

(51) ヒンジ構造を有するPC連続桁のラーメン化による耐震補強

埼玉県 越谷土木事務所 落合 則義  
 三井共同建設コンサルタント(株) 山口 明  
 住友建設(株) 東京支店 正会員 川浦 順一  
 住友建設(株)技術・設計部 正会員 ○ 瀬間 優

1. はじめに

相生陸橋跨線橋、都市計画道路八潮越谷線がJR武蔵野線を跨ぐ地点に架けられたヒンジ構造を有するPC3径間連続箱桁橋で、昭和48年に竣工した橋梁である。ここで紹介する本補強工事は、当陸橋の開通に先駆けて実施した、この跨線橋の新活荷重に対する補強と復旧仕様に基づく照査による耐震補強である。

本補強工事の大きな特徴は、ヒンジ構造を有するPC連続桁橋の構造を、主桁ヒンジ部の連続化と外ケーブル配置による補強に併せて、主桁・橋脚の剛結化により、3径間連続ラーメン構造とすることで、主桁断面力の改善と全体構造としての耐震性の向上を図ったことである。

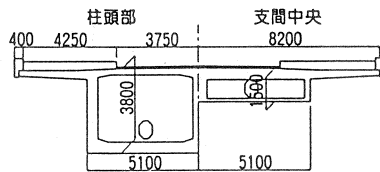
本講演では、上記耐震補強方法の決定過程を解析結果をもとに紹介するとともに、施工の実際について報告するものである。

表-1. 橋梁概要

路線名	八潮越谷線(相生陸橋跨線橋)
道路規格	4種2級
構造型式	PC3径間ラーメン箱桁橋
桁長	204.400m
支間	63.000m+75.600m+64.800m
幅員	車道 7.500m、歩道 4.250m×2
斜角	左 82° 36'
平面線形	R=∞
横断線形	車道 1.5% 1.5%、歩道 2.0%

2. 橋梁概要

本橋の橋梁概要を(表-1)に一般図を(図-1)に示す。

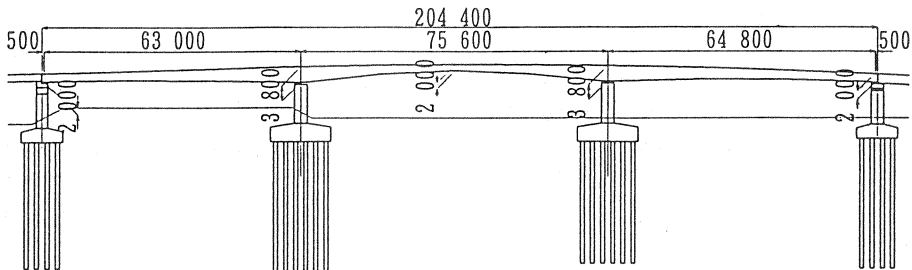


断面図

3. 耐震補強方法の決定経緯

3-1. 当初計画

本橋の補強は、当初つぎのような項目について計画された。



側面図

図-1 橋梁一般図

(1) B活荷重対応; 床版の補強および外ケーブル配置による主桁応力改善

(2) 耐震補強; 道路橋示方書V耐震設計編(平成2年)に準じた設計震度の見直しによる鋼製ピン支承の補強

### 3-2. 復旧仕様に基づく照査による耐震補強

阪神大震災後、大規模直下型地震に対する耐震安全性にも配慮した”復旧仕様”が定められ、これに準じた耐震補強検討を行った。ここでは、支承部について前述の鋼製ピン支承の補強を含め、主桁・橋脚の連結構造をパラメータとして、支承を取り替えて免震構造とする方法および剛結構造とする方法を比較した。また、主桁のヒンジ構造部については、ヒンジ構造のままとする方法と連続化する方法を比較した。これらのパラメータを整理して、次に示す5つの構造系(図-2)について、耐震性の検討を行った。

