

# 道路橋としての供用に向けた 仮線鉄道橋張出しPC床版の改良設計

○河合健斗<sup>1</sup>・加藤幸男<sup>1</sup>・野澤孝之<sup>1</sup>・武藤大和<sup>1</sup>・小玉由人<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中日本建設コンサルタント株式会社（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内一丁目16番15号）

本橋は、鉄道高架事業に伴う仮線として供用中の鉄道橋であり、鉄道高架切替え後には高架側道の道路橋として供用する計画となっている。

この仮線鉄道橋を道路橋として供用するにあたり、道路構造の観点から縦断計画や幅員構成の見直しを行った結果、橋面荷重が増加し、張出しPC床版において耐久性（疲労）照査の制限値を満足しない結果となった。そのため、縦断計画の見直しにより必要となる路面高調整コンクリートの厚みに着目し、調整コンクリートを構造部材として既設PC床版と一体化させた合成床版構造を採用した。

**Key Words** : 既設鉄道橋, 道路橋としての供用, 張出しPC床版, 合成床版

## 1. はじめに

本報告の対象となる橋梁は、鉄道高架事業に伴う仮線橋として供用中であり、鉄道高架切替え後には鉄道高架側道の道路橋として供用予定のPC単純ポストテンションT桁橋（橋長L=38.6m）である。

本報告では仮線鉄道橋を道路橋として供用するにあたり、道路構造の観点から見直した経緯、および見直しに伴い制限値を満足しない結果となった張出しPC床版の補強構造について報告する。

## 2. 検討フロー

検討フローを図-1に示す。

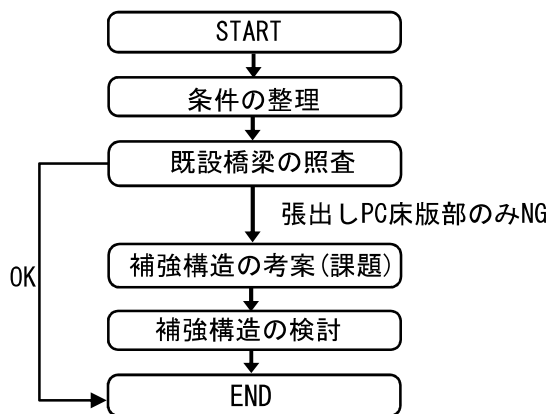


図-1 検討フロー

## 3. 条件の整理

### (1) 橋梁諸元

以下に本橋の橋梁諸元および側面図を示す(図-2)。

道路規格 : 第4種第4級

設計速度 : V=40km/h

橋長 : 38.60m

斜角 : 60°

活荷重 : A活荷重(道路橋)

列車荷重(鉄道橋)

重要度区分 : A種の橋

上部工形式 : PC単純ポストテンションT桁

下部工形式 : 逆T式橋台

基礎工形式 : 場所打ち杭φ1500

地盤種別 : III種地盤

適用基準 : 平成29年 道路橋示方書

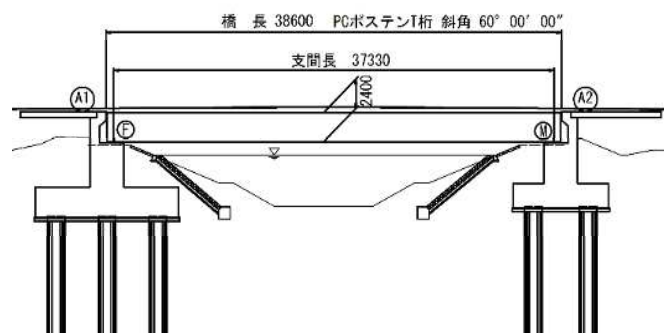


図-2 対象橋梁側面図

(2) 道路構造の見直し

a) 縦断計画

本橋の鉄道仮線縦断は、前後の踏掛版の区間も含めてLEVELで計画されており、道路橋供用時もLEVELとなっていた。しかし、道路橋として供用する場合、車両の走行安全性や橋梁の耐久性に配慮して橋面の雨水を速やか、かつ確実に排水できる構造としなければならない。よって、道路橋供用時の縦断計画をLEVELから0.8%の凸型縦断曲線に見直しを行った。

