

PC 電化柱の耐震補強

東日本旅客鉄道 (株)
東日本旅客鉄道 (株)

正会員 ○杉田 清隆
フェロー会員 大庭 光尚

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災により、東北地方の鉄道構造物は、広範囲に渡り被害を受けた。特に、高架橋や橋りょう上のPC電化柱が、数多くの損傷を受け(写真-1)、復旧にも多くの時間を要す結果となった。この結果を受け、今後の地震対策としてPC電化柱の耐震性の向上が求められている。今回、東日本大震災時に損傷履歴を受けたPC電化柱の耐震補強構造について検証した内容を報告する。



写真-1 PC電化柱損傷状況①

2. PC電化柱の耐力

PC電化柱(設計曲げモーメント:150KN・m,破壊モーメント:300KN・m)の一般的な断面を図-1に示す。PC電化柱は、中空円形断面となっており、部材軸方向にプレストレスを導入するT.W.(Tension Wire:緊張鋼材φ13.0)およびN.T.W.(No Tension Wire:非緊張鋼材φ13.0)が配置されている。また、せん断補強鋼材としてφ3mmの普通鋼線が50mmピッチで配置されている。PC電化柱の曲げ耐力を算出した結果を表-1に示す。なお、鋼材の降伏強度、コンクリートの圧縮強度については、規格値(設計値)を使用した。結果、曲げ終局耐力は、曲げ降伏耐力よりも小さく、破壊形態は圧壊先行となる。

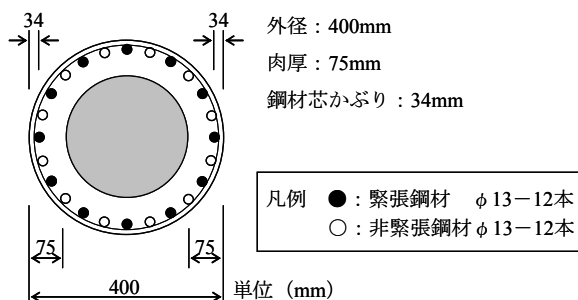


図-1 PC電化柱断面

表-1 PC電化柱曲げ耐力算出結果

種別	PC鋼材		降伏強度 f _{syd} (N/mm ²)	コンクリート		PC電化柱曲げ耐力		破壊形式
	径φ (mm)	本数		圧縮強度 f _{ck} (N/mm ²)	降伏耐力 M _y (KN・m)	終局耐力 M _u (KN・m)		
T.W	13.0	12	1274	50.0	443.2	>	324.5	圧壊先行
N.T.W		12						

このため、設計耐力を超えるモーメントが柱基部に発生した場合は、圧壊先行の脆性的な破壊が発生したことが推測できる(写真-2)。

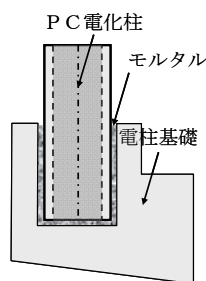
3. PC電化柱を利用した耐震補強構造

PC電化柱の基礎には、円筒の穴を有する電柱基礎にPC電化柱を差し込み、電化柱の周りをモルタルで間詰めした「モルタル詰め基礎」(図-2・写真-3)がある。「モルタル詰め基礎」においては、PC電化柱の周りをモルタルで間詰めしているため、容易には引き抜くことができず、新幹線の保守間合い時間(夜間2~4時間程度)において、鋼管柱への交換作業が困難であった。



写真-2 PC電化柱損傷状況②

そこで、PC電化柱を引き抜かずの一部再利用した形で、圧壊先行の脆性的な破壊を防ぎ、新幹線の保守間合い時間で施工可能な耐震補強構造を提案した。具体的には、既往の技術¹⁾であるソケット接合を利用し、切断したPC電化柱と鋼管柱をソケット鋼管にて接合するものである(図-3)。



4. 耐震補強構造の設計

ソケット鋼管を採用した理由としては、ソケット鋼管の拘束効果により、PC電化柱の圧壊を防ぎ、PC鋼材の降伏を先行させることで、耐力の向上と脆性的な破壊を防ぐことである。

キーワード 東日本大震災, PC電化柱, 損傷, 耐震補強

連絡先 〒980-8580 仙台市青葉区五橋一丁目1番1号 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 TEL022-266-3713

CFT 部材における既往の研究²⁾では、鋼管の拘束効果により、鋼管内のコンクリートの圧縮強度、コンクリートの終局ひずみが増大するとされており、以下の式が提案されている。

$$f_{ck} = f_{ck} (2.254 (1 + 7.94f_t/f_{ck})^{1/2} - 2f_t/f_{ck} - 1.254) \quad (1)$$

$$\epsilon_c = 1.474 f_{syd}/E_s (D/t/100)^{-1} + 0.006 \quad (2)$$

f_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²), f_t : コンクリートの有効横拘束力 (N/mm²) (=2・t・ f_{syd}/D), f_{syd} : 鋼管の設計降伏強度 (N/mm²), t: 鋼管厚 (mm), D: 鋼管径 (mm), E_s : 鋼管のヤング係数 (N/mm²)

