

平面曲線半径50mを有するPRC単純箱桁橋の設計

(株)IHIインフラ建設 正会員 修(工) ○中川 佳祐
 西日本高速道路(株) 福田 雅人
 西日本高速道路(株) 佐々木靖浩
 (株)IHIインフラ建設 正会員 郷保 英之

1. はじめに

本工事は、新名神高速道路の高槻JCTから神戸JCT間に位置する川西ICに架橋されるランプ橋3橋の上部工工事であり、そのうちC2ランプ橋は平面曲線半径50mを有するPRC単純箱桁橋である。図-1に橋梁一般図を示す。C2ランプ橋は設計にて平面曲線に起因する横方向に発生する腹圧力への配慮が必要であった。その一般的な算出方法としてフレーム解析があるが、偏向部横桁の影響評価および外ケーブルの腹圧力を再現することは困難である。そこで、腹圧力をFEM解析にて算出し、横方向の設計に反映することで床版およびウェブの補強を行った。

その他の曲線橋に関する留意点として、主ケーブル本数は、ねじりによる床版の斜引張応力度を満足するよう決定した。また、支承間隔は、負反力が発生しないよう設定した。

本稿では、C2ランプ橋における腹圧力の検討および主方向の設計結果について報告を行う。

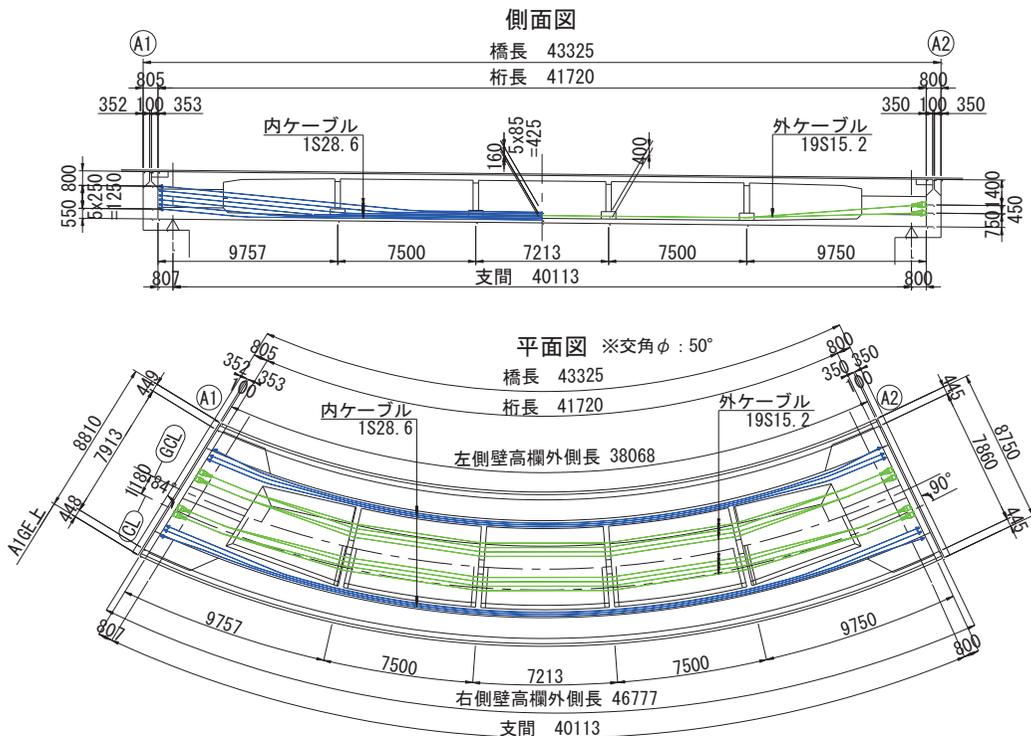
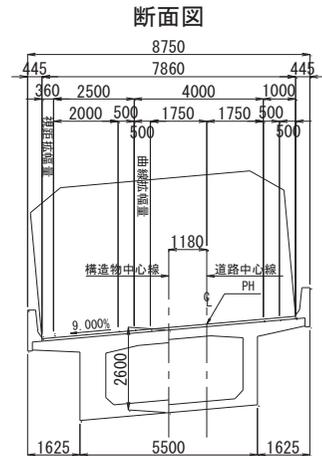


