

鋼板巻立て工法によるRC橋脚の耐震補強工事について

Retrofitting Works for Quake-resistance of RC Columns with Steel Jacketing

秋谷 由則

Yoshinori AKIYA

㈱橋梁メンテナンス技術部技術課

東 伸佳

Nobuyoshi AZUMA

㈱橋梁メンテナンス北陸事業所工事課

山崎 秋信

Akinobu YAMAZAKI

㈱橋梁メンテナンス技術部技術課課長

富沢 友悦

Tomoetsu TOMIZAWA

㈱橋梁メンテナンス北陸事業所工事課係長

野間 秀行

Hideyuki NOMA

川田建設㈱大阪支店工事部工務課

松本 享

Susumu MATSUMOTO

川田建設㈱大阪支店工事部工事課工事長

The action of the devastating January 1995 Kobe Earthquake severely damaged longitudinal reinforcing bars of RC Columns. For bridges to be resistant to an earthquake the magnitude of the Kobe Earthquake, it is imperative that the strength and ductility of bridge as a whole be improved.

This paper reports on the design and construction of retrofitting works with steel jacketing, a reinforcing method that improve both flexural strength and ductility in a well-balanced manner. The individual characteristics of several types of steel jacketing are also discussed.

Key words : RC columns, steel jacketing, retrofitting works, strength, ductility

1. まえがき

平成7年1月17日早朝に阪神・淡路地域を襲った兵庫県南部地震では道路橋をはじめとする公共土木施設が大きな被害を受けた。中でも鉄筋コンクリート橋脚の軸方向鉄筋の段落とし部では、曲げひび割れの発生に伴うせん断破壊が多数生じ、多くの橋に被害を生じた。今後、このような規模の地震に対して橋梁が耐えられるような補強が必要である。

ここでは、兵庫県南部地震により被害を受けたため応急復旧し、その後改めて主に曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により補強した大阪府池田市の池田高架橋と、被害を受けていない橋脚を補強した名古屋高速道路公社の高速万場線について報告する。

2. 「曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法」の概要

曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法とは、図1に示すように鉄筋コンクリート橋脚躯体を鋼板で巻き立て、エポキシ樹脂などにより一体化させるとともに、アンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させる構造である。

補強鋼板によって、軸方向鉄筋段落とし部を補強するとともに、橋脚の曲げ耐力とじん性の両者の向上を図ることを目的としている。構造の特徴としては次の4つが挙げられる。

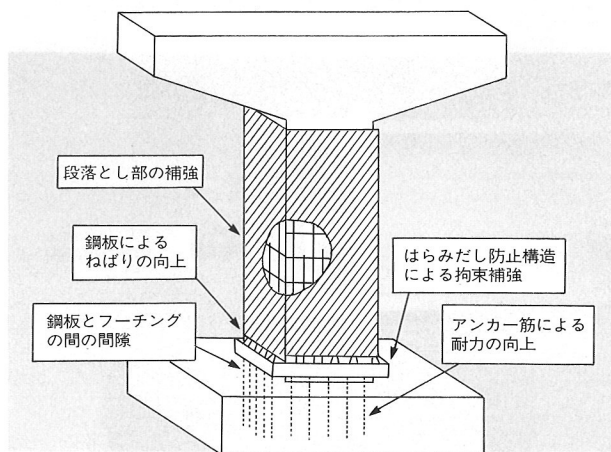


図1 曲げ耐力とじん性に対する耐震補強法

① 補強鋼板

鉄筋コンクリート脚の柱部に巻くことによって、軸方向鉄筋段落とし部を補強し、コンクリートを拘束し、じん性と耐力の向上を図る。鋼板は、軸方向鉄筋として機能するとともに、横拘束筋としても機能する。

② アンカー筋

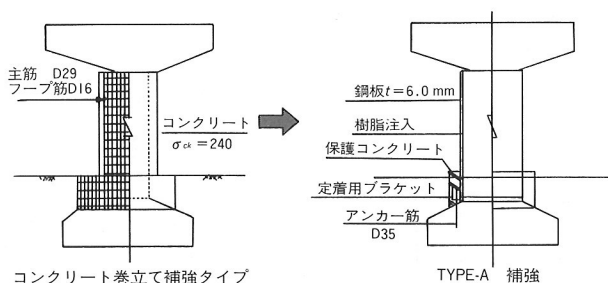
橋脚の曲げ耐力の向上を図るとともに、フーチングに伝達される地震力をコントロールする。アンカー筋の本数および径を調整することで補強による橋脚躯体の曲げ耐力の増加を制御することができる。

