

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656102

研究課題名（和文）超高強度コンクリートを用いた耐震ダメージフリー橋脚の開発

研究課題名（英文）Development of Seismically Damage-free Bridge Columns using Ultra High Strength Fiber Reinforced Cement

研究代表者

川島 一彦 (KAWASHIMA KAZUHIKO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：20272677

研究成果の概要（和文）：本研究は、帯鉄筋によりコアコンクリートを横拘束して変形性能の高い RC 橋脚を建設するという従来の考え方を捨て、塑性ヒンジ区間には、圧縮縁に強度 150MPa 以上の超高強度コンクリートセグメントを使用することにより圧縮破壊を防止すると同時に、この中に軸方向鉄筋を埋め込み、軸方向鉄筋の局部座屈を防止することにより、変形性能が高く、大地震時にも機能を確保できるダメージフリー橋脚を開発しようとするものである。2 種類の構造を開発し、非線形動的解析 2 方向繰り返し載荷実験、ハイブリッド載荷実験に基づき、超高強度コンクリートセグメントを用いた高じん性橋脚の開発が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This investigation aimed of developing a new ductile damage-free bridge columns using ultra-high strength fiber reinforced cement composite in stead of providing high lateral confinement to the core concrete by ties. Based on cyclic and hybrid loading experiments as well as nonlinear dynamic response analysis, it was found that a new ductile damage-free bridge column can be developed using ultra-high strength fiber reinforced cement composite.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	0	1,700,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	450,000	3,650,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：防災、構造工学・地震工学、耐震、減災、自然災害

1. 研究開始当初の背景

現在の耐震設計では、1) 中小地震に対しては機能保持、2) 大地震に対しては崩壊防止が一般に性能目標とされている。しかしながら、崩壊防止という性能目標は、とりも直さず大地震時には大被害が生じることを許容していることから、現状では地震直後の使

用性は保証されておらず、また、復旧にも長期間を要することが許容されていることになる。もとより、これは大地震の発生頻度が低いことを考慮し、建設費の増加を極力抑えるための措置である。

しかしながら、大都市圏では地震直後の避難や復旧資機材の運搬が最重要であり、交通

施設、特にその要となる橋梁は大地震の際に崩壊しないだけでは不十分であり、地震直後にも機能を保持できると同時に、長期的な復旧に要する期間も極力短くすることが求められている。橋梁の耐震性は一般に橋脚の性能に大きく依存することから、変形性能に富むRC橋脚の開発が重要となる。

このような要求を満足できる橋脚をここでは“ダメージフリー橋脚”と定義し、ダメージフリー橋脚を建設可能とするための技術開発が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究は、帯鉄筋によりコアコンクリートを横拘束してコンクリートが最大応力から塑性変形に達し、圧壊する際のひずみを大きくすることにより、橋脚としての変形性能を向上させるという従来の考え方を捨て、塑性ヒンジ区間には、圧縮縁に強度 180MPa~200MPa の超高強度コンクリートセグメントを使用することによりコアコンクリートの圧縮破壊を防止すると同時に、この中に軸方向鉄筋を埋め込み、軸方向鉄筋の局部座屈を防止することにより、変形性能の高く、大地震時にも機能を確保できるダメージフリー橋脚を開発しようとするものである。

3. 研究の方法

超高強度コンクリートの利点を活かして橋脚圧縮縁の圧壊を防止すると同時に、軸方向鉄筋の座屈を抑止し、変形性能を高め、普通強度コンクリート部の圧壊・破砕したコンクリート片が鉄筋かごから逸脱することによる復元力低下を防止することを繰り返し載荷実験、及び、ハイブリッド載荷実験によって検証すると同時に、非線形動的解析によって実験結果のフォローアップを図る。

