

## 壁状マスコンクリート構造物における温度ひび割れ制御対策の検討

阪神高速道路公団 正会員○鈴木 威  
 阪神高速道路公団 正会員 伊藤 学  
 阪神高速道路公団 正会員 長澤光弥  
 清水建設株式会社 正会員 江渡正満  
 清水建設株式会社 正会員 若林孝佳

### 1. はじめに

壁状構造物の温度ひび割れを制御する場合、一般に低発熱形セメントの使用やひび割れ制御鉄筋あるいはひび割れ誘発目地の配置などの対策が採られる。温度ひび割れ制御対策を立案する場合、構造物の要求品質（温度ひび割れ指数やひび割れ幅）に対するその効果を定量的に評価し、さらに制御対策費用を含めて比較検討することになる。現実には対策の選択肢としては「ひび割れの補修」もある。この場合、構造物に発生するひび割れの本数と幅の評価が重要となる。本検討は、開削トンネルの側壁を想定し、ひび割れ対策としてセメントの種類および配力鉄筋を考え、その効果（ひび割れ幅や本数）を有限要素法により検討し、合わせてコストを含めた評価を行ったものである。

### 2. パラメータ解析の概要

解析手法は、離散ひび割れモデルを用いた2次元有限要素法とした。表-1に要因と水準を示す。構造物はいずれも開削トンネルを意識し、中規模なタイプ（側壁厚1.0m、拘束体は厚さ1.0mの底版）と、大規模なタイプ（壁厚1.5m、拘束体は厚さ2.0mの既設コンクリート）の2種類を想定した。壁長さや壁高さは一般的な値としてそれぞれ20mおよび4mとした。また、打設時期は夏（打込み温度32℃で打設し秋季に向かって気温が下降する場合）、春（打込み温度19℃で打設し夏季に向かって気温が上昇する場合）、冬（打込み温度10℃で打設し気温の上昇が少ない場合）とした。セメントの種類は、通常使用される高炉セメントB種（BB）のほかに、低発熱形セメントとして低熱ポルトランドセメント（LC）と、両者の中間的なものとして高炉スラグ微粉末混入量55%程度の2成分系セメント（MK）を考えた。また、配力鉄筋比は、現状で使用されている0.1%程度から最大0.4%程度までとした。表-2に解析に使用した定数を示す。断熱温度上昇特性、力学的物性値などは事前に実施した物性試験値を使用した。また、クリープは応力経路依存型のクリープ補正係数 $\phi$ （1）を用いた有効ヤング係数法で評価した。なお、これら物性値を用いて実施した解析値の妥当性については、別途実施した実構造物による温度ひび割れ確認試験により検証した。

表-1 要因と水準

要因	水準
部位	・中規模（1m厚底版上の1m厚側壁） ・大規模（2m厚の既設コンクリート上の1.5m厚側壁）
打設時期（打込み温度）	・夏（32℃） ・春（19℃） ・冬（10℃）
セメント	・高炉セメントB種（BB） ・2成分系セメント（MK） ・低熱ポルトランド（LC）
配力鉄筋比	0.1～0.46%

表-2 解析条件

セメント種類	BB	MK	LC
セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	332	315	300
熱物性値	熱伝導率2.67W/m <sup>2</sup> C、密度2300kg/m <sup>3</sup> 、比熱1.15kJ/kg <sup>2</sup> C		
断熱温度上昇式 (C) (静置の場合)	56(1-exp(-0.92t))	42(1-exp(-0.68t))	43.5(1-exp(-0.53t <sup>0.78</sup> ))
圧縮強度 f'c (N/mm <sup>2</sup> )	11.106Ln(M)-33.958 M = (温度+10) × 日数	7.6182Ln(M)-23.115 M = (温度+10) × 日数	【静置の場合】 5.242Ln(M)-17.216 (M<200C) 13.571Ln(M)-61.410 (M≥200C) M = (温度+10) × 日数
静ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	E t = β × f'c <sup>0.5</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) β = -14.35 f'c + 5370 (実測値)		
クリープ補正係数 φ (応力経路依存型)	φ = 0.5 (0 < t ≤ t <sub>peak</sub> ) φ = 1.0 (t <sub>peak</sub> < t ≤ 2 × t <sub>peak</sub> ) φ = 0.7 (2 × t <sub>peak</sub> < t)		
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	f'ct = 0.8 × α × f'c <sup>0.5</sup> α = 0.0057 f'c + 0.27 (実測値)		
ポアソン比	0.2		
線膨張係数	7 × 10 <sup>-6</sup> /C (実測値)		
外気温	神戸地区の月別平均気温		
熱伝導率 (W/m <sup>2</sup> C)	合板面と上面: 6.0W/m <sup>2</sup> C 6日目以降型 止むと遮断 2.0W/m <sup>2</sup> C その他面: 無養生: 14.0W/m <sup>2</sup> C		

