

(168) 東北新幹線、第4馬淵川橋りょう工事の設計・施工について

日本鉄道建設公団 盛岡支社 工事第4課 星井 勇
 日本鉄道建設公団 盛岡支社 八戸鉄道建設所 正会員 平 一栄
 鹿島・松村・勝村特定建設工事共同企業体 正会員 幸野 寛伸
 鹿島・松村・勝村特定建設工事共同企業体 ○工藤 宏生

1. はじめに

第4馬淵川橋りょうは、東北新幹線、盛岡・八戸間工事のうち八戸市境に位置する、橋長383mの5径間連続PCラーメン箱桁橋である。本橋の最大スパン88mは、鉄道橋の連続ラーメン橋としては国内2番目の規模となる。施工上の特徴として、1級河川馬淵川と国道104号を横断する関係上、2橋脚上を跨いで張出し架設を行なうことがあげられる。2003年に青森県内で開催される冬季アジア大会の開催に合わせて、現在上部工の工事が急ピッチで進められている。

本報文は、本橋の設計および施工について報告するものである。

2. 工事概要

本橋の主要工事数量を表-1に、及び橋りょう諸元を以下に示す。

<橋りょう諸元>

橋名：東北新幹線、第4馬淵川橋りょう

縦断勾配：i = 15 ‰ (上り)

線路規格：新幹線 (フル規格)

斜角：P1~90°00'00"、P6~60°00'00"

設計速度：260 km/h

工期：1999.3.26~2001.9.25

列車荷重：N-16、P-17

表-1 主要工事数量

上部工：5径間連続PCラーメン箱桁橋

下部工：P1 場所打杭φ=1.5m、L=29.0m

P2~P5 直接基礎

橋長：L=383m

総幅員：B=12.5m

支間割：75.0m+2@88.0m+75.0m+55.0m

軌道構造：スラブ軌道

平面線形：直線

種別	仕様	単位	数量	適用
コンクリート	$f_{ck}=40\text{N/mm}^2$	m^3	5,300	主桁
	$f_{ck}=24\text{N/mm}^2$	m^3	470	防音壁、他
	$f_{ck}=21\text{N/mm}^2$	m^3	430	路盤コンクリート
	$f_{ck}=24\text{N/mm}^2$	m^3	4,100	フーチング、橋脚
	$f_{ck}=30\text{N/mm}^2$	m^3	400	基礎杭
鉄筋	SD345	t	840	主桁
	SD390	t	880	フーチング、橋脚
PC鋼材	SWPR7B 12S15.2	t	220	主方向ケーブル
	SBPR930/1180 φ32	t	3	主方向鋼棒
	SBPR930/1180 φ32	t	40	横方向鋼棒



写真-1 施工状況 (P4、P5)

