

平面線形 $R = 160\text{ m}$ を有する張出し箱桁橋の施工

— 第二浜田ダム5号橋付替県道 —

荒木 俊輔*1・加藤 俊*2・城代 和行*3・大和 信夫*4

1. はじめに

第二浜田ダム5号橋付替県道は、鳥根県浜田市に建設中である第二浜田ダムの建設に伴う橋梁建設工事であり、橋長98.5mのPC2径間連続Tラーメン箱桁橋である。

本橋はコスト縮減の理由からダム天端を通るルートを採用したため、平面曲線 $R=160\text{ m}$ 、縦断勾配7%、横断勾配5%の線形条件を有しており、出来形管理にはとくに留意する必要がある。それを踏まえ、上げ越し管理においては、平面曲線による影響と、橋脚の倒れによるたわみの影響に着目した。

そのほか、施工時の検討項目として、本橋の柱頭部がマスコンクリート構造であるため、3次元温度応力解析を実施し、その結果を踏まえたびびり割れ抑制鉄筋を配置した。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁概要、構造一般図を図-1に示す。

- 構造形式：PC2径間連続Tラーメン箱桁橋
- 道路規格：第3種第4級（設計速度 $V=40\text{ km/h}$ ）
- 橋長：98.5（m）
- 支間長：48.45+48.45（m）
- 有効幅員：7.000（m）
- 平面線形： $A=95\sim R=160\sim A=95$
- 縦断勾配：7.000（%）
- 横断勾配：4.280～5.000（%）片勾配
- 斜角：90°
- 活荷重：B活荷重
- 連続鋼材：SWPR7BL 19S15.2
（外ケーブル）
- 架設鋼材：SWPR7BL 12S12.7
（内ケーブル）
- 横締め鋼材：SWPR19L 1S21.8
- 使用鉄筋：SD 345

工期：平成18年9月13日
～平成19年12月6日

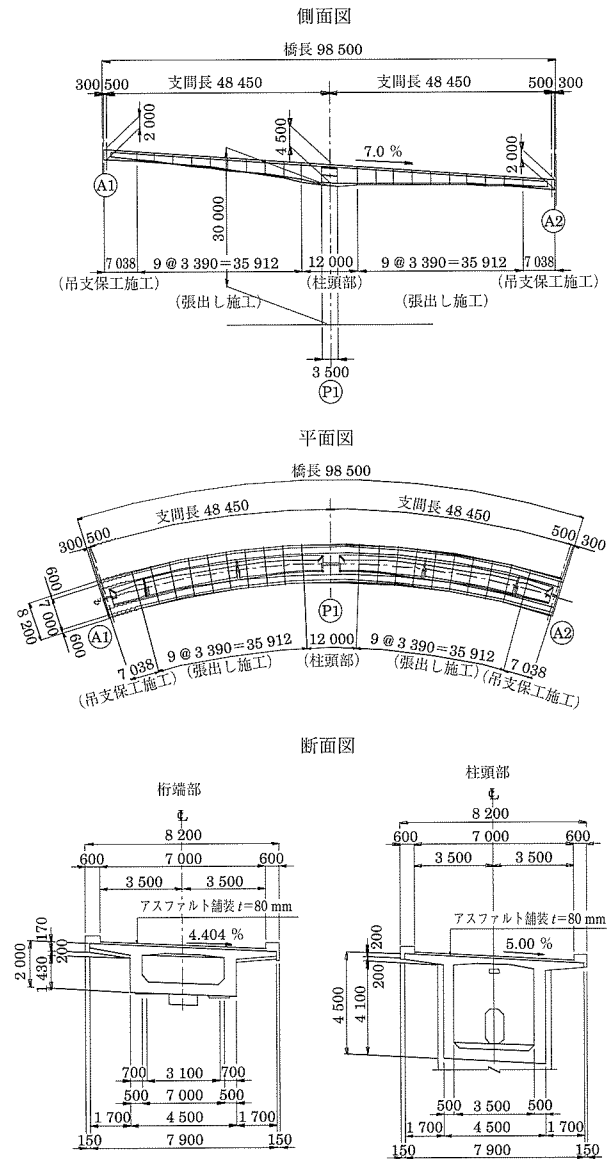


図-1 構造一般図

*1 Shunsuke ARAKI：鳥根県 浜田河川総合開発事務所
 *2 Shun KATO：ピーシー橋梁(株) 西日本支社 大阪支店 技術部技術グループ
 *3 Kazuyuki JODAI：ピーシー橋梁(株) 西日本支社 大阪支店 企画推進部企画推進グループ
 *4 Nobuo YAMATO：ピーシー橋梁(株) 東日本支社 東京支店 工務部工事グループ

