

十川橋梁の設計・施工

岩田 道敏*1・齊藤 啓一*2・熊谷 實*3・津吉 毅*4

1. はじめに

十川橋梁は JR 五能線・五所川原～陸奥鶴田間に架かる橋梁で、現在河川改修事業の一環として改築工事が施工中である。改築工事は経済性比較の結果、仮線施工により行われ、現在仮線供用中であり、平成 8 年 7 月供用開始予定である。新橋は橋梁前後の取り付けの関係から下路桁を基本に計画され、架設地点が豪雪地帯であり、除雪等の冬期における保守作業の簡素化を目的として、開床式の直結軌道形式を採用することとした。本文では、この開床式の橋梁上部工の設計および施工概要につ

いて述べる。

2. 工事概要

図-1 に橋梁概要を、図-2 に橋梁一般図を、図-3 に橋梁施工位置を示す。

上部工の主桁は、3 径間連続の PRC 下路桁で、床組

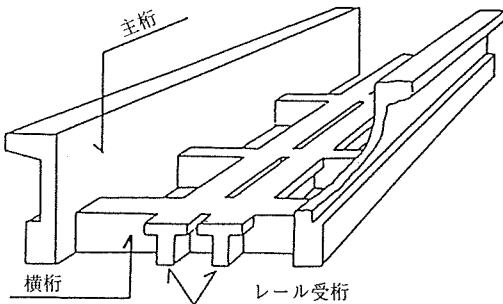


図-1 概要図

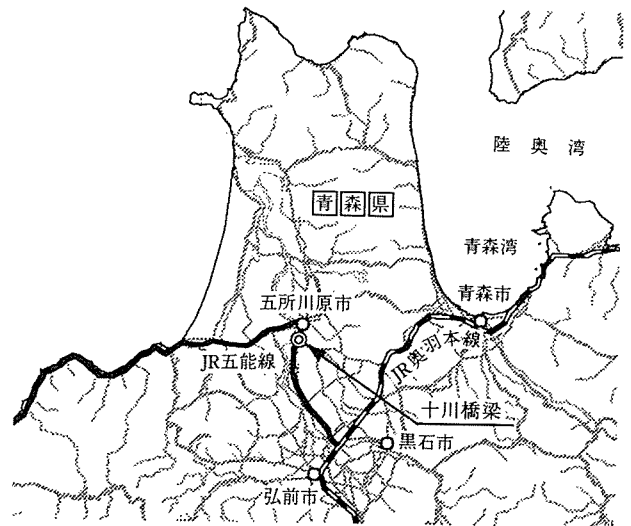


図-3 橋梁施工位置

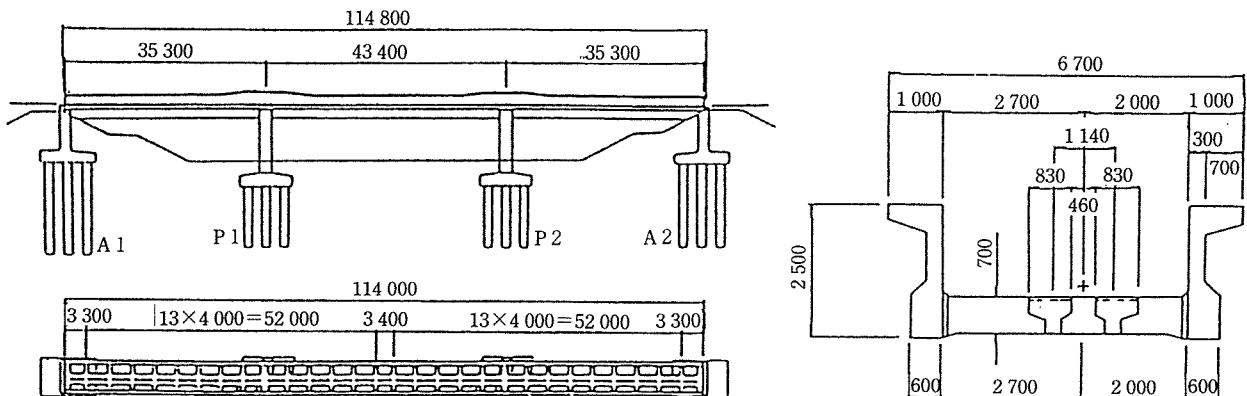


図-2 橋梁一般図

*1 Michitoshi IWATA : 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部構造技術センター

