

交通量増加に伴う古い道路橋の拡幅検討について

(株)長大 正会員 ○野村 肇
(株)長大 東山 実芳

キーワード：詳細調査，耐荷力照査（PC鋼材破断考慮），拡幅予備設計，活荷重補強

1. はじめに

業務遂行当時，供用後54年経過した地方自治体管理の道路橋（竣工年次：昭和34年（西暦1959年），県道，交通量：1,410台/日（大型車：243台/日））（以下，A橋）の近隣に，将来大型車両の交通量が見込まれる施設が計画され，取付け道路拡幅改良と共にA橋の拡幅検討が必要となった（改良後幅員：8.70m，総拡幅幅：2.40m，改良後設計荷重：B活荷重（予定））。老朽化したA橋は各種詳細調査を実施し，復元設計と現況を反映した耐荷力照査を行い，活荷重変更による補強を要した。活荷重補強を絡めA橋の拡幅（両側と片側）検討を行い，架替え案と併せて拡幅形式を比較した。活荷重条件により複数案を提示し，以後の詳細設計業務に引渡した。本文は上部構造の拡幅検討に特化し報告する。

2. 橋梁諸元など

A橋の橋梁諸元を表-1に示す。竣工図面など（以下，既存資料）をもとに復元設計を行った。図-1に側面図・平面図，図-2に標準断面図，現況写真を写真-1～3に，それぞれ示す。

表-1 橋梁諸元

設計条件	
橋格	2等橋 (TL-14t)
橋長	78.000m
桁長	4×19.460m
支間長	4×18.760m
幅員	6.300m
有効幅員	5.500m
斜角	90°
縦断勾配	0.431‰ 0.066‰ 0.287‰ 0.621‰
横断勾配	2.0%
平面曲線	直線
設計荷重	T L-14
設計震度	Kh = 0.12
竣工年度	昭和34年3月
上部構造	構造形式：ポストテンション方式PC T桁橋
材料	コンクリート $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ (400 kgf/cm ²)
強度	鉄筋 SD295
下部構造	基礎形式：逆T式橋台・柱式橋脚
材料	コンクリート $\sigma_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$ (210 kgf/cm ²)
強度	鉄筋 SD295

