

上部工架替における橋梁形式選定事例

Example of Bridgetypeselection in Superstructure Rebuilding

交通事業本部 交通第2部 塚田 倫仁

我が国では、高度経済成長期以降に整備したインフラが今後一斉に老朽化することが見込まれている。老朽化が進むインフラを計画的に維持管理・更新することにより、安全性の確保や維持管理に係るトータルコストの削減を図る必要がある。本論では、一般国道に架かる橋梁において、床版劣化の顕在化により上部工架替を行った事例について紹介する。

1 橋梁概要

対象橋梁は、S41年に竣工され、その後、S51年に歩道橋添架、H13年に河川改修に伴う橋梁延伸、H24年に耐震補強工事が行われている。橋梁の基本諸元を以下に示す。

橋長	L=163.500m	
支間長	l=51.400m+4@27.100m	
幅員構成	W=(歩)3.000m+(車)2@3.500m=10.000m	
上部工形式	第1径間	単純鋼床版箱桁(延伸部)
	第2~5径間	単純鋼合成钣桁4連
下部工基礎工形式	A-1橋台	逆T式橋台/鋼管杭基礎
	P-1橋脚	壁式橋脚/直接基礎
	P-2~4橋脚	壁式橋脚/ケーソン基礎
	A-2橋台	半重力式橋台/RC杭基礎
平面線形	R=∞(直線区間)	
縦断勾配	i=0.027142%	
橋梁斜角	θ=60° 00' 00"	
設計荷重	TL-20(1等橋)	
床版厚	d=180mm	
適用示方書	S30、H8道示	

2 損傷概要および対策方針

2.1 損傷状況および経緯

対象橋梁のうち、S41年に架設された第2~4径間のRC床版において、床版コンクリートの抜け落ちが発生した。

上記の床版損傷を受け詳細調査を実施したところ、以下の損傷が認められた。

- ① 床版上面劣化(土砂化最大深さ110mm)
- ② 床版下面漏水・遊離石灰
- ③ 床版コンクリート物性値の低下
- ④ 補強鋼板のうき・腐食

また、主桁の応力度頻度測定結果より、大型車通過時に主桁応力度が許容値を超過していることが確認された。

当該径間の上部工については、最新の定期点検にて漏水等に起因する床版劣化が多数発生していることが確認された。また、損傷の著しい進展が認められ、早急な対策が必要な状況であった。