4. 研究成果

ダメージフリー橋脚に適した上記コンセプトに基づく適用性の高い構造形式として、超高強度コンクリートを用いて中空状のセグメントを造り、せん断抵抗メカニズムとして、超高強度コンクリートセグメント内にRC構造を設けた構造（内側RC構造）と超高強度コンクリートセグメントをPCケーブルで縦締めし、セグメント間の滑りを拘束する構造（PC縦締め構造）の2種類を提案した。

橋脚が塑性化する基部において、従来のコアコンクリートを超高強度コンクリートに置き直しただけでは、超高強度コンクリートセグメントが抵抗する結果、この部分が塑性ヒンジとして機能せず、超高強度コンクリー

トセグメントを使用した領域の上部で新たな損傷が生じることとなり、橋脚のダメージフリー化を達成できない。このため、塑性ヒンジ部で超高強度コンクリートセグメントをセグメント化し、セグメント間に目地開きを生じさせることにより塑性ヒンジ区間において変形性能を確保できるようにしたものである。

このようなコンセプトに基づいて、超高強度コンクリートセグメントを配置すべき橋脚の塑性ヒンジ部の高さや厚さ、超高強度コンクリートセグメントの応力~ひずみ関係を検討し、図-1に示すように、2種類の構造を開発した。最初は塑性ヒンジ部の超高強度コンクリートをセグメント化することに伴うせん断抵抗メカニズムを与えるために、セグ面内に一般の橋脚よりも少なめに配筋したRC構造を設ける構造で、以下、内側RC構造と呼ぶ。2番目は塑性ヒンジ部だけでなく、フーチングから橋脚上部までをPCケーブルで縦締めし、プレストレスを導入することにより、セグメント間のせん断抵抗を増加させると同時に、塑性ヒンジ部の損傷の進展に伴う残留変位の蓄積を防止し、原点指向性の復元力を与えようとする構造で、以下、PC縦締め構造と呼ぶ。

本研究では、平成22年度に内側RC構造とPC縦締め構造の模型橋脚を各1体を製作し、一定軸力作用下における円形オービットによる水平2方向同時載荷を実施した。この結果、内側RC構造の方がダメージフリー橋脚として優れた特性を示したことから、平成23年度には、内側RC構造模型をさらに1体製作し、我が国の代表的断層近傍地震動である1995年兵庫県南部地震の際にJR鷹取駅で観測された地震動を作用させた2方向ハイブリッド載荷を行い、変形特性を検討した。繰返し載荷実験は基本的な実験方法であるが、地震動作用下の構造物の特性を検討するためには過酷過ぎる条件での実験になるこ

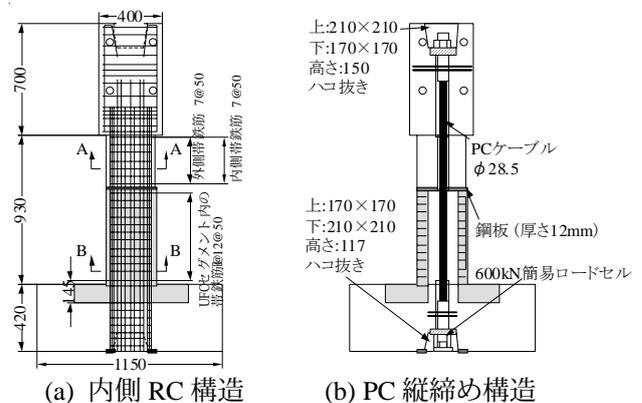


図-1 載荷実験模型

とから、変形性能をハイブリッド载荷実験により実地震時の変形特性を検討したものである。

繰り返し载荷実験では、超高強度コンクリートを塑性ヒンジ部でセグメント化した結果、内側 RC 構造、PC 縦締め構造ともに、想定通りにセグメント間で目開きが生じ、図-2 に示すように、繰り返し载荷実験下では、内側 RC 構造ではドリフト 4% まで安定した履歴特性を示した。

