

段階施工する PRC ラーメン高架橋の設計と施工上の特徴

— 中央線三鷹立川連続立体交差化事業 —

渡部 太一郎*1・永山 健一*2・矢島 哲夫*3・津吉 毅*4

中央線三鷹立川間連続立体交差化事業では、中央本線の三鷹駅～立川駅間約 13.1 km の区間の鉄道を高架化することにより、現在鉄道と道路との交差点に設置されている 18 箇所の踏切道をなくすとともに、新たに 9 箇所の都市計画道路を立体交差化する計画となっている。交差道路部の高架構造として、桁下空頭の確保の面や、メンテナンス性や景観性に優れた PRC ラーメン構造を採用した。中央線高架では、旧線の北側に仮線を敷設し、一旦中央線を仮線で営業させ、空いた旧線部分に一体の高架橋を 1 線ずつ段階的に構築することとしている。本文では、段階施工する PRC ラーメン高架橋の設計と施工について、特徴的な点を中心に報告する。

キーワード：3 径間連続 PRC ラーメン高架橋、段階施工、間詰めコンクリート、背割り

1. はじめに

現在、中央線の三鷹・立川間において、鉄道を高架化する連続立体交差化工事を行っている。中央線立体交差化事業の概要は以下のとおりである。

高架化区間：三鷹・国分寺間（東区間：約 6 km）、西国分寺・立川間（西区間：約 3 km）（図 - 1）

解消される踏切道：18 箇所（東区間：13 箇所、西区間：5 箇所）

立体交差化される計画交差道路：9 箇所

連続立体交差化により、踏切がなくなることによる交通渋滞の解消と安全性の向上、鉄道により南北に隔てられていた市街地の一体化と地域の活性化が図られる。

高架橋の施工ステップを図 - 2 に示す。工事は地平を走っていた旧線の北側に仮線を敷設し、一旦中央線を仮線で営業させ、空いた旧線部分に高架橋を施工する手順で実施

している。事業費を低減する観点から、用地取得を極力少なくできるように、高架橋用地と仮線用地が一部重複した状態とし、2 線ある中央線を 1 線ずつ順次移動して、その都度空いた空間に高架橋を構築することとしている。

鉄道と道路との交差点の構造としては、一般的に PC 桁構造が考えられる。今回の中央線高架化工事では、連立後に鉄道と交差する道路部の構造物としては、3 径間の PRC ラーメン構造を採用した。PRC ラーメン構造の利点を列挙すると次のようになる。

- 1) シュー構造がなくなることにより、メンテナンスフリーの構造となる。
- 2) 3 径間のラーメン構造とすることにより、交差道路部の径間長の長い区間に側径間をバランスさせることにより、中央径間の断面力を軽減できる。また、PRC 構造とすることにより、必要な道路空頭を確保できる。ラーメン構造であるため、桁構造に比べて断面力の低減が図

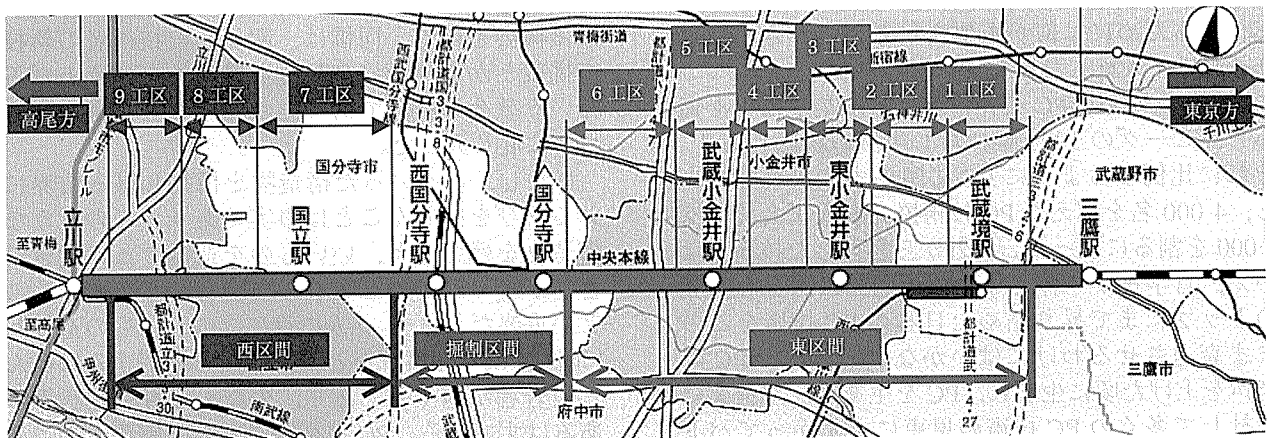


図 - 1 平面略図

*1 Taichiro WATANABE：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 副課長

*2 Kenichi NAGAYAMA：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 担当課(中央) 副課長

*3 Tetsuo YAJIMA：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 多摩工事区 助役

*4 Takeshi TSUYOSHI：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 室長

れ、桁高やPC鋼材量を少なくすることにより、経済的となる。

- 3) ラーメン構造とすることにより、地震時に安全性の高い構造となる。
- 4) 隣接するRCラーメン高架橋との連続性が確保されることにより、景観性が向上する。

中央線で採用したPRCラーメン構造の構造諸元を表-1に示す。すべて3径間のPRCラーメン構造となっており、交差道路の幅員等の条件により、それぞれスパン割を決定している。本文では、起点方に位置する橋長が長いPRC1ラーメン高架橋(写真-1)について、設計と施工上の特徴的な点を報告する。本橋は、下り線高架化に伴う1期施工と上り線高架化に伴う2期施工により、主桁を段階施工により構築した3径間連続PRCラーメン構造である。