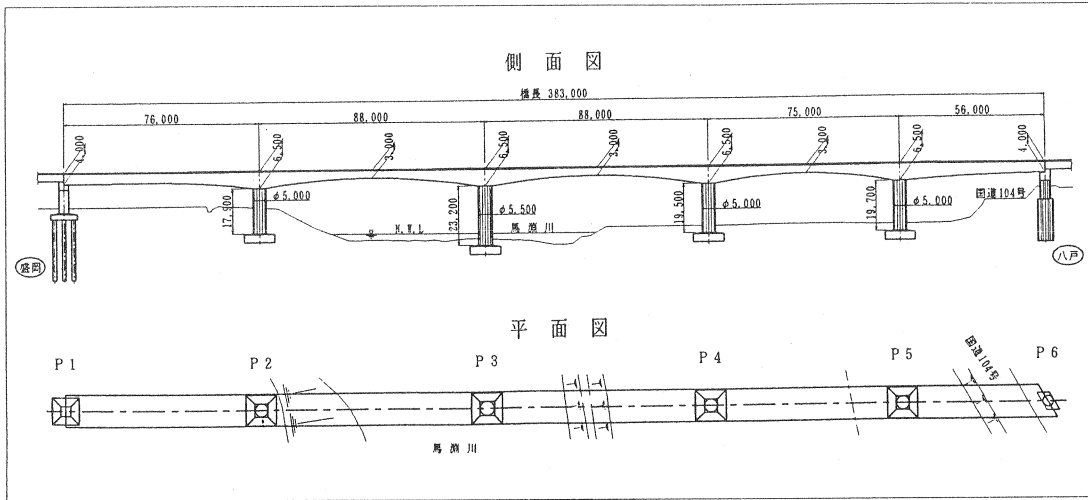


図-1 全体一般図

2.1 下部工

本橋位置における地質は、地表より第四紀の沖積堆積物層、砂岩、礫岩等の軟岩、そして基盤岩として第三紀中新世の安山岩、凝灰角礫岩等の中硬岩という構成である。張出し架設となる橋脚位置の下部工はすべて、上記の安山岩および中硬岩に支持される直接基礎と円形充実断面の橋脚とした。

橋脚の主鉄筋は太径のD51を採用し、配置段数を少なくすることで施工の合理化を図った。また、使用する鉄筋の材質については、耐震の検討で断面が決定される部材にはSD390を採用した。

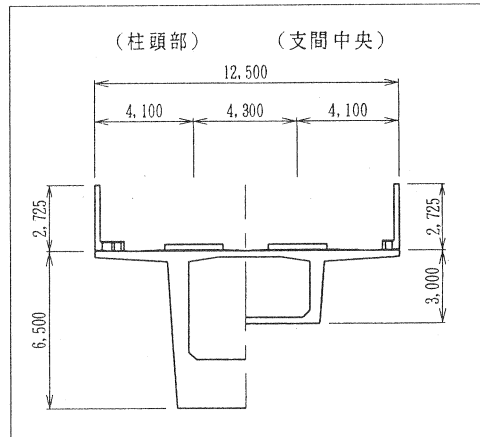


図-2 標準断面図

2.2 上部工

本橋の支間割りには国道と1級河川を跨ぎ、JR東北本線に近接するという地理的制約のため、P4～P5間の支間を短くした。このためP4、P5橋脚については、それぞれ10ブロックまで張出した時点でP4 P5径間の閉合を行ない、π型ラーメン構造で再度起点終点ブロックの張出しを行う変則的な張出し施工とした(図-3)。

P5 P6 側径間閉合部は吊り支保工施工であるが、当初の吊り支保工施工区間は12mと長く、交通量の多い国道上での作業を必要とし、大掛かりな防護工で国道全体を覆うこととしていた。しかし、万一の第三者災害防止と工程促進を目的として、P5橋脚の再張出しブロックを当初計画から2ブロック追加することで吊り支保工施工区間を5mに短縮し、防護工をなくす計画に変更した。

また、ブロック延伸に伴ってアンバランスモーメントが増加するため、躯体に過大な応力が発生しないよう、仮設用敷鉄板によるカウンターウェイトを設置した(図-3、写真-2)。

他方P1 P2側径間閉合部は33.5mであり、全支保工による計画としているが、支持地盤が弱く、H鋼杭を用いて沈下を抑制する予定である。また、中央径間の連結方法は、ワーゲン転用計画によりP4 P5連結部は吊支保工施工、転用計画がなく河川上での連結となるP2 P3及び、P3 P4連結部についてはワーゲン施工による計画とした。

