

片持ち架設P C箱桁橋のブロック施工に関する解析的検証

三井住友建設(株) 正会員 ○荻野目 太志
 三井住友建設(株) 正会員 中村 収志
 三井住友建設(株) 正会員 古賀 友一郎
 三井住友建設(株) 正会員 狩野 武

1. はじめに

片持ち架設工法によって施工するP C橋は、コンクリートをブロックごとに分割して打設するため、打継目近傍にひび割れが生じ易いことが知られている。これらの現象は、骨組み解析による構造計算では考慮出来ないため、道路橋示方書などでは、打継目新ブロック側への補強筋配置として規定されている。

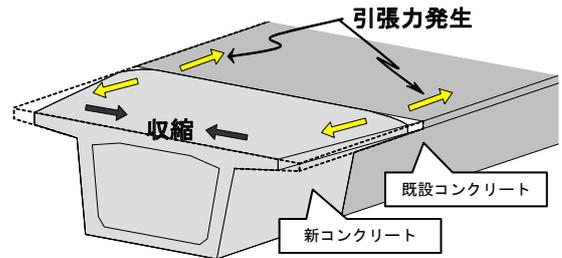


図-1 打継付近の軸方向引張力の例

これらの補強は、主に橋軸直角方向の引張力に抵抗するものであるが、張出し床版先端付近では橋軸方向の引張力による橋軸直角方向ひび割れが発生し、耐久性低下の要因となっている(図-1, 2)。この原因は、P C鋼材の応力伝達状況やコンクリート硬化時の温度応力によるものであると考えられるが、これまでに定量的な検証はあまりなされていない。

本報告は、温度応力による張出し床版先端付近の橋軸方向引張力に着目し、構造条件や材料特性がどう影響するのかについてFEM温度応力解析を実施し、その定量的検証を試みるものである。

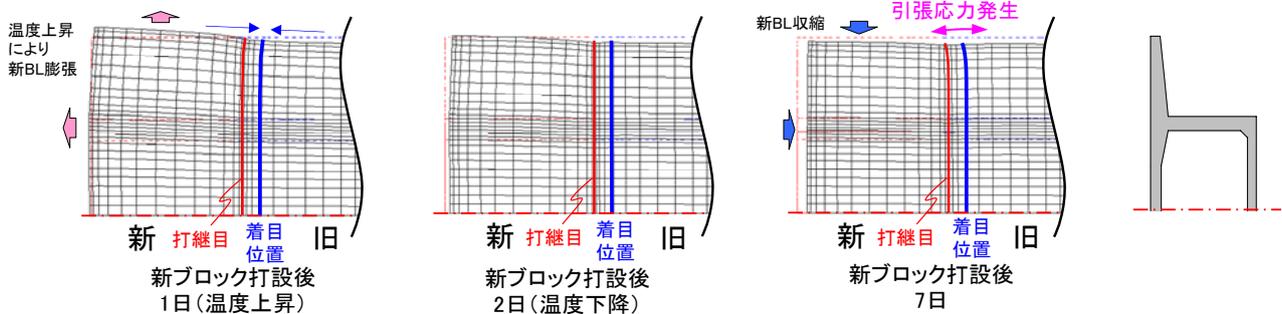


図-2 片持ち架設工法における張出し床版先端部橋軸方向応力の変化

2. 解析条件

解析モデルは、図-3に示すような半断面モデル(Y軸対象)とし、1ブロックの片端を橋軸方向に固定条件(X軸対象)とした。基本ケースは、幅員10m、桁高3m(一定)、張出し床版長2.3m(一定)、ブロック長4mの1室箱桁(1BOX)とし、幅員、ブロック長等の構造影響、コンクリート配合などの材料影響の他、打設時温度や施工サイクルの影響について、解析的検証を行った。解析諸条件を表-1に、解析パラメータを表-2に、断面基本形状を表-3、図-4に示す。

表-1 解析条件

項目	採用値	単位	備考
コンクリート強度	40	N/mm ²	
セメント種類	早強	-	
単位セメント量	420	kg/m ³	実績値
単位水量	160	kg/m ³	
打設温度	20	°C	外気温度+5°C
乾燥収縮	150	μ	JSCE実験式
自己収縮			
外気温度	15	°C	標準温度
打設サイクル	11	日	積算基準
打設回数	10~13	回	
解析時間	360	日	