発注者：東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所
 工期：平成17年5月～平成18年9月(1期)、平成19年10月～平成20年11月(2期)
 PC工法：フレシネー工法
 設計：トーニチコンサルタント(株)
 施工：大林組・ユニオン建設・銭高組共同企業体

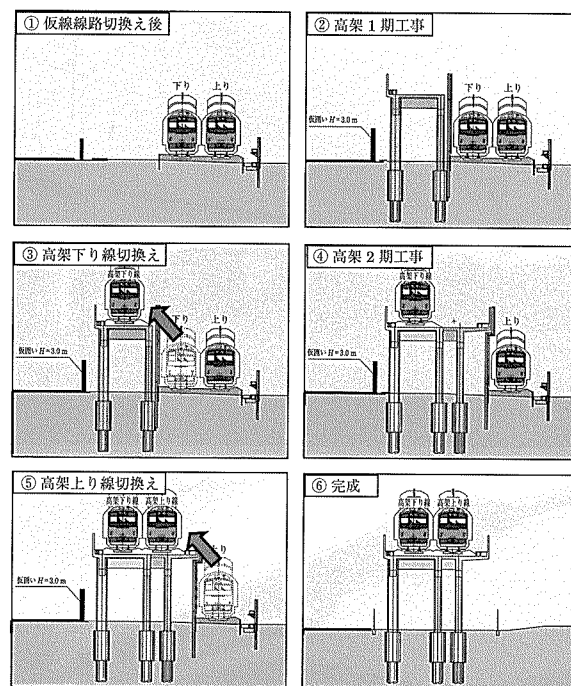


図-2 施工手順(2線3柱部)

表-1 中央線 PRC ラーメン高架橋諸元

構造物名称	スパン割り(m)	主桁形状	桁高(m)	主桁本数	PC鋼材種別
PRC 1	19.55 + 44.0 + 19.55 = 83.1	箱桁	径間中央：2.0 (中央径間), 1.6 (側径間) 支点部：3.0 (中間支点), 2.0 (端支点)	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 2	14.65 + 21.0 + 14.65 = 50.3	T桁	径間中央：0.9 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	4	SWPR7B 12S12.7
PRC 3	12.1 + 35.0 + 12.1 = 59.2	中央径間：T桁 側径間：箱桁	径間中央：1.4 支点部：2.0	6	SWPR7B 12S15.2
PRC 4	10.65 + 22.0 + 10.65 = 43.3	T桁	径間中央：0.9 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	4	SWPR7B 12S12.7
PRC 5	5.6 + 15.0 + 5.6 = 26.2	中央径間：T桁 側径間：T桁 (RC)	径間中央：0.9 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	2	SWPR7B 12S12.7
PRC 6	21.6 + 29.0 + 21.6 = 72.2	箱桁	径間中央：1.4 支点部：2.5 (中間支点), 2.0 (端支点)	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 7	13.6 + 15.0 + 13.6 = 42.2	中央径間：T桁 側径間：T桁 (RC)	径間中央：1.0 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	2	SWPR7B 12S12.7
PRC 8	16.6 + 25.0 + 16.6 = 58.2	中央径間：箱桁 側径間：T桁	径間中央：1.3 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 9	13.6 + 30.0 + 13.6 = 57.2	箱桁	径間中央：1.4 支点部：2.5 (中間支点), 2.0 (端支点)	4	SWPR7B 12S15.2
PRC 10	9.6 + 17.0 + 9.6 = 36.2	中央径間：T桁 側径間：T桁 (RC)	径間中央：1.0 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	2	SWPR7B 12S12.7
PRC 11	24.65 + 37.0 + 24.65 = 86.3	箱桁	径間中央：1.6 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.5 (中間支点), 2.0 (端支点)	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 13	21.6 + 30.0 + 21.6 = 73.2	箱桁	径間中央：1.5 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	7	SWPR7B 12S12.7
PRC 15	10.65 + 18.0 + 8.65 = 37.3	T桁	径間中央：0.9 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 16	11.65 + 12.0 + 14.45 = 38.1	第1・2径間：T桁 (RC) 第3径間：T桁	径間中央：1.4 (第1・2径間), 0.7 (第3径間) 支点部：2.0	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 102	17.1 + 26.0 + 17.1 = 60.2	中央径間：箱桁 側径間：T桁	径間中央：1.4 支点部：2.0	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 104	15.6 + 19.5 + 15.6 = 50.7	中央径間：ホロー桁 側径間：T桁 (RC)	径間中央：0.8 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	1 (中央径間) 2 (側径間)	SWPR7B 12S12.7
PRC 105	32.55 + 54.0 + 32.55 = 119.1	中央径間：箱桁 側径間：箱桁	径間中央：2.0 (中央径間), 1.5 (側径間) 支点部：3.0 (中間支点), 2.0 (端支点)	3	SWPR7B 12S15.2
PRC 106	12.6 + 23.0 + 12.6 = 48.2	中央径間：T桁 側径間：T桁	径間中央：1.4 支点部：2.0	2	SWPR7B 12S12.7
PRC 107	14.6 + 22.0 + 14.6 = 51.2	中央径間：ホロー桁 側径間：T桁 (RC)	径間中央：0.9 (中央径間), 1.4 (側径間) 支点部：2.0	1 (中央径間) 2 (側径間)	SWPR7B 12S12.7



