

コア部にエクスパンドメタルを配置した PC 橋脚の正負繰返し載荷試験

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 奥山賢人 学生会員 出町元大 学生会員 吉川遼
 東北大学 正会員 運上茂樹 オリエンタル白石（株） 正会員 渡瀬博

1. はじめに

巨大地震発生後に、橋梁の崩壊や著しい損傷によって、交通機能が停止すると避難や救助活動、復旧活動等の妨げとなる恐れがある。そのため橋梁は地震後に崩壊を防ぐだけでなく、速やかに損傷箇所を補修することが重要である。しかしながら、兵庫県南部地震や熊本地震では鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC 橋脚）の残留変位等が原因となり^{1),2)}、復旧に長期間を要した事例がある。これらのことから、橋梁の地震後の復旧性能にはいまだ課題があり、迅速な復旧を実現する新たな橋脚構造の開発が必要である。そこで本研究では、地震後の復旧性能向上を目的として、残留変位を低減し、塑性ヒンジ部を速やかに補修可能とする、断面中心にプレストレスを導入した橋脚（以下、PC 橋脚）を提案する。提案構造に対して正負交番載荷実験を行い、基本的な耐震性能および復旧性能を検証した。

2. 提案する PC 橋脚コンセプト

本研究で作製した橋脚供試体を図-1 に示す。提案する橋脚構造は復旧性能を高めることを目的として、2 つの特徴を有する。一つ目は、断面中央にプレストレスを導入することによって残留変位を低減することである。二つ目は、断面中心部に円筒形のエクスパンドメタルを配置することで、エクスパンドメタルを境にコア部と外側の鉄筋コンクリート部の二重構造とすることである。これにより、地震時にはコア部コンクリートの損傷を防ぎ、地震後の復旧時にはコア部のみで橋梁の自重を支持し、損傷部のみを速やかに修復できる構造となる。なお、既往研究³⁾では、コア部に鋼管を配置しているが、せん断ひび割れ発生等の課題があったため、本研究ではコア部をある程度拘束しつつ、コア部とその外側部分の縁を完全に切らないようにエクスパンドメタルを使用した。

3. 正負交番載荷実験

(1) 橋脚供試体

図-1 に一般的な鉄筋コンクリート橋脚供試体（以下、RC 供試体）と、提案構造であるプレストレスを導入した橋脚供試体（以下、PC 供試体）の概要を示す。RC 供試体は、道路橋示方書⁴⁾の地震時保有水平耐力法に基づいて設計した。PC 供試体は、RC 橋脚のコア部に円筒形のエクスパンドメタルを配置し、断面中央に緊張材を配置した橋脚である。PC 供試体には断面の軸応力にして 3.0N/mm^2 に相当する

