

円形 RC 橋脚模型の三次元振動台加震実験

(独) 土木研究所 正会員 ○堺 淳一
 (独) 土木研究所 正会員 運上 茂樹

1. まえがき

これまで鉄筋コンクリート橋脚（RC 橋脚）の変形性能に関する研究が国内外で盛んに行われ、RC 橋脚の耐震性が向上してきている。しかし、水平 2 方向やこれに上下を含む 3 方向の地震入力を受ける RC 橋脚の地震時の挙動やその耐震性能に関する研究^{1),2)}は少ない。本研究では直径 600 mm の円形断面鉄筋コンクリート橋脚模型に対する 3 次元振動台加震実験を行い RC 橋脚の地震応答における多方向地震入力の影響を評価した。

2. 実験模型と入力地震動

図 1 に実験模型を示す。模型の断面は直径 600 mm の円形とし、せん断支間比は 5 となるように模型高さを設定した。橋の上部構造による慣性力および軸力を模擬するために、RC 橋脚模型の頂部には鋼板を載せた。慣性質量は 27,000 kg、柱基部における軸力は 280 kN となる。これを軸応力として表すと 0.99 MPa である。

橋脚模型には、軸方向鉄筋として D10 を 40 本、横拘束筋として D6 を 75 mm 間隔で配置した。軸方向鉄筋比および横拘束筋比は 1.01%、0.31% である。D10、D6 の降伏強度はそれぞれ 351 MPa、340 MPa である。コンクリートの実験時の強度は 41.6 MPa である。現行の道路橋示方書 V 耐震設計編³⁾に基づき、タイプ II 地震動を想定した場合には、本模型の降伏変位、終局変位、曲げ耐力はそれぞれ 0.016 m、0.055 m、100 kN となる。

既往の RC 橋脚模型に対する振動台実験では、1 つか 2 つの強いパルスが構造物の応答を支配するような断層直近の地震動の水平 2 方向成分が用いられることが多かった。本研究ではいくつかの強いパルスが構造物の応答に影響し、その応答がすべての象限で生じるような地震動を用いること、水平 2 方向 + 上下方向の 3 方向成分を入力することとした。事前解析の結果に基づき、1983 年の日本海中部地震において津軽大橋の周辺地盤上で観測された地震動を用いることとした。実験は軸方向鉄筋が降伏する前のレベルの加震（線形加震）と応答じん性率が 10 程度となるレベルの加震（非線形加震）の 2 段階で行った。地震動の振幅は、事前解析の結果に基づき、それぞれ 0.2 倍、4 倍することとした。