### 3-3. 検討結果

#### (1) 入力地震波

弾塑性動的解析に使用した入力地震波は、東神戸大橋Ⅲ種地盤にて観測された東西方向の地震波である。

#### (2) 弾塑性動的解析結果

弾塑性動的解析結果一覧表(表-2)を以下に示す。

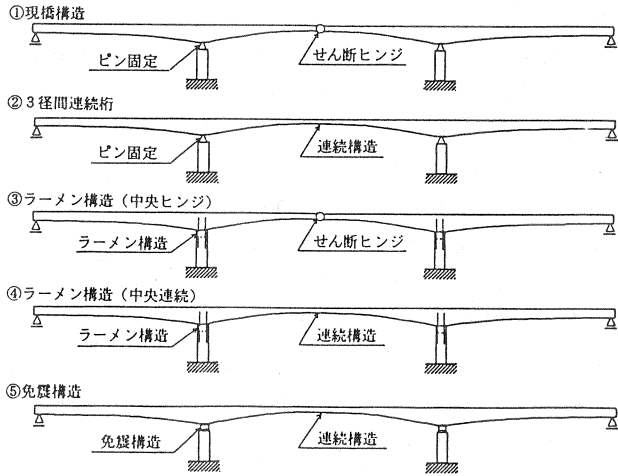
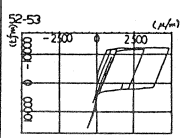
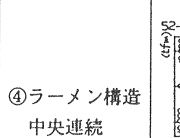
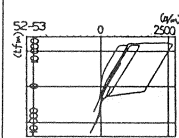
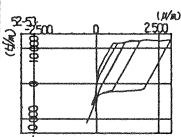
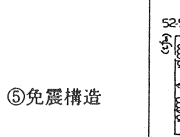
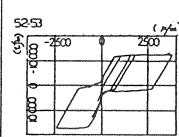


図-2. 耐震補強の比較検討構造系

表-2 弾塑性動的解析の結果一覧表

<p>①現橋構造 (②3径間連続)</p>	 脚下端 M-φ 曲線 柱頭部上縁圧縮歪み が3500μを超え圧壊	<p>④ラーメン構造 中央連続</p>	 脚下端 M-φ 曲線	<p>⑤免震構造</p>	 脚下端 M-φ 曲線
<p>③ラーメン構造 中央ヒンジ</p>	 脚下端 M-φ 曲線	<p>①現橋構造 (②3径間連続)</p>	 脚下端 M-φ 曲線	<p>③ラーメン構造 中央ヒンジ</p>	 脚下端 M-φ 曲線

(3) 検討結果のまとめ

弾塑性動的解析および地震時保有水平耐力の計算より、各比較案について以下のような結果を得た。ただし、基礎は杭基礎(Ⅲ種地盤)のパネを考慮した。本橋の橋脚高は約10mと低い軟弱な地盤のため、ラーメン構造とした場合の脚天端の拘束が、全体構造系としての耐震性向上に効果的となった。

- ①現橋構造：・地震後8秒程で柱頭部付近主桁上縁圧縮歪みが3500 $\mu$ を超えてしまい圧壊に至っている。
  - ・固定支承の水平耐力を2倍程まで補強が必要である。
  - ・脚下端の回転角 $\phi$ が非常に大きく、また、橋脚基部で曲げ耐力が不足している。
- ②3径間連続桁：・主桁の圧壊はないが、その他は①と同じである。
- ③ラーメン構造：・脚下端の回転角 $\phi$ が小さくなり、脚天端変位を抑え十分な耐震補強効果が得られる。(中央ヒンジ)
- ④ラーメン構造：・脚下端の回転角 $\phi$ が小さくなり、脚天端変位を抑え十分な耐震補強効果が得られる。(中央連続化)
  - ・主桁柱頭部の曲げモーメントを軽減できる。
  - ・将来的な主桁支間中央のクリープによる変形を抑制できる。
- ⑤免震構造：・脚下端の回転角 $\phi$ および脚天端変位は、連続桁形式案(①、②)に次いで大きく、橋脚基部で曲げ耐力が不足している。

上記より、連続桁構造(①、②)は、支承構造および脚下端の補強の必要性から、地震に対して耐力をアップするのみで耐震性の向上がなされない。また、免震構造(⑤)は、耐震性の向上が図れてはいるものの、脚下端の補強は必要になる。さらに、免震支承を取り付ける際に橋脚をはつり、一時的に橋脚の耐力を損なうことや、クリアランスの少ない桁下への重量物(免震支承)の挿入・設置に手間がかかるなどの懸念がある。一方、ラーメン構造(③、④)は、既設橋脚を補強する必要がなく、耐震性の向上が図れている。また、施工面においても、使用材料が軽量・コンパクトである利点があり、施工中に橋体の耐力を損なうことなく補強工事を行うことができる。また、ラーメン構造でも中央ヒンジ構造を残した(③)場合には、ゲレンク部の鉛直支承・水平支承の交換作業が発生し、メンテナンスも必要である。

