

落合南橋の拡幅部施工に対する技術検討

～PC 枝桁を有するバチ状拡幅部の施工順序について～

Technical Study on Construction of Triangular Widening Part of Ochiai-Minami Bridge

明神 優貴 *1
Yuki MYOJIN

大久保 孝 *2
Takashi OKUBO

梅田 隆朗 *3
Takaaki UMEDA

岡本 安則 *4
Yasunori OKAMOTO

中谷 睦 *5
Makoto NAKATANI

藤原 陸 *6
Riku Fujiwara

本橋（工事名：番屋川1号橋）は、国道11号大内白鳥バイパスに属するPC単純T桁橋である。主桁は斜角60度で2級河川番屋川と交差するが、道路中心とは斜角38度となり、主桁方向と道路中心方向が異なっている。そのため、両橋台端部に支間約20mと約10mのPC枝桁をそれぞれ2本ずつ配置するバチ状拡幅部を有している。枝桁および端横桁は、PC構造、拡幅部中間横桁および拡幅部床版はRC構造である。拡幅部は、PC主桁架設および横組工を施工した後に打設し、枝桁主ケーブルおよび端横桁横締め2次ケーブルを緊張する。当初計画における枝桁の緊張作業は、横組された橋体にバチ状拡幅部が一括打設された後に行われるため、緊張力導入により生じる不静定力が、拡幅部以外の主桁や横桁にも影響をおよぼすことが懸念された。本稿では、枝桁緊張力導入に伴う力学的挙動の影響検討について報告する。

キーワード：PC 枝桁、バチ状拡幅構造、力学的挙動、FEM 解析、立体骨組解析

1. はじめに

本橋は、バチ状拡幅部を有するポストテンション方式PC単純T桁橋である。主桁は斜角60度であるが、道路中心線と橋台とは斜角38度となり、主桁方向と道路中心方向が異なっているため、拡幅部が非常に大きくなっている（図1）。このため、主桁支間が27.8mであるのに対し、支間約20mと約10mの枝桁を2本ずつ配置している。

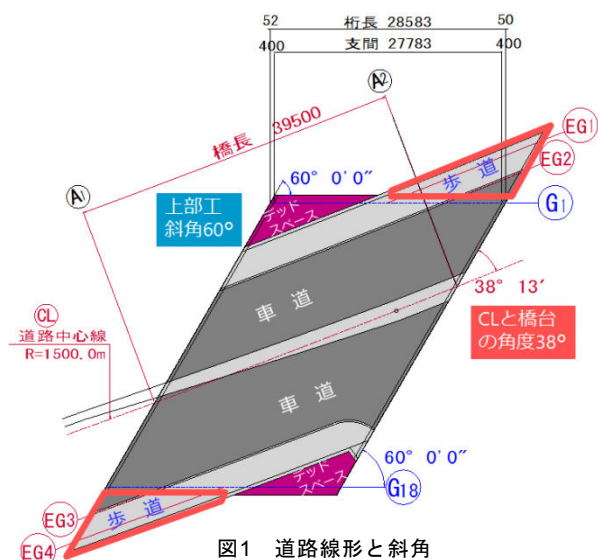


図1 道路線形と斜角

拡幅部は、PC主桁架設および横組工を施工した後に打設し、枝桁主ケーブルおよび端横桁横締め2次ケーブルを緊張する（図2）。当初計画における枝桁の緊張作業は、横組された橋体にバチ状拡幅部が一括打設された後に行われる。そのため、緊張力導入により生じる不静定力が拡幅部以外の主桁や横桁にも悪影響をおよぼすことが懸念された。本稿では、施工順序を拡幅部の枝桁緊張に伴う影響を考慮した検討について報告する。

