

地震後の復旧性能の向上を目指した PC 橋脚の正負交番载荷実験の再現解析

宇都宮大学 学生会員 ○藤岡 光

正会員 藤倉 修一

正会員 Thay Visal

学生会員 出町 元大

学生会員 吉川 遼

1. はじめに

大規模地震発生時に、橋梁等の交通施設を確保することは、避難や救助等を行ううえで重要である。そのため、橋梁には、地震後に損傷部を速やかに補修し、早期の復旧が求められる。しかしながら、2016年に発生した熊本地震では、地盤変位の影響を含む残留変位等が原因で、橋梁の復旧に長期間を要した事例があることから、今もなお橋梁の復旧性能には課題が残されている。そこで、筆者らは、橋梁の復旧性能の向上を目指し、橋脚軸方向にプレストレスを導入したプレレストコンクリート (PC) 橋脚を提案し、正負交番载荷実験によって提案橋脚の耐荷性能や復旧性能を検証している²⁾。提案橋脚は、プレストレスにより残留変位を低減するとともに、断面コア部に鋼管を配置することで、橋脚の復旧性能の向上を図った橋脚である。本研究では、提案橋脚と、比較用に作製した一般的な鉄筋コンクリート (RC) 橋脚に対して行った正負交番载荷実験の再現解析を行い、解析モデルの妥当性を検証した。

2. 橋脚供試体および実験概要

本研究で作製した RC 供試体と提案橋脚である PC 供試体の概要を図-1 に示す。PC 供試体は、RC 供試体の断面コア中心部に鋼管および緊張材を配置した供試体である。PC 供試体については導入する緊張力の大きさを変えた 2 つの供試体を作製した。断面に対して軸応力 $0.2\text{N}/\text{mm}^2$ 相当である 24.5kN の緊張力を導入した供試体を PC-S 供試体、軸応力 $3.0\text{N}/\text{mm}^2$ 相当である 367.5kN の緊張力を導入した供試体を PC-L 供試体とした。各供試体の断面は $350\text{mm} \times 350\text{mm}$ の正方形で、有効高さ 1100mm である。橋脚供試体の軸方向鉄筋比は 1.65% 、帯鉄筋比は 0.73% である。载荷については、一定鉛直荷重のもと、橋脚供試体柱頭部に水平力を与え、正負交番载荷を行った。载荷変位については、橋脚高さに対する水平変位の比で表されるドリフト 0.5% に相当する水平変位 5.5mm を基準変位とし、その整数倍の変位振幅を与えた。鉛直荷重として 23.0kN 分の鋼製錘を柱頭部に上載しており、橋脚断面に作用する軸応力は $0.19\text{N}/\text{mm}^2$ であ

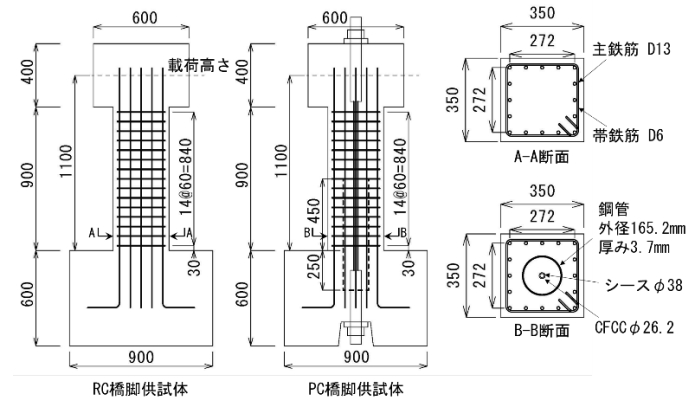


図-1 提案橋脚の概要

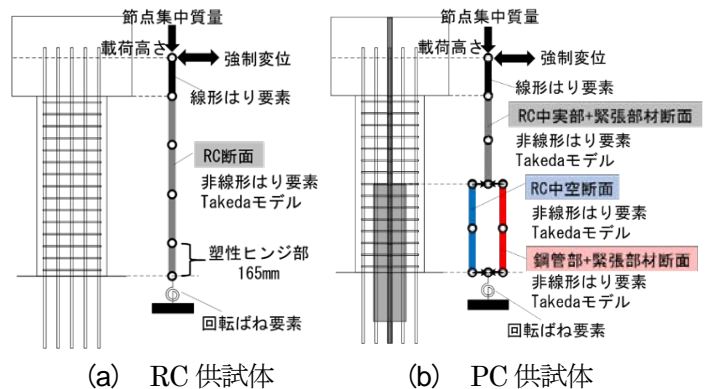


図-2 解析モデル

る。

3. 解析概要および解析モデル

橋脚供試体の解析モデルを図-2 に示す。橋脚部には RC 構造の繰返し荷重作用下で剛性低下を考慮できる Takeda モデル³⁾を使用した。柱頭部は線形はり要素とし、橋脚基部には、軸方向鉄筋の伸び出しによる橋脚の回転変形を考慮するために線形回転ばね要素を設けた。柱頭部の節点には鋼製錘の質量を節点集中質量として与え、载荷位置に実験と同じ変位および繰返し回数を強制変位で与えた。RC 供試体では、塑性ヒンジ長を考慮し基部の要素長を 165mm とし、残りの橋脚部分を等しく 245mm ずつ 3 分割した。PC 供試体では、橋脚部の長さ 900mm を 4 つに等分し、ひとつの要素長を 225mm とした。PC 供試体では、鋼管にずれ止め等を配置しなかったため、曲げ変形時に鋼管部と外側 RC 部の縁が切れ、重ね梁の