③ 鋼板とフーチングの間隙

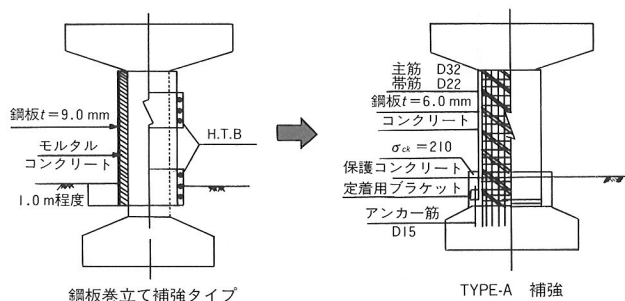
大きな地震力を受けた場合に、ここに塑性ヒンジが生じることを許容し、鋼板巻立てによる拘束を受けた状態でじん性のある曲げ破壊が生じるようにする。また、鋼板がフーチングと接触し、鋼板に予期せぬ圧縮力が作用して座屈するとともにフーチングへの損傷が生じるのを防止する。

④ 形鋼による拘束補強

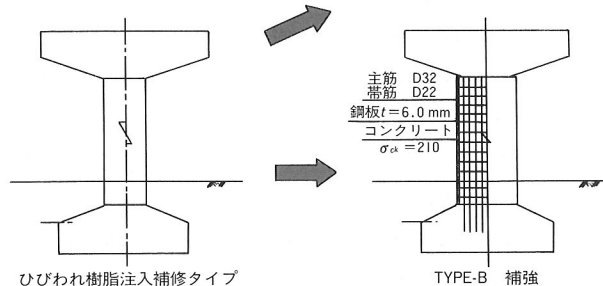
矩形断面の場合には、鋼板下端部において断面を取り囲むように形鋼を取り付ける。矩形断面橋脚の場合、橋脚基部に大きな曲率変形が生じると、鋼板下端部がはらみ出すように変形し、鋼板によるコンクリートの拘束効果が失われやすい。そこで、鋼板下端を形鋼で補強することにより、大変形時にでも鋼板が横拘束筋としての性能を発揮できるようにしたものである。



①ケース1：コンクリートの巻立て補強をした周囲に6mmの鋼板を巻立て、アンカー筋を設けて鋼板とフーチングを定着する曲げ耐力制御式で補強した。



②ケース2：鋼板巻立て補強で応急復旧のものを絶縁シートで覆い、その上から鉄筋コンクリートと6mmの鋼板を巻立て、アンカー筋を設けて鋼板とフーチングを定着する曲げ耐力制御式で補強した。



③ケース3：応急補強としてひびわれ部の樹脂注入を採用した橋脚について、鉄筋コンクリートと6mmの鋼板を巻立て補強した。アンカー筋は巻立てコンクリート内の主筋をフーチングに埋め込むことで所定の曲げ剛性を確保した。

(応急復旧タイプ)

(復旧仕様に基づく補強)

図2 復旧仕様に基づく橋脚補強要領

3. 池田高架橋における応急復旧後の橋脚補強工事

国道171号線の池田高架橋は、大阪府池田市に位置する橋長626mの高架形式の橋梁である。本橋は、兵庫県南部地震により甚大な被害を受けたため、早期の交通開放を目的に応急の復旧工事が行われた。

復旧工事は地震発生直後の調査をもとに計画され、特に橋脚部分には被害状況をランク分けして、コンクリート巻立て補強、鋼板巻立て補強、ひび割れ樹脂注入の大きく3種類が実施された¹⁾。本橋は26橋脚すべてが被害を受けており、被害の著しいケース1の4橋脚についてはフーチングからコンクリートの巻立て補強を、曲げせん断ひび割れが発生しているケース2の5橋脚については鋼板巻立て補強を、残りの比較的被害の小さいケース3の橋脚についてはひび割れ樹脂注入を行った。

今回の工事は平成7年度の工事に加えて、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様²⁾」に適合させることを目的に図2に示す要領で耐震補強工事を実施した。

4. 名古屋高速道路公社における橋脚補強工事

今回の名古屋高速道路公社の橋脚補強工事では、補強対象橋脚1075基のうち平成7年度は290基の補強が発注された。そのうち(株)橋梁メンテナンスとしては、18基の補強工事を受注した。