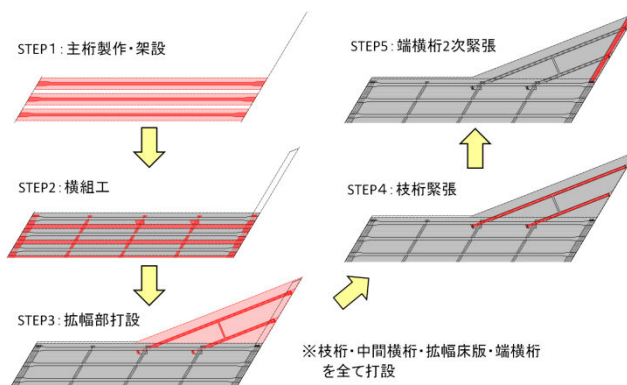


図2 当初施工ステップ

*1 川田建設㈱大阪支店事業推進部技術課

*2 川田建設㈱大阪支店事業推進部 次長

*3 川田建設㈱大阪支店事業推進部技術課 係長

*4 川田建設㈱大阪支店事業推進部工事課 総括工事長

*5 川田建設㈱大阪支店事業推進部工事課 工事長

*6 川田建設㈱大阪支店事業推進部工事課

2. 橋梁概要

橋梁諸元を表1、全体一般図を図3、平面図、側面図、断面図を図4に示す。

表1 橋梁諸元

構造形式	ポストテンション方式 PC単純T桁橋
橋長	39.500m
桁長	28.583m
支間長	27.783m
有効幅員	27.000m
設計荷重	B活荷重 群集荷重
平面線形	R=1500
縦断線形	1.500%～-1.280%
横断線形	2.00%
斜角	上部工 60° 00' 00" A1橋台 38° 13' 00" A2橋台 39° 43' 32"