*2 Keiichi SAITO : 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所工事管理室

*3 Minoru KUMAGAI : 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所青森工事区

*4 Takeshi TSUYOSHI : 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所工事第二

表-1 施工工程表

	平成6年度						平成7年度						平成8年度																		
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
下部工																															
基礎等																															
橋台																															
橋脚																															
上部工																															
栈橋架設撤去																															
支保工																															
受桁・横桁																															
主桁																															
軌道敷設																															
仮線撤去(栈橋舎)																															
電気設備復旧																															

表-2 施工手順

1	レール受桁と横桁コンクリート打設
2	約3ヶ月経過後、レール受桁プレストレス導入
3	主桁コンクリート打設
4	横桁PC鋼棒を2ケーブルずつ桁長全区间緊張
5	端横桁PC鋼棒4ケーブル緊張
6	主桁PC鋼材(C4, C5, C6)を左右対称に緊張
7	横桁PC鋼棒の残りを緊張
8	主桁PC鋼棒(C3, C2, C1, C7)を左右対称に緊張
9	レール受桁の調整コンクリート打設

はレールを支持するレール受桁と、横桁から構成される開床式としている。工事着手後の全体施工工程を表-1に、上部工の施工手順を表-2に示す。

本橋においては、レール受桁に対して主桁よりも高いプレストレスレベルが必要となり、構造全体を一括して製作後にプレストレスを導入すると、レール受桁には主桁・レール受桁の軸剛性比分以上プレストレスが作用しないため、レール受桁に必要なプレストレスレベルを確保するためには、かなり多くのPC鋼材が必要となる。そのため、主桁を後施工とし、主桁コンクリート打設前にレール受桁にプレストレスを導入することとした。また、構造系完成後は、主桁とレール受桁の応力レベルがかなり異なり、クリープにより大きな不静定力が作用する。そのため、レール受桁のプレストレスによるクリープ開始材齢を遅くし、クリープ変計量をできるだけ小さくするため、レール受桁プレストレスはレール受桁製作後約3ヶ月経過した主桁の施工直前に導入することとした。なお、本橋は直結軌道であることから、施工誤差、たわみの誤差等に対応するため、レール受桁の上縁部5cmを、支保工撤去後の軌道敷設時の高さ調整部分とし、耐力の計算には考慮していない。

3. 設計概要

表-3に上部工の設計条件を示す。レール受桁・横桁

表-3 設計条件

橋長		114 m 850	桁長		114 m 800	
一般条件	スパン	35.3 m+43.4 m+35.3 m	列車荷重	EA-15		
	衝撃係数	主桁・受桁 $i=0.254$		横桁 $i=0.520$		
	軌道構造	直結軌道	線形	直線		
	設計水平震度	橋軸方向 $K_h=0.25$		直角方向 $K_h=0.25$		
コンクリート	設計基準強度		主桁	受桁・横桁		
	圧縮	永久荷重時	400 (kgf/cm ²)	450 (kgf/cm ²)		
		設計荷重時	160 (kgf/cm ²)	180 (kgf/cm ²)		
		施工時	-	180 (kgf/cm ²)		
	曲げ引張	永久荷重時	235 (kgf/cm ²)	265 (kgf/cm ²)		
		設計荷重時	-19 (kgf/cm ²)	0		
		施工時	-19 (kgf/cm ²)	曲げ引張強度*1		
	斜め引張	設計荷重時	-	引張強度*1		
		設計荷重時	ねじり考慮	-21 (kgf/cm ²)	-20.5 (kgf/cm ²)	
			ねじり無視	-21 (kgf/cm ²)	-20.5 (kgf/cm ²)	
クリープ係数	$\phi=3.0$		$\phi=2.1$			
乾燥収縮度	350×10^{-6}		170×10^{-6}			
PC鋼材	材質		主桁・受桁	横桁		
			SWPR 7 B 12 T 12.7	SBPR 93/118		
	引張強度 (kgf/mm ²)	190		110		
	降伏強度 (kgf/mm ²)	160		95		
	応力度制限値	プレストレス中	144		85	
		プレストレス直後	133		77	
設計荷重時		133		77		
レラクゼーション率	5%		5%			
鉄筋	材質		SD 345			
	引張強度 (kgf/cm ²)	5 000				
	降伏強度 (kgf/cm ²)	3 500				

*1：部材寸法の影響を考慮した値

は、列車荷重が直接載荷し、また、主桁に確実に力を伝達する必要があることからPC部材とした。主桁は本橋が直結軌道であることから、クリープ変形が小さくなるPRC部材として設計を行っている。また、設計はPC部材については「建造物設計標準」、PRC部材について