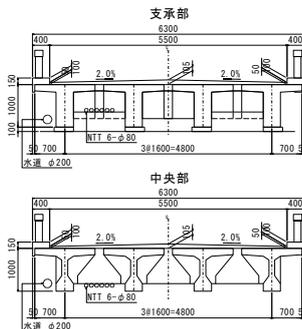


図-2 標準断面図

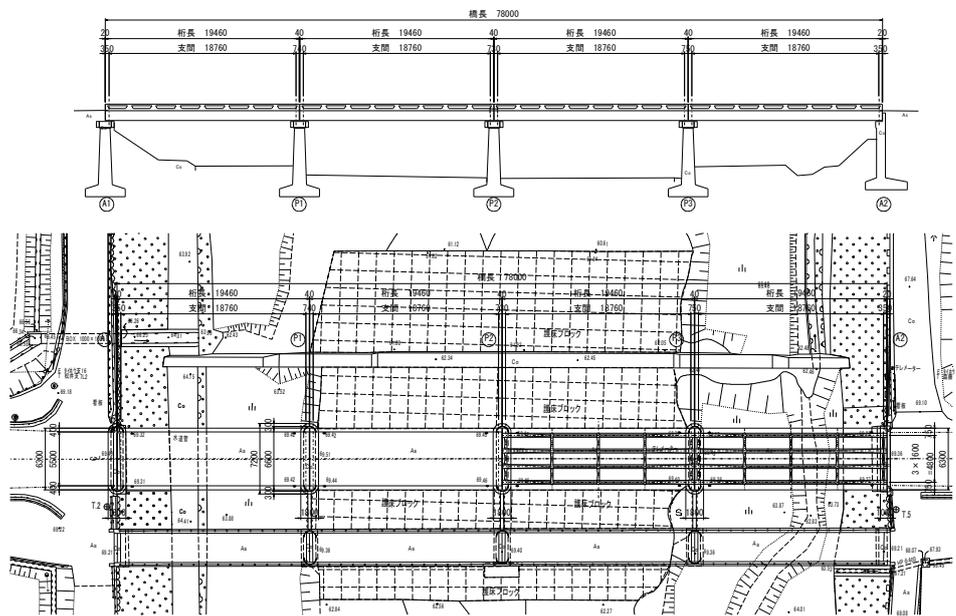


図-1 側面図・平面図



写真-1 現況写真（橋面）



写真-2 現況写真（側面）



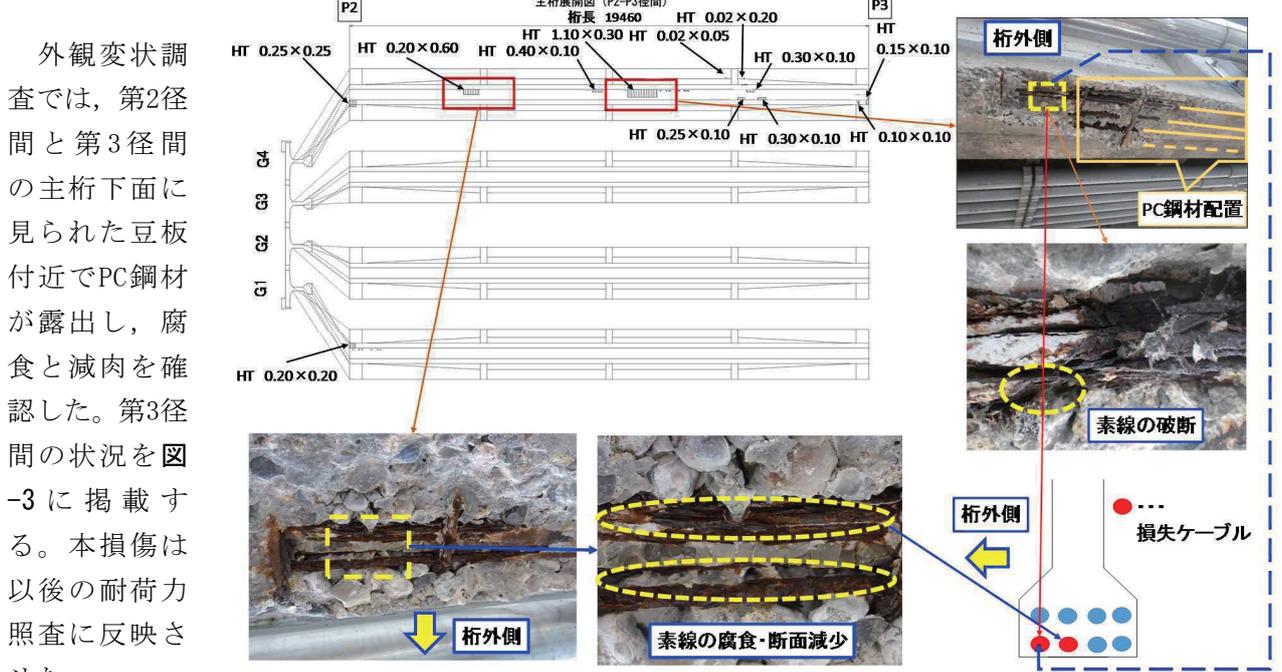
写真-3 現況写真（桁下面）

3. 詳細調査

拡幅予備検討に先立ち、既設橋の機能を低下させる要因となる「異常、変形、損傷、沈下、その他変状など（以下、変状）」の情報収集を目的として、詳細調査（外観変状調査、供試体採取、はつり出し調査、反発度法による強度推定、インパクトエコー法）および室内試験（圧縮強度および静弾性係数測定試験、中性化深さ測定、塩化物イオン含有量測定）を、実施した。概要を表-2に示す。

