

## 論文の内容の要旨

論文題目 既設 RC 柱の一面耐震補強工法の開発

氏 名 小 林 薫

本論文は、主として鉄道高架橋の構造形式として多く採用されている RC ラーメン高架橋の柱部材を対象とした新しい耐震補強工法の開発に関する研究をまとめたものである。

1995 年 1 月 17 日に発生した阪神大震災では、多くの鉄道構造物に被害が発生した。運輸省（現国土交通省）は、阪神大震災後、直ちに「鉄道施設耐震構造検討委員会（委員長：松本嘉司東京理科大学教授）」を設置した。鉄道施設耐震構造検討委員会では、「既存の鉄道構造物に係る耐震補強の緊急措置」を取りまとめ、提言を行った。この緊急措置は、運輸省（現国土交通省）から各鉄道事業者に通達され、各鉄道事業者はこの通達を受けて既設構造物の耐震補強を行うことになった。

今回の緊急耐震補強では、構造物の被害による人命、住民の生活活動、地域経済および復旧の難易等から優先度の高いものから行うものとし、新幹線および輸送量の多い線区を対象とすることが定められている。具体的な対象線区の選定では、地震による影響の大きさを考慮し、新幹線及びピーク 1 時間片道列車本数 10 本以上の在来線で輸送量の多い線区とし、仙台地区、南関東地区、東海地区、名古屋地区、京阪神地区が優先的な地域に選定された。上記以外の地域についても断層の規模等に配慮して地域を選定することになった。緊急耐震補強の実施期間については、新幹線については概ね 3 年とし、その他の鉄道については概ね 5 年とされた。

また、緊急耐震補強の対象構造物は、①ラーメン高架橋およびラーメン橋台（RC 柱）、②開削トンネル（RC 中柱）、③橋梁、高架橋（落橋防止工）が選

定された。この中で、ラーメン高架橋およびラーメン橋台の柱については、せん断力に対する安全度が曲げモーメントに対する安全度より小さいものについて、柱のせん断耐力、じん性を強化し、大規模地震に耐えうるように補強することが示された。

各鉄道事業者では、運輸省（現国土交通省）からの通達を受けてから、鋭意耐震補強工事を進めている。高架下を利用していない箇所については、JR、私鉄を含めて、平成 11 年度末までに約 42000 本の柱の耐震補強工事が完了している。

RC ラーメン高架橋の耐震補強工事では、施工性や経済性、基礎構造物への影響等を考慮して鋼板巻き補強工法が多く採用されている。しかしながら、都市部の RC ラーメン高架橋などでは、高架下を店舗や事務所、倉庫等で利用している場合が多い。このような箇所での鋼板巻き補強工法の適用は、高架下の店舗や事務所、倉庫等の建物・内装等を一部撤去し、工事終了後復旧しなければならないことから、工事費の増加や工期の長期化を招くことになる。さらに、工事期間中は、店舗等の営業ができなくなるため、テナント等の了解を得るための労力と工事着手までの多大な時間を必要としていた。このような理由から、各鉄道事業者では高架下が店舗等で利用している箇所の耐震補強工事がほとんど進まないという現状にあった。

高架下利用されている RC ラーメン高架橋では、柱表面の 4 面の内、1 面ないし 2 面が露出し、この面に支障物がない場合が多い。RC ラーメン高架橋の耐震補強工事が、このような露出している柱面だけから施工できれば、高架下の建物を支障せずに、店舗や事務所等の場合は休業することなく工事が可能となるはずである。

そこで、著者は、高架下を店舗や事務所等が利用している箇所でも高架下の建物に一切支障せずに、露出している柱面だけから耐震補強工事を行う新しい耐震補強工法を開発し、実用化するための研究を行った。

本文で対象とした新しい耐震補強工法（図-1）は、柱の一面だけから施工できることが特徴である。具体的な方法としては、露出している柱面からコアボーリングによる削孔を行う。コアボーリングによる削孔長は、コアボーリングを行う面と対面する軸方向鉄筋位置までとしている。削孔した孔に鉄筋を挿入し、グラウト注入あるいはモルタルカプセルを用いて既設 RC 柱と一体化する。次に、コアボーリングを行った柱面に鋼板を取付ける。鋼板と柱面との空隙部にエポキシ樹脂を注入して工事は終了する。本耐震補強工法は、RC 柱に作用するせん断力の方向によって、後挿入鉄筋と柱面に取付けた鋼板がそれぞれ RC 柱の補強として機能する。