表-2 解析パラメータ

パラメータ		基本ケース	①	②	③	
A	構造	幅員	10m(1box)	15m(2box)	20m(3box)	25m(4box)
B	特性	ブロック長	4m	2m	6m	
C	材料	乾燥収縮	150μ	0μ	300μ	600μ
D	特性	セメント	早強(養生3日) W160/C420=38%	普通(養生5日) W160/C420=38%	普通C380	42%
E	季節	打設温度	20°C	10°C	30°C	
F	施工	施工サイクル	11日	7日	14日	

表-3 解析モデルの断面形状

	box数	下床版幅	中間床版長	張出し床版長	桁高	ウェブ厚
幅員 10m	1	5400	4600	2300	3000	400
幅員 15m	2	10400				
幅員 20m	3	15400				
幅員 25m	4	20400				

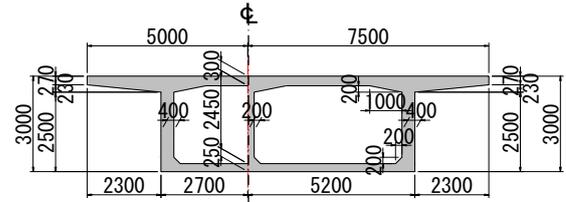


図-4 解析モデルの断面形状

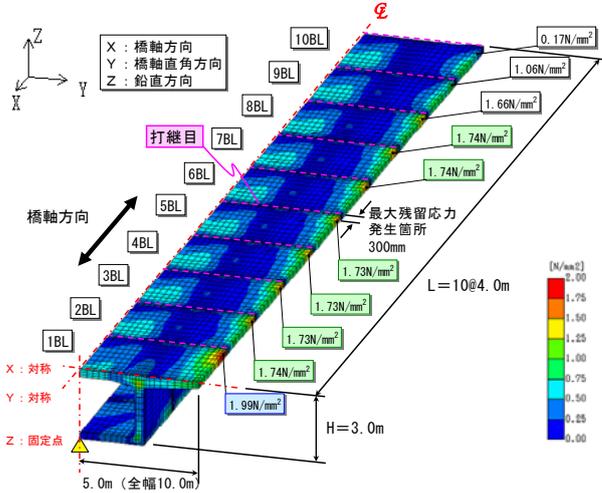


図-3 基本ケースにおける軸方向発生応力度

表-4 幅員の影響

	基本case 10m1BOX	15m 2BOX	20m 3BOX	25m 4BOX
1BL	1.99	3.47	4.81	6.06
2BL	1.74	2.84	3.94	5.00
3BL	1.73	2.78	3.77	4.69
4BL	1.73	2.78	3.75	4.62
5BL	1.73	2.78	3.75	4.61
6BL	1.74	2.77	3.75	4.59
7BL	1.74	2.68	3.74	4.55
8BL	1.66	2.32	3.71	4.44
9BL	1.08	1.30	3.61	4.20
10BL	0.17	0.18	3.33	3.73
11BL	-	-	2.69	2.88
12BL	-	-	1.39	1.42
13BL	-	-	0.18	0.18

影響BL数	3BL	4BL	5BL	6BL
影響軸方向長	12m	16m	20m	24m

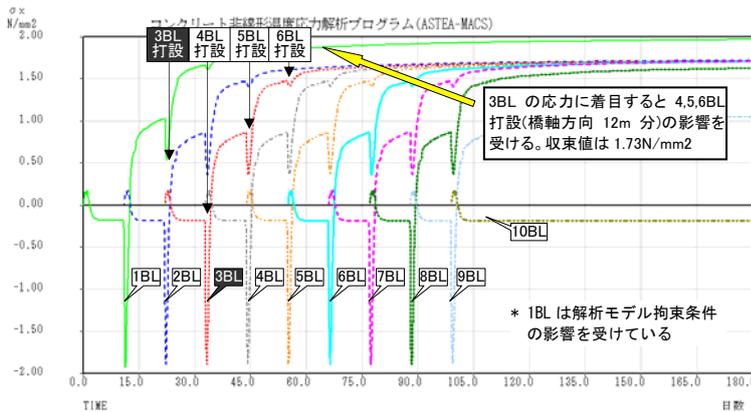


図-5 張出し先端部応力履歴 (幅員 10m 基本ケース)

