

マス養生温度履歴を受けた膨張コンクリートの膨張応力算定法

太平洋セメント(株) 正会員 ○三谷 裕二 松本 健一 谷村 充
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

温度ひび割れ低減対策として膨張材の適用が検討されるケースは多い。一方で、その使用効果を精度良く定量化する手法の確立が望まれている。これまでに筆者らは、種々の一定温度下における拘束膨張ひずみを基に、見かけの膨張ひずみおよび見かけのヤング係数の定め方を提示し、各々の温度依存性を考慮した膨張応力の算定法について検討してきた¹⁾。本報では、まず、見かけの物性値の発現性状に及ぼす温度履歴の影響を検討した。さらに、両者を用いた膨張応力の算定法を提示し、実構造体を想定したマス養生温度履歴を受けた場合の膨張応力を推定し、実測値と比較検討した。

2. 実験概要・実験結果

実験概要：配合条件は設計基準強度 30N/mm²、スランプ 15±2.5cm、空気量 4.5±1.5%とし、普通ポルトランドセメントに石灰系膨張材 30kg/m³を混和した水/（セメント+膨張材）比 55%の一般的な収縮補償用コンクリートを用いた。練混ぜは全て 20℃、R.H.80%の試験室内で行った。

養生温度は 20, 40, 60℃の一定温度 3 水準とし、打込みからブリーディングがある程度終了するまで約 20℃の室内に静置した後、乾燥を防止する処置を施し、所定温度の恒温槽内に投入した。

供試体には PC 鋼材と 2 枚の拘束端板からなる一軸拘束供試体（断面：100×100mm、長さ：400mm）を用い、拘束鋼材比は 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 8.0% の 6 水準である。拘束膨張ひずみは鋼材中央部に貼付した自己温度補償型ひずみゲージより測定した。

実験結果および考察：図-1 に 40℃における拘束膨張ひずみと拘束鋼材比の関係の経時変化を例示する（自由膨張ひずみの結果を併記）。両者には、筆者らが拘束鋼材比 0.5～1.5%について報告したように¹⁾、下に緩やかな凸の曲線的な関係が見られる。両者の関係に力の釣合いとひずみの適合条件に基づく式を適用し¹⁾、各養生温度における見かけの膨張ひずみおよび見かけのヤング係数を定め、各々の温度依存性を考慮した算定式を定めた（図-2 および図-3）。

3. 見かけの膨張ひずみおよび見かけのヤング係数の発現性状

見かけの膨張ひずみおよび見かけのヤング係数のマス養生温度履歴下における発現性状について検討する。検討に際し、JCI マスコンクリート委員会報告書²⁾に示されている壁状構造体（高さ 2000mm、幅 1800mm）について断面中央の下層、中層、および上層（高さ 200mm、1000mm、1800mm）における温度履歴を 2次元 FEM 温度解析より求めた 3 水準のマス養生温度履歴を設定した。図-4 に供試体中心部の温度履歴を示す。最高温度は上層で約 35℃、中層で約 60℃、下層で約 50℃であった。

見かけの膨張ひずみ：温度履歴下における見かけの膨張ひずみは、図-2 より求めた一定温度下の膨張ひずみ曲線を図-5 の方法で重ね合わせて算出することとした。図中では、有効材齢 t_{en} までは温度 T_1 、有効材齢 $t_{en} \sim t_{en+1}$ は温度 T_2 の場合について例示している。まず、有効材齢 t_{en} までは、温度 T_1 の膨張ひず

