



厳しい施工条件下における鉄道高架橋の耐震補強

津 吉 毅

平成7年の阪神・淡路大震災以後、鉄道構造物では、RC ラーメン高架橋の柱を中心に、耐震補強を進めている。補強工法としては、クレーンなどの機械が使用できる箇所では鋼板巻き工法を一般的に採用してきた。しかしながら、重機の進入が困難な狭隘箇所、高架下利用箇所などでは、鋼板巻き工法の採用は困難なため、新たな工法を開発する必要があった。本報文では、その目的で開発したRB補強工法と、一面補強工法の概要と、実施工例について報告するものである。

キーワード：鉄道，RC 構造物，ラーメン高架橋，柱，耐震補強，高架下利用箇所，人力施工

1. はじめに

平成7年1月の阪神・淡路大震災以後、JR 東日本の鉄道構造物では、南関東地区、仙台地区のRC ラーメン高架橋・RC ラーメン橋台の柱を主な対象に、せん断破壊が先行するものに対してせん断・じん性補強を行ってきた¹⁾。

緊急耐震補強終了後も、必要箇所については順次補強を行ってきたが、その対象全数の補強を短期間で一度に行うことは非常に難しく、平成15年5月の三陸南地震では、東北新幹線のラーメン高架橋の柱の一部にかぶりコンクリートが剥落するなどの被害が生じた²⁾。JR 東日本では、その後早急に、南関東地区、仙台地区以外のエリアにおける補強計画を再構築し、現在は、鋭意、補強を進めているところである。

一方、鉄道高架橋の場合、クレーンなどの重機が進



写真-1 鋼板巻き工法 (施工中)

入できる比較的施工条件のよい箇所では、鋼板巻き補強を一般的に採用してきた(写真-1)。しかしながら、鉄道高架橋の場合、高架下を利用している箇所や、クレーンなどの重機の進入路が確保できない箇所も数多くあり、それらの箇所の耐震補強をいかに合理的に進めていくかが大きな課題となっている。そのため、JR 東日本では、平成8年度以降、高架下利用箇所などのような厳しい施工条件下においても、できるだけ支障物の撤去・復旧作業が少なく、かつ、比較的容易に施工できる新しい耐震補強工法の開発に取り組んでおり、RB工法³⁾、一面補強工法⁴⁾の二工法については、すでに実施工に採用している。

本報文では、これらの厳しい施工環境でも施工可能な二工法について、その概要および実施工例について報告するものである。

2. RB工法

図-1に、RB工法の概要を示す。本工法は、柱の

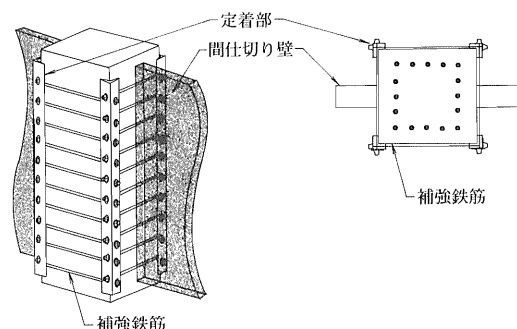


図-1 RB工法概要図

外周に鉄筋を配置し、柱の四隅で定着する補強工法である。間仕切り壁や、天井板などの撤去を最小限に抑え、狭隘な箇所でも、人力のみで施工できることを目標に開発した工法である。

補強効果については、実物の 1/2 スケールの試験体による静的交番荷重試験を行い確認した⁵⁾。

写真-2 に荷重試験の一例を、図-2 に試験体の概略図の一例を示す。試験体は、最初にせん断破壊の先行する無補強（帯鉄筋無し）の RC 試験体を作製したのち、補強鉄筋および定着部材の L 型鋼を取付け、L 型鋼と柱部材の隙間にはモルタルを注入し、鉄筋を定着させる構造としている。