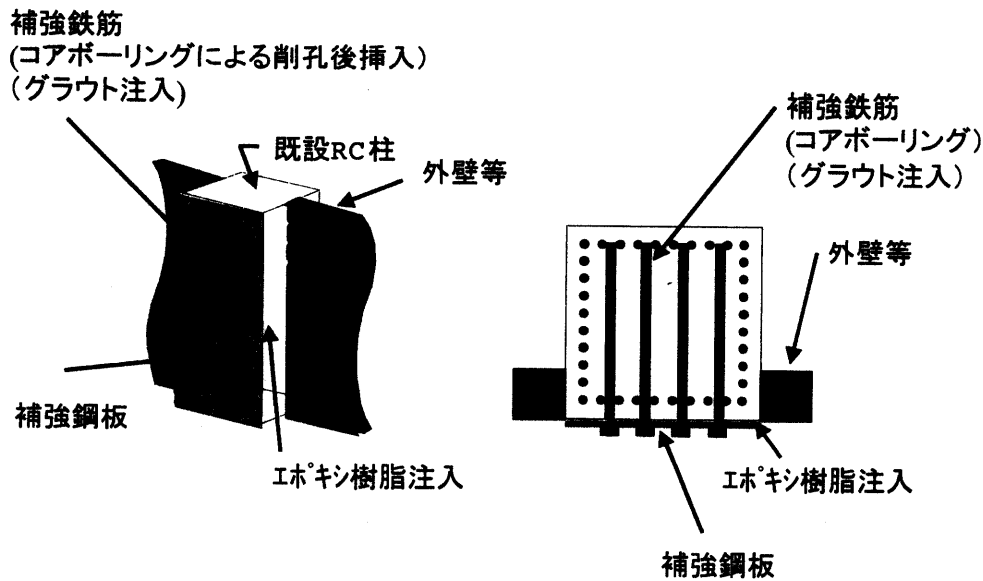


図-1 研究対象とした新しい耐震補強工法の概要

本耐震補強工法の実用化に向けた研究を行う場合は、本耐震補強工法に必要な要求性能を明確にする必要がある。緊急耐震補強では、「大地震に対して構造物が崩壊しない」ことを要求性能としている。この要求性能を満足する具体的な値として、補強後の部材じん性率を 10 程度以上確保できることとした。これは、既設構造物の降伏震度、阪神淡路大震災の RC ラーメン高架橋の被害解析結果、阪神淡路大震災以降の新設構造物の耐震設計などとの整合性を考慮して定めたものである。

この新しい耐震補強工法の補強効果を確認するために、本工法で補強した RC 柱の模型試験体を用いて静的正負交番載荷実験を行った。静的正負交番載荷実験は、後挿入鉄筋が RC 柱の補強となる場合と柱一面に取付ける鋼板が RC 柱の補強となる場合で、それぞれ方向別に試験体を製作して行った。その結果、後挿入鉄筋が RC 柱の補強となる場合では、通常の鉄道 RC ラーメン高架橋のスケルトンで、柱の平均軸方向圧縮応力度が  $1.0\text{N/mm}^2$  程度のとき、曲げ・せん断耐力比（以下「耐力比( $V_y/V_{mu}$ )」という）を 2.0 程度とすることで、じん性率  $\mu$  が 10 程度となることを示した。柱一面に取付ける鋼板が RC 柱の補強となる場合は、通常の鉄道ラーメン高架橋のスケルトンで、柱の平均軸方向圧縮応力度が  $1.0\text{N/mm}^2$  程度のとき、部材の耐力比 ( $V_y/V_{mu}$ ) を 1.4 程度とすることで  $1/2P_y$  ( $P_y$ : 降伏荷重) までのエネルギー等価じん性率  $\mu_e$  が 10 程度となることを示した。なお、 $1/2P_y$  までのエネルギー等価じん性率  $\mu_e$  として交番載荷実験結果を評価したのは、鋼板が RC 柱の補強となる場合の荷重

変位特性が最大荷重以降の交番繰返し荷重を受けても急激に荷重低下のない安定した特性であることを考慮したことによる。

本耐震補強工法の実際の施工では、後挿入鉄筋に関する施工と柱面に取付ける鋼板に関する施工に分類することができる。後挿入鉄筋に関する施工では、後挿入鉄筋と既設 RC 柱を確実に一体化することが必要である。柱面に取付ける鋼板に関する施工では、鋼板と既設 RC 柱が確実に接着されていることが必要である。このような施工性からの要求性能に対して、施工実験から確認を行うことにした。実際の施工を模擬した施工実験では、後挿入鉄筋と既設 RC 柱との一体化を行う方法として、①グラウト注入工法（中空異形高強度鋼棒を使用する場合とグラウトをあらかじめ削孔内に入れて鉄筋を挿入する方法）、②モルタルカプセルを用いる方法、から検討を行い両者ともに確実な施工となること確認した。鋼板の RC 柱面への接着に関する施工実験は、静的正負交番載荷実験に用いるために製作を行った RC 柱の模型試験体で行い、鋼板下端部からエポキシ樹脂を圧入することで確実な施工となることを確認した。

本耐震補強工法を実構造物に適用し工法の普及を図るためには、補強設計および施工方法の細目に関する事項を明確にする必要がある。そのような目的のもとに、本耐震補強工法に関する「設計施工の手引（案）」の作成を行った。本手引きでは、設計の簡便性を考慮し、適用範囲を示した上で柱上下の 2D 区間（D：柱の断面高さ）の必要耐力比( $V_y/V_{mu}$ )を後挿入鉄筋が RC 柱の補強となる場合で 2.0 以上、柱一面に取付ける鋼板が RC 柱の補強となる場合で 1.4 以上とすることを定めた。所定の補強量を RC 柱に付与することで、「大規模地震に対して崩壊にない」とした要求性能を満足する簡易設計法を示した。

本耐震補強工法の実際の構造物への適用は、JR 東日本において、平成 13 年 3 月現在で 49 本施工完了した。JR 東日本の平成 13 年度以降の耐震補強工事では、今後 5 年間の計画で約 880 本程度施工を行う予定で、この内約 40% 程度が本耐震補強工法の採用が予定されている。

また、本研究の成果は、既存構造物の耐震補強に関する国土交通省から各鉄道事業者への通達文である「既存鉄道構造物の耐震補強に関する指針・同解説（平成 13 年 6 月 18 日）」に本耐震補強工法の適用が明記され、今後さらに多くの鉄道事業者で適用されていくものと思われる。

以上のように、鉄道構造物の耐震安全性の向上に、本研究が少なからず寄与できたものと思われる。