

若材齢コンクリートにおける熱膨張係数推定法の提案

コンクリート工学研究室 杉本 将仁

1. はじめに

コンクリート構造物の施工時に発生する温度ひび割れの制御法を検討するためには、温度応力を正確に把握する必要がある。温度応力を解析的に検討するにあたっては、熱膨張係数は重要な物性値である。硬化コンクリートの熱膨張係数はほぼ一定値であるのに対し、若材齢期においては凝結の始発から終結にかけて大きく変化する傾向がある。しかし、若材齢コンクリートの熱膨張係数の推定法については未だ確立されていないため、一般に解析では、 $10(\times 10^{-6}/)$ を一定値としている。従って、より精度の高い温度応力解析を行うためには、熱膨張係数の材齢に伴う変化を推定する必要がある。そこで本研究では、多相材料理論より若材齢コンクリートの熱膨張係数を推定できる簡易モデルを提案する。また、若材齢コンクリートの熱膨張係数を実験的に推定する。さらに、橋脚を解析対象モデルとした温度応力解析を実施した。

2. 熱膨張係数推定式の提案

既往の文献¹⁾より若材齢コンクリートの熱膨張係数は凝結の始発付近から終結にかけて急激に変化し、終結以降はほぼ一定値に落ち着く傾向にあることが報告されている。そこで、本研究ではコンクリートを多相材料とみなし、配合からコンクリートの熱膨張係数を推定できる簡易モデルを提案する。図-1に熱膨張係数推定式概念図を示す。

初期値の熱膨張係数算出法

コンクリートを水、セメント、骨材の三相複合材料と仮定し、さらに各構成材料に温度変化が生じたときすべての成分の熱膨張が等方変化すると仮定し、初期の熱膨張係数は式(1)で求める。また、コンクリート打設直後から凝結の始発までは流動性が大きく応力が発生しないと考えられるので、熱膨張係数は考慮しない。従って、配合から初期の熱膨張係数を算出した値を凝結の始発の熱膨張係数と仮定する。

$$c_1 = \frac{V_w}{V_w + V_s + V_a} c_w + \frac{V_s}{V_w + V_s + V_a} c_s + \frac{V_a}{V_w + V_s + V_a} c_a \quad (1)$$
ここに、 (c_1, c_s, c_w) :コンクリートの初期値,セメント,水の熱膨張係数($\times 10^{-6}/$), (V_w, V_s, V_a) :水,セメント,骨材の容積率

終結の熱膨張係数の算出法

凝結の終結以降の熱膨張係数は、一定値と考えコンクリートをセメントペーストと骨材の二相複合材料と仮定し、凝結の終結以降の熱膨張係数は式(2)で求める。

$$c_2 = \frac{V_p}{V_p + V_a} c_p + \frac{V_a}{V_p + V_a} c_a \quad (2)$$
ここに、 (c_2, c_p, c_a) :コンクリートの終結,セメント,骨材,の熱膨張係数($\times 10^{-6}/$), (V_p, V_a) :セメントペースト,骨材,の容積率

凝結の始発および終結の時間の算出法

凝結の始発および終結の時間は式(3)(4)で示すように、丸山ら²⁾の実験式を積算温度で評価して用いた。

$$M_s = (9.18x + t_s)30 \quad (3)$$

$$M_f = (12.0819x + T_f)30 \quad (4)$$

ここに、 M_s, M_f :始発,終結時間に相当する積算温度(\cdot hr), $x=W/C-0.25$ ($0.25 < W/C < 0.65$), 普通ポルトランドセメント ($t_s=2.45, t_f=3.483$)

熱膨張係数推定式

図-1に示すように、本研究で提案する熱膨張係数推定式はコンクリート打設直後から凝結の始発までは熱膨張係数を考慮せず、凝結の始発および終結の熱膨張係数を線形補間し、終結以降の熱膨張係数を一定値と考えるものである。

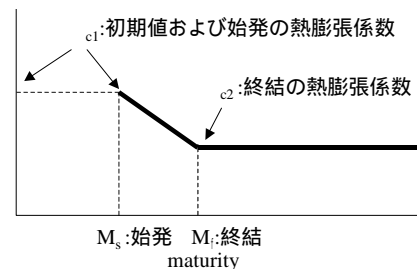


図-1 熱膨張係数推定式概念図

3. 実験概要

本研究で用いる供試体寸法および計測装置を図-2, 3に示す。コンクリート打設直後、供試体上面にL型フックとアルミ板を組み合わせたターゲットを設置することで、全体の変位を捉える。本計測装置は、インバル鋼製測定台に供試体を配置し、ccd レーザー変位計(分解能 1/10000 mm)を用いてターゲットの移動量を計測することにより、打設直後の極若材齢からの熱膨張係数を計測することが可能である。