以上より総合的に判断し、構造的、施工性、経済性等から本橋における耐震補強の構造には、ラーメン構造中央連続案(④)が最も適していると判断し、適用した。

4. 主桁・橋脚の剛結方法について

4-1. 主桁・橋脚の剛結方法の設定

主桁・橋脚接合部は、鋼製支承による上部工からのせん断力伝達を期待して、不足分を鉄筋およびコンクリートで負担させることとした。曲げに対しては、死荷重の殆どが支承を介して橋脚に伝達され、後打ち部コンクリートがRC部材として成立しにくいいため、後打ち部のコンクリート部材に、プレストレス( $P_e=2000tf$ )を与え補強した。

剛結構造は、供用中のJR武蔵野線およびJR貨物の引込み線とのクリアランスが少なく橋脚躯体幅の変更が不可能であったため、(図-3)の

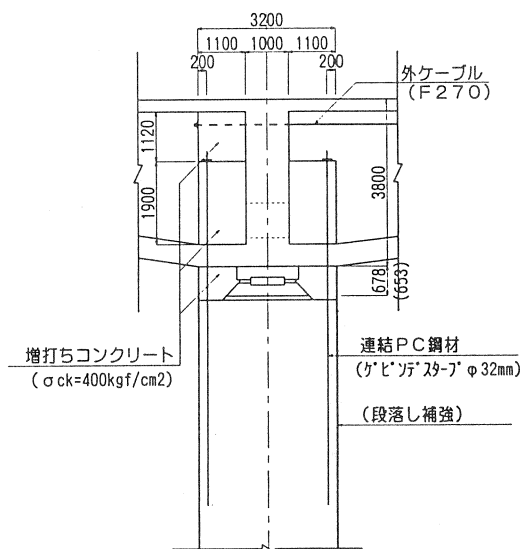


図-3 柱頭部剛結構造

様な構造とした。主桁内から下床版・橋脚を削孔(φ75mm)し、ゲビンデ鋼棒(総ネジPC鋼棒φ32mm)を設置して無収縮コンクリートにより橋脚へ定着、連結部コンクリート部材を打設後、連結鋼材を緊張し一体化させた構造である。

無収縮モルタルによる定着長 $l_e$ は、実験値をベースとした接着系アンカーの付着耐力の算出式から求め、安全を考慮して $l_e=35\phi$ とした。ただし、グラウト材料、定着長および緊張力の決定に当たっては、連結鋼材引抜き強度の確認実験を行っている。

#### 4-2. 連結鋼材の引抜き実験結果

実験では、充填材として①無収縮モルタル、②エポキシ樹脂(ドライタイプ)、③エポキシ樹脂(ウェットタイプ)、④樹脂モルタルの4種類について、張力と付着長の3パターン(a. 50tf-1920mm、b. 50tf-1120mm、c. 70tf-1920mm)をパラメータとし、計12体の試験体について総ネジ鋼棒のひずみ分布を深さ100mmピッチで計測した。そのひずみ分布より予測される付着定着長の結果を以下に示す(表-3)。また、樹脂系接着剤のクリープ変形による導入張力の減少についても懸念されたため、1週間の経時変化も計測した(図-4、写真-1)。結果の概要は以下のとおりである。

表-3 引抜き実験結果による予測付着定着長

張力tf-付着長mm	70tf-1,920mm	50tf-1,920mm	50tf-1,120mm
無収縮モルタル	550mm (17φ)	550mm (17φ)	550mm (17φ)
エポキシ樹脂(ドライタイプ)	700mm (22φ)	650mm (20φ)	650mm (20φ)
エポキシ樹脂(ウェットタイプ)	550mm (17φ)	550mm (17φ)	650mm (20φ)
樹脂モルタル	700mm (22φ)	650mm (20φ)	600mm (19φ)

(1)鋼棒の付着定着長については、全試験体ともに18φ~22φとなり35φ以内で完全に定着する。

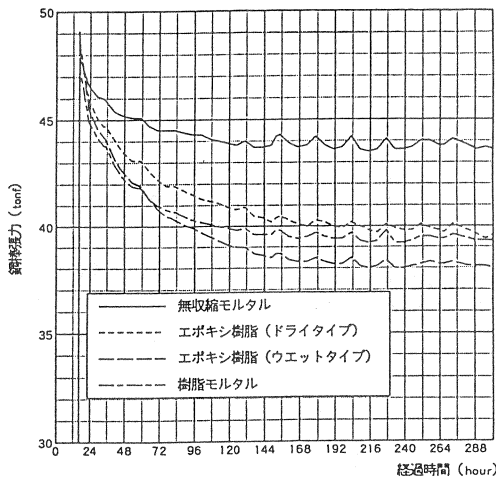
(定着長の短い順に無収縮モルタル→エポキシ樹脂(ウェットタイプ)→樹脂モルタル→エポキシ樹脂(ドライタイプ))