写真 - 1 中央線 PRC1 ラーメン高架橋

表 - 2 設計条件表

構造形式	PRC ビーム箱桁式ラーメン高架橋
橋長(中間支点)	84.0 m (20.0 + 44.0 + 20.0)
軌道荷重の種類	弾性バラスト軌道
接続形式	背割り形式
平面線形	$R = \infty$
縦断線形	上り 1 ‰
列車荷重	EA-17 (設計速度 120 km/h)
設計水平震度	0.35

表 - 3 使用材料の強度および応力度の制限値

コンクリート			
使用限界状態	設計圧縮強度		40 N/mm ²
	永久荷重作用時	曲げ圧縮応力度	16 ‰
曲げ引張応力度		- 2.44 ‰	
変動荷重作用時	斜め引張応力度	- 2.1 ‰	
	プレストレス時の設計圧縮強度	34 ‰	
施工時	プレストレッシング直後	軸圧縮応力度	20 ‰
		曲げ圧縮応力度	- 2.23 ‰
		曲げ引張応力度	17 ‰

PC 鋼材		
種 別	12S15.2 (SWPR7B)	
設計引張強度 f_{tad}	1 440 N/mm ²	
設計引張降伏強度 f_{tyd}	1 330 ‰	
変動荷重作用時	引張応力度	1 330 ‰
プレストレス中	引張応力度	1 900 ‰
プレストレス直後	引張応力度	1 600 ‰

鉄筋		
種 別	SD 345	
設計引張降伏強度 f_{sud}	490 N/mm ²	
設計引張強度 f'_{sud}		
設計圧縮強度 f_{syud}	345 ‰	
設計圧縮降伏強度 f'_{syud}		

