

(86) PCランガー橋の設計

東日本旅客鉄道㈱	建設工部部	○大庭光尚
東日本旅客鉄道㈱	建設工部部	渡辺康夫
東日本旅客鉄道㈱	東京工事事務所	鎌田則夫
東日本旅客鉄道㈱	東京工事事務所	正会員 石橋忠良

1. はじめに

都市計画道路を跨ぐ鉄道橋において、レールレベルから桁下面までの高さが1010mmに制限を受けた。このため、下路桁形式を前提に経済性、および景観等を考慮した結果、スパン60.5mのPCランガー橋を計画した(図-1)。なお、本橋は仮線方式による施工となるため、単線並列構造となっている。

本文では、PCランガー橋の構造特性ならびに設計概要について述べるものである。

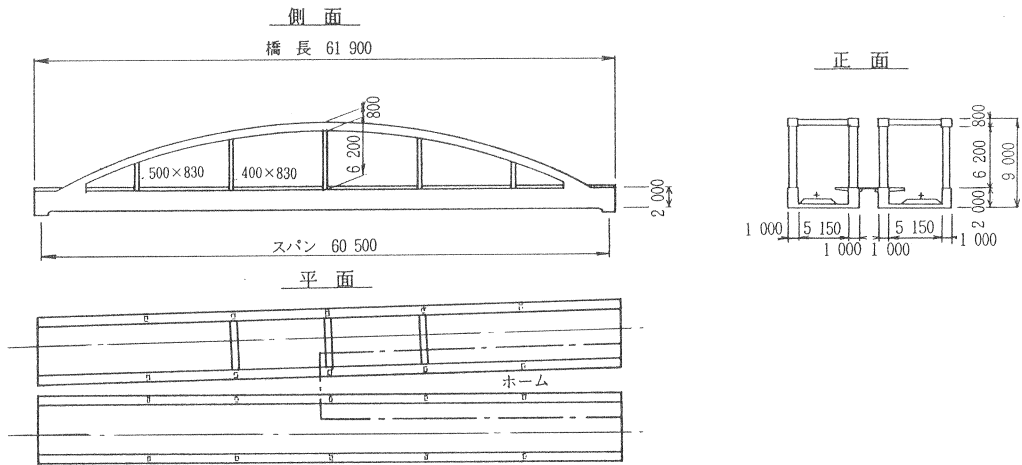


図-1 一般図

2. 設計基本方針

桁製作は総足場工にて行うものとし、現道路部分については道路空頭を確保するために桁式支保工とする。また、施工時に補脚桁の応力負担を大きくすることは、PC鋼材量を増加し、本構造形式の特性を十分に活用できないことから、足場の撤去はアーチ部材の施工を終了し、構造系が完成してからとする。

桁下空頭の制限から補脚桁は下路桁形式となるが、補脚桁の桁高は景観上、および前後の高架橋の防音壁の高さ( $h=2.0\text{m}$ )に揃える。このため、設計上は補脚桁の荷重負担ができるだけ小さくするようなライズと部材の剛比を検討する。

設計は限界状態設計法<sup>1)</sup>により行い、橋桁構成部材の使用限界状態時の応力制限は、部材に作用する応力状態を考慮し決定する。アーチ部材には出げと軸力が作用するが、軸力方向圧縮力が卓越する部材であることからRC部材として設計する。また、補脚桁にはアーチ推力による軸力方向引張力、吊材も軸力方向引張力が卓越する部材であることからPC部材とし、応力の制限値は、部材寸法の影響を考慮した設計引張強度以下とする。吊材は補脚桁と同様PC部材とし、PC鋼棒はアーチ部材の上縁にて定着されるため、防錆上アンボンドPC鋼棒を用いることとする。

3. 構造特性の検討

3.1 アーチライズ比の検討

アーチライズ比は景観、ならびに経済性に影響を及ぼすことから、ライズ比5ケースにて使用時の応力の

比較を行った。なお、比較したライズ (ライズ比) は、 $f=12.1\text{m}$  ( $f/\ell=1/5$ ),  $f=10.1\text{m}$  ( $1/6$ ),  $f=7.6\text{m}$  ( $1/8$ ),  $f=6.1\text{m}$  ( $1/10$ ),  $f=5.0\text{m}$  ( $1/12$ ) である。ライズ比と補剛桁の断面力の比較を図-2に示す。