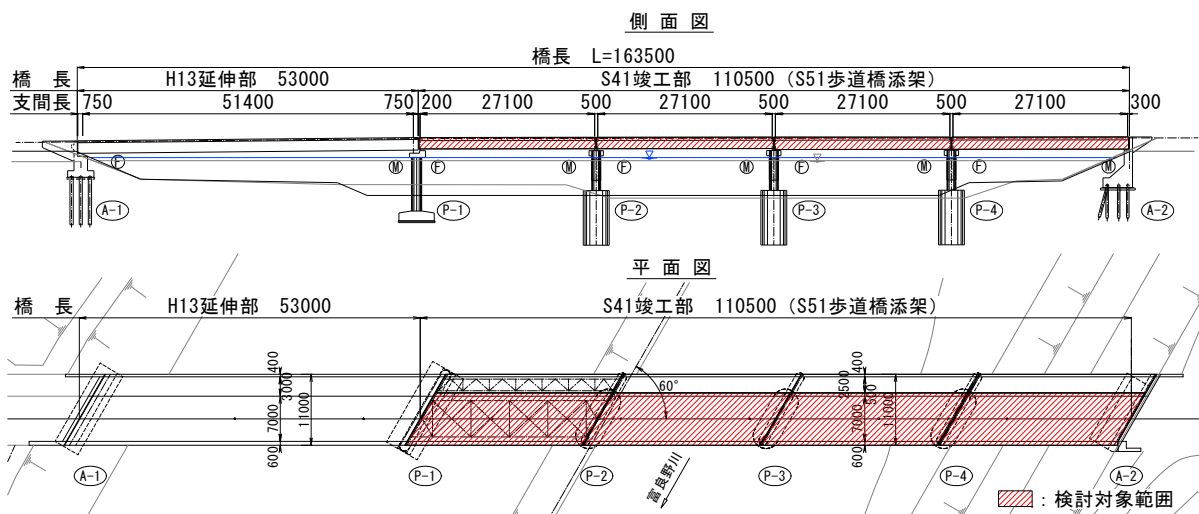


図1 橋梁概要図

2.2 対策方針の検討

本橋の劣化進行は床版に特化しており、進行程度は径間毎に差があるが、いずれも「床版打替え」等の大規模な対策が必要な状況であった。

上記を踏まえた対策工法検討の結果を表1に示す。本橋は床版劣化が著しく、施工規模が大きくなるため、上部工架替えによる対策とすることとした。

3 上部工架替えにおける課題

3.1 上部構造高

現道において既設下部工を活用した架け替え工事であるうえ、第1径間及び歩道橋は本工事の対象外である。新設上部工は、前後道路の路面高に合わせる必要があり、上部構造高は現橋と同等以下でなければならない。

3.2 既設床版厚

既設上部工はRC床版(床版厚180mm)を用いた鋼合成版桁であり、現行示方書に準拠した場合と比較して薄い床版が適用されている。

新設上部工にコンクリート系の床版を適用する場合に床版厚が増加した場合は、上部工重量に影響を及ぼすため、採用には留意が必要である。

3.3 上部工反力

対象橋梁においてはH24耐震補強工事によりH14道示によるフルスペック耐震補強が実施され、P2~4橋脚について炭素繊維シート巻立て補強が行われている。追加補強を極力回避するため、大幅な上部工反力増加は不可である。

3.4 桁端部の処理

現橋支承は「鋼製線支承」が設置されている。同支承はコンパクトで経済的な形式であるが、回転方向が一方のみであるため、斜橋等の移動方向と回転方向が異なる橋梁には適さない形式である。

4 架替え工法の検討

4.1 工法選定の基本方針

前項にて述べた課題を踏まえ、上部工架替え工法の検討においては以下を基本方針とした。

- ① 仮道仮橋により迂回路を確保した全段面施工として計画する。
- ② 上部構造高は既設橋と同等以下とする。
- ③ 上部工重量が既設橋と同等の形式とする。
- ④ 上部工重量が増加する場合は、既設下部工耐力を照査する。
- ⑤ 既設橋の追加補強を回避する。
- ⑥ 初期コストによる比較検討とする。

4.2 上部工重量の軽減

(1) 桁配置の変更

床版厚は床版支間(主桁間隔)により決定される。

現行基準に準拠した場合、既設床版厚180mmから大幅な増厚となることから、主桁配置を変更することにより床版厚の縮減を図ることとした。(表2参照)

(2) プレキャスト床版継手工法


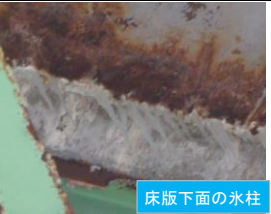


従来、プレキャストPC床版の接合部はループ継手により連続一体化させる工法が一般的であった。

同工法ではループ鉄筋の曲げ半径により床版厚

表2 桁配置検討結果

		RC床版	
		3主桁	4主桁
断面図	桁配置	8100 500 7000 600	8100 500 7000 600
	床版厚	250mm	190mm
	床版重量比	1.350 (現橋1.000)	1.145 (現橋1.000)

