

水和熱抑制剤を用いたコンクリートの温度応力解析の一考察

安藤建設株式会社 正会員 ○川中 政美, 高山 亨, 安部 弘康, 立山 創一
株式会社フローリック 松沢 友弘, 隅田 孝弘, 正会員 高田 良章, 正会員 田中 恭一

1. 目的

マスコンクリートの温度ひび割れの抑制を目的に開発された水和熱抑制剤（以下 TS）は、水和速度を緩やかにして水和熱を放出することにより部材の最高温度を低減し、ひび割れを抑制する化学混和剤である。低熱系セメントを入手できない地域では、この TS は効果的な手段となる。比較的マッシュな部材となる土木構造物は、高炉セメント B 種（以下 BB）を用いる場合が多い。この BB に対する TS の特徴を明らかにするとともに、実用上の解析に用いる条件などについて検討したので報告する。

2. 実験概要

マスコンクリートの温度応力解析に必要な TS の特性を把握するため、以下の実験及び解析を行った。

2.1 試験体寸法と打設時期

試験体は、マッシュでありながら放熱をある程度期待できる寸法（1.5m の立方体）とした。型枠は全期間を通して存置させた。その外観を図-1 に示す。打設場所は茨城県つくば市の実験ヤードで行った。打設日は 2010 年 9 月（標準期）に行い、同一日に 3 試験体を順次打設した。



図-1 型枠状況

2.2 使用材料とコンクリートの配合

使用材料を表-1 に示す。TS の添加量はセメント質量に対して、0%（無添加）、0.7%、0.85% の 3 種類とした。また、コンクリートの配合を表-2 に示す。コンクリートはレディーミクストコンクリート（27-8-20-BB）を使用した。

表-1 使用材料

材料名		記号	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)
セメント	高炉セメント B 種	BB	3.04	—	—
細骨材	神栖産陸砂（細目）	S	2.61	1.54	65.3
粗骨材	石岡産砕石	G	2.70	0.52	59.8
混和剤	AE 減水剤 高機能タイプ（標準形 I 種）	Ad	1.07	—	—
	水和熱抑制剤	TS	—	—	—

2.3 試験体のコンクリートの温度計測

温度計測は、試験体中心部、外気温を測定した。

表-2 コンクリートの配合

No.	配合記号	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
				W	BB	S	G	Ad	TS
1	TS:0%	54.0	44.3	162	300	801	1045	3.0	0
2	TS:0.70%	54.0	44.3	162	300	801	1045	3.0	2.10
3	TS:0.85%	54.0	44.3	162	300	801	1045	3.0	2.55

2.4 断熱温度上昇試験

断熱温度上昇試験の試料は、トラックアジテータ車から採取し、フレッシュ性状を確認後、速やかに試験を開始した。

2.5 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、上記試験体の中心温度に追従した養生（以下温追養生）と標準養生で実施した。

2.6 温度応力解析

温度応力解析（以下解析）は、TS による試験体中心温度およびひび割れ指数の改善効果を把握する目的で実施した。解析は 3 次元非常温度応力解析プログラム（K 社製）を使用し、断熱温度上昇特性および圧縮強度特性は実測値を用いた。解析条件を表-3 に示す。

表-3 解析条件

項目	種類	設定値
熱伝導率	地盤	1.0 (W/m ² °C)
	コンクリート	2.7 (W/m ² °C)
密度	地盤	1600 (kg/m ³)
	コンクリート	2400 (kg/m ³)
比熱	地盤	2.6 (kJ/kg°C)
	コンクリート	1.2 (kJ/kg°C)
初期温度	地盤	16 (°C)
	コンクリート	23.2 (°C)
断熱温度上昇特性	コンクリート	測定値表入力

キーワード：水和熱抑制剤、高炉セメント、断熱温度上昇特性、圧縮強度特性、温度応力解析、ひび割れ指数

連絡先：〒108-8544 東京都港区芝浦 3-12-8 安藤建設（株）土木本部技術部 TEL 03-3457-9385

3. 実験および解析の結果と考察

3.1 断熱温度上昇特性の比較

断熱温度上昇試験結果を図-2に示す。同図には、日本コンクリート工学協会（以下 jci）の BB (TS:0%) の断熱温度上昇特性式¹⁾（以下温度式）も併記した。TS:0%の終局断熱温度上昇量（以下 Q_{∞} ）は、試験値と jci 温度式で約 12℃の差を生じた。原因は特定できないが、練り混ぜから打ち込みまでの時間（約 40 分）による放熱や試験機の精度などが考えられる。TS:0.7%、0.85%の特性は、温度上昇が2段階あり、添加量が増加するとともに一段階目の平衡状態が長くなる。さらに2段階目の温度上昇速度（ r ：勾配）は若干低下する。 Q_{∞} は試験値の無添加と同等程度である。TSによるこの特性を表現する近似式を現在検討中である。実務で解析を行う場合の断熱温度特性は打設条件を反映した断熱温度上昇試験を行い、実測値を用いる（表入力形式で補間して計算に利用する）ことが適していると考えられる。