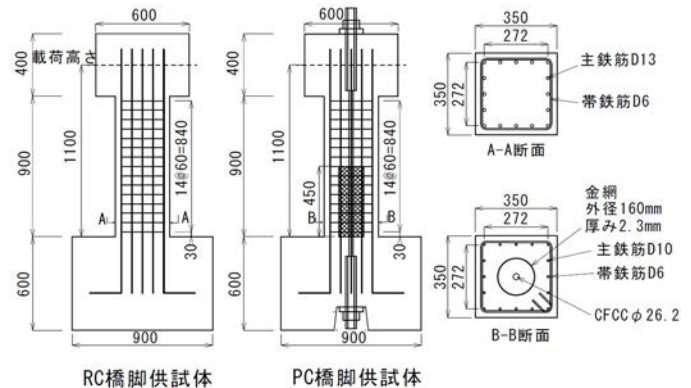


図-1 提案橋脚の概要

367.5kN の緊張力を導入した。エクスパンドメタルの直径は、エクスパンドメタルによって拘束されたコアコンクリート部分のみで橋梁の自重および緊張力による軸力を支持できるように決めた。使用したエクスパンドメタルの外径は 160mm 、厚さ 2.3mm である。各供試体の断面寸法は $350\text{mm} \times 350\text{mm}$ の正方形断面で、有効高さ 1100mm である。主鉄筋については、RC 供試体では D13 を、PC 供試体では D10 をそれぞれ 16 本使用し、主鉄筋比はそれぞれ 1.65% 、 0.93% である。帯鉄筋については D6 を 60mm 間隔で配置し、帯鉄筋比は 0.73% である。鉄筋の降伏強度は D13、D10、D6 でそれぞれ、 370N/mm^2 、 366N/mm^2 、 332N/mm^2 であった。実験当日におけるコンクリートの圧縮強度は、RC 供試体および PC 供試体でそれぞれ 35.3N/mm^2 、 34.8N/mm^2 であった。緊張材には炭素繊維複合ケーブル (CFCC) を使用し直径は 26.4mm 、引張強度 3.09kN/mm^2 、弾性係数は 162kN/mm^2 である。

(2) 載荷方法

鉛直荷重一定のもと、橋脚柱頭部に水平力を与える正負交番載荷を行った。載荷変位は橋脚高さに対する水平変位の比を示すドリフトにより定め、ドリフト 0.5% (5.5mm) の整数倍の変位振幅を与え、繰返し回数は 3 回とした。鉛直荷重は軸応力 1.0N/mm^2 に相当する 122.5kN とした。

4. 実験結果

(1) 損傷状況

RC 供試体では、 3.5% 正載荷で塑性ヒンジ部における主鉄筋の座屈やかぶりコンクリートの剥落が確認され、 5.0% 載荷で主鉄筋の破断により水平荷重が大幅に低下したため実験を終了した。PC 供試体においても同様に、 3.0% 正載荷で

キーワード プレストレス、残留変位、正負交番載荷実験、復旧性能、エクスパンドメタル

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



(a) RC 供試体

(b) PC 供試体

写真-1 載荷終了時の損傷状況

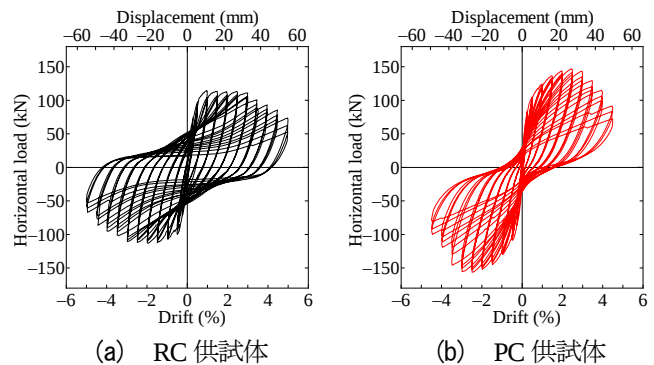
座屈やかぶりコンクリートの剥落が確認され、4.5%載荷で主鉄筋の破断により荷重が大幅に低下したため実験を終了した。載荷終了時における供試体基部の損傷状況を写真-1に示す。RC 供試体では、高さ約 200mm の範囲までかぶりコンクリートが剥落したのに対して、PC 供試体では、かぶりコンクリートの剥落範囲が高さ約 150mm と、RC 供試体に比べて損傷範囲が限定的であった。これは、PC 供試体において、エキスパンドメタルによってコア部のコンクリート部が横拘束を受けたため塑性ヒンジ部の損傷が限定されたと考えられる。