名古屋高速道路公社は平成7年で供用開始から16年目であり、比較的新しい高速道路であるが、地震発生前より鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査を道路橋示方書V（平成2年）に基づき設計業務を進めていた。平成7年1月の兵庫県南部地震後は、「復旧仕様²⁾」の主旨に基づき「既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計要領(案)³⁾」を作成した。今回の補強工事は上記の補強要領をもとに設計・施工が行われた。

(1) 設計

今回の補強工事の概要は、次のとおりである。

設計内容：補強対象橋脚18基の耐震性能照査および鋼板巻立て工法による補強設計

補強対象：単柱式橋脚（T型・角柱）……18基

路線名：名古屋高速道路 高速万場線

(2) 補強設計の手順

今回の補強設計では、復旧仕様に示された「耐震設計の基本方針」の主旨に従い、橋脚柱の地震時における耐力を向上させるとともにじん性を向上させてねばり強い構造とすることを基本方針としている。そのため、鋼板巻立てを原則としている。

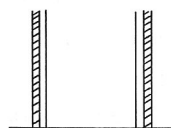
設計の手順としては、図3に示すように補強鋼板およびアンカー筋の決定までに、1脚につき4回の地震時保

Step-1 耐震性能照査 (現状照査)

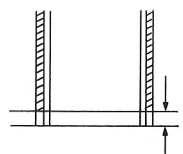
Step-2 補強鋼板厚の決定…柱基部を含めて補強鋼板を軸方向筋として考慮し板厚を決定する。

Step-3 アンカー筋要否の判定… δ 区間のみ補強鋼板を軸方向筋として考慮しない。ただし、帯鉄筋としては考慮して耐力照査をする。

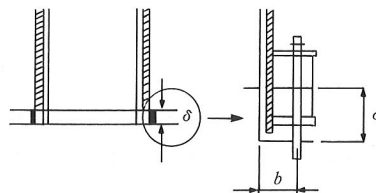
Step-4 アンカー定着量の算出…柱下端 δ 区間をコンクリートで巻き立て (コンクリート厚 b) 最外縁に鉄筋を配置したものとして算出。 δ 区間においては、柱主鉄筋とアンカー筋のみ主鉄筋として考慮。ただし、アンカー筋はネジ部断面積を有効断面とした。



(STEP-2)
定着あり
柱基部を含めて、補強鋼板を軸方向鉄筋として考慮する。



(STEP-3)
定着なし
 δ 区間のみ補強鋼板を軸方向鉄筋として考慮しない。ただし帯鉄筋としては考慮する。



(STEP-4)
必要アンカー量
柱下端 δ 区間にアンカー筋を配置。

図3 補強設計の手順

有水平耐力照査を行った。

なお、耐力照査に用いる照査用震度は、

$$K_{hc} = C_z \cdot K_{hco} = 1.75$$

C_z : 道示Vに規定される地域補正係数 (= 1)

$$K_{hco} = 1.75 \text{ (II種地盤)}$$

として固定値を用いた。照査結果としては、

補強鋼板厚…6, 9, 12 mm(SS400)

アンカー筋…D29, D32, D35, D38, D41, D51(SD345)

の範囲で対応可能であった。

(3) 補強構造

a) 補強鋼板

今回の補強橋脚はすべて矩形断面であったため、図4に示すように水平方向に8分割、高さ方向には3分割を基本とした。なお、角部については、橋脚の面取りにあわせて曲げ加工した。

補強鋼板と橋脚の間には4 mmの隙間を設け、エポキシ樹脂を注入して脚と鋼板を一体化させた。鋼板取付ボルトには、外観を重視して皿ボルトを用い、また、鋼板とコンクリート柱の隙間を確保するために、取付ボルトの周りに厚さ4 mmの磁石を3個スペーサーとして取り付けている。

b) 鋼板下端部のアンカー筋定着部

名古屋高速道路公社の鋼板巻立て構造で参考資料⁴⁾に記載されている構造と異なるところは、鋼板下端・アンカー筋定着部である。参考資料においては矩形断面の場合、鋼板下端部では、はらみ出し防止のために形鋼を取り付ける構造となっているが、今回は鋼製脚のアンカーベース部に似た構造としている。この場合、橋脚基部の剛性は必要形鋼と同等かそれ以上の値を確保することを

