

アンボンド PC 鋼棒を配置した RC 橋脚の震動台実験

カリフォルニア大学バークリー校 正会員 堺 淳一
 カリフォルニア大学バークリー校 Stephen A. Mahin

1. まえがき

橋脚の変形性能を重視した近年の設計基準によって設計された鉄筋コンクリート橋脚（RC 橋脚）は、強震動による崩壊は免れるものの、地震後に大きな残留変形が生じ、それによって橋梁としての機能を維持できない可能性がある。こうした残留変形を低減するため方法を開発することを目的として、カリフォルニア大学バークリー校において震動台加震実験を行った。

2. 実験供試体

図-1 に実験供試体を示す。RC 橋脚模型は、カリフォルニア州交通局の設計基準¹⁾に基づき設計された円形断面橋脚の 4.5 分の 1 模型である。断面直径は 0.406 m、橋脚基部から上部構造をモデル化したコンクリートブロックの重心までは 2.4 m で、せん断支間比は 6 である。橋脚にかかる死荷重は 290 kN であり、これを軸方向耐力比にすると 6.5% である。降伏強度が 480 MPa、直径 13 mm の異形棒鋼を軸方向鉄筋として 12 本配置し、降伏強度が 600 MPa、径が 5.4 mm の丸鋼をスパイラル筋として 32 mm 間隔で配置した。軸方向鉄筋比、横拘束筋比はそれぞれ 1.19%、0.76% である。一方、残留変位を低減させるためには、橋脚断面の中心にアンボンドにした PC 鋼棒を配置し、適度な緊張力を与えることで地震後の残留変位をゼロに近づけることが可能であることが解析的研究より分かった²⁾ ため、こうした構造を採用した。アンボンド PC 鋼棒を断面中心に配置した橋脚模型（以下、PC 橋脚模型）では、断面直径、せん断支間比、スパイラル筋は RC 橋脚模型と同じとしたが、軸方向鉄筋の径を 10 mm とし、断面中心に配置したパイプの中心に直径 32 mm の PC 鋼棒を挿入し、380 kN の初期緊張力を与えた。軸方向鉄筋と PC 鋼棒をあわせた軸方向鉄筋比は 1.28%、死荷重と PC 緊張力をあわせた軸方向耐力比は 15% である。PC 鋼棒の降伏耐力は 807 kN であり、初期緊張力は降伏耐力の 45% に過ぎない。

3. 実験に用いた入力地震動

震動台実験は、水平 2 方向の加震とし、その入力地震動として、1989 年の Loma Prieta 地震で観測された Los Gatos 記録の修正波を用いた。この修正波は、観測された地震記録を断層直交および平行方向の地震動を表すように修正されたもの³⁾ を、さらにバンドパスフィルターにより 0.4 Hz 以下の低周波成分、15 Hz 以上の高周波成分を除去したものである。最大加速度は、X 方向、Y 方向でそれぞれ 7.3 m/s^2 、 4.5 m/s^2 である。実験は、4 段階にわけ、徐々に入力地震動の強度を高める方式で行った。まず、弾性応答特性を調べるための弾性レベル実験、続いて、降伏レベルの実験、さらに、応答じん性率が 4~6 になることを目指した設計地震動レベルの実験、最後に、最大地震動レベルの実験とした。地震動強度は事前にファイバー要素を用いた非線形動的解析の結果に基づいて決定し、修正波に 7%、10%、70%、100% の係数をかけた。

4. アンボンド PC 鋼棒を用いることによる残留変位低減効果

図-2 に橋脚の応答を示す。また、図-3 に最大地震動レベルの実験後の橋脚模型の損傷状況を示す。設計地震動レベルの地震動を受けると、最大応答変位は両模型でほぼ同程度（0.15 m、応答じん性率=6）であるが、実験後には PC 橋脚模型には残留変位がほとんど生じないのに対して、RC 橋脚模型では 0.025 m の残留変位が生じる。これは、RC 橋脚の降伏変位に相当する。最大地震動レベルの地震動を受けると、5 秒付近まで両模型は同じような応答を示す。このときの応答変位は 0.25 m と応答じん性率は 10 を超えている。この後、PC 橋脚模型では振動の中心が原点付近に戻るのに対し、RC 橋脚模型では変位がそのまま負側に大きく残留し、

キーワード 鉄筋コンクリート橋脚 震動台実験 残留変位 PC 鋼棒 アンボンド

連絡先 PEER, UC Berkeley, 1301 S. 46th St., Richmond, CA, 94804, USA Email: sakai@peer.berkeley.edu

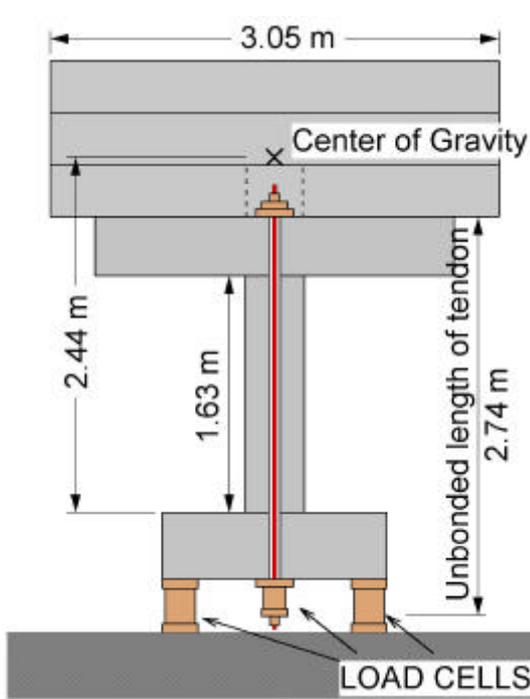
X 方向には最終的に 0.25 m もの変位が残留する。図-3 から分かるように RC 橋脚模型は倒壊を免れても橋梁としての機能を失っている。一方、PC 橋脚の残留変位は 0.05 m 程度と RC 橋脚模型より 80% も小さく、アンボンド PC 鋼棒を橋脚断面の中心に配置することにより、残留変位が大きく低減されることが分かる。なお、いずれの供試体も橋脚基部の損傷は、被りコンクリートが剥落した程度で、軸方向鉄筋の破断・座屈やスパイラル筋の破断、コアコンクリートの圧壊といった損傷は見られなかった。