なお、この見直しにより、橋面上の必要調整コンクリート厚さは平均で250mm程度となった(図-3)。

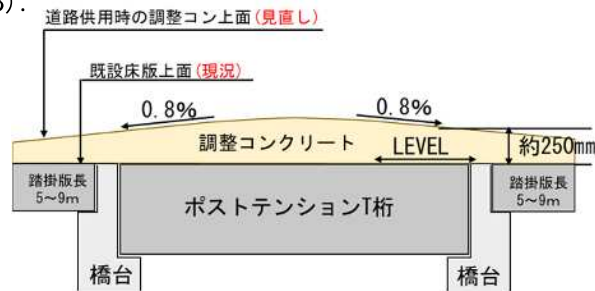


図-3 縦断計画見直しによる必要調整コンクリート厚

b) 幅員構成

過年度設計における鉄道仮線供用時・道路供用時および本設計にて見直し後の幅員構成図を図-4に示す。

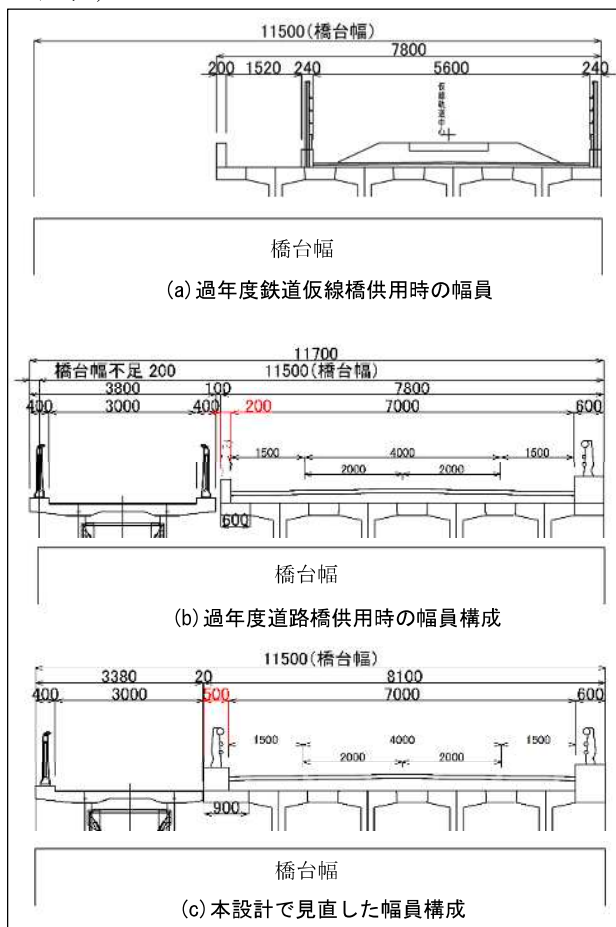


図-4 過年度および本設計での幅員構成

過年度設計における道路橋供用時の車道部左側地覆は鉄道橋供用時の地覆幅200mmで計画されていたが、車両衝突時の耐荷力不足や、車両用防護柵設置幅が不足している構造となっていた。

そこで本設計では、橋側歩道橋も含めて幅員構成を見直し、左側地覆幅を200mmから500mmに変更することで、本橋と橋側歩道橋で地覆を兼用する幅員構成とした。

4. 既設橋梁の照査(耐荷性能・耐久性能)

(1) 道路橋としての構造照査結果

3. で述べた道路構造の見直しを反映した後、道路橋としての構造照査を仮線鉄道橋に対して行った結果、上部工の主要構造は概ね制限値を満足する結果となった(表-1)。しかし、地覆幅を変更した左側張出しPC床版においては、耐久性(疲労)照査の制限値を満足しない結果となった(詳細な照査位置および照査結果は図-5、表-2を参照)。なお、下部基礎工については、制限値を満足する結果であった。

表-1 既設上部工の代表的な照査結果

		標準部	
		上縁	下縁
主桁	合成曲げ応力度	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	
	永続支配(D)	7.97	4.91
	変動支配(D+L)	11.06	0.30
横桁	合成曲げ応力度	( -2.20 <math>\sigma_{ca}</math> 16.50 )	
	永続支配(D)	5.16	2.69
	変動支配(D+L)	5.22	2.56
床版(中間)	合成曲げ応力度	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	
	永続支配(D)	4.65	0.49
	変動支配(D+L)	2.91	2.23
床版(右側)	合成曲げ応力度	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	
	永続支配(D)	4.26	0.88
	変動支配(D+L)	2.28	2.87