2. 設計概要

2.1 設計条件

本橋の設計条件を表 - 2 に、使用材料の強度および応力

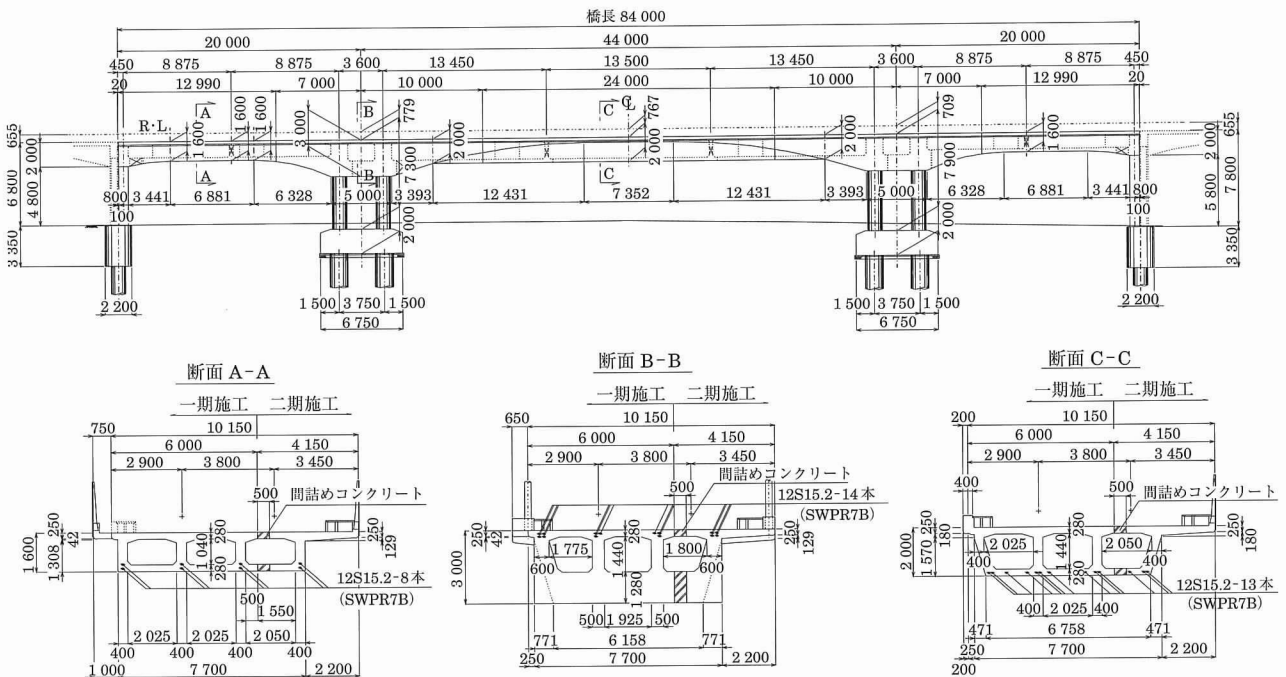


図 - 3 主桁構造図

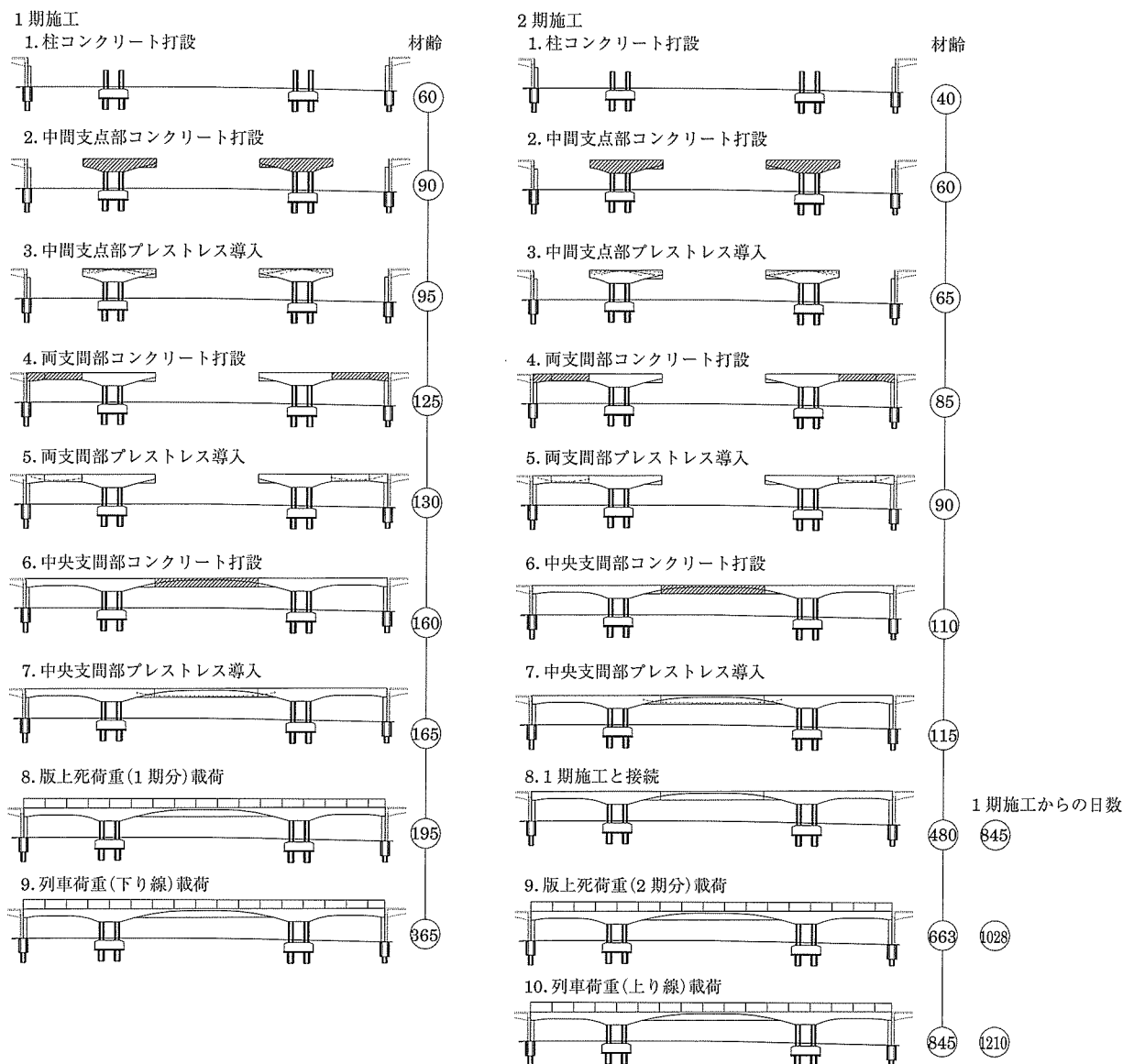


図-4 施工順序とコンクリートの材齢

の制限値を表-3にそれぞれ示す。これらは鉄道構造物等設計標準・同解説「コンクリート構造物」¹⁾、鉄道構造物等設計標準の手引(PC・PRC構造物)²⁾、新設構造物の耐震設計参考資料(案)³⁾に準拠して設定した。

2.2 主桁の設計

主桁構造を図-3に、施工順序を図-4に示す。本橋は、桁全長を5ブロックに分割施工する計画で設計を行っている。中間支点部の主桁コンクリートを打設後、交互片引きでPC鋼材を緊張する。続いて側径間部の主桁コンクリー

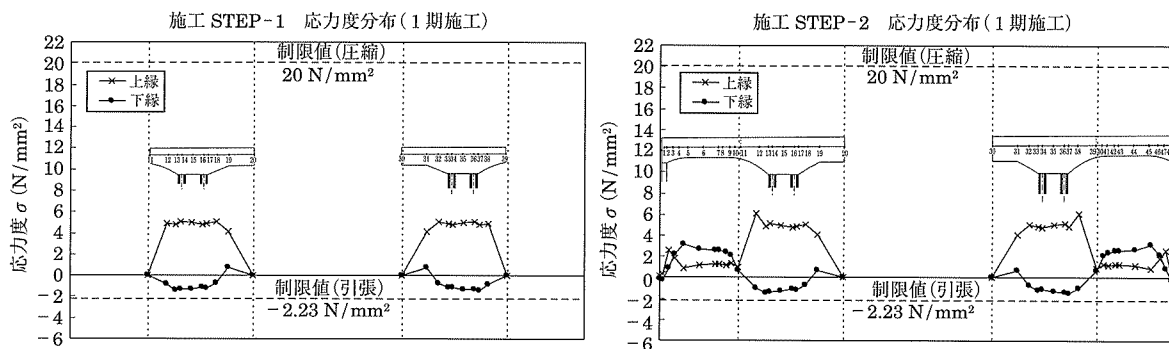


図-5 主桁上下縁の応力と制限値(1期施工)