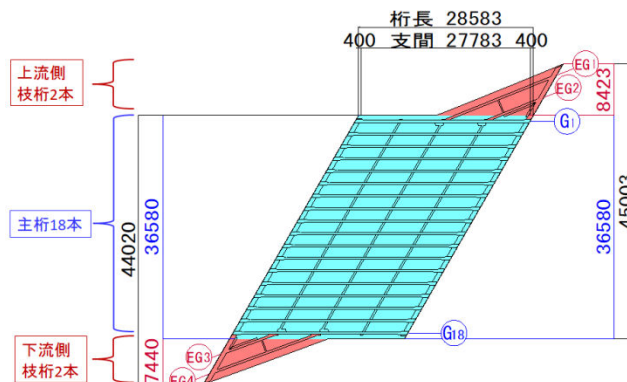


図3 全体一般図

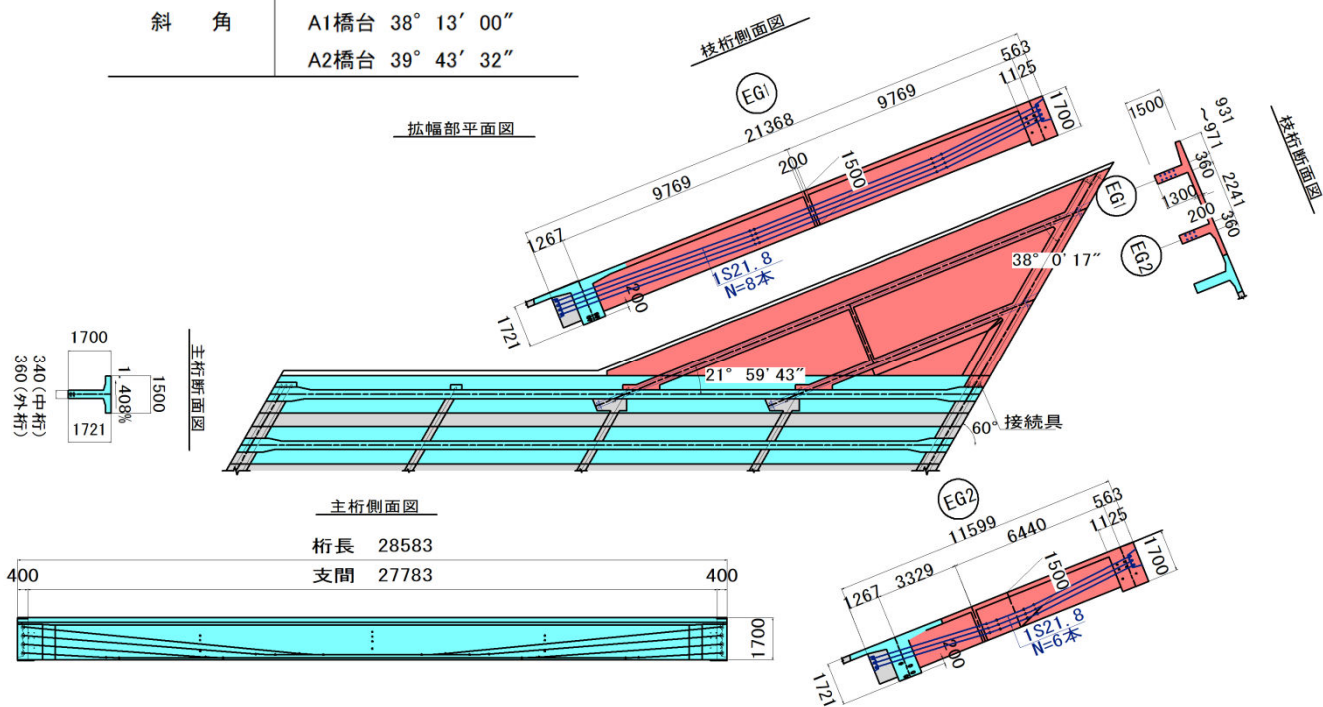


図4 平面図, 側面図, 断面図

3. 枝桁緊張に伴う影響の検討方針

本橋は、主桁架設および横組工を施工した後に拡幅部を打設し、枝桁主ケーブルおよび端横桁横締め2次ケーブルを緊張する(図5)。

枝桁は、主桁との接合部を固定端とし支点側から片引きで緊張する。端横桁は、主桁部端横桁を打設および1次緊張した後、拡幅部施工時に打設、2次緊張する。

枝桁は、横組された橋体と拡幅部端横桁に接合された非常に複雑な構造系での緊張となるため、枝桁および主桁や端横桁などに局部応力、面外力、プレストレス2次力(以下、プレ2次力)などが発生し、橋体に影響を与えることが懸念された(図6)。

当初計画では、主桁および枝桁を単純梁としてそれぞれ単独で設計していた。しかし、実際には、枝桁は主桁や端横桁と結合した状態での緊張となる。よって、主桁や横桁には枝桁緊張による影響が生じ、枝桁は主桁・横桁などによる拘束が生じるが、これらは単独での設計で考慮されない。

そこで、枝桁緊張による影響を、全体構造系で検討するため、解析手法として、軸力や面外力を評価できる立体骨組解析と、部材に生じる局部応力分布を把握できるFEM解析を用いた。また、実施工では実験的な手法として、施工ステップごとの鉄筋ひずみ値および桁天端高を計測し、解析結果の妥当性を検証した。

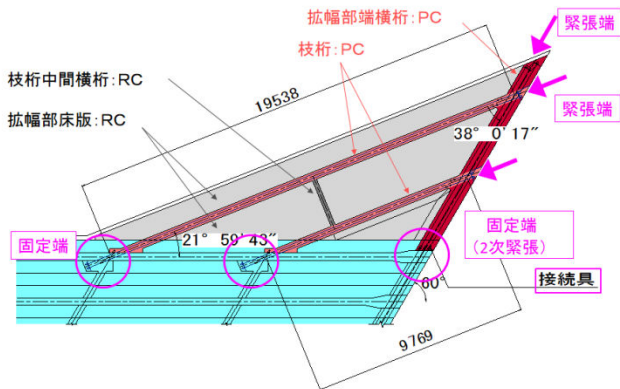


図5 拡幅部詳細図

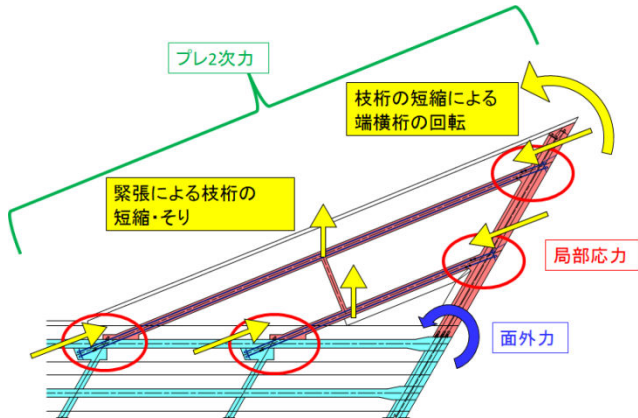


図6 枝桁緊張力導入に伴う影響

4. 施工ステップ検討

(1) 当初計画ケースの応力結果

施工ステップを、立体骨組解析にて検討した。枝桁に緊張力を導入すると、変形を拘束するプレ2次力が生じることが確認できた。

当初計画であるCASE1-1では、プレ2次力が大きく、接合点付近においては、プレストレス1次力（以下、プレ1次力）を打ち消す程度の値であることが確認できた（表2、図7）。