上式により算出したソケット鋼管による拘束効果を考慮したコンクリートの圧縮強度、終局ひずみを用いて、補強構造における柱基部の曲げ耐力を算出した結果を表-2 に示す。結果、圧壊先行の破壊形式から、PC 鋼材降伏後に終局にいたる計算結果となっている。

表-2 補強構造における柱基部の曲げ耐力算出結果

ソケット鋼管			コンクリート				柱基部の曲げ耐力(拘束効果あり)		
径 D (mm)	厚 t (mm)	降伏強度 f_{syd} (N/mm ²)	横拘束力 f_t (N/mm ²)	拘束効果なし f_{ck} (N/mm ²)	ϵ_c (μ)	拘束効果あり f_{ck} (N/mm ²)	ϵ_c (μ)	降伏耐力 My (KN・m)	終局耐力 Mu (KN・m)
457.2	12.7	315 (STK490)	17.5	50.0	3500	121.4	12186	487.0	< 632.4

表-3 試験体諸元

載荷位置 (mm)	PC電化柱	鋼管柱			ソケット鋼管		
		径 D (mm)	厚 t (mm)	材質	径 D (mm)	厚 t (mm)	材質
2000	図-1参照 表-1参照	406.7	12.7	STK490	457.2	12.7	STK490

5. 載荷試験

上述で算定した曲げ耐力と破壊形式を確認するため、発成品である PC 電化柱 (図-1, 表-1 同様) を使用して試験体を作製し、単調載荷による載荷試験を実施した (写真-4)。ソケット鋼管部の定着長は、ソケット接合の設計マニュアル¹⁾を参考に、600mm (=1.5D, D:柱径) とし、ソケット鋼管長は 1200mm (=3.0D) とした。試験体諸元の詳細は、表-3 および図-3 に示す。また軸力は、PC 電化柱の常時の設計荷重 (88.2KN) を一定で載荷した。

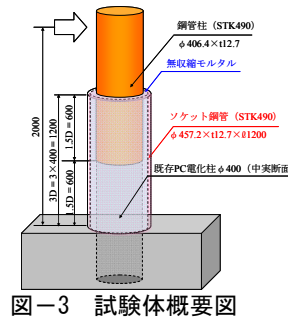


図-3 試験体概要図

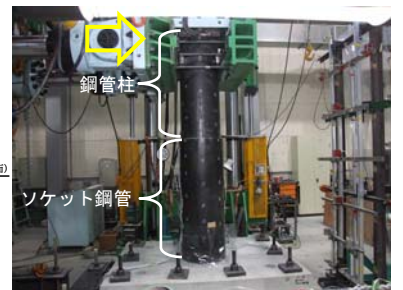


写真-4 載荷試験状況

6. 載荷試験結果

載荷試験のモーメント-変位関係を図-4 に示す。結果は、PC 電化柱の曲げ終局耐力 (324.5KN・m) を大きく超え、最終的には引張側の PC 鋼材が破断し、載荷を終了した。PC 鋼材破断時 (最大荷重時) の柱基部におけるモーメントと載荷点変位は、(608.2KN・m, 80.4mm) であった。600KN・m 載荷時における圧縮側の柱基部の状況を写真-5 に示すが、柱基部では、かぶりの剥落やソケット鋼管のはらみ出し等の圧壊の状況は見られなかった。また、ソケット鋼管における定着部においても抜け出しは発生していない。

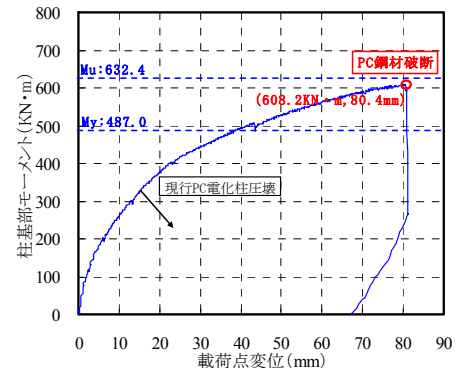


図-4 モーメント-変位関係



写真-5 柱基部の損傷状況

7. まとめ

今回提案した耐震補強構造について検証した結果、以下の知見が得られた。

- ・ ソケット鋼管の拘束効果により、補強構造における柱基部は、圧壊先行の破壊形式から、PC 鋼材の先行降伏の形式へ移行することができた。また、PC 電化柱の曲げ終局耐力と比較して、1.9 倍程度の耐力を有していることがわかった。
- ・ 鋼管による拘束効果の評価式により曲げ耐力を算定し、曲げ降伏耐力と曲げ終局耐力の関係を確認することができた。また、単調載荷試験においては、荷重の増加途中で、PC 鋼材が破断し載荷を終了したが、曲げ終局耐力については概ね一致している。
- ・ 今回提案した補強構造においても、1.5D (D: 柱径) 以上の定着長があれば、抜け出しは発生しない。

参考文献

1) 設計マニュアルⅢ 鋼・合成構造物編ソケット式接合部設計マニュアル, JR 東日本, 2006.7
 2) 指定課題報告書・複合高架橋の接合構造高機能化に関する研究, 鉄道総合技術研究所, 2005.3