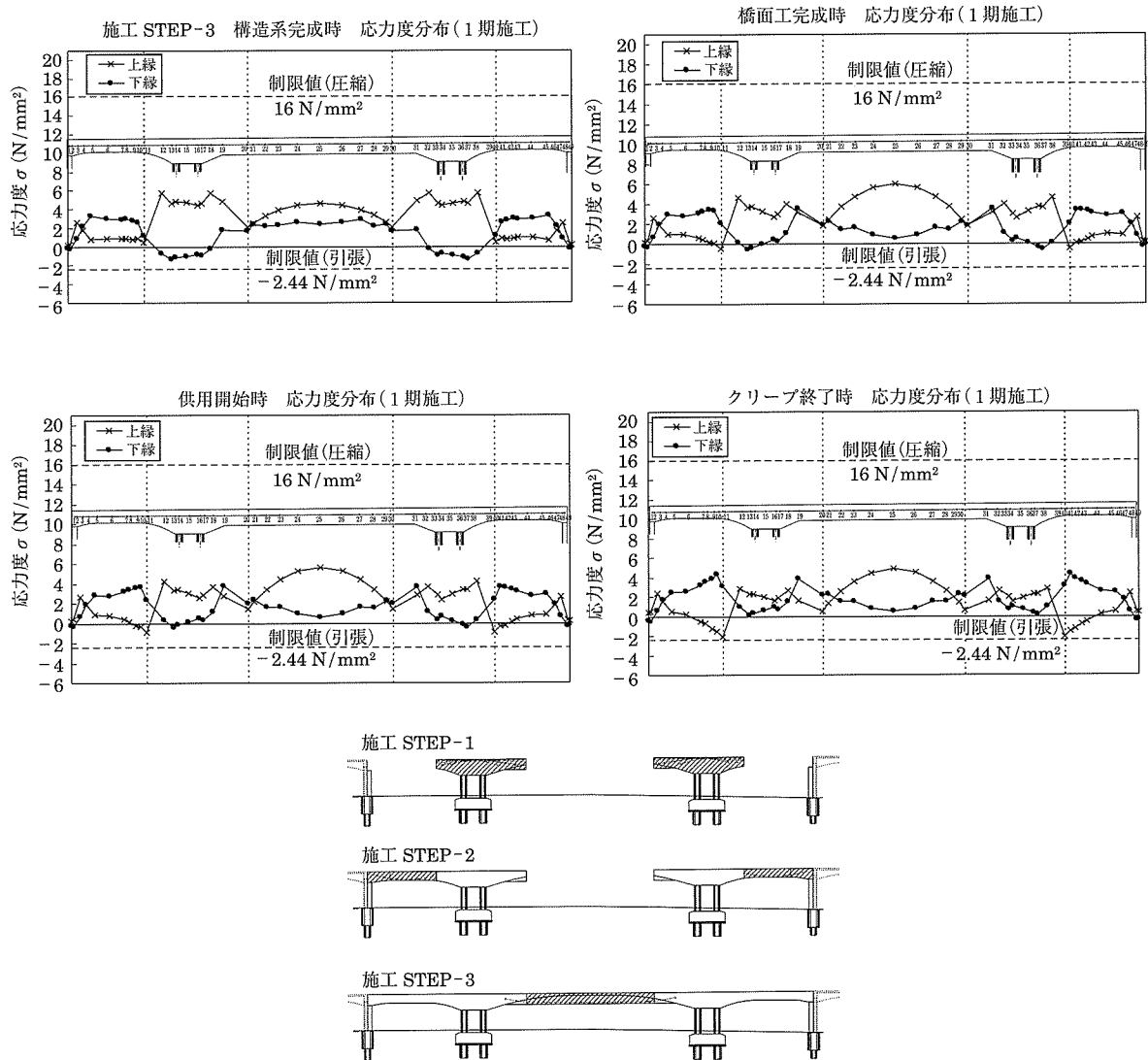


図-5 (続き) 主桁上下縁の応力と制限値 (1期施工)

トを打設し、スパン中央側より片引きでプレストレスを導入する。最後に中央径間部の主桁コンクリート打設、両引きでプレストレスを導入する。

また、1期施工部(下り線)を構築した後、下り線供用開始後、2期施工部(上り線)を構築し、その後1期と2期の間詰め部の施工を行う。このようにコンクリートの連続桁を分割施工する場合、各施工段階ごとに構造系が変化

するため、桁自重および導入プレストレスなどの持続荷重による前施工段階構造系におけるクリープ変形が拘束されることにより二次応力が発生する。これらの影響を加味した解析を1期施工時と完成時でそれぞれ行った。設計で考慮したコンクリートの材齢を図-4に示す。解析は、変形法による立体骨組解析により行った。各施工段階における主桁上下縁の応力と制限値との関係を図-5、6に示す。

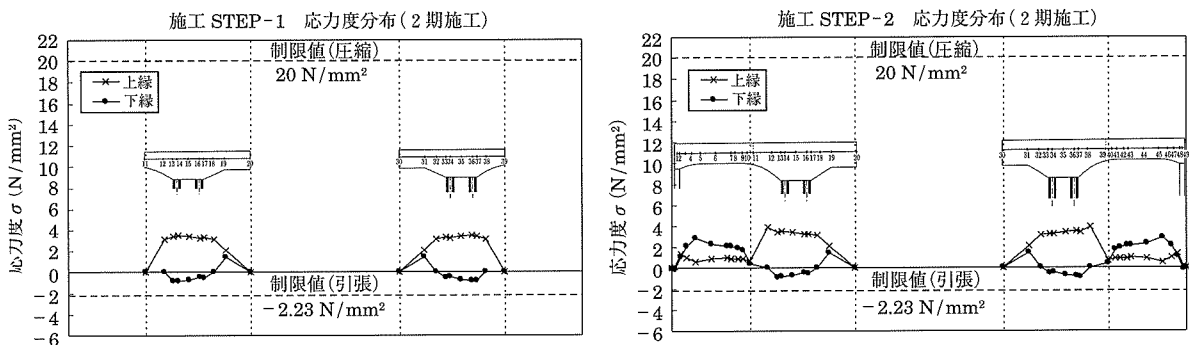


図-6 主桁上下縁の応力と制限値 (2期施工)