表1 既設補修工法の検討結果

各種損傷	① 床版上面劣化	② 漏水対策	③ 床版コンクリート物性値の低下	④ 補強鋼板のうき・腐食
現状	<ul style="list-style-type: none"> 全径間で床版上面の土砂化を確認 最大土砂化深さ110mm(床版厚の50%以上) ずれ止めが広範囲で露出している。 	<ul style="list-style-type: none"> 全径間で漏水を確認 補強鋼板及び主桁腐食の原因と推定 第2・第3径間では冬季に氷柱を確認 漏水量が著しく多い 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート圧縮強度及び静弾性係数の低下を確認 	<ul style="list-style-type: none"> 激しい腐食を有する補強鋼板が全ての径間で確認 径間毎に腐食進展状況は異なる
劣化程度	<ul style="list-style-type: none"> 劣化範囲は全床版面積の38% 要経過観察を加え全床版面積の49.6%が劣化又は今後劣化が想定 	<ul style="list-style-type: none"> 氷柱長は第2径間1.4m、第3径間0.3m 第2径間の補強鋼板端は全て腐食 	第2径間: Co圧縮強度 $11.6 \leq 28.0 \text{ N/mm}^2$ 静弾性係数 $2.4 \leq 27.0 \text{ kN/mm}^2$ 第4径間: Co圧縮強度 $17.3 \leq 28.0 \text{ N/mm}^2$ 静弾性係数 $16.6 \leq 27.0 \text{ kN/mm}^2$	<ul style="list-style-type: none"> 補強鋼板のうきの面積 第4径間: 85% 第5径間: 20%
対策案	断面修復工	防水層敷設+床版再補強 床版水抜きパイプ設置	非合成化(主桁補強)	補強鋼板撤去+新床版補強・防水層設置
適用性	床版上面を50mm以上撤去した場合、ずれ止めが露出するため 合成効果の減少 による主桁耐力の低下が生じ、 施工時安全性が確保できない。	漏水は防止することができるが、微細ひびわれ等で床版コンクリートが損傷していると推定され、 上記対策工ではこれを回復させることはできない。	ベント設備+全面通行止めといった大規模な仮設が必要となり、 上部工架替えと同等の仮設規模となるため、本対策案の採用は適当ではない。	本対策工の適用性に問題なし。
損傷写真				

が決定され、既設橋よりも床版厚が増加することから、本検討では、合理化継手を採用することにより床版厚の縮減を図ることとした。(図 2 参照)

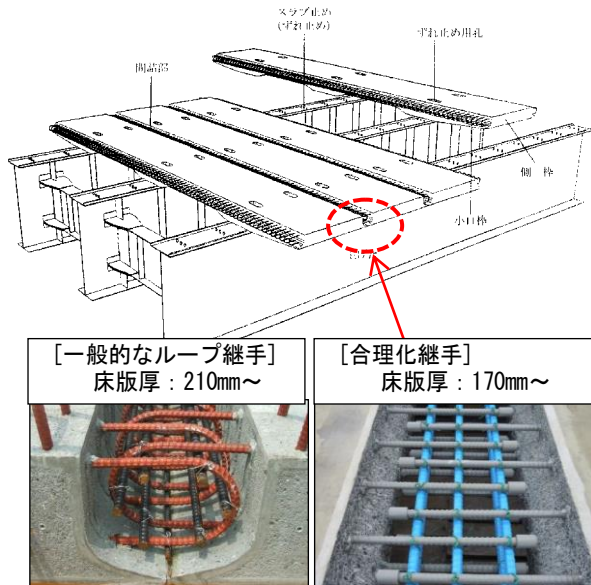


図 2 床版継手工法概要図

4.3 施工工期の短縮

本工事は、仮道仮橋により現道交通を確保したうえで実施するが、仮橋規模が大きいため(橋長 L=169.2m 幅員 w=10.0m)、工期短縮によるコスト縮減効果が見込める。

プレキャスト床版や合成床版の適用による工期短縮を考慮することとした。

4.4 架替工法の決定

(1) 比較検討案の抽出

4.1 に示した基本方針及び 4.2~4.3 を踏まえ、工法比較検討案を表 3 のとおり抽出した。

工法比較検討にあたっては、一般的な橋梁形式のほか新技術新工法についても採用した。

表 3 架替工法比較検討案

上部工形式	工法概要
第 1 案 鋼合成鉄桁 (PC 床版※)	プレキャスト PC 床版を適用し、上部工重量の増加を抑え、架設工期の短縮を図った案
第 2 案 鋼床版鉄桁	鋼床版を用いることで、上部工重量の軽減を図る案
第 3 案 パネルリッジ※	合成床版と主桁を剛結構造とし、主桁高及び重量を抑え、架設工期の短縮を図った案
第 4 案 鋼合成鉄桁 (RC 床版)	既設橋と同形式だが、床版厚の縮減を目的として主桁本数を増加させた案