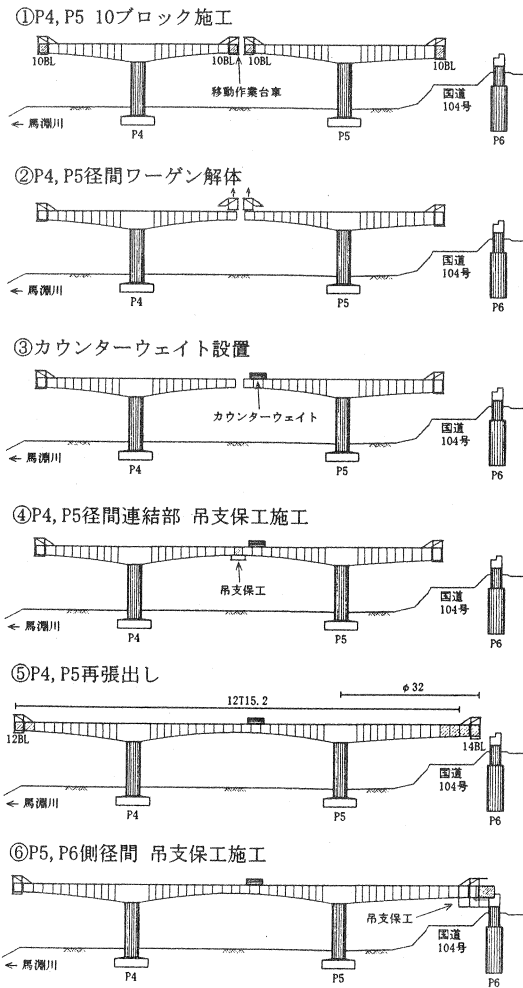


図-3 P4P5張出し施工順序

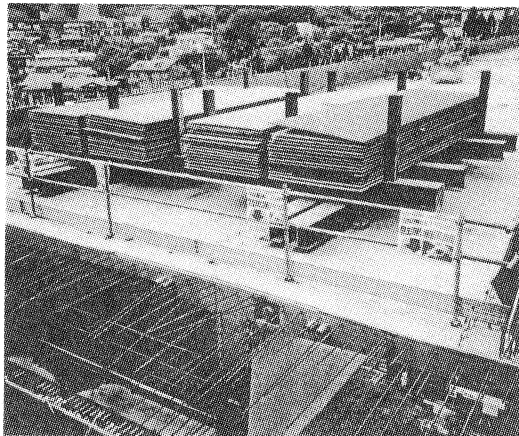


写真2-カウンターウェイト設置状況

3. 設計概要

本橋は、多径間の連続ラーメン橋であり、連続桁橋が主流であった鉄道橋としては新しい傾向である。これは、最近の耐震性能への高い要求と、鉄道橋の設計体系が限界状態設計法に移行したことによる。特にラーメン構造物のような不静定構造物の場合、クリープ・乾燥収縮や温度変化、あるいはロングレール縦荷重によって橋脚端部のモーメントが大きくなる傾向にあるが、各限界状態において部材の剛性評価設定を適切に行い、過大な設計とならないように配慮した。

検討は終局限界状態と使用限界状態、ならびに施工時について行い、主桁はPC部材、橋脚は柱部材として、疲労限界状態の検討は省略した。なお、主桁のせん断力に対しては、ウェブコンクリート断面と斜引張鉄筋で抵抗させる設計方針とし、桁上縁定着となる鉛直締め鋼材は配置しないものとした。設計条件を表-1に示す。

表-1 設計条件

項目		備考	
コンクリート	主桁	$E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	早強コンクリート
	橋脚	$E_c = 2.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	普通コンクリート
PC鋼材		$E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$	
	鉄筋	$E_s = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$	
クリープ係数	$\phi = 2.6$	早強コンクリート	
乾燥収縮度	$\epsilon_{cu} = 200 \times 10^{-6}$	〃	

3.1 主桁の設計

今回、次の理由により施工時及びクリープ等の断面力を再計算し、設計照査を行なった。

- ・張出しブロックの追加
- ・連結順序・方法の変更
- ・防音壁高さの変更
- ・施工工程見直しに伴うコンクリート材令の変更

上げ越し計算は、架設中の弾性変形と、施工区分毎の材令差を考慮した構造系完成以後のクリープ変形を求め、クリープ終了時に橋面が計画高になる事とした。

また、π型ラーメン構造系となるP4P5径間は、2橋脚上を跨ぐ連続した鋼材で架設する方式とした。

追加した張出しブロックの緊張材はディビダーク鋼棒φ32をP5柱頭部に固定し、各ブロック毎にカップリングしながら追加ブロックで緊張するものとした。

(1) 使用限界状態の照査

使用限界状態の照査は列車荷重、ロングレール縦荷重、温度変化、雪荷重等を考慮した荷重組合せについて行った。本橋の主桁はPC部材であるので、応力度照査は全断面有効とした。また制限値については、(財)鉄道総合技術研究所編「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」¹⁾に従い以下の値とした。

