

V-556 高流動コンクリートの温度応力と有効弾性係数について

大林組土木技術本部 正会員 今枝靖典
 本州四国連絡橋公団 正会員 糸日谷淑光
 大林組土木技術本部 正会員 入矢桂史郎

1. 概 要

明石海峡大橋1Aアンカレイジ躯体は、コンクリート量140,000m³におよぶマスコンクリートである。本工事では、高品質でかつ急速施工が要求されるため、高流動コンクリートを採用し、打設リフト高を大きくすることに加え、それに伴う温度ひび割れの制御のために、低発熱型セメント、パイプクーリング、ブレーキング等を適用した。所定の温度ひび割れ指数を満足するようなひび割れ対策を設定したが、施工過程において温度応力計測とシミュレーション解析に基づいた対策の見直しを実施しながら施工を行った。温度応力については、定数を適切に設定すれば有限要素法により精度よくシミュレートできるとの報告¹⁾が得られているが、低発熱型セメントを使用した高流動コンクリートについては、クリープやレラクセーションなど未知の部分も多い。

本論文は、低発熱型高流動コンクリートの温度応力計測を実施し、得られた計測結果をもとにシミュレーション解析を行い、クリープによる応力低減効果を考慮できる有効弾性係数について検討した結果を報告するものである。

2. コンクリートの配合

使用した高流動コンクリートの配合を表-1に示す。セメントの種類は、3成分系低発熱型セメントであり、温度上昇を伴うことなく高流動化するための混和材として石灰石微粉末を使用した。

3. リフトスケジュールと計器の配置

リフトスケジュールを図-1に、計測リフトの中心断面における計測器設置状況を図-2に示す。シミュレーション解析を行った計測リフトは、約3ヶ月に1回の割合で配置し、ほぼ無筋状態に近いベントブロックに2リフト(R1-3, R1-8)と鉄骨鉄筋構造のアンカーブロックに1リフト(R2-19)とした。また、リフト中心温度は、全リフト計測を実施した。

4. 計測結果とシミュレーション解析

シミュレーション解析に用いた解析定数を表-2に示す。クリープを考慮した有効弾性係数法の弾性係数低減率（以下低減率）以外の解析定数は、全て実

表-1 コンクリートの配合

設計基準強度 (kgf/cm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					混和剤
			W	C	石灰石微粉末	S	G	
240	55.8	45.0	145	260	150	768	964	6.355

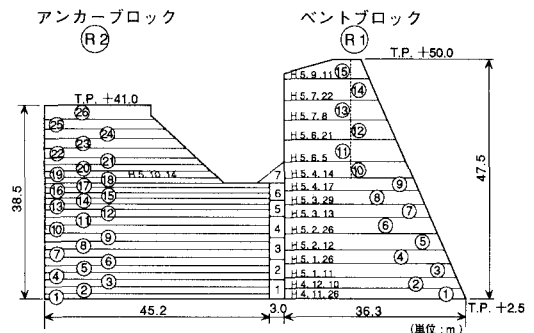


図-1 アンカレイジリフト分割図

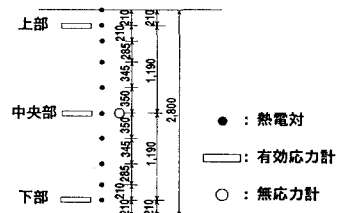


図-2 計測リフトの計測器設置位置

表-2 解析定数

項 目	定 数	備 考
断熱温度上昇式 (20℃)	$T=23.5(1-e^{-1.45(t-0.625)})+0.15/23.5 \cdot (t-5)$ ただし第2項は(5≦t≦28) t:材齢(日)	断熱温度上昇試験とシミュレーション解析より算出
線膨張係数 (1/℃)	8.2×10^{-6}	実測値に準拠
圧縮強度 (kgf/cm ²)	$f'c=158.2 \log M-389$ M:積算温度(hr・℃)	圧縮強度試験結果に準拠
弾性係数 (kgf/cm ²)	$E_c=24050 \cdot f'c^{0.457}$	1/3割線弾性係数
引張強度 (kgf/cm ²)	$ft=0.141 \cdot f'c^{0.928}$	割裂引張強度試験に準拠

測値あるいは同一配合での室内試験結果より設定した。

温度解析はパイプクーリングを考慮した2次元有限要素法による。計測値と解析値の温度経時変化を図-3に示すが、両者は良く一致している。また、低発熱型セメント、パイプクーリング、プレクーリング等を適用したため、1年を通じてリフト内の最高温度を40℃以下に抑えることができた。

