

ボックスカルバートにおける温度ひび割れの解析的検討

J R 東日本 正会員 ○本柳 亮
鉄建建設 正会員 高山 真揮

1. 目的

最近のボックスカルバート(以下、ボックス)の設計では、防水上の弱点や止水工の施工が煩雑となる構造目地を少なくするため、1スパン当りを長大化させたり、構造目地をなくしたシームレスな構造とするような場合がある。一方、スパンを長大化させることで、施工においてはセメントの水和熱に起因した温度応力が増大し、これによって生じるひび割れ(以下、温度ひび割れ)の抑制が問題となると考えられる。そこで、実設計例を参考に温度応力解析を行い、スパンの長大化による温度ひび割れ発生の影響を確認し、温度ひび割れの抑制対策を検討した。

2. 照査の概要

温度ひび割れ発生確率はひび割れ指数の最小値により求めることができる。ひび割れ指数(I_{cr})はコンクリートの引張強度(f_{tk})と発生引張応力度(σ_t)の比($I_{cr}=f_{tk}/\sigma_t$)で、最小値を温度応力解析により算出する。表1にひび割れ発生確率とひび割れ指数の関係を示す。今回の検討では、ひび割れ幅が過大とならないように制限するとし、ひび割れ指数の最小値が1.0以上であれば温度ひび割れを抑制できるとした。

図1および図2に検討断面と解析モデルの例を示す。検討断面は、線路下を横断する1径間および2径間の道路ボックスを想定し、実設計例を参考に断面寸法を設定した。解析モデルは縦横を半断面で切り出した1/4モデルとし、壁部材にはひび割れ誘発目地を再現した要素²⁾を5m間隔で設けた。

表2に条件ケースを示す。打設リフトは下床版、2または3分割とした壁部材、上床版の順で4または5リフトとした。各リフトの打設時期は、別途コンクリート温度低下対策等を要する暑中コンクリートの時期を避けた中で、外気温が一番高くなる6月に上床版の打設となる工程を基準とし、比較のため2か月ずつ打設時期を変化させた。なお、打設時のコンクリート温度は月平均外気温(東京)+5°Cとした。コンクリートの配合は設計基準強度24N/mm²、スランプ12cm、w/c \leq 55%の条件で計画された例を参考とし、表3に示す配合とした。なお、配合(3)以外はw/cの制限により27N/mm²にランクアップしていた。

表1 ひび割れ指数と対策レベル¹⁾

対策レベル	ひび割れ発生確率	ひび割れ指数(I_{cr})
ひび割れを防止したい場合	5%	1.85以上
ひび割れをできる限り制限したい場合	15%	1.40以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50%	1.0以上

表2 温度応力解析の条件ケース

no.	径間数(径間)	延長(m)	打設リフト数(リフト)	上床版打設時期(月)	単位セメント量(kg/m ³)	セメント種類*	基準(O)
1	1	10	4	6月	330	普通	○
2	1	20	4	6月	330	普通	
3	1	30	4	6月	330	普通	
4	1	40	4	6月	330	普通	
5	2	10	4	6月	330	普通	○
6	2	10	5	6月	330	普通	
7	2	10	4	4月	330	普通	
8	2	10	4	2月	330	普通	
9	2	10	4	12月	330	普通	
10	2	10	4	6月	315	普通	
11	2	10	4	6月	289	普通	
12	2	10	4	6月	330	中庸熱	

表3 コンクリート配合例

	配合(1)	配合(2)	配合(3)	配合(4)
セメント種類		普通 ^{※)}		中庸熱 ^{※)}
単位セメント量(kg/m ³)	330	315	289	330
w/c(%)	52	54	54	52

※) 普通、中庸熱：普通、中庸熱ポルトランドセメント

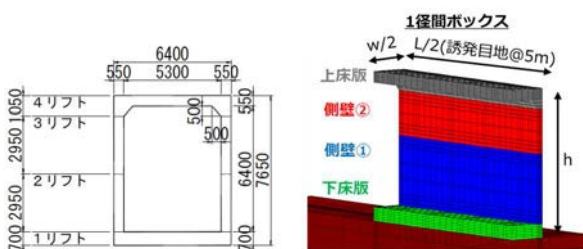


図1 検討断面と解析モデルの例(1径間)

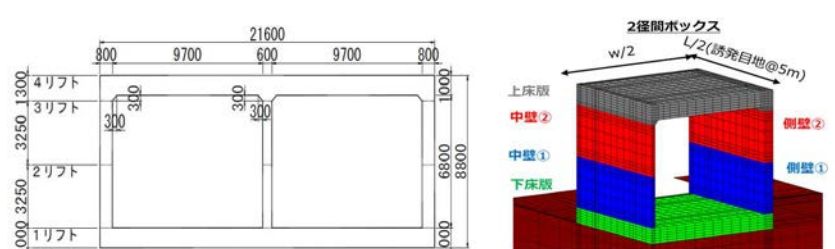


図2 検討断面と解析モデルの例(2径間)