4. 実験結果および実験値と推定式の比較

図-4に熱ひずみから算出した熱膨張係数および貫入抵抗を積算温度で整理した関係について示す。熱膨張係数は、凝結の始発である 191(・hr)程度で最も大きく 15~18($\times 10^{-6}$)程度で、その後、凝結の進行に伴い減少している。終結以降の熱膨張係数は、8~12($\times 10^{-6}$)程度の範囲に収束している。また、実験値と推定式を比較すると凝結の始発は推定式のほうが30(・hr)早いほぼ同様の变化を示す。

5. 熱膨張係数を考慮した温度応力解析

実験値の近似式と推定式および通常設計値としてよく用いられる 10($\times 10^{-6}$)を用いた場合の温度応力解析を実施し、温度応力発現に及ぼす熱膨張係数の影響を検討する。解析対象モデルは橋脚とし図-5に示す。図-6に橋脚表面および中心付近の温度履歴を示す。図-7 応力計算結果を示す。橋脚の中心部、

表面部ともに 10($\times 10^{-6}$)を一定値とした場合より実験値および推定式を用いた方が材齢初期における応力の絶対値を大きく評価した。

6. 結論

- (1)本研究で提案した熱膨張係数推定式を用いると若材齢コンクリートの熱膨張係数をおおよそではあるが推定することができた。
- (2)実験値および提案した推定式を用いると、従来設計で用いられている 10($\times 10^{-6}$)を一定値とした場合に比べ、表面部の引張応力を大きく評価する結果となった。すなわち、橋脚表面付近のコンクリート応力は、実験値および提案した推定式を用いた方が温度ひび割れの可能性を安全側に評価する。

【参考文献】

- 1) 小澤満津雄: 岐阜大学学位論文, 2004, 2.
- 2) 丸山一平: 凝結時間 GA 実装. <http://bme.tu-tokyo.ac.jp>, 2000.

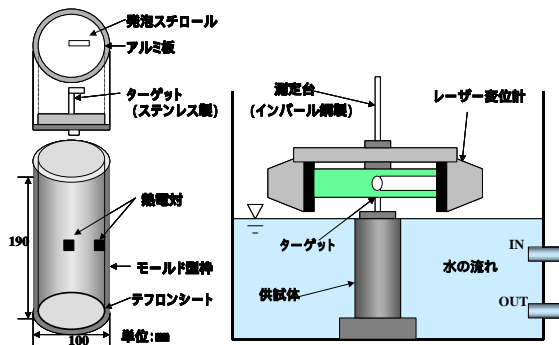


図-2 供試体寸法

図-3 計測装置

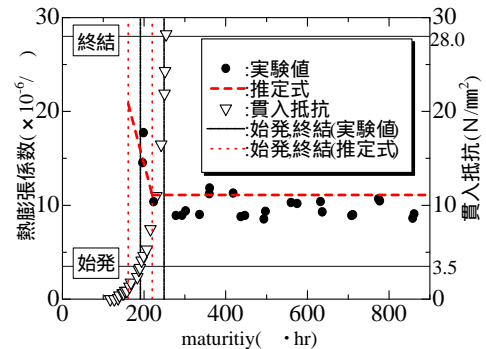


図-4 熱膨張係数と凝結過程の関係

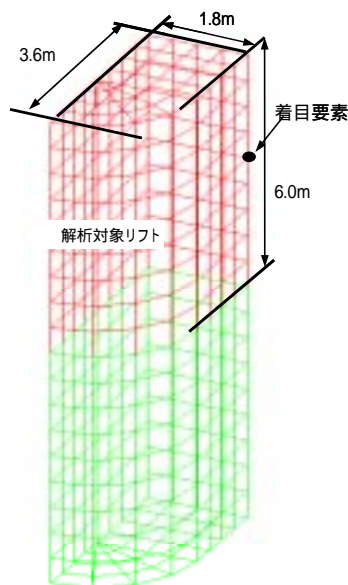


図-5 解析対象モデル(1/4モデル)

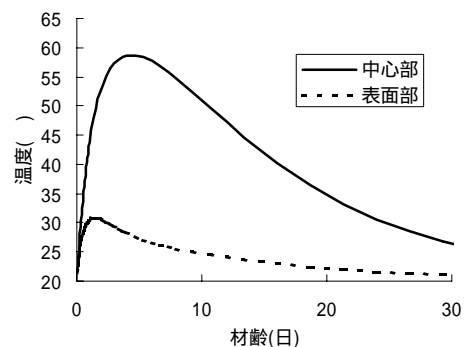


図-6 温度履歴(表面, 中心)

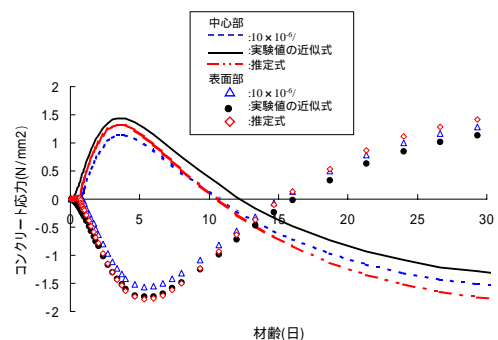


図-7 コンクリート応力計算結果