

曲げ損傷した高架橋柱修復後の耐震性能に関する実験的検討

東京急行電鉄株式会社 正会員 ○白田 英明, 小里 好臣
東急建設株式会社 正会員 笠倉 亮太
株式会社東急設計コンサルタント 三田 洋介
株式会社ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 川野 有祐

1. 目的

阪神・淡路大震災以降、当社は鉄道高架橋柱の耐震補強を進めている。このような状況下発生した東日本大震災において、鉄道高架橋柱は地震動による倒壊等の致命的な損傷は発生しておらず¹⁾、耐震補強の有効性が示された。しかしながら、曲げ損傷した高架橋柱は数多く存在し、列車運行再開には、高架橋柱修復後の安全性が課題といえる。そこで本検討では、構造実験により損傷、破壊した試験体²⁾を用いて、高架橋柱修復後における耐震性能について検討した。

2. 試験体諸元

表-1 に使用した試験体の諸元および事前の構造実験（初期載荷）による破壊形態を示す。初期載荷の試験体の断面形状は 700×800mm であり、せん断スパン比 2.75 の高架橋柱の実大モデルである。

修復は図-1 に示す工程で行った。B-2R 試験体は、コアコンクリートを可能な限り再利用し修復前と同じ断面形状とした。一方、B-4R 試験体は細分化したコアコンクリートを取除き、30mm のかぶりを確保する断面形

状とした。初期載荷により帯鉄筋のフックが開いたため、B-2R 試験体は柱隅角部で L 型の添筋をフレア溶接して帯鉄筋を再閉合し、B-4R 試験体は変形した鋭角フックを矯正して再閉合した。帯鉄筋の再閉合状況を写真-1 に示す。座屈した軸方向鉄筋は人力で可能な範囲の矯正を行った。

断面修復はプライマー塗布後、ひび割れ注入ホースを設置し、軸方向鉄筋の背面まで下塗を行った。下塗の硬化後、断面修復を行った区間はポンプによる注入、それ以外は低圧式自動注入を行った。注入材の硬化後、再度プライマーを塗布し、仕上げを行った。図-2 に試験体形状および配筋を示す。

3. 使用材料

表-2、3 に使用した材料の諸性状を示す。断面修復にはアクリル樹脂系プライマーとポリマーセメント系モルタルを使用した。また、ひび割れ注入にはエポキシ樹脂系のひび割れ注入材を使用した。

4. 載荷方法

載荷は一定軸力（軸力比 3%）を作用させた状態で、

表-1 修復後の試験体諸元および初期載荷による破壊形態

試験体	断面寸法 (幅×高さ) (mm)	せん断 スパン比 a/D	帯鉄筋		初期載荷による破壊状態 最大じん性率		破壊形態	補修摘要
			配筋 (1.5D区間)	フック形状	正側	負側		
B-2R	700×800	2.75	D16ctc(150)300	90° 直角フック	5δy	4δy	曲げ破壊	1D区間フレア溶接 (10φ) かぶり増厚なし
B-4R	760×860	2.75	D16ctc(150)300	135° 鋭角フック	6δy	6δy	曲げ破壊	フック形状矯正 かぶり増厚30mm

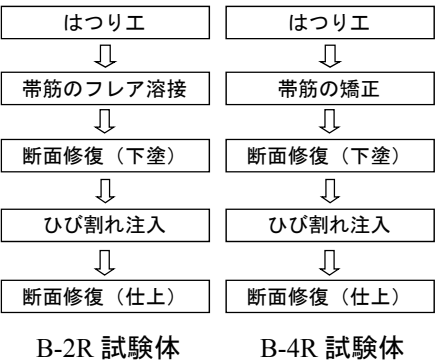


図-1 補修工程



写真-1 帯鉄筋の再閉合状況

表-2 コンクリートとモルタルの諸性状

試験体	種類	部位	圧縮強度 N/mm ²	弾性係数 kN/mm ²
B-2R	コンクリート	柱	32.8	30.6
		下塗	59.5	22.4
	PM※	仕上	51.1	20.8
B-4R	コンクリート	柱	31.6	31.3
		下塗	66.8	27.4
	PM※	仕上	66.7	30.0

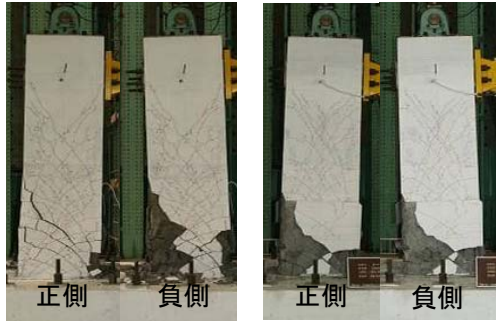
※PM：断面修復に用いたポリマーセメント系モルタル

キーワード 復旧工法, 補修, 損傷構造物, 曲げ破壊

連絡先 〒150-8511 東京都渋谷区桜丘町 31 番 2 号 東急桜丘町ビル 東京急行電鉄株式会社 工務部 土木課 Tel03-3477-6322

表-3 鉄筋の諸性状

鉄筋の種類	降伏応力 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	降伏ひずみ μ	ヤング係数 kN/mm ²
SD345-D29 (軸方向鉄筋)	388	588	2070	191
SD295-D16 (帯鉄筋)	374	542	1980	191
SD295-D16 (添筋)	342	496	1700	201



B-2R 試験体 (6 δy) B-4R 試験体 (7 δy)

