

PCタンク側壁下端部における膨張コンクリートの解析手法に関する検討

(株) 安部日鋼工業 技術本部 正会員 ○足立 真康
 (株) 安部日鋼工業 技術本部 正会員 堅田 茂昌
 電気化学工業(株) セメント建材事業本部 保利 彰宏

1. はじめに

躯体コンクリートのひび割れは貯水槽の機能を損なう恐れがあり、ひび割れを防止することは重要な課題である。固定式PCタンクの側壁下端部は、底版による外部拘束を受けるためセメントの水和熱による温度ひび割れが発生しやすい。その対策として、膨張材の使用が有効と考えられるが、適用にあたりその効果を事前に確認する必要がある。膨張材の効果を定量的に評価する手法は、既往の研究によりいくつか提案されているが、PCタンクにおいて研究した事例は少ない。本論文は、膨張コンクリートを適用したPCタンクの現場計測結果と3次元FEM解析結果を比較し、PCタンクにおける膨張材の効果を定量的に評価する一例を示す。

2. 検討フロー

PCタンクにおける膨張材の効果を定量的に評価するため、以下の手順により検討を行った。

検討フローを図-1に示す。

(1) 実構造物の計測

PCタンクの側壁第1リフトに埋込型ひずみ計と熱電対を設置し、側壁コンクリートの実ひずみと温度を計測する。

(2) 温度解析

3次元FEM解析により(1)で計測した温度履歴を再現できる熱物性値を決定する。

(3) 温度応力解析

(2)で得られた温度解析条件下で、3次元FEMによる温度応力解析結果と計測ひずみを比較し、膨張材の効果を確認する。

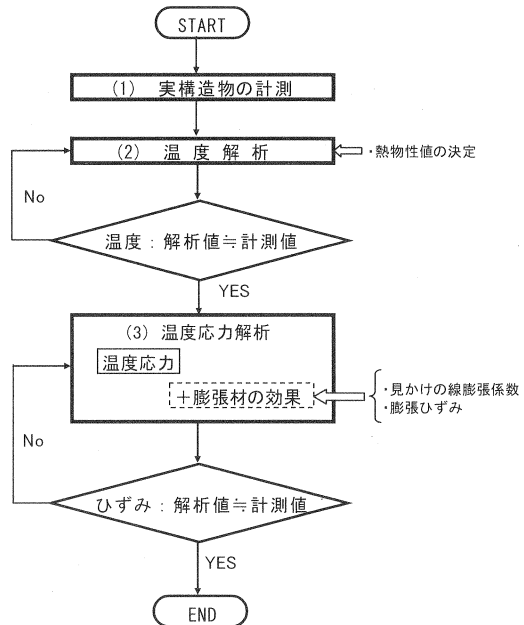


図-1 検討フロー

表-2 使用材料

材料	名称
セメント	普通ポルトランドセメント
膨張材	水和抑制型
細骨材	川砂 (表乾密度: 2.58g/cm ³ , F. M. 2.80)
粗骨材	砕石 (表乾密度: 2.62g/cm ³ , Gmax: 25mm)
混和剤	AE減水剤

表-1 コンクリート配合

配合の呼び名	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	混和剤
36-12-25N	43.8	42.4	4.5	156	336	20	751	1035	3.56

3. 2 計測構造物

計測構造物は、内径 50.4m、側壁高 10.7m、側壁下端厚 0.68m、底版厚 0.8m の固定式円筒形PCタンクである。コンクリート設計基準強度は、底版 30N/mm²、側壁 36N/mm² である。計測タンクの断面図を図-2 に示す。

3. 3 計測対象および計測期間

計測対象は膨張材を使用した側壁第1リフトとし、側壁のコンクリート躯体内の実ひずみと、コンクリート内部温度を計測した。計測位置を図-3 に示す。計測期間は、コンクリート打設直後から1ヶ月間とした。