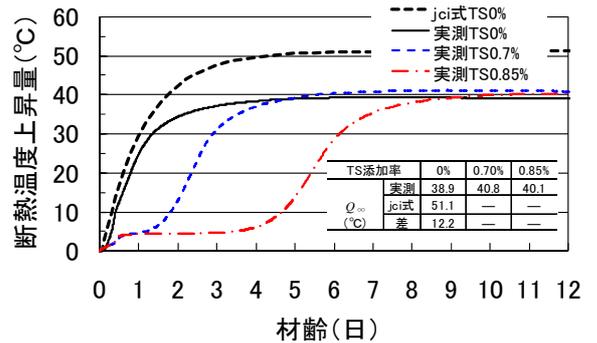


図-2 断熱温度上昇特性

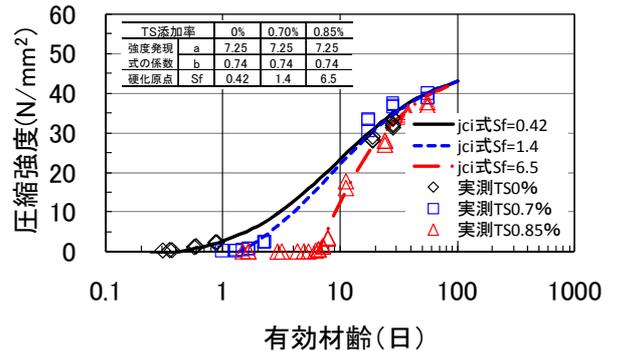


図-3 圧縮強度と有効材齢

3.2 圧縮強度特性

圧縮強度（打込み温度 23℃，TS:0%，0.7%，0.85%）と有効材齢の関係を図-3に示す。無添加のBBの圧縮強度は概ね jci の圧縮強度発現式¹⁾（以下強度式）に近似する。また、TS:0.7%、0.85%の強度は jci の強度式で硬化原点を実測値に合うように設定することにより、概ね表現できる。

3.3 中心温度の実測値と解析値の比較

図-4に中心温度の実測値と解析結果の比較を示す。中心温度は実測値と解析値で約 4℃の差を生じた。この原因は特定できないが、解析に用いた断熱温度上昇特性や解析条件が実際と異なっていることが考えられる。しかし、それぞれの条件下（実測別、解析別）における中心温度差はTS:0%を基準として0.7%で約-4℃，0.85%で約-10℃となり、同様な値を示した。これによりTSの温度低減効果を確認した。

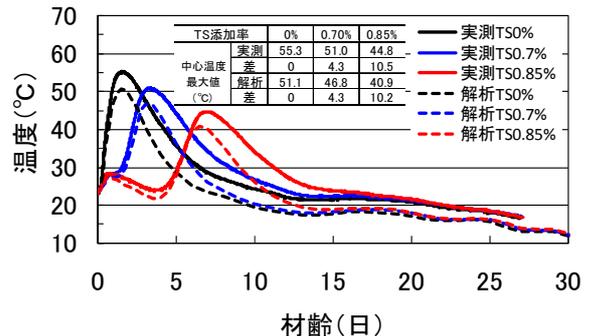


図-4 中心温度の解析値と実測値の比較

3.4 ひび割れ指数の解析結果

上記の条件を取り入れて試験体中心部のひび割れ指数を解析により求めた結果を図-5に示す。各添加量における最小ひび割れ指数は、TS:0%を基準としてTS:0.7%で0.14，TS:0.85%で0.26増加し、解析上で改善効果を確認した。

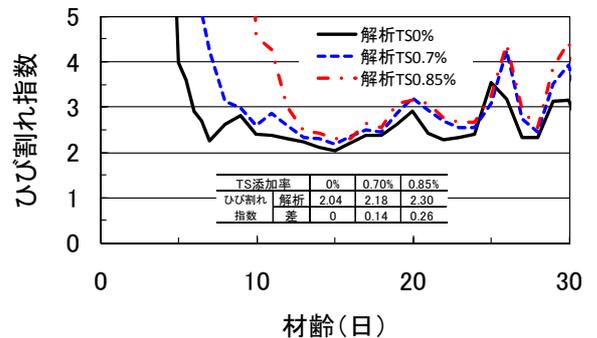


図-5 ひび割れ指数の比較（解析値）

4. まとめ

BBに対するTSを用いた各種特性について以下にまとめる。

- ①断熱温度上昇特性は、打設条件を反映した断熱温度上昇試験を行い、解析に用いることが望ましい。
- ②標準期における圧縮強度は、硬化原点の値を jci の強度式に取り込むことにより概ね表現できる。
- ③中心温度の実測値と解析値の比較は、両方で差を生じたものの温度低減効果を確認した。
- ④試験体中心部のひび割れ指数は、解析により改善効果を確認した。

参考文献

1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，pp47～56