

膨張コンクリートのマス養生温度履歴下における膨張ひずみの推定

太平洋セメント(株) 正会員 三谷 裕二 谷村 充 鶴田 昌宏  
 太平洋マテリアル(株) 正会員 佐竹 紳也 佐久間 隆司

1. はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れ対策として膨張材の適用が検討されるケースは多い。最近では、解析技術の進歩により設計段階において膨張材のひび割れ抑制効果を解析的に定量化することが多く行われている。しかし、その精度は入力する物性データの正確さに大きく左右されるものである。膨張コンクリートの膨張性状は、少なからず温度の影響を受けることが知られているが<sup>1)</sup>、未だ定量的に把握することが難しい特性の一つである。そこで、筆者らは既に、マスコンクリート構造物への膨張材の使用を想定し、20～60の温度下でした膨張コンクリートの膨張特性を実験的に検討した<sup>2)</sup>。本報では、この結果に基づいて、膨張ひずみに及ぼす養生温度の影響を定式化するとともに、種々の温度履歴を受ける場合の汎用的な膨張ひずみの推定方法について検討した。

2. 実験概要

表-1に実験の使用材料、表-2に配合条件および配合を示す。石灰系膨張材 30kg/m<sup>3</sup>を混和し、水/(セメント+膨張材)は55%とした。

養生温度は5水準であり20～60の範囲において

10 間隔とした。練混ぜおよび打込みは約20の室内で行った。ただし、30については30の室内で打込んだ。打込み完了後、ブリーディングがある程度終了するまで約1時間30分静置させたのち、表面処理および湿布を施し、所定温度下での養生を開始した。

図-1に自由膨張ひずみ測定用供試体を示す。コンクリートの自由な変形を、型枠が拘束することを防止する方法は、日本コンクリート工学協会・自己収縮委員会の試験方法<sup>3)</sup>にほぼ準拠させた。

また、打設面にはポリエステルフィルムを被せ、乾燥を防止した。

供試体中央部に設置された低弾性型(弾性係数：約40MPa)の埋め込みゲージによってひずみを測定し、ゲージの測定値から温度ひずみを差し引いて自由膨張ひずみとした。ここでの温度ひずみは、コンクリートの線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/$ として算出した。図-2に拘束膨張ひずみ測定用供試体を示す。使用したPC鋼棒は呼び名D13であり、中央部40mm区間を切削してこの中央部分の拘束鋼材比が約1.0%となるよう、円断面に加工した。鉄筋ひずみは切削部の対称面に貼付した自己温度補償型のひずみゲージによって測定した。

3. 膨張ひずみの推定方法

図-3に養生温度20と50における拘束膨張ひずみの経時変化とその近似式を例示する。膨張ひずみは終局膨張ひずみと進行速度の積で表す(1)式を用いて近似することができ、係数、 $\alpha$ 、 $\beta$ を定めることで、任意の温度における膨張ひずみ曲線が求められる。ただし、凝結始発後に膨張ひずみが顕在化したため、材齢の起点は始発とした。

$$(t) = (1 - \exp(-\alpha t)) \beta \dots\dots(1)$$

(t)：時間 t における膨張ひずみ，  $\beta$ ：終局膨張ひずみ，

$\alpha$ ：膨張の進行速度

表-1 使用材料

材料	記号	物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度：3.16g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：3310cm <sup>2</sup> /g
膨張材	EX	石灰系膨張材，密度3.14g/cm <sup>3</sup>
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系
細骨材	S	小笠産陸砂，密度(表乾)：2.59g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：1.63%，FM：2.88
粗骨材	G	岩瀬産砕石 2005，密度(表乾)：2.64g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：0.84%，FM：6.61

表-2 配合条件および配合

設計基準強度 (MPa)	スラブ (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	EX	S	G	SP
30	15±2.5	4.5±1.5	55	47	175	288	30	830	951	0.636

