

温度ひび割れ照査に用いる水和熱抑制剤の断熱温度上昇式の推定について

株式会社安藤・間 正会員 ○川中 政美, 正会員 村上 祐治, 安部 弘康, 立山 創一
株式会社フローリック 正会員 高田 良章, 平野 修也, 西盛 嘉人

1. はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れ抑制を目的に開発された水和熱抑制剤¹⁾(以下 TS)を設計に用いる場合、断熱温度上昇式(以下断熱式)の一般式が必要である。今回、普通ポルトランドセメント(以下 N)に TS を添加した場合の断熱式を推定した。

2. 断熱温度上昇特性を求めるための条件設定

2.1 水和熱抑制剤と実験の水準

表-1 に TS の一般的性質、表-2 に実験の水準を示す。TS の特性として、TS の溶解速度や溶解量は、温度が高くなるほどその活性が強くなる性質がある。

単位セメント量は 300kg/m^3 とした。TS の添加量はセメント質量に対して 0% と 0.7% とし、0.7% を TS の標準添加量とした。理由は、別途検討の結果、最大の効果を得られる添加量は、0.7% 程度であることと経済性を考慮したためである。

2.2 打込み温度

コンクリートの打込み温度は、 20°C 、 28°C および 35°C の 3 水準に設定した。 10°C 程度の低温域では、TS の効果が小さいので除外した。また、高温域では、暑中コンクリートの打込み温度の上限値である 35°C を設定した。

3. 水和熱抑制剤の断熱温度上昇特性

3.1 断熱温度上昇試験

表-3 に配合条件、表-4 に使用材料を示す。断熱温度上昇試験機は空気循環式を用い、試験は打込み温度毎に実施した。

3.2 試験結果と近似曲線の設定

日本コンクリート工学会(以下 jci)の断熱式²⁾を式(1)に示す。図-1 に試験により得られた温度別の実測値、実測値を近似した曲線(以下近似曲線)および TS:0% の jci 断熱曲線を示す。

$$Q(t) = Q_{\infty} \left[1 - \exp \left\{ -r(t - t_{0,Q})^s \right\} \right] \quad (1)$$

ここに、
 t : 材齢(日)
 $Q(t)$: 材齢 t (日)までの断熱温度上昇量($^\circ\text{C}$)
 Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量($^\circ\text{C}$)
 r : 断熱温度上昇速度に関する係数
 s : 断熱温度上昇速度に関する係数
 $t_{0,Q}$: 発熱開始材齢(日)

実測値を近似するにあたり以下を行った。

(1) 近似曲線は jci の断熱式を用いた。

(2) TS:0% 近似曲線の断熱温度上昇速度に関する係数(以下 r と s)

は、jci 断熱式の r と s の値を用いた。終局断熱温度上昇量(以下 Q_{∞})は実測値を用いた。発熱開始材齢(以下 $t_{0,Q}$)は、jci 断熱式の $t_{0,Q}$ の値を採用した。

表-1 TS の一般的性質

項目	内容
成分	多価アルコールと無機塩を含む多価アルコール脂肪酸エステル
外観	白色粉末状
かさ密度	$0.46 \sim 0.56 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
溶解性	水に難溶

表-2 実験の水準

項目	内容
セメントの種類	普通ポルトランドセメント
セメント量	300kg/m^3
TS 添加量	0%, 0.7%
打込み温度	20°C , 28°C , 35°C

表-3 配合条件

項目	内容
水セメント比	55%
単位水量	165kg/m^3
スラブ	$8 \pm 2.5\text{cm}$
空気量	$4.5 \pm 1.5\%$

表-4 使用材料

材料名	記号	密度(g/cm^3)	吸水率(%)	粗粒率実績率(%)
セメント	普通ポルトランドセメント	N	3.16	—
細骨材	陸砂(静岡県掛川産)	S	2.59	1.73
粗骨材	硬質砂岩砕石(東京都青梅産)	G	2.65	0.77
混和剤	AE 減水剤(標準形 I 種)	Ad	リチウムコンパウンド化合物	
	水和熱抑制剤	TS	表-1 参照	

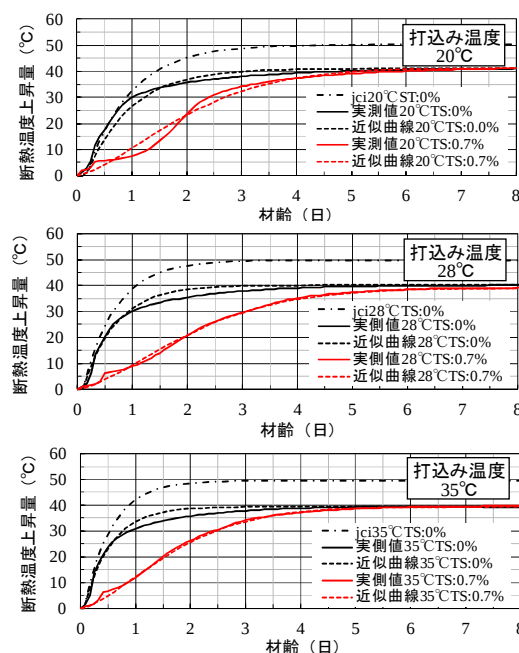


図-1 打込み温度別断熱温度上昇特性

キーワード：水和熱抑制剤，マスコンクリート，普通ポルトランドセメント，断熱温度上昇特性，暑中コンクリート

連絡先：〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20 (株) 安藤・間 土木事業本部 土木設計部 TEL 03-6234-3670