図-3 は、無補強の試験体と RB 工法による補強を行った試験体の荷重変位包絡線の一例である。この図

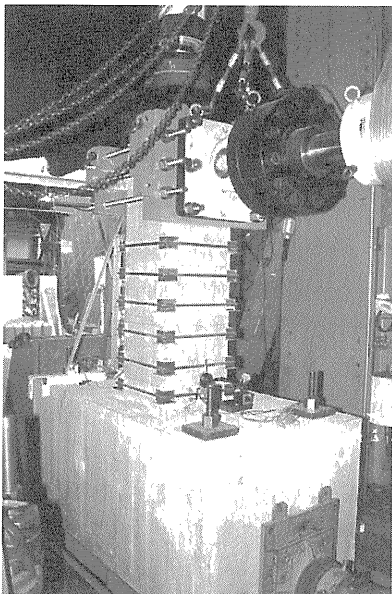


写真-2 実験の一例

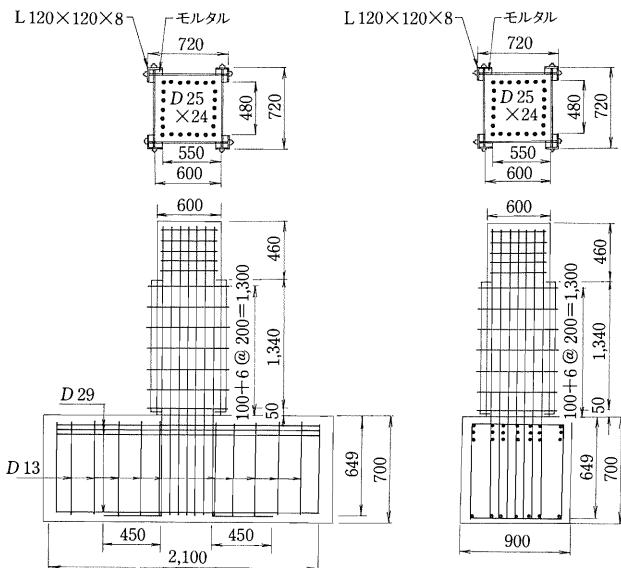


図-2 RB 工法試験体例

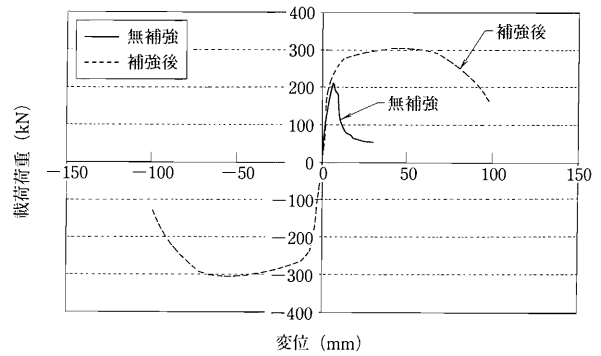


図-3 無補強試験体と RB 補強試験体の荷重変位包絡線

に示すように、せん断破壊が先行する柱に、柱外周に鉄筋を配置して柱の四隅で定着する方法でせん断補強することで、大きな変形性能が付与できることが確認できた。

次に、実際の施工を考慮した場合、柱に添架されている支障物の撤去復旧を最小限にするためには、定着部を柱の高さ方向に分割することや、柱面と補強鉄筋の間に隙間を設けることが考えられる。そのため、図-4 に示すように、定着部材を分割し、柱面と鉄筋の間に隙間を設けた試験体についても実験を行った。