図-1 橋梁一般図

2. 腹圧力の検討

2.1 FEM解析モデル

図-2に解析モデル図を示す。解析モデルは偏向部横桁を考慮したソリッド要素の全橋モデルとした。腹圧力を算出するための荷重は、主桁自重、橋面荷重、内ケーブルおよび外ケーブルのプレストレス力を考慮した。鉛直荷重として主桁自重、橋面荷重、内・外ケーブルの鉛直分力を載荷し、水平荷重として、内・外ケーブルの水平分力を載荷した。ケーブル荷重の荷重方法として、内ケーブルは、埋込み鉄筋要素にてモデル化し、プレストレス力を載荷した。外ケーブルは、定着部および偏向部の各節点に分布荷重を載荷した。

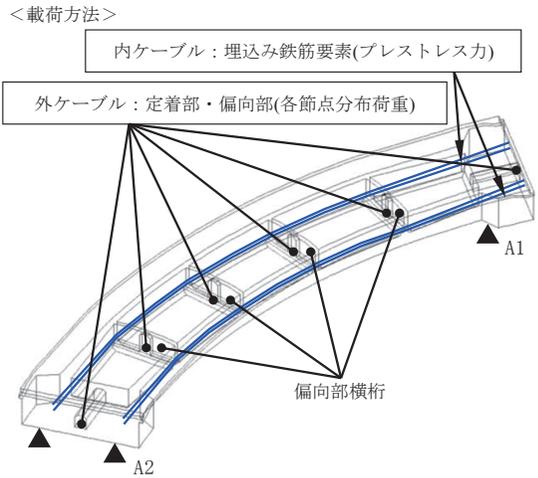


図-2 FEM 解析モデル図

2.2 FEM 解析による横方向曲げモーメント

図-3にFEM 解析による横方向曲げモーメントを示す。なお、比較としてフレーム解析¹⁾より算出した横方向曲げモーメントも図示した。着目断面は支間中央断面とした。FEM 解析結果とフレーム解析結果を比較した結果、主桁自重および橋面荷重において、FEM 解析が大幅に小さくなる傾向が見られた。偏向部横桁の影響により、横方向曲げモーメントが低減されたと考えられる。別途実施した偏向部横桁有無の FEM 解析結果より、横桁が無い場合、フレーム解析結果とほぼ一致することを確認した。

内ケーブルについて、主桁自重および橋面荷重に比べ、FEM 解析結果とフレーム解析結果が比較的一致する傾向が見られた。橋軸方向への荷重が主となる内ケーブルは、鉛直荷重が主となる主桁自重および橋面荷重と異なり、偏向部横桁の影響は小さくなる可能性が考えられる。

外ケーブルは、偏向部位置でのみ平面的に曲げるため、フレーム解析においては、図-4に示す平面曲線に起因する横方向の腹圧力(PH)を定義することが困難である。そのため、主方向の曲げ応力度に起因する腹圧力(ho, hu, qHp)のみ考慮している。FEM 解析では横方向の腹圧力(PH)を考慮できるため、FEM 解析結果とフレーム解析結果で大きく差が生じたと思われる。

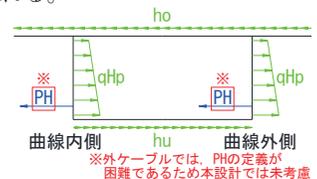


図-4 フレーム解析でのプレストレスによる横方向腹圧力

以上から、フレーム解析では、偏向部横桁の影響評価および外ケーブルの横方向に発生する腹圧力を再現することは困難であると思われる。よって、FEM 解析にて腹圧力を算出し、横方向の設計に反映することにより、床版およびウェブの補強を行うこととした。

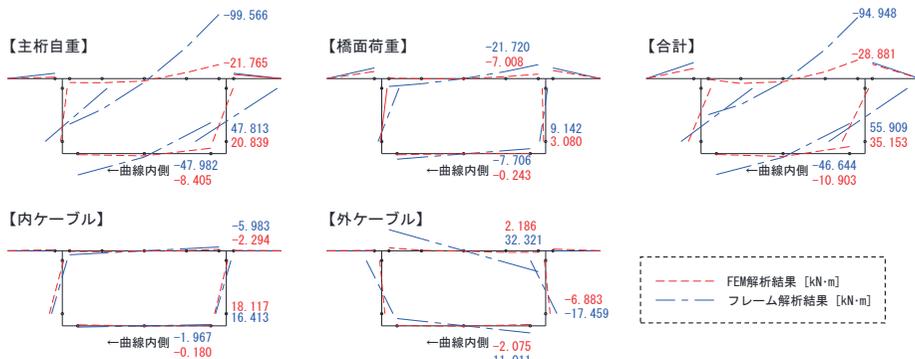


図-3 FEM 解析による横方向曲げモーメント(支間中央断面)