ライズ比が大きくなると補剛桁の軸引張力、および曲げモーメントは減少する。しかしながら、曲げモーメントに関しては、ライズ比が $1/8$ 以上になるとライズの差が曲げモーメントに及ぼす影響は小さいものとなる。ライズ比の違いが補剛桁内に配置されるPC鋼材量に及ぼす影響を把握するために、補剛桁の断面を一定とし必要鋼材本数を算定した。ライズ比が $1/5, 1/6, 1/8, 1/10, 1/12$  に対して、必要PC鋼材本数は各々7, 8, 9, 12, 14本 (12T15) となる。

以上の検討より、応力上はライズ比が大きいもの程有利となるが、本橋では景観も考慮したうえで、桁下面からアーチ上面までの高さを $9.0\text{m}$ とした。なお、この時のライズ比は $1/7.7$ となる。

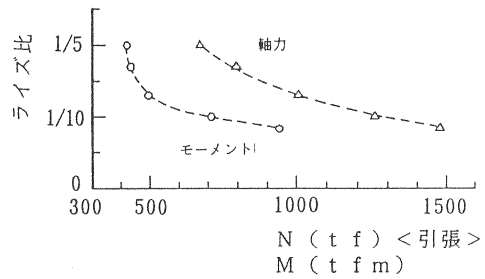


図-2 ライズ比と補剛桁断面力

### 3. 2 部材剛性の影響

部材形状寸法の決定にあたり、部材間の剛性の違いによる断面力の比較検討を行った。補剛桁の桁高は景観上、前後の高架橋の防音壁の高さ ( $h=2.0\text{m}$ ) と同一としたため、ここでは補剛桁と吊材の剛性を一定としアーチ部材の剛性 ( $1.0\text{m} \times 0.8\text{m}, 1.0\text{m} \times 1.6\text{m}$ ) のみを変化させることとした (表-1)。なお、ライズ比は $f/\ell=1/7.7$ とした。

表-1 部材剛性の影響

	$A$ ( $\text{m}^2$ )	$I$ ( $\text{m}^4$ )	補剛桁		アーチ材			
			$M_{\text{max}}$ ( $\text{tfm}$ )	$N_{\text{max}}$ ( $\text{tf}$ )	$M_{\text{max}}$ ( $\text{tfm}$ )	$M_{\text{min}}$ ( $\text{tfm}$ )	$N_{\text{max}}$ ( $\text{tf}$ )	$N_{\text{min}}$ ( $\text{tf}$ )
ケース1	0.8	0.0427	497	-1008	24	-21	1017	866
ケース2	1.6	0.341	335	-1020	100	-4	1043	1007

補剛桁:  $A=3.03\text{m}^2, I=1.115\text{m}^4$

検討の結果、アーチ部材の剛性を大きくすることにより、アーチ部材の曲げモーメントは $70\text{tfm}$ 程度増加し、逆に補剛桁の曲げモーメントは $160\text{tfm}$ 程度減少する。しかしながら、アーチ推力による補剛桁の軸引張力は、ライズ比を一定としているためほとんど変化せず、また本検討範囲内でのアーチ部材の剛性変化による補剛桁の増加モーメントは、PC鋼材本数を変化させる程のものとならない。

アーチ部材は軸方向圧縮力が卓越するRC部材で、いずれのケースにおいても全断面圧縮状態にあり、永久荷重作用時のコンクリートの圧縮応力度により部材断面が決定される傾向にある。このため、アーチ部材をスレンダーな形状とするためには高強度コンクリートの採用が有効となる。

以上により、アーチ部材の断面は、景観上から補剛桁とのバランス、および施工性をも考慮し設計基準強度 $600\text{kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを採用し、スレンダーな断面 ( $1.0\text{m} \times 0.8\text{m}$ ) とした。

また、吊材は景観を考慮すると部材断面を小さくすることが望ましいと思われるが、部材高さを小さくすると面内の曲げに対する応力変化が顕著で、PC鋼材の必要本数が増加する。表-2に端部の吊材と中間部の吊材の応力を示す。端部の吊材は曲げモーメント、軸力とも大きくなる。また、本検討範囲内では軸成分よりも曲げ成分による応力度が大きくなっている。このため、曲げ成分の影響を小さくし、PC鋼材量を少なくするためには、部材高さを大きくする必要があり、応力上から必要部材寸法が決定される。