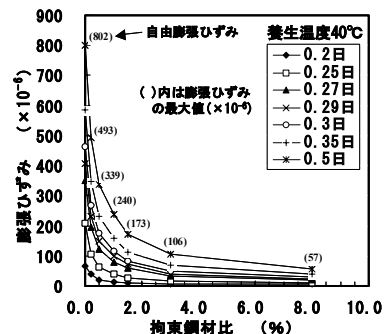


図-1 拘束膨張ひずみと拘束鋼材比

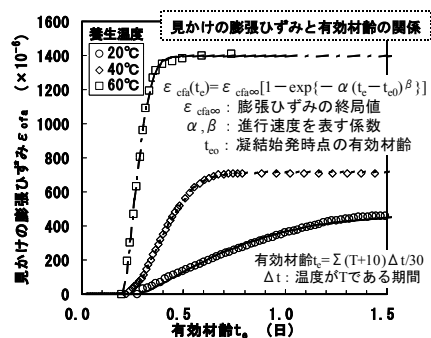


図-2 見かけの膨張ひずみの定式化

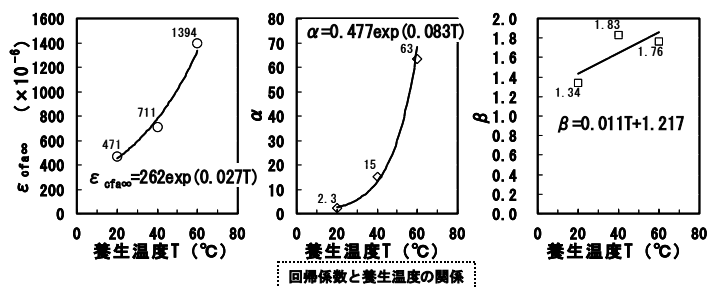


図-3 見かけのヤング係数の定式化

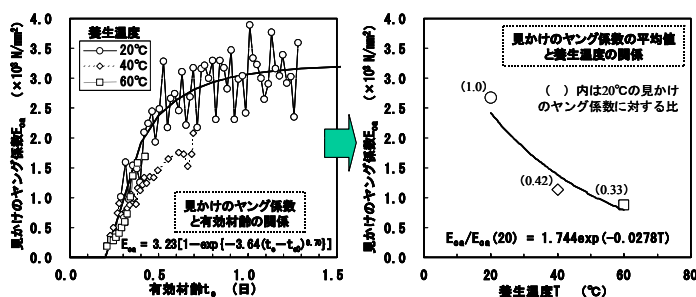


図-4 見かけのヤング係数の定式化

キーワード：膨張コンクリート、マス養生温度履歴、膨張応力、算定法

〒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 TEL043-498-3855

み曲線 $\varepsilon(t_e, T_1)$ 上をひずみが増大し、A 点に達する。次に、有効材齢 t_{en} で温度が T_2 となった後は、温度 T_2 の膨張ひずみ曲線 $\varepsilon(t_e, T_2)$ 上をひずみが増大する。その際、温度が変化し直後のひずみの膨張速度は、その時点の温度と有効材齢に依存するとした。従って、有効材齢 t_{en+1} には、温度 T_2 の膨張ひずみ曲線 $\varepsilon(t_e, T_2)$ 上の曲線 CD を A 点に平行移動して B 点に達する。

図-6 に拘束膨張ひずみの実測値に基づく見かけの膨張ひずみと推定値を比較して示す。上層の温度履歴の場合、計算値は実測値を若干過大に評価しているものの、中層や下層の温度履歴については、膨張ひずみの発現速度および最大値を良く評価している。

見かけのヤング係数の発現性状：図-7 は見かけのヤング係数を推定した結果である。図中の計算値 1 は図-3（左図）に示した見かけのヤング係数と有効材齢の関係式のみを用いて推定した結果であり、実測値をかなり過大に評価している。一方、計算値 2 は計算値 1 の見かけのヤング係数を、さらにその時点の温度に依存させて図-3（右図）に示した回帰式より低減した場合であり、実測値と良く対応している。

4. 温度履歴下における膨張応力算定法

以上の検討結果に基づき、任意のマス養生温度履歴を受ける場合の膨張応力の算定法を提示した。図-8 に膨張応力算定のフローを示す。見かけの膨張ひずみは、一定温度下における膨張ひずみ曲線を重ね合わせて求め、見かけのヤング係数は、有効材齢との関係式のみを用いる場合、およびさらにその時点の温度に依存させた低減を加味する場合の両者について検討した。膨張応力はコンクリートと鋼材の力の釣り合い、および両者のひずみが同値であるという適合条件に基づく（1）式より算出した。

$$\sigma_c = \sum_{i=1}^n \Delta \sigma_c(t_i) = E_s \cdot p \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \varepsilon_{cfa}(t_i) / \{1 + p \cdot E_s / E_{ca}(t_i)\} \quad (1)$$

ここに、 σ_c は膨張応力、 $\sigma_c(t_i)$ はステップ t_i での膨張応力、 p は拘束鋼材比、 E_s は鋼材のヤング係数

ここで、応力算定における始発時点の有効材齢 t_{e0} は、凝結試験において養生温度の影響が小さかったことより、その平均値 0.227 日を用いた。

図-9 に拘束鋼材比 0.2, 1.5, 8.0% の膨張応力の実測値と計算値を示す。実測値をみると、温度履歴に依存して発現速度は明確に異なるが、最大値は同一拘束鋼材比で大差ないことが認められる。実測値と比較すると、計算値 1 はかなり過大評価しているが、見かけのヤング係数に温度に依存した低減比を考慮した計算値 2 では、実測値を概ね良く評価できている。