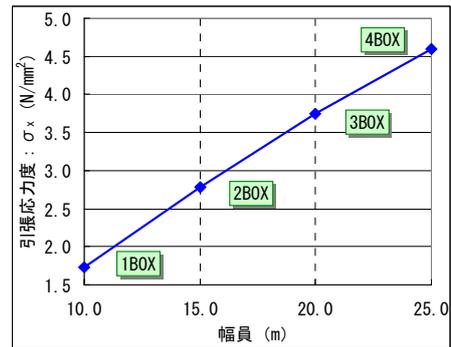


図-6 幅員と発生引張応力

3. 解析結果

分割施工により生じる橋軸方向引張応力は、打継目から旧ブロック側へ約300mmの位置で最も大きな値を示した(図-3)。以下の検証ではすべてこの箇所に着目している。

3.1 構造特性の影響

3.1.1 橋軸方向引張力の蓄積と幅員の影響

打継目張出し付近の橋軸方向引張応力は、数回の打設が進んだ後一定の値に収束した。基本ケース幅員10m(1box)では、3回分の打設(軸方向12m分)影響を受けて1.73N/mm²程度の値に収束している(図-3, 5, 表-4)。幅員15m(2box)では、4回分の打設(軸方向16m分)影響を受け2.87N/mm²程度に収束し、幅員20m(3box)では、5回分の打設(軸方向20m分)影響を受け3.87N/mm²程度に収束している(表-4)。幅員が増加するに従い収束値が大きくなり、幅員と発生引張応力の収束値をプロットするとほぼ線形関係にあった(図-6)。幅員の増加に合わせて、影響するブロック数も増加している。おおよそ幅員と同じ長さ分の橋軸方向長の影響があると考えられる。

3.1.2 施工ブロック長の影響

基本ケースブロック長4mに対して2mと6mで解析を実施した。

ブロック長が2mだと橋軸方向引張応力は 3.70N/mm^2 と 1.73N/mm^2 に対して約2 N/mm^2 大きい。逆に6mブロックは 1.19N/mm^2 へ小さくなっているがその差は 0.54N/mm^2 と少ない。ブロック長と発生応力の関係をプロットすると4mブロックのポイントで大きく変曲するが、幅員をブロック長で除した値をx軸にとると線形関係が見られる(図-7)。これは軸方向影響長が幅員であるためと推測される。

表-5 ブロック長の影響

	基本case L=4m	L=2m	L=6m
1BL	1.99	4.92	1.26
2BL	1.74	3.91	1.19
3BL	1.73	3.72	1.19
4BL	1.73	3.70	1.19
5BL	1.73	3.69	1.19
6BL	1.74	3.60	1.18
7BL	1.74	3.33	1.19
8BL	1.66	2.68	1.19
9BL	1.08	1.37	0.98
10BL	0.17	0.12	0.34
影響BL数	3BL	5BL	2BL
影響軸方向長	12m	12m	12m

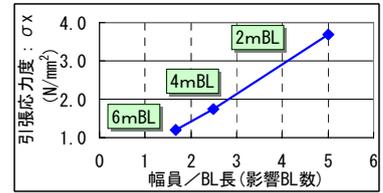
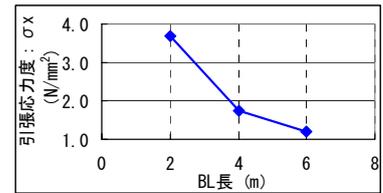


図-7 ブロック長の影響

3.2 材料特性の影響

3.2.1 乾燥収縮の影響

乾燥収縮度は、基本ケース 150μ に対して 0μ と 300μ で解析を行った(表-7)。それぞれの乾燥収縮量に対する解析結果の収束値をグラフにプロットすると(図-8)、乾燥収縮の増加の影響が、温度による橋軸方向引張応力(乾燥収縮 0μ 時の引張応力 1.11N/mm^2)に線形に加味されている。

