

中国自動車道荻野高架橋復旧工事における耐震補強の施工事例

(株) 竹中土木 正会員 阿部 崇
 日本道路公団 野島昭二
 (株) 竹中土木 釜口政春

1. はじめに

阪神・淡路大震災において、高速道路も橋梁区間を中心に甚大な被害を受けた。震災発生直後より直ちに着手された応急復旧工事により中国自動車道は6日後、名神高速道路では半月後に、緊急車両の通行が可能となった。このような状況の中、建設省通知の「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に関わる仕様」に基づき、中国自動車道荻野高架橋区間の復旧工事を施工した。工事内容は、主に損傷を受けたRC橋脚の補修、増杭、フーチングの拡幅、橋脚のRC巻立ておよび支承交換等による耐震補強である。また当工区は、供用中の中国自動車道本線高架下という条件と、両側を併走する国道176号線に挟まれており、限られた作業ヤード・作業空間内での施工を余儀なくされた。その結果、多くの制約条件を有する中で、通行車両に支障を与えることなく工事を実施することができた。以下、中国自動車道荻野高架橋復旧工事における耐震補強の施工事例の報告を行う。

2. 工事概要

施工区間は、中国自動車道中国池田IC～宝塚IC間の荻野高架橋付近の高架下における563mの区間であり(図-1)、延べ橋脚33基の震災復旧工事であった。橋梁形式は、RC5径間連続中空床版で下部工は上り線・下り線ともに3柱式橋脚である。また、下部工はメナーゼヒンジによる固定橋脚タイプと1本ローラー支承

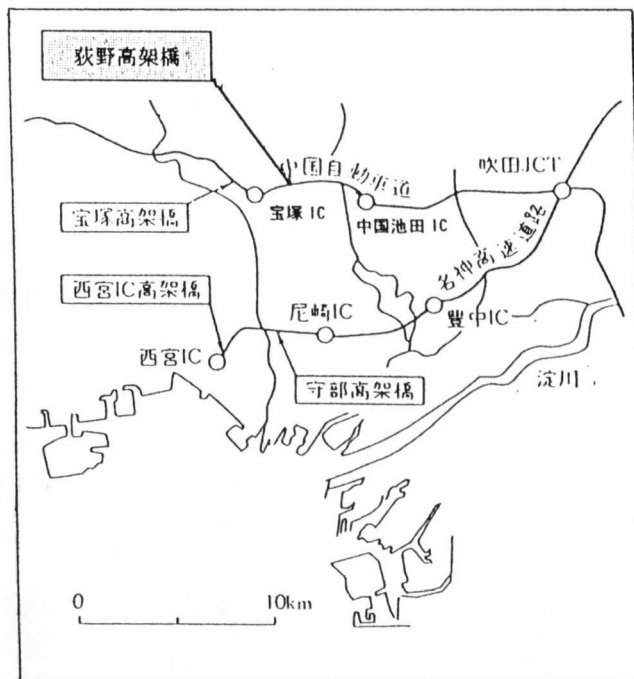


図-1 施工位置図

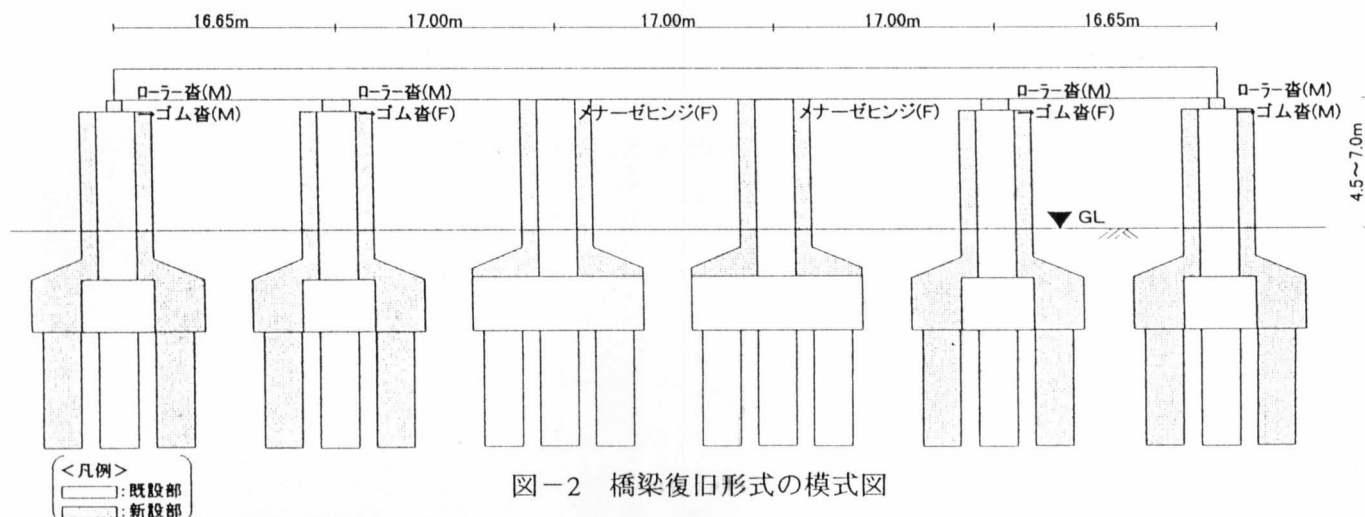


図-2 橋梁復旧形式の模式図

キーワード：RC巻立て、あと施工アンカー、支承交換、ジャッキアップ

連絡先：〒104-8182 東京都中央区銀座8-21-1 (株) 竹中土木 技術本部

TEL:03-3542-6321 FAX:03-3248-6545 Email:abe.takashi.c@takenaka.co.jp

による可動橋脚タイプに分けられるが、地震時に可動橋脚にも慣性力を負担させる（2脚固定→4脚固定）ことで、多脚固定化を実現させ復旧することとなった（図-2）。その上で、固定橋脚タイプではフーチングの増厚と脚柱のRC巻立てを、可動橋脚タイプでは増杭とフーチングの拡幅と脚柱のRC巻立ておよび支承交換を行い、不足していた耐力の向上を行った。また、フーチングの増厚・拡幅や脚柱のRC巻立てには、鉄筋挿入工法を併用している。さらに、ローラーの脱落により上部工の段差の原因となった1本ローラー支承は耐震性能に劣ると考えられ、全てゴム支承に交換した。

