

断熱温度上昇下におけるマスコンクリートの力学的性質

宇部興産（株） 正会員 浅上 修
 山口大学工学部 正会員 中村秀明
 山口大学工学部 正会員 浜田純夫

1. まえがき

近年、コンクリート構造物の大型化、高強度化にともない、セメントの水和熱に起因する温度ひび割れの発生が問題となっている。マスコンクリートの温度応力解析において、精度の良い結果を得るためには、コンクリート物性値の的確な把握が重要となる。しかしながら、マスコンクリートにおいては形状寸法の大きなコンクリートの中心部では断熱状態に近く、断熱状態で養生されたコンクリートに対しての物性値が必要となる。そこで本研究は、断熱状態におけるマスコンクリートの硬化過程の物性値を明らかにすることを目的として、簡易的な断熱温度上昇実験装置を試作して基礎的実験を行い、あわせて断熱温度上昇下における力学的物性値の発現性を推定する方法について検討した結果を報告するものである。

2. 実験概要

本実験は、セメントの種類と打込み温度を変えて断熱養生下における力学的物性値（圧縮強度、割裂引張強度、割線弾性係数）の測定を行ったものである。図1に供試体を受ける断熱温度上昇下における温度履歴の概略を示す。実験に使用したセメントは、宇部興産（株）製の普通ポルトランドセメント（記号：OP）および低熱ポルトランドセメント（記号：LHP）である。セメントの鉱物組成の概略値および物理試験の主な結果は、表1に示すとおりである。コンクリートの配合は目標スランプ8cm、目標空気量4%となるように試し練りにより決定した。

力学的物性値を測定する円柱供試体（ $\phi 10 \times 20$ cm）の断熱養生は、所定の材令まで試作した簡易的な断熱温度上昇実験水槽内で、断熱温度上昇実験と平行して行った。力学的物性値の測定は、材令1, 2, 4, 7, 14, 28, 91日で行った。断熱温度上昇実験の結果は、以下に示す3式を用いて近似した。

$$Q(t) = Q_{\infty} (1 - \exp(-\gamma t)) \quad (1)$$

$$Q(t) = Q_{\infty} (1 - \exp(-\gamma t^s)) \quad (2)$$

$$Q(t) = Q_{\infty} (1 - (1 + \gamma t) \exp(-\gamma t)) \quad (3)$$

$Q(t)$: 材令t日における断熱温度上昇量
 Q_{∞}, γ, s : 実験定数

3. 実験結果および考察

図中の凡例「300-20℃」は単位セメント量300kg/m³、打込み温度20℃を意味するものである。図2に断熱養生下における各コンクリートの圧縮強度の発現性を示す。OPでは、断熱養生は標準養生に比べて初期の圧縮強度の発現が早い。特に打込み温度が高いほどその傾向が大きい。しかし、高い打込み温度では4日以降の強度の増進が長期にわたってみられなかった。低い打込み温度では、初期の強度は標準養生に比べて大きくはないが、4日以降も強度の増進がみられた。一方、LHPでは、打込み温度30℃の断熱養生は標準養生に比べて初期の圧縮強度の発現が早く、4日以降においても強度の安定した増進がみられた。LHPでは長期材令においても、初期に断熱養生したコンクリート

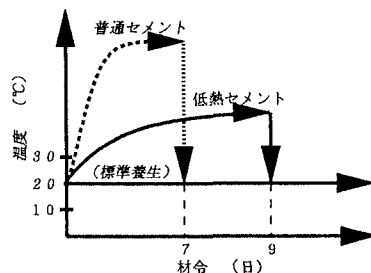


図1 供試体の温度履歴

表1 セメントの鉱物組成の概略値および物理試験結果

セメント種類	鉱物組成 (%)					比重	比表面積 (cm ² /g)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF			
普通	55	19	9	9		3.15	3200
低熱	27	52	3	12		3.23	3380

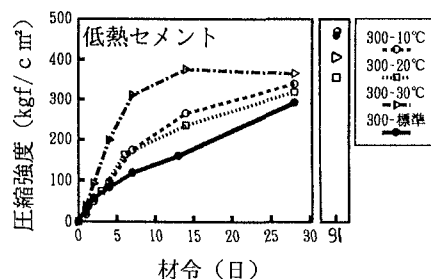
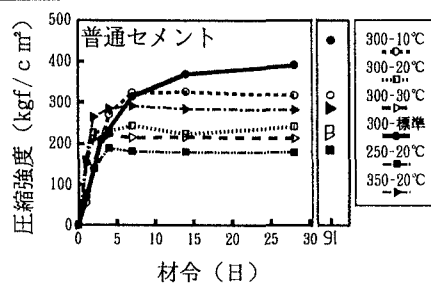