図-5 は、定着部材を分割し、柱面と鉄筋の間に隙間を設けた試験体の荷重変位包絡線と、定着部材を分

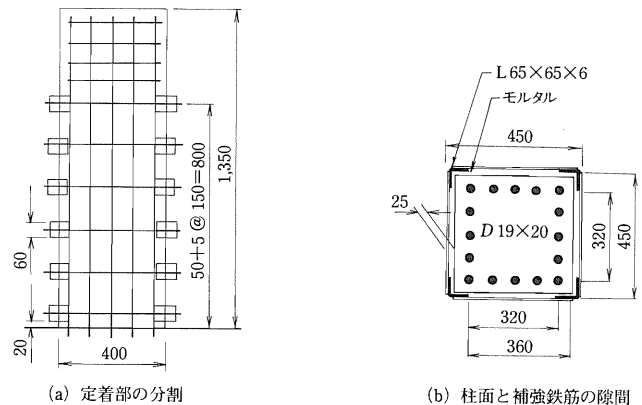


図-4 定着部材分割、柱面と補強鉄筋の隙間のある試験体

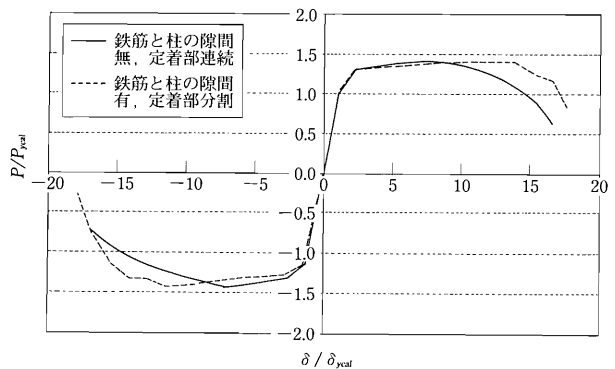


図-5 定着部分割・柱面と補強鉄筋の隙間有無の荷重変位包絡線比較

割せず、柱面と鉄筋の間に隙間がない試験体の荷重変位包絡線と比較を行ったものである。図-5から、定着部の分割と、柱面と鉄筋の隙間は、補強効果にあまり影響を与えないため、実施工においては、定着部の分割、柱面と鉄筋の隙間に関しては、実情に応じた方法で補強を行えばよいことが確認できた。

図-6は、RB補強を行った場合の、曲げ・せん断耐力比 (V_{yd}/V_{mu} ; ここで、 V_{yd} :柱部材のせん断耐力、 V_{mu} :柱部材が曲げ耐力となるときのせん断力) とじん性率 (μ) の関係を示す。ここで、RB補強の鉄筋は、断面の外側に配置されているが、トラス理論により鋼材の負担するせん断耐力を算定した。補強設計としては、一般的な既設高架橋が阪神・淡路大震災クラスの地震に対しても崩壊しないためには、じん性率が10程度必要となる⁶⁾。

図-6から、RB工法では、耐力比1.4程度以上で、じん性率が10以上確保できることから、補強設計では、補強後の曲げ・せん断耐力比 (V_{yd}/V_{mu}) を1.5以上とすることとした。

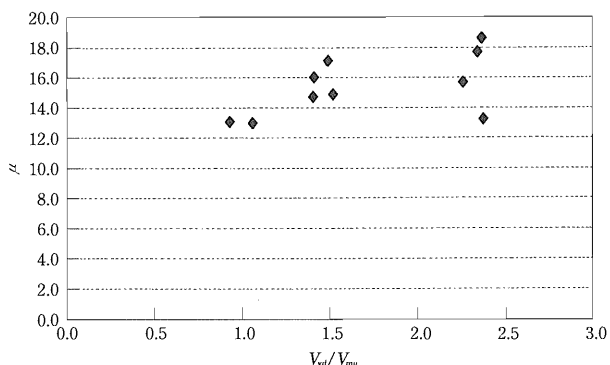


図-6 RB工法の耐力比 (V_{yd}/V_{mu}) とじん性率 (μ) の関係

次に、実際の施工例について述べる。図-7は、RB工法の一般的な施工フローである。最初に、プレキャ

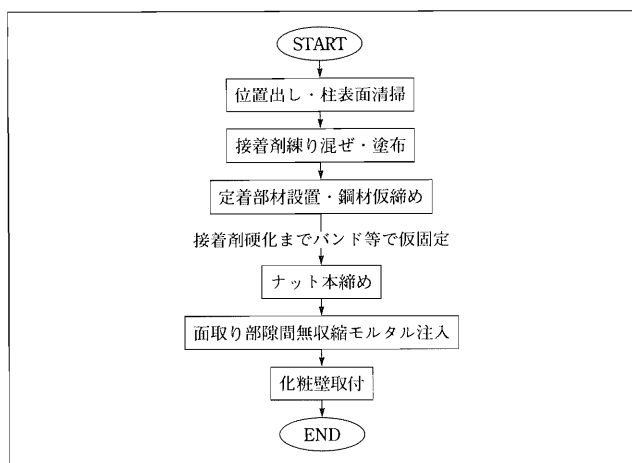


図-7 RB工法施工フロー

ストの定着部材を接着材で取付けるため、既設柱表面の清掃を行う(写真-3)。次に、接着材を塗布し(写真-4)、鋼材を人力にて組立て、ロックナットの仮締めをする(グラビヤ)。接着材の硬化養生後(写真-5)、