表-2 調査（試験）項目および調査（試験）結果概要一覧

調査(試験)項目	調査(試験)結果概要
外観変状調査	箱蓋部: 植草のひび割れ、伸縮装置の損傷、高欄部の断面欠損および鉄筋露出などを確認した。 / 上部工: 断面欠損・鉄筋露出、PC鋼材破断、ひび割れ、遊離石灰露出、支承部の腐食を確認した。 / 下部工: 軽微な洗車、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰を確認した。
はつり出し調査	主桁: 鉄筋径はスタラップでφ9mmの使用を確認した。また鉄筋腐食度は「I(健全)」を確認した。 / A2橋台躯体: 鉄筋径は「軸方向(鉛直)鉄筋がφ19mm、周方向(水平)鉄筋がφ13mm」の使用を確認した。また鉄筋腐食度は双方とも「I(健全)」であった。
反発度法による強度推定	上下部工共に、(圧縮強度試験結果と同様に)40.0N/mm ² 以上の数値を確認した。
インパクトエコー法	P2-P3間の主桁G3およびG4(以下図参照)において、グラウト充填不良の可能性がある結果となった。実証調査を目的とし「ドリルを用いた確認開孔」を実施し、2箇所ともグラウトが充填されていることを確認した。インパクトエコー法による充填不良疑念の結果は「シース近傍にある空腔からの反射波によるもの」と推定する。
中性化試験	既存の鋼材がふりまで中性化していないことを確認した(詳細は下段「中性化試験」表を参照)。(参考値: 中性化進行予測) 鉄筋腐食が始まる可能性は今後100年以上に必要とする結果が算出された。
塩化物イオン試験	主桁G3および張出床版部の表面付近で、発錆限界濃度の1.2kg/m ³ を超える箇所を確認した(下段「塩化物イオン試験」グラフ中の「▲および×」表示)。深い位置でも発錆限界濃度を含有している。含有量グラフ表示より「初期(内在)塩分の影響」の可能性が高いものと推定する。P3橋脚およびA2橋台双方の躯体からは、最大含有量1.0kg/m ³ 未満であった(下段「塩化物イオン試験」グラフ中の「◆および■」表示)。



外観変状調査では、第2径間と第3径間の主桁下面に見られた豆板付近でPC鋼材が露出し、腐食と減肉を確認した。第3径間の状況を図-3に掲載する。本損傷は以後の耐荷力照査に反映させた。

図-3 主桁底面に見られた躯体損傷およびPC鋼材腐食減肉の状況

4. 復元設計・耐荷力照査・鋼材減肉分補強可否照査

表-3に、復元設計および耐荷力照査結果概要を示す。まず既存資料の設計条件で復元設計し、橋梁諸元記載どおりの設計か否か、曲げ破壊安全度により確認した(検討ケース:CASE_1-1が該当)。

次に、載荷活荷重を復元時の2等橋荷重(TL-14)から、拡幅後の予定活荷重となるB活荷重を載荷し耐荷力照査を実施した(検討ケース:CASE_1-2が該当)。さらに、詳細調査で第2および第3径間に見られたPC鋼材の減肉について、現状よりプレストレスは有効に作用していないものと考え、当該鋼材を無効とし耐荷力照査を行った(鋼材本数合計8本・うち無効2本・有効プレストレスは健全率比75%)(検討ケース:CASE_1-3が該当)。その結果、B活荷重載荷時点において曲げ破壊安全度が1.0を下回り(0.726)、減肉を考慮した照査では曲げ破壊安全度はさらに低下(0.543)した。

