

電車線柱の鋼板による補強工法の開発

大越靖広 * 諏訪和徳 ** 本田誠彦 *** 西内美宣 * 寺田倫康 ****

PC製の電車線柱が基部で曲げ破壊した場合、プレストレス力により脆性的な破壊を呈する可能性がある。過去の震災でも電車線柱は損傷を受けており、耐震性能の向上が必要とされている。このような脆性的な破壊を防ぐ方法としては、電車線柱のじん性能の向上が考えられるが、電車線柱の性質から大きな残留変位は好ましくない。本稿では曲げ耐力の向上を目的として、鋼板を用いた電車線柱の補強手法を考案し、実物大の供試体を製作して正負交番載荷試験にてその効果を検証した結果を報告する。

キーワード：PC製電車線柱、鋼板巻立て、実物大、正負交番載荷試験

1. はじめに

平成27年度末に開業予定の北海道新幹線は、青函トンネルとその前後で在来線との共用区間が存在する。この区間は昭和63年に津軽海峡線の一部として開業しているが、北海道新幹線開業にあたっては北海道新幹線（新青森～新函館北斗）の電車線柱と同等以上の耐震性能を有することが求められる。そこで施工時間が極めて短い営業路線で円滑に施工可能なこと、残留変位抑制による地震後の早期運転再開等を考慮し、鋼板を用いた電車線柱の補強を考案した。正負交番載荷試験にてその効果を検証し、本報告では、2種類の電車線柱を鋼板で補強した実物大の試験体と、鋼板と電車線柱の間にモルタルを打設することなく補強した試験体の実験結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体に用いた電車線柱はN200BとN130Bであり、各々基部の設計曲げモーメントが200kN・mと130kN・mのものである。Table1に試験体諸元を、Fig.1に電車線柱の断面図を示す。実験に用いた試験体は、以下の手順で製作した。試験体製作のイメージをFig.2に示す。

Table1 試験体諸元

No.	電車線柱	補強材	備考
試験体1	10-40-N200B (L=10m, φ=400mm)	鋼板 (SM490 4.5mm)	鋼板と電柱の10mmの隙間にモルタル打設
試験体2	10-40-N130B	鋼板 (SM490 4.5mm)	鋼板と電柱の10mmの隙間にモルタル打設
試験体3	10-40-N200B	鋼板 (SM490 4.5mm)	鋼板と電柱の隙間のモルタルなし

* 土木事業本部 土木設計部 構造物・耐震グループ
 ** 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 *** 公益財団法人 鉄道総合技術研究所
 **** 土木事業本部 土木設計部

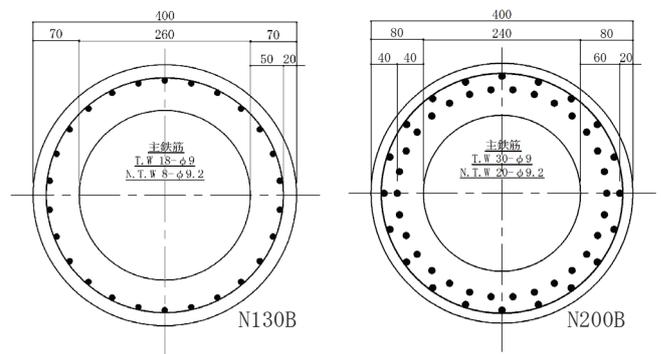


Fig. 1 電車線柱断面図

- ① Photo.1に示すように直径476mm、深さ1000mmの穴を有する鋼製の治具で電車線柱のコンクリート基礎を模擬した。
- ② 鋼製の基礎に電車線柱を設置し、穴の底面から600mmの高さまでモルタルを打設し、電車線柱を固定した。
- ③ 補強鋼板を設置し、穴の上り面までモルタルを打設した。補強鋼板の基部への定着長は400mmであり、補強鋼板の全長は、柱補強部4000mmを含めて4400mmである。ここでは、電車線柱と補強鋼板の隙間にモルタルを打設した。
- ④ 試験体1と試験体2については電車線柱と鋼板の隙間にモルタルを打設した。