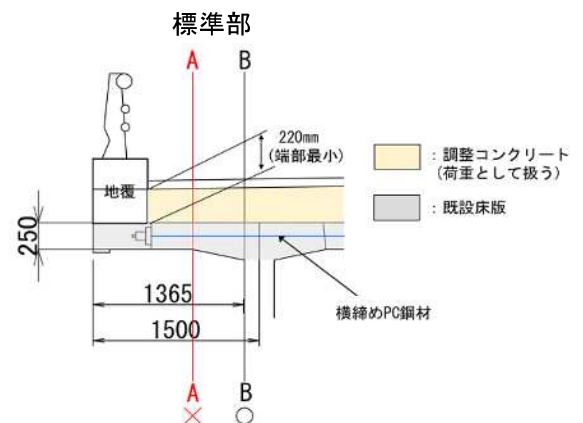


図-5 左側張出しPC床版の照査位置

表-2 左側張出しPC床版の詳細な照査結果

合成曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	標準部			
	A-A断面		B-B断面	
	上縁	下縁	上縁	下縁
前提条件の照査	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )
前提条件	2.22	4.77	3.94	1.21
耐荷性能照査	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )
永続支配(D)	2.22	4.77	3.94	1.21
変動支配(D+L)	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )	( -3.10 <math>\sigma_{ca}</math> 24.00 )
変動支配(D+L)	-1.02	8.01	1.07	4.08
耐久性照査	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )
耐久性(防食)	2.11	4.54	3.76	1.15
耐久性(疲労)	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )	( 0.00 <math>\sigma_{ca}</math> 16.00 )
耐久性(疲労)	-0.48 NG	6.96	1.46	3.45

(2) 左側張出しPC床版の応力状態の整理

PC床版の耐久性（疲労）照査では、死活荷重用時に引張応力を発生させないことを基本としており、横締めPC鋼材は床版全体に圧縮応力を与えることによって、床版内に発生する引張応力を解消する役割を果たしている(図-6)。

これに対し、本橋の左側張出しPC床版の耐久性（疲労）照査結果では、床版上縁に引張応力が発生する結果となった(図-7)。この原因は、道路構造の見直しによる橋面および地覆荷重増加に伴い、床版に作用する曲げ応力が増加したためであると考えられる。従って、PC床版上縁に発生した引張応力を解消できる補強対策を行う必要がある。

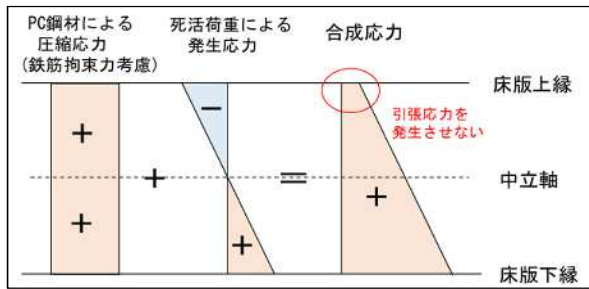


図-6 耐久性照査の基本的な考え方

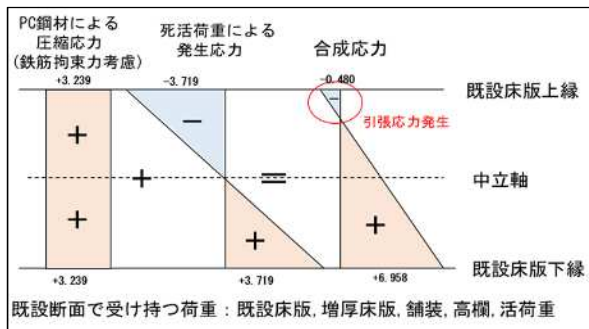


図-7 本橋の張出しPC床版照査時の応力状態

5. 本検討における課題

床版上縁に発生した引張応力を解消する一般的な補強工法として以下が考えられる。

(1) 横締めPC鋼材の追加設置

床版上縁に発生した引張応力を解消する工法として、PC鋼材の緊張力を上げる工法が考えられる。

この工法は、新たにPC鋼材を追加して再度緊張力を与えることで、現在PC床版上縁に発生している引張応力の解消を図る工法である(図-8)。

しかし、今回対象とする橋梁は、床版厚が薄く、PC鋼材を設置するための削孔長は8mを超えるなど、工事が大掛かりとなる。また、削孔時に床版内部の鉄筋と干渉する可能性も高く、難易度も高い施工となることから、補強工法としては採用できないと考えた。

