

温度応力解析によるひび割れ照査に基づいたPC 橋梁上部工の設計事例

西日本高速道路株式会社 正会員 野田 翼
(株)大林組 正会員 ○玉井 礼子 齋藤 隆 大場 誠道

1. はじめに

コンクリート構造物のひび割れを防止するためには、施工方法を注意するとともに、セメントの水和に起因するひび割れについて設計段階において配慮することが重要である。コンクリート標準示方書¹⁾(以下、RC 示方書)では、2007 年の改訂で施工段階のひび割れ照査に関する記載が、施工編より設計編に移されている。

今回、新名神高速道路神戸ジャンクション工事 H ランプ橋上部工の詳細設計において、温度応力解析により求められる発生ひび割れ幅が制限値以下となるように対策を検討した。本稿では、第一施工区間の解析結果を取り上げ、ひび割れ幅抑制対策の検討結果について報告する。

2. 解析の概要および条件

(1) 解析概要

対象とする神戸ジャンクション工事 H ランプ橋は、5 径間連続箱桁橋(橋長 18.13m, 幅員 9.86m)である。

温度応力解析は 3 次元有限要素法を用いて行い、温度変化および自己収縮に対する内部拘束/外部拘束効果により発生する応力と発現強度の比較からひび割れ指数を算定した。なお、対象橋梁は曲線桁であるが、解析に与える影響は無視できると考え、直線桁としてモデル化を行った。全断面 2 リフト打設とし、支承の下端面において水平方向および鉛直方向を拘束した。第一施工区間の解析モデルを図-1 に示す。

(2) 解析条件

コンクリートの配合および施工条件・養生条件の一覧を表-1 に示す。解析期間中の外気温は、気象庁データより対象地最寄りの兵庫県三田における 1979 年から 2000 年の日平均気温を採用した。コンクリートの打込み温度は過去の実績から外気温+5℃として設定した。コンクリートの物性と力学特性、断熱温度上昇量は RC 示方書に示される値および算定式を用いた。コンクリートの自己収縮量は日本コンクリート工学協会「自己収縮委員会報告書」²⁾に示される収縮予測式を用いた。

(3) ひび割れ幅抑制対策

発注者との協議の結果、各種要領・指針等^{1),3),4)}を参考に許容ひび割れ幅を 0.2mm とし、これを超過する場合には許容ひび割れ幅以下に抑制する対策を検討することとした。発生ひび割れ幅の予測には、RC 示方書に示される鉄筋比ごとの最大ひび割れ幅とひび割れ指数との関係から、ひび割れ指数が最大・最小(各 0.4, 1.3)