(2)鋼棒の抜け出しについては、確認されなかった。

(3)経時変化については、張力・ひずみとも1週間程度で安定した。鋼棒張力の低下率は、無収縮モルタルで92%、他の充填材では80%程度であった。

(低下率の低い順に無収縮モルタル→エポキシ樹脂(ドライタイプ)→樹脂モルタル→エポキシ樹脂(ウェットタイプ))

試験結果により、無収縮モルタルが充填材として適していると判断し、本工事に採用した。



(付着長 1 1 2 0 mm)

図-4 鋼棒張力経時変化



写真-1 引抜き試験状況

## 5. 施工

### 5-1. 施工フロー

全体工事の概略施工フローを(図-5)に示す。

### 5-2. 主桁・橋脚の剛結化構造の施工

剛結化構造の施工は、まず、連結PC鋼材を配置するため柱頭部横桁の一部をはつり撤去した。既設の横桁壁面は、新規にコンクリートを打設するためにチップング処理を行い壁面にはアンカー孔を削孔し、樹脂アンカーを施工した。次に、柱頭部下床版と橋脚頭部には、D32鉄筋配置用(φ75mm)とφ32mm総ネジPC鋼棒配置用(φ42mm)の削孔を行った。橋脚頭部においては、付着長を確保できるような削孔長の確認を行い、鉄筋はエポキシ樹脂、総ネジPC鋼棒は先に実験済みの無収縮コンクリートを用いて定着させた。鉄筋・型枠組立後、主桁床版に設けた開口部からコンクリート(σ<sub>ck</sub>=400kgf/cm<sup>2</sup>)を打設し、コンクリートの硬化後、新設横桁の上面に定着させた総ネジPC鋼棒(n=40本)に緊張力(P=55t/本)を導入し、グラウト注入を行い、柱頭部剛結工を完了した。さらに、外ケーブル配置に供えて柱頭部横桁の補強を行った。外ケーブル定着部は、柱頭部連結鋼材の定着ブロック上に鉄筋により十分補強したコンクリートブロックを打設して設置した。

### 5-3. 中央径間主桁ヒンジ部連続化構造の施工

連続化構造の施工に先立ち、ゲレンク部(図-6斜線部)上下床版を撤去し、新設コンクリートとの打継面をチップング処理した。次に、主桁ヒンジ部(遊間850mm)を連続化構造とするため、追加する鉄筋は既

