

基部に鋼管を有する RC 橋脚の耐震性に関する実験的研究

オリエンタル白石(株) 正会員 ○ 忍田祥汰 栃木県 非会員 白井祐太
宇都宮大学 正会員 藤倉修一 NGUYEN MINH HAI フェロー会員 中島章典

1. はじめに

兵庫県南部地震時に、崩壊した橋梁構造物に加えて、傾斜角度 1.0 度以上、または橋脚天端の水平変位が 150mm 以上の橋脚を撤去するなど橋梁構造物は甚大な被害を受けた¹⁾。このことから地震時保有水平耐力法による耐震設計が主流となり橋梁構造物は一般的に橋脚基部に塑性ヒンジ部を設ける事で、倒壊等の予期せぬ損傷モードを防ぐ事が可能となった。しかし、塑性ヒンジ化は RC 橋脚の塑性ヒンジ部の損傷を意味しており、損傷が大きな場合には大規模な補修だけでなく撤去せざるを得ない場合もある。また 2016 年の熊本地震においても橋脚が損傷を受け、残留変位が生じているものもみられた。

そこで本研究では、コアコンクリートの損傷を防ぎ尚且つ残留変位を低減し速やかな補修が可能である新型の RC 橋脚(以下、新型橋脚)を提案する。そして従来型の RC 橋脚(以下、従来型橋脚)及び新型橋脚の模型供試体に対して正負交番載荷実験を行い、損傷状況、荷重-変位関係から、新型橋脚の基本的な力学的特性を把握し、従来型橋脚との比較を行う事により新型橋脚の適用性を検討した。

2. 新型橋脚のコンセプト

新型橋脚のコンセプトはコアコンクリートの損傷を防ぐ事、塑性ヒンジ部において損傷を受けない部位とエネルギー吸収を行う部位の 2 重システムとする事で残留変位の低減及び速やかな補修を可能とする事である。まずコアコンクリートの損傷を防ぐために新型橋脚躯体中心に鋼管を配置した。鋼管が線形範囲にある場合には残留変位の低減にも期待でき、損傷したコアコンクリートを補修する場合に上載荷重を保持する役割も担う。また損傷を与える塑性ヒンジ部とその他の部分を分けるため塑性ヒンジ部上端に鋼板を設け、さらに損傷を受けた軸方向鉄筋を交換する為に機械式継手を用いた。

3. 実験概要

(1) 実験供試体

図-1 に本実験に使用した新型橋脚の諸元を示す。本実験では従来型橋脚を道路橋示方書に基づいて設計し²⁾、鋼管を断面中心に配置する事で新型橋脚とした。各供試体の断面寸法は 250mm×250mm の正方形断面で、供試体高さは 1400mm、有効高さは 875mm、せん断スパン比は 3.5 である。軸方向鉄筋は D13(SD295) を 60mm 間隔で計 12 本、帯鉄筋は D6(SD295) を 70mm 間隔で配置した。軸方向鉄筋比は 2.4 %、帯鉄筋比は 1.0 % である。引張試験より求めた軸方向鉄筋の降伏強度は従来型橋脚で 346N/mm²、新型橋脚で 362N/mm²、帯鉄筋の降伏強度はいずれも 360N/mm² である。従来型橋脚躯体部及び新型橋脚塑性ヒンジ部の実験当日のコンクリートの圧縮強度は 28.9N/mm²、塑性ヒンジ部の新型橋脚躯体部の実験当日のコンクリートの圧縮強度は 31.3N/mm² である。従来型橋脚の塑性ヒンジ長は 130mm とし、新型橋脚の塑性ヒンジ長は機械式継手の長さ