5. まとめ

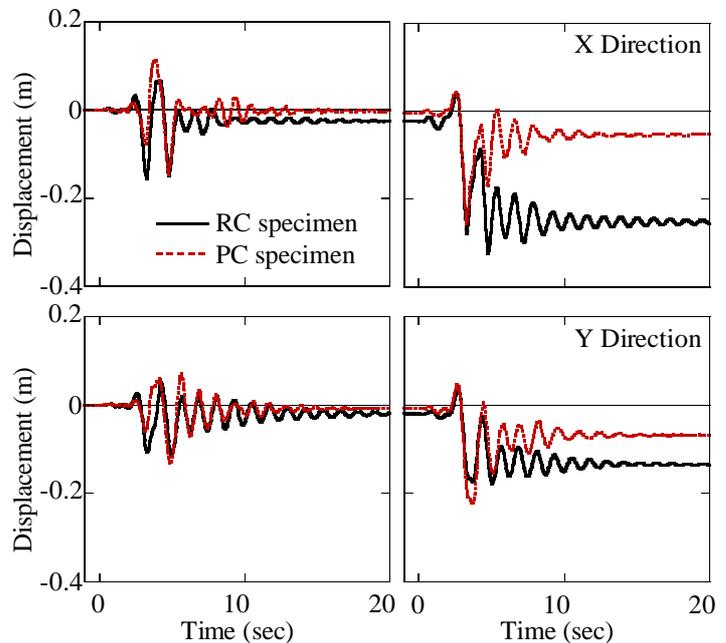
震動台実験によりアンボンド PC 鋼棒を円形断面 RC 橋脚の中心に配置することで、地震後の残留変位が低減できることを示した。また、最大応答変位、基部の損傷の程度は RC 橋脚と大差ないことが分かった。

6. 参考文献

1) California Department of Transportation: Seismic design criteria Ver. 1.2., 2001; 2) Sakai, J. and Mahin, S. A.: Analytical investigations of new methods for reducing residual displacements of reinforced concrete bridge columns, PEER-2004/02, UC Berkeley, 2004; 3) Somerville, P., Smith, N. Punyamurthula, S. and Sun, J.: Development of ground motion time histories for phase 2 of the FEMA/SAC steel project, Rep. SAC/BD-97/04, SAC Joint Venture, 1997.

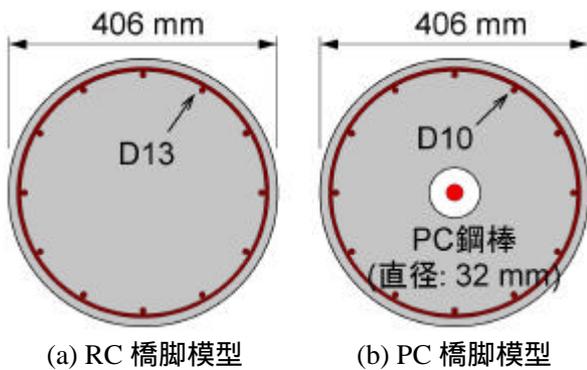


(1) 実験供試体 (PC 橋脚模型)



(a) Design Level Test (b) Maximum Level Test

図-2 慣性力作用位置の応答変位

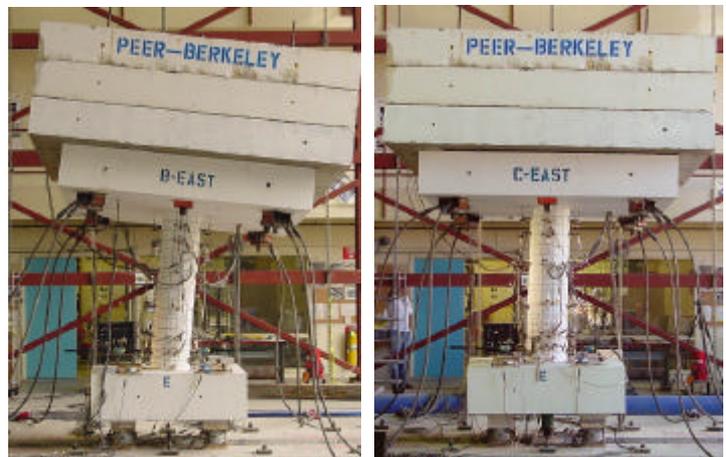


(a) RC 橋脚模型

(b) PC 橋脚模型

(2) 橋脚断面

図-1 震動台実験模型



(a) RC 橋脚模型

(b) PC 橋脚模型

図-3 橋脚模型の残留変位 (最大地震動レベル)