キーワード プレレストコンクリート、解析、残留変位、復旧性能、鋼管

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 TEL : 028-689-6227

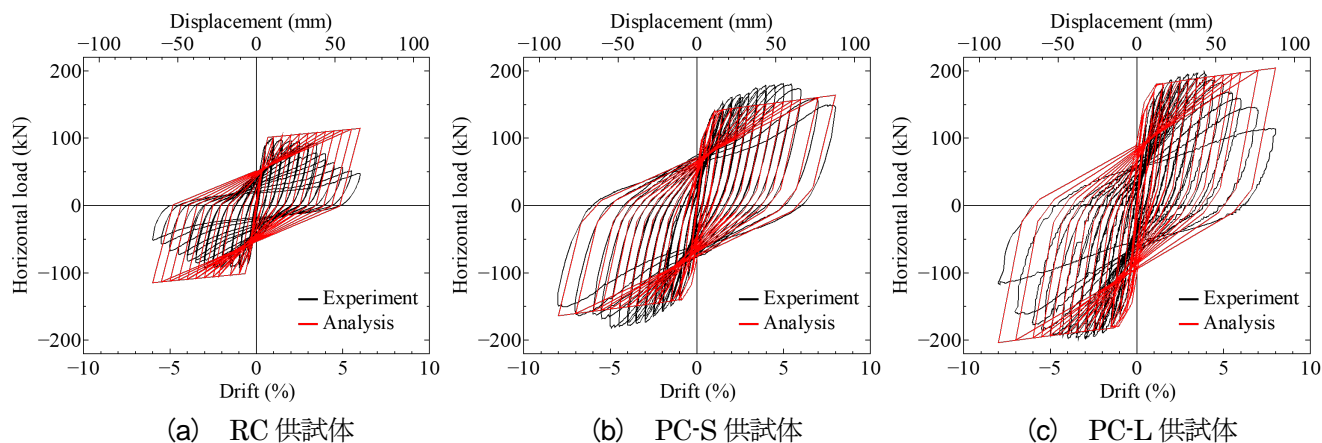


図-3 解析結果

ように挙動していたと考えられる。そのため、鋼管を有する断面では、鋼管部分を除いた RC 中空断面の要素と、コンクリート充填鋼管および緊張材から構成される断面の要素に分け、2つの要素を並列に配置し、橋脚基部と鋼管上端位置でそれぞれを剛に結合した。Takeda モデルに与えるパラメーターは、各断面の断面計算で算出した $M-\phi$ 関係の骨格曲線をもとに決めた。断面計算に用いた材料モデルについては、鉄筋および鋼管にはバイリニア型モデルを使用し、緊張材には線形モデルを用いた。コンクリート材料モデルの骨格曲線には道路橋示方書 V 耐震設計編⁴⁾の式を用い、帯鉄筋による横拘束効果を考慮した。また、鋼管内部の充填コンクリートは、最大圧縮応力に到達後、最大応力を維持するものとした。Takeda モデルにおける除荷剛性の低下度合いを表すパラメーター α は Takeda ら³⁾の研究を参考に 0.4 とした。

4. 再現解析結果

解析による荷重-変位関係を実験結果と併せて図-3に示す。RC 供試体では、負荷荷側で解析による最大荷重が実験よりも 10%程度大きいものの、正荷側では最大荷重は良く一致しており、除荷履歴についても比較的よく再現できている。ドリフト 4.0%以降の実験結果では、軸方向鉄筋の座屈により荷重が急激に低下しているが、解析においては、軸方向鉄筋の座屈は考慮されていないため、載荷変位とともに荷重は漸増している。PC-S 供試体では、解析の最大荷重は実験よりも約 15%小さいが、PC-L 供試体では最大荷重の差が 4%程度と RC 供試体と同程度の差であった。PC 橋脚の実験結果では軸方向鉄筋降伏後に二次勾配が発現しており、これは、主に橋脚の変形に伴う緊張材の軸力増加によるものと考えられるが、Takeda モデルによる $M-\phi$ 関係を用いた解析では、軸力も含めた載荷前の断面状態をもとに解析を行うため、橋脚の変形に伴う緊張材の軸力変動による影響が考慮され

ない。また、RC 供試体の解析結果と同様に、PC-S および PC-L 供試体の解析結果は、軸方向鉄筋の座屈による荷重の低下は再現できていないが、除荷履歴については比較的よく再現できている。本解析では、RC 橋脚および PC 橋脚ともに Takeda モデルにおける除荷剛性の低下度 α を 0.4 とすることで、一般的な RC 橋脚だけでなく、断面に鋼管や緊張材を配置した PC 橋脚でも、実験の除荷履歴をよく表すことができた。

5. 結論

提案構造である PC 橋脚および一般的な RC 橋脚の正負交番載荷実験に対し、Takeda モデルによる $M-\phi$ 関係を用いた実験の再現解析を行った結果、PC 橋脚では変形に伴う緊張材の軸力変動の影響が考慮できないため、実験で確認された二次勾配を再現できない問題点があるものの、特に RC 供試体と PC-L 供試体については、除荷履歴や最大荷重をある程度再現できた。

参考文献

- 1) 大住道生, 星隈順一: 熊本地震により被害を受けた道路橋の損傷痕に基づく要因分析, 第 20 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, pp.121-128, 2017.
- 2) 藤岡光, 藤倉修一, 出町元大, Thay Visal, 吉川遼, 運上茂樹: 地震後の復旧性能の向上を目指した PC 橋脚の正負交番載荷実験, 第 49 回土木学会関東支部技術研究発表会, I-6, 2022.
- 3) Takeda, T., Sozen, M. A., Nielsen, N. N.: Reinforced concrete response to simulated earthquakes, *Journal of the Structural Division*, Vol.96, Issue 12, pp.2557-2573, 1970.
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2017.