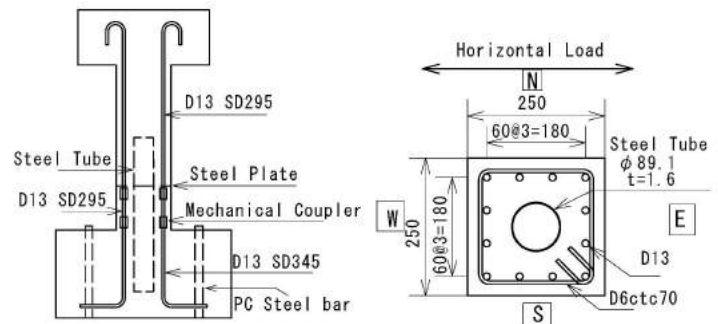


図-1 実験供試体

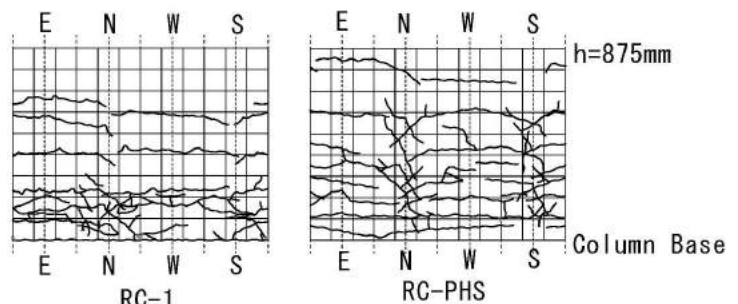


図-2 6δ_y 終了時

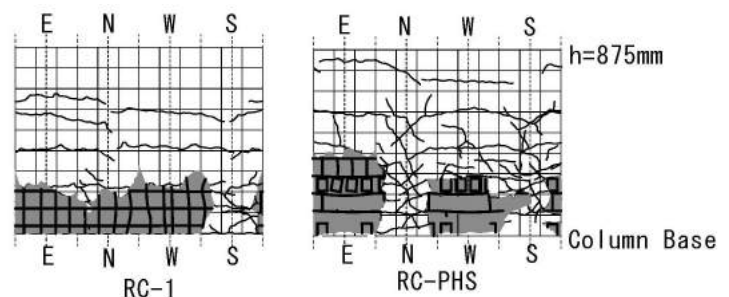


図-3 実験終了時

を考慮して 230mm とした。新型橋脚塑性ヒンジ部には鋼管、機械式継手、鋼板を設けた。鋼管は径 89.1mm、肉厚 1.6mm、全長 740mm で橋脚基部から 460mm の高さまで配置した。鋼板は塑性ヒンジ部上端、つまり橋脚基部から 230mm の高さに配置し、また機械式継手は長さ 50mm で橋脚基部及び鋼板の下側に配置し、軸方向鉄筋一本につき 2 つずつ用いた。

(2) 実験方法

本実験では、H 鋼及び重り鋼板を供試体上に載し橋脚基部に 0.37N/mm² の軸応力を作用させた状態で、油圧ジャッキを用いて水平力を変位制御により与える事で正負交番載荷実験を行った。載荷速度は 0.04~0.4mm/s である。また載荷パターンは一定変位振幅漸増方式で同一の変位振幅を 3 回ずつ与えた。基準変位は軸方向鉄筋の降伏変位 δ_y と定義し、実験時に橋脚基部付近における最外縁軸方向鉄筋ひずみがおおよそ降伏ひずみに達した時の載荷位置における水平変位を降伏変位 δ_y とした。従来型橋脚は $1\delta_y$ を 4mm、新

Key Words: 地震時保有耐力法, 正負交番載荷実験, 残留変位, 塑性ヒンジ

〒 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

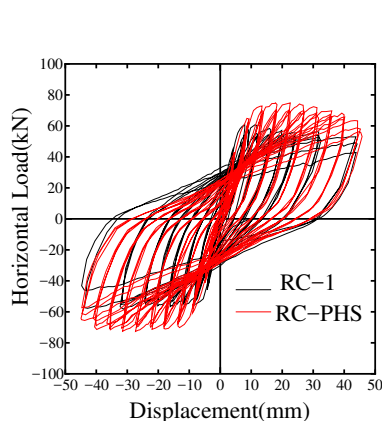


図-4 履歴曲線

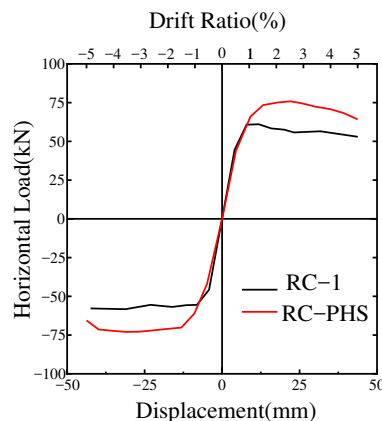


図-5 包絡線の比較

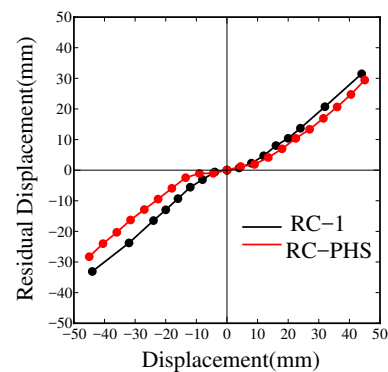


図-6 残留変位の比較

型橋脚は $1\delta_y$ を 4.5mm とした。本実験で与えた変位振幅は従来型橋脚は $1\delta_y \sim 6\delta_y$, $8\delta_y$, $11\delta_y$, 新型橋脚は $1\delta_y \sim 10\delta_y$ である。荷重方向は図-1 に示す EW 方向で、また油圧ジャッキを押す場合を正荷重、引く場合を負荷重と定義し、E 面を正荷重面、W 面を負荷重面とした。