PC 縦締め工法でもドリフト 2.5% までは安定した特性を示したが、これ以降では曲げ復元力の急速な低下が生じた。これは PC 縦締め効果により水平加震によりセグメント間に目開きが生じ始めると、PC ケーブルによる軸力増分が大きくなり、圧縮側に位置する超高強度コンクリートセグメントが抵抗性能を超えた軸力を受けるようになった結果、破断し始めたためである。セグメント間の小さな面積どうしの接触による超高強度コンクリートの圧壊は解析的には検討が難しいことから、PC 縦締め工法においてはさらに超高強度コンクリートセグメントの厚さを改良する必要がある。

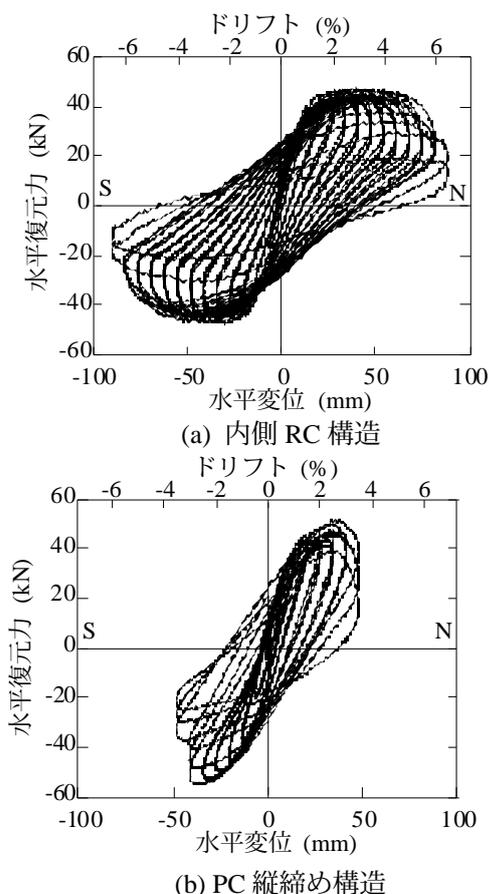


図-2 2方向繰り返し载荷 (NS 方向)

一方、内側 RC 構造に対するハイブリッド载荷実験では、加震強度をオリジナルの JR 鷹取記録の 2.58%、6.45%、25.8%、38.7% と順次増加させて加震を行った。オリジナル記録の 2.58%、6.45% を作用させた場合には橋脚はほぼ弾性範囲内であり、損傷は見られない。オリジナル記録の 25.8% を作用させた場合には、ドリフトは 3.1% (NS) ~ 3.8% (EW 方向) と大きくなったが、この段階では、写真-1 に示すように、最も大きく曲げ圧縮を受ける SW コーナーにおいても、超高強度コンクリートセグメントにはまだ損傷は生じていない。セグメント間には目開きが生じ、変形性能の向上に寄与している。

オリジナル記録の 38.7% を作用させた場合の橋脚荷重作用点における応答変位が図-3、主応答方向の履歴曲線が図-4 である。ドリフトは 8.6% (NS) ~ 11.1% (EW) であり、両成分を合成すると、13.4% に達する。この時の超高強度コンクリートセグメントの損傷を示すと写真-2 のようになる。最下段のセグメントには縦方向に細かいひび割れが生じ、圧壊が進展しつつあるが、まだ、自重に対する荷重保持能力は確保されている。主応答方向の履歴曲線によれば、負側に 13.4% の応答が生じた後の最载荷課程では、曲げ復元力が低下しているが、ドリフト 8% 程度までの履歴はきわめて安定している。

ドリフト 13.4% ということは、高さ 10m の橋脚があれば、最大応答変位が 1.34m に達することに相当する。このような大きな応答変位は車両走行上から許容できないことから、耐震性の観点から確保すべき橋脚の変形性能は十分であることを示している。すなわち、今回開発した超高強度コンクリートセグメントと内側 RC 構造の組み合わせた橋脚形式はダメージフリー橋脚として十分な性能を満足できることを示している。