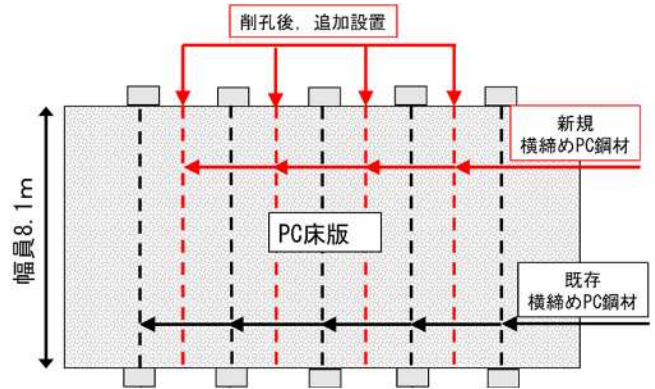


図-8 PC鋼材の追加設置イメージ

(2) 上面増し厚補強

増厚による床版の補強方法は、床版上面にコンクリートを打ち足すことで曲げ耐力の向上を期待する工法である。

しかし、床版上面にコンクリートを打ち足すことから橋梁上の路面高が嵩上げされ、橋梁前後のすりつけ道路にも影響する点が問題である。また、上部工の荷重増加に伴い、他の部材にて応力超過するケースもあることから施工事例は少ない。

上述するように、PC床版の補強工法には、それぞれ問題点があり、これらの補強事例が少ないのが現状であった。そのため、PC床版上縁に生じる引張応力を解消する補強構造を考案することが本検討の課題であった。

6. 補強構造の考案

5. で述べたように、PC床版補強工法の一つに床版上面に増厚コンクリートを増設する工法がある。なお、本橋では、縦断計画の見直しにより、地覆端部における路面高調整コンクリートが220mm以上あり、配筋可能な厚みを有していること、また鉄道橋供用時にて主構造断面が決定しており、道路橋供用時には制限値に余裕がある結果となっていた。それらの点に着目し、調整コンクリートを増厚コンクリート(構造部材)として既設床版と一体化させることで、合成床版として考える補強構造を考案した。

なお、本橋を道路橋として供用するにあたって、路線全体として縦断計画の見直しを行っているため、増し厚補強工法の問題点である橋梁前後道路への影響も計画段階から考慮することができた。

## 7. 補強構造の検討

### (1) 施工前後の応力状態

増厚補強の施工前後で載荷される荷重および抵抗断面が異なるため、施工前後それぞれの断面で受け持つ荷重と抵抗部材断面を図-9のとおり設定した。

施工時は増厚床版が硬化するまでの状態を想定することで、抵抗断面を既設床版のみとし、荷重として既設床版と増厚床版を載荷した。また、施工後は橋の供用中を想定することで、抵抗断面を既設床版と増厚床版とし、荷重として活荷重、舗装、高欄、地覆を載荷した。その後、施工前後に発生する応力の足し合わせを行い、既設床版上縁に引張応力が生じていないことを確認した。