3. 4 計測結果

(1) 温度履歴

図-4 に側壁第1リフトA部の温度を示す。コンクリートの打設温度は 25.1℃であった。

A部の温度は、打設開始から約 24 時間後にピークに達し、最高温度は 53.8℃となった。

(2) 実ひずみ

図-5 に埋込型ひずみ計により計測されたコンクリートの実ひずみを示す。計測された実ひずみは、温度ひずみやクリープの影響等を含んだ全ひずみである。コンクリート温度がピークとなる材齢 1 日において、 95×10^{-6} の膨張ひずみが確認でき、その後の温度降下に伴い収縮に転じ、最終計測日である材齢 25 日では、 -155×10^{-6} の収縮ひずみが計測された。

4. 温度解析

温度応力解析の前段階として、計測温度履歴を再現できる熱物性値を設定した。

4. 1 解析モデルおよび解析条件

温度解析に用いる解析モデルを図-6 に示す。また、解析条件を表-3 に示す。

4. 2 解析結果

断熱温度上昇の特性値および熱伝達率は、コンクリート標準示方書⁴⁾に示されている値を用いた。解析に使用した値を表-3 に示す。これらの標準的なパラメーターを用いた解析値で、計測値を再現することができた。解析値と計測値の比較を図-7 に示す。

5. 膨張材の効果の解析的評価

既往の研究⁴⁾⁵⁾にて、膨張材の効果解析に反映させる手法は、いくつか提案されている。

ここでは、表-3 に示す解析条件を基に、膨張材の効果を

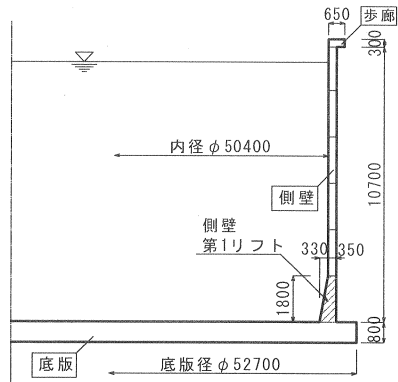


図-2 計測タンク断面図 (単位 mm)

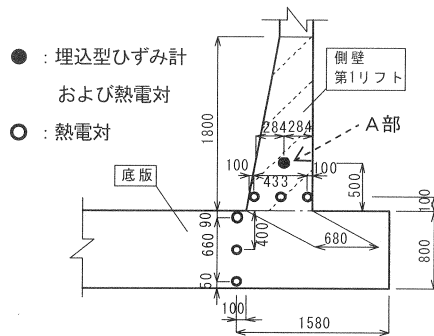


図-3 計測機器取付位置 (単位 mm)

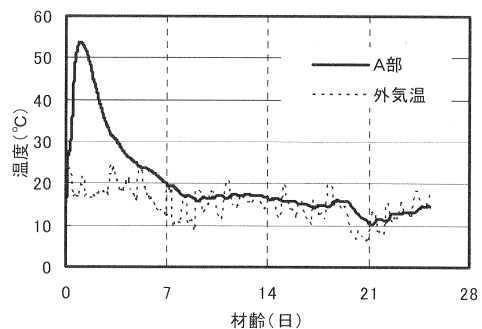


図-4 A部の温度

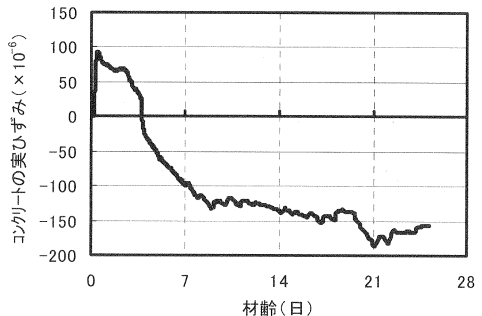


図-5 A部の実ひずみ (膨張ひずみが正)

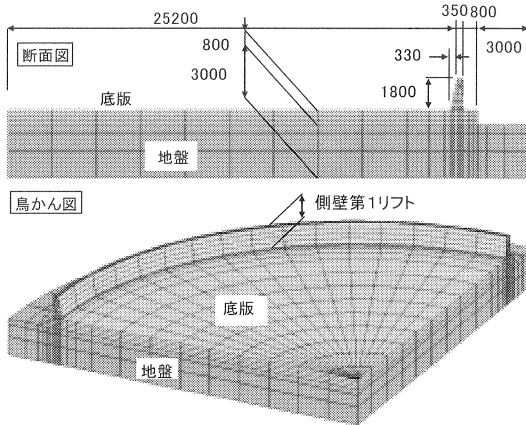


図-6 解析モデル (単位 mm)
使用ソフト: ASTEA-MACS

見かけの線膨張係数を変化させる方法と膨張ひずみを導入する方法を用いて検討を行った。

5.1 見かけの線膨張係数

見かけの線膨張係数を用いる手法は、膨張コンクリートの膨張・収縮挙動を温度に依存する関数とみなし、温度上昇時と温度下降時の見かけの線膨張係数を変化させる方法である。