表-3 復元設計および耐荷力照査結果概要

検討ケース	有効幅員(m)	主桁(本)	活荷重	PC鋼材破断有り	設計断面力(kN・m)				合成曲げ応力度(N/mm ²)						曲げ破壊安全度 ≥ 1.0	補強可否判定	
					合計(最大)	合計(最小)	活荷重(最大)	活荷重(最小)	死荷重時		設計荷重時(最小)		設計荷重時(最大)				
									上線 0~14.0	下線 0~14.0	上線 -1.5~-14.0	下線 -1.5~-14.0	上線 -1.5~-14.0	下線 -1.5~-14.0			
1 CASE_1-1	5.5	4	TL-14 全載		1292.80	827.17	465.67	0.00	2.508	6.024	2.508	6.024	5.960	-0.798	1.185	-	復元設計 設計桁G3
2 CASE_1-2			B活 全載		1809.99	655.41	1035.44	-119.15	2.348	5.821	1.549	7.347	9.750	-8.325	0.726	-	B活照査 設計桁G4
3 CASE_1-3			B活 全載 有り		1809.99	655.41	1035.44	-119.15	2.978	2.465	2.177	4.002	10.397	-11.779	0.543	-	B活照査 設計桁G4

PC鋼材を無効扱いとした主桁が最も耐荷力上不利なため、拡幅後供用に伴い当該主桁に補強が必要か否かを、炭素繊維シート接着により概略検討を行った。その結果、高弾性タイプ(目付け量900g/m²)を6層接着で補強すると供用可能となることを確認した。

5. 拡幅予備設計

拡幅は、両側拡幅と片側拡幅を素案とし、拡幅方法により3種類を設定した。図-4は両側拡幅(床版+縦桁)の断面を示す。道路中心線変更を伴わないため、本ケースでは下部構造増設も不要となり、3案中コスト面で最優位となる可能性がある反面、外桁に拡幅分の死活荷重を追加負担させるため、外桁の耐荷力次第で採否が左右される可能性もある。図-5は両側拡幅(主桁増設)の断面を示す。

図-6は片側拡幅(主桁増設)の断面を示す。道路中心線変更を伴い、取付け道路工事も付加され総コストで不利な可能性も含まれるが、既設上部構造との接合や下部構造増設は片側のみとなり、主桁増設を伴う両側拡幅時に比べコスト面で優位性が増す可能性もある。拡幅選定には既設橋補強も重要な要素となる。床版および主桁の活荷重補強と併せて以降に説明する。

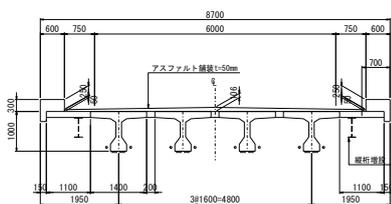


図-4 両側拡幅(床版+縦桁)

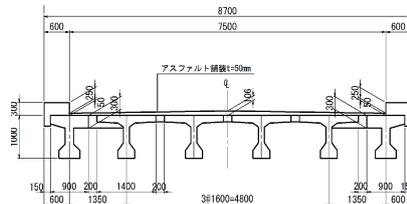


図-5 両側拡幅(主桁増設)

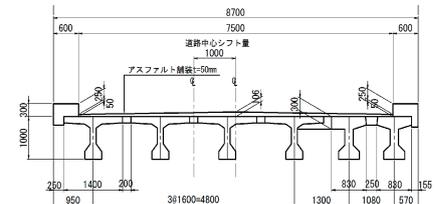


図-6 片側拡幅(主桁増設)

5.1 活荷重補強(床版)

3工法(A:炭素繊維シート接着, B:鋼板接着, C:上面増厚)より比較検討を行った。検討の結果, Cでは90mmの増厚(追加死荷重:2.2kN/m²)が, Bではt=4.5mmの鋼板(追加死荷重:0.3465kN/m²)が, Aでは高弾性タイプで目付け量300g/m²×2積層(追加死荷重:0.0059kN/m²)が, それぞれ必要と判明した。コスト面ではAが最安価となった。工程や他工事関連も考慮し, 総合評価でAを選定した。