3. 施工概要

可動橋脚タイプのRC巻立てによる耐震補強工事の施工フローを図-3に示す。施工は、大きく既設橋脚の調査、下部工の復旧、支承交換に分けられる。下部工の復旧の中で、フーチングの拡幅や脚柱のRC巻立てにおける既設コンクリートの表面処理、および鉄筋挿入工法に伴うあと施工アンカーや貫通筋などが特徴的である。また、支承交換とともに移動制限装置の取付も行った。

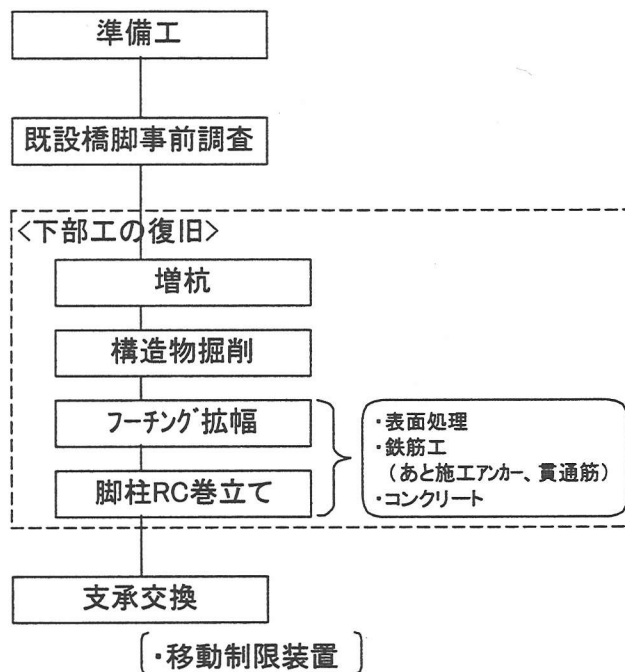


図-3 施工フロー

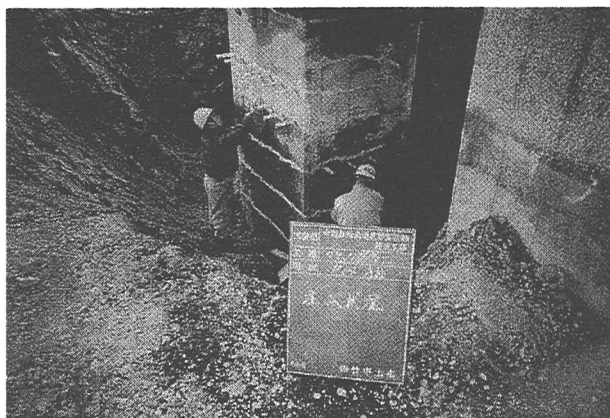


写真-1 ひび割れ部の補修状況

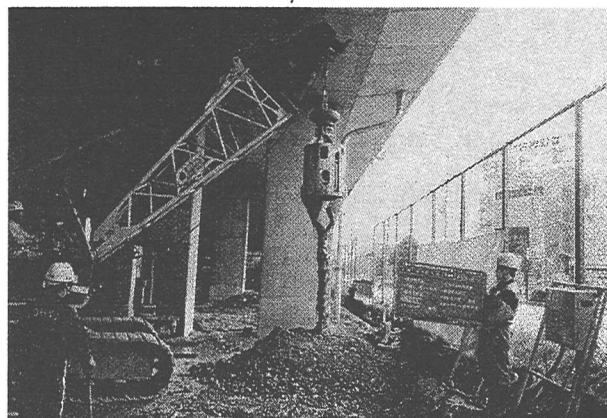


写真-2 低空頭改造型ベント機

3. 1 既設橋脚事前調査

事前の損傷調査によって、既設のRC橋脚には地震の慣性力に起因するひび割れが多く確認された。補修は自動式低圧注入工法と呼ばれる方法で、比較的粘性の小さな樹脂を注入した（写真-1）。

3. 2 下部工の復旧

(1) 増杭

増杭の施工については、桁下空間の制約があるため、低空頭対応が可能な場所打ち杭の施工方法の選定が必要となった。そのため、施工地盤高を下げることで桁下高さを確保するなど行ったが、低空頭改造型の施工機械を用いた。当工区の施工対象地盤の多くは砂礫層