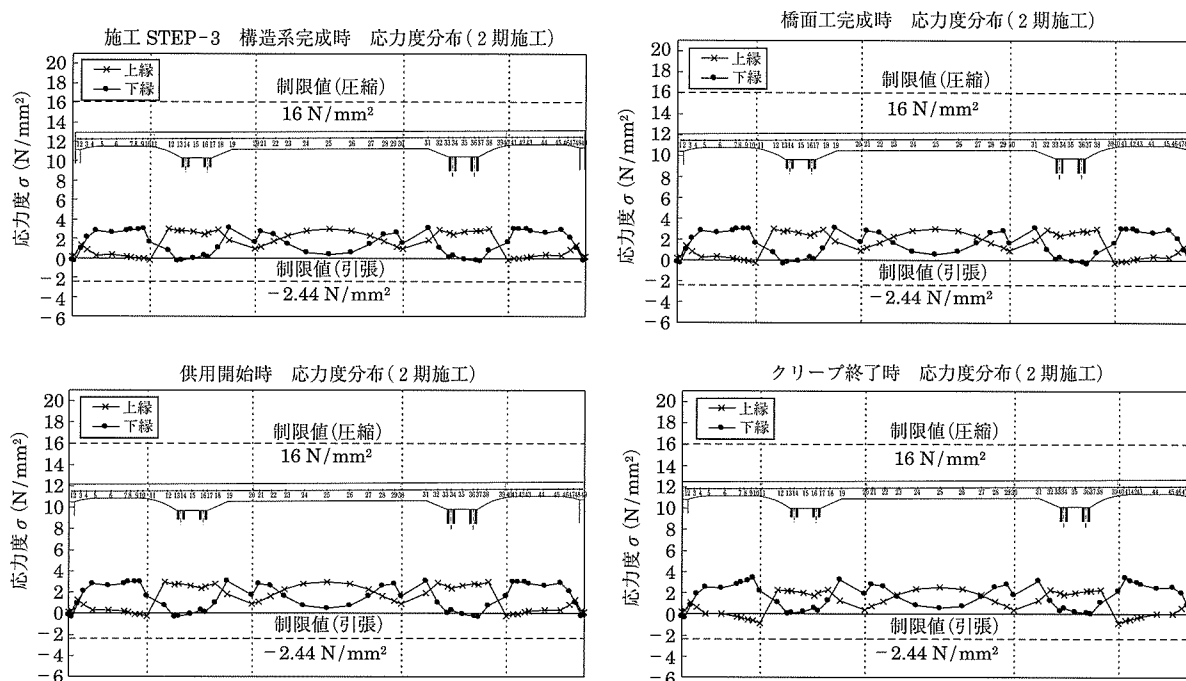


図 - 6 (続き) 主桁上下縁の応力と制限値 (2期施工)

クリープ終了時において、主桁上下縁応力度はおおむねバランスされていることが分かる。

2.3 横方向の設計

横方向は、RC 構造として設計した。ボックス構造を平面骨組解析により設計し、必要な鉄筋量を配置した。1期施工と2期施工の間詰め部の配筋は、支点上横桁部の主鉄筋には機械式継手 (写真 - 2)、スラブの鉄筋には重ね継手 (写真 - 5) を用いて鉄筋を接合した。

2.4 柱部材の設計

PRC ラーメン構造の端部柱 (矩形柱) には、内巻きスパイラル鉄筋⁹⁾ (図 - 7, 写真 - 4) を配置し、中間柱 (円形柱) は鋼板巻き (写真 - 3) として、1期施工時と完成系とでそれぞれ L2 地震に対する検討を行い、地震時の変形性能を確保した。

内巻きスパイラル鉄筋は、軸方向鉄筋の内側にスパイラル鉄筋を配置することにより、地震時に交番荷重を受けて軸方向鉄筋のはらみ出しが発生しても、それによってスパイラル鉄筋が引っ張られて変形することはないので、大変形時にもスパイラル鉄筋内部のコアコンクリートの健全性が保たれる。これにより、柱に大きな変形性能を与えることができるのである。内巻きスパイラル鉄筋は、東北本線長町駅付近高架橋に適用している。

2.5 基礎部材の設計

シューをなくした背割り式ラーメン構造としているため、端部柱の基礎 (場所打ちコンクリート) は隣接する RC ラーメン高架橋と共有の基礎構造とし、双方の柱部材は、共有する杭部材と鉄筋重ね継手部を根巻き鋼管で取り囲んだ構造とした (図 - 3, 8)。PRC ラーメンの設計においては、隣接する柱からの鉛直荷重を考慮した。地中梁のない構造であり、不等沈下防止のため、端支点部の杭には先端プレ