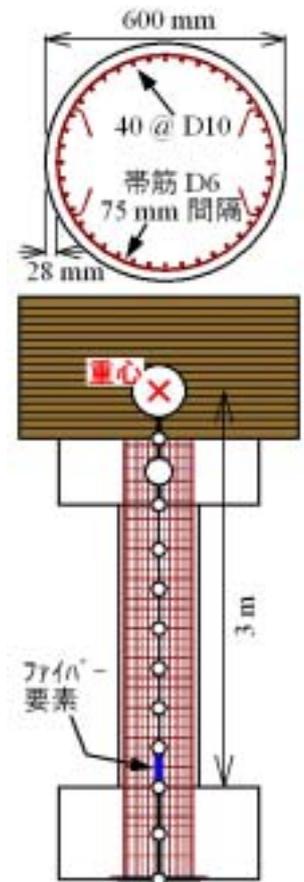


図 1 実験模型

3. 三次元加震を受ける RC 橋脚の地震応答

図 2 は上部マスの重心における応答変位である。大きな応答が生じた X 方向の結果のみを示す。非線形加震の場合、現行の耐震設計基準に基づく鉄筋コンクリート橋脚の終局変位を複数回超える応答が生じた後（点 B）には、かぶりコンクリートの軽微な剥落しか生じなかった。応答が大きくなり、応答変位が終局変位の 2 倍に達したとき（点 C）、柱基部から 250 mm の範囲にかぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋の座屈が生じ、応答変位が終局変位の 3.4 倍に達したとき（点 D）に軸方向鉄筋が破断した。図 3 に水平力～水平変位の履歴、水平力の軌跡、水平力～軸力の履歴を示す。図中の点 A では、2 軸曲げの影響により主軸方向の水平耐力が 100 kN から 85 kN（X 方向）、55 kN（Y 方向）にそれぞれ低下している。上下方向入力による軸力の変化に伴う水平方向の応答への影響は顕著には見られない。

4. ファイバー解析の精度

上記の実験結果を、図 1 に示した解析モデルを用いてファイバー解析により再現した。コンクリートの横拘

キーワード 橋, 鉄筋コンクリート橋脚, 振動台加震実験, 多方向入力, ファイバー解析

連絡先 〒305-8516 つくば市南原 1-6 (独) 土木研究所 耐震研究グループ 耐震チーム TEL: 029-879-6773

束モデルには Hoshikuma らの提案モデル⁴⁾、履歴特性には Sakai と Kawashima のモデル⁵⁾、鉄筋の降伏後剛性は初期剛性の 2%とし、履歴特性は堺と川島のモデル⁶⁾を用いた。ここでは、減衰の仮定が応答の推定精度に及ぼす影響に着目した。解析による推定値を図 2 に示す。線形加震では、減衰定数 $\xi = 2\%$ を見込んだ Rayleigh 減衰を用いると実験結果をよく推定できる。非線形加震の場合は、軸方向鉄筋に座屈が生じる（点 C）前の段階であれば、粘性減衰が非常に小さい場合を想定した減衰定数 $\xi = 0.1\%$ を用いた Rayleigh 減衰を用いると応答の推定精度が向上する。

5. 結論

1) 本実験模型では、現行の耐震設計基準に基づく鉄筋コンクリート橋脚の終局変位を複数回超える応答が生じる場合には、かぶりコンクリートの軽微な剥落を生じた。 2) 2 軸曲げの影響により主軸方向の水平耐力が低下し、水平 2 方向の入力の影響が確認されたが、上下方向入力の影響は顕著ではなかった。 3) 非線形応答の場合には、粘性減衰が非常に小さい場合を想定した減衰定数 0.1% を見込んだ Rayleigh 減衰を用いると解析による実験の応答の推定精度が向上する。

謝辞

本研究は、(独)防災科学技術研究所が進める「E-ディフェンスを活用した国内外共同モデル研究」の橋梁耐震実験研究の援助にて実施しました。強震記録は、国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室より提供いただきました。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

1) Mahin and Hachem: Bi-directional seismic response of reinforced concrete bridges, Proc. of International Workshop on Mitigation of Seismic Effects on Transportation Structures, pp. 13-24, Taipei, Taiwan, 1999. 2) 西田秀明, 運上茂樹, 長屋和宏: 正方形断面 RC 柱の水平二方向非線形領域加振振動台実験, 第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, (社)土木学会 地震工学委員会, pp. 913-916, 2001. 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002. 4) Hoshikuma et al.: Stress-strain model for confined reinforced concrete in bridge piers, JSE, ASCE, 123-5, 624-633, 1997. 5) Sakai and Kawashima: Unloading and reloading stress-strain model for confined concrete, JSE, ASCE, 132-1, 112-122, 2006. 6) 堺, 川島: 部分的な除荷・再載荷を含む履歴を表す修正 Menegotto-Pinto モデルの提案, 土木学会論文集, No. 738/I-64, 159-169, 2003.