3 施工概要

本橋の施工手順を図-2に示す。

- ① 脚頭部および柱頭部の施工
- ② 支間部を片持ち張出し架設によりブロック施工
- ③ 側径間を吊支保工により施工
- ④ 橋面工の施工
- ⑤ 完了

ここで、橋脚倒れの影響を軽減するため、ブロック施工は「①L側第1ブロック施工→②R側第1ブロック施工」として、縦断勾配の高いL側(A1側)を先行するよう配慮した。

また、主方向のPC鋼材は内外ケーブル併用方式が採用

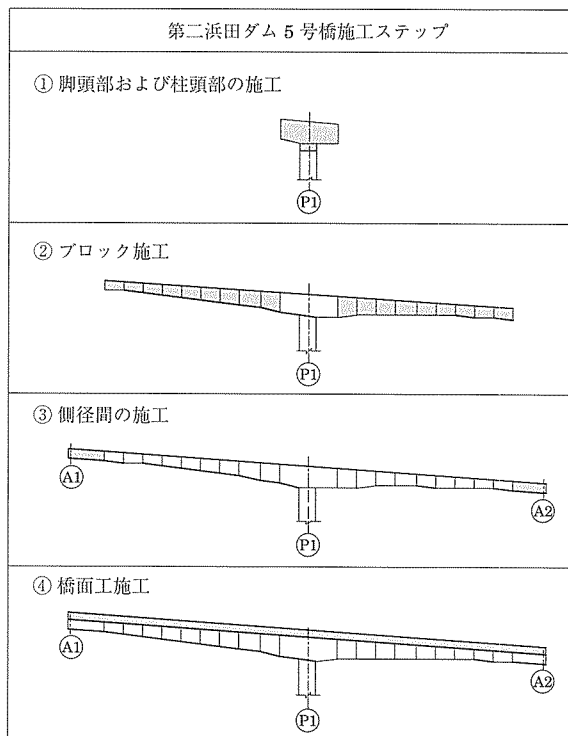


図-2 施工ステップ

されており、架設鋼材は内ケーブル (SWPR7BL 12S12.7) 連続鋼材は外ケーブル (SWPR7BL 19S15.2) 構造となっている。

4 上げ越し管理

4.1 上げ越し管理における課題

表-1に、島根県、国土交通省における平面曲率300m以下の実績を示す。本橋の平面曲率は国内有数の施工条件であり、上げ越し管理において慎重な管理・対策が必要であった。検討にあたっての主要項目を以下に示す。

- ・ 平面線形 ($R=160\text{ m}$) がたわみに与える影響
- ・ 脚高が30mを有しているのに対し、橋脚の断面剛性が小さい(橋軸方向幅3.5m)ことによる橋脚倒れの影響

4.2 平面線形 ($R=160\text{ m}$) の影響

(1) 平面線形の影響

平面線形 ($R=160\text{ m}$) の影響により、主桁のねじれに伴う軸線まわりの回転変形が生じ、たわみ量(上げ越し量)が幅員方向のそれぞれの位置で異なると考えた。そこで本橋では、立体格子解析により主桁軸線の回転変形を算出し、上げ越し計算において考慮することとした。これらの概念図を図-3に示す。

張出し施工段階における概念図を図-4に示す。この状態で、主桁はP1橋脚のみに支持される状態であるため、張出し施工が進むにともない、主桁断面は平面曲線の内側に回転すると考えた。

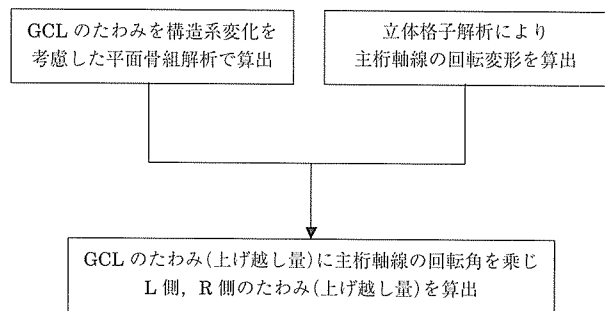


図-3 立体格子解析手法

表-1 平面曲率300m以下の実績(島根県および国土交通省実績)