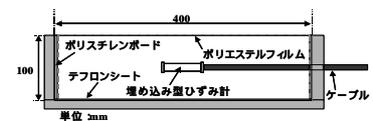


図-1 自由膨張ひずみ測定用供試体

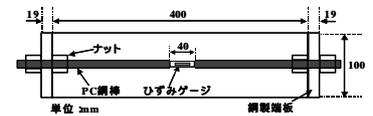


図-2 拘束膨張ひずみ測定用供試体

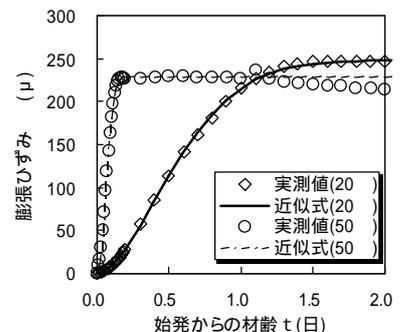


図-3 膨張ひずみと近似式

キーワード：膨張コンクリート，断熱養生，膨張ひずみ，重ね合せ  
 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント中央研究所 TEL043-498-3905

図 - 4 に、別の実験で得られた温度範囲 20 ~ 60 における自由膨張ひずみ(拘束鋼材比 0%)および拘束膨張ひずみ(拘束鋼材比 1.0%)の近似式における係数  $\alpha$ ,  $\beta$  を示す。図中に、各係数を温度の関数で近似した式を併記する。ここで、係数  $\alpha$  は温度の指数関数、係数  $\beta$  は一次関数で近似した。

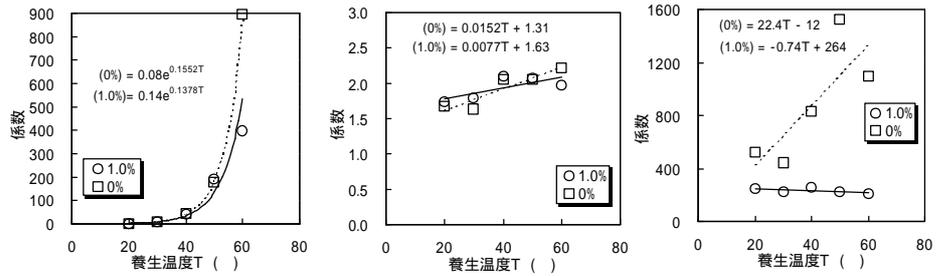


図 - 4 膨張ひずみ近似式の係数

図 - 5 にひずみ曲線の重ね合せ方法を示す。時間  $t_n$  までは温度が  $T_1$ 、時間  $t_n \sim t_{n+1}$  で温度が  $T_2$  の場合を考える。まず、時間  $t_n$  までは温度  $T_1$  の膨張ひずみ曲線  $(t, T_1)$  上を  $(t_n)$  までひずみが増大する。次に、時間  $t_n$  で温度  $T_2$  となった後は温度  $T_2$  の膨張ひずみ曲線  $(t, T_2)$  上でひずみが増大する。そのとき、(2)式に示すように、A 点で温度が変化した直後の膨張ひずみの速度は、温度  $T_2$  と膨張ひずみ  $(t_n)$  によって決まるとした。したがって、 $(t_{n+1})$  は B 点から A 点に平行移動した温度  $T_2$  の膨張ひずみ曲線上 C 点に達する。尚、この膨張ひずみの重ね合せの概念は、江渡ら<sup>4)</sup>が過去に報告している。

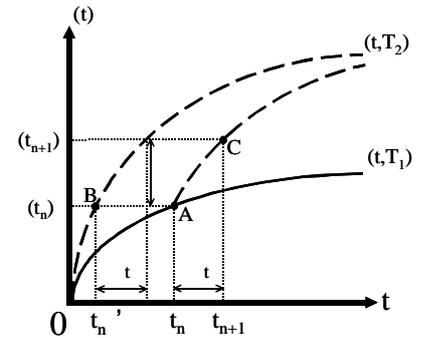


図 - 5 膨張ひずみの重ね合せ

$$\epsilon(t_{n+1}) = \epsilon(t_n, T_1) + \alpha(T_2 - T_1) \cdot t = \epsilon(t_n, T_1) + \alpha(T_2 - T_1) \cdot (t_n' + t) - \alpha(T_2 - T_1) \cdot t_n' \dots (2)$$