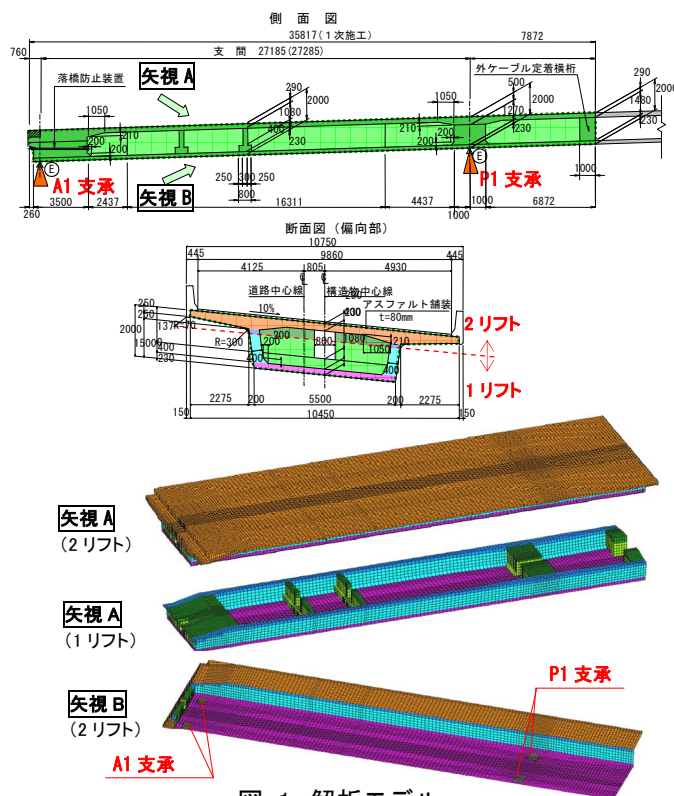


図-1 解析モデル

表-1 コンクリートの配合および施工条件・養生条件

■コンクリートの配合条件				■養生条件		
設計基準強度 (N/mm ²)	セメント 種類	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	養生条件	部位	養生期間
36	早強 (H)	44	165	外気	偏向部上面	—
■施工工程とコンクリートの打込み温度				合板	上床側面/妻部/支承部	2日
					下床下面/上床下面/ウェブ側面/横桁側面	7日
施工部位	打込み日	外気温 (℃)	打込み温度 (℃)	高機能養生マット (マット+散水、 気泡緩衝材)	下床上面/ 上床上面	14日
1リフト	2011/5/20	17.3	22.3			
2リフト	2011/6/20	21.8	26.8			

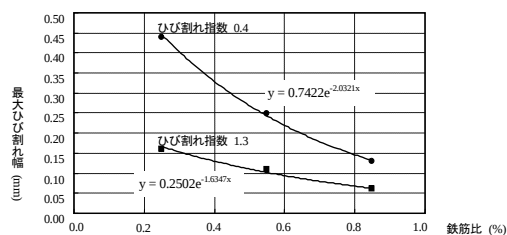


図-2 最大ひび割れ幅と鉄筋比との近似式

キーワード 温度応力解析, ひび割れ幅制御, 設計段階

連絡先 (株)大林組 橋梁技術部 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟

となる時の最大ひび割れ幅を抽出し、図-2に示す最大ひび割れ幅と鉄筋比との近似式を設定した。この近似式と各着目点の鉄筋比より最大ひび割れ幅を予測した。

ひび割れ幅抑制対策として、(A)：補強鉄筋による対策と、(B)：膨張材を使用して補足的に補強鉄筋を併用する対策の二通りを検討した。なお、膨張材は1リフト目の拘束により打継面付近に発生するひび割れ対策として、2リフト目のみに使用することとした。

3. 解析結果

(1) ひび割れ指数の分布

解析結果より最小ひび割れ指数の分布を図-3に示す。ひび割れ指数が小さくなる範囲はマスコンとなる支点部横桁に多く見られる。各範囲に着目して検討するにあたり、図-4に示すように最小ひび割れ指数の分布範囲を求めて、構造解析からその範囲に配置される鉄筋（以下、構造鉄筋）量との比から鉄筋比を算出した。

(2) プレストレス力によるひび割れ指数の補正

支点部横桁の着目点2、6、8、10では引張応力が長期的に残留するため、これらの点では構造鉄筋に期待せずに別途ひび割れ補強鉄筋量を算出することとした。ただし、このうち着目点8、10では打設後2週間程度経過時に応力が最大となるため、その間に導入されるプレストレス力により引張応力が軽減されることを考慮して、ひび割れ指数の補正を行った。

各着目点の予測ひび割れ幅と必要補強鉄筋量の算出結果の一覧を表-2に示す。

(3) ひび割れ幅抑制対策の経済比較

ひび割れ幅抑制対策工費を比較した結果を表-3に示す。補強鉄筋による対策(A)に対し、膨張材と鉄筋を併用する対策(B)では必要鉄筋量は減少するが、膨張材にかかる費用が大きいいため、対策費は約7倍となった。

4. まとめ

本事例では、マスコンクリートとなる端支点および中間支点部の横桁およびウェブに、補強鉄筋が必要となる結果となった。懸念された打継面付近のひび割れは発生せず、その結果、膨張材を使用する対策は補強鉄筋による対策に対して経済性に劣る結果となった。

現在、コンクリートのひび割れ照査手法として温度応力解析はほぼ確立されているが、解析結果をどのように設計に反映させるかは個別に対応しているのが現状である。本事例では、残留応力の有無に応じて構造鉄筋とプレストレス力を考慮した合理的な補強方法を

設定した。このような検討を重ね、ひび割れ照査を考慮した設計手法を確立することが今後の課題である。

参考文献 1) 土木学会：「2007年制定 コンクリート標準示方書[設計編]」、平成19年、2) 日本コンクリート工学協会：「自己収縮委員会報告書」、平成8年、3) 日本コンクリート工学協会：「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強設計」、平成15年、4) 西日本高速道路株式会社：「構造物施工管理要領」、平成22年