Fig.3に補強鋼板（溶融亜鉛メッキ処理）の概略図を示す。この図は試験体1及び試験体2に用いた補強鋼板であり、電車線柱と鋼板の隙間は10mm（補強鋼板内径420mm）とし、内側にスペーサーと曲げ補強用の滑り止めとしてM10のナットを溶接している。試験体3用に製作した補強鋼板は、内径を小さく隙間を2.5mm（内径405mm）としており、工期短縮とコストダウンを目的として電車線柱と補強鋼板の間にモルタルを打設しない構造とした。また、電車線柱と鋼板の隙間に用いるモルタルは、補強目的が曲げ補強であることから既設の電車線柱と同等以上の強度が望ましいが、本実験では、セメント系無収縮モルタル（グラウト用）サンバスト Type-A（株式会社フ

アテック製)を用いた。なお、交番載荷試験時の強度は $60\text{N}/\text{mm}^2$ であることを強度試験にて確認している。

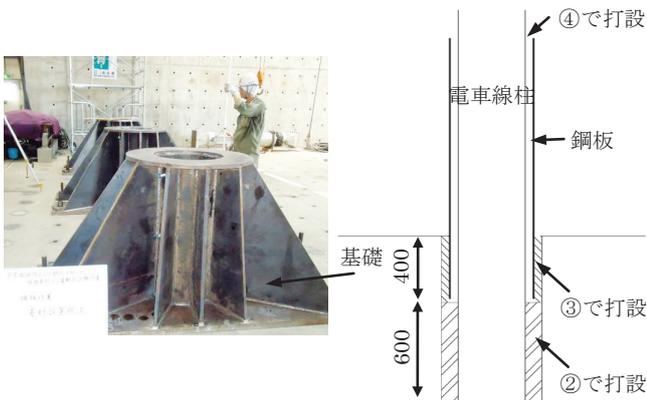


Photo. 1 実験で用いた基礎

Fig. 2 製作イメージ図

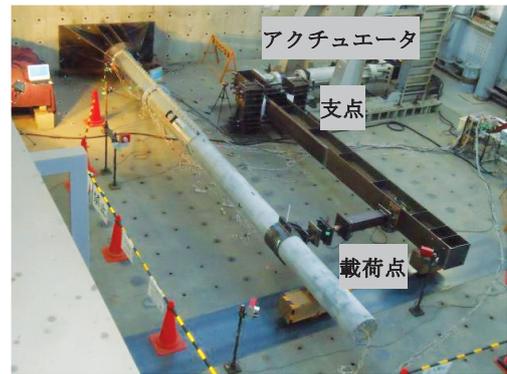


Photo. 2 交番載荷試験の状況

3. 交番載荷試験結果

3.1 水平荷重—水平変位関係

各試験体の載荷点における水平荷重—水平変位関係の履歴を Fig. 4 に、既設電車線柱毎の包絡線と目標水平力の比較を Fig. 5 に示す。

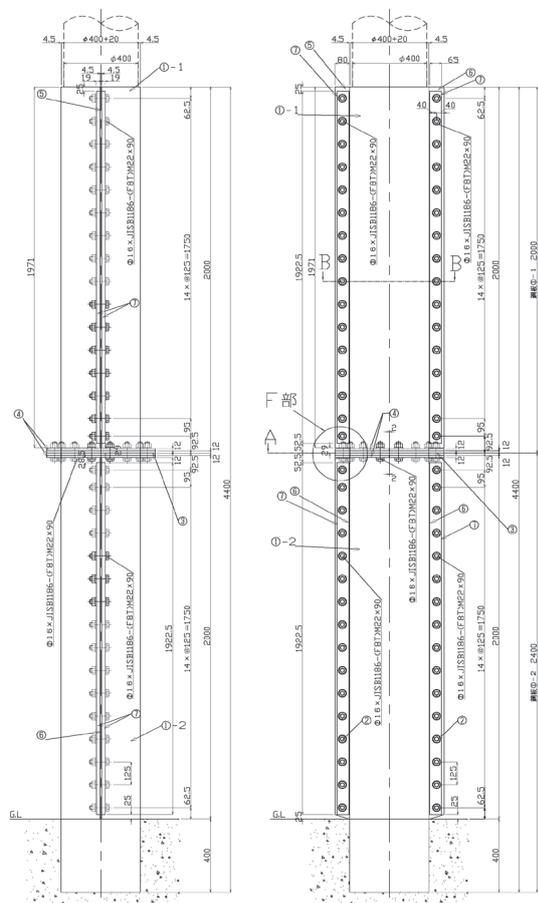


Fig. 3 補強鋼板の概略図

2.2 載荷方法

初期載荷において、無補強時の設計曲げモーメント相当に達した時点の変位(正載荷)を 1δ と定め、変位制御で $\pm 1\delta$, $\pm 2\delta$, $\pm 3\delta$ …の正負交番載荷を各3サイクルずつ、水平荷重が低下するまで繰り返した。また、載荷点は基礎上面から7mの位置とし、実物の電車線柱を用いての実験のために変位が大きいことから、テコの原理を用いて載荷試験を行った。載荷試験の状況を Photo. 2 に示す。