(2) 枝桁緊張力導入における改善策の検討

拡幅部の部材についての施工順序を変更することで、プレ2次力を低減できるか検討した。

a) 横桁の施工順序検討

まず、拡幅部の端横桁、中間横桁の施工順序を変更することで、プレ2次力を低減できるか検討した（表2、図7）。なお、拡幅部床版は、CASE1シリーズの検討では枝桁緊張前に打設するものとしている。

CASE1-2では、端横桁を枝桁緊張後の施工とした。接合点ではほとんど変化がないが、支間中央、支点ではプレ2次力を低減できた。

CASE1-3では、中間横桁を枝桁緊張後の施工とした。プレ2次力は、接合点でわずかに低減することができたが、全体的にはほとんど変化がなかった。

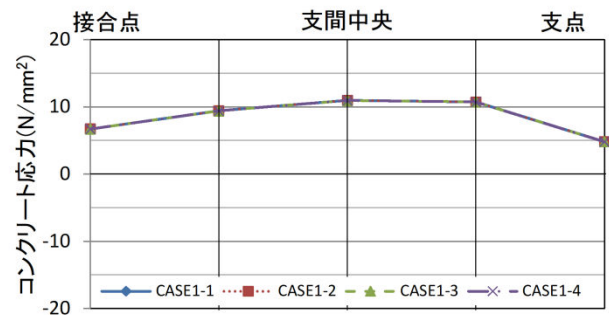
CASE1-4では、端横桁、中間横桁を枝桁緊張後の施工とした。CASE1-2と比較すると、プレ2次力は支間中央でさらに低減するが、接合点では増加することが確認できた。

以上から、端横桁を枝桁緊張後の施工とすれば、接合点でプレ2次力の増加を抑え主桁の設計の有利性が高い。

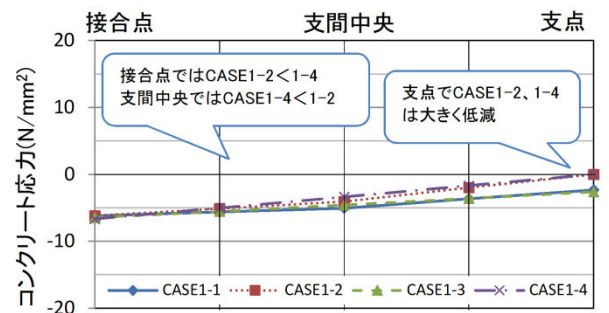
表2 拡幅部構造系検討モデル

CASE 1-1	CASE 1-2
端横桁 有 中間横桁 有	端横桁 無 中間横桁 有
CASE 1-3	CASE 1-4
端横桁 有 中間横桁 無	端横桁 無 中間横桁 無

i) プレ1次による枝桁下縁応力



ii) プレ2次による枝桁下縁応力



iii) 合計

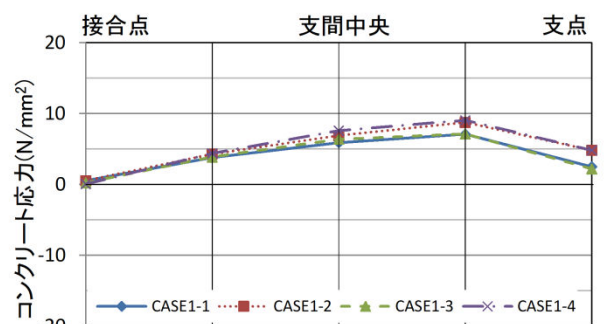


図7 枝桁EG1緊張力導入により生じる下縁側の応力

b) 床版の施工順序検討

床版の施工順序を変更することで、プレ2次力を低減できるか検討した(表3, 図8)。なお、CASE2シリーズのケーブル形状は、CASE1シリーズから変更し、ケースごとに最も引張応力を低減できる形状としている。