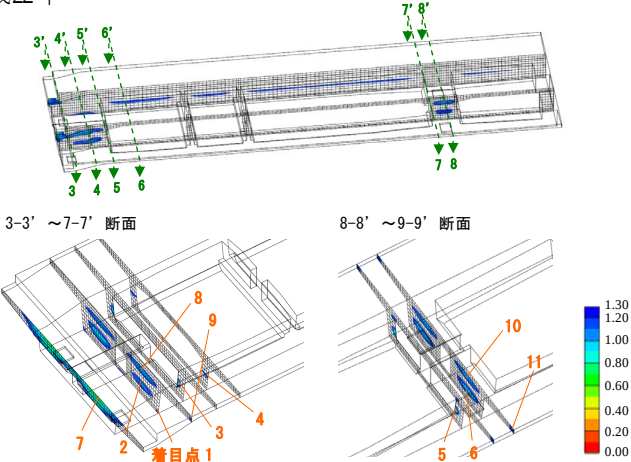


図-3 最小ひび割れ指数分布図(対策(A)の例)

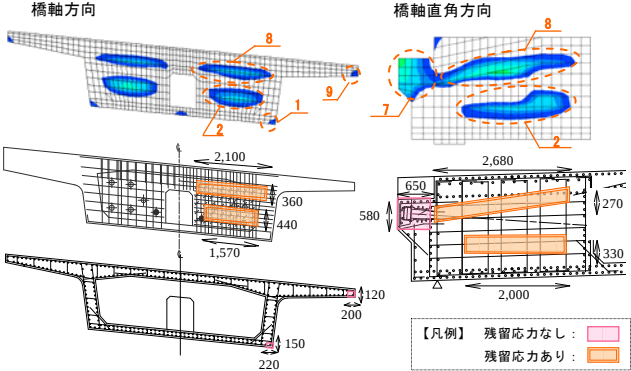


図-4 鉄筋比の算出方法(対策(A)、4-4'断面の例)

表-2 結果一覧

打設リフト		1								2						
着目点番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
方向		橋軸	橋軸	橋軸垂直	橋軸	橋軸	橋軸	橋軸垂直	橋軸	橋軸	橋軸垂直	橋軸	橋軸	橋軸垂直	橋軸	
残留応力		無	有	無	無	無	有	無	有	無	無	有	無	有	無	
(A) 補強鉄筋のみ	ひび割れ指数	1.03	0.90	0.90	0.77	1.13	0.81	0.91	0.91	0.73	0.90 ^{*)}	0.92 ^{*)}	1.24	0.93 ^{*)}	1.27 ^{*)}	1.06
	最大ひび割れ幅	0.20	0.16	0.47	0.16	0.12	0.14	0.10	0.46	0.20	0.26	0.30	0.07	0.13	0.09	0.09
	現在の鉄筋比 a(%)	0.38	0.58	0.00	0.62	0.58	0.66	0.83	0.00	0.54	0.30	0.22	0.83	0.67	0.64	0.79
	必要鉄筋比 b-a(%)	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.45	0.44	0.00	0.00	0.18	0.00
	鉄筋比差 b-a(%)			—						—		—				
(B) 膨張材・補強鉄筋	必要鉄筋比換算鉄筋量			D19 -11本				D19 -5本		D19 -12本	D19 -12本					
	ひび割れ指数	1.02	0.74	0.74	0.54	0.75	0.57	0.79	0.79	0.69	1.17 ^{*)}	1.21 ^{*)}	1.20	1.26 ^{*)}	1.99 ^{*)}	1.05
	最大ひび割れ幅	0.20	0.17	0.56	0.32	0.19	0.20	0.08	0.53	0.22	0.15	0.30	0.06	0.06	0.00	0.12
	現在の鉄筋比 a(%)	0.38	0.60	0.00	0.37	0.55	0.59	0.97	0.00	0.49	0.44	0.00	0.90	0.88	0.00	0.65
	必要鉄筋比 b-a(%)	0.00	0.00	0.53	0.60	0.00	0.00	0.00	0.50	0.55	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
	鉄筋比差 b-a(%)			—	0.23				—	0.06		—				
	必要鉄筋比換算鉄筋量			D19 -18本	D13 -4本			D19 -11本	D13 -1本	D19 -4本						

*) プレストレス力による補正値

表-3 ひび割れ幅抑制対策の経済性比較

	単位	単価(円)	対策(A)		対策(B)	
			数量	計(円)	数量	計(円)
膨張材(投入con量換算)	m3	2,600	0	0	165	429,000
鉄筋(材工)	t	129,000	0.536	69,105	0.399	51,432
合計				69,105		480,432
比率				(1.0)		(7.0)