表-2 吊材の応力

部材	荷重状態	M ( $\text{tfm}$ )	N ( $\text{tf}$ )		PC鋼材量
端吊材 $83 \times 50\text{m}$	永久荷重時	15	-146		$\phi 32\text{mm}$ 10本
	使用時	21	-168		
	応力度	-61	-42	-102	
中央吊材 $83 \times 40\text{m}$	永久荷重時	7	-117		$\phi 32\text{mm}$ 8本
	使用時	13	-130		
	応力度	-59	-40	-99	

応力度の単位は  $\text{tf/m}^2$

### 3. 3 部材の荷重分担

補剛桁とアーチ部材の荷重分担を検討するために、ランガー形式のものとアーチ部材の無い通常の下路桁形式とで比較を行った。この場合、桁の断面形状は同一とし、また荷重状態は補剛桁自重作用時とした。

補剛桁の応力検査結果を表-3に示す。なお、表中のプレストレス力による応力度は、いずれも12T15.2mmのストランドを10本配置するものとして算出したものである。

PCランガー形式は、補剛桁にアーチ推力による軸方向引張力が作用するものの、曲げモーメントが大幅に減少する。桁自重作用時の合成応力度を比較すると、スパンが大きいこともあり両者の応力差が非常に大きく、アーチ部材の荷重分担の大きいことがわかる。また、桁断面を同一とし、アーチ部材を取り去ったPC下路桁形式では、圧縮応力度が許容値を満足しないとともに、下縁の引張応力度を打ち消すためには、PCランガー形式の4倍程度のPC鋼材量が必要となる。したがって、PCランガー橋は、足場施工が可能な条件下において、アーチ部材を有効活用することにより単純PC下路桁に比べて桁高を十分小さくすることができる。

### 4. 経済比較

同一設計条件におけるPCランガーとPC下路桁の数量比較を表-4に示す。PCランガーはPC下路桁に比べてコンクリート体積が20%程度、PC鋼材量が30%程度に減少しており、本施工条件下においてPCランガー形式は、経済性においてもPC下路桁に比べて有利なものとなっている。

### 5. 設計概要

#### 5. 1 断面力

本橋の設計条件を表-5、荷重係数ならびに安全係数を表-6、7に示す。

構造解析は平面滑組み解析を基本とし、アーチ材と補剛桁の取付けとなるアーチ基部については2次元FEM解析を行い、得られた局部応力に対して補強を行うこととした。

解析により得られた使用限界状態時の部材断面力を図-3に示す。

表-6 荷重係数

	使用限界状態	終局限界状態
固定死荷重	1.0	1.1
付加死荷重	1.0	1.2
列車荷重	1.0	1.1
衝撃荷重	0.75	1.1
乾燥収縮差	1.0	1.0

表-3 構造形式別応力の比較

断面力	PCランガー形式		単純PC下路桁形式		
	M (tfm)	N (tf)	$\sigma_c$	$\sigma_s$	
応力度	①桁自重	15	38	395	-226
	②軌道ス	29	75	29	75
	①+②	44	37	424	-151

表-4 構造形式別数量比較

	PCランガー	PC下路桁	増減数量
コンクリート体積 (m <sup>3</sup> /m)	7.47	9.50	▲ 2.04
鉄筋重量 (t/m)	0.91	0.57	0.34
PC鋼材重量 (t/m)	0.34	0.50	▲ 0.16
型枠面積 (m <sup>2</sup> /m)	22.3	26.0	▲ 3.7
支保工 (空 m <sup>3</sup> /m)	26.5	25.8	0.7

表-5 設計条件

橋	長	61.900 m					
支	間	60.500 m					
斜	角	88° 35' 26"					
軌	道 形 式	バラスト軌道					
列	車 荷 重	EA-17					
設	計 水 平 震 度	0.32					
曲	線 半 径	緩和曲線・R=2000m					
コン	部	材 種 別	補剛桁	吊 材	7-f 材		
	リ	リ	ー	フ 係 数	2.6		
	リ	乾	燥 収 縮 度	200 × 10 <sup>-6</sup>			
	ト	設	計 基 準 強 度	400kgf/cm <sup>2</sup>	400kgf/cm <sup>2</sup>	600kgf/cm <sup>2</sup>	
	ト	緑	圧縮応力度の制限値	永久荷重作用時 160 "	160 "	240 "	
P	C	種	別	主スランド	12T15.2mm	軸直経め	φ32mm
				横筋	φ26mm		
鉄	筋	種	別	SD345			
		支	承 種 別	スリラー・ダンパー・スタブ			