表-6 乾燥収縮の影響

	基本case 150 μ	0 μ	300 μ
1BL	1.99	1.22	2.75
2BL	1.74	1.10	2.36
3BL	1.73	1.11	2.35
4BL	1.73	1.11	2.35
5BL	1.73	1.11	2.35
6BL	1.74	1.11	2.35
7BL	1.74	1.10	2.36
8BL	1.66	1.04	2.26
9BL	1.08	0.65	1.55
10BL	0.17	0.17	0.17

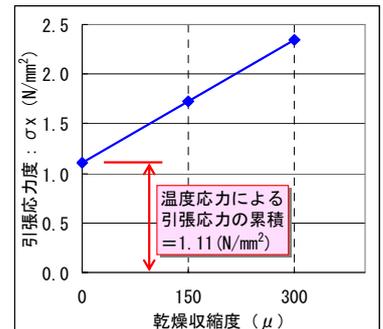


図-8 乾燥収縮の影響

3.2.2 使用セメントの影響

セメントの違いに着目した解析において、基本ケースの早強セメント量は、当社の約50橋の上部工施工実績の平均値(420kg)を採用しているが、これに対してセメント量を変えずに普通セメントに置き換えたケースと、当社の約20橋での上部工施工実績による普通セメント量(380kg)の2ケースで解析を行った。

表-7 セメント種による影響

	基本case 早強 C420 W160	普通 C420 W160	普通 C380 W160
1BL	1.99	1.93	1.83
2BL	1.74	1.60	1.53
3BL	1.73	1.59	1.52
4BL	1.73	1.59	1.52
5BL	1.73	1.59	1.52
6BL	1.74	1.60	1.53
7BL	1.74	1.60	1.53
8BL	1.66	1.53	1.46
9BL	1.08	0.99	0.96
10BL	0.17	0.16	0.13

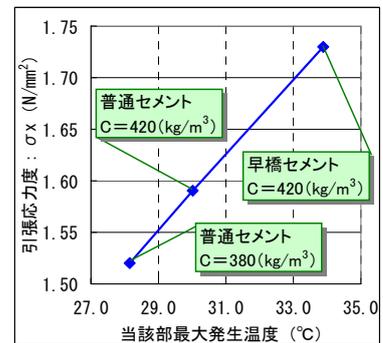


図-9 温度上昇量の影響

前者での、引張応力の収束値は 1.59N/mm^2 で後者は 1.52N/mm^2 と基本ケースの 1.73N/mm^2 に対していずれも減少している(表-7)。応力発生部位の最大発生温度と発生引張応力の関係をプロットするとほぼ線形関係であった(図-9)。

表-8 打設温度の影響

	基本case 打設20°C 外気温15°C	打設10°C 外気温5°C	打設30°C 外気温25°C
1BL	1.99	1.64	2.28
2BL	1.74	1.44	1.99
3BL	1.73	1.43	1.98
4BL	1.73	1.43	1.98
5BL	1.73	1.43	1.98
6BL	1.74	1.44	1.99
7BL	1.74	1.44	2.00
8BL	1.66	1.37	1.90
9BL	1.08	0.89	1.25
10BL	0.17	0.15	0.22

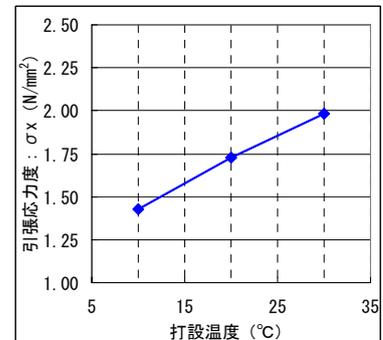


図-10 打設温度の影響

3.3 打設時コンクリート温度の影響

打設時コンクリート温度は外気温に 5°C 加算している。基本ケース 20°C で 1.73N/mm^2 の発生引張応力に対して、コンクリート温度が 30°C に上昇すれば、軸方向引張応力も 1.98N/mm^2 に上昇し、 10°C に低下すると発生引張応力も 1.43N/mm^2 に減少している(表-8)。その関係はほぼ線形的である(図-10)。