上表の※を付した工法は、NETIS 登録工法

(2) 下部工(橋脚)の照査

前項で挙げた上部工形式のうち、優位性が認められた「第 1 案鋼合成鉄桁(PC 床版)」は上部工重量が現橋よりも増加する。

既設橋脚の耐震補強レベルを踏まえ、H14 道示に基づいて照査を実施し、橋脚が所用の耐力を有していることを確認した。

表 4 P1 橋脚 動的解析による照査結果

照査項目	単位	橋軸方向		橋軸直角方向			
		type I	type II	type I	type II		
塑性率	最大応答塑性率	μ_r	-	-	-	-	
	許容塑性率	μ_a	-	-	-	-	
回転角	最大応答回転角	θ_r	mrad	926	4,664	5	9
	許容回転角	θ_a	mrad	15,441	51,258	2,737	9,269
せん断力	最大応答せん断力	P_r	kN	3,856	5,602	4,961	6,307
	せん断耐力	P_s	kN	15,181	16,428	11,984	12,690
残留変位	残留変位	δ_R	m	0.000	0.018	0.000	0.000
	許容残留変位	δ_{Ra}	m	0.110	0.110	0.011	0.110
判定				OK	OK	OK	OK

表 5 P2~4 橋脚 動的解析による照査結果

照査項目	単位	橋軸方向		橋軸直角方向			
		type I	type II	type I	type II		
塑性率	最大応答塑性率	μ_r	-	-	-	-	
	許容塑性率	μ_a	-	-	-	-	
曲率	最大応答曲率	ϕ_r	l/m	3,483	12,170	8	10
	許容曲率	ϕ_a	l/m	14,512	27,348	1,097	1,952
せん断力	最大応答せん断力	P_r	kN	1,699	2,252	2,330	3,293
	せん断耐力	P_s	kN	1,900	2,421	5,418	7,051
残留変位	残留変位	δ_R	m	0.008	0.057	0.000	0.000
	許容残留変位	δ_{Ra}	m	0.078	0.078	0.078	0.078
判定				OK	OK	OK	OK

(3) 架替工法の決定

前述の 4 工法について、適用性・施工性・維持管理性・経済性の総合的評価に加え、新橋上部工反力に対して既設下部工の耐力を適切に評価することにより、「第 1 案 鋼合成鉄桁(PC 床版)」を架替工法として選定した。(表 6 参照)

5 上部工詳細設計

5.1 道路縦断方向の勾配調整

既設床版においては、各径間に滞水ポイントとなる縦断勾配変化点が確認され、その近傍で床版の著しい損傷に発展した。(図 3 参照)

床版再劣化防止の観点から、床版上に到達した水の速やかな排水を目的として、架替区間において一定の縦断勾配を確保することとした。

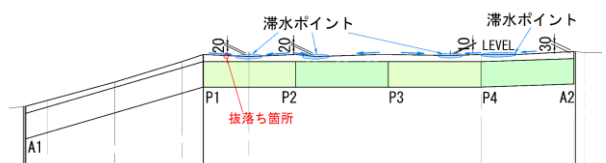


図 3 滞水ポイント概要図

5.2 プレキャスト PC 床版配置

対象橋梁は斜角 $\theta = 60^\circ$ であるため、平面形状が矩形のプレキャスト床版を橋軸直角方向に配置した場合に場所打ち施工工が著しく増加し、プレキャスト床版の適用による施工性及び経済性の優位性を低下させる。プレキャスト床版を斜方向配置とすることでこれを解消した。(図 4 参照)

