、JRT50%~JRT100%では、+x 面のせん断パネルの応答ひずみが大いだが、加振倍率の上昇につれ、+y 面のせん断パネルのひずみの増加率が大きくなり、図-7 のように JRT200%では両面のせん断ひずみの最大値はほぼ等しくなる。これは、柱上部と基部の塑性化で橋軸方向剛性が低下し、橋脚の橋軸方向のたわみ角が増加したためと考えられる。残留ひずみについては鋼管柱同様 JRT150%まではほとんど生じないが、JRT200%で鋼管の局部座屈で橋軸直角方向に傾くので x 面のせん断パネルに残留ひずみが生じている。なお、せん断パネルには局部的な曲げ変形は生じていない。

e) エネルギー吸収:中央橋脚の吸収エネルギーの時刻歴を図-8 に示す。この図中にはせん断パネル全体の吸収エネルギーの割合、さらに x 面と y 面のダンパーに分けた場合のそれぞれの吸収エネルギーとその最終的な割合も示している。CFT 柱の吸収エネルギーは橋脚全体の吸収エネルギーからせん断パネル全体の吸収エネルギーを引いたものになる。これより、せん断パネルの吸収エネルギーは JRT50%では橋脚全体の 30%を占めているが加振倍率が JRT100%では 45%に増加する。その後は CFT 柱の吸収エネルギーの増加が大きく、せん断パネルの割合は徐々に減少し、JRT200%では 26%になる。x 面と y 面については、d) で述べたように、JRT50%では圧倒的に x 面のせん断パネルが機能するが、柱の損傷が進むとほぼ同等に機能するようになる。

4. まとめ:レベル 2 相当地震動の 3 倍を入力した場合、CFT 柱鋼管の応答ひずみは $9\epsilon_y$ 近くに到達するが、橋脚には残留変位はほとんど発生しなかった。4 倍の地震動入力では残留変位を生じるが $h/100$ を若干超える程度であり、安全性は確保される。