なお、施工前後で発生する応力が変わるため、施工前後でそれぞれ照査を実施した。施工前後の応力の足し合わせの概念図を図-10に、照査結果を表-3、表-4に示す。

その結果、既設床版上縁・下縁の各位置において制限値を満足し、左側張出床版標準部の上縁側で発生していた引張応力を解消することができた。

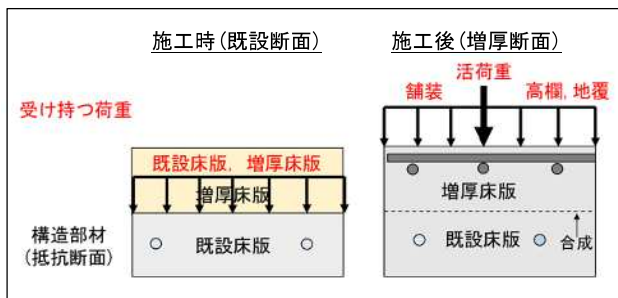


図-9 施工前後断面で受け持つ荷重

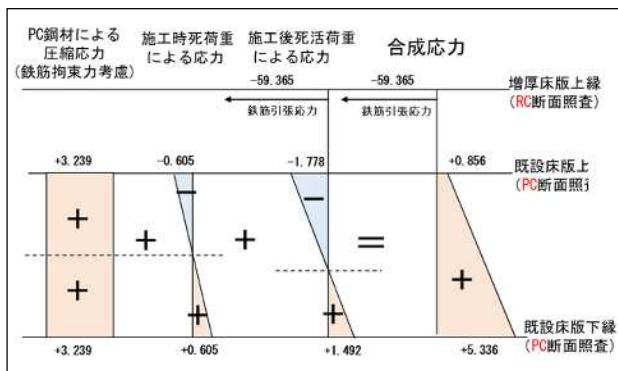


図-10 施工前後の応力概念図

表-3 施工時断面照査結果 (N/mm<sup>2</sup>)

	施工時断面の照査 (A-A断面)	
	既設床版上縁	既設床版下縁
① 補強前荷重	-0.605	0.605
② 有効プレストレス (鉄筋拘束力考慮)	3.239	3.239
合成応力度 ①+②	( 0.00 <σc< 12.00 ) 2.63 OK	( 0.00 <σc< 12.00 ) 3.84 OK

表-4 施工後断面照査結果 (N/mm<sup>2</sup>)

	施工後断面の照査 (A-A断面)		
	増厚上縁	既設上縁	既設下縁
① 補強前荷重	-	-0.605	0.605
② 有効プレストレス (鉄筋拘束力考慮)	-	3.239	3.239
③ 補強後荷重	-59.365	-1.778	1.492
合成応力度 ①+②+③	( 0.00 <σca< 12.00 ) 0.856 OK	( 0.00 <σca< 12.00 ) 5.336 OK	( 0.00 <σca< 12.00 ) 5.336 OK
鉄筋応力度	σs 59.365	< 120 OK	< 120 OK

### (2) 合成効果を期待するための細部構造

増厚床版を構造部材として合成効果を期待するためには、既設床版と増厚床版との接合面に発生するせん断力に対してずれ止め材を設ける必要があると考えた。本設計では合成桁における桁と床版の接合部の設計手法に準用し、ずれ止め材の構造検討を行った(図-11)。その結果、ずれ止め材としてD16鉄筋を橋軸方向に250mmピッチ、橋軸直角方向に500mmピッチで配置した。なお、ずれ止め鉄筋の既設床版への埋め込み長は、横締めPC鋼材に干渉しない長さとし(図-12)、平面的な干渉に対しては、竣工図の横締めPC鋼材位置を確認し回避した。

また、増厚するコンクリートの設計基準強度は合成床版として考えるため、既設PC床版の弾性係数に合わせて $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ とした。

$$\tau_b = \frac{S \cdot Q}{b \cdot I}$$

ここに  $\tau_b$  : 合成断面として桁と床版が完全結合した場合の接合面のコンクリートに生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $S$  : 桁断面に生じるせん断力 (N)  
 $b$  : 桁と床版の接合面における橋軸直角方向の幅 (mm)  
 $Q$  : 合成断面の図心軸に関する床版の断面一次モーメント (mm<sup>3</sup>)  
 $I$  : 合成断面の図心軸に関する合成断面断の断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

図-11 接合面に生じるせん断応力度の算出式<sup>1)</sup>

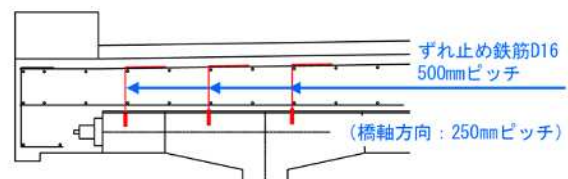


図-12 ずれ止め鉄筋配筋図

## 8. おわりに

本設計では、仮線鉄道橋を道路橋として供用するために、縦断計画および幅員構成を見直したことにより発生した張出しPC床版の応力超過箇所に対する補強構造を考案した。縦断計画を見直したことにより必要となる路面高調整コンクリートの厚みを活かすことで、大掛かりな施工を行うことなく張出しPC床版の引張応力超過を解消することができた。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編，p279，H29.11