表 6 上部工架替工法比較表

	第1案：合成版桁架 (PC床版)	第2案：鋼床版桁架	第3案：パネルブリッジ案	第4案：合成版桁架 (RC床版)																																																																																																																				
概要図																																																																																																																								
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ PC床版を用いた多主桁の鋼合成版桁 ■ プレキャストPC床版を適用することで、現橋同等の床版厚とした 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 一般的な鋼床版桁架 ■ 鋼床版と主桁を一体化した構造であり、大幅な軽量化が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 合成床版と主桁を一体化したパネル部材によって構成される新形式の鋼桁架 ■ 床版は、鋼コンクリート合成床版を適用 	<ul style="list-style-type: none"> ■ RC床版を用いた多主桁の鋼合成版桁 ■ 従来型の橋梁形式であり、実績は多数 ■ 比較案中で最も上部工重量が大きい 																																																																																																																				
適用性	<ul style="list-style-type: none"> ■ プレキャストPC床版の適用で、上部工重量を現状と同等とした。 ■ 上部工重量は増加するが追加補強不要 ■ 上部工重量W=2050kN>1898kN(8%増) ■ 河川余裕高 1267mm ≥ 1000mm 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 鋼床版構造の採用により、上部工重量を大幅に縮小することが可能 ■ 桁高が現橋より160mm程度低くなる。 ■ 上部工重量W=1353kN ≤ 898kN(28%減) ■ 河川余裕高 1379mm ≥ 1000mm 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 合成床版採用と床版・主桁の剛結構造により、主桁高及び主桁重量を抑えている。 ■ 上部工重量は増加するが追加補強不要 ■ 上部工重量W=1914kN>1898kN(1%増) ■ 河川余裕高 1223mm ≥ 1000mm 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 床版及び主桁重量が大きく、上部工重量の増加は比較案中最も大きい。 ■ 上部工重量増加により橋脚耐力が不足 ■ 上部工重量W=2436kN>1898kN(28%増) ■ 河川余裕高 1247mm ≥ 1000mm 																																																																																																																				
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 起点側はベン併用ルーン架設、終点側は支点間一括架設(550tトラック)による。 ■ 床版は主桁架設後アークルーンで架設。端部はジヘル数が多いため現場打ちとする。 ■ 主桁架設後の作業は対傾構設置・床版工、現場作業量は最も少ない。 ■ 施工日数は、約60日程度となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 起点側はベン併用ルーン架設、終点側は支点間一括架設(360t吊トラック)による。 ■ 床版と主桁を一体化して製作するため、架設重量が大きくなる。 ■ 主桁架設後の作業は、主桁連結工と床版連結工となり、作業量は多い。 ■ 施工日数は、約60日程度となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 起点側はベン併用ルーン架設、終点側は支点間一括架設(360t吊トラック)による。 ■ 床版と主桁を一体化して製作するため、主桁架設後の作業量は、床版連結工・配筋工・床版打設であり4案中2位である。 ■ 施工日数は、約60日程度となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 起点側はベン併用ルーン架設、終点側は支点間一括架設(550t吊トラック)による。 ■ 主桁架設後に、型枠鉄筋工・床版コンクリート打設を行うため、現地作業量が多少工期間が最も長い。 ■ 施工日数は約180日程度となり、他案よりも全体工期が延伸する。 																																																																																																																				
維持管理性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 定期的な塗装塗替えが必要。ただし、耐候性鋼材の適用で省略化は可能。 ■ 4本主桁のため、床版取替が容易。 ■ 高耐久床版であり床版長寿命化が可能。 ■ 床版Coを直接確認でき維持管理性は良。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 定期的な塗装塗替えが必要。ただし、耐候性鋼材の適用で省略化は可能。 ■ 部材数が多く、維持管理性に劣る。 ■ リップに関し亀裂点検が必要であり、特殊技能者と特殊機材が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 定期的な塗装塗替えが必要。ただし、耐候性鋼材の適用で省略化は可能。 ■ 対傾構がなく維持管理性に劣る。 ■ 床版下面が鋼板で覆われ、Co状況の確認はモルタル孔によるため視認性に劣る。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 定期的な塗装塗替えが必要。ただし、耐候性鋼材の適用で省略化は可能。 ■ 4本主桁のため、床版取替が容易。 ■ 他案と比較して床版耐久性はやや劣る。 ■ 床版Coを直接確認でき維持管理性は良。 																																																																																																																				
経済性 (直工費) (千円)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>単位</th> <th>数量</th> <th>工事費</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主桁製作工</td> <td>tf</td> <td>120.7</td> <td>48,272</td> </tr> <tr> <td>主桁架設工</td> <td>tf</td> <td>126.6</td> <td>12,641</td> </tr> <tr> <td>輸送工</td> <td>tf</td> <td>121.7</td> <td>1,757</td> </tr> <tr> <td>床版製作工</td> <td>m²</td> <td>895.1</td> <td>52,070</td> </tr> <tr> <td>床版敷設工</td> <td>m²</td> <td>895.1</td> <td>18,174</td> </tr> <tr> <td>橋面工</td> <td>m²</td> <td>895.1</td> <td>67,993</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td>200,907</td> </tr> </tbody> </table>	工種	単位	数量	工事費	主桁製作工	tf	120.7	48,272	主桁架設工	tf	126.6	12,641	輸送工	tf	121.7	1,757	床版製作工	m ²	895.1	52,070	床版敷設工	m ²	895.1	18,174	橋面工	m ²	895.1	67,993	合計			200,907	<table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>単位</th> <th>数量</th> <th>工事費</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主桁製作工</td> <td>tf</td> <td>248.9</td> <td>119,308</td> </tr> <tr> <td>主桁架設工</td> <td>tf</td> <td>248.9</td> <td>66,180</td> </tr> <tr> <td>輸送工</td> <td>tf</td> <td>248.9</td> <td>3,732</td> </tr> <tr> <td>橋面工</td> <td>m²</td> <td>895.1</td> <td>62,084</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td>251,304</td> </tr> </tbody> </table>	工種	単位	数量	工事費	主桁製作工	tf	248.9	119,308	主桁架設工	tf	248.9	66,180	輸送工	tf	248.9	3,732	橋面工	m ²	895.1	62,084	合計			251,304	<table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>単位</th> <th>数量</th> <th>工事費</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PB製作工</td> <td>tf</td> <td>206.4</td> <td>106,596</td> </tr> <tr> <td>主桁架設工</td> <td>tf</td> <td>206.4</td> <td>39,256</td> </tr> <tr> <td>輸送工</td> <td>tf</td> <td>206.4</td> <td>3,100</td> </tr> <tr> <td>橋面工</td> <td>m²</td> <td>895.1</td> <td>66,896</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td>215,848</td> </tr> </tbody> </table>	工種	単位	数量	工事費	PB製作工	tf	206.4	106,596	主桁架設工	tf	206.4	39,256	輸送工	tf	206.4	3,100	橋面工	m ²	895.1	66,896	合計			215,848	