<曲げ圧縮応力度の制限値>	
・永久荷重作用時	1.6 N/mm ² (設計圧縮強度 f'cd の 40% 以下)
<曲げ引張応力度の制限値>	
・永久荷重作用時	0 N/mm ² (ひび割れの発生を許さない)
・変動荷重作用時	-1.1 N/mm ² (桁高Hの影響を考慮した設計引張強度以下)

本橋の場合、温度変化とロングレール縦荷重を考慮したケースが、主桁下縁の引張応力度に対して最も厳しい結果となった。図-4に使用限界状態のコンクリート曲げ応力度検討結果を示す。

<斜引張応力度制限値>	
・変動荷重作用時	-1.9 N/mm ² (設計引張強度 - 2.7 N/mm ² の 70% 以下)

限界状態設計法は許容応力度設計法に比べて制限値が 0.2 N/mm² 緩和されており、ウェブ厚の低減効果、鉛直締め鋼材が不要になる等の設計的效果がある。本橋の場合、P1支点部付近で最大値 -1.89 N/mm² となり、上記限界状態設計法としての制限値を満足した。

(2) 終局限界状態の照査

鉄道橋の活荷重は道路橋にくらべ、不確定要素が比較的少なく、終局限界状態の荷重組合せにおける荷重係数 γ_f は各線の荷重特性に応じて設定されている。今回、施工ブロックを延伸し、現状に則したコンクリート材令によって断面力を求め、制動・始動荷重及び地震時増分荷重を考慮した断面力組合せについて照査を行った結果、原設計で決定された部材断面で決定される各種耐力に対して安全であることを確認した。

図-5に終局限界状態のせん断検討結果を示す。

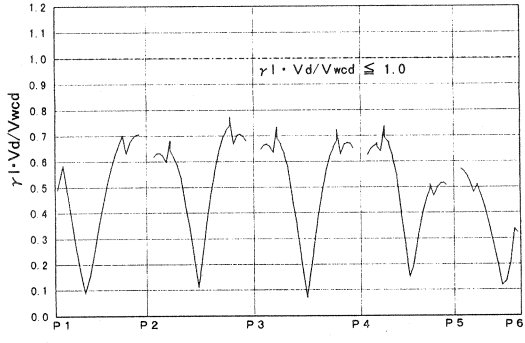
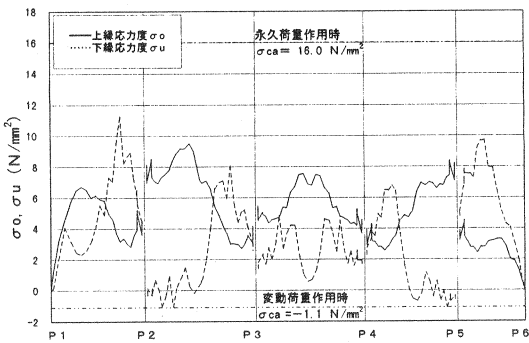


図-4 使用限界状態コンクリート曲げ応力度

図-5 ウェブせん断に対する斜め圧縮破壊安全度

3. 2 橋脚の設計

橋脚柱部材の設計においては、橋軸方向の配置段数を橋軸直角方向の半分とし、大地震時には橋軸方向に曲げ破壊を先行させ、終局状態においても致命的な構造系とならないような塑性ヒンジ形成を考慮した。

また、P5 P6側径間の張出しブロックを延伸した場合、P4、P5橋脚には大きなアンバランスモーメントが生じるが、各限界状態における安全性を確認した上で、橋脚の配筋は原設計どおりとすることとした。

3. 3 耐震設計

本橋の耐震設計は、(財)鉄道総合技術研究所編「新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料」²⁾に基づき、構造物の固有周期から設計塑性率(応答塑性率)を算出し、設計降伏震度を求める「簡便法」によって行った。

今回、大地震対応の設計における橋脚の剛性低下率は0.3とし、温度変化による断面力は大地震時の荷重組合せに加えないものとした。これにより、これまでのPC連続ラーメン構造の鉄道橋に比べてスレンダーな橋体形状とすることができた。