5.2 活荷重補強(主桁)

拡幅形態によって補強方法などに影響が生じるため, 拡幅形式を併せて検討した。下部構造増設は, 隣接する歩道橋も影響し増設時の施工難航が想定されるため極力避ける方針とした。補強検討は実現

可能な4工法(外ケーブル補強, 炭素繊維ストランドシート接着, 鋼板接着, アウトプレート設置)をベースに相互組合せも交え検討した。両側拡幅(床版拡幅+縦桁増設)13ケース, 両側拡幅(主桁増設)5ケース, 片側拡幅1ケース, 架替え1ケース, 計20ケースを検討した。結果を表-4に示す。

表-4 拡幅形態を絡めた主桁活荷重補強の検討ケースと結果一覧

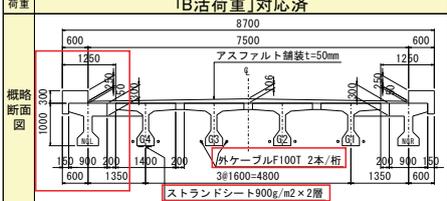
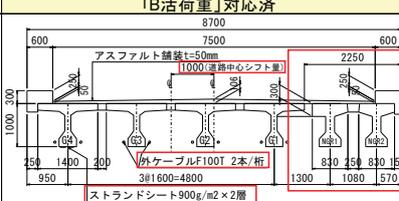
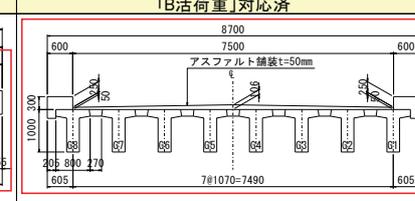
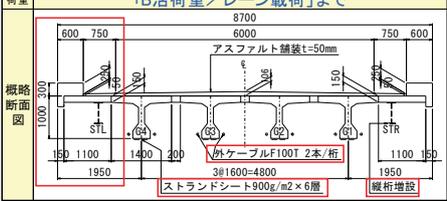
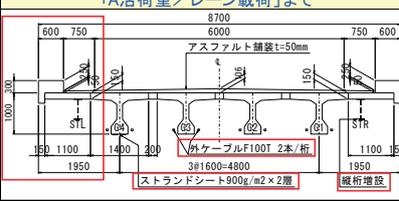
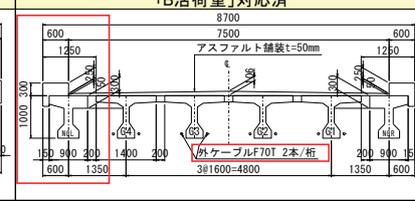
検討ケース	有効幅員(m)	主桁(本)	活荷重	補強工法	補強量	PC鋼材破断有り	設計断面力(kN・m)										曲げ破壊安全度 ≥ 1.0	補強可否判定	比較表掲載要素	
							設計断面力(kN・m)				死荷重時		合成曲げ応力度(N/mm ²)							
							合計(最大)	合計(最小)	活荷重(最大)	活荷重(最小)	上縁(0~14.0)	下縁(0~14.0)	上縁(-1.5~14.0)	下縁(-1.5~14.0)	上縁(-1.5~14.0)	下縁(-1.5~14.0)				
4 CASE 2-1			B活 全載 鋼板接着	t=30mm			2778.33	6702.1	1722.14	-385.98	3.922	3.691	1.340	8.635	16.061	-19.548	0.444	NG	補強量大	
5 CASE 2-2			B活 全載 炭素繊維シート	ストランドシート900g/m ² ×22層			2778.33	6702.1	1722.14	-385.98	3.922	3.691	1.340	8.635	16.061	-19.548	0.444	NG	積層数大	
6 CASE 2-3			B活 全載 アウトプレート	360kN×2層			2778.33	6702.1	1722.14	-385.98	2.987	8.261	0.405	13.205	15.126	-14.978	0.444	NG	3層以上配置不可能	
7 CASE 2-4			B活 全載 外ケーブル	F70T 2本/桁			2778.33	6702.1	1722.14	-385.98	3.039	9.419	0.457	14.363	15.178	-13.820	0.569	NG		
8 CASE 2-5			B活 全載 外ケーブル	F100T 2本/桁			2778.33	6702.1	1722.14	-385.98	2.313	13.928	-0.269	18.872	14.452	-9.311	0.661	NG		
9 CASE 2-6			B活 全載 外ケーブル	F100T 2本/桁			2674.33	566.21	1722.14	-385.98	1.658	15.019	-0.924	19.963	13.797	-8.220	0.678	NG	地覆荷重0	
10 CASE 2-7			B活 全載 外ケーブル+炭素繊維シート	F100T 2本/桁+ストランドシート900g/m ² ×7層			2711.50	603.39	1722.14	-385.98	1.893	14.629	-0.690	19.573	14.031	-8.610	0.672	NG	地覆荷重0, 上面鋼板t=6重考慮	