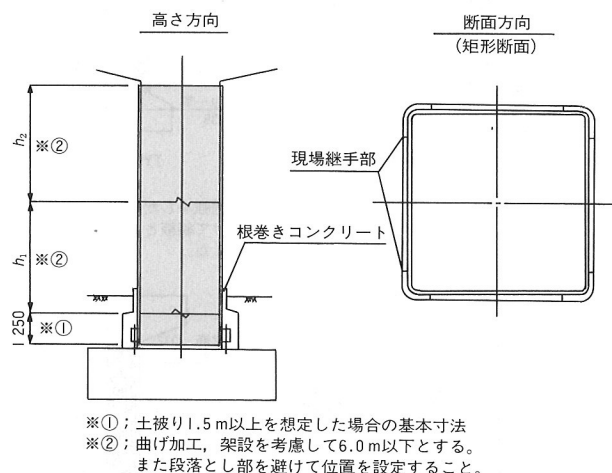


図4 鋼板の割り付け

前提としている。形鋼では、角部の構造に問題を生じるが、図5に示すように鋼板の曲げ加工にあわせて板取りを行った構造である。

(4) 動的解析

今回の名古屋高速道路公社の設計方針では、耐力照査に用いる照査用震度は固定値を用いたが、この数値の妥当性を確認するために、兵庫県南部地震で観測された最大の地震波を入力波として、非線形を考慮した動的解析を行った。図6に解析モデルを示す。

補強後の地震時保有水平耐力の値 P_a と動的解析で得られた値 P_e との比較を行うと、 $P_a > P_e$ となり照査用震度 ($K_{hc} = C_z \cdot K_{hco} = 1.75$) の妥当性は確認された。

5. 施工

ここでは、図7に示すように名古屋高速道路公社における曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法の施工方法における

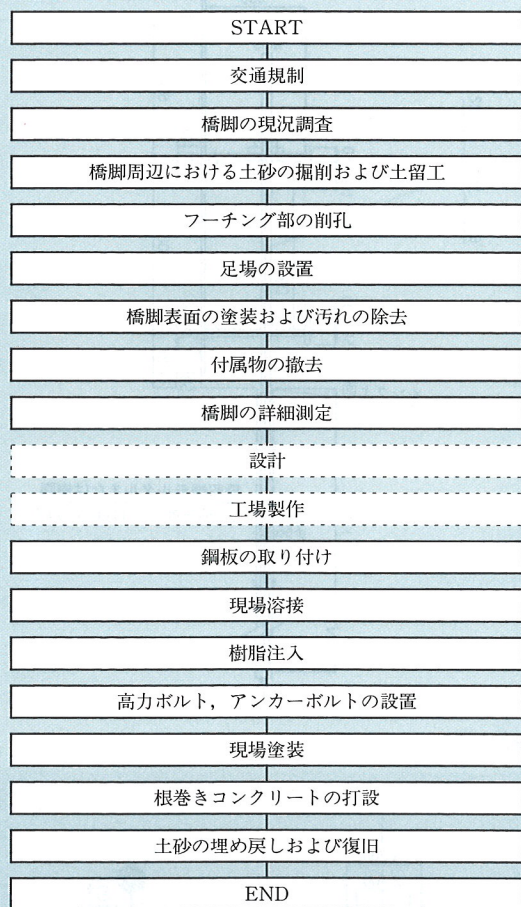


図7 名古屋高速道路公社における橋脚補強の施工の流れ

(4) 足場の設置

既設橋脚の表面処理、鋼板の取り付け、現場溶接などの作業性を考慮し、写真3に示すような足場を設置した。

(5) 橋脚表面の塗装および汚れの除去

鋼板と既設橋脚の4mmの隙間に樹脂を注入し鋼板と橋脚を一体化させるため、ショットブラストにより橋脚の塗装および汚れを除去し、樹脂により鋼板と橋脚との付着をよくした。ショットブラストを行う場合には、周辺住民に悪影響を及ぼさないようにするため、足場の周囲を防災シートで覆い粉塵が飛散しないように注意した。

(6) 補強鋼板の取り付け

橋脚を補強する部材は、水平方向に8分割、高さ方向に3分割の合計24部材で構成されることから、写真4に示すようにトラッククレーンを用いてまずコーナー部の上段、中段、下端の順番で設置し、次に平板部の上段、中段、下端の順番で設置した。鋼板の橋脚への固定方法はコンクリートアンカーと皿ボルトを用い、鋼板と橋脚の隙間を確保するために4mmのマグネットを用いた。