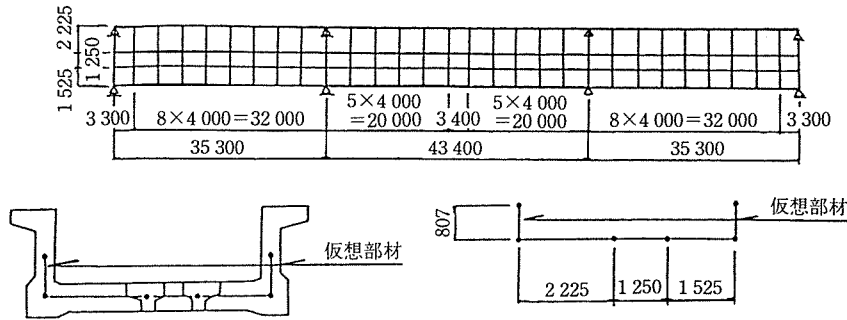


図-4 構造解析モデル

は、「PRC けた設計標準」に準拠している。

図-4 に完成系における構造解析モデルを示す。下路桁の場合、構造解析は通常平面格子解析により行われるが、今回のような構造形式においては、平面格子モデルでは、主桁の曲げ変形により、レール受桁に発生する軸力の影響が評価できないため、主桁とレール受桁の図心位置を仮想部材で剛結した立体解析モデルを用いて断面力を求めた。なお、仮想部材の剛性は ∞ とした。

4. 主桁の設計

本橋では、レール受桁が直角方向に偏心して配置されているため、左右の主桁に発生する断面力が若干異なるが、最大断面力に対して設計を行った。図-5 は中間支点部、中央径間中央部の軸方向鋼材の配置を示したものである。主ケーブルには、フレシネー 12 T 12.7 を使用し、軸方向引張鉄筋としては、D 22 を使用している。表-4 は、主要断面における永久荷重時の曲げ応力度を、表-5 には斜め引張応力度を、表-6 には疲労および破壊安全度の検討結果を示す。

なお、表-5 中の検討断面 A~C とは、図-5 中に示した位置である。また、使用時の曲げひび割れ幅の検討の結果は、「永久荷重」および「永久荷重+0.2×列車荷重」に対して全圧縮状態となった。また、せん断に対し

表-4 曲げ応力度の計算値

	側径間中央		中間支点		中央径間中央	
	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
自重	48.3	-43.7	-63.6	66.1	39.3	-37.9
プレストレス力	9.7	140.2	116.9	-44.7	1.2	105.1
プレストレス 2 次力	-1.7	-40.9	-11.7	2.7	-14.1	-18.5
橋面荷重	3.1	-2.7	-3.7	4.0	2.5	-2.3
クリープ・乾燥収縮	3.1	11.7	8.7	6.5	12.9	5.3
プレストレス減少力	-1.7	-24.8	-19.5	7.5	-0.2	-21.1
プレストレス減少 2 次力	-0.6	3.3	-0.2	-1.3	-1.0	2.5
鉄筋拘束力	-3.8	-3.7	-4.1	-0.8	-2.6	-3.6
支点沈下 (MAX)	3.0	-2.4	4.0	-3.9	2.0	-1.6
” (MIN)	-3.0	-2.4	-4.0	3.9	-2.0	1.6
列車衝撃 (MAX)	57.2	-49.5	7.2	-7.7	58.3	-50.9
” (MIN)	-22.2	18.2	-48.2	52.2	-13.9	10.9
施工完了時	56.2	55.6	41.6	24.1	26.2	48.7
橋梁完成時	59.3	53.0	37.8	28.1	28.7	46.4
永久荷重時	56.2	39.5	22.8	40.0	37.8	29.6
” (沈下 MAX)	59.3	37.1	26.8	36.2	39.8	28.0
” (沈下 MIN)	53.2	42.0	18.8	43.9	35.8	31.2
設計荷重時 (MAX)	113.5	-10.0	30.0	32.3	96.1	-21.3
” (MIN)	34.0	57.7	-25.5	92.2	23.9	40.5
” (沈下 MAX)	116.5	-12.4	34.0	28.5	98.1	-22.9
” (沈下 MIN)	31.0	60.2	-29.5	96.1	21.9	42.1