<table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>単位</th> <th>数量</th> <th>工事費</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主桁製作工</td> <td>tf</td> <td>221.7</td> <td>67,765</td> </tr> <tr> <td>主桁架設工</td> <td>tf</td> <td>221.7</td> <td>22,140</td> </tr> <tr> <td>輸送工</td> <td>tf</td> <td>221.7</td> <td>3,330</td> </tr> <tr> <td>床版工</td> <td>m²</td> <td>239.6</td> <td>20,437</td> </tr> <tr> <td>橋面工</td> <td>m²</td> <td>895.1</td> <td>66,896</td> </tr> <tr> <td>橋脚補強工</td> <td>基</td> <td>3.0</td> <td>11,418</td> </tr> <tr> <td>仮橋工(増分)</td> <td>m²</td> <td>1692.4</td> <td>23,420</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td></td> <td>215,406</td> </tr> </tbody> </table>	工種	単位	数量	工事費	主桁製作工	tf	221.7	67,765	主桁架設工	tf	221.7	22,140	輸送工	tf	221.7	3,330	床版工	m ²	239.6	20,437	橋面工	m ²	895.1	66,896	橋脚補強工	基	3.0	11,418	仮橋工(増分)	m ²	1692.4	23,420	合計			215,406
工種	単位	数量	工事費																																																																																																																					
主桁製作工	tf	120.7	48,272																																																																																																																					
主桁架設工	tf	126.6	12,641																																																																																																																					
輸送工	tf	121.7	1,757																																																																																																																					
床版製作工	m ²	895.1	52,070																																																																																																																					
床版敷設工	m ²	895.1	18,174																																																																																																																					
橋面工	m ²	895.1	67,993																																																																																																																					
合計			200,907																																																																																																																					
工種	単位	数量	工事費																																																																																																																					
主桁製作工	tf	248.9	119,308																																																																																																																					
主桁架設工	tf	248.9	66,180																																																																																																																					
輸送工	tf	248.9	3,732																																																																																																																					
橋面工	m ²	895.1	62,084																																																																																																																					
合計			251,304																																																																																																																					
工種	単位	数量	工事費																																																																																																																					
PB製作工	tf	206.4	106,596																																																																																																																					
主桁架設工	tf	206.4	39,256																																																																																																																					
輸送工	tf	206.4	3,100																																																																																																																					
橋面工	m ²	895.1	66,896																																																																																																																					
合計			215,848																																																																																																																					
工種	単位	数量	工事費																																																																																																																					
主桁製作工	tf	221.7	67,765																																																																																																																					
主桁架設工	tf	221.7	22,140																																																																																																																					
輸送工	tf	221.7	3,330																																																																																																																					
床版工	m ²	239.6	20,437																																																																																																																					
橋面工	m ²	895.1	66,896																																																																																																																					
橋脚補強工	基	3.0	11,418																																																																																																																					
仮橋工(増分)	m ²	1692.4	23,420																																																																																																																					
合計			215,406																																																																																																																					
総合評価	経済性で、第1位である $\alpha=1.000$ 施工性・維持管理性・経済性で有利である(選定案)	経済性で、第4位である $\alpha=1.251$ 主桁重量は大きく軽量化できるが、経済性で劣る	経済性で第3位である $\alpha=1.074$ 経済性で第3位であり、その他事項において特筆すべき優位点がなく、総合評価として第1案に劣る。	経済性で第2位である $\alpha=1.072$ 本体工は安価だが施工期間が最も長く、仮設工費を含めた全体工事費としては第1案に劣る。																																																																																																																				