キーワード ボックスカルバート、温度応力解析、温度ひび割れ

連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿 2-6-1 新宿住友ビル 31階 東日本旅客鉄道(株) TEL 03-6276-1251

4. 温度応力解析の結果

図3に解析結果例を示す。縦断方向の中央位置で各部材における最小のひび割れ指数を抽出した。表4に各リフトのひび割れ指数の最小値を示す。

4.1 延長の変化による影響

1 径間ボックスの解析(no.1~4)は延長を10mずつ変化させた。延長が大きくなるほど、上床版のひび割れ指数が小さくなる傾向が確認でき、延長40m(no.4)で上床版のひび割れ指数が1.0未満となった。検討した1径間ボックスにおいて、側壁では既往の報告³⁾と同様、5m間隔で設けたひび割れ誘発目地の効果が十分に発揮されたと考えられる。一方、上床版では延長が大きくなるほど、引張応力度が大きくなり、ひび割れ指数が減少したと考えられる。

延長が小さい場合には問題とならない断面でも、延長を大きくすることでひび割れ指数が減少することから、スパンを長大化させたり、シームレスなボックス構造とする場合には、温度ひび割れの抑制対策を検討することが必要と考える。

4.2 ひび割れ抑制対策による影響

2径間ボックス(no.5)の解析ではひび割れ指数が1.0未満となった。1径間ボックスと比較して、部材厚が大きいこと、施工規模が大きく次リフトの打設までに前リフトの収縮が収束し、拘束力が増すこと等が原因と考えられる。そこで、温度ひび割れの抑制効果の検討のため、no.5と同じ断面形状の2径間ボックスについて、材料や施工の条件を変化させ、解析を行った(no.6~12)。今回の条件においては、水和熱の低減を目的に、1リフト当りのコンクリート量を減らした(打設リフトを増やした)no.6の解析や、コンクリート温度低減を目的に、打設時期の変化させたno.7~9の解析ではひび割れ指数は改善されなかった。一方、材料の対策によってセメント水和熱を低減させることは温度ひび割れの抑制に効果があった。単位セメント量を順次減少させたno.10,11の解析では、減少させるほどひび割れ指数は向上し、より単位セメント量が小さいno.11はひび割れ指数がすべての部材で1.0以上となることを解析で確認した。また、セメント種類を中庸熱ポルトランドセメントに変えたno.12の解析では、ひび割れ指数がすべての部材で1.0以上となることを解析で確認した。

今回の検討では、打設リフトの増加やコンクリート温度の低下よりも、材料により水和熱を抑える対策を行う方が効果的であり、延長が大きいなど無対策ではひび割れ指数が過小となる場合でも、温度ひび割れを抑制できる対策であると考えられる。

5. まとめ

ボックスのスパンを長大化すると、ひび割れ誘発目地を設けても温度ひび割れを抑制できない場合があることを確認した。一方、中庸熱ポルトランドセメントの使用や単位セメント量の減少など、水和反応による発熱量を低減させた対策を行うと、スパンを長大化したボックスでも、温度ひび割れを抑制が可能であることを確認した。ボックスのスパンを長大化する場合は、温度ひび割れ抑制対策の検討が必要である。

参考文献

- 1) 土木学会, 2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 平成30年3月
- 2) 株式会社計算力学研究センター, ひび割れ誘発目地のモデル化, 2014年
- 3) 大郷ら, 壁状構造物の誘発目地による温度ひび割れ制御, SED, 1998年5月

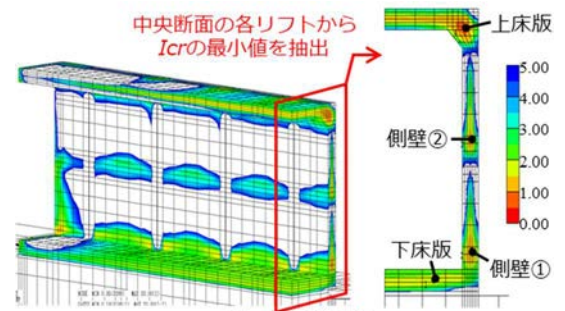


図3 解析結果例

表4 各条件ケース、各リフトのひび割れ指数の最小値

no.	ひび割れ指数(I_{cr})							
	下床版	側壁①	中壁①	側壁②	中壁②	側壁③	中壁③	上床版
1	2.51	1.19		1.41				1.36
2	2.34	1.22		1.46				1.34
3	2.16	1.23		1.54				1.19
4	1.77	1.05		1.19				0.85
5	2.01	0.95	0.94	1.01	1.16			1.15
6	1.94	0.90	0.97	1.05	1.20	0.99	1.13	1.16
7	1.81	0.82	0.81	0.86	0.97			0.96
8	2.00	0.86	0.84	0.84	0.95			0.82
9	2.49	1.02	1.01	0.99	1.12			0.86
10	2.00	0.98	0.98	1.05	1.20			1.16
11	2.16	1.07	1.06	1.13	1.30			1.22
12	2.42	1.53	1.50	1.65	1.88			1.69