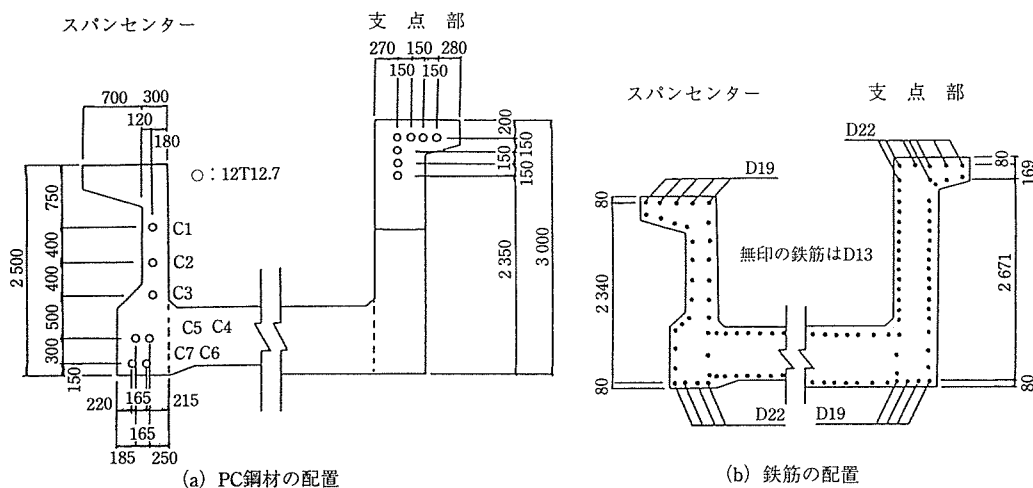


図-5 軸方向鋼材の配置

◇工事報告◇

表-5 斜め引張応力度

		せん断力最大の場合		ねじりモーメント最大の場合	
		ねじり無視	ねじり考慮	ねじり無視	ねじり考慮
1	A	-2.0	-2.0	-0.4	-0.8
	B	-3.5	-3.5	-0.6	-1.0
	C	-3.7	-3.7 (-4.1)	-0.6	-1.0
2	A	-17.5	-18.0	-4.0	-5.6
	B	-4.7	-5.2	-3.8	-5.0
	C	-1.5	-1.7	-1.6	-2.3

1: 側径間中央 2: 中間支点
() は吊下げ力を考慮した場合

表-6 曲げ破壊安全度および疲労の検討結果

		側径間中央	中央 支 点	中央径間中央	
PC 鋼材 (12 T 12.7)		7 本	7 本	7 本	
主 鉄 筋 (SD 345)		D 22×4	D 22×7	D 22×4	
曲 げ 破 壊 安 全 度		1.63	1.46	1.88	
疲 勞	P C 鋼材	応力振幅	386.2	447.1	415.6
		疲労強度	2 620.9	3 007.7	3 487.6
鉄筋		応力振幅	433.5	510.1	464.8
		疲労強度	3 500.0	3 500.0	3 500.0

鋼材量は 1 主桁あたり

応力度: kgf/cm²

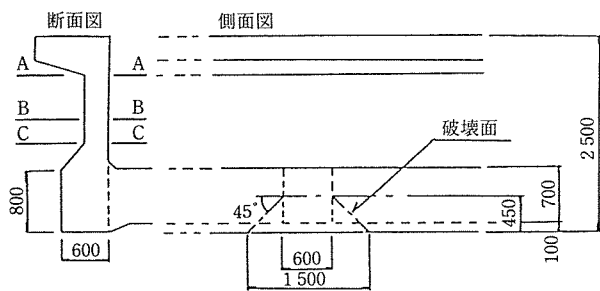


図-6 想定したせん断破壊面

ては、使用時においてひび割れを発生させないように列車荷重時の斜め引張応力度を制限している。

PC 下路桁の場合には、破壊に対して必要となるせん断補強筋のほかに、床版と主桁のつけ根の吊下げ力に対して抵抗する吊下げ鉄筋を加えてスターラップを配置する。本橋では、床版が連続しておらず、横桁付近に吊下げ力が集中する。そこで、図-6 に示したような、横桁位置での押し抜きせん断破壊面を想定し、この区間には、主桁のせん断破に対して必要となる鉄筋量に、吊下げ鉄筋として必要となる鉄筋量を加えたスターラップを配置することとした。