応力解析は2次元有限要素法の平面歪モデルによる。クリープによる応力低減効果は、CEB-FIPコード(1978)または静弾性係数を低減させた有効弾性係数法を適用した。計測リフトにおける計測値と解析値の応力経時変化を図-4に示す。また、最大圧縮応力が作用する時点までと、最大圧縮応力時から材齢14日までの計測値と解析値との応力増分比を算出した結果を表-3に示す。これらの結果は、応力はCEB-FIPコードや有効弾性係数法で低減率を変化させることにより、計測値と解析値をよく対応させることができることを示している。

表-4にはコンクリート標準示方書「施工編」(以下示方書)に準拠した有効弾性係数と、表-3の有効弾性係数法における応力増分比を静弾性係数に乘じた有効弾性係数を示す。示方書の有効弾性係数法から応力を算定する場合、補正係数 ψ は示方書の値(材齢3日まで0.73、材齢5日以降1.00)より、更に小さくする必要がある。

5. まとめ

高流動コンクリートの有効弾性係数に関して次の結果を得た。

- ①CEB-FIPコードを用いる場合、温度上昇時で0.66、温度降下時で0.62倍の応力低減が必要となった。
- ②有効弾性係数法を用いる場合、静弾性係数の低減率は温度上昇時で0.37、温度降下時で0.39となった。
- ③示方書の有効弾性係数法を用いる場合、補正係数 ψ は材齢3日で0.48、材齢14日で0.50となった。

計測結果とシミュレーション解析より得られた高流動コンクリートの有効弾性係数が、示方書の示す有効弾性係数よりも小さい理由については今後更にデータを集積する必要があるが、高流動コンクリートとして、クリープに寄与する粉体量が多いこと、低発熱型セメントとして、凝結時間が遅いことなどによる影響と考えられる。

【参考文献】

- 1)たとえばマスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集, 日本コンクリート工学協会, 1982.9

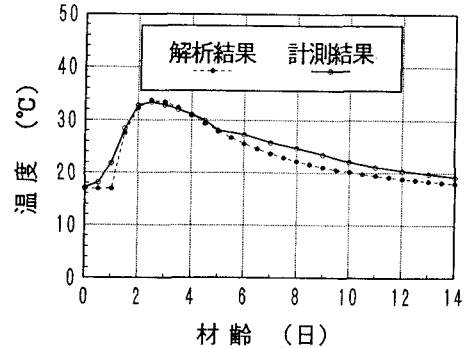


図-3 計測と解析の温度経時変化

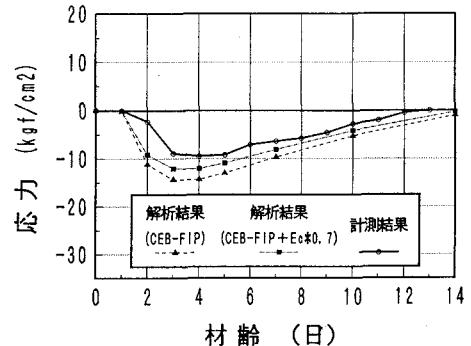


図-4 計測と解析の応力経時変化

表-3 計測値と解析値の応力増分比

対 象	クリープ	部位 ^{※1}	最大圧縮応力時 (計測値／解析値)	最大圧縮応力から 材齢14日まで (計測値／解析値)
リフト	評価方法			
R1-3	CEB-FIP (1978)	A上部	95%	48%
		A中央	64%	42%
		A下部	50%	105%
		B中央	85%	57%
R1-8	CEB-FIP (1978)	A上部	76%	59%
		A中央	64%	72%
		A下部	54%	—
		B中央	70%	53%
CEB-FIPの平均			66%	62%
R2-19	有効弾性 係数法	A上部	44%	39% ^{※2}
		A中央	38%	44% ^{※2}
		A下部	35%	34% ^{※2}
		B中央	30%	40% ^{※2}
有効弾性係数法の平均			37%	39% ^{※2}

*1 Aはリフト中心断面、Bはリフト中心と端部の中間に位置する断面
*2 R2-19は、最大圧縮応力から材齢6日までで評価した

表-4 有効弾性係数と補正係数の算定

項目	材齢3日	材齢14日
示方書に準拠した有効弾性係数 E と補正係数 ψ $E = \psi \times 15,000 \cdot f_c^{0.5}$ (E :kgf/cm ²)	$E_0 = 165,000$ ($\psi = 1.00$) $E_1 = 120,500$ ($\psi = 0.73$)	$E_0 = 224,000$ ($\psi = 1.00$)
表-3の応力増分比を低減率とした有効弾性係数 E_s および E_s/E_0 から求めた補正係数 ψ (E :kgf/cm ²)	$E_s = 79,600$ ($\psi = 0.48$)	$E_s = 111,000$ ($\psi = 0.50$)