4 . 実測値と推定値の比較検討

図 - 1, 2 と同一の供試体を空気循環式断熱温度上昇試験装置の断熱槽内で養生し、自由膨張ひずみ、拘束膨張ひずみ、および供試体の内部温度を 15 分間隔で測定した。そして、前述の方法を用いて、測定された温度履歴から自由膨張ひずみと拘束膨張ひずみを推定し、実測値と比較した。ここで、時間  $t_n$  で温度  $T_n$ 、時間  $t_{n+1}$  で温度  $T_{n+1}$  の場合、 $t_n \sim t_{n+1}$  での温度は平均値  $(T_n + T_{n+1})/2$  とした。

図 - 6, 7 に断熱養生下における自由膨張ひずみおよび拘束膨張ひずみの推定値と実測値を示す。また、図中に温度履歴も併せて示す。自由膨張ひずみは、最大ひずみを実測値 806  $\mu$  であったのに対して、推定値は材齢 0.4 日の時点で 1138  $\mu$  となり、さらに増大する傾向となった。これは、係数  $\alpha$  が養生温度の上昇に伴って、増大する 1 次関数となっているためである。温度範囲 20 ~ 60 における実験結果では、50 以上になると自由膨張ひずみは規則的な傾向を示していないが、温度の上昇に伴って膨張ひずみが増加し続けるのではなく、頭打ちの状態になると考えられる。そのため、50 以上における最大の自由膨張ひずみは一定値とするなど、係数  $\alpha$  の設定にはさらに検討が必要である。一方、拘束膨張ひずみは、最大ひずみを実測値 238  $\mu$ 、推定値 226  $\mu$  と約 4% の差であり精度良く推定できた。拘束膨張ひずみが自由膨張ひずみと比較して相対的に温度の影響が小さいことが一因である。また、最大ひずみを示す材齢は、実測値 0.39 日、推定値 0.36 日であり、ひずみの進行速度についても大きな差はなかった。始発時間の設定方法を検討することにより、さらに精度の高い推定が可能であると考えられる。

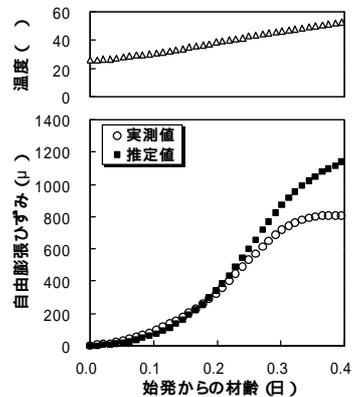


図 - 6 自由膨張ひずみ

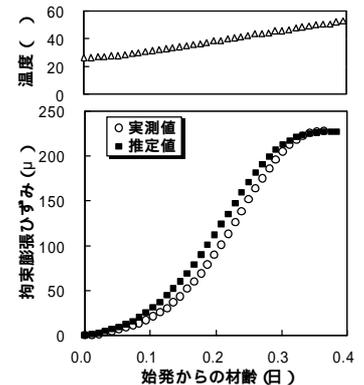


図 - 7 拘束膨張ひずみ

【参考文献】

- 1) 戸川 ほか：膨張コンクリートの拘束膨張特性におよぼす温度の影響，セメント技術年報 35, pp.277-281,1981
- 2) 三谷 ほか：膨張材を混和したコンクリートの拘束膨張特性に及ぼす養生温度の影響，コンクリート工学年次論文集 2003 (投稿中)
- 3) 日本コンクリート工学協会，自己収縮研究報告書，pp.195-198,1996
- 4) 江渡正満，丸山久一：温度履歴が膨張コンクリートの膨張性状に及ぼす影響，第 37 回土木学会年次講演会講演概要集 V pp.169-170,1982