(7) 現場溶接

今回の補強工事では、写真5に示すように鋼板を現場溶接するために炭酸ガス半自動溶接を用い、水平方向溶接、垂直方向溶接の順番で行った。ここでは、施工後の



写真1 橋脚周辺における土砂の掘削および土留め

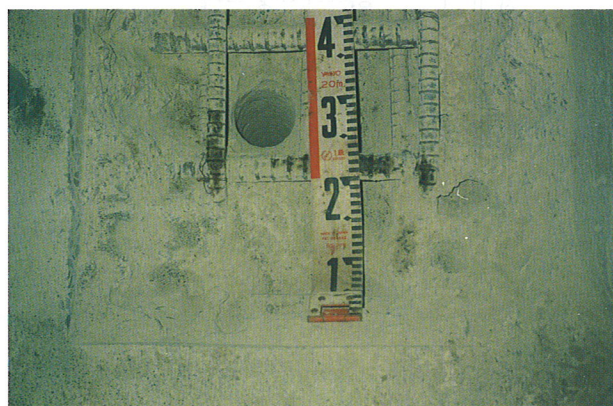


写真2 フーチング部の削孔



写真3 足場の設置



写真4 補強鋼板の取り付け



写真5 炭酸ガス半自動溶接を用いた現場溶接

景観を考慮して溶接ビードをグラインダで削り、溶接部が目立たないように仕上げた。

(8) 樹脂注入

鋼板と橋脚を一体化させるため、鋼板と橋脚との4 mmの隙間に橋脚の下端から、3段階に分けて樹脂を注入した。注入時は漏れを防止するため、皿ボルト周辺および鋼板下端部にシーラ材を塗布した。樹脂の注入圧が300 kg/cm²と非常に高く、シーラを十分に硬化させないと皿ボルト周囲から樹脂の漏れが生じる可能性があったために注入時はたいへん苦慮した。注入終了後は、シーラ材を塗布した箇所をグラインダを用い平滑に仕上げた。

(9) 高力ボルト、アンカーボルトの設置

アンカーフレームは写真6に示すように高力ボルトにより樹脂注入後に添接した。ここでの高力ボルトは、作業空間が狭かったためトルシア形高力ボルトを使用しなかった。フーチング部の削孔した孔に無収縮モルタルを流し込みアンカーボルトを挿入し、無収縮モルタル硬化後にパイプレンチでボルトを締め付けた。フーチング部の削孔からアンカーボルトの設置までおよそ3ヵ月の期間が経過するため、目詰まりをしないように孔部の防護を行った。

(10) 現場塗装

現場塗装は、ポリウレタン系の外面塗装N-04Rとし、目標塗膜を235μmとした。施工に際して、飛散防止対策に対しては十分に注意した。

(11) 根巻きコンクリートの打設

根巻きコンクリートは、車道境界ブロックと一体化した。コンクリートは、橋脚本体コンクリートと同等のものを使用した。

(12) 土砂の埋め戻しおよび復旧

土砂の埋め戻しは、掘削時に発生した土砂を車道部には一層当たり20 cmで転圧を行った。土砂の埋め戻しと同時に集水桝や排水装置などを復旧した。その後、アスファルト舗装や歩車道境界ブロック、中央分離帯ブロック積みなどの街きょう工事を行った。この街きょう工事は、単純作業であるもののかなり日数を費やした。写真



写真6 高力ボルト、アンカーボルトの設置



写真7 橋脚補強工事の完成風景

7に復旧後の状況を示す。

6. あとがき

今回のようなRC橋脚の補強工事は、各地区の高架形式の道路橋において行われているが、この工事に関しては初期の工事であったため、予期せぬ問題をひとつひとつ克服しながら無事故で竣工することができた。これらの工事は、1、2年続くものと考えられるため、本文が何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 野口堯史・松本 享・塩田 久・原 正臣・野間秀行・児島啓太郎：阪神大震災における池田高架橋の災害復旧工事，川田技報，Vol.15，pp.108,109，1996年1月。
- 2) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説（案），平成7年2月。
- 3) 名古屋高速道路公社管理部保全課：既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計要領（案），平成7年7月。
- 4) （社）日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案），平成7年6月。
- 5) 川島一彦・大塚久哲・中野正則・星隈順一・長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強法とその設計，橋梁と基礎，pp.27～34，1996年1月。