写真-3 柱表面の清掃状況



写真-4 接着剤塗布状況

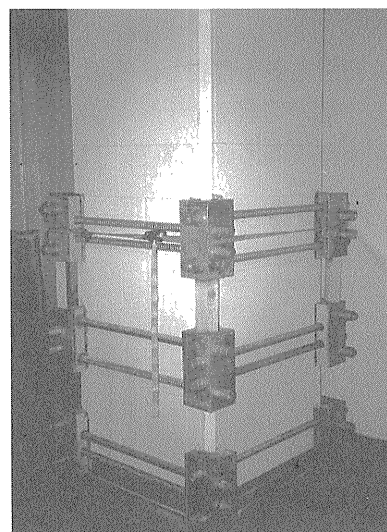


写真-5 接着剤硬化養生状況

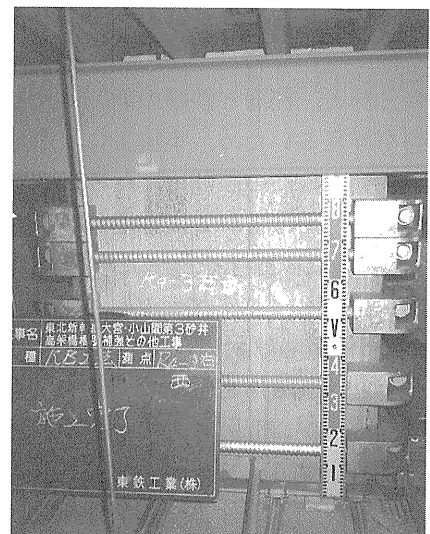


写真-6 RB補強実施例(山形鋼とモルタルの定着部) 写真-7 RB補強実施例(鑄物の定着部)

写真-8 RB補強による天井裏の補強

ロックナットをトルクレンチにて人力で締結し施工を終了する。写真-6~写真-8は、実際にRB工法により補強を行った例である。

写真-6では鑄物の定着部材を、写真-7では、山形鋼とモルタルで構成される定着部材を用いた例である。また、写真-8は、高架下利用箇所の天井裏に補強を行ったものである。前述のように、定着部材は分割配置可能なため、このような簡易な天井が添架されている場合にも、それを撤去することなく、そのまま施工できるメリットがある。また、このように、高架下を利用しているような狭隘な箇所でも、人力だけで簡便に施工できることが実施工でも確認できた。

3. 一面補強工法

図-8に一面補強工法の概要を示す。本工法は、柱の耐震補強を柱の一面からのみ行う工法である。鉄道高架下を店舗等で利用している箇所では、柱の一面が露出している箇所も多く存在し、そのような箇所では、露出している一面から補強が行えれば、高架下利用に与える影響が少なくなり、工事費、工期の面でトータ

ルメリットがあることを考え開発した工法である。

施工の概要としては、柱の露出している一面からコアボーリングによる削孔を行い、補強鉄筋を挿入してグラウト注入等により既設RC柱との一体化を図り、補強鋼板を取付け、鋼板と柱面の空隙にエポキシ樹脂を注入するものである。

本工法では、柱の一面から挿入する補強鉄筋、柱面に取付ける補強鋼板が、それぞれ柱のせん断補強として機能することで、柱部材の変形性能の向上を目指したものである。この補強効果を確認するため、補強鉄