これより、マス温度履歴下における膨張応力は、見かけの膨張ひずみを重ね合わせることで、および有効材齢と見かけのヤング係数の関係に、温度に依存した低減を加味することにより概ね推定できることを示した。今後は実構造物の応力解析に本手法を適用し、検証を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 三谷ほか：マス養生温度下における膨張コンクリートの膨張応力評価法について、コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.225-230, 2004
- 2) 日本コンクリート工学協会, マスコンクリートソフト作成委員会報告書, pp.124-126, 2003

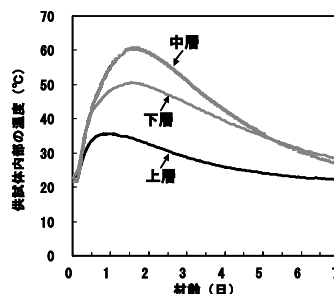


図-4 供試体内部の温度履歴

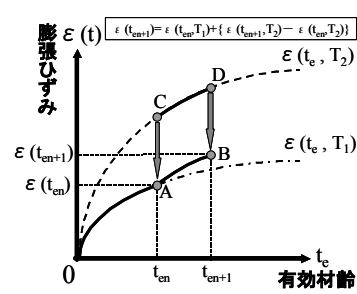


図-5 重ね合わせ法

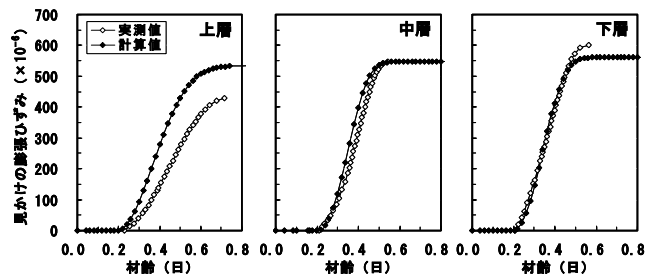


図-6 見かけの膨張ひずみの推定結果

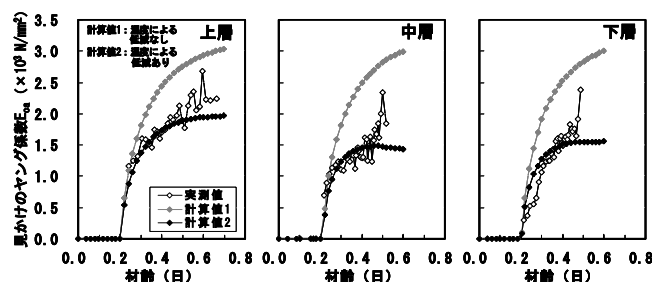


図-7 見かけのヤング係数の推定結果

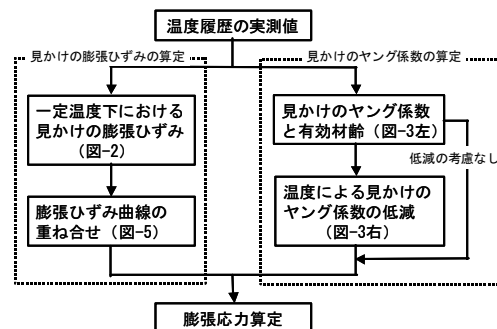


図-8 膨張応力の算定フロー

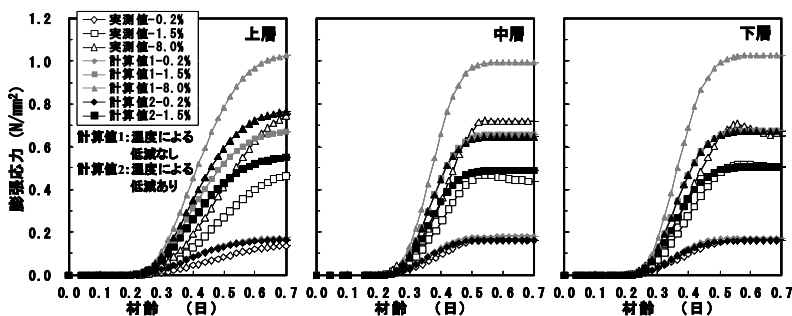


図-9 膨張応力の推定結果