11 CASE 2-8			B活 レーン 外ケーブル+炭素繊維シート	F70T 2本/桁+ストランドシート900g/m ² ×4層			2161.70	786.67	1205.94	-169.10	2.228	11.585	1.096	13.751	10.913	-5.042	0.798	OK	地覆荷重0, 上面鋼板t=6重考慮 補強可能 ※炭曲げ破壊NG 設計桁Q4	
12 CASE 2-9			B活 レーン 外ケーブル+炭素繊維シート	F100T 2本/桁+ストランドシート900g/m ² ×6層	有り		2161.70	786.67	1205.94	-169.10	2.404	11.077	1.270	13.258	11.110	-5.666	1.01	OK	補強可能 設計桁Q4	第4案
13 CASE 2-10			B活 レーン 外ケーブル	F70T 2本/桁			2235.52	860.48	1205.94	-169.10	2.520	11.893	1.389	14.059	11.206	-4.734	0.807	NG		
14 CASE 2-11			A活 全載 外ケーブル	F100T 2本/桁			2234.73	791.12	1178.54	-265.07	2.313	13.928	0.540	17.323	10.815	-2.348	0.875	NG		
15 CASE 2-12			A活 レーン 外ケーブル	F70T 2本/桁			1869.19	902.52	839.62	-127.06	2.669	10.967	1.819	12.594	8.904	-0.968	1.005	OK	補強可能	
16 CASE 2-13			A活 レーン 外ケーブル+炭素繊維シート	F100T 2本/桁+ストランドシート900g/m ² ×2層	有り		1869.19	902.52	839.62	-127.06	2.820	10.613	1.968	12.252	9.069	-1.405	1.01	OK	補強可能 設計桁Q4	第5案
17 CASE 3-1			B活 全載 鋼板接着	t=7mm			1672.32	630.48	927.09	-114.74	2.150	6.654	1.338	8.137	9.159	-6.159	0.771	OK	補強可能 ※炭曲げ破壊NG 設計桁G1	
18 CASE 3-2			B活 全載 炭素繊維シート	ストランドシート900g/m ² ×6層			1672.32	630.48	927.09	-114.74	2.150	6.654	1.338	8.137	9.159	-6.159	0.771	OK	補強可能 ※炭曲げ破壊NG 設計桁G1	
19 CASE 3-3			B活 全載 アウトプレート	360kN×2層			1650.01	778.73	854.06	-17.22	1.495	10.603	1.379	10.824	7.714	-1.195	0.801	OK	補強可能 ※炭曲げ破壊NG 設計桁G2	
20 CASE 3-4			B活 全載 外ケーブル	F70T 2本/桁			1650.01	778.73	854.06	-17.22	1.247	13.378	1.131	13.599	7.466	1.580	1.084	OK	補強可能	
21 CASE 3-5			B活 全載 外ケーブル+炭素繊維シート	F100T 2本/桁+ストランドシート900g/m ² ×2層	有り		1650.01	778.73	854.06	-17.22	1.463	12.589	1.346	12.811	7.696	0.708	1.06	OK	補強可能 設計桁Q2	第1・6案
22 CASE 3-6			B活 全載 外ケーブル+炭素繊維シート	F100T 2本/桁+ストランドシート900g/m ² ×2層	有り		1672.32	630.48	927.09	-114.74	1.310	12.150	0.496	13.644	8.335	-0.752	1.01	OK	補強可能 設計桁G1	第2案
24 CASE 4		8	B活 全載 -	-			1162.42	596.96	562.10	-3.36	1.890	10.150	1.860	10.200	7.010	1.37	1	-	架替え 設計桁G2	第3案