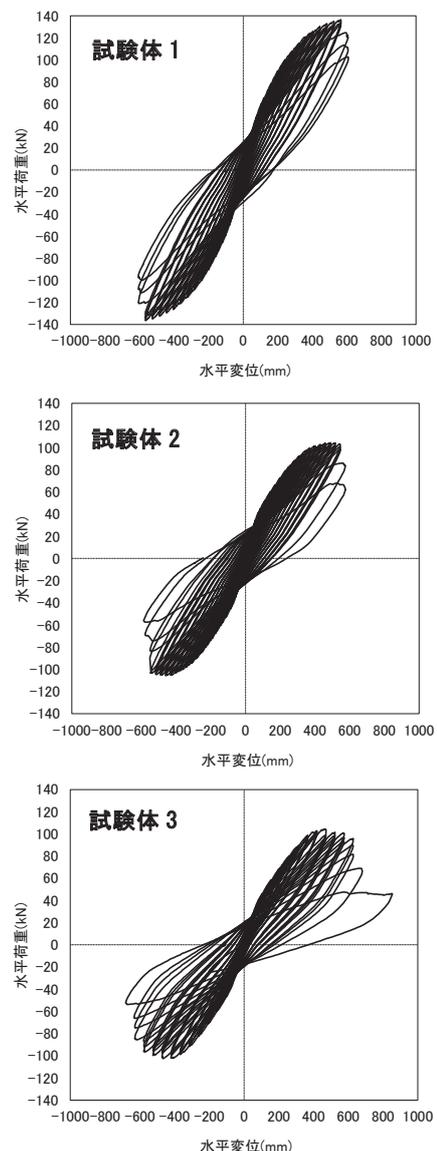


Fig. 4 水平荷重—水平変位関係の履歴

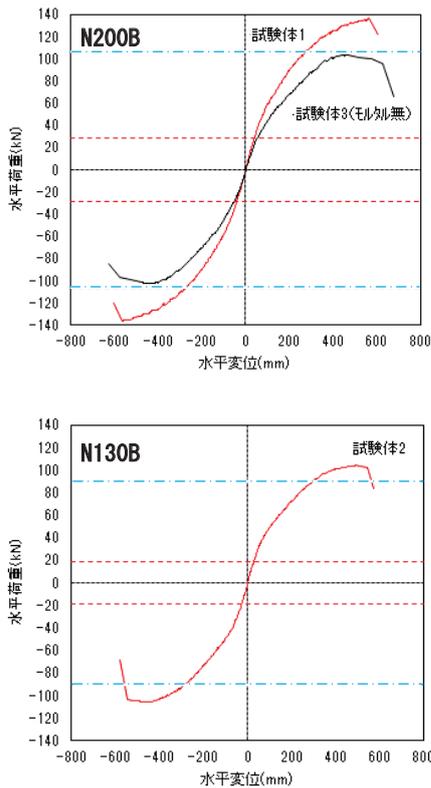


Fig. 5 各試験体の包絡線と目標値

Fig. 5 に示す破線は、設計曲げモーメントに達する時の水平力（基部から載荷点まで 7.0m）を示しており、いずれの試験体も鋼板で補強することによって、耐力が大幅に増加していることが分かる。また、一点鎖線は補強後の目標水平力であり、試験体 1 及び 2 については目標値を満足することができたが、モルタルで一体化していない試験体 3 については、目標値を満足できなかった。なお、目標水平力は、北海道新幹線（新青森～新函館北斗）と同等以上の耐震性能を得るために設定した目安値である。主要結果一覧を Table3 に示す。