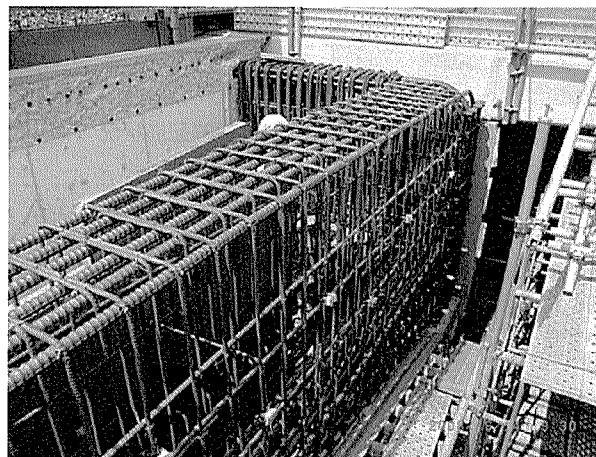


写真 - 2 2期施工部配筋

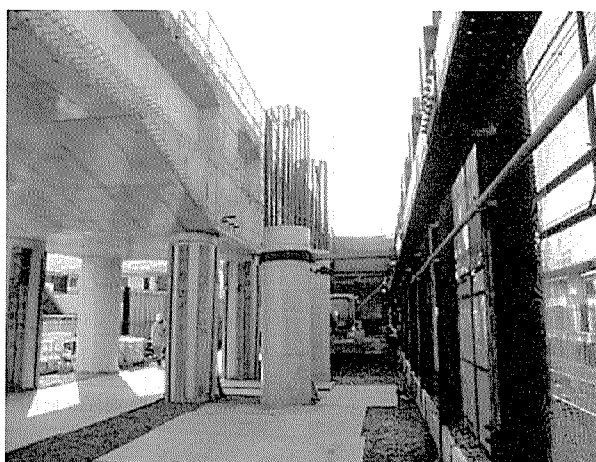


写真 - 3 中間支分部柱 (鋼板巻き, 2期施工前)

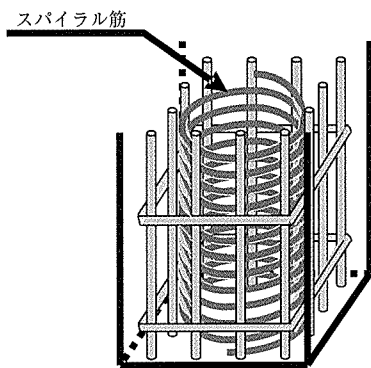


図-7 内巻きスパイラル鉄筋概要

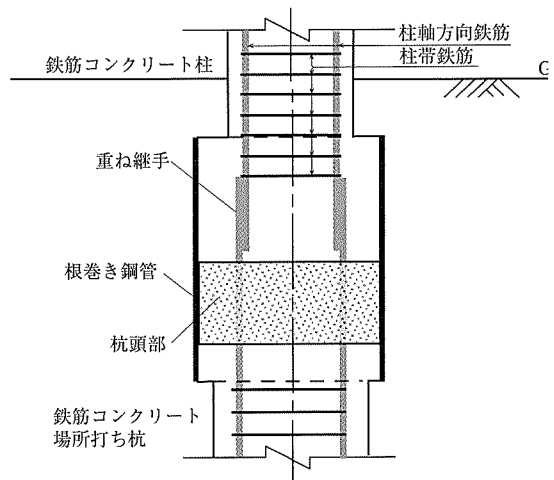


図-8 根巻き鋼管コンクリート

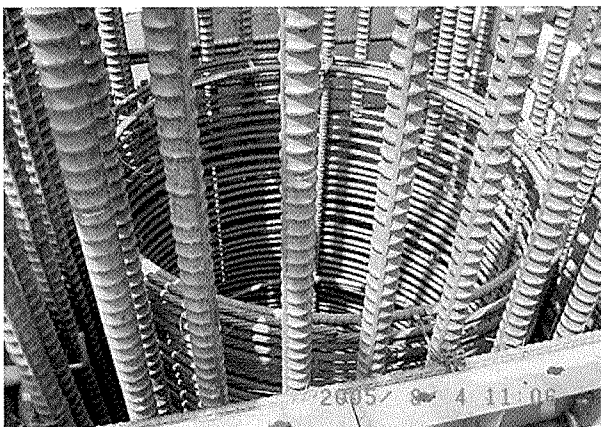


写真-4 内巻きスパイラル鉄筋配筋状況

ロード場所打ち杭を用いた。

中間支点部は、杭6本を有するフーチング基礎として、1期施工部と2期施工部の接合部の鉄筋は、機械式継手を用いて接合した。

3. 施工上の特徴

ここでは、段階施工で一体化されるPRCラーメン橋の施工上の特徴である間詰めコンクリートの施工について報告する。

本橋では、1期（下り線）を先行施工して下り線を供用開始した後、2期（上り線）の主桁の施工までを行い、2期主桁のPC鋼材緊張後に1期と2期の間詰め部のコンクリートを打設した。間詰めコンクリートは、下り線を供用しながらの施工となり、間詰めコンクリートが硬化しないうちに列車荷重による変形を受けると、鉄筋とコンクリートとの付着に悪影響を及ぼすことが考えられるため、当初の計画では、夜間の列車が走っていない時間帯に超速硬コンクリートで打設する計画としていた。しかし、超速硬コンクリートの品質管理上の問題などが考えられたため、昼間に普通コンクリートを分割打設することで、品質の向上、夜間作業および材料費の低減を図った。

間詰めコンクリートを下り線営業時間中に普通コンクリートにて1回に打設する範囲は、1期線の列車によるたわみ量が2mm以内の範囲（図-9）とした。これは、それ以上のたわみが発生する場合、硬化中のコンクリートと鉄筋の付着に問題が生じるおそれがあるためである。