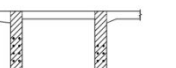
CASE2-1では、桁桁緊張前に床版を施工するT断面とした。桁桁の剛性が大きいため、プレ2次力が大きな値となった。

CASE2-2では、床版の施工性を考慮し床版手前で桁桁を打ち止める長方形断面とした。桁桁の剛性を小さくしたことでプレ2次力を低減できた。しかし、ケーブル配置が高くケーブル偏心が小さい支点では、桁高が小さくなったためにプレ1次力が有効に作用しなくなった。

CASE2-3では、床版に打ち継ぎ目を設け、床版面まで桁桁を打設する長方形断面とした。桁高は当初のままであるため、プレ1次力を有効に作用させることで、プレ1次力とプレ2次力の合計値によって、桁桁全体に適切に圧縮応力を導入することができた。

以上から、床版を桁桁緊張後の施工とすれば、桁桁全体に適切に圧縮応力を導入できる。

表3 桁桁断面検討形状

CASE 2-1	CASE 2-2	CASE 2-3
T断面	長方形断面 床版下まで	長方形断面 床版面まで
		

5. 局部応力に対する検討

(1) 当初計画ケースの応力結果

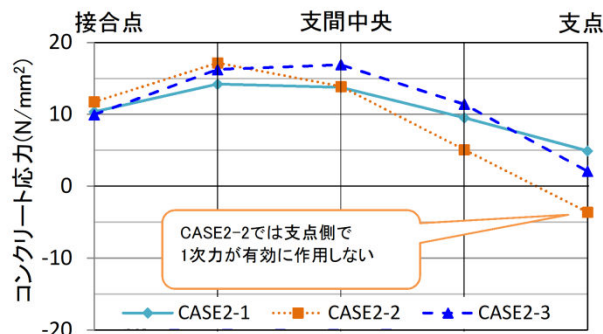
局部応力に対する検討をFEM解析にて行った。桁桁緊張時に着目して、拡幅部コンクリート自重、桁桁プレストレス荷重を載荷した場合の検討結果を示す(表4, 図9, 図10)。

当初計画であるCASE3-1(CASE1-1と同じ)では、主桁や端横桁の接合部に局部応力が発生していた。さらに、桁桁、主桁、端横桁に挟み込まれた拡幅床版部分に引張応力が生じることが確認できた。また、主桁、主桁部横桁(以下、主桁部)の下縁に広い範囲で引張応力が発生していた。これは、端横桁の剛性が大きいため生じる面外力や、拡幅床版を含む桁桁の変形を構造系全体で拘束する結果、広範囲にプレ2次力の影響が働いているためである。

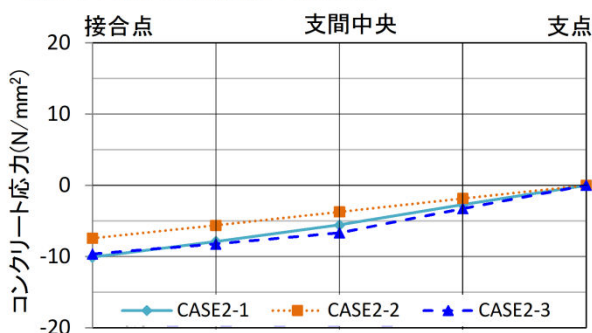
(2) 桁桁緊張力導入における改善策の検討

緊張時の桁桁を拘束する部材の施工順序を変更することで、応力を改善できるか検討した(表4)。

i) プレ1次による桁桁下縁応力



ii) プレ2次による桁桁下縁応力



iii) 合計

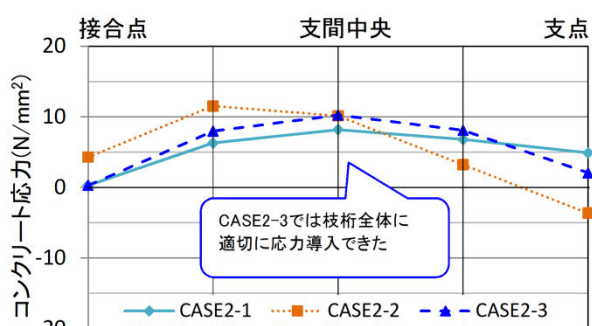


図8 桁桁EG1緊張力導入により生じる下縁側の応力

CASE3-2(CASE2-1と同じ)では、剛性の大きい端横桁を桁桁緊張後の施工とした。その結果、面外力は大きく低減できたが、桁桁の変形を拡幅床版が拘束するので、CASE3-1より広範囲の拡幅床版に引張応力が発生した。