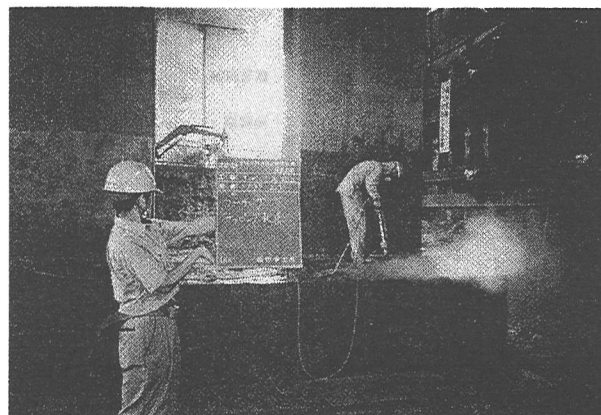


写真-3 表面処理状況

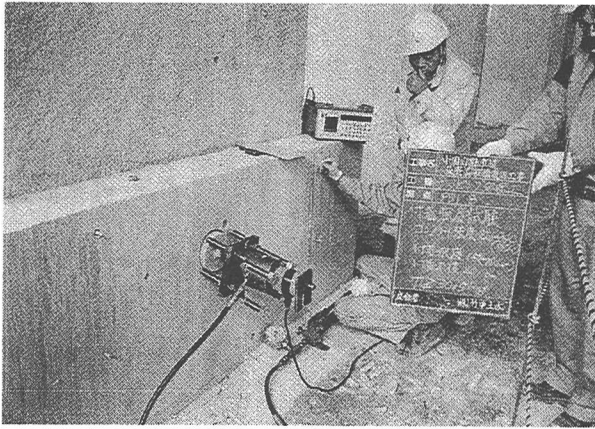


写真-4 付着強度試験

であり、支持層付近には 300mm 程度の玉石が見られたため、主としてベノト杭工法を採用した(写真-2)が、ヤード条件が厳しい交差点内の施工ではアースドリル工法を採用した。また、低空頭空間内での鉄筋の建て込み方法が問題となったが、一般的な重ね継ぎ手により桁下高に合わせた鉄筋長で分割し施工した。

(2) 表面処理

既設コンクリートの表面処理は、ウォータージェット工法(写真-3)を用いて行った。新旧コンクリートの付着性能については、施工に先立ち試験施工を行い、付着強度の検討を行った(写真-4、図-4)。一般的には、付着強度 $1(N/mm^2)$ で新旧コンクリートが充分一体化しているとみなせるが、当工事では付着強度 $1.5(N/mm^2)$ ($\approx 15(kgf/cm^2)$) を設計強度とし、それ以上の付着強度を確認した。また日常の施工管理は、表面処理の度合いを定量的に評価することが難しいため、目標とする付着強度が確保された処理面の写真を見本とし、目視による確認を行った(写真-5)。

(3) あと施工アンカーおよび貫通筋

既設構造物を有する中で鉄筋を組むこと自体容易ではない。既設コンクリートと新設コンクリートの一体化をより確実なものとするため、あと施工アンカーや貫通筋などの鉄筋挿入工法を用いている。あと施工アンカーは、既設構造物の所定の位置をハンマドリルや削岩機などで削孔し、鉄筋を差し込んでエポキシ系樹脂のグラウト注入を行うものである。また、当工事では既設構造物内部の鉄筋を切断しない設計条件であるため、削孔の際、鉄筋に当たれば打設場所をその都度変更した。あと施工アンカーの打設場所は、1 フーチングあたり、鉛直アンカーおよび水平アンカーなどを含め約 350 カ所となった。削孔径は挿入する鉄筋径よ

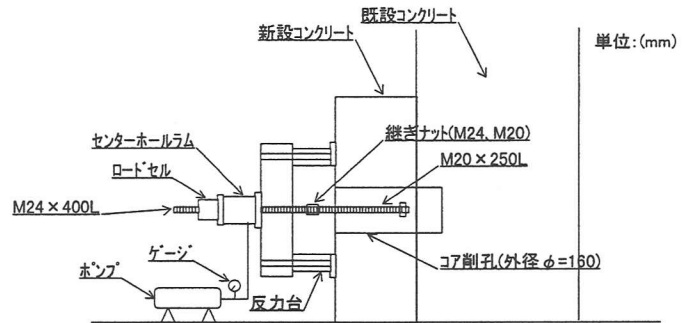


図-4 試験セット図

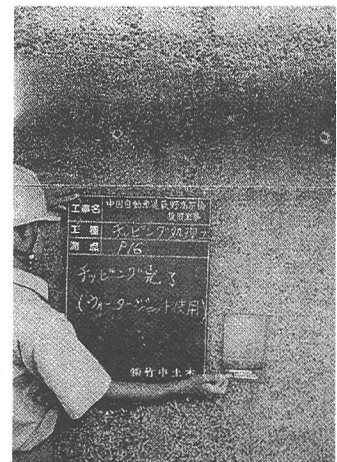


写真-5 表面処理完了確認



写真-6 樹脂アンカー削孔長の確認

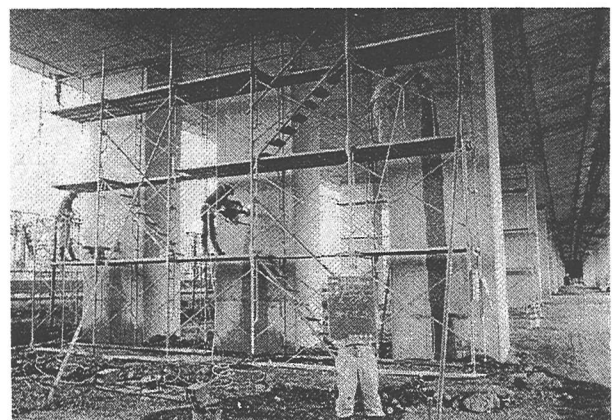
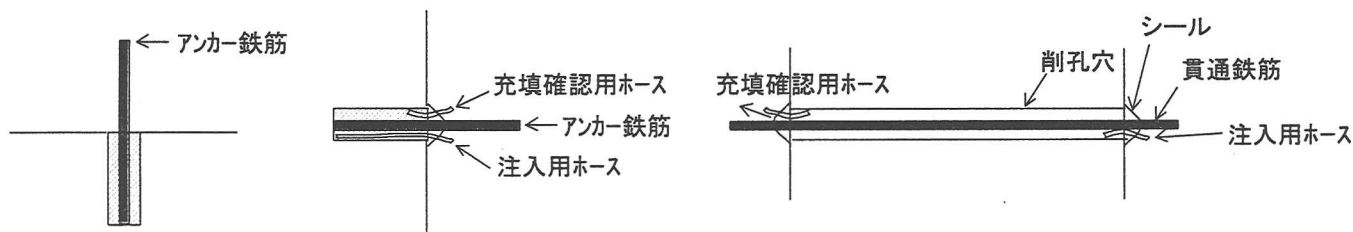