島根県						
橋名	径間	桁種別	構造型式	橋長 (m)	最大支間 (m)	平面曲線 (m)
諏訪大橋	3	不明	連続ラーメン橋	180	85	40
第二浜田ダム5号橋	2	1室箱桁	連続ラーメン橋	99	48	160
巴智大橋	4	1室箱桁	波形鋼板ウェブ橋	270	75	200
東郷大橋	3	1室箱桁	連続ラーメン橋	253	100	300
国土交通省						
橋名	径間	桁種別	構造型式	橋長 (m)	最大支間 (m)	平面曲線 (m)
付替県道24号橋	3	1室箱桁	連続桁橋	181	80	100
第二浜田ダム5号橋	2	1室箱桁	連続ラーメン橋	99	48	160
下の谷橋	3	1室箱桁	連続ラーメン橋	197	89	160
五ヶ瀬	6	1室箱桁	連続ラーメン橋	486	100	200
礼分華橋(継続2)	3	1室箱桁	連続ラーメン橋	225	100	250
(仮称)江島大橋	5	1室箱桁	有ヒンジラーメン橋	660	250	260
大津信楽24号橋	7	1室箱桁	連続ラーメン橋	385	70	300

※カンチレバー工法協会2006年版実績DBより集計

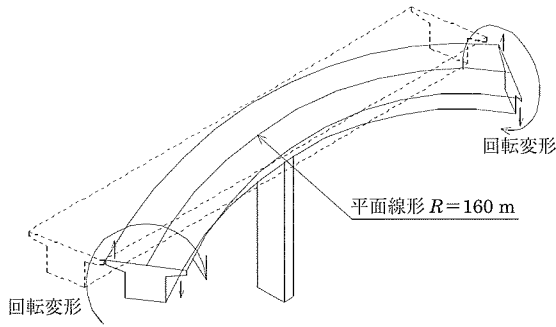


図 - 4 張出し施工時における回転変形概念図

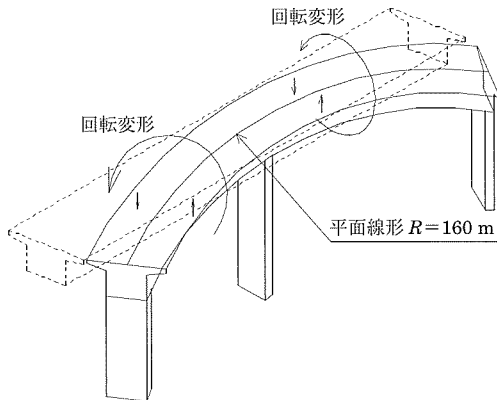


図 - 5 側径間閉合後における回転変形概念図

次に、側径間閉合後における概念図を図 - 5 に示す。この状態で、主桁は A1 橋台と P1 橋脚、A2 橋台に支持される状態であるため、その後の橋面荷重載荷時においては、主桁断面が平面曲線の外側に回転すると考えた。

(2) 立体格子解析結果

立体格子解析の結果、張出し施工段階においては、主桁断面は平面線形の内側に回転する結果となり、幅員左右の変位量は、柱頭部において±4.5 mm、張出し先端の9ブロックにおいて±7.5 mmの累計たわみが発生するという結果が得られた。

また、側径間閉合後においては、主桁断面は平面線形の外側に回転する結果となったが、その変位量は±1 mm程度と微小であった。

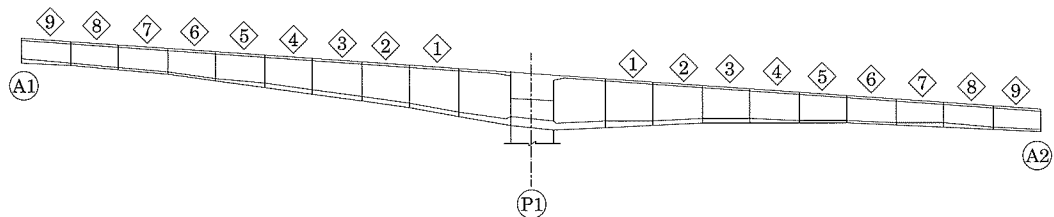
(3) 管理指針、補正指針

解析の結果、張出し施工時における回転たわみ量が最大約8 mm発生することが判明したため(図 - 6)、上げ越し管理計画に数値を反映した。

ただし、本橋のように立体格子解析により平面線形による主桁の回転たわみを算出した例はまれであり、その妥当性を確認するため、ブロック施工初期段階において設計値と実測値の比較を行い、その後のブロック施工において上げ越し量の補正を行うこととした。

