

大型橋台における膨張材を用いた温度ひび割れ対策の検討

東北学院大学工学部 学生会員 ○武田 洸
東北学院大学工学部 村岡 大輝
東北学院大学工学部 正会員 石川 雅美
セントラルコンサルタント(株) 正会員 大場 千裕

1 背景と目的

仙台市内で計画されている大型橋台の施工にあたって、温度ひび割れ対策として膨張材および用心鉄筋の使用を検討している。本研究では、これらの対策を実施した場合、温度ひび割れの発生をどの程度制御できるのかを、3次元 FEM 解析により明らかにした。解析は 1) 無対策の場合、2) 用心鉄筋のみの場合、3) 膨張材のみ場合、および 4) 用心鉄筋と膨張材を併用した場合の 4 ケースとした。本論では、その研究結果について報告する。

2 検討対象とした構造物と解析ケース

図-1 に検討対象とした構造物を示す。この壁部には、温度応力により生じるひび割れ幅を制御する目的で、図-2 に示すひび割れ用心鉄筋を設置する。本研究では、ひび割れ用心鉄筋および膨張材の効果を確認する目的で、表-1 に示す 4 つのケースの解析を行った。

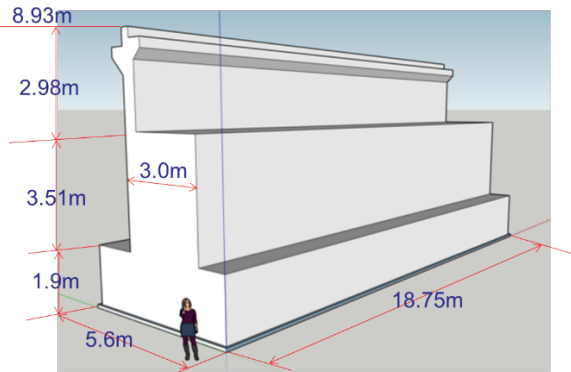


図-1 大型橋台の概要

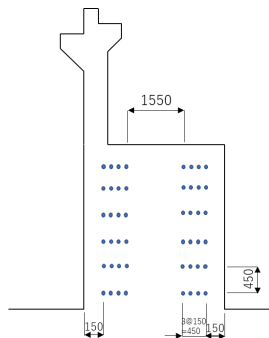


図-2 ひび割れ用心鉄筋の設置位置

表-1 解析ケース

ケース番号	膨張材	ひび割れ用心鉄筋
1	×	×
2	×	○
3	○	×
4	○	○

3 解析モデル、施工工程および物性値

解析モデルは、図-3 に示すように構造物の対称性を考慮して 1/2 モデルとした。また、解析で仮定した各リフトの施工工程および打設温度を表-2 に示す。また、コンクリート配合を表-3 に示す。

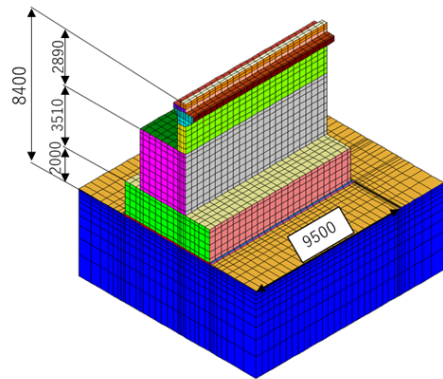


図-3 解析モデル

表-2 施工工程および打設温度

	施工工程	日時	打設温度(℃)	外気温(℃)	型枠
底版(リフト1)	打設	2022/11/14	14.6	9.6	合板
	脱枠	2022/11/21			
壁(リフト2)	打設	2022/12/14	9.2	4.2	合板
	脱枠	2022/12/21			
胸壁1(リフト3)	打設	2023/1/10	6.1	1.1	合板
	脱枠	2023/1/17			
胸壁2(リフト4)	打設	2023/1/20	5.6	0.6	合板
	脱枠	2023/1/27			
胸壁3(リフト5)	打設	2023/2/1	5.4	0.4	合板
	脱枠	2023/2/8			
胸壁4(リフト6)	打設	2023/2/8	5.5	0.5	合板
	脱枠	2023/2/15			
解析終了		2024/11/1			

表-3 コンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)					
					セメント	膨張材	水	細骨材1	粗骨材1	混和剤
20	12	4.5	53.5	44.1	297	20	159	781	1045	3.17

解析で用いたコンクリートの発熱特性および強度特性等は、表-3 に示す配合を基に土木学会コンクリート標準示方書¹⁾の設計用値を用いた。なお、膨張材を使用した場合には、発熱速度係数が多少大きくなることから、示方書から算出した値を 1.1 倍している。断熱温度上昇量と強度物性に対しては、その影響はないものとした。

4 膨張材エネルギーの評価

膨張材の効果を確認する目的で JIS A6202 に準じて、拘束膨張試験を行った。なお、膨張材の添加量は 20kg/m³である。図-4 に拘束膨張試験により測定した膨張ひずみを示す(図中の緑丸で示したプロット) この測定値を最小二乗法により近似した曲線(式-1)を

図中に黄色で示す。

$$\varepsilon_{ex}(t) = \frac{t}{0.399+0.970t} 219 \quad (\text{単位 } \mu) \quad \text{式-1}$$