写真-7 貫通筋削孔状況

りも 10mm 程度大きく施工した。また、削孔時には粉塵が多く発生するため、集塵器などを用いて粉塵対策を講じた。さらに、削孔時の破片などが削孔穴に多く残るためコンプレッサーなどを用いて十分な清掃を行い、スポンジを用いて削孔穴の養生を行った(写真-6)。

貫通筋は、既設の橋脚やフーチングに対してコアドリルを用いて貫通削孔を行なったのちに、鉄筋を挿入し削孔穴の空隙に樹脂注入を行うもので、あと施工アンカーとほぼ同様な施工である。特に、脚柱の貫通筋は中間拘束筋として、コンクリートの拘束効果を高め RC 橋脚の変形性能を向上させるために非常に重要な位置を占める。また、フーチングの貫通筋は拡幅フーチングの主筋である。削孔に際しては、コアドリルなどの削孔機を既設のコンクリート側面に対して法線方向に正確に設置することが難しく、水平器などを用いて慎重に設置した(写真-7)。削孔径については、あと施工アンカーと同様で挿入する鉄筋径よりも 10mm 程度大きく施工した(脚柱…削孔径φ32、鉄筋径 D19、フーチング…削孔径φ50、鉄筋径 D38)。また脚柱の中間拘束筋は、設計上両側にフックがあるので、施工は片側のみフックが有る状態で鉄筋を挿入した後、小型のベンダーで反対側を曲げてフックをつけることとした。

あと施工アンカーの水平アンカーの樹脂注入については、シール後に注入という手順であったが、鉛直アンカーについては、シールは行わずそのまま注入した(図-5(a))。水平アンカーについては、まず削孔穴をシールする時に、所定の位置にアンカー鉄筋を差し込み固定する。その際、下側に注入用ホースを1本、上



(a)あと施工アンカー(左：鉛直、右：水平)

(b)貫通筋

図-5 樹脂注入方法模式図

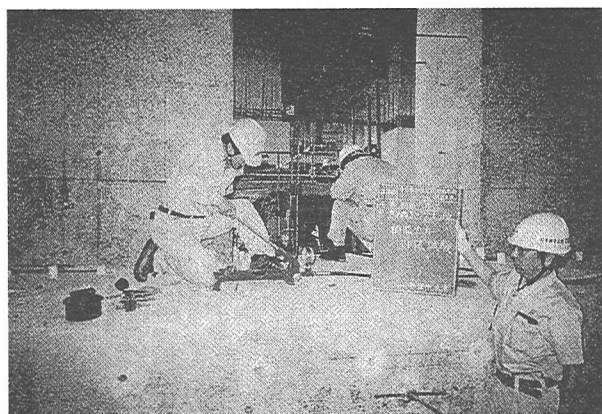


写真-8 樹脂アンカー引抜試験

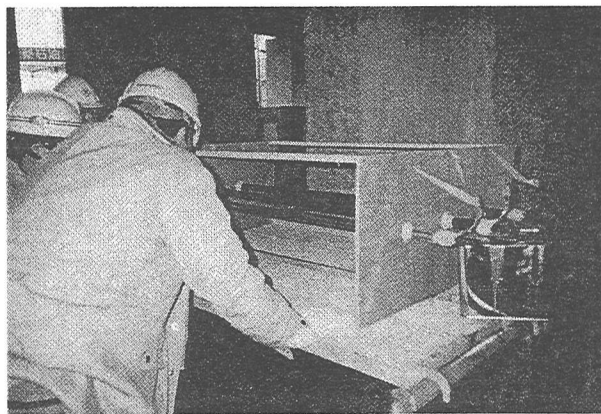


写真-9 樹脂注入施工前試験

表-1 試験条件および試験結果の一例(P13、No.1)

| | | | |
|-----------|--------------------------|-----------|---------|
| コンクリート強度 | 23.5(N/mm ²) | 養生期間 | 3日、気中 |
| 削孔長(L1) | 640mm | 最大引抜荷重(P) | *27.8tf |
| アンカー筋種類 | D=32、SD345 | 測定変形量 | 0.76mm |
| 公称断面積(As) | 7.942(cm ²) | 引抜状態 | 異常なし |
| 打設方法 | 下向き | 判定 | 良好 |

* $P = A_s * \sigma_s = 27.8(\text{tf})$

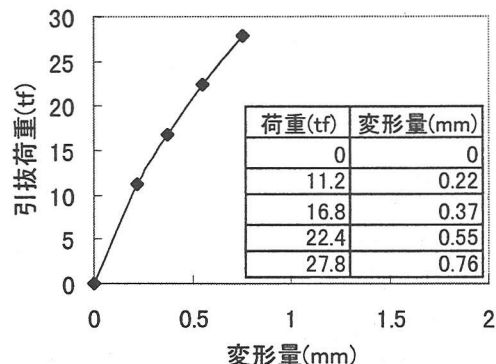


図-6 荷重-変形量関係の一例(P13、No.1)