CASE3-3(CASE2-3と同じ)では、端横桁に加え桁桁間拡幅床版も桁桁緊張後の施工とした。その結果、拡幅床版に引張応力を生じさせない施工ができる。また、拡幅部中間横桁を桁桁緊張前の施工とすると、CASE3-2と比べ主桁部の下面に生じる引張応力を低減することが確認できた。

以上から、床版を桁桁緊張後の後施工とすれば、輪荷重が作用する拡幅部床版に引張応力を生じさせない施工ができる。また、中間横桁を桁桁緊張前の施工とすれば、主桁部に生じる引張応力も低減できる。

表4 枝桁緊張時に生じる引張応力

番号	拡幅部を構成する部材	(N/mm ²)		
		CASE3-1	CASE3-2	CASE3-3
	枝桁	有	有	有
	拡幅部 端横桁	有	無	無
	拡幅部 中間横桁	有	無	有
	拡幅部 床版	有	有	無
①	主桁 下面	1.59	1.68	1.33
②	主桁 側面	1.41	1.51	1.29
③	主桁 上フランジ 全体	-	-	2.66
④	主桁部 中間横桁 下面	1.43	2.33	1.59
⑤	拡幅部 中間横桁 側面	-	-	1.09
⑥	拡幅部 床版 上面	1.07	1.84	-
⑦	主桁 上フランジ 下面	1.95	1.84	-
⑧	主桁 上フランジ 全体	-	2.24	-
⑨	枝桁 側面	1.48	-	-