(4) 実測結果および補正量

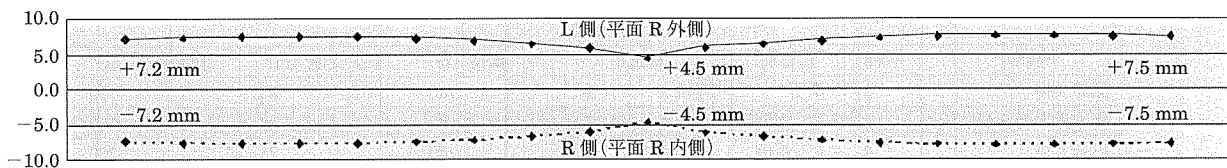
4ブロック施工時において、設計値と実測値の比較を行



立体格子解析結果

単位：mm

	BL9	BL8	BL7	BL6	BL5	BL4	BL3	BL2	BL1	P1	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	BR7	BR8	BR9
L側(平面R外側)	7.2	7.4	7.5	7.5	7.5	7.3	7.0	6.5	5.9	4.5	6.0	6.5	7.0	7.4	7.6	7.7	7.7	7.6	7.5
構造中心	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
R側(平面R内側)	-7.2	-7.4	-7.5	-7.5	-7.5	-7.3	-7.0	-6.5	-5.9	-4.5	-6.0	-6.5	-7.0	-7.4	-7.6	-7.7	-7.7	-7.6	-7.5



上げ越し計算補正グラフ

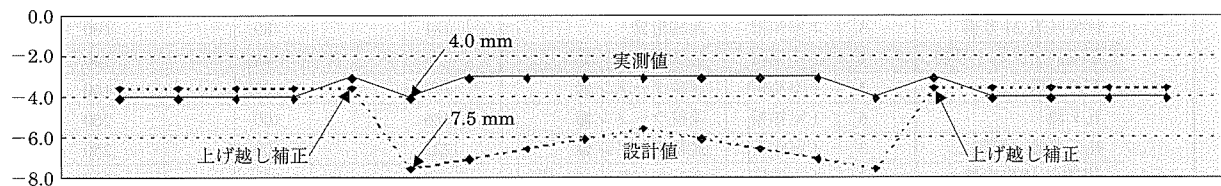


図 - 6 立体格子解析結果および上げ越し計算補正グラフ

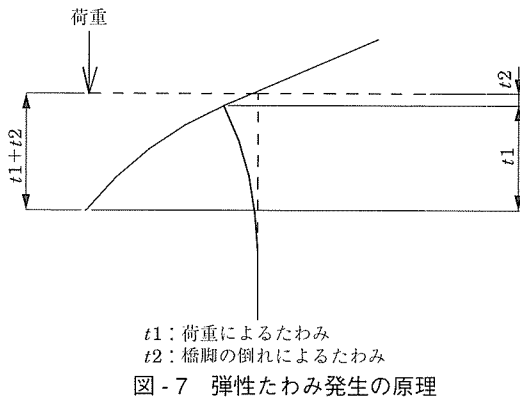
った。その結果、設計値 7.5 mm に対し実測値 4.0 mm と、実測値が計算値の約 50 % の変形量になることが判明した。

その結果を踏まえ、その後のブロックについては、回転たわみによる変位量を計算値の 50 % とし、上げ越し量の補正を行った。その結果、その後の施工において、上げ越しで考慮したたわみ量と発生たわみ量は、ほぼ一致する値を示した (図 - 6)。その誤差は、コンクリート圧縮強度の差などにより、主桁の剛性が設計値より大きかったことが原因であったと考えられる。

