

村本建設株式会社 正会員 ○村本 吉弘
京都大学 工学部 正会員 岡田 清
京都大学 工学部 正会員 宮川 豊章

1. はじめに 近年、コンクリート構造物はますます巨大化の傾向にあるが、マッシブなコンクリート構造物においては、硬化発熱にともなう内部温度が著しく上昇し、その結果、断面内に生じる大きな温度勾配に起因してひびわれの発生を招くことがしばしばある。本研究では、マスコンクリート内部において予想される種々温度履歴下での強度、弾性係数の発現状況を測定するとともに、マッシブな橋脚ならびにはり部材と想定した模型試験によって、型わく材質の影響も含めて、それらの内部温度特性を検討した。また、これらをもとに熱応力算定における内部物性の取扱いに関しても若干の考察を試みた。

2. 実験概要 従来の研究によると、断面が3m程度以上のマスコンクリートでは材令3日程度で最高温度を示すものが多いようである。図-1でType aは断面が非常に厚いコンクリートの中心部の極限の温度履歴も、Type bは断面が比較的薄い場合、または断面が厚くても表面に近い位置の温度履歴を示し、実際にはこれらの中間にあるものが多いようである。本実験では、このスタイルを基本にし、次に示すi)~vii)の7ケースの温度履歴を円柱供試体(10φ×20cm)に与え、材令1, 3, 5, 14, 28日の圧縮強度 σ_c 、引張強度 σ_t 、弾性係数 E_c と測定した。供試体は1ケースで30本作製した。

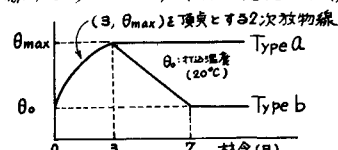


図-1 コンクリートによる温度履歴

配合	スラング	空気量	W/C	S/A	単位量 (kg/m³)			
最大寸法 (mm)	(%)	(%)	(%)	(%)	W	C	S	G
20	8.1	3.5	4.5	4.3	170	380	760	1000

表-1 示方配合

- i) 10℃一定 ii) 20℃一定 iii) $\theta_{max}=30^\circ\text{C}$ でType b iv) $\theta_{max}=45^\circ\text{C}$ でType a
v) $\theta_{max}=45^\circ\text{C}$ でType b vi) $\theta_{max}=60^\circ\text{C}$ でType a
vii) $\theta_{max}=60^\circ\text{C}$ でType b

いずれの場合も打込温度 θ_0 を20℃とし、打設後直ちに恒温恒湿槽(田葉井製作所社製)に入れて3時間20℃に保持した後、所定の温度履歴(小刻の階段状, 95% RH)を与えた。ただし、i)の場合は打設後直ちに恒温恒湿槽で10℃に保った。またType a, bはそれぞれ14日, 7日以降20℃の恒温室に移し、湿布養生に切替えた。

示方配合は橋脚やその張出ばり、あるいは最近の大型RC, PC構造を参考にして表-1のようにし、混和剤としては遅延型減水剤ポズリヌNo.8とAE剤No.303Aを使用した。

得られた試験結果のうち、脆度係数 α/α_0 の経時変化を図-2に、 α_c , α_t , E_c とマチュリティ $M=\Sigma(\theta+10)t$ ($^\circ\text{C}\cdot\text{h}$)で整理したものを図-3に示す。ま

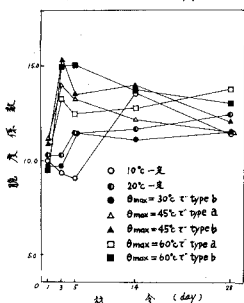


図-2 脆度係数の経時変化

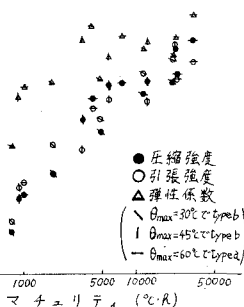
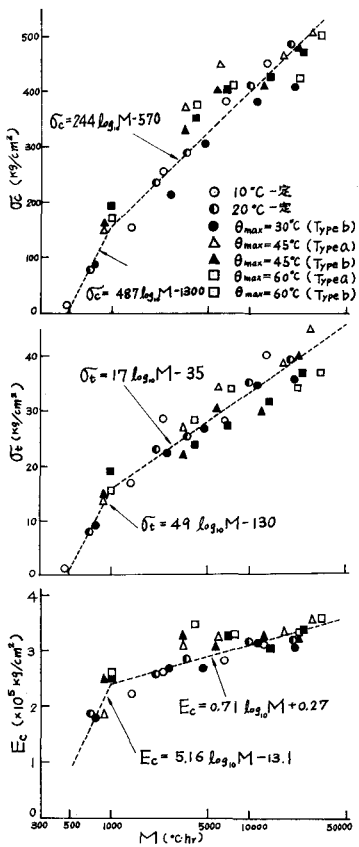


図-4 強度および弾性係数の発現傾向

図-3 $\sigma_c, \sigma_t, E_c \sim M$ 関係

た、強度および弾性係数の発現傾向を明確にするために、それぞれの測定値も、20℃一定養生を行なう供試体の材令28日における測定値で除して無次元化し、その値とマチュリティとの関係を示したのが図4である。