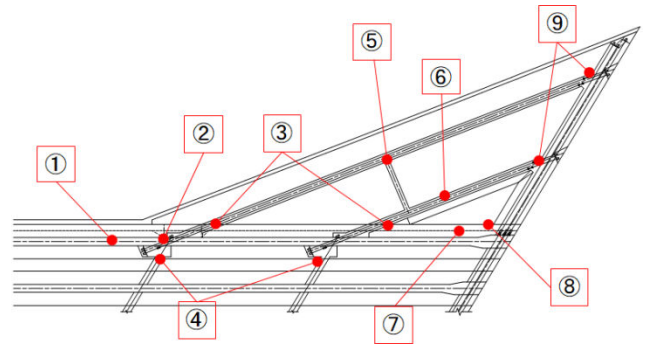


図9 引張応力発生位置

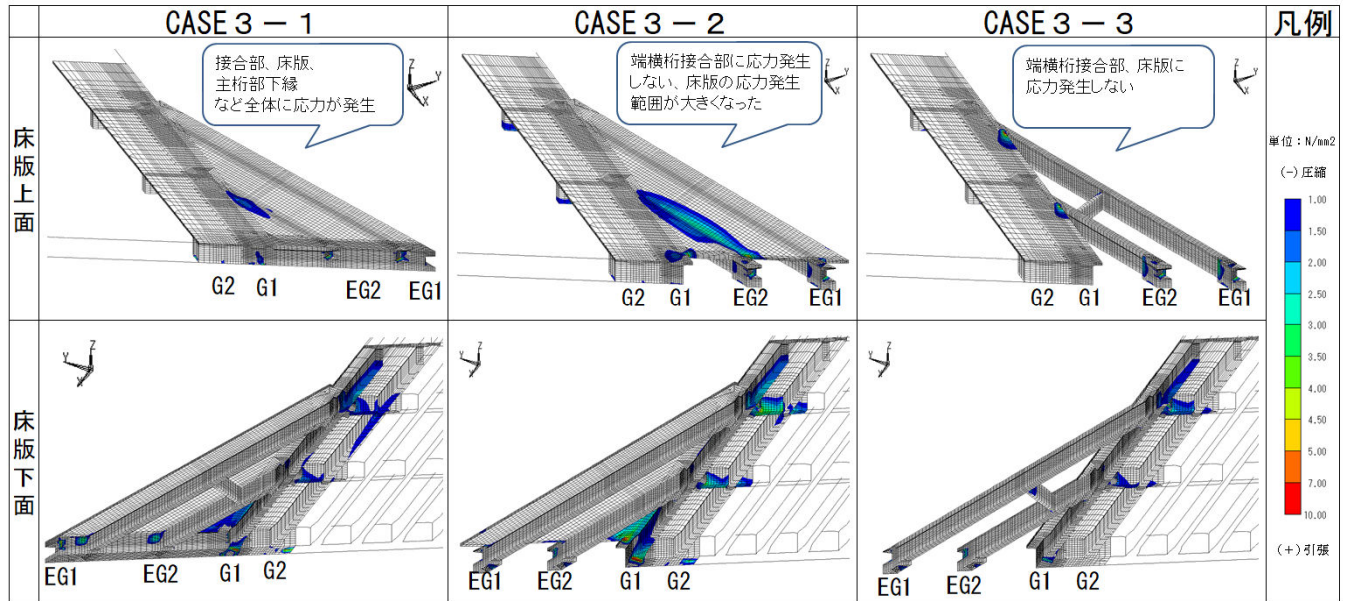


図10 応力コンター図

6. 実施工の施工順序

解析結果より、拡幅部の施工順序は、枝桁と中間横桁を先行施工とし、枝桁緊張後に枝桁間拡幅床版、延長端横桁を施工して構造完成とした。

拡幅部は分割施工となるため、機械式継手の使用、膨張コンクリートの使用、床版打継ぎ目の処理など、施工面での対処を行った。局部応力に対しては、FEM 解析結果から、補強鉄筋を配置した。

7. 実施工における計測結果

枝桁緊張による力学的挙動を検証するために、主桁および枝桁の各測点（図11）にて計測を行った。

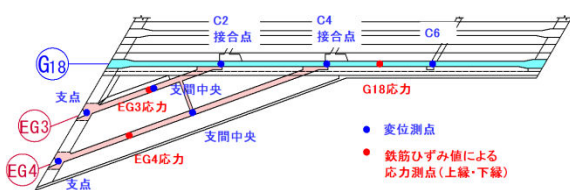


図11 測点位置

(1) 変位

主桁および枝桁において、枝桁の打設、緊張による弾性変形が確認できた（図12）。枝桁支間では、緊張による上向き変位は設計値と実測値でほぼ一致しており、枝桁に緊張力を導入できている。また、主桁支間の各測点でも、上向き変位が生じていることから、PC 枝桁を緊張すると主桁にも影響が生じると確認できた。

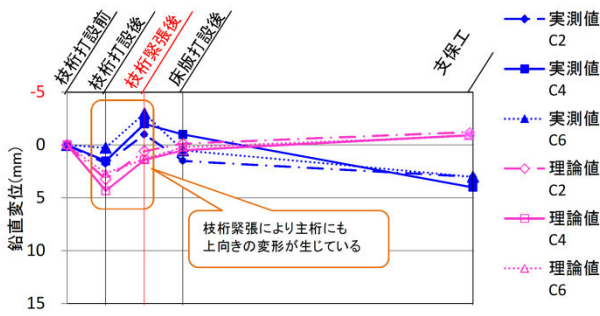
(2) コンクリート応力

鉄筋ひずみ値よりコンクリート応力を算出し、設計値と比較した（図13）。

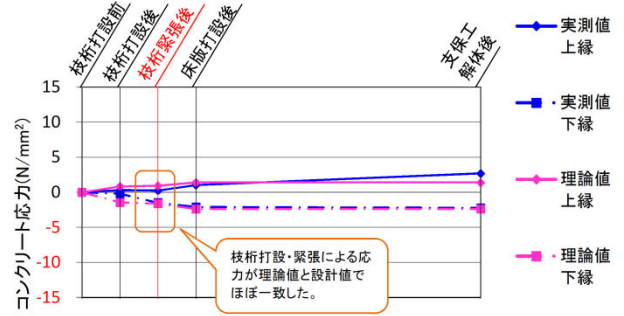
枝桁の打設、緊張による応力について、主桁では、FEM 解析にて引張応力が生じる下縁側に、設計値と同程度の引張応力が生じることから、プレ2次力の影響が生じていると確認できた。