側に充填確認用ホースを1本の合計2本のホースを一緒に取り付けておく。シールの硬化後、足踏み式ポンプを用いて下側の注入ホースより樹脂の注入を行い、上側の充填確認用ホースでエアを抜きながら樹脂があふれてくるのを確認し充填完了とするものである。樹脂は確実な充填を行うため、鉛直アンカーと水平アンカーでは、水平アンカーの方が粘性の低い樹脂を使用した。また、施工前試験および定期管理試験として引抜試験を行った(写真-8)。荷重-変形量の関係結果(表-1、図-6)によると、荷重管理を行う中、鉄筋の降伏応力に相当する引抜荷重をかけても、鉄筋が弾性的な挙動を示していることが確認された。

貫通筋の樹脂の注入には、施工前試験を行い水平方向の注入に対して、樹脂の充填方法と充填性の確認を行った(写真-9)。充填方法としては、あと施工アンカーとほぼ同様であるが構造物の裏側に充填確認用のホースを取り付けている。しかし、遅れて構造物内部に樹脂が浸透することがある為、一旦充填完了後も補注注入を必要とすることが多かった(図-5(b))。品質管理としては、1) 削孔精度の確認、2) 削孔穴の清掃確認、3) 樹脂注入の充填確認などが主なポイントとなった。

(4) コンクリート

脚柱のコンクリートの打設は、巻立て厚さが25cmの狭小部での施工となることから、高性能AE減水剤を添加したコンクリート(呼び強度:24N/mm²、スランプ:18cm、粗骨材の最大寸法:20mm)を使用し、ワーカビリティの向上を図った。また、新設コンクリートとの材齢差(20年以上)を考慮し、若材齢時に膨張し初期の収縮ひび割れを抑制できる膨張材を添加した。さらに、RC中空床版の固定橋脚は、メナーゼヒンジによる支持であるため、コンクリートを脚柱上部まで打ち上げることができない。そのため、脚柱頭部の高さ20cmについては、無収縮モルタルを打設した。

3. 3 支承交換およびその他

(1) 支承交換

支承交換の施工は、中国自動車道が供用中であるため、通行車両に影響を与えないことが重要な課題であった。施工内容は、ローラーの逸脱(写真-10)やこれに伴う上部工の段差、沈下など耐震性能に劣ると考えられた1本ローラー支承を、ゴム支承に交換するものである。図-7に施工フローを示す。全体的な流れは、