次に、表-1の配合により図-5に示すようなType AとType Bの2型式のモデル試験体を作製した。Type Aは上下面の型わくの外側に厚さ5cmの発泡スチロールを密着して断熱に近い状態に保ち、4側面の型わくから放熱するようにしたもので、これは例えば橋脚等をモデル化している。このタイプには合板型わく(厚さ12mm)のもの(AP)とメタルフォーム型わく(厚さ3mm)のもの(AM)の2種類がある。一方、Type Bは、はり部材を想定したもので、相対する2側面を断熱に近い状態に保ち、上面にはシートをかぶせ、他の面には合板型わく(厚さ12mm)を用いた。打設は冬期(12月初旬)に行ない、材令5日で断熱面以外を脱型し、シートもとりはずした。コンクリートの内部温度およびひずみの測定は、埋込型ゲージ(東京測器社製、KM-100T)を用い、打設後2日目までは1時間間隔で、それ以降は3時間間隔で実施した。得られた試験結果の一例を図-6～図-8に示す。なお、図-8の計算値は、使用コンクリートの実測断熱温度上昇に最も近似する式 $\theta = 44.6(1 - e^{-0.057t})$ (℃) (t:時間)を用いて断面のメッシュ間隔を5cm、時間刻みを6分として非定常熱伝導方程式を2次元解析したものである。熱特性値は従来解析に用いられている代表的な値を参考にして、コンクリート:熱伝導率 $2.00 \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$ 、熱拡散率 $0.0033 \frac{\text{m}^2}{\text{hr}}$ 、型わく:合板とメタルフォームの熱伝導率とそれぞれ $0.8 \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$ 、 $53 \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$ 、外気への熱伝達率を $5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$ とし、外気温についてはSin曲線で近似した。

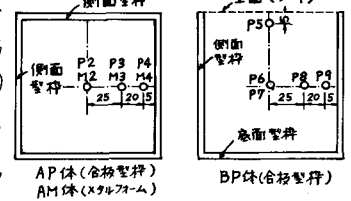


図-5 供試体とゲージ測点

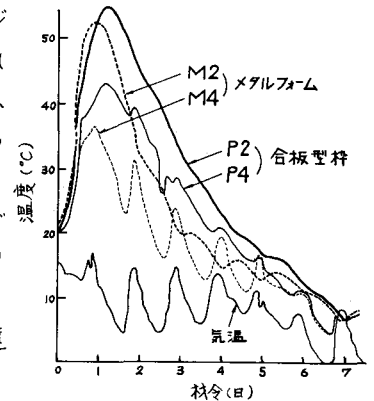


図-6 内部温度の経時変化の一例

また、断面の温度分布を中心軸に関して対称な放物線分布とし、コンクリートの線膨張係数と一定値 α とすると、温度上昇による自由膨張ひずみ分布は図-9のようになるが、これをもとにクリープと無視した弾性解析で、内部拘束応力の算定における弾性係数の取扱いを検討した。

3. 実験結果 本研究により得られた主な結果は以下のとおりである。

(1) 10℃～60℃の範囲内では、温度履歴によりコンクリートの若材令特性はかなり変化するが、材令28日の特性への影響は小さい。

(2) 温度上昇による初期材令(3日以下)での引張強度の増進は、圧縮強度よりもかなり小さい。

(3) $M=30000(^\circ\text{C} \cdot \text{hr})$ 以下において、強度ならびに弾性係数とM(対数)の関係は、養生温度が10℃～60℃においては温度履歴に関係なく直線式で近似できる。

(4) 初期材令における弾性係数の発現率は、強度に比べて著しく高い。

(5) 型わく材質や表面養生法はコンクリート表面近傍はもちろん、かなり内部の温度上昇にも影響し、シート養生、メタルフォーム、合板の順で温度勾配が大きく、シート養生面ではひびわれが発生した。

(6) コンクリート表面の引張応力を推定するにあたって実用式として $\sigma = \frac{2}{3} \alpha \theta E$ を適用する場合、マチュリティを考慮した表面部の弾性係数を採用するのが安全である。

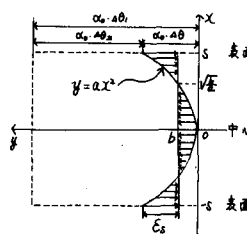


図-9 自由膨張ひずみ分布

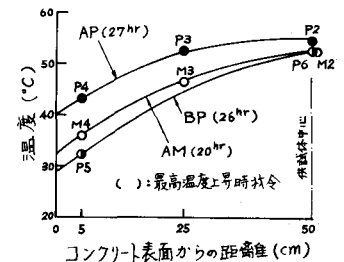


図-7 最高温度上昇時における断面内温度分布の測定値

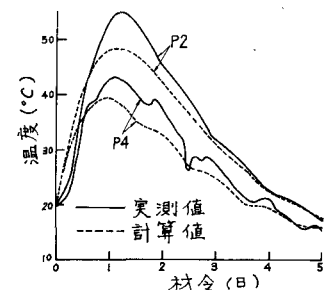


図-8 内部温度の解析結果の一例