写真-2 最終破壊状況

正負交番載荷を行った。載荷パターンは初期載荷の軸方向鉄筋の降伏変位を基準とし3サイクル載荷とした。

5. 実験結果

写真-2 に最終破壊状況を示す。B-2R 試験体は、 $\pm 6\delta y$ 載荷中に帯鉄筋が添筋の隅角部で破断し、荷重低下を生じ載荷を終了した。B-4R 試験体は、 $\pm 6\delta y$ にて軸方向鉄筋の座屈により荷重低下が生じ $\pm 7\delta y$ で載荷を終了した。

図-3, 4 に各試験体の荷重-変位関係を示す。各試験体とも修復後は初期剛性が低下したものの、曲げ耐力は初期載荷を上回った。曲げ耐力の向上は、軸方向鉄筋のひずみ硬化と、コンクリートが強度の高いモルタルに置換された影響と考えられる。また、修復後の変形性能にも向上がみられ、帯鉄筋の再閉合とコンクリートのモルタル置換により、柱断面の拘束効果が高まったものと考えられる。

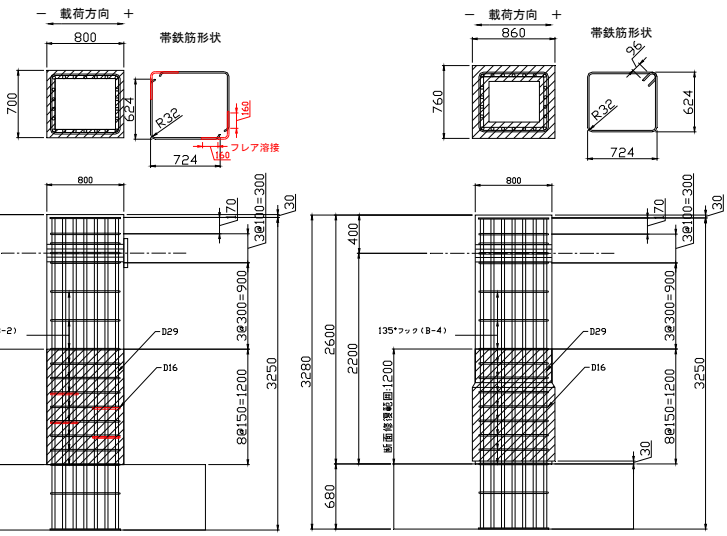
なお、B-2R 試験体では、フレア溶接により添筋隅角部に応力が集中し帯鉄筋が破断したと推定される。

6. まとめ

本検討により、曲げ損傷した高架橋柱は、以下の修復を施すことで、損傷前と比較し同等以上に耐震性能が回復する事が明らかとなった。

- ①剥離したかぶりコンクリートの撤去
- ②フレア溶接または、矯正による帯鉄筋の再閉合
- ③ポリマーセメント系モルタルによる断面修復
- ④エポキシ樹脂系注入材によるひび割れ注入

また、上記修復を施すことにより、高架橋柱の余震に対する安全性が確保できることで、列車運行再開の指標となる結果が得られた。



B-2R 試験体 図-2 試験体形状および配筋 B-4R 試験体

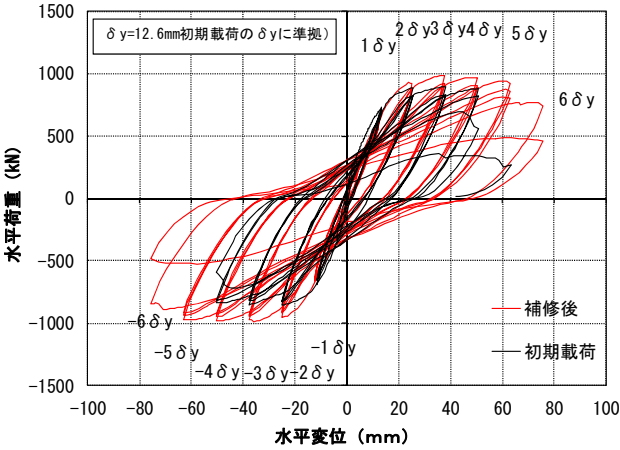


図-3 B-2R 試験体荷重-変位関係

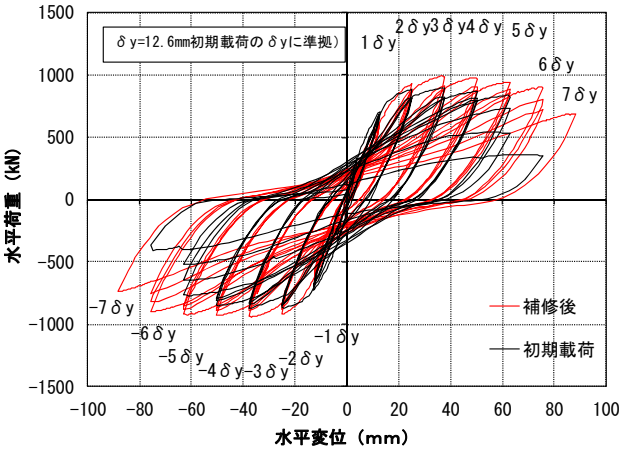


図-4 B-4R 試験体荷重-変位関係

参考文献

1) 大庭光南, 箱守和重, 小林範俊, 杉田清隆: 東北新幹線の被害と復旧, コンクリート工学, vol.50, No.1, PP49-53, 2012

2) 渡邊竜太, 岩本敏彦, 西村昭彦, 戸塚信弥, 黒岩俊之: 柱中間部の帯鉄筋量と帯鉄筋形状に着目した既設高架橋柱の破壊性状について, 土木学会第 67 回年次学術講演会 (投稿中)