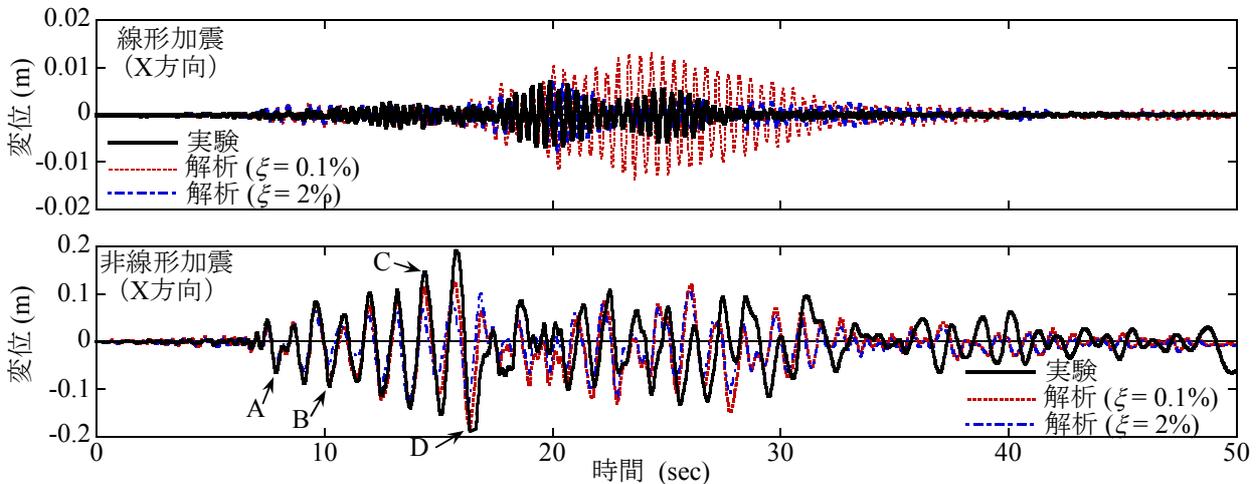


図 2 上部マスの重心における応答とファイバー解析の精度

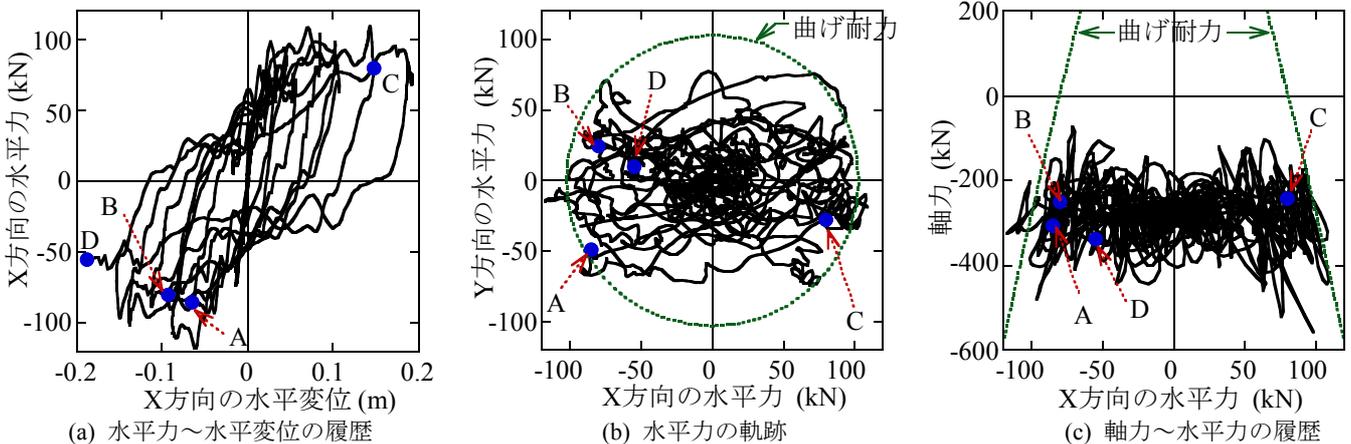


図 3 応答の履歴 (X 方向)