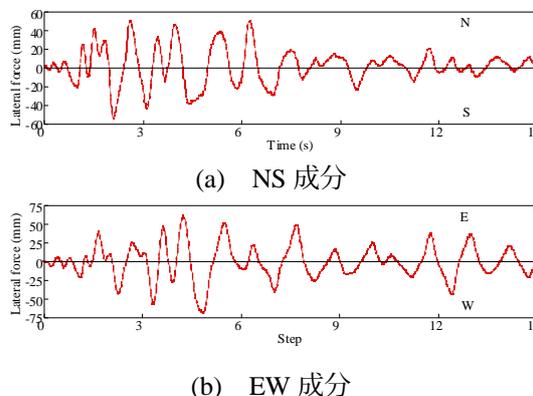


図-3 ハイブリッド载荷時の応答変位 (オリジナル記録の 38.7% を作用させた場合)

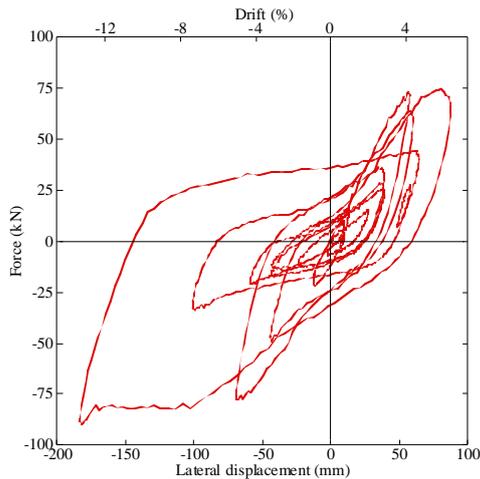


図-4 水平力～水平変位の履歴曲線（オリジナル記録の38.7%を作用させた場合）



写真-1 塑性ヒンジ部（SWコーナー、オリジナル記録の25.8%を作用させた場合）



写真-2 塑性ヒンジ部（SWコーナー、オリジナル記録の38.7%を作用させた場合）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

(1)市川翔太, 張銳, 佐々木智大, 川島一彦, Mohamed ElGawady, 松崎 裕, 山野辺慎一: UFC セグメントを用いた橋脚の耐震性, 土木学会論文集 A1S (地震工学論文集), 印刷中, 2012

〔学会発表〕（計4件）

- (1)市川翔太, 張銳, 佐々木智大, 川島一彦, Mohamed ElGawady, 松崎 裕, 山野辺慎一, UFCセグメントを用いた橋脚の耐震性, 第31回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, No.31, pp. 1-10, Paper No.3-085 (CD-ROM), 2011.11.17, 東京
- (2)市川翔太, 張銳, 佐々木智大, 川島一彦, Mohamed ElGawady, 松崎裕, 山野辺慎一, UFC セグメントを用いた橋脚の耐震性, 第8回日本地震工学会大会梗概集, No.8, 2011, pp. 202-203, 2011,11,10, 東京
- (3)Zhang, R., Sasaki, T., ElGawady, M., Kawashima, K. and Matsuzaki, H., Seismic Performance of UFC Jacket Piers, 第14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講演論文集, 土木学会, No.14, pp. 137-142, 2011.7.28, 東京
- (4)金光嘉久, 山野辺慎一, 曾我部直樹, 川島一彦, 松崎裕, 佐々木智大, 強高強度繊維補強コンクリートを用いた道路橋 RC 橋脚の二方向載荷実験とファイバーモデル解析, 第14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講演論文集, 土木学会, No.14, pp. 387-394, 2011.7.28, 東京

6. 研究組織

(1)研究代表者

川島 一彦 (KAWASHIMA KAZUHIKO)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：20272677

(2)研究分担者

松崎 裕 (MATSUZAKI HIROSHI)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：10506504