表-7 安全係数

安全係数	構造解析係数	材料係数		7m	部材係数	構造係数
		コンクリート	鋼材			
限界状態	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0
終局限界状態	1.0	1.3	1.0 (1.05)**	1.0 (1.15)**	1.0	1.2
使用限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
疲労限界状態	1.0	1.3	1.05	1.0 (1.3)**	1.0	1.0
終局限界状態 (地震時)	1.0	1.3	1.0 (1.15)**	1.0 (1.15)**	1.0	1.0

\* 1 : スリラーに使用する鋼材に用いる  
\* 2 : コンクリート強度にのみ異なるせん断耐力およびねじり耐力の算定に用いる

### 5. 2 アーチ材の設計

アーチ材は主として軸方向圧縮力を受け、かつ曲げモーメントも同時に受ける部材である。このため、終局限界状態時においては、アーチ材の変形による二次モーメントを考慮し、部材の細長比が35を越える場合には長柱として設計することとした。なお、解析は弾性理論による線形解析を基に、二次偏心量の影響については埃らによる近似解法<sup>2)</sup>により考慮することとした。

### 5. 3 アーチ基部の設計

アーチ基部の設計は、使用時の荷重状態に対して接合部付近をモデル化したFEM解析を行い、補強した。解析の結果、接合部に最大42kgf/cm<sup>2</sup>の引張応力度が発生し、これに対してPC鋼棒にて補強することとした(図-4)。

### 5. 4 施工概要

施工順序を以下に示す。

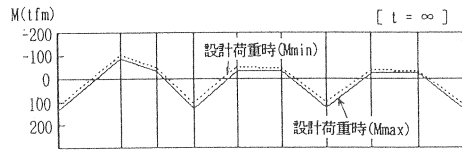
- ①支保工設置
- ②補剛桁(床組スラブ)、アーチ材との結合部コンクリート打設
- ③補剛桁、床版(横締め)プレストレス導入
- ④アーチ材・吊材支保工組み立て
- ⑤アーチ材・吊材コンクリート打設
- ⑥アーチ材・吊材支保工撤去
- ⑦吊材プレストレス導入
- ⑧支保工撤去
- ⑨橋桁のジャッキダウン

### 6. おわりに

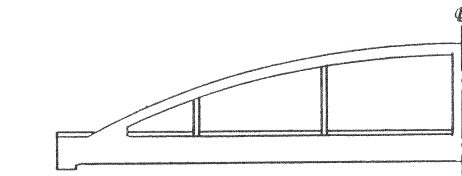
PCランガー橋は景観上優れた構造形式であるが、施工場所や施工条件により経済性においても有利となる。本報告が今後の計画の参考となれば幸いである。

#### 【参考文献】

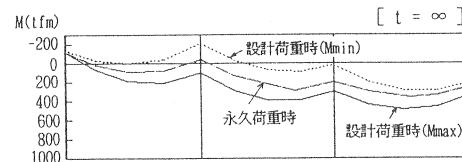
- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物
- 2) 堺孝司・角田史雄・能町純雄：鉄筋コンクリート長柱の設計、土木学会論文集、第340号、1993.12



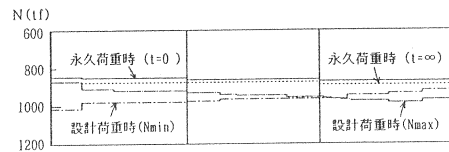
(a) アーチ材曲げモーメント



(b) 補剛桁曲げモーメント (t = 0)



(c) 補剛桁曲げモーメント (t = infinity)



(d) 補剛桁軸力

図-3 部材断面力

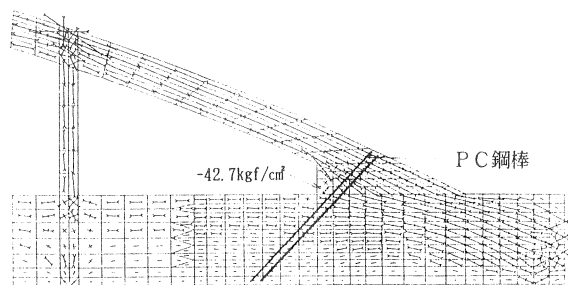


図-4 FEM解析結果