4.3 橋脚水平変位によるたわみへの影響

(1) 橋脚水平変位によるたわみ

張出し施工における、コンクリート自重、ワーゲン荷重による弾性たわみは、荷重により直接発生するたわみのほかに、荷重により橋脚が水平に変位する (倒れる) ことにより発生するたわみが存在する (図 - 7)。張出し施工中の主桁には、それらの合計たわみ量が発生する。



また、過去の施工実績と比較して、本橋は橋脚の高さが比較的高く下部工の断面性能が小さい傾向を有していた。そのため、発生する変位量は、橋脚の倒れによる影響を大きく受けるものと考えた。

(2) 上げ越し計算結果

上げ越し計算の結果 (9 ブロック L 側荷重載荷時の影響) を表 - 2 に示す。9 ブロックにおいては全たわみ量 90 mm の内訳が、荷重によるたわみ量 32 mm、橋脚の倒れによるたわみ量 58 mm であった。橋脚の倒れによるたわみは全体たわみ量の約 65 % となり、橋脚の倒れによる影響が大きい傾向となった。

(3) 管理指針、補正指針

橋脚のたわみ量が上げ越し量に与える影響が大きいため、橋脚の倒れによる発生たわみ量に設計値と発生値の差が生じた場合、上げ越し管理に非常に大きな影響を与えること

が懸念された。よって、その妥当性を確認するため、ブロック施工初期段階において設計値と実測値の比較を行い、その後のブロック施工において、上げ越し量の補正を行うこととした。

(4) 実測結果および補正

橋脚の倒れ量を実測した結果 (写 - 1)、倒れ量の実測値と設計値を比較することで、橋脚の倒れによるたわみ量に換算した。

4 ブロック施工時 (4 ブロック L 側荷重載荷時) において設計値と実測値の比較を行った。その結果、計算値 14 mm に対し実測値 11 mm と、実測値は計算値の約 80 % であることが分かった (図 - 8)。その理由としては、橋脚コンクリートの圧縮強度が計算値に比べ大きな値を有していたなど、剛性の誤差が影響しているものと考えられた。

その結果を踏まえ、その後のブロックについては、橋脚の倒れによるたわみ量を設計値の 80 % に補正し、上げ越し管理を行うことで対処した。その結果、その後の施工において、上げ越しで考慮したたわみ量と発生たわみ量は、ほ

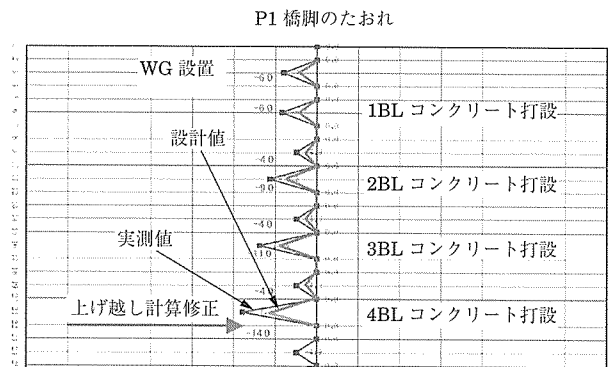


表 - 2 発生たわみの内訳

単位: mm

		BL9	BL8	BL7	BL6	BL5	BL4	BL3	BL2	BL1	P1
た わ み	荷重によるたわみ	- 31.7	- 47.1	- 44.6	- 33.7	- 29.2	- 21.1	- 13.3	- 7.9	- 3.5	0.0
	脚の倒れによるたわみ	- 58.1	- 52.6	- 47.3	- 41.7	- 36.2	- 30.9	- 25.7	- 20.6	- 14.8	- 3.4
	合計	- 89.8	- 99.7	- 91.9	- 75.4	- 65.4	- 52.0	- 39.0	- 28.5	- 18.3	- 3.4
比 率	荷重によるたわみ	35 %	47 %	49 %	45 %	45 %	41 %	34 %	28 %	19 %	0 %
	脚の倒れによるたわみ	65 %	53 %	51 %	55 %	55 %	59 %	66 %	72 %	81 %	100 %

ば一致する値を示した。

5 柱頭部横桁温度応力解析

5.1 概要

本橋の柱頭部はマスコンクリート構造であり、セメントの水和熱に起因した温度ひび割れの発生が懸念された。それを踏まえ、柱頭部における温度ひび割れについて検討を行った。