ここで、 $\varepsilon_{ex}(t)$ は材齢 t 日における膨張ひずみである。

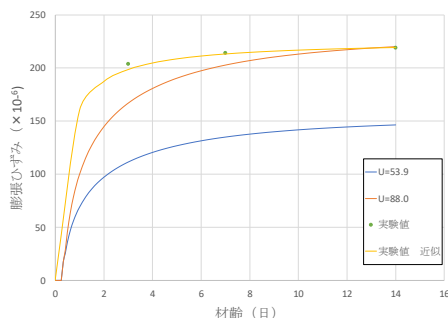


図-4 拘束膨張試験結果と解析値

図-4 の拘束膨張ひずみを基に膨張エネルギーを算出した。膨張エネルギーの算出方法については、石川らの報告²⁾を参照されたい。本検討で使用した解析プログラム JCMAC-3Ver1. 6. 1(日本コンクリート工学会製)では、膨張エネルギーを以下の式で入力する。

$$U_{che}(t_e) = U_{che,\infty} \left(1 - e^{-a_{ex}(t_e - t_{ex,set})^{b_{ex}}} \right) \quad \text{式-2}$$

ここで、 U_{che} ：材齢 t 日における膨張エネルギー、 t_e ：積算温度材齢 (日℃)、 $U_{che,\infty}$ ：膨張エネルギーの終局値 (N/m³)、 $t_{ex,set}$ ：遅延材齢 (日℃)、 a_{ex} 、 b_{ex} ：パラメータである。

測定値より算出した式-2 の各パラメータの値は、 $U_{che,\infty} = 53.9$ 、 $a_{ex} = 0.852$ 、 $b_{ex} = 0.510$ 、これらの値を用いて、JIS 試験体の解析モデルを作成し、拘束膨張試験を FEM により再現した。その結果を図-4 の青色で示す。この曲線は実測の膨張ひずみの半分程度の値となっていることから、実測に合うように再度 $U_{che,\infty} = 88.0$ として計算した結果を赤の曲線で示す。この曲線は初期の膨張量を多少低めに評価しているもののおおむね実際の膨張量を再現できたものとした。なお、その他のパラメータの値は前述の通りである。

5 大型橋台の解析結果

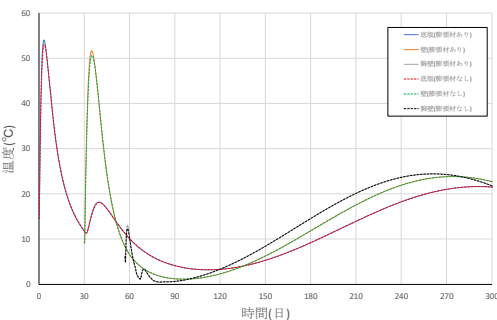


図-5 温度解析結果

図-5 は底版、壁および胸壁の温度履歴である。膨張材を添加した場合(実線にて表示)、膨張材を添加しない場合(点線にて表示)に比べて最高温度が 1℃ 程度高くなる結果が得られた。

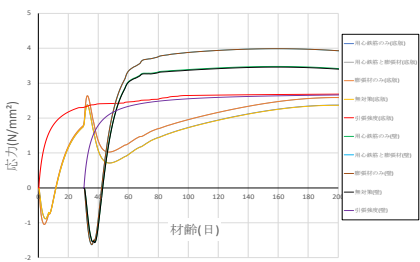


図-6 底版と壁の応力履歴

図-6 は底版と壁のひび割れを考慮しない場合の応力履歴であり、すべて対称断面の中心を評価したものである。どのケースにおいても引張強度を超える結果が得られた。

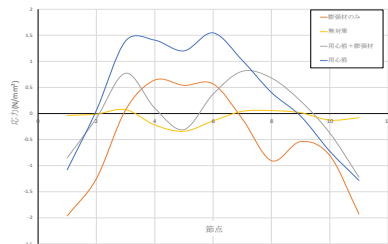


図-7 壁 応力分布図 ひび割れを考慮した場合

図-7 は底版打設から材齢 731 日におけるひび割れを考慮した場合の対称断面位置における長手方向の応力分布である。無対策では、ちょうどこの位置でひび割れが生じたため応力はほぼ 0 となっている。そのほかのケースでは、対称断面の周囲でひび割れが発生しているため、引張応力が残っている。いずれのケースにおいても貫通ひび割れであることが確認された。

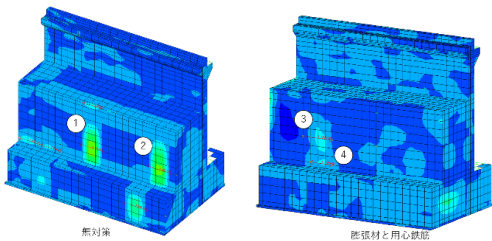


図-8 ひび割れイメージ(左 無対策 右 膨張材+用心鉄筋)

図-8 は長手方向(ε_x)のひび割れを示したものである。無対策では貫通ひび割れが確認できた(①0.37mm と②0.34mm)。一方、膨張材と用心鉄筋は、表面のひび割れ幅は 0.1 程度に留まっている(③0.11mm と④0.11mm)。

6 まとめ

本研究では、仙台市内で計画される大型橋台の温度応力解析結果をもとに、膨張材とひび割れ用心鉄筋の温度ひび割れ対策を検討した。ここでは、膨張材とひび割れ用心鉄筋を併用することで、構造物表面に発生するひび割れが、許容ひび割れ幅以内に制御可能ということを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編：本編]2017 年制定
- 2) 石川雅美ほか：第 45 回セメント・コンクリート研究討論会 2018 膨張材の膨張エネルギー評価パラメータの算出方法の提案