(3)TS:0.7%近似曲線の r と s は、実測値を近似する値を採用した。その過程で温度別の s は概ね1.5であったため同一の値とし、 r で求めた。なお $t_{0,Q}$ は、0日とした。これは、 s を1.5にした場合、断熱式が打込み初期から緩やかな温度上昇を考慮できるためである。

表-5に近似曲線とTS:0%のjci断熱式のパラメータを示す。

3.3 jci断熱式と近似曲線のパラメータの比較

図-1より以下の特性が得られたため、実測値のTS:0.7%の近似曲線から得られた r と s は、そのままjci断熱式のパラメータ値として採用した。

(1)TS:0%の実測値の近似曲線において、 Q_{∞} はjci断熱式の Q_{∞} の値と約10℃異なるが、 r と s にjci断熱式の r と s の値を用いることで近似できる。

(2)TS:0%の実測値の近似曲線の r と s とTS:0%のjci断熱式の r と s の値が同じであるため、TS:0.7%の実測値の近似曲線の r と s は、TS:0.7%のjci断熱式の r と s としてそのまま使用できると考えた。

図-2にTS:0%のjci断熱式の r 、 s とTS:0.7%の近似曲線の r 、 s の値の打込み温度との関係を示す。TS:0%のjci断熱式の r は打込み温度によって変化するが、TS:0.7%の近似曲線の r はほぼ一定であった。これは、前述したTSの特長である打ち込み温度が高いほどTSの活性が強くなるため r の変化を抑えているものと考えられる。

また、近似曲線の Q_{∞} は、TS:0%と0.7%はほぼ同じ値であったため、設計用TS:0.7%の Q_{∞} は、jci断熱式のTS:0%の Q_{∞} を採用した。

3.4 TS用断熱温度特性式の r 、 s および Q_{∞} の推定

上記の結果より得られたTS:0.7%の近似曲線の r_{TS} 、 s_{TS} 、 $Q_{\infty TS}$ および $t_{0,QT}$ の打込み温度との関係を式(2)～式(5)に示す。TS:0.7%のTS用断熱温度特性は、これらのパラメータを式(1)の r 、 s 、 Q_{∞} および $t_{0,Q}$ にそれぞれ対応させて用いる。

$$r_{TS} = 0.005310 \times Ta + 0.1645 \quad (2)$$

$$s_{TS} = 1.50 \quad (3)$$

$$Q_{\infty TS} = Q_{\infty} \quad (4)$$

$$t_{0,QT} = 0.00 \quad (5)$$

ここに、
 r_{TS} : TSの断熱温度上昇速度に関する係数
 s_{TS} : TSの断熱温度上昇速度に関する係数
 $Q_{\infty TS}$: TSの終局断熱温度上昇量(℃)
 Q_{∞} : jci終局断熱温度上昇量(℃)
 $t_{0,QT}$: TSの発熱開始材齢(日)
 $t_{0,Q}$: jci発熱開始材齢(日)
 Ta : コンクリートの打ち込み温度(℃)

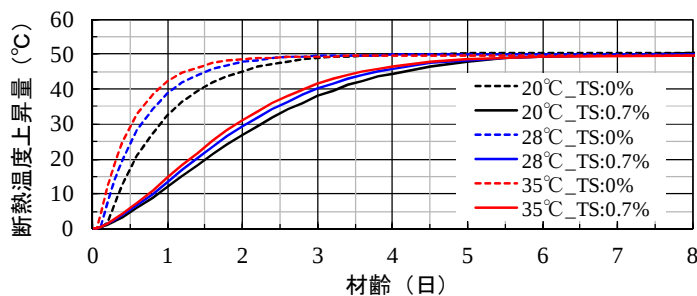


図-2 打込み温度と r 、 s の関係

図-3 TS:0%とTS:0.7%の断熱式の比較

図-3にjciのTS:0%断熱式と今回推定した式の比較(打込み温度別)を示す。上記に示した結果と同じように、jciのTS:0%断熱式は打込み温度の上昇に伴い急激に上昇するが、今回推定したTS:0.7%の断熱式は緩やかな上昇を示しており、jciの断熱式を用いたTS用の r と s により表せることが分かった。

4. まとめ

打込み温度によるTS:0.7%(標準添加量)の断熱式の特性を以下にまとめる。

① r と s は打込み温度の影響は小さく、断熱温度特性も打込み温度による変化が小さい。

② Q_{∞} はjci断熱式の値、 r は $r = 0.005310 \times Ta + 0.1645$ 、 s は $s = 1.50$ 、 $t_{0,Q}$ は0日となった。

参考文献

- 高田良章, 松沢友弘, 隅田孝弘, 田中恭一, 川中政美, 高山亨, 安部弘康, 立山創一: 水和熱抑制剤を用いたコンクリートの基礎的性状, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, V-130, 2011.9.
- 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, pp47~50