5. レール受桁の設計

レール受桁は、列車荷重に対して安全となるよう、列車荷重による曲げとせん断に対しては、レール受桁剛性のみを考慮した 3 径間の連続梁モデルで断面力を算出

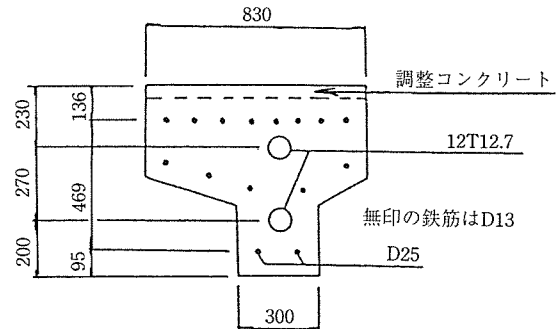


図-7 受桁のケーブル配置

表-7 曲げに対する検討結果

		支 点 部	径 間 部
破 壊 安 全 度		6.43	2.83
永 久 荷 重 時 の コンクリート応力度	上 縁	57.0	61.3
	下 縁	68.1	61.2
設 計 荷 重 時 の コンクリート応力度	上 縁	20.8	93.9
	下 縁	80.8	25.1

支点部: 横桁との結合部
応力度: kgf/cm²

し、全体モデルで算出される永久荷重（持続荷重を含む）による断面力と列車荷重による軸力を組み合わせて設計照査を行った。図-7 にレール受桁のケーブル配置を、表-7 にレール受桁の曲げに対する主な検討結果を示す。

締結装置は直結 8 型を使用し、レール受桁に予め埋め込んだ埋込みカラーに T ボルトを取り付けて締結を行った。また、埋込みカラーの止水にはグリース状の止水油（比重 1.06 以上）を使用し、軌道の微調整は浸み込み可変パットを用いて行った。

6. 横桁の設計

横桁には、主桁プレストレス、主桁・レール受桁の軸方向変形差により大きな面外力が作用するため、2 方向の断面力の組合せに対して設計を行った。また、立体解析モデルでは、主桁の変形等の影響で横桁と主桁の接合部にはあまり大きな負のモーメントは作用しない結果となるが、安全側の設計とするため、接合部には中央部の正の最大モーメントの 1/2 の負のモーメントが作用するとして設計を行った。また、横桁は、端横桁、中間支点部横桁を除き同一断面としているが、発生断面力が異なるため、3 種類に分類し、それぞれの最大断面力に対する設計を行った。

7. 変形に対する検討

本橋は、直結軌道であることから、クリープ等による桁の変形をできる限り小さくすることが軌道管理上、また、列車走行性を確保する意味で重要となる。したがっ

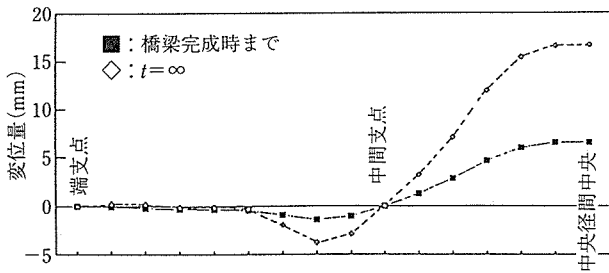


図-8 主桁の変形量

て、全体変形に対して支配的となる主桁の変形に特に配慮し、施工終了時の永久荷重時の主桁の上下縁応力度ができるだけバランスするように鋼材配置等を決定した。このように上下縁の応力度のバランスを整えることにより、図-8に示すように計算上のクリープ変計量を小さくできるだけでなく、剛性・クリープ係数等に誤差が生

じた場合でも、軌道に対する影響を低減することができる。

8. 施工について

施工は、1995年7月から1996年6月にかけて行った。施工の流れを図-9に、および施工状況を写真-1~4に示す。

支保工はトラス形式の桁式支保工を用いた。型枠は施工性を考え、支保工の上に一面にベニヤ板を敷き詰め、その上に設置した。桁下の底型枠は支保工撤去前に先行解体するため、型枠を製作する際、底型枠の撤去を考慮しておく必要がある。そのため本橋では、栈木による型枠組を採用した。また、コンクリートの施工性については実物大の試験体により事前に確認を行った。

