

マス養生温度履歴を受ける膨張コンクリートの膨張応力評価法

太平洋セメント(株) 正会員 ○三谷 裕二 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

近年、膨張材による温度ひび割れ低減効果を解析的に評価することが一般化している。一方で、解析精度を大きく左右する入力値、すなわち膨張コンクリートの材料特性に関するデータの整備は未だ十分ではなく、特に養生温度の影響を把握することは重要な課題である。筆者らは、一般的な収縮補償用コンクリートを対象に、膨張特性を中心とした諸特性の温度依存性について実験的に検討してきた¹⁾。本報では、20～60℃の一定養生温度下における拘束膨張ひずみを実験的に把握し、その結果より、応力算定に用いる見かけのヤング係数の温度依存性について検討するとともに、これを用いたマス養生温度履歴下における膨張応力の評価法を提示し、検討を加えた。

2. 実験概要

表-1 に使用材料、表-2 に配合を示す。用いたコンクリートは水/(セメント+膨張材)比55%、単位膨張材量30kg/m³の一般的な収縮補償用コンクリートである。

養生温度は20～60℃の範囲において10℃間隔の5水準、およびマス養生温度履歴を想定した断熱養生とした。練り混ぜは全て20℃、R.H.80%の試験室内で行い、打込みからブリーディングがある程度終了するまで20～30℃の室内に静置した後、仕上げ面にポリエステルフィルムを被せた上を湿布で覆った状態で、所定温度の恒温槽内または断熱温度上昇試験装置内に投入した。

図-1 に拘束供試体の形状、寸法を示す。拘束鋼材比は0.5、1.0、1.5%の3水準とした。拘束膨張ひずみは、鋼材中央部の対称面に貼付した2枚の自己温度補償型ひずみゲージで測定した。図-2 に無拘束供試体の形状、寸法を示す。JCI 自己収縮研究委員会の試験方法(案)²⁾を参考に、コンクリートの自由な変形が型枠によって拘束されるのを防ぐ処置を施した。ひずみは供試体中心部に設置した低弾性型の測温機能付き埋込み型ひずみ計によって測定し、実ひずみ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、温度ひずみはコンクリートの線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ として求めた。

3. 実験結果

図-3 に実験結果の一例として20、40、および60℃で養生した場合の膨張ひずみと拘束鋼材比の関係の経時変化を示す。材齢の最終値は膨張ひずみがほぼ最大となった時点である。自由膨張ひずみは養生温度の上昇に伴って大きくなる傾向を示し、40、60℃において20℃の約1.5～2.0倍となる。一方、拘束膨張ひずみは、ひずみの絶対値で見ると、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。

4. 見かけのヤング係数の温度依存性および膨張応力評価法の検討

図-3 から拘束膨張ひずみと拘束鋼材比には双曲線様の関係が見られるため、両者の関係を力の釣合いとひずみの適合条件に基づく曲線式(1)で回帰することを考えた。図-4 は一例であるが、回帰曲線と実測値は概ね良く対応しているといえる。式(1)には ϵ_{cfa} および E_{ca} の2つの未知数が含まれており、拘束鋼材比0%における膨張ひずみ ϵ_{cfa} はいわゆる自由膨張ひずみとは異なるものであり、また、 E_{ca} は時々刻々と変化する膨張応力による弾性ひずみとクリープひずみの両者が考慮されたヤング係数と見なすことができる。ここではこれらを見かけの膨張ひずみ、お

キーワード：膨張コンクリート、マス養生温度、膨張応力、評価法、見かけのヤング係数
〒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 TEL043-498-3909

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 ³ , 比表面積:3310cm ² /g
膨張材	EX	石灰系膨張材/密度:3.14g/cm ³
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/表乾密度:2.59g/cm ³ , 吸水率:1.63%, 粗粒率:2.88
粗骨材(2005)	G	岩瀬産碎石/表乾密度2.64g/cm ³ , 吸水率:0.84%, 粗粒率:6.61

表-2 配合条件および配合

設計基準強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
					W	C	EX	S	G	SP
30	15±2.5	4.5±1.5	55	47	175	288	30	830	951	0.636