実験では、水平荷重、水平変位、軸方向鉄筋及び鋼管のひずみ、帯鉄筋のひずみを測定した。また、荷重終了後には新型橋脚塑性ヒンジ部の軸方向鉄筋、帯鉄筋、コンクリートを撤去し荷重位置での水平変位を測定した。

4. 実験結果

(1) 損傷状況

各供試体 $1\delta_y \sim 6\delta_y$ 荷重時にはひび割れが進展し部分的ではあるがかぶりコンクリート剥落の兆候がみられた。大きなかぶりコンクリートの剥落は従来型橋脚 (RC-1) が $8\delta_y$ 、新型橋脚 (RC-PHS) が $9\delta_y$ 荷重時に発生し、最終的には RC-1 が $11\delta_y$ 、RC-PHS が $10\delta_y$ 荷重時に軸方向鉄筋の面外方向の座屈及びコアコンクリートの損傷を受け耐力の低下がみられた為実験を終了した。 $6\delta_y$ 荷重終了時及び実験終了時の橋脚躯体 4 面のひび割れ、かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋の座屈状況を展開図として記録したものを、図-2、図-3 に示す。各供試体には 83.3mm 間隔のメッシュを記入している。図-2 及び図-3 より RC-1 は橋脚基部から 200mm の区間でコンクリートのひび割れ、かぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出しが見られる。一方 RC-PHS は橋脚基部から 300mm の位置でかぶりコンクリートの剥落が発生しており、機械式継手上部での軸方向鉄筋のはらみ出しや機械式継手のはらみ出しもみられた。このことから損傷を受ける部位である塑性ヒンジの形成状況が RC-1 と RC-PHS で異なる事が分かる。

(2) 荷重-変位関係

荷重-変位関係の履歴曲線の比較を図-4 にまたそれらの包絡線の比較を図-5 に示す。横軸は荷重位置での水平変位、縦軸は水平荷重である。ここでドリフト比とは橋脚の有効高さとの水平変位の比である。黒線が RC-1、赤線が RC-PHS である。これによれば、RC-1 は最大耐力にして 61kN 、ドリフト比にして 5% まで最大耐力付近で耐力が安定している。一方 RC-PHS は最大耐力にして 75kN 、ドリフト比にして 5% まで最大耐力付近で耐力が安定している。ここで最大耐力に 14kN の差があるのは、機械式継手間の軸方向鉄筋の降伏強度が RC-1 では 346N/mm^2 であるのに対して

RC-PHS では 362N/mm^2 であること、また鋼管による耐力の増加が考えられる。また図-5 からは両供試体ともに大幅な耐力の低下がみられない為、変形性能は同等であると言える。しかし、RC-PHS は RC-1 と比較して合計の繰返し荷重回数が多い事を考慮すれば、RC-PHS の変形性能は RC-1 と比べて同等以上であると言える³⁾。また図-6 に変位振幅と各変位振幅における 1 サイクル目における水平荷重が 0kN の時の残留変位の関係を比較したものを示す。これより、RC-PHS は RC-1 と同程度の水平変位を与えた際には残留変位が若干低減している事が分かる。これも RC-PHS 躯体中心部に配置した鋼管による影響であると考えられる。

(3) 荷重終了後

RC-PHS においては、荷重終了後に水平荷重を除去した後に、塑性ヒンジ部の軸方向鉄筋、帯鉄筋及びコアコンクリートを撤去した。その際、鋼管及びコンクリートから成るコア部による上荷重の保持が可能であった。しかしながら最終的に 42mm の残留変位が生じた。原因としては鋼管が $3\delta_y$ 荷重時には橋脚基部から 130mm の位置で降伏しており、鋼管が大きく塑性化しているためであると考えられる。

5. まとめ

1. 新型橋脚は従来型橋脚と比較して、損傷を受ける部位である塑性ヒンジの形成状況が異なる事が分かった。
2. 新型橋脚は荷重-変位関係における履歴曲線の包絡線の比較から従来型橋脚と同等以上の変形性能を有しており、耐力の増加及び残留変位の若干の低減が期待できる。
3. 新型橋脚の塑性ヒンジ部のコンクリート及び鉄筋の撤去は容易で、鋼管内のコアコンクリートによる上荷重の保持は可能だった。しかし撤去時には残留変位がみられ、早い段階での鋼管の塑性化が起因していると考えられる。

参考文献

- 1) 田中克典, 林秀, 幸左賢二, 安田扶律: 残留変位に着目した地震被災橋脚の検討, コンクリート工学次学年論文報告集, Vol.20, No.3, 1998
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2012.3.
- 3) 星隈順一, 運上茂樹, 川島一彦, 長屋和宏: 荷重繰返し特性と塑性曲率分布に着目した曲げ破壊型鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性能とその評価法, 構造工学論文集, Vol.43A, pp877-888, 1997.3.