

(82) 開床式3径間連続PRC下路桁の設計

東日本旅客鉄道(株) 構造技術PT ○岩田 道敏  
 東日本旅客鉄道(株) 構造技術PT 大庭 光商  
 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 正会員 津吉 毅  
 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 小岩 祐記

1. はじめに

十川橋梁はJR五能線・五所河原～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概要について述べる。

2. 工事概要

図1に橋梁概要図を、図2に橋梁一般図を示す。

上部工は、3径間連続のPRC下路桁としており、上述のとおり、床組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。新橋建設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。

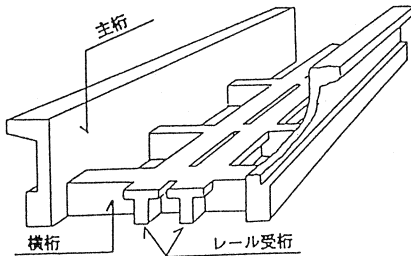


図1 概要図

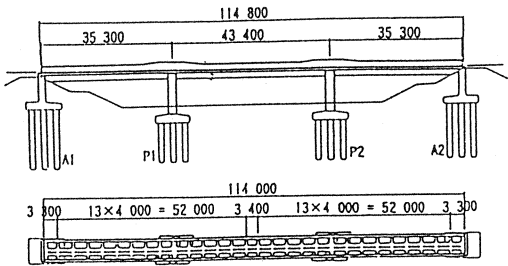


図2 橋梁一般図

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																															
桁橋架設撤去																															
支保工																															
受桁・横桁																															
主桁																															
軌道敷設																															
仮線撤去(桁橋含)																															
電気設備復旧																															

本橋のような構造においては、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るが、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、受桁には主桁・受桁の軸剛性比がしかプレストレスが作用しないため、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・受桁の応力レベルがかなり異なるため、クリープにより大きな不静定力が作用する。そのため、受桁のクリープ変位量をできるだけ小さくするため、受桁プレストレスは主桁と横桁の間詰め施工直前に導入することとしている。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、受桁の上縁部5cmは非構造部とし、支保工撤去後の軌道敷設時の高さ調整部とした。

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2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間緊張
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

3. 設計概要

表3に上部工の設計条件を示す。受桁・横桁は、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部材として、また、主桁は本橋が直結軌道であることから、プレストレスレベルが低く、クリープ変形の小さい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」<sup>1)</sup>、PRC部材については「PRCけた設計標準」<sup>2)</sup>に準拠している。

図3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、受桁に発生する軸力の影響が評価できないため、主桁と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 $\infty$ 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、右側と左側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4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、フレシナー12T12.7を使用し、軸方向引張鉄筋としては、D22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。

表3 設計条件

一般条件	橋長	114m850	桁長	114m800
	スパン	35.3m+43.4m+35.3m	列車荷重	EA-15
軌道構造	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	$K_h=0.25$
	設計基準強度		主桁	受桁・横桁
コンクリート	応力	永久荷重時	400(kgf/cm <sup>2</sup> )	450(kgf/cm <sup>2</sup> )
		設計荷重時	160(kgf/cm <sup>2</sup> )	180(kgf/cm <sup>2</sup> )
	曲げ引張	永久荷重時	—	180(kgf/cm <sup>2</sup> )
		設計荷重時	235(kgf/cm <sup>2</sup> )	265(kgf/cm <sup>2</sup> )
	斜め引張	永久荷重時	-19(kgf/cm <sup>2</sup> )	0
		設計荷重時	-19(kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度**
クリープ係数	設計	ねじり考慮	-2.1(kgf/cm <sup>2</sup> )	-20.5(kgf/cm <sup>2</sup> )
	荷重時	ねじり無視	-2.1(kgf/cm <sup>2</sup> )	-20.5(kgf/cm <sup>2</sup> )
乾燥収縮率	主桁	$\epsilon=3.0$	$\epsilon=2.1$	
	受桁	$3.50 \times 10^{-4}$	$1.70 \times 10^{-4}$	
PC鋼材	材質	SWPRTB 12T12.7	SBPR 93/118	
	引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> )	190	110	
	降伏強度(kgf/mm <sup>2</sup> )	160	95	
	応力度制限値	プレストレッシング中	1.44	8.5
レラクゼーション率	プレストレッシング直後	1.33	7.7	
	設計荷重時	1.33	7.7	
鉄筋	材質	SD345		
	引張強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	5000		
	降伏強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	3500		