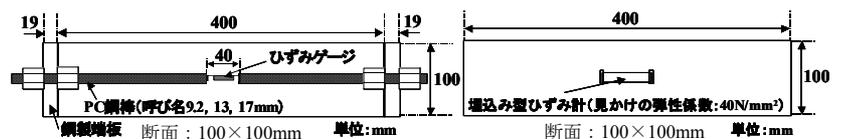


図-1 拘束供試体

図-2 無拘束供試体

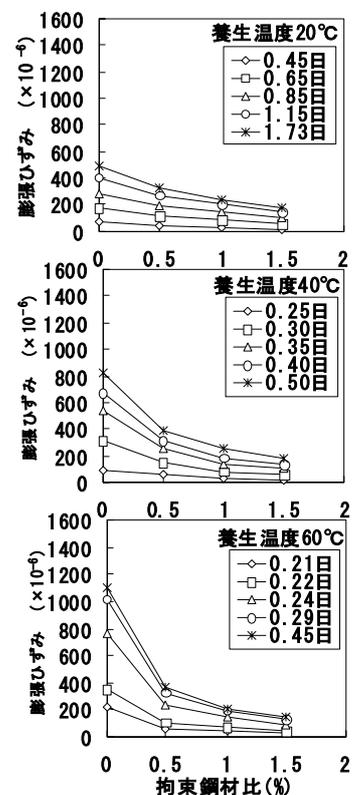


図-3 膨張ひずみと養生温度

よび見かけのヤング係数と称する。

$$\Delta \varepsilon_s(t_i) = \Delta \varepsilon_{cfa}(t_i) / \{1 + p \cdot E_s / E_{ca}(t_i)\} \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon_s(t_i)$ はステップ t_i での拘束膨張ひずみ、 $\varepsilon_{cfa}(t_i)$ はステップ t_i での見かけの膨張ひずみ、 $E_{ca}(t_i)$ はステップ t_i での見かけのヤング係数、 E_s は鋼材のヤング係数、 p は拘束鋼材比

養生温度 20~60℃における拘束膨張ひずみの実測値に基づいて、式(1)より回帰を行い、見かけの膨張ひずみ、および見かけのヤング係数を求めた。ここで、材齢初期は、膨張ひずみの変化量が小さいために、計算誤差が大きくなることから、膨張ひずみが顕著になる凝結の終結時から、膨張ひずみがほぼ最大となる期間において、養生温度 20, 30℃は約1時間、40, 50, 60℃は約30分間隔の実測値を基に算定している。

図-5 は見かけのヤング係数と積算温度方式に基づく有効材齢の関係を示す。図中には関係式を併記している。図-6 は見かけのヤング係数と養生温度の関係を示しており、算定した期間における見かけのヤング係数の平均値は養生温度の上昇に伴って、直線的に小さくなっている。図中にはこの平均値について 20℃を基準とした場合の回帰直線式を示した。

次に、上記の検討に基づき、マス養生温度履歴を受ける場合の膨張応力の評価法について検討した。図-7 に評価法の概要を示す。見かけの膨張ひずみの発現は、筆者らが過去に報告を行った膨張ひずみ曲線の重ね合せ法³⁾により、また、見かけのヤング係数は、図-5 に示した有効材齢との関係式に、図-6 に示した養生温度による見かけヤング係数の低減比を乗じて求めることとした。

断熱温度上昇履歴下における膨張応力について、本評価法による推定値と実測値を比較した結果を図-8 に示す。図中の計算値①は見かけのヤング係数に温度履歴の影響のみを考慮した場合、計算値②はそれに温度による低減比を加味した場合の結果である。計算値①では膨張応力を過大評価するのに対し、計算値②では実測値を精度良く評価できており、膨張ひずみの重ね合せ法と温度依存性を考慮した見かけのヤング係数によって、膨張応力を概ね推定することが可能といえる。

6. まとめ

膨張ひずみ、および見かけのヤング係数の温度依存性を考慮した膨張応力の評価法を検討し、マス養生温度履歴下における膨張コンクリートの膨張応力を概ね推定できる可能性を示した。今後は、実構造体における高い拘束度を想定した実験を行い、本報と同様の検討を行って、上記した評価法の適用性について検討を加える予定である。

【参考文献】 1) 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，Vol.25，No.1，pp.155-160，2003
 2) 日本コンクリート工学協会，コンクリートの自己収縮研究委員会報告書，pp.51-54，2002
 3) 三谷ほか：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，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，2003

