

無筋橋脚耐震補強工法の開発と施工

— 鋼棒後挿入工法 —

大本晋士郎* 日野岡正道** 岩井孝幸***

鉄道在来線で現在も多く使用されている無筋コンクリート構造の橋脚、橋台で、地震時のコンクリート打継目のずれを防止する耐震補強工法を開発した。開発した工法は、橋脚・橋台に上面から削孔し、鋼材を挿入するというシンプルな方法で、外周足場が必要最小限で済み補強材が単純化できることから、大幅なコスト低減が可能である。相模鉄道オンゾ川橋梁で同工法による耐震補強工事を行ったので、開発および施工について報告する。

キーワード：無筋 橋脚 橋台 補強 鋼棒挿入 アンボンドPC マックスAZ

1. はじめに

鉄道在来線で現在も多く使用されている無筋コンクリート構造の橋脚・橋台において、地震により Photo. 1¹⁾に示すように、躯体が損傷する事例が見られた。

損傷は、無筋構造特有の破壊形態である打継部のずれで、そのため橋上の軌道に蛇行が発生している。

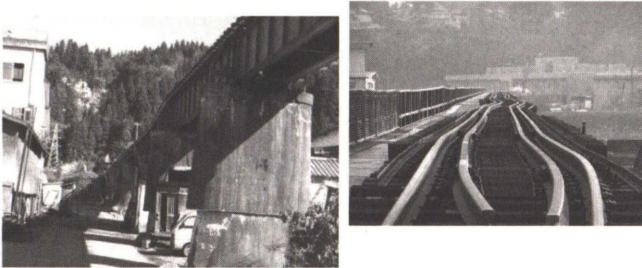


Photo. 1 打継部の損傷および橋上の軌道の損傷

無筋構造の橋脚・橋台の耐震補強として従来、RC 巻立て、鋼板巻立てなどの工法が行われているが、Table 1に示すように上載荷重がRC橋に比べ小さいことから、打継部のずれを防止することで効果的、経済的な補強を行うことができると考えられた。そこで構造体内部に削孔し鋼材を挿入することで補強を行う新工法について(Fig. 1)、載荷実験を基に設計手法を確立し、実施工へ適用した。その結果従来工法に比べ下部工上面から施工する内部補強のため、外周足場が必要最小限に出来ること、土中部分が掘削不要で補強できること、等からコストパフォーマンスに優れた工法として実用化できたのでここに報告する。

2. 模型試験による耐震性能の確認

* 土木事業本部 リニューアル事業部
 ** 首都圏支店 土木事業部 土木部
 *** テクノス株式会社 リニューアル事業部

Table 1 耐震補強における無筋橋脚とRC橋脚の主な違い

	無筋橋脚	RC橋脚
上載荷重 (死荷重)	小さい (鉄桁：0.2 N/mm ² 程度)	大きい (コンクリート桁：0.5～ 1.5N/mm ² 程度)
地震時 損傷形態	打継部ずれ	せん断破壊 曲げ破壊
耐震 対策	RC巻立て・鋼板巻立て プレキャスト巻立て・繊維シート巻き立て など	
	(開発工法) 鋼棒後挿入工法	--
補強後 の挙動	打継部ずれ抑止 じん性・曲げ耐力 の向上	せん断破壊防止 じん性・曲げ耐力 の向上

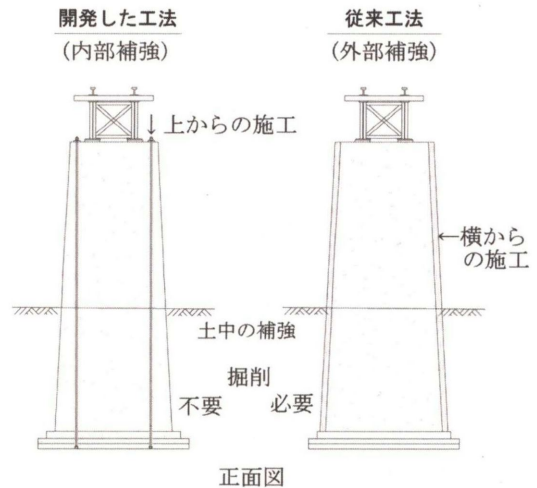


Fig. 1 開発した工法の概要

Table 2, Fig. 2, Fig. 3に試験体の諸元を示す。

一般的な既設橋脚を想定し1/8相当の寸法の試験体を製作した。試験体の中段には打継目を設け、打継目処理として補強鋼材の効果を明確にするため、塩ビシートによる縁切りを行ってある。実験ケースは用いる補強鋼材に応じ2ケースで行った。

Fig. 4に鋼棒挿入前(CASE-1)水平荷重一載荷点水平変

位関係を示す。水平荷重が約±15kNの時、荷重値一定で

Table 2 実験ケース・諸元

実験ケース・諸元	CASE-1	CASE-2
断面寸法(打継部)	1,400mm×500mm	
載荷高さ	1100mm	
載荷方向	橋軸方向(変位制御の交番載荷)	
補強鋼材	鋼棒φ13×3本	PC鋼棒φ13×4本
軸力(上載荷重)	140kN(上載荷重)	420kN(導入軸力)
軸圧縮応力	0.2N/mm ²	0.6N/mm ²

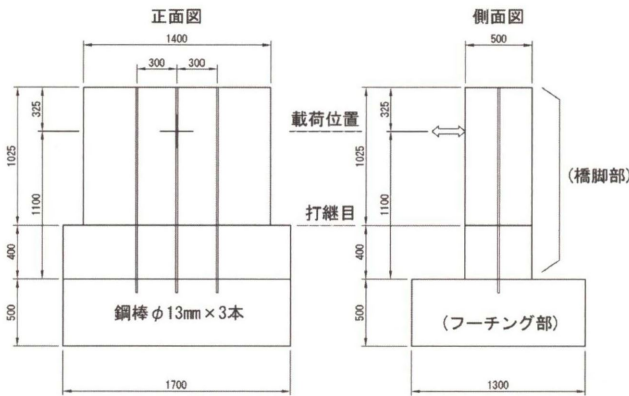


Fig. 2 試験体図 (CASE-1)

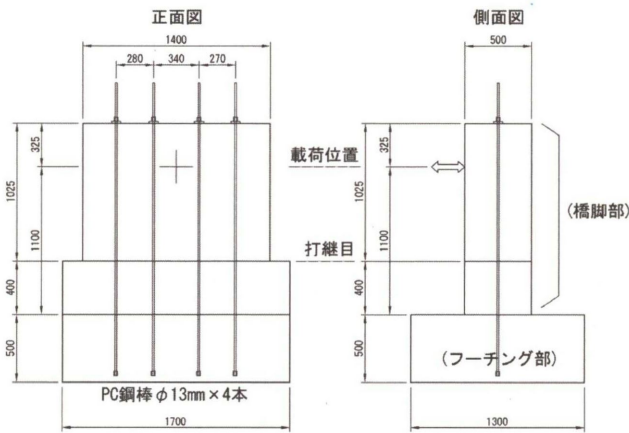


Fig. 3 試験体図 (CASE-2)

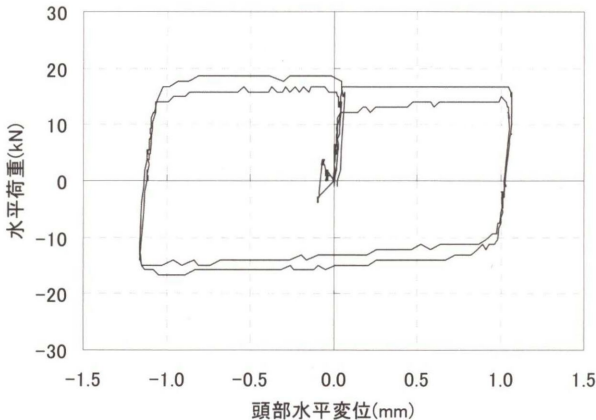


Fig. 4 水平荷重-頭部水平変位関係 (CASE-1で鋼棒挿入前)

変位が増大することがわかる。打継目がずれている状態で、この時の荷重は(軸力)×(打継目の摩擦係数 μ)で評価できる。水平荷重と軸力から打継目の摩擦係数 μ は0.13と算定された。

Fig. 5 に補強後の水平荷重-載荷点水平変位を示す。各ケースにおける載荷曲線の概要は以下の通りである。

① CASE-1

段階1：水平変位 5.5mm(部材角 1/200)で鋼棒が降伏。水平荷重は+60kNで、この時を δy と定義

段階2：最大水平荷重は±3 δy (16.5mm)時で、+72.6kN ~ -79.3kN

段階3：±8 δy (44mm)時に水平荷重が段階1荷重を下回ったため実験終了

② CASE-2

段階1：水平変位が 5.5mm(部材角 1/200)で PC 鋼材が降伏。水平荷重は+128kNで CASE-1 と同じく δy と定義

段階2：最大水平荷重は±10 δy (55mm)時で、+159.4kN ~ -157.6kN

段階3：10 δy を超えたところでぜい性的な破壊(PC鋼棒破断)で耐力が低下

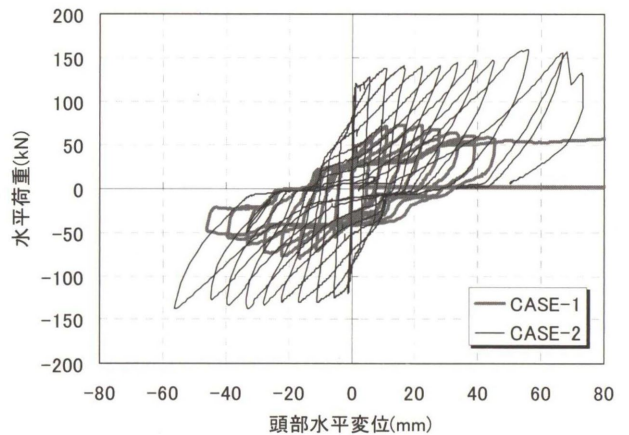


Fig. 5 水平荷重-頭部水平変位関係 (補強後)

補強後の荷重-変位曲線は、降伏→最大荷重→荷重維持というRC構造に似た曲線となり、じん性は8 δy ~10 δy を確保することが出来た。したがって鋼棒およびPC鋼棒により補強された後は、打継目の過大なずれを抑え、かつ曲げ変形性能を有した構造にできることが確認できた。なお鋼棒の降伏時における水平力はコンクリート標準示方書に示されるせん断伝達耐力に関する算定式を適用することによって評価できることを同時に確かめている¹⁾²⁾

3. 実橋への適用

3. 1 相模鉄道オンゾ川橋梁

相模鉄道オンゾ川橋梁は相模鉄道厚木線にある跨道用の3径間の単線橋梁 (Fig. 6) で、下部工の橋台・橋脚は

1926年に作られた木杭基礎形式の無筋構造である。この橋梁下部工について、L2地震動を考慮した耐震診断を行い、補強工法として鋼棒後挿入工法が採用された。

3.2 耐震診断

支持地盤の種別は既存の土質柱状図より、鉄道構造物等設計標準・同解説に基づきG3地盤(固有周期0.383sec, 普通地盤)と判断した。橋脚、橋台の構造については現地調査を行った。鉄筋レーダーを用いて無筋コンクリート構造であることを確認した後、シュミットハンマによる反発度調査とコア採取による強度試験を行い、圧縮強度を求めた。圧縮強度は 20N/mm^2 で、外観およびコンクリートコアにはジャンカ等は見られず、コンクリートは良好な状態であった。

耐震診断は静的非線形解析を用い、L1地震動に対して耐震性能I(損傷レベル1, 安定レベル1), L2地震動に対して耐震性能III(損傷レベル3, 安定レベル3)を満たすか判定した。無筋コンクリートの非線形性は、端部に発生したひび割れが構造物中心に到達する時の曲げモーメントを変化点としたバイリニアモデル型とし、応答値がこの曲げモーメント未満であれば耐震性能I, 超過すれば耐震性能IIIとした。診断の結果、橋台では躯体の地表付近の貫通ひび割れと基礎の降伏が、橋脚では軌道方向の検討ケースで躯体の地表付近の貫通ひび割れが生じることとなり、橋台・橋脚ともにL2地震動に対して所定の耐震性能を満たさないことが確認され、L2地震動に対する耐震補強が必要となった。

3.3 耐震補強方法

RC巻立て補強など各種工法を比較した結果、鋼棒後挿

入工法が選定された。橋台、橋脚上部から削孔し鋼材を挿入後、高流動セメント系充填材で固定する方法であることから、既存工法に比較し、工種が少なく工期の短縮、工費の低減が期待できるほか、内部から補強する方法であるため外周掘削が不要、鋼材の分割施工により重機が不要、橋上からの作業で交差する道路への影響が小さい、などの利点により採用した。

橋台躯体の補強にはD51の異型棒鋼2本(Fig.7の①)を挿入した。橋台基礎については地震時の変位を桁に受けさせ、制御する方法とした。そのためパラペットが損傷しないようD51を5本(Fig.7の②)挿入し、またパラペットと桁があたる可能性のある箇所にはゴム緩衝材を配置した。

橋脚について、曲げ補強が必要となったため $\phi 40$ のPC鋼棒を選定し、プレストレス(650kN/本)を与えることで曲げ耐力、変形性能を向上させた(Fig.7の③)。PC鋼棒は充填材が硬化してからプレストレスが導入できる、アンボンドPCを選定した。

鋼棒の配置は、押し抜きせん断破壊が発生しないように、また施工が可能かの点も配慮し決定した。

3.4 施工

Photo.2に示すように橋脚、橋台上からの削孔により足場は最小限で済み、道路、歩道へ張り出す事無く交通支障を生じさせなかった。当該線は主に車庫線として使用されているため、朝夕の列車通過を避けた昼間で作業を行った。削孔は $\phi 125\text{mm}$ のコアボーリングを用いた。(Photo.3)

橋台躯体用の異形鋼棒は4分割しモルタル充てん継手で接続する構造とした。鋼材を分割することにより、重

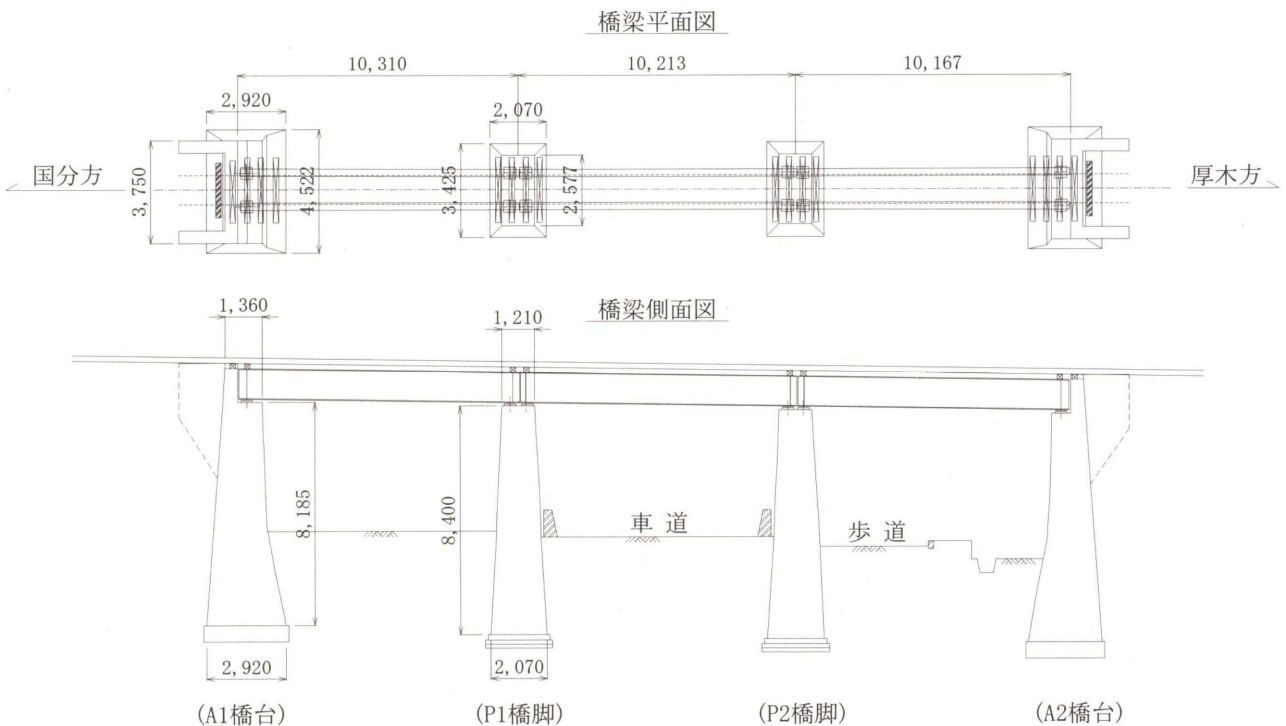


Fig.6 相模鉄道オンゾ川橋梁一般図

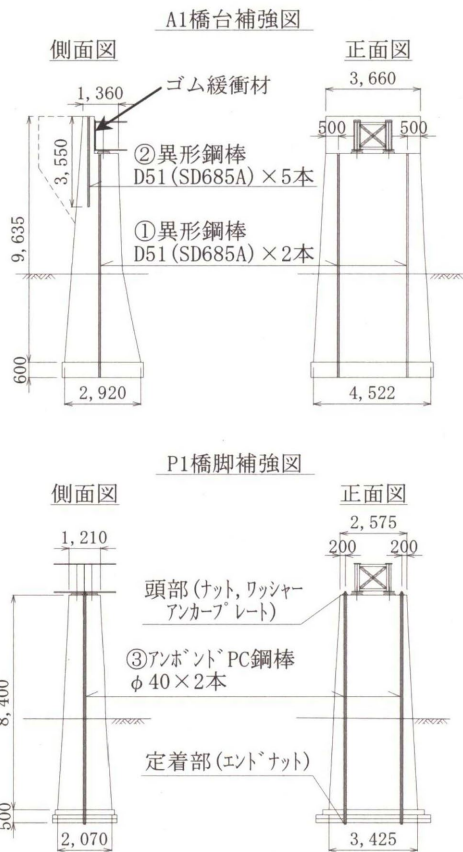


Fig. 7 橋台・橋脚 補強図



Photo. 2 施工状況

量が軽くなり(2.2m=32kg)人力施工が可能となると同時に、架線に影響を与えずに施工を行うことができた。(Photo. 4)橋脚用のアンボンドPCも4分割し、接続にはネジカプラーを用いる構造とした。高流動セメント系充填材には水中不分離性を有するマックスAZを使用し、硬化後アンボンドPCに緊張力を導入し、工事は完了した。

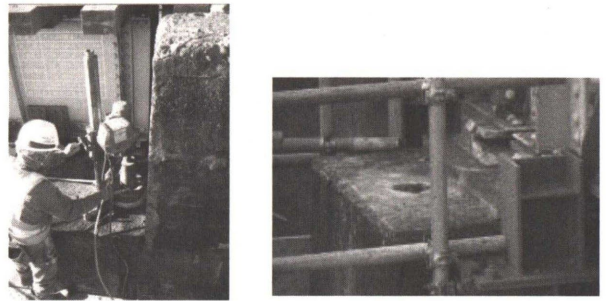


Photo. 3 コアボーリング状況

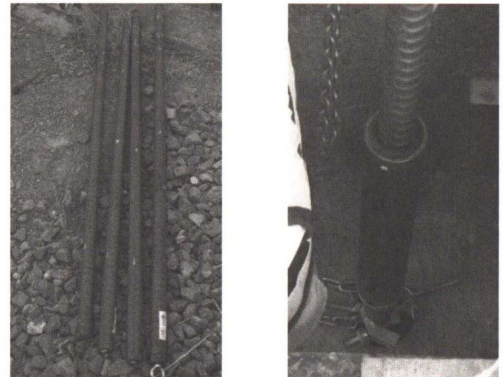


Photo. 4 分割鋼棒と挿入状況(カプラー接続)

4. まとめ

無筋コンクリート構造の橋脚、橋台に対する耐震補強工法を開発した。実橋の補強に適用し、橋上からの施工で車道・歩道への影響を最小限に抑え、早期に補強を完了させることが出来た。補強後に発生した東北地方太平洋沖地震でこの付近は震度5が観測されたが、補強橋梁に何ら問題は発生しなかった。

謝辞

工法開発はジェイアール総研エンジニアリング他3社で進められた。関係各位に謝意を表します。また本工法をご採用頂いた相模鉄道株式会社の関係者の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 徳永光宏, 他: 鋼棒挿入による無筋コンクリート橋脚打継部の耐震補強効果, 土木学会第64回年次学術講演会(平成21年9月)
- 2) 徳永光宏, 他: 鋼棒挿入による無筋コンクリート橋脚の耐震補強, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 48, 2010. 5

Development of Seismic Retrofits Method to Non-Reinforcement Concrete Pier and Abutment

Shinjiro OMOTO, Masamichi HINOOKA and Takayuki IWAI

Abstract

Seismic retrofits method to the bridge pier and the abutment of non-reinforcement concrete structures used in an existing railway was developed for damage that non-reinforcement concrete construction joints shift due to an earthquake. The developed method is a simple method of drillings onto the pier and the bridge abutment, and inserting the steel material. We report our development and construction work of the earthquake-proof reinforcement done by this method at Onzo river bridge of Sagami Railway, Co., Ltd.

Key words: Non-reinforcement concrete, Pier, Abutment, Inserting the steel material, Unbonded PC, Max AZ