検討は、3次元温度応力解析により温度応力と発現強度の比率（ひび割れ指数）を算出し、その指数に対してひび割れ抑制に必要な鉄筋量を算出して配置した。

5.2 3次元温度応力解析結果

解析モデルを図-9、コンクリートの配合を表-3に示す。

柱頭部の施工では、コンクリート内部温度上昇の低減を目的として普通コンクリートを採用した。また、高性能AE減水剤を使用することで、単位セメント量を低減した。

解析の結果、ひび割れ指数は各施工ブロックにおける施工継目から施工範囲中心部にかけて小さくなる傾向を示した。

ここで、ひび割れ指数の最小値は、橋軸方向0.61（第1施工部）、橋軸直角方向0.57（第2施工部）、鉛直方向0.89（第1施工部）であった。

ひび割れ指数コンター図および補強鉄筋の配置概要を図-

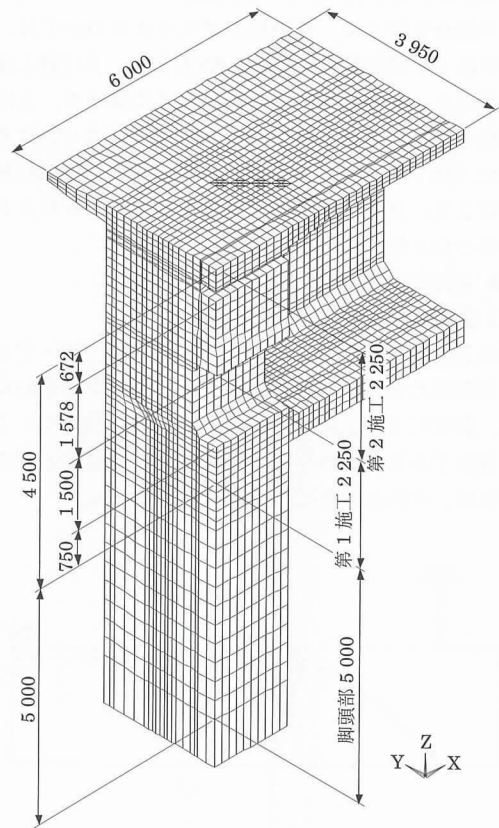


図-9 温度解析モデル

表-3 コンクリート配合

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				f _{ck} (28) (N/mm ²)	
			W	C	S	G		
普通セメント使用	42.8	43.6	163	381	756	1 002	40	主桁