枝桁でも、設計値と同程度の圧縮応力が生じることから、緊張力を導入できていると確認できた。床版打設後も応力が変動しているが、枝桁の材齢が経過しクリープ変形が生じたことにより、鉄筋ひずみ値が変動したためと思われる。

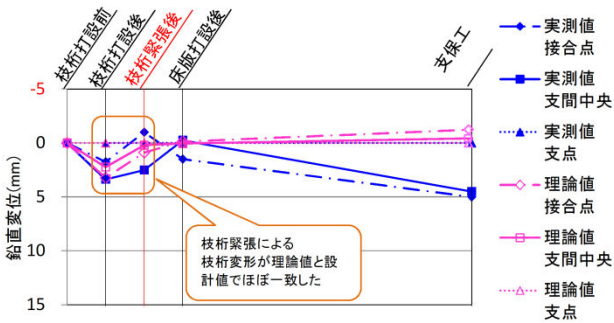
i) 下流側外桁G18の鉛直変位



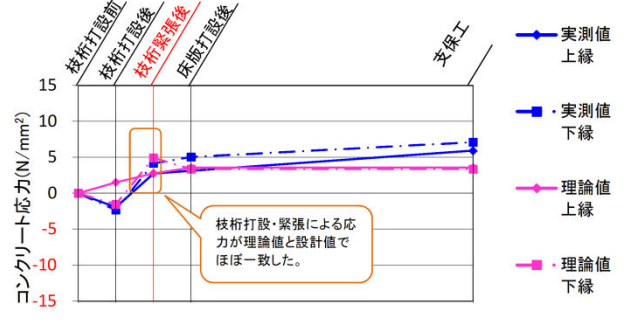
i) 下流側外桁G18の応力



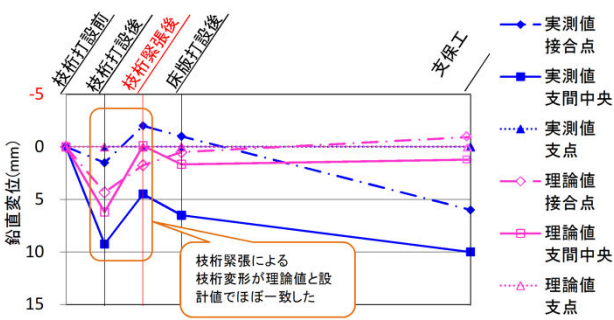
ii) 下流側枝桁EG3の鉛直変位



ii) 下流側枝桁EG3の応力



iii) 下流側枝桁EG4の鉛直変位



iii) 下流側枝桁EG4の応力

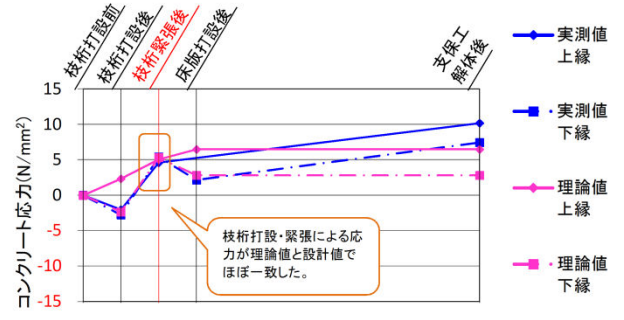


図12 鉛直変位

図13 鉄筋ひずみ値より算定されるコンクリート応力

8. おわりに

本橋は、2018年3月に竣工を迎えることができた(写真1)。本橋のような、PC枝桁を有するバチ状拡幅部の構造では、拡幅部の施工順序によっては、プレストレス2次力などの不静定力の影響を無視できない。計測結果からも、不静定力による変形や応力が生じることが確認できた。本稿での検討事例が、類似構造物の参考となれば幸いである。



写真1 完成写真