\*1: 部材寸法の影響を考慮した値

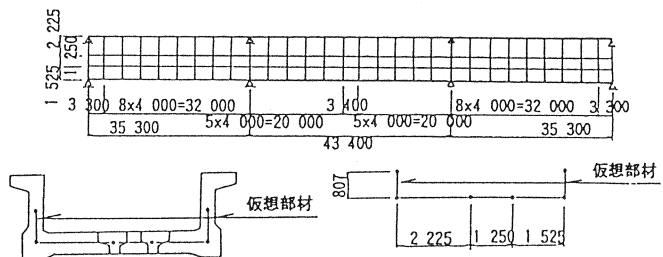


図3 構造解析モデル

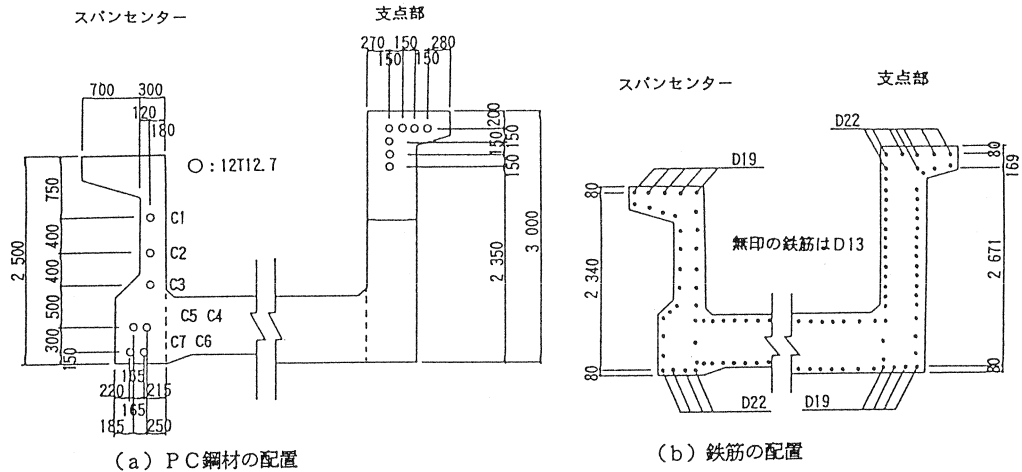


図4 軸方向鋼材の配置

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
プレスト力	9.7	140.2	116.9	-44.7	1.2	105.1
プレスト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
クリブ・乾燥収縮	3.1	11.7	8.7	6.5	12.9	5.3
プレスト減少力	-1.7	-24.8	-19.5	7.5	-0.2	-21.1
プレスト減少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

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  
( )は吊り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	中間支点	中央径間中央
PC鋼材(12T12.7)		7本	7本	7本
主鉄筋(SD345)		D 2 2 × 4	D 2 2 × 7	D 2 2 × 4
曲げ破壊安全率		1.63	1.46	1.88
疲 勞	PC 応力振幅	386.2	447.1	415.6
	疲労強度	2620.9	3007.7	3487.6
	鉄筋 応力振幅	433.5	510.1	464.8
疲労強度		3500.0	3500.0	3500.0

鋼材量は1主桁あたり

応力度: kgf/cm<sup>2</sup>

なお、表5中の検討断面A~Cは、図5中に示した位置である。また、使用時の曲げひびわれ幅の検討は、「永久荷重」および「永久荷重+0.2×列車荷重」に対して行われるため、本橋の場合は全圧縮状態となる。また、せん断に対しては、使用時には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

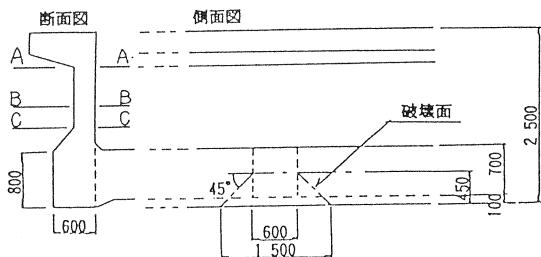


図5 想定したせん断破壊面

せん断補強筋の他に、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、図5に示したような、横桁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. 受桁の設計

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、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合わせて設計照査を行った。図6に受桁のケーブル配置を、表7に受桁の曲げに対する主な検討結果を示す。

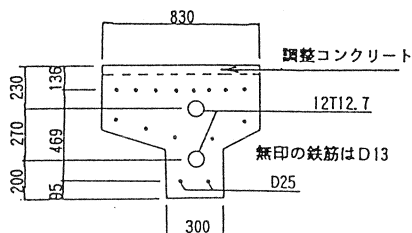


図6 受桁のケーブル配置

### 6. 横桁の設計

横桁には、主桁プレストレス、主桁・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わ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。

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/cm<sup>2</sup>

### 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上下縁応力度ができるだけバランスする

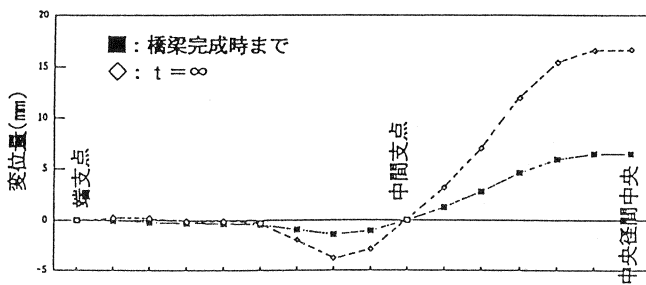


図7 主桁の変形量

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7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だけでなく、剛性・クリープ係数等に誤差が出現した場合でも、軌道に対する影響を低減することができる。

### 8. おわりに

日本で初めて採用した開床式のPRC下路桁の設計概要について報告した。豪雪地帯においては、供用後の変形に対する配慮を行えば、本形式は非常に有効であると思われる。

#### 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