3.4 斜角桁

長野新幹線(高崎・長野間)までの整備新幹線の橋梁設計においては、直角桁を基本としてきた。平成9年11月以降、斜角桁の採用により土木・軌道を含めて大幅なコスト縮減を図ることが可能な場合は、斜角桁の適用も認めることとなり、本橋は国道、在来線との地形的制約から 60° の斜角を採用した。このため、斜角部の支点反力差を格子解析によって算出し、設計に反映させた。

4. 施工

4.1 下部工の施工

橋脚配筋は、主鉄筋としてD51を150mm間隔配置、帯鉄筋にはD32を125mm間隔配置としたため、鉄筋組立ての合理化が課題となった。これに対し、当初設計でガス圧接方式としていた主鉄筋継手方法を、熟練工を必要とせず、短時間で鉄筋接合が可能なエポキシ樹脂グラウト方式の機械式継手に変更した。また、帯鉄筋はあらかじめ円形に地組みしたものを、鋼製吊り架台により一括架設し、主鉄筋はこれを保持材としながら、1度に4本取付けが可能な特殊吊り治具を用いて建込んだ。これにより、1工程当り高さ10m、重量35tとなる鉄筋組立て作業を2日程度で行なう事ができた。機械式継手のかん合にかかるエポキシ樹脂グラウト注入作業は冬季施工であったため温度管理を徹底し、所要の品質確保に努めた。

4.2 柱頭部の施工

柱頭部の施工は、山留め材による鋼製ブラケット支保工(写真-3)とした。これは仮設PC鋼棒緊張力によって生じる橋脚コンクリート面と鋼製ブラケット面の摩擦抵抗により、柱頭部施工荷重を支持する形式である。本橋の橋脚形状は全て5mまたは5.5mの円形断面であり、全ての仮設PC鋼材を貫通定着式にすることが出来ず、1橋脚あたり全16基のブラケットのうち、半数は付着と押し抜きせん断の検討を満足する範囲で埋め込み定着式とせざるを得なかった。また、橋脚鉄筋が前述のとおり、過密な配置であったこともあり、仮設PC鋼材の設置精度の確保には大変苦慮した。さらに、円形橋脚とブラケット背面の間には楔形となるよう、鋼製キャンバーを配し、不測の有害変形を生じさせないこととした。コンクリートの打設は鋼製ブラケットのズレとたわみを逐次観測しながら行い、有害なズレによる変形は認められなかった。また、P4、P5橋脚柱頭部は冬季施工となり、防煙シートとジェットヒーターによる加熱養生を行い、品質確保に努めた。

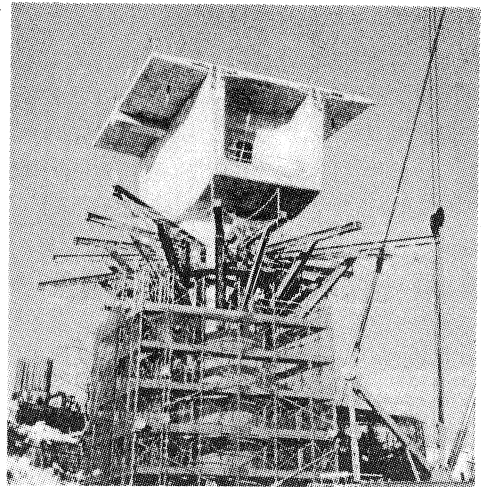


写真-3 柱頭部の施工状況

4.3 張出し部の施工

張出し部の施工は、2フレームの一般型ワーゲンをを用いて行なっている。原設計時点では、4台のワーゲンで2橋脚の張出しを完了した後に、残りの2橋脚に転用を図る計画としていたが、防音壁、路盤・突起コンクリート等の施工工程を考慮すると、軌道工引渡しまでの工期が大変厳しい状況であった。このため6台のワーゲンを用いることによってワーゲン待ちとなる期間をなくし、2ヶ月の工程短縮を図る計画とした。このうち国道横断となる終点側のワーゲンについては道路上の建築限界を侵さないよう、桁高の減少に合わせて下部作業用踊場をクライミングできるようにした。また、最終ブロック施工時に斜角形状を有するP6橋脚躯体と干渉する部材をあらかじめ撤去できるようにした。