2.3 床版およびウェブの補強

図-5に上床版上面における全荷重載荷時の橋軸直角方向応力コンター図を示す。応力抽出断面は支間中央断面とした。偏向部横桁付近には、応力集中が確認できるが、別途検討を行うこととした。図-6に横方向設計の設計断面位置を示す。FEM解析結果を横方向設計へ考慮する方法は以下である。

- ・ 上床版：支間中央断面における各設計断面位置(図-6①~⑦)の応力を抽出し、横方向設計の応力計算結果に加算
- ・ ウェブ、下床版：各設計断面位置(図-6⑧~⑭)にて抽出した応力に対して補強鉄筋量を算出し、横方向設計による必要鉄筋量に加算

表-1に支間中央断面の上床版応力抽出結果を、表-2に横方向設計による上床版の合成応力度結果を示す。上床版は腹圧力の考慮により、横締めケーブルを1S17.8ctc500mmから1S21.8ctc500mmへ変更した。

下床版およびウェブにおいて、抽出した応力にて補強鉄筋量を算出した結果、「D13ctc125mm」相当の鉄筋量が必要となった。

この鉄筋量を横方向設計による必要鉄筋量に加算し、合計した鉄筋量にて配筋することとした。

表-1 上床版の応力抽出結果

支間中央断面	曲線内側												④中間床版中央		曲線外側			
	①張出付根		②中間床版支点		③中間床版ハンチ		上縁	下縁	⑤中間床版ハンチ		⑥中間床版支点		⑦張出付根					
	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁			上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁				
	-0.44	0.50	-0.10	0.04	0.61	-0.39	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	-0.81	0.51				

表-2 横方向設計による上床版の合成応力度結果
 腹圧力考慮無 1S17.8ctc500mm 腹圧力考慮有 1S21.8ctc500mm

断面	④中間床版中央						⑤中間床版ハンチ						⑥中間床版支点																																																																		
	上縁σcu	下縁σcl	上縁σcu	下縁σcl	上縁σcu	下縁σcl	上縁σcu	下縁σcl	上縁σcu	下縁σcl	上縁σcu	下縁σcl	上縁σcu	下縁σcl	上縁σcu	下縁σcl																																																															
各荷重による応力度 (N/mm ²)	自重	0.30	-0.30	-0.08	0.08	-0.41	0.41	-0.01	0.01	-0.10	0.10	-0.13	0.13	-0.10	0.11	-0.10	0.11	-0.05	0.05	0.15	-0.16	0.03	-0.04	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12
	橋面荷重	-0.01	0.01	-0.10	0.10	-0.13	0.13	0.15	-0.16	0.03	-0.04	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	温度上昇	-0.10	0.11	-0.10	0.11	-0.05	0.05	0.15	-0.16	0.03	-0.04	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	直ブレ2次力	-0.50	0.52	-0.50	0.52	-0.22	0.24	0.15	-0.16	0.03	-0.04	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	有ブレ2次力	-0.47	0.49	-0.47	0.49	-0.21	0.22	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	鉄筋拘束力	-0.79	-0.69	-0.79	-0.69	-0.50	-0.45	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	直ブレ	1.23	1.83	2.28	0.78	2.39	-0.30	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	有ブレ	1.15	1.72	2.14	0.73	2.24	-0.28	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	活荷重(指示)Mmax	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	活荷重(指示)Mmin	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
腹圧力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																			
合成応力度 (N/mm ²)	導入直後	1.03	2.05	1.70	1.38	1.76	0.35	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	死荷重時	0.18	1.23	0.70	0.71	0.99	0.03	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	設計時 max	3.62	-2.21	3.04	-1.63	0.99	0.03	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	設計時 min	-2.33	<13.80	-2.33	<13.80	-1.98	<13.80	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		
	設計時 min	0.18	1.23	-1.10	2.51	-1.52	2.55	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.14	-0.15	0.02	-0.03	-0.03	0.02	-0.94	-0.81	-0.92	-0.80	-0.54	-0.49	1.83	2.73	2.46	2.10	3.26	-0.14	1.71	2.54	2.29	1.96	3.05	-0.13	3.44	-3.44	2.34	-2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	1.80	-2.51	2.52	0.34	-0.30	-0.80	0.62	-1.05	0.66	0.05	-0.01	-0.62	0.44	-0.51	0.12																		