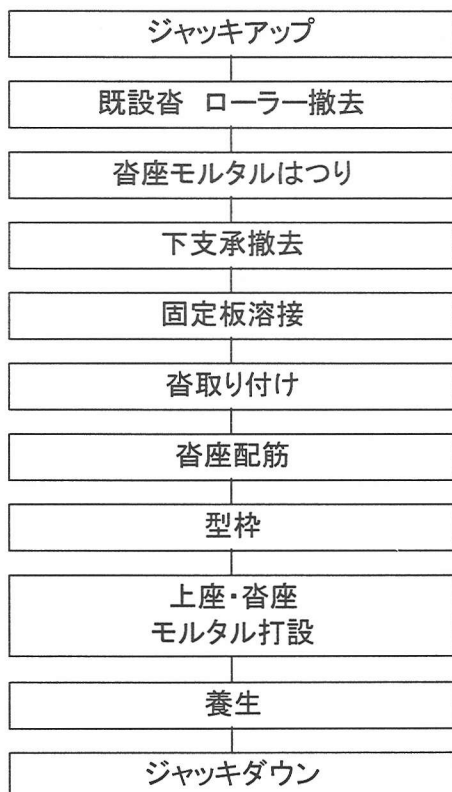


図-7 支承交換施工フロー

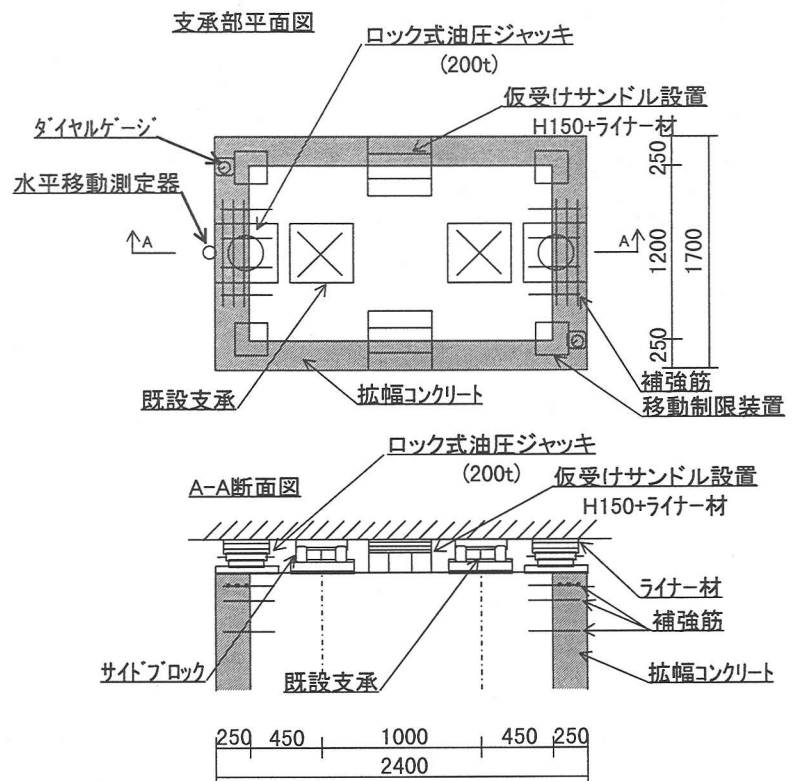


図-8 支承部詳細図

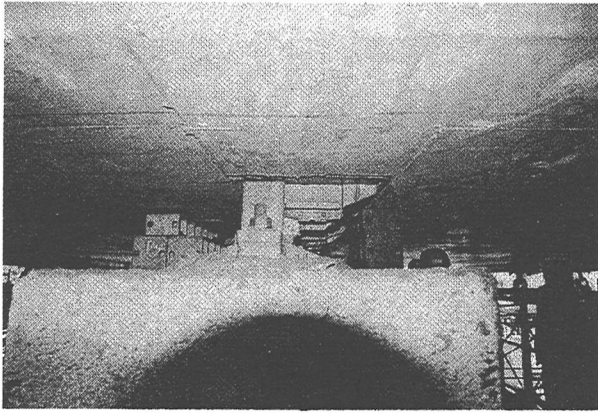


写真-10 既設支承損傷状況

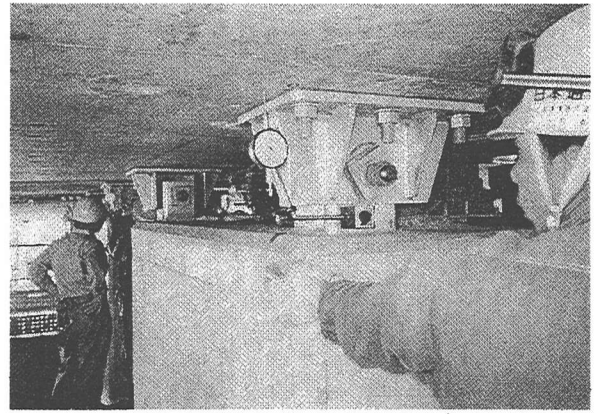


写真-11 ジャッキアップ計測



写真-12 油圧系統の整備

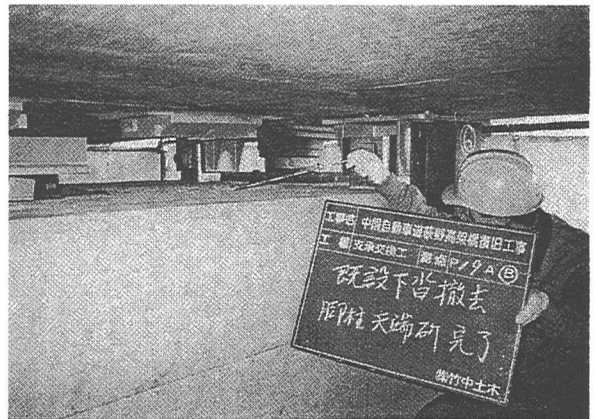


写真-13 既設下沓撤去完了

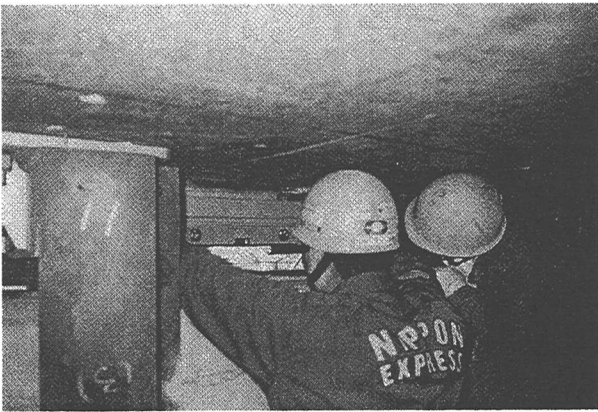


写真-14 支承据付状況

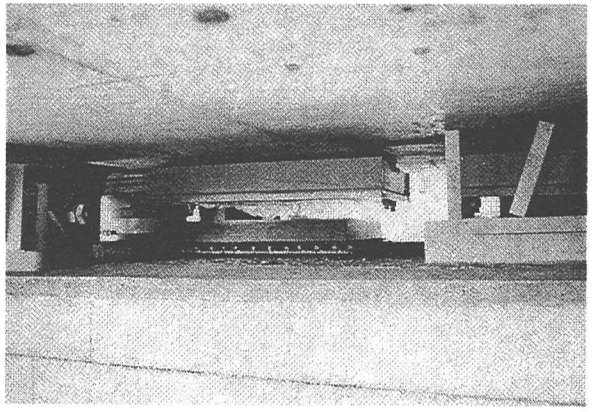


写真-15 沓座配筋状況

脚柱の RC 巻立て完了後ジャッキアップを行い、既設支承撤去、ゴム支承設置、ジャッキダウンという順である。図-8 に支承部詳細図を示す。当初、桁スラブの仮受け方法にはベント工法や脚柱にブラケットを設けて行うなどの方法もあったが、安全性・作業性・経済性などの面から総合的に判断して、あらかじめ割裂防止用の補強筋を入れて RC 巻立てを行い、脚柱頭部に 200t ジャッキを設置して反力をとる方法を選択した。供用中の路面に影響を与えないために、ジャッキアップ量は最大 2.5mm とし、ジャッキアップおよびジャッキダウン作業時は、ダイヤルゲージを用いて計測を行い、0.5mm ずつ慎重に行った(写真-11)。さらに、3 柱橋脚上で同時ジャッキアップするために、6 箇所のジャッキに対し連動油圧式ポンプを導入することで、作業を精度良くかつ合理的に行うことができた(写真-12)。ジャッキアップ後は、既設のローラーを撤去後、人力はつりにより下沓を撤去し(写真-13)、全体を整形したのち新ゴム支承を上沓の方から慎重に水平に設置した(写真-14)。その際、据付精度は橋軸方向および橋軸直角方向ともに 1/100 以内で管理した。また新ゴム支承には、内部に補強用鋼板を有し、クロロプレン系合成ゴム(CR)および天然ゴム(NR)からなる積層ゴムを使用した。下部の沓座には、無収縮モルタルを打設したが、その際 D13@50×50(mm)の沓座モルタル