支保工の支点部は、桁完成後の降下据付けが容易なよ

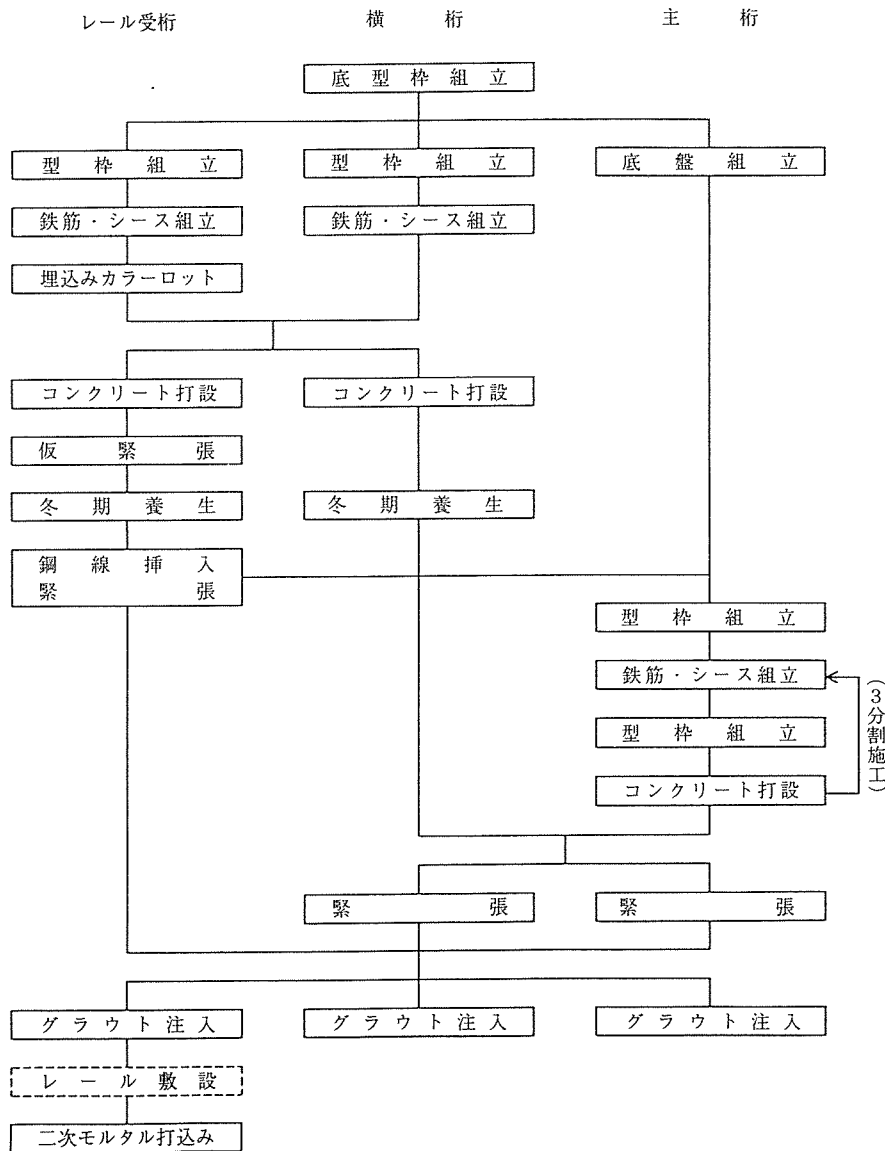


図-9 施工の流れ

◇工事報告◇

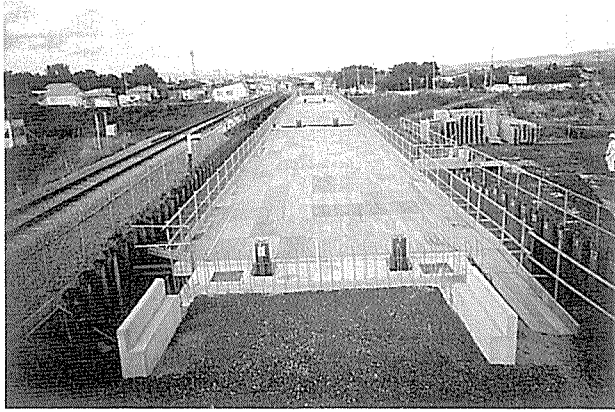


写真-1 支保工完成時

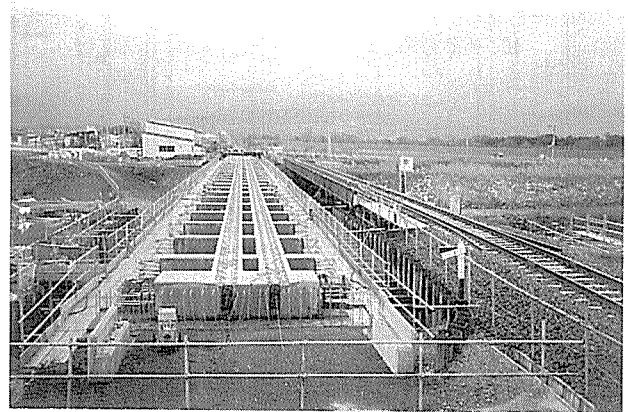


写真-3 レール受桁完成時



写真-2 レール受桁打込み状況



写真-4 主桁完成時

うに、橋脚に取り付けたブラケットと支保工桁の間にジャッキを配置し、施工性の向上を図った。また、ブラケットはPC鋼棒により橋脚に取り付けた。

レール受桁と横桁のコンクリートは、同時に打込みを行った。打込みは、ポンプ車2台により行い、桁終点方から起点方に向けて順次行い、約5時間で終了した。その後、7日間シートによる養生を行い、6日後に脱型を