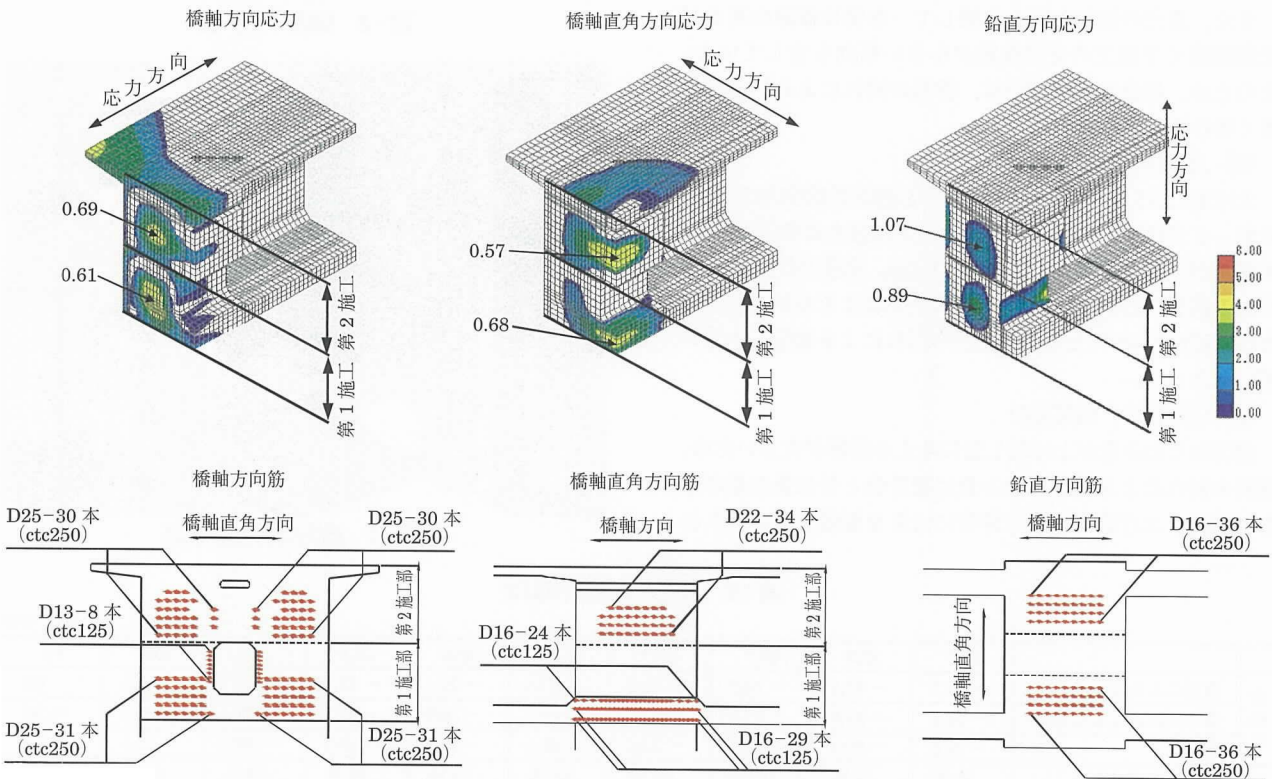


図-10 ひび割れ指数コンター図および補強鉄筋の配置

10 に示す。

施工時においては、主要点の温度計測を行った。その結果、発生温度、温度勾配は解析とほぼ同じ挙動を示し、結果として温度ひび割れの発生は確認されなかった。

6. おわりに

本橋は、上げ越し管理に線形条件の影響を考慮するとともに、施工中の主桁の回転変形と橋脚倒れの影響を実測し補正することで、計画高との差を最大で 17 mm と、規格値内に収めることができた。全体の傾向としては、上部工お

よび橋脚のコンクリート圧縮強度が設計値より大きく、剛性が高い影響などもあり、たわみの実測値は設計値に比べ小さな値となった。

また、柱頭部横桁においても、温度解析結果を元に配置した鉄筋の効果もあり、温度ひび割れの発生は確認されなかった。

最後に、本工事の成果が今後の類似橋梁の施工の一助となれば幸いである。

【2008 年 9 月 26 日 受付】



写真 - 2 完成写真 (その 1)

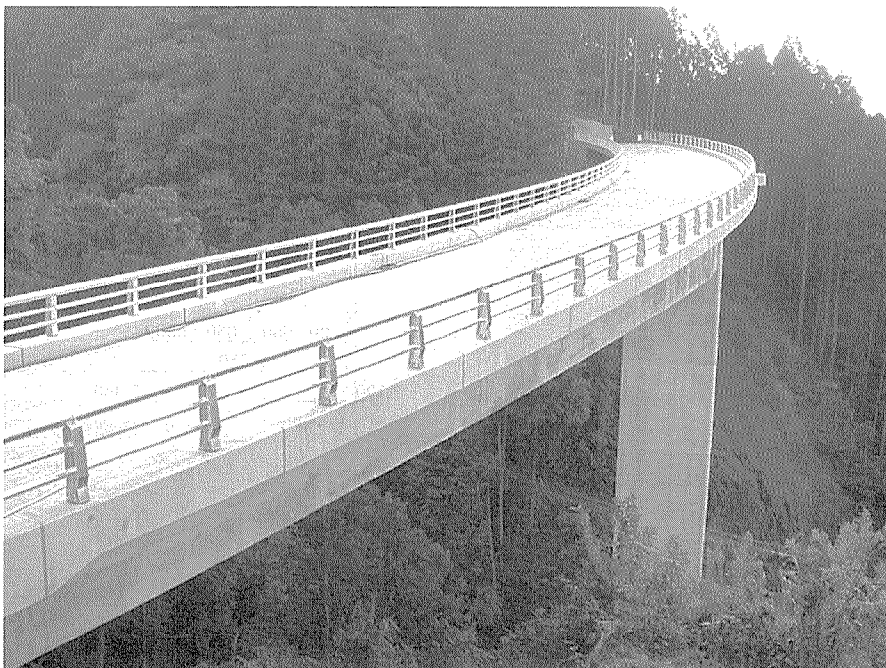


写真 - 3 完成写真 (その 2)