補強鉄筋を配筋した(写真-15)。無収縮モルタル打設後は、充分養生し3日強度を確認後、ジャッキダウンし仕上げを行った(写真-16)。また、沓座の無収縮モルタル打設については、脚柱頭部と桁スラブに挟まれた非常に狭い空間であったため、作業性が悪く片側からしか注入できず充填不十分になる恐れもあったが、注入ホースを打設箇所中央部にまで挿入して注入を行うことで、沓座全体に均等に充填することができた。新設の施工であれば、腐食などの問題から通気性を良くするためや、点検・補修のために桁下空間を大きく確保することが望ましいが、当工事は既設桁スラブ下の空間での施工で地震によって桁スラブの過大な水平移動および沈下などを有し、新設時ほどの十分な空間を確保することができない箇所もあった。そのため、図-9に示すような沓座モルタル高 h と支承縁端距離 r の関係を満足させた上で、 h について場合分けを行い、 $h < 50(\text{mm})$ の時 $r = 50(\text{mm})$ 、 $h \geq 50(\text{mm})$ の時 $r = h$ とした。ジャッキアップ中の計測管理としては、毎朝・夕においてダイヤルゲージによる桁スラブの水平移動および沈下計測を行い、ジャッキダウン後も同様の計測を3日続けた。支承交換前後の床版沈下・水平移動測定結果の一例を図-10に示す。また、ダイヤルゲージは、供用中の高速道路を通過する車両の振動で常時振れているため、その最大値・最小値を読みその平均値で評価した。その結果、支承交換前後における床版沈下量はどの橋脚でも1mm程度に収めることができ、水平移動もほとんど見られなかった。

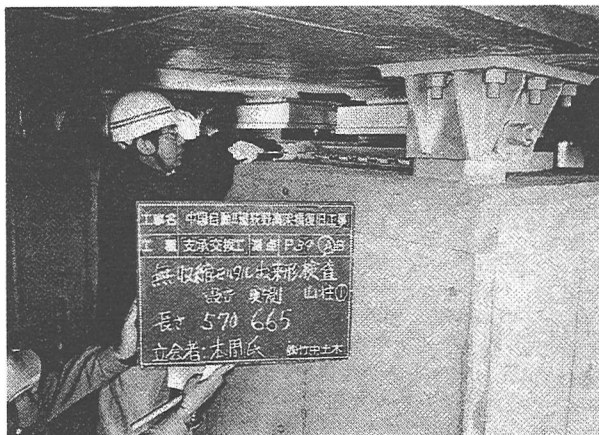


写真-16 沓座モルタル出来形確認
↑ 大阪側

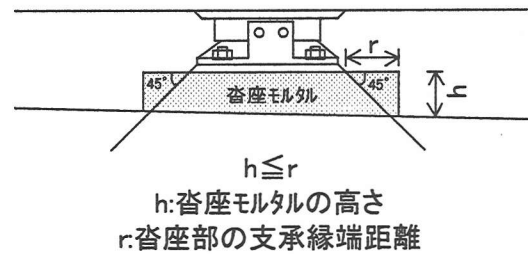
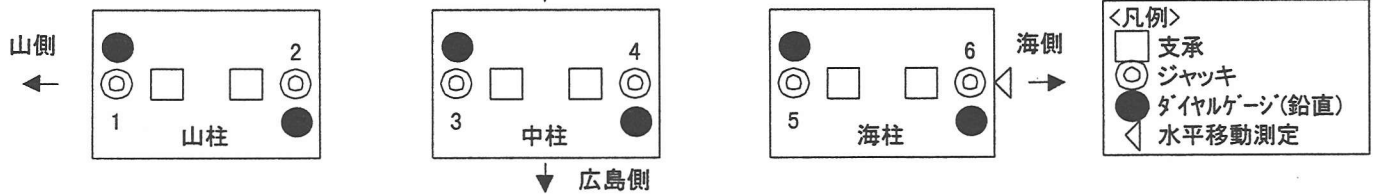