一般にコンクリートの線膨張係数は $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 一定として扱われるが、若材齢時のコンクリートの線膨張係数は、温度上昇時で異なる値をとる⁶⁾。一方、既往の研究^{4),5)}により、膨張材の効果を解析に反映させる手法として、見かけの線膨張係数を用いる方法が示されている。プレーンコンクリートの温度上昇時の見かけの線膨張係数 (α_1 とする) は自己収縮等の影響により $4 \sim 6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度であるのに対し、温度降下時の見かけの線膨張係数 (α_2 とする) は、一般的な硬化したコンクリートの値である $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度である。また、膨張コンクリートの α_1 はプレーンコンクリートと同等程度であるが、 α_2 は、膨張材による応力緩和から $6 \sim 8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度である。

本検討では、見かけの線膨張係数 α_1 と α_2 を上記の範囲で変動させ FEM 解析を実施し、計測ひずみにほぼ一致する値を求めた。その結果、 $\alpha_1 = 4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、 $\alpha_2 = 7.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となった。なお、 α_1 を大きくすると温度上昇に伴う膨張ひずみが増加し、 α_2 を小さくすると温度下降に伴う収縮ひずみが低減する。解析値と計測値の比較を図-8 に示す。プレーンコンクリートの α_2 を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とすると、 α_2 を通常の 70% にすることにより膨張材の効果を評価することができることが分かった。

5.2 膨張ひずみ

膨張ひずみを用いる手法は、材齢毎の膨張ひずみを各要素に体積ひずみとして導入する方法である。

本検討では、前節同様に計測ひずみに一致する膨張ひずみを式(1)によって考慮した。また、線膨張係数は表-4 に示すプレーンコンクリートの値を用いた。

$$\varepsilon_{EX}(t) = \varepsilon_{max} (1 - e^{-\alpha t}) \cdot \cdot (1)$$

表-3 解析条件^{1)~3)}

項目	地盤	底版	側壁
初期温度 ($^{\circ}\text{C}$)	16.7	16.8	25.1
熱伝導率 ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	3.45	2.7	2.7
比熱 ($\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)	0.79	1.15	1.15
密度 (Kg/m^3)	2650	2400	2400
圧縮強度 (N/mm^2)	-	30	$f_c(t) = \{t/(2.7+0.95t)\} 43.2 \cdot 1.11$
引張強度 (N/mm^2)	-	2.22	$f_t(t) = 0.47 \{f_c(t)\}^{1/2}$
ヤング係数 (N/mm^2)	-	28000	$E_c(t) = \phi(t) \cdot 4700 \{f_c(t)\}^{1/2}$
断熱温度上昇の特性値	Q	-	51.7
	γ	-	1.54
熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)	-	-	脱型後: 12, 養生マット: 5, 型枠: 8
線膨張係数 ($\mu^{\circ}\text{C}$)	10	10	α_1, α_2
ポアソン比	0.2	0.18	0.18

※a 計測値の近似式

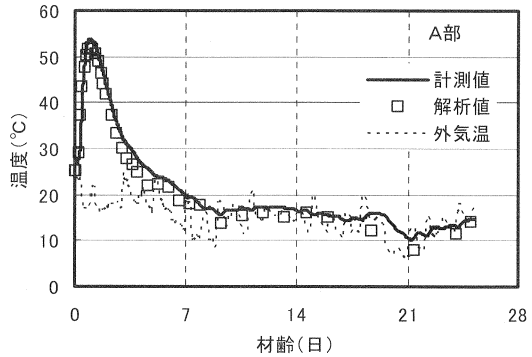


図-7 側壁第1リフトA部の温度

表-4 見かけの線膨張係数

		膨張コンクリート	プレーンコンクリート
見かけの線膨張係数	温度上昇時 (α_1)	$4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
	温度降下時 (α_2)	$7.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