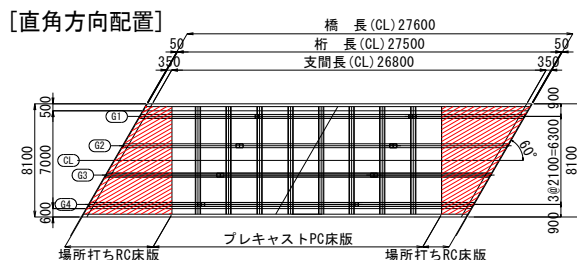
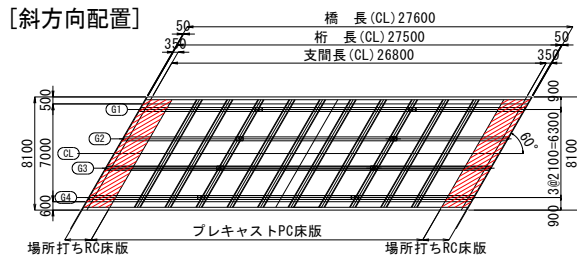


図 4 床版配置概要図

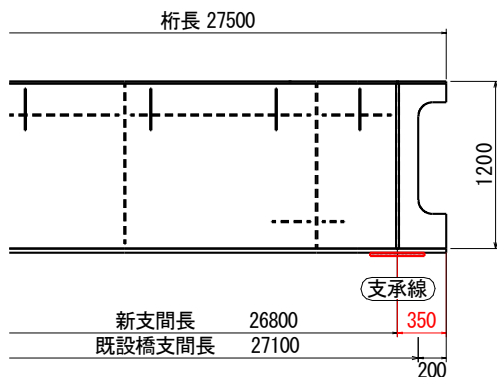


図 5 桁端部の変更概要図

5.3 支承形式および桁端部構造

現橋に設置されている「鋼製線支承」は、変位追従性・長期耐久性の観点から本橋への適用は望ましくない。よって、本橋における要求性能を満足し、経済性に優れた「密閉ゴム支承板支承 (BP-B 支承)」を採用することとした。

支承平面寸法が大きくなり、桁端部での支承設置スペースが不足することから、支承位置(支間)を変更し必要空間を確保した。(図 5 参照)

6 まとめ

本論では、既設下部工を活用した上部工架替えにおける工法選定の一例を示した。

今回同様の工法選定を行うにあたっては、既設橋梁の設計資料が確認でき、下部工の耐力照査が実施できること等の条件は必要であるが、工法の選択肢を広げる一案になると考える。

本検討が今後の橋梁架替え検討において参考になれば幸いである。

[参考文献]

- 1) 「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針、H24.1」北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会
- 2) 「道路橋支承部の改善と維持管理技術、2008」土木学会鋼構造委員会
- 3) 「PC 床版設計・施工マニュアル(案)H11.5」プレストレスト・コンクリート建設業協会