Table3 主要結果一覧

	無補強時の設計曲げモーメント (1) (kN・m)	載荷点位置 (2) (m)	(1)時の荷重 (kN)	(2)時の変位1δ (mm)	最大荷重 (正) (3) (kN)	(3)時の変位 (mm)	目標荷重 (kN)	最大荷重平均 / 目標荷重	
試験体1	N200B	200	7	28.6	40.4	136.3	565.9	107.0	1.27
試験体2	N130B	130	7	18.6	28.8	104.3	490.9	89.9	1.16
試験体3	N200B	200	7	28.6	52.4	104.1	469.5	107.0	0.97

3.2 軸方向鋼材のひずみ分布

各試験体の電車線柱内部の軸方向鋼材のうち、緊張していない軸方向鋼材のひずみ分布を Fig. 6 に示す。試験体 1 と試験体 2 の軸方向鋼材のひずみは、降伏ひずみの 7 割以上と相対的に大きく、補強鋼板により補強された 4,000mm の区間全体で曲げを負担しており、基部が補強されていることが分かる。一方、試験体 3 においては、基部以外の軸方向鋼材のひずみは、終局時においても降

伏ひずみと比較して小さく、基部に応力が集中していることがわかる。

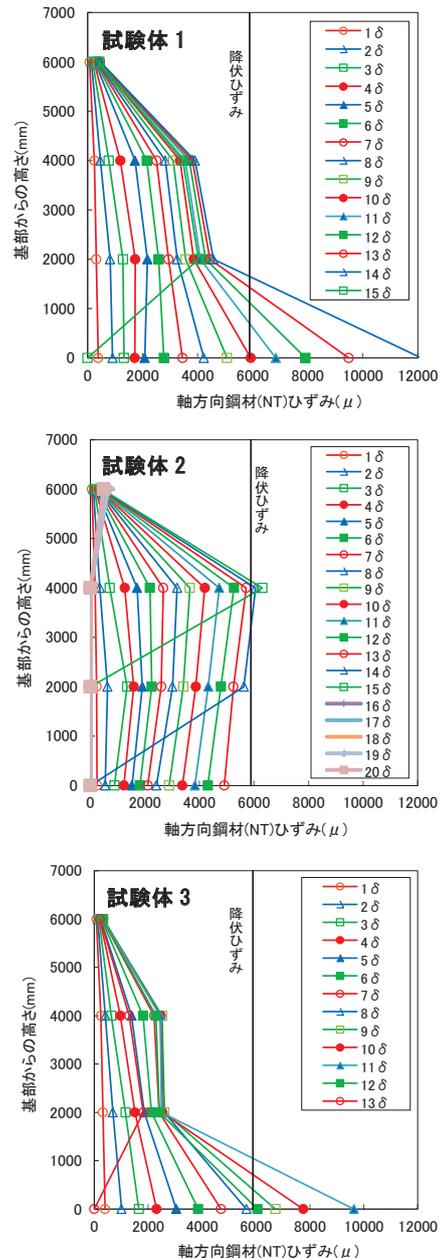


Fig. 6 軸方向鋼材のひずみ分布

3.3 水平変位分布

各試験体の水平変位分布を Fig. 7 に示す。例えば基部からの高さが 4000mm の位置の水平変位を比較すると、試験体 3 の変位が他と比較して大きく、試験体が直線的に変位しており、軸方向鋼材のひずみの結果と同様に基部の損傷が卓越していることがわかる。

以上より、試験体 3 においては鋼板による基部の補強効果が小さく、結果として変形が基部に集中して目標耐力に到達しなかったものと思われる。これは Photo. 3 に示すように、補強鋼板が電車線柱と一体化されていないため、補強鋼板が基部から抜け出し、迫り上がってしまったことに原因があるものと考えられる。

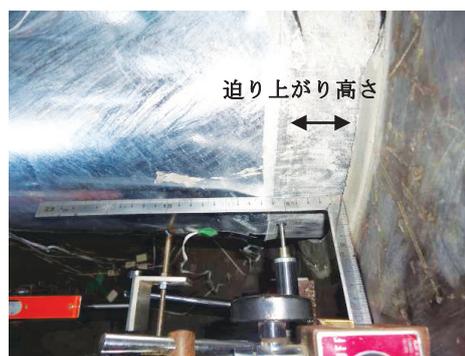
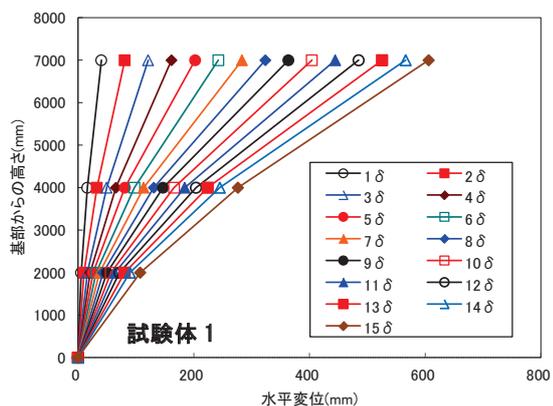