ここに、 $\epsilon_{EX}(t)$: 材齢 t 日の膨張ひずみ ($\times 10^{-6}$),
 ϵ_{max} : 膨張ひずみ ($\times 10^{-6}$), α : 定数, t : 材齢 (日)

その結果、膨張ひずみ $\epsilon_{max} = 100 \times 10^{-6}$ 、定数 $\alpha = 0.2$ とし図-9 に示す膨張ひずみを導入することで、計測値を再現することができた。解析値と計測値の比較を図-10 に示す。膨張材の応力緩和を評価した $\alpha_2 = 7.0$ の代替えに、 α_2 をプレーンコンクリートの値である $10 \times 10^{-6}/\text{C}$ とし、膨張ひずみ 100×10^{-6} を考慮することで、同様の評価ができた。

6. まとめ

PCタンクの側壁下端部における膨張コンクリートの解析手法について検討した結果、以下に示す方法により膨張材の効果を評価できるものとする。

- ・ 温度下降時の見かけの線膨張係数を通常の70%程度とする手法
- ・ 温度下降時の見かけの線膨張係数を通常の値とし、膨張ひずみ 100×10^{-6} を解析で考慮する手法

7. 今後の課題

膨張材の効果はセメントの種類や温度により異なるため、今後さらにデータを蓄積し、本検討の妥当性を確認したい。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編，pp. 44-54, 2002
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，pp. 21, pp. 28, 2002
- 3) 土木学会：最新のマスコンクリート技術，コンクリート技術シリーズ，pp. 8-9, 1996
- 4) 伊藤慎也，笠原正之，丸山久一：水和抑制型高性能膨張材を使用したRC橋脚の温度ひび割れ低減効果，日本コンクリート工学協会膨張コンクリートによる構造物の高機能化／高耐久化に関するシンポジウム論文，pp. 1-6, 2003. 9. 19
- 5) 潮田和司，木内武彦，岡本康，保利彰宏：低熱セメントと膨張材を併用した側壁部の温度応力計測，コンクリート工学年次論文集，Vol. 24, No. 1, pp. 969-974, 2002
- 6) 日本橋梁協会：場所打ちPC床版における膨張材の有効性評価検討報告書，pp. 145, 2004. 10

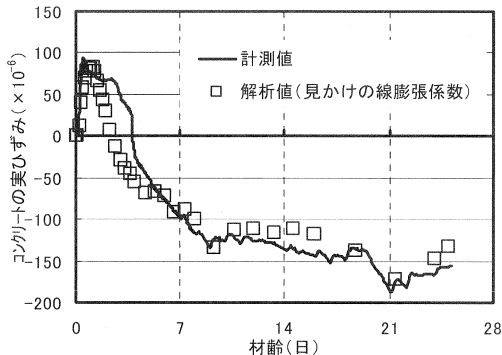


図-8 コンクリートの実ひずみと解析値(1)

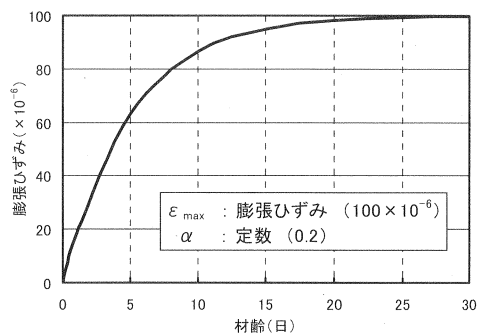


図-9 膨張ひずみ

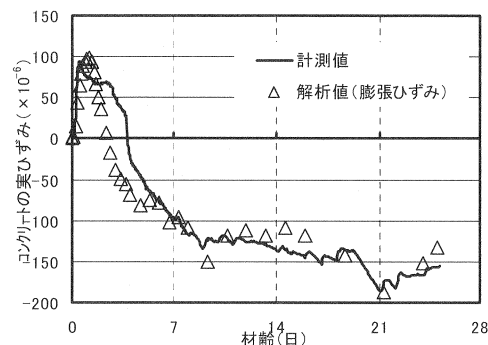


図-10 コンクリートの実ひずみと解析値(2)