(2) 耐力および変形性能

図-2 に各供試体の荷重－変位関係の履歴曲線を示し、履歴曲線の包絡線の比較を図-3 に示す。包絡線とは荷重－変位関係において各載荷変位における 1 サイクル目の最大荷重をプロットした図である。また、図の横軸には基部からの載荷高さに対する水平変位の比であるドリフトおよび水平変位を示している。まず、各供試体の主鉄筋降伏荷重を正載荷側と負載荷側の平均値で比較すると、RC および PC 供試体でそれぞれ、95kN、97kN とほぼ等しく、最大荷重については、RC および PC 供試体でそれぞれ、113kN、151kN となり、PC 供試体は RC 供試体よりも 3割程度が大きかった。これは、PC 供試体においては、橋脚の変形に伴って、主鉄筋降伏後に、緊張材が大きく引張力を分担することによって、図-3 に示すように荷重－変位関係において二次勾配が生じたためである。また、水平荷重が最大荷重の 80% を下回った時を終局状態とすると、図-3 に示す包絡線図より、RC 供試体ではドリフト 4.5%、PC 供試体ではドリフト 4.0% で終局状態となり、PC 供試体は RC 供試体よりも終局変位が若干小さいが、ほぼ同程度の変形性能を有することがわかる。PC 供試体の終局変位が小さかったのは、プレストレスによる初期軸力により、コンクリートの圧壊が RC 供試体よりも若干早い段階で生じたためであると考えられる。

(3) 残留変位

図-4 は各供試体の残留変位を正載荷側と負載荷側の平均値で比較した図であり、横軸にドリフトおよび水平変位、縦軸に残留変位を示している。残留変位は各載荷で除荷が終了し荷重がゼロのときの水平変位である。図中には道路橋示方書⁴⁾で定められる許容残留変位である橋脚高さの 1/100 (11mm) も示した。図-4 より、PC 供試体の残留変位は、ドリフト 1.0%載荷以降、RC 供試体の 1/2 以下となってい



(a) RC 供試体

(b) PC 供試体

図-2 荷重－変位関係

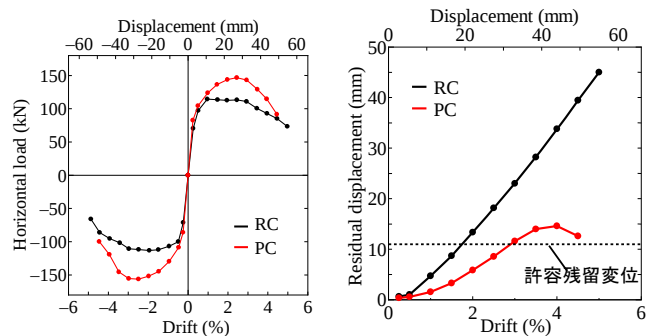


図-3 荷重－変位関係の包絡線

図-4 残留変位の比較

る。さらに、PC 供試体においてドリフト 4.0%載荷時の残留変位は最大となる 13mm であったが、許容残留変位 11mm よりも 18%大きい程度であった。これらのことから、本研究の提案構造である PC 橋脚は、一般的な RC 橋脚よりも残留変位を大幅に低減可能な構造である。

5. 結論

1. 断面コア部に円筒形のエキスパンドメタルを配置した PC 橋脚では、正負交番載荷終了時において、一般的な RC 橋脚よりも塑性ヒンジ長が短かった。
2. PC 橋脚では、主鉄筋降伏後に緊張材が大きく引張力を分担することによって、荷重－変位関係において二次勾配が生じ、最大荷重は増加する。また、PC 橋脚は一般的な RC 橋脚に比べて終局状態に至る水平変位が若干小さいものの、ほぼ同程度の変形性能を有する。
3. PC 供試体の残留変位は、RC 供試体のほぼ 1/2 以下となり、最大で残留変位は道路橋示方書の許容残留変位を 18%上回る程度で、提案構造である PC 橋脚は、一般的な RC 橋脚よりも残留変位を大幅に低減可能な構造である。

参考文献

- 1) 幸左賢二, 小野紘一, 藤井康男, 田中克典: 被災 RC 橋脚の残留変位に関する研究, 土木学会論文集, No.627/V-44, pp.193-203, 1999.
- 2) 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.
- 3) 藤岡光, 藤倉修一: 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.
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2017.