Photo. 3 補強鋼板の迫り上がり

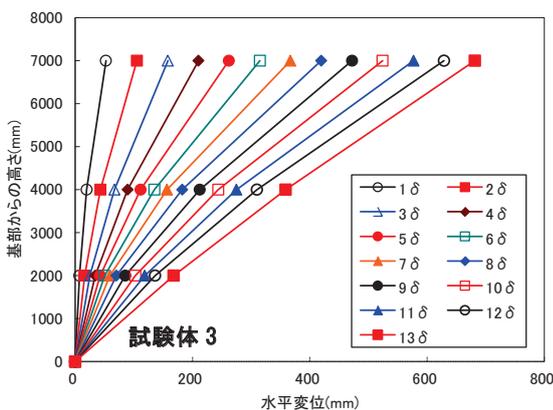
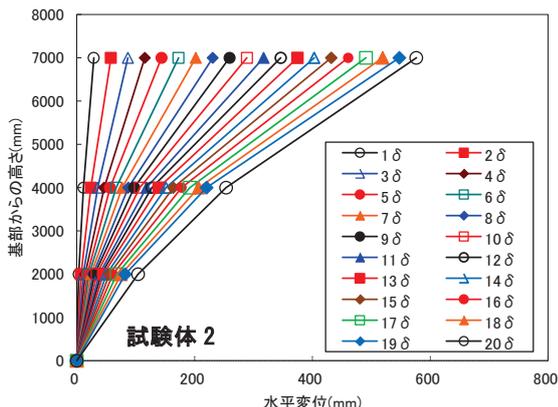


Fig. 7 各試験体の水平変位分布

4. まとめ

電車線柱に鋼板巻立て補強を施した試験体を製作して正負交番載荷試験を実施した。N200B と N130B の電車線柱ともに、柱と補強鋼板の隙間にモルタル充填した場合は目標値を満足する結果であった。隙間にモルタルを充填しない場合はわずかに目標値に達しなかったが、大幅な耐震性能の向上が実現できることを示した。本手法は北海道新幹線開業に向けた取り組みであるが、電車線柱の耐震性能向上は全国で喫緊の課題である。本手法がその一助となり、鉄道の安全安定輸送や地震時の高架橋等の耐震対策に貢献できれば幸いである。

また、本工法については（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構、（公財）鉄道総合技術研究所、（株）熊谷組、テクノス㈱の4者で特許を出願している。

参考文献

- 1) 草野・野澤・築嶋：東北地方太平洋沖地震における最大地震速度 (PGV) と高架橋上電柱の損傷，土木学会第 68 回年次学術講演会 (I)，pp. 251-252, 2012. 9
- 2) 東日本旅客鉄道：STRUCTURAL ENGINEERING DATA, No. 37, pp. 96-137, 2011
- 3) 水谷・横田：東北新幹線高架橋上の電車線柱に着目した動的非線形解析による耐震性能評価，第 17 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. 235-242, 2014. 7

A development of reinforcement method by steel sheet for existing PC pole of electric train line

Yasuhiro OKOSHI, Kazunori SUWA, Masahiko HONDA, Yoshinori NISHIUCHI and Michiyasu TERADA

Abstract

In the case of the PC pole of electric train line destroyed at the bottom part, there is every possibility of brittle fracture by the prestressing force. In the past earthquake, the PC pole has been damaged and then improvement of seismic performance is required. To prevent brittle damage, improvement of ductility performance of the pole can be considered, but large residual displacement is undesirable from the nature of the pole. Therefore, this reports the result of the cyclic loading test performed using the full scale pole reinforced by a steel sheet.

Keywords: PC pole of electric train line, Reinforcement method by steel sheet, Full scale, Cyclic loading test