図2 材令と圧縮強度

でも強度が徐々に増進した。

図3にLHPにおける圧縮強度(σ_c)と割裂強度(σ_t)の関係を示す。圧縮強度と割裂強度の関係は、既往の文献¹⁾ではべき乗の関係式で表されることが多い。養生条件による相関性の差異は、OP・LHPとも顕著には認められなかった。ただし、LHPの回帰式 $\sigma_t = 0.153 \times \sigma_c^{0.919}$ は直線式に近い係数を有していた。また、圧縮強度と弾性係数の関係は両セメントとも養生条件によらず、既往のべき乗式で関係づけられた。

図4にLHPにおける積算温度の対数と圧縮強度の関係を示す。積算温度は-10℃を基準温度として算出した。OP・LHPとも同一配合では $M=210^\circ\text{C}\cdot\text{Day}$ 程度以下では養生条件によらず一本の直線で関係づけられる。しかし、それ以上になると養生条件ごとに強度の発現性に差異がみられた。一方養生条件ごとでは、強度の発現性は、既往の研究^{2) 3)}と同様に二直線で表現できる。

図5に各セメントにおける打込み温度と28日標準強度に対する圧縮強度の発現割合(圧縮強度百分率)の関係を示す。OPでは打込み温度が高くなると、断熱養生での強度発現が著しく不十分になる。

以上に示したように、断熱養生における力学的物性値の発現性は温度履歴により異なり、積算温度による方法を用いても一意的に推定することは難しい。そこで図2と断熱温度上昇曲線との相似性に着目して、断熱温度上昇下における力学的物性値の発現性の推定方法について検討した。図2の曲線を式(1)~(3)を用いて近似した。図6に断熱温度上昇曲線の実験定数(γ, s)と圧縮強度発現性の近似定数の関係を示す。図に示すように両定数には相関性が認められる。また終局断熱温度上昇量 Q_∞ に対応する終局強度は、図5に示すように打込み温度により決定できる。したがって、断熱温度上昇試験結果よりその断熱養生下における力学的物性値の発現性が推定できるものと考えられる。ただし、本研究は断熱状態を一定期間保持した場合のモデル的な実験である。実際の構造物においては放熱等の影響により断熱状態は長期間保持しないため、コンクリートが受ける高温履歴は短くなるはずである。よって、この温度降下による強度発現性、特に終局強度に及ぼす影響は今後検討していく必要がある。一方、マスコンクリートの任意の部位における終局強度は図5の結果を拡大解釈して、最高到達温度すわち(温度上昇量+打設温度)によって決定できるものと推察される。したがって、マスコンクリートの任意の部位における(断熱)温度上昇曲線が既知であれば、その部位における力学的物性値の発現性が温度上昇曲線の近似定数を評価する上記の方法により一意的に推定できる可能性がある。

- (参考文献) 1) マスコンクリート温度応力の計算方法とそのプログラム, (社)日本コンクリート工学協会, 1985. 11
2) 岡田他: マスコンクリートの基本的特性に関する一考察, セメント技術年報, 34, pp230-233, 1980
3) 岡村他: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993

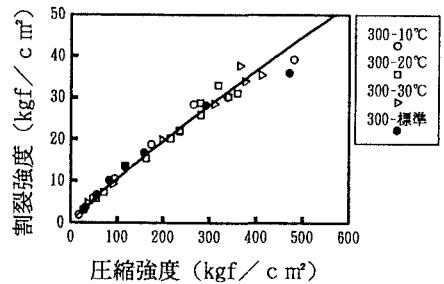


図3 圧縮強度と割裂強度（低熱セメント）

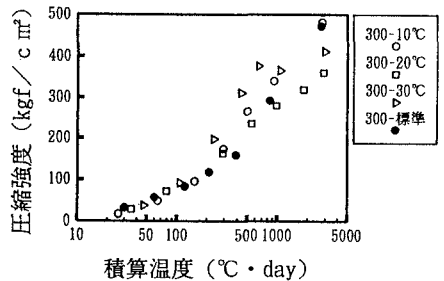


図4 積算温度と圧縮強度（低熱セメント）

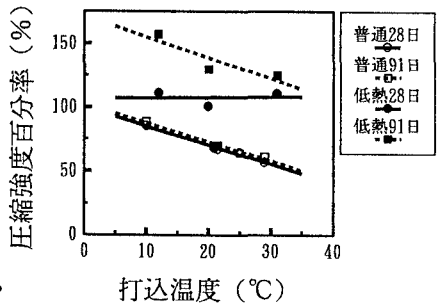


図5 打込温度と圧縮強度