ラーメン各支間中央部のたわみ量を単純梁理論により求め、図-9のように各径間のたわみ量分布を線形補完にて近似した。このたわみ分布直線から、たわみ量が2mm以内となる区間長を求め、この区間長を1回の打設区間長と

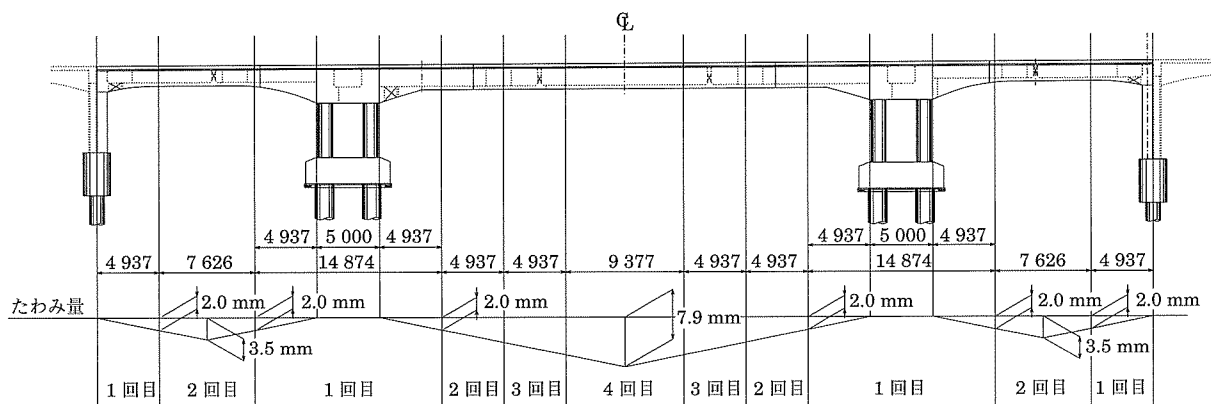


図-9 間詰めコンクリートの打設範囲の考え方

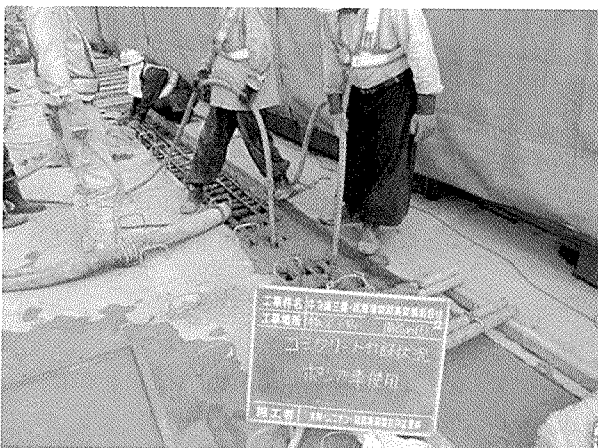
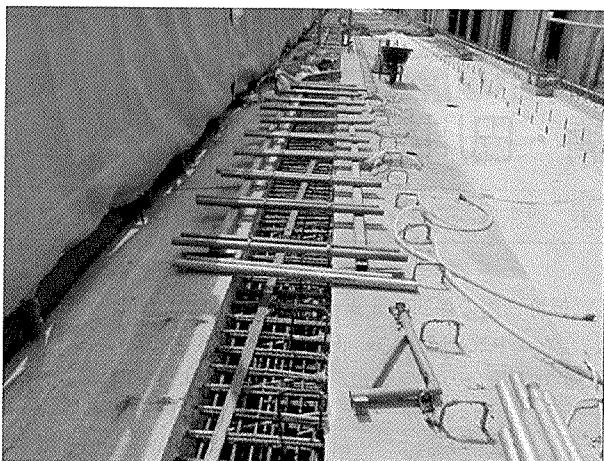


写真 - 5 間詰めコンクリート打設

して設定した。本橋における設計列車荷重は、EA-17 荷重（機関車荷重）を使用しているが、昼間の実施工時には、貨物列車は走っていないため、より実際に近い荷重である M-18 荷重（電車荷重）を考慮したたわみ量（中央径間の中央部たわみ 7.9 mm）をもとに間詰めコンクリートの分割施工範囲を検討した。

写真 - 5 に間詰め部の配筋とコンクリートの打設状況を示す。

4. おわりに

本文では、鉄道の連続立体交差化工事において、交差道路部の構造として、3 径間 PRC ラーメン高架橋を採用した設計施工事例について述べた。本構造は、これまで採用されてきた桁構造に比べ主桁の断面力の低減が図れるため、桁高や PC 鋼材量の低減による経済性の向上やシュー構造がなくなることによるメンテナンス性の向上が図れるものである。中央線の連立工事は、東・西区間ともに、現在は、下り線の高架化が終了して供用されている。今後上り線も順次高架化していく予定である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：設計条件は鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物，1995.3，丸善
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社：鉄道構造物等設計標準の手引き（PC・PRC 構造物），1995.4
- 3) 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター：新設構造物の耐震設計参考資料（案），1996.9
- 4) 石橋忠良・菅野貴浩・木野淳一・小林薫・小原和宏：軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱の正負水平交番載荷実験，土木学会論文集，No.795/V-68，pp.95-110，2005.8

【2009 年 7 月 15 日受付】



新刊図書案内

高強度コンクリートを用いた PC 構造物の設計施工規準

平成 20 年 10 月

定 価 6,000 円 / 送料 600 円

会員 特 価 5,000 円 / 送料 600 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会