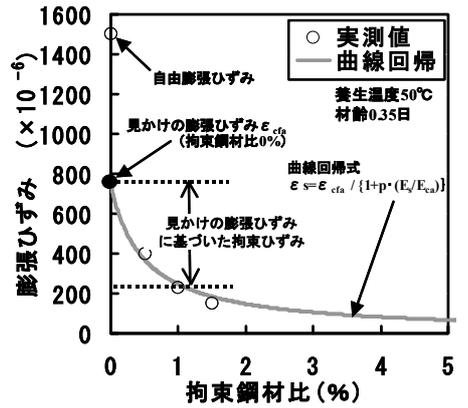


図-4 拘束膨張ひずみと拘束鋼材比

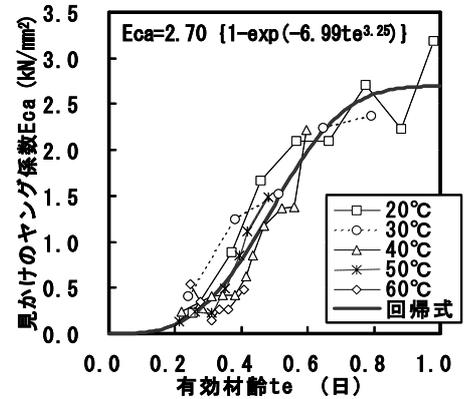


図-5 見かけのヤング係数と有効材齢

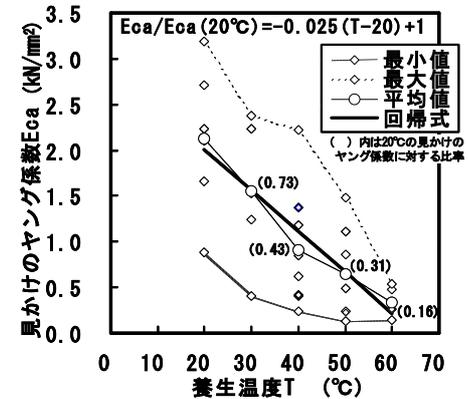


図-6 見かけのヤング係数と養生温度

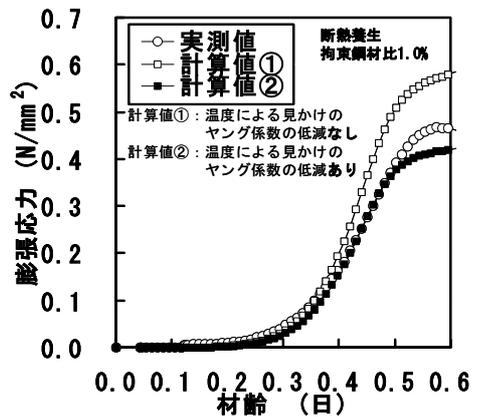


図-8 膨張応力の推定結果

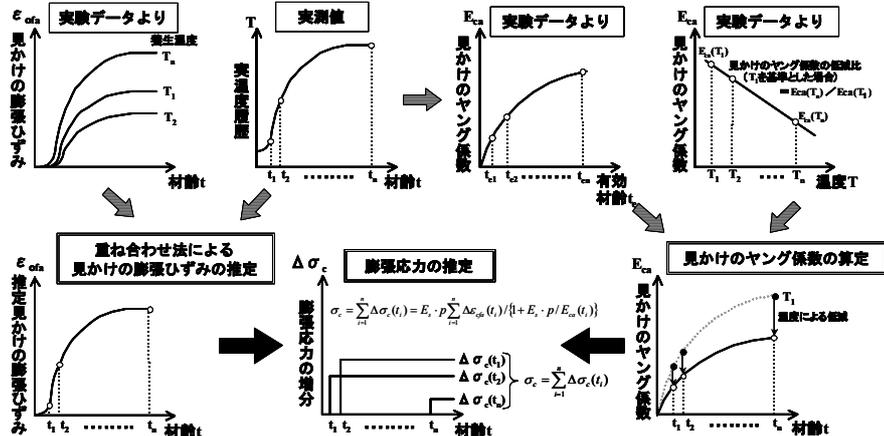


図-7 膨張応力評価法の概要