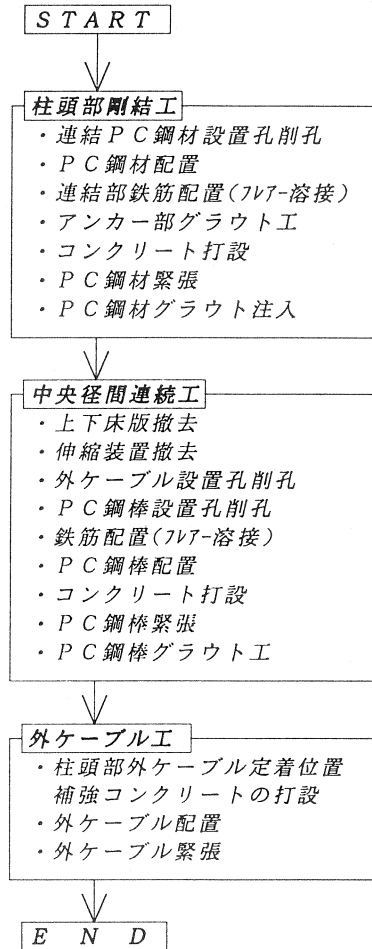


図-5 施工フロー

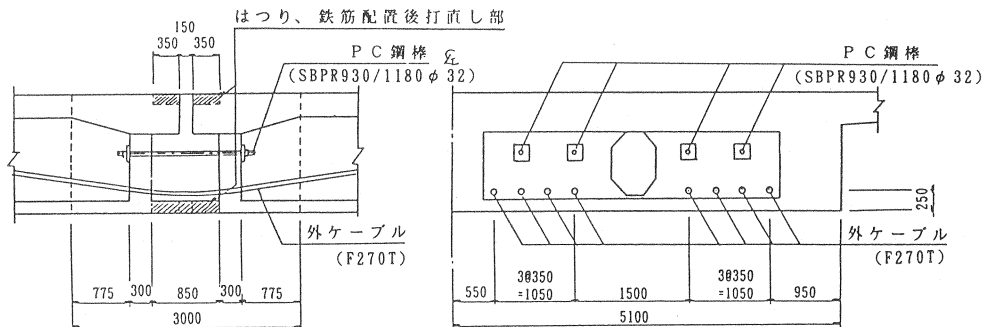


図-6 ゲレンク部構造

設コンクリートに樹脂アンカーで設置し、鉄筋の接続は引張領域の下床版をフレアー溶接にて確実に接続後、コンクリート( $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ )を打設した。コンクリートの硬化後、外ケーブルの緊張までの間の施工時のひび割れを防止する目的もかねて、 $\phi 32 \text{ mm}$ のP C鋼棒( $n = 8$ 本)を緊張( $\Sigma P = 519 \text{ tf}$ ;  $\sigma_c = 2 \text{ kgf/cm}^2$ )し、グラウト注入を行った。

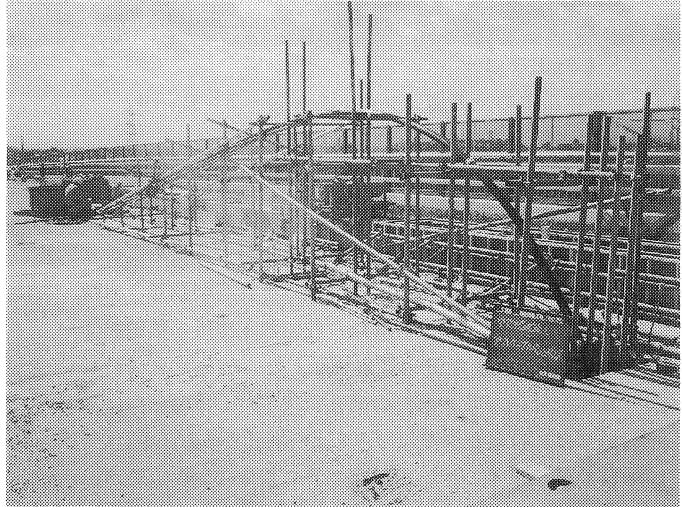


写真-2 外ケーブル挿入状況

#### 5-4. 外ケーブルの施工

主桁ヒンジ部の連続化構造と主桁・橋脚の剛結化構造の施工後、柱頭部・支間横桁に偏向管を設置して、P11~P12に外ケーブル(F270;  $n = 16$ 本)を配置する。主桁内への引き込みは、主桁上床版に設けた開口部から行った(写真-2)。外ケーブルの緊張(写真-3)後、定着具全体を防錆キャップで覆い、マンション定着体構造全体を発砲ウレタンを充填した。

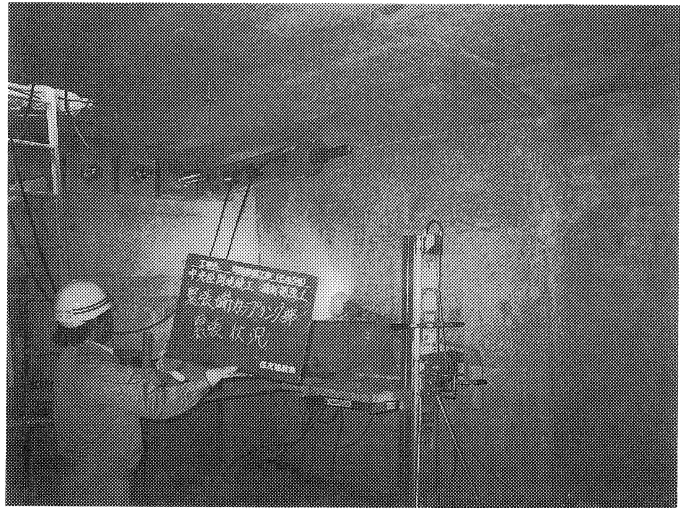


写真-3 外ケーブル緊張状況

#### 6. おわりに

本工事は、J R武蔵野線およびJ R貨物場内直上の工事であり安全面に特に配慮する中で、平成9年5月に無事竣工し供用を開始した。本橋で採用した耐震補強工法は、基礎が軟弱な地盤上にあること、鉄道営業線直上で橋脚断面の増厚ができないことなど、多くの特殊な条件の中で創意工夫し、既設プレストレストコンクリート橋梁の一つ耐震補強方法として提言できるものと考えている。最後に、本橋の耐震補強検討および耐震補強工事を実施するにあたり、ご指導いただいた関係者の方々に深く感謝の意を表します。また、本報告が、今後の耐震補強検討において一助となれば幸いです。

#### 参考文献

1)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わる仕様、1995.2