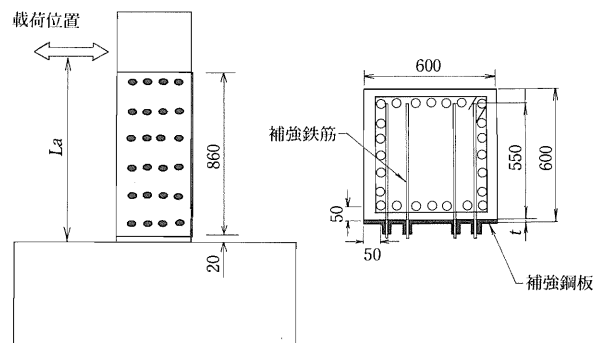


図-9 一面補強工法試験体例

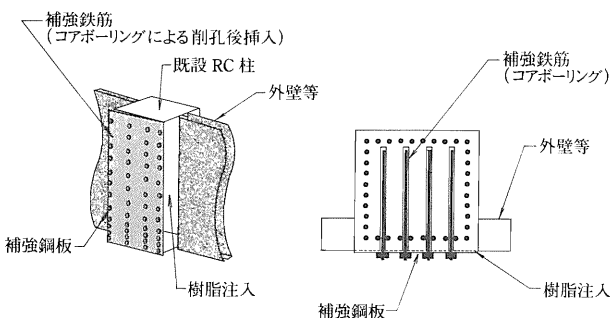


図-8 一面補強工法概要図

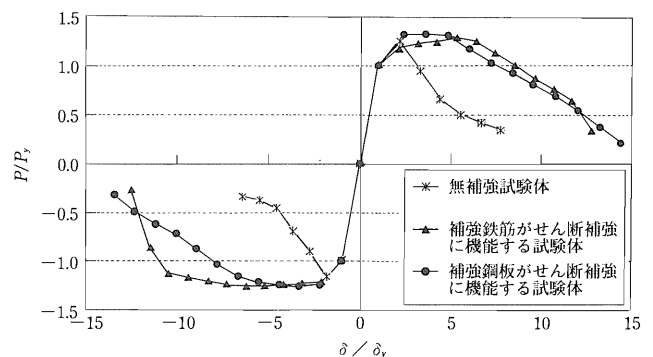


図-10 一面補強工法の荷重変位包絡線

筋がせん断補強として機能する場合と、補強鋼板がせん断補強として機能する場合のそれぞれについてRB工法と同様に、1/2スケールの静的交番載荷試験を行った^{7),8)}。

図-9に、試験体概要の一例を示す。図-10は、無補強試験体と補強鉄筋及び補強鋼板がせん断補強として機能する場合の試験体の荷重変位包絡線の一例である。図-10に示すように、補強鉄筋及び補強鋼板を用いて補強を行うことにより、変形性能を大きく向上できることがわかる。

図-11、図-12は、補強鉄筋がせん断補強として機能する場合と、補強鋼板がせん断補強として機能する場合の、曲げ・せん断耐力比 (V_{yd}/V_{mu}) とじん性率 (μ) の関係を示す。ここで、補強鉄筋の負担するせん断耐力は通常の帯筋と同様にトラス理論により算定し、補強鋼板が負担するせん断耐力は、鉄骨鉄筋コンクリート部材のせん断耐力算定方法⁹⁾により算出した。

耐震補強設計は、RB工法の場合と同様に、補強後のじん性率を10程度以上とすることとし、図-11、図-12より、補強鋼材がせん断補強として機能する場合には、補強後の曲げ・せん断耐力比 (V_{yd}/V_{mu}) を2.0以上、補強鋼板がせん断補強として機能する場合には、補強後の曲げ・せん断耐力比 (V_{yd}/V_{mu}) を1.4以上とすることとした。なお、補強鋼板がせん断