行った。PC緊張（仮緊張1 T 12.7）は、コンクリート打ち込み後10日目に行い、その後、シートにより約3ヶ月間養生を行った。なお、レール受桁の施工に際し、後打ちとなる上部5cmの非構造部の施工性を向上させるため、図-10のように打込みを行った。

主桁の製作は、レール受桁のクリープ進行を考慮し、設計どおり約3ヶ月後に行った。コンクリートの打込みは3分割に分けて行った。打込み順序はクラックの発生等を考慮し、図-11に示すように先に側径間部の打込みを行い、8日後に中央径間部の打込みを行った。その後、3日間シートによる養生を行い、4日後に脱型を行った。

PC鋼材の緊張は、クラック抑制のため中央径間コンクリート打込み終了後3日目に、コンクリートの強度発現を確認した後行った。PC鋼材の緊張順序は表-8お

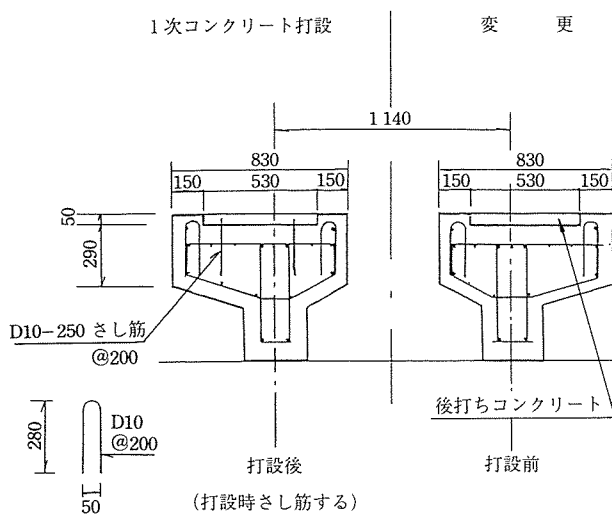


図-10 レール受桁施工図

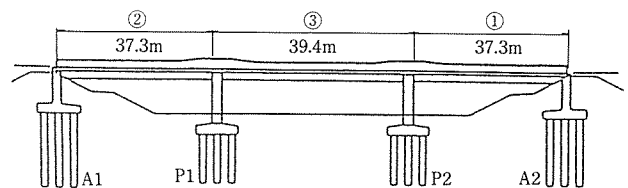
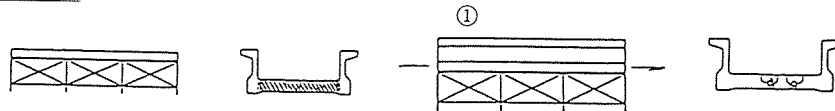
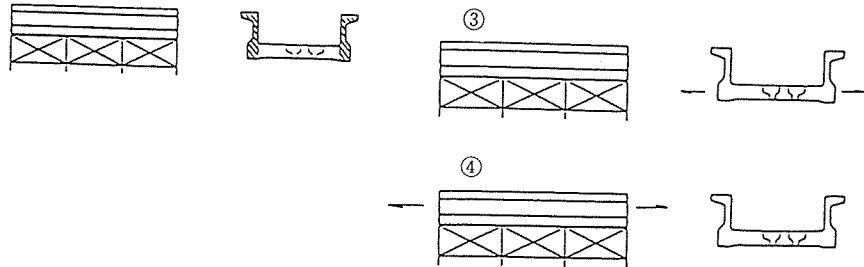


図-11 主桁コンクリート打込み順序

STEP1 受桁、横桁の施工 (3ヵ月間放置)