キーワード ; マスコンクリート、温度ひび割れ、離散ひび割れモデル、低熱ポルトランドセメント

連絡先 ; 〒541-0056 大阪府中央区久太郎町4-1-3 (大阪センタービル内) TEL06-6252-8121

3. 解析結果と考察

3. 1 解析結果

表-3に解析結果の一覧（ひび割れ幅毎のひび割れ本数や鉄筋降伏の有無など）を示す。図-1は解析結果の一例である。ひび割れが発生しないケース（応力が引張強度を上回らないケース）については、引張強度を意図的に低減することで強制的にひび割れを発生させた。

3. 2 各要因のひび割れ制御効果

表-3より低発熱形セメントを使用によりひび割れ幅や本数の低減が認められる。温度ひび割れが発生した場合、その幅は鉄筋量の増加とともに低減する。また、ひび割れ発生に伴い鉄筋には引張応力が作用するが、鉄筋量が少ない場合は鉄筋が降伏する場合があります、降伏を生じさせないための鉄筋比を0.4%以上と規定している例もある2)。表-3では鉄筋の仕様をSD345とした場合の降伏の有無を示した。多くのケースでは鉄筋の降伏を生じさせない鉄筋比は0.4%程度であるが、低熱ポルトランドセメントを使用し、春、冬に打設した場合は少ない鉄筋量でも降伏しない場合がある。これは主に温度応力の低減によるものと考えられるが、ひび割れ制御に必要な鉄筋量が少なくなることによるコスト低減が期待される。

3. 3 温度ひび割れ制御対策コスト

図-2は壁厚1.5mの場合のひび割れ制御対策コストを比較した結果を示す。この比較は、「夏季BB+鉄筋比0.41%を基準とし、鉄筋が降伏しないケース（表-3の○印）について最大ひび割れ幅の制御目標を0.3mm以下とした場合について行った。最大ひび割れ幅が0.3mm以上となるひび割れは補修すると考えた。補修（注入工法）単価、セメント単価などはそれぞれ作業環境や地域性で左右されるため普遍的ではないが、ひび割れ制御対策の低コスト化の点からも低熱ポルトランドセメントを使用する有効性が認められる。

4. まとめ

離散ひび割れモデルを用いた有限要素法により壁状構造物の温度ひび割れ制御対策を検討した。その結果、コスト低減を含め低熱ポルトランドセメントの温度ひび割れ制御効果が認められた。

（参考文献）

- 1) 江渡正満、マスコンクリートの温度応力低減技術の開発に関する研究、学位論文、1999
- 2) 日本建築学会、鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・同解説、1990

表-3 解析結果一覧

打設時期	セメント	鉄筋比 (%)	指数以上のケース	ひび割れ幅 (mm) と発生本数								合計本数	鉄筋降伏
				0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9		
				2	2	2	2	2	2	2	2		
夏	BB	0.15		2				2		2	6	×	
		0.41			2	2	2				6	×	
	MK	0.15		2		2		2			6	×	
		0.41		2	4						6	○	
LC	0.15		2	2			2			6	×		
	0.41		2	2						4	○		
春	BB	0.15			2			2			4	×	
		0.31			2	2					4	×	
	MK	0.15		2		2					4	×	
		0.41		2		2					4	○	
	LC	0.15	○	2	2						4	○	
		0.31	○	2	2						4	○	
冬	BB	0.15		2	2		2			6	×		
		0.31		2	2	2				6	×		
	MK	0.15				2					2	×	
		0.41			2						2	○	
	LC	0.15	○		2						2	○	
		0.31	○		2						2	○	

1)鉄筋降伏: ×は「あり」○は「なし」

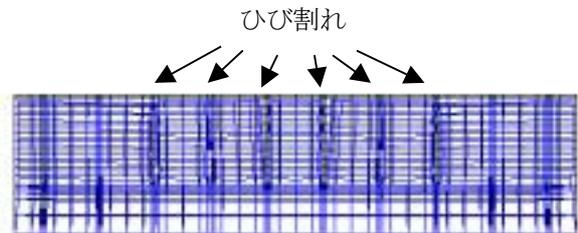


図-1 ひび割れ解析例

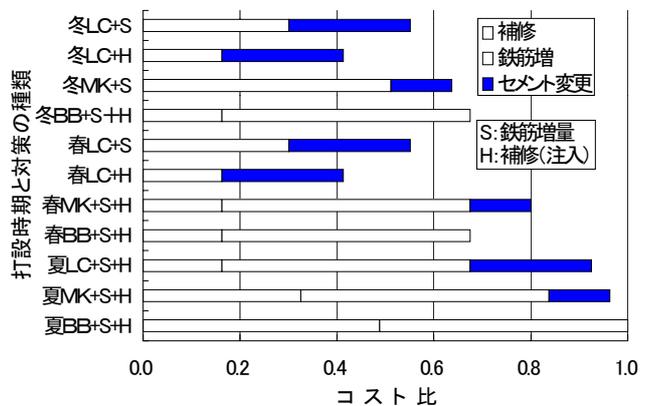


図-2 コスト比較