3.4 施工サイクルの影響

施工サイクルに着目した橋軸方向引張応力の収束値は、基本サイクル11日の1.73N/mm²に対して、サイクルを7日に短縮すれば、1.47N/mm²に小さくなり、反対にサイクルが15日に延びれば、1.92N/mm²へ大きくなった(表-9)。

サイクル日数と収束引張応力の関係を図-11に示す。多少の変曲が見られるが、7日~15日の間では、線形的と見ることが可能な範囲と考える。

表-9 施工サイクルの影響

	基本case 11日	7日	15日
1BL	1.99	1.70	2.20
2BL	1.74	1.47	1.93
3BL	1.73	1.47	1.92
4BL	1.73	1.47	1.92
5BL	1.73	1.47	1.92
6BL	1.74	1.47	1.93
7BL	1.74	1.48	1.93
8BL	1.66	1.41	1.84
9BL	1.08	0.88	1.23
10BL	0.17	0.17	0.17

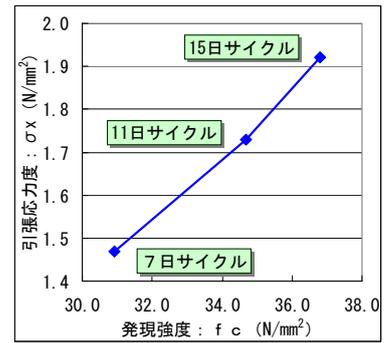


図-11 施工サイクルの影響

4. まとめ

分割施工により張出し床版先端付近に生じる橋軸方向引張力の残留値について今回の検証で判明した事象を以下に列記する。

- 1) 張出し床版先端付近の軸方向引張力は、複数のブロック施工の影響が累積して残留する。
- 2) 引張力が累積する軸方向影響長(ブロック数)は、ほぼ幅員と同等である。
- 3) 累積される軸方向引張力は、幅員増加とともにほぼ線形的に増加する。
- 4) 軸方向引張力の残留値は施工ブロック長に影響し、ブロック長が短いほど大きくなる。
- 5) 乾燥収縮度の増加とともに、橋軸方向引張応力も線形的に増加する。
- 6) 使用セメントの影響は、その発生温度の増加に対して線形的に軸方向引張力も増加する。
- 7) コンクリートの打設時温度に対しては、その温度上昇とともに線形的に軸方向引張力が増加する。
- 8) 1ブロックの施工サイクルが長くなれば、その日数にほぼ比例して軸方向引張力も増加する。

張出し床版先端付近の橋軸直角方向ひび割れは、片持張出架設時の1~3BLなどの初期ブロックに発生しやすいという事象が、ブロック長が短く、施工サイクルが長期になる等でより大きな引張力が発生している今回の検証結果と整合している。また、広幅員橋梁においてその影響が顕著であることにも合致している。

今回の解析パラメータの影響値順に並べ替えたものを表-10に示す。

想定される変化量は、一般的な施工において生じ得る値を考慮して設定している。

ブロック長の影響と幅員の影響が特に顕著であり、十分な配慮が必要である。

打設温度や施工サイクルの影響は、単体ではその影響が小さいものの、他の影響と複合することが想定されるため、実施工においては配慮が必要と思われる。

表-10 張出し床版先端付近軸方向引張力への影響

軸方向引張力に影響する要因	想定される変化量	応力影響量(N/mm ²)	基本ケースからの差	影響順
ブロック長	2.5~4m	1.70	1.70	1
幅員	5m	1.00	1.00	2
打設温度	5~35°C	0.80	0.40	3
乾燥収縮	50μ	0.35	0.35	4
セメント	H→N セメント量-10%	0.21	0.21	5
施工サイクル	7~15日	0.45	0.19	6

5. おわりに

ひび割れの無いコンクリート構造物を求められる昨今、常に温度応力解析が出来る訳ではない。そういった状況の現場等において、今回の報告が一助になれば幸いである。

今後は、これらに対する対処方法などについて検証を進めていく予定である。