STEP2 主桁の施工



STEP3 3橋面工施工, 調整コンクリート施工, レールセット



図-12 PC 鋼材緊張順序

表-8 PC 緊張手順

(1)	レール受け桁の PC 鋼材仮緊張
(2)	レール受け桁の PC 鋼材緊張
(3)	横締め PC 鋼材の一部緊張 (端横桁 4 本, 中間横桁 2 本ずつ)
(4)	主桁自重相当分主桁 PC 鋼材の緊張 (片側 3 本ずつ)
(5)	残りの横締め PC 鋼材の緊張
(6)	残りの主桁 PC 鋼材の緊張

よび図-12 に示すとおりである。

9. おわりに

完成後の橋梁を写真-5~7 に示す。日本で初めて採用した開床式の PRC 下路桁の設計および施工について報告を行った。本橋は現在軌道の敷設が終了し、7 月に供用を開始する予定である。本構造形式は、供用後のクリープ変形に対する配慮を今回のように行えば豪雪地帯

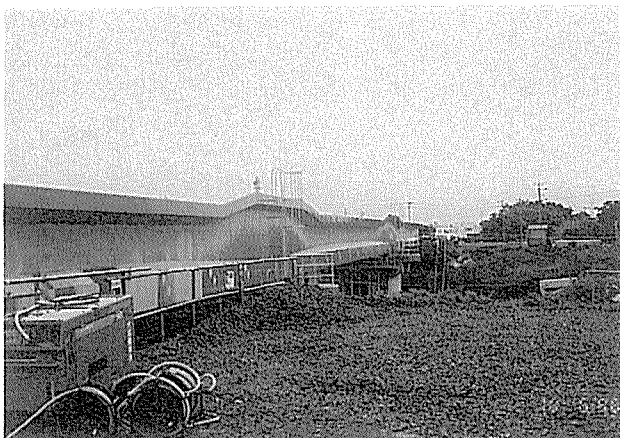


写真-5 完成時 (1)

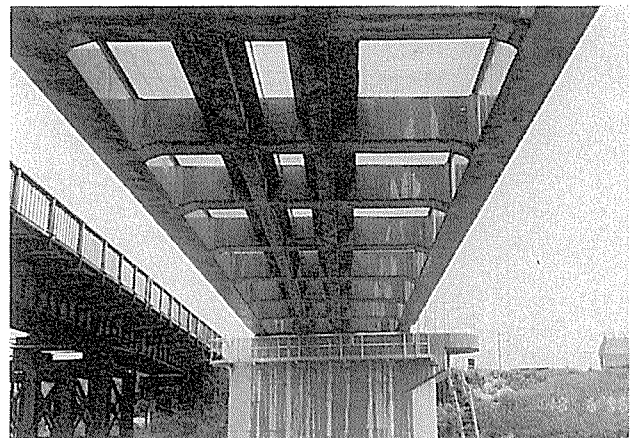


写真-6 完成時 (2)

◇工事報告◇

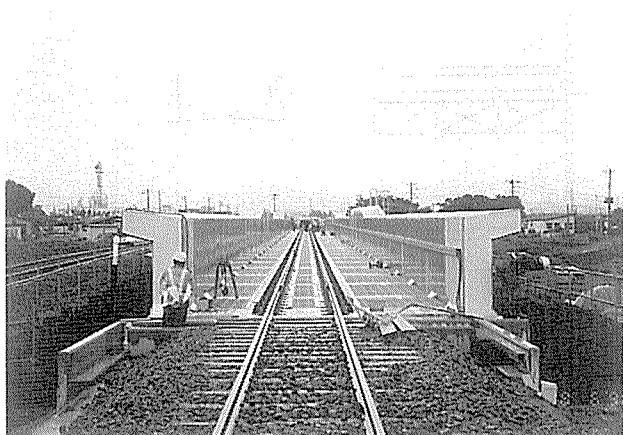


写真-7 完成時(3)

においては、非常に有効であると思われる。

最後に、本橋梁の設計および施工には、東日本旅客鉄道(株)建設工事部担当部長石橋忠良氏、投資計画部課長代理竹内研一氏をはじめ多くの方々のご指導を賜った。また、様々な検討に対し鉄建建設十川作業所の方々にもご協力を頂いた。この場をお借りして御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本国有鉄道：建造物設計標準，昭和58年2月
- 2) 東日本旅客鉄道(株)：PRCけた設計標準，昭和62年4月
- 3) 岩田，大庭，津吉，小岩：開床式3径間連続PRC下路桁の設計，平成7年10月，プレストレストコンクリート技術協会シンポジウム概要集
- 4) 鈴木，竹内，館石：開床式PRC下路桁(コンクリート直結軌道)の設計について，平成2年3月，土木学会東北支部技術研究発表会論文集

【1996年6月27日受付】