外型枠については、張出し床版とウエブの勾配に合わせて鋼製の根太材を製作し、これにメタルフォームを取り付けた。内型枠についても上床版のハンチ形状に合わせて同様の鋼製根太材を製作し、これに合板型枠を取り付けた。内型枠の鋼製根太材は2本をボルト固定により1組としたものを左右にスライドさせながらウエブ厚の変化に対応させた。

部材幅、梁高1.0mの電柱支持梁はRC梁として設計を行ない、梁の主鉄筋として比較的太径なD29を125mm間隔2段配置とした。電柱支持梁ブロックの施工には、型枠の組替え作業も必要なことから、概ね9日のサイクル工程となっている標準ブロックより3日程度多く費やされる。このため、電柱支持梁の鉄筋はワーゲンの上梁に固定した溝形鋼にPC鋼棒を用いた吊り材を取付け、宙吊りにした状態で鉄筋を組立て、完了後速やかにレバーブロックにより一括建て込み作業(図-6、写真-4)を行ない、シンプルな設備で大幅な省力化を図った。

コンクリート打設は、ポンプ圧送により、起点終点ブロックを同日打設している。また、コンクリート打設時は、シース内に軽量で所要の圧縮強度を有するポリエチレン管を挿入することで、シースの潰れ等の変形を防止している。

ブロック打ち継ぎ目には、凸凹形状を有するポリエチレン製気泡緩衝材を用いて打ち継ぎ目処理の簡素化を図ることとし、良好な付着結果を得ている。

主方向のPC鋼材定着具には、フレシネー工法12T15M319を使用し、コンクリート打設後に現場養生供試体の圧縮強度が28.4N/mm²以上であることを確認した上で緊張作業を行っている。張出しブロック鋼材及び中央径間連結鋼材の緊張は全て両引き、側径間連結鋼材は隣接橋の桁掛かりの関係で一部桁内からの片引きとしている。

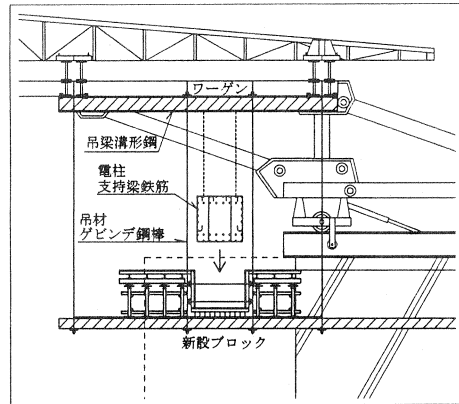


図-6 電柱支持梁鉄筋の建て込み要領

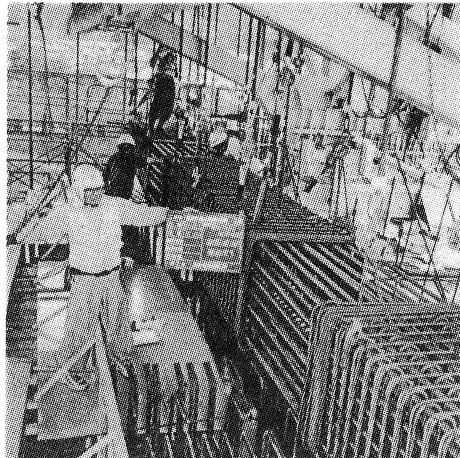


写真-4 電柱支持梁鉄筋の建て込み状況

5. おわりに

本橋の施工は2000年7月現在、全94の張出しブロック中40ブロックの施工を完了しており、最初の中央連結に向けてワーゲンの解体・転用、カウンターウェイト、吊り支保工設置、JR近接工事段取りと、多種多様な工種に鋭意取り組んでいる。

最後に、本橋の設計・施工例が、今後の類似工事の参考になれば幸いであり、また、本工事を進めるにあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を申し上げる次第です。

【参考文献】

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 (1992年10月) (財)鉄道総合技術研究所
- 2) 新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料 (1996年 3月) (財)鉄道総合技術研究所
- 3) プレストレストコンクリート工法設計施工指針 (1991年 3月) (社)土木学会
- 4) FKKフレシネー工法施工基準 (1999年 6月) 極東鋼弦コンクリート振興(株)