※ 斜体の炭素繊維シート補強は、破壊抵抗曲げモーメント向上のみを目的とする。

5.3 拡幅方法選定

表-4より比較6案を選定し拡幅方法の比較選定を行った。表-5に概要を示す。第3案は最高価, 第5案はB活荷重対応不可のため, 残り4案を拡幅案として詳細設計業務に申送ることとした。

表-5 拡幅方法比較選定一覧

第1案: 既設橋の両側に主桁増設し拡幅	第2案: 既設橋の上流側に主桁増設し拡幅	第3案: 既設橋(上下部工とも)撤去→架替え(上下部工とも)
上部工: 4主桁→6主桁, 既設部: 補修補強, 拡幅部: 上下流に新設 下部工: 上下流の両側に新設	上部工: 4主桁→6主桁, 既設部: 補修補強, 拡幅部: 上流に新設 下部工: 上流側に新設	-
荷重 「B活荷重」対応済	「B活荷重」対応済	「B活荷重」対応済
概略断面図 		
概要 ・新設部: ポステン桁(既設と同様) ・既設橋: 補修, 床版および主桁補強の実施 ・拡幅方法: 既設橋張出床版の端部に『主桁を増設一体化』	概要 ・新設部: ポステン桁(既設と同様) ・既設橋: 補修, 床版および主桁補強の実施 ・拡幅方法: 既設橋張出床版の上流側端部に『主桁を増設一体化』	概要 ・既設橋(上下部工全て)を撤去し(プレント桁で)架替えを実施。
第4案: 既設橋の両側に床版を張出(縦桁併用)し拡幅	第5案: 既設橋の両側に床版を張出(縦桁併用)し拡幅	第6案: 既設橋の両側に主桁増設し拡幅
上部工: 4主桁, 既設部: 補修補強, 拡幅部: 上下流に新設 下部工: 既存のままでOK!	上部工: 4主桁, 既設部: 補修補強, 拡幅部: 上下流に新設 下部工: 既存のままでOK!	上部工: 4主桁→6主桁, 既設部: 補修補強, 拡幅部: 上下流に新設 下部工: 上下流の両側に張出受台を新設しフーチングを補強
荷重 「B活荷重/レーン載荷」まで	「A活荷重/レーン載荷」まで	「B活荷重」対応済
概略断面図 		
概要 ・新設部: 鋼合成サンドウィッチ床版+縦桁増設 ・既設橋: 補修, 床版および主桁補強の実施 ・拡幅方法: 既設橋張出床版の端部に『主桁を増設一体化』	概要 ・新設部: 鋼合成サンドウィッチ床版+縦桁増設 ・既設橋: 補修, 床版および主桁補強の実施 ・拡幅方法: 既設橋張出床版の端部に『主桁を増設一体化』	概要 ・新設部: ポステン桁(既設と同様) ・既設橋: 補修, 床版および主桁補強の実施 ・拡幅方法: 既設橋張出床版の端部に『主桁を増設一体化』

6. おわりに

既設橋拡幅予備設計の概要を報告した。今後も新たな案件に取組み事例紹介する所存である。