図-9 沓座モルタル²⁾



| ゲージ | 年月日 | H8.10.3 | H8.10.3 | H8.10.3 | H8.10.15 | H8.10.15 | H8.10.15 | H8.10.15 |
|-------------|------------------|---------|--------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------------|
| 山柱1 | ジャッキ圧力読み(t) | | 108 | | | 102 | | |
| | ダイヤルゲージ読みMIN,MAX | 1500 | 1228,1230 | 1263,1265 | 1297,1299 | 1185,1190 | 1420,1421 | 0.80 |
| 山柱2 | ジャッキ圧力読み(t) | | 68 | | | 69 | | |
| | ダイヤルゲージ読みMIN,MAX | 1500 | 1232,1234 | 1288,1290 | 1292,1294 | 1183,1184 | 1389,1392 | 1.10 |
| 中柱1 | ジャッキ圧力読み(t) | | 60 | | | 63 | | |
| | ダイヤルゲージ読みMIN,MAX | 1500 | 1235,1238 | 1308,1310 | 1332,1333 | 1214,1216 | 1410,1411 | 0.90 |
| 中柱2 | ジャッキ圧力読み(t) | | 93 | | | 79 | | |
| | ダイヤルゲージ読みMIN,MAX | 1500 | 1254,1257 | 1320,1322 | 1324,1325 | 1216,1217 | 1430,1431 | 0.70 |
| 海柱1 | ジャッキ圧力読み(t) | | 85 | | | 99 | | |
| | ダイヤルゲージ読みMIN,MAX | 1500 | 1244,1245 | 1316,1318 | 1358,1359 | 1254,1255 | 1472,1475 | 0.27 |
| 海柱2 | ジャッキ圧力読み(t) | | 121 | | | 118 | | |
| | ダイヤルゲージ読みMIN,MAX | 1500 | 1236,1239 | 1315,1316 | 1325,1330 | 1225,1229 | 1505,1506 | -0.06 |
| ジャッキ圧力合計(t) | | | 535 | | | 530 | | |
| 水平移動(mm) | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 作業内容 | | 初期値 | ジャッキアップ (2.5mm) | 安全ロック 締め付け後 | ジャッキダウン 前 | 安全ロック 解除時 | ジャッキダウン 完了 | 支承交換による 高さの差(mm) |

※ダイヤルゲージは1回転1mmを使用。例(ダイヤルゲージ読み100→1mm)

図-10 床版沈下・水平移動測定結果の一例(P19、下り線)

(2) 移動制限装置の取付

当工事では、脚柱の四隅に亜鉛メッキ処理された鋼製のブラケット(台座)とストッパー(鋼製の筒)からなる構造の移動制限装置を設置した。まず、上部桁下面に位置を出し、取り付けるストッパーが障害となる既設脚柱のコーナー部をはつり取る(写真-17)。その後、あと施工アンカーとしてケミカルアンカーを用い、上部桁にブラケットを取り付けた。上向きへのアンカー打ち込みになるため、自重でアンカー自体が降下するので、硬化までの間はガムテープなどで固定しアンカーの定着長を確保した(写真-18)。脚柱のコンクリート打設および支承交換(ジャッキダウン)完了後、桁に仮固定していたブラケットを水平に再調整したのち、ブラケットと桁スラブとの隙間に樹脂を注入し、桁と脚柱とを連結させた(写真-19、20)。また、ケミカルアンカーについては、橋脚5基に1基の割合で本設のアンカーを用いて定期的に引抜き試験を実施し管理を行った。

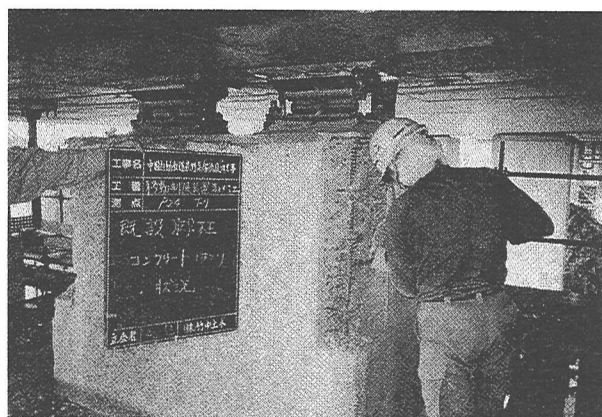


写真-17 既設脚柱はつり状況



写真-18 ケミカルアンカー設置状況

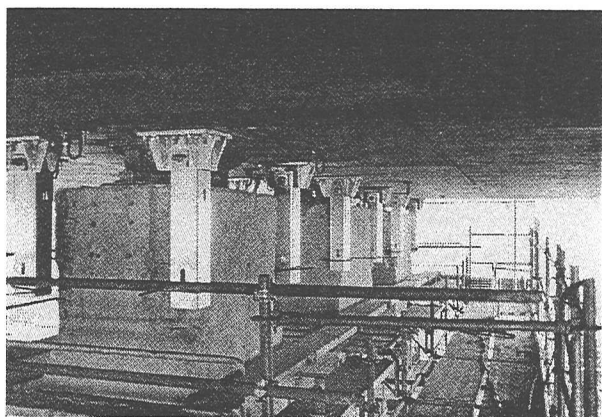


写真-19 移動制限装置取付完了

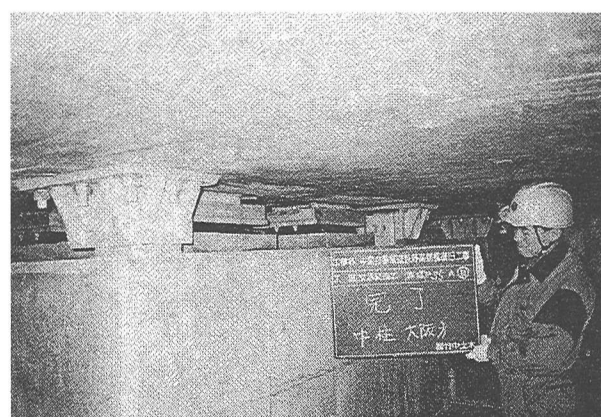


写真-20 完了

4. おわりに

今回の工事では、桁下空間での作業および併走する国道176号線に挟まれた厳しい施工ヤード条件の中での一連の耐震補強工事を無事に施工を完了することができた。特に、数多い支承交換では、慎重な管理の中、中国自動車道の交通に影響を与えることなくすべて実施することができた。

<参考文献>

- 1) 竹本明朗・岡田収：鋼繊維コンクリートを用いた打重ね床版補強一般国道43号辰巳橋、橋梁と基礎、Vol.14、No.11、pp.25～32、1980.11.
- 2) 日本道路協会：道路橋支承便覧、平成3年7月