3. 主方向の設計

3.1 主ケーブル本数

本橋は、1支間当たりの交角が大きい曲線橋であるため、主桁にねじりモーメントが発生する。そのため、ねじりにより発生する斜引張応力度によって、主ケーブル本数が決定される可能性がある。

設計計算の結果、曲げに対してのみ許容値を満足させた場合、内ケーブル1S28.6が30本、外ケーブル19S15.2が6本必要となった。しかし、支間中央断面でのねじりにて発生する下床版の斜引張応力度が -2.27N/mm^2 と、許容値 -1.88N/mm^2 を満足しなかった。一方、斜引張応力度の許容値を満足させた場合、内ケーブルは2本増加の32本、外ケーブルは同本数となり、斜引張応力度は -1.83N/mm^2 となった。以上より、主ケーブル本数はねじりにより発生する斜引張応力度にて決定された。内ケーブル本数を増加させてもプレストレスによるねじりモーメントの差はほとんど見られなかった。斜引張応力度は部材軸方向の圧縮応力度とねじりモーメントにより発生するせん断応力によって算出されるため、軸方向の圧縮応力度の増加が、斜引張応力度を減少させたと考えられる。

3.2 支承間隔

本橋は、平面曲線の影響にて、曲線内側に配置される支承に負反力が発生する可能性がある。本橋ではゴム支承を用いており、道路橋支承便覧では常時において、負反力を発生させてはならないとしている²⁾。そのため、支承間隔に関する検討を実施し、負反力が発生しないことを確認した。

表-3に反力集計結果を、図-7に主桁断面図を示す。反力集計の結果、支承間隔6.0mとすれば、A1およびA2のどちらも曲線内側に負反力は発生しない。よって、支承間隔を6.0mとし、支承を横桁内に収めるため、張出横桁を設置することとした。

表-3 反力集計結果

		A1		A2		
		曲線内側	曲線外側	曲線内側	曲線外側	
主桁自重	1	899.3	3906.0	420.3	4354.3	
橋面荷重	2	13.5	724.2	-74.9	809.6	
内ケーブル有効プレ2次	3	-141.5	122.6	134.0	-115.1	
外ケーブル有効プレ2次	4	-145.4	126.1	137.7	-118.3	
活荷重 (衝撃含む)	MAX	470.2	1248.9	420.8	1389.8	
	MIN	-267.6	-2.0	-402.8	-1.5	
全死荷重時	7=1~4	625.9	4878.8	617.0	4930.4	
設計荷重時	MAX	8=7+5	1096.1	6127.7	1037.8	6320.2
	MIN	9=7+6	358.3	4876.8	214.2	4928.9

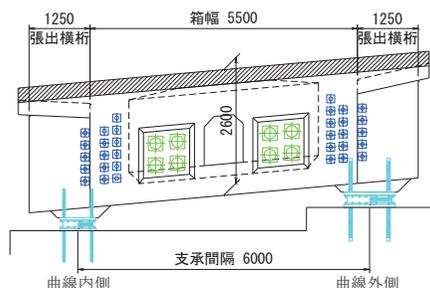


図-7 主桁断面図

4. おわりに

本工事は、2015年秋頃に工事着手予定である。写真-1に2015年5月現在の施工状況写真を示す。下部工の施工は進められており、C1ランプ橋のA1橋台およびP1橋脚の施工が完了している。本稿で報告したC2ランプ橋の施工は2橋目となり、上部工は2015年冬頃に工事着手予定となっている。

最後に、本橋の設計にあたりご指導、ご協力頂いた関係各位に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，平成6年2月
- 2) (社)日本道路協会：道路橋支承便覧，平成16年4月

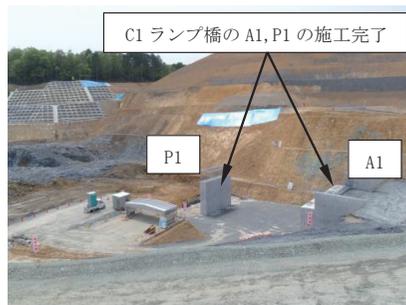


写真-1 施工状況