補強として機能する場合には、終局変位を $1/2 P_y$ (P_y : 降伏荷重) を維持する最大変位としている⁸⁾。

図-13に、一面補強工法による一般的な施工フロー

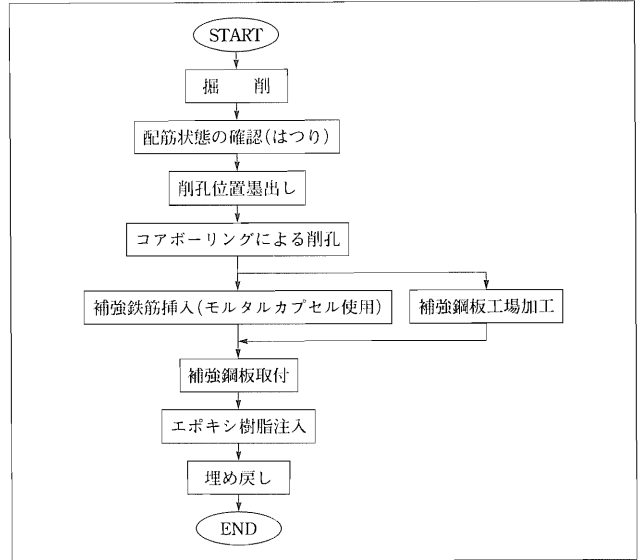


図-13 一面補強工法施工フロー

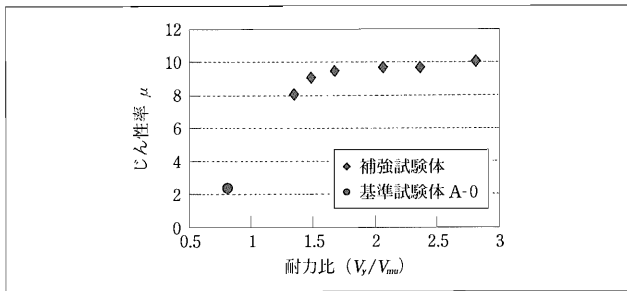


図-11 補強鉄筋がせん断補強として機能する場合の耐力比 (V_{yd}/V_{mu}) とじん性率 (μ) の関係

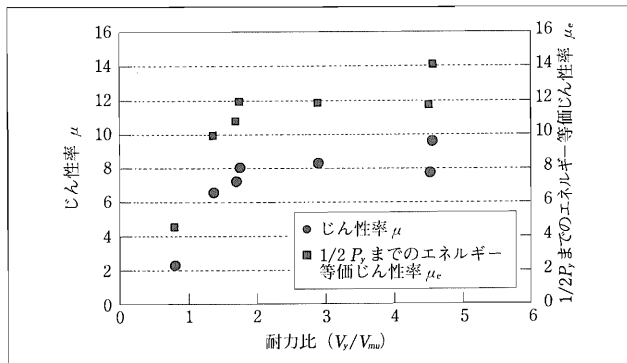


図-12 補強鋼板がせん断補強として機能する場合の耐力比 (V_{yd}/V_{mu}) とじん性率 (μ) の関係

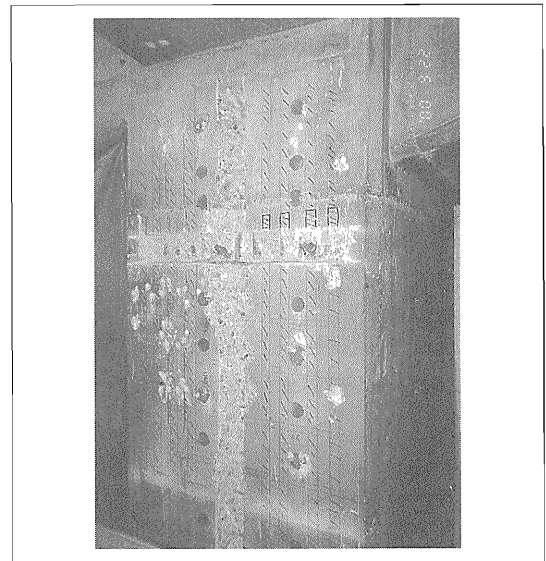


写真-9 配筋状態の確認 (はつり)

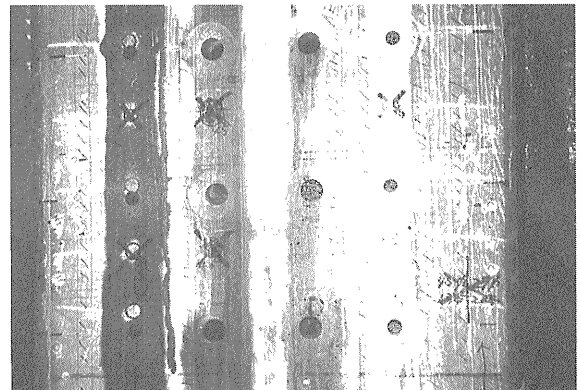


写真-10 削孔完了状況

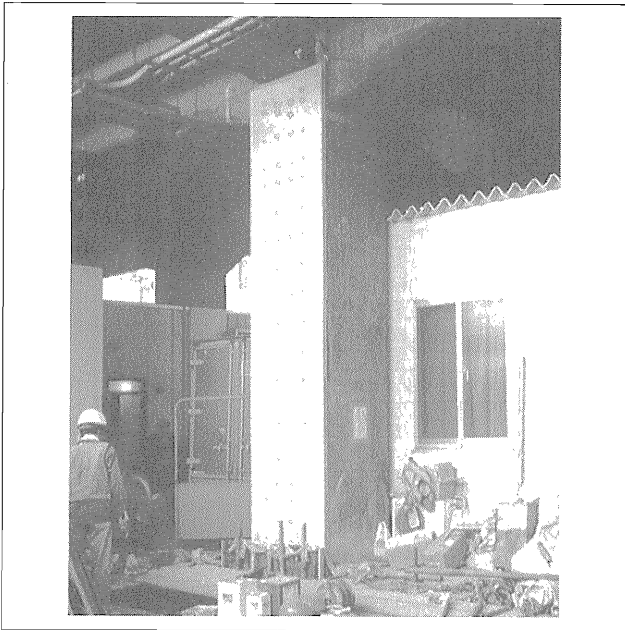


写真-11 一面補強工法適用例 (その1)

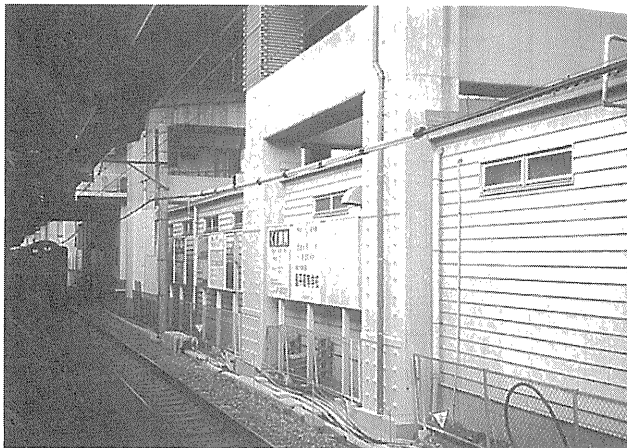


写真-12 一面補強工法適用例 (その2)

を示す。一面補強工法では、既設柱の配筋状態を確認し、既設柱の鉄筋を切断することなく必要本数の補強鉄筋を挿入する必要があるため、最初に配筋状態の確認を行う(写真-9)。

次に、コアボーリング・マシンにより補強鉄筋挿入のための削孔を行い(写真-10、グラビヤ)、補強鋼板を取付け(グラビヤ)、最後に、補強鋼板と柱の空隙にエポキシ樹脂を注入して施工を完了する。

写真-11、写真-12に一面補強の施工完了状況を示す。このように、高架下を利用している箇所でも、柱の一面が外部に露出している場合には、高架下利用

に支障することなく耐震補強を施工することができた。

4. おわりに

厳しい施工環境における鉄道高架橋の耐震補強工法として、高架下利用箇所等での適用を目的として開発したRB工法、一面補強工法について、その概要と施工例を報告した。

東日本旅客鉄道株式会社では、今後とも耐震補強を鋭意進めていく計画としているが、全体をできるだけ早く補強するためには、新工法の開発や、既存工法の改良によるコストダウンがまだまだ必要だと考えており、実際の工事と並行してこれらの技術開発にも取り組んでいく予定である。

最後に、本報文が今後の耐震補強工事に何らかの参考になれば幸いである。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 運輸省鉄道局：既存の鉄道構造物に係る耐震補強の緊急措置について・同解説，平成7年7月26日
- 2) 津吉毅：三陸南地震による東北新幹線の被害，宮城県沖の地震・アルジェリア地震被害調査報告会概要集，日本地震工学会・土木学会他共催，2003年8月21日
- 3) 東日本旅客鉄道(株)：RB工法設計施工の手引，2000年3月
- 4) 東日本旅客鉄道(株)：一面補強工法設計施工の手引，2001年7月
- 5) 津吉毅ら：鉄筋を柱外周に配置し柱の四隅で定着する既設RC柱の耐震補強方法に関する研究，土木学会論文集，No.662/V-49，pp.205-216，2000年11月
- 6) 石橋ら：鉄筋コンクリート高架橋の地震被害程度と設計上の耐震性能に関する検討，土木学会論文集，No.563/I-39，pp.95-103，1997年4月
- 7) 小林ら：RC柱の一面から施工する耐震補強工法の後挿入鉄筋の補強効果に関する実験的研究，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.91-102，2001年8月
- 8) 小林ら：RC柱の一面から施工する耐震補強工法の鋼板の補強効果に関する実験的研究，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.75-89，2001年8月
- 9) 村田ら：鉄骨鉄筋コンクリート部材のせん断耐力，土木学会論文集，No.626/I-48，pp.207-218，1999年7月

【筆者紹介】

津吉 毅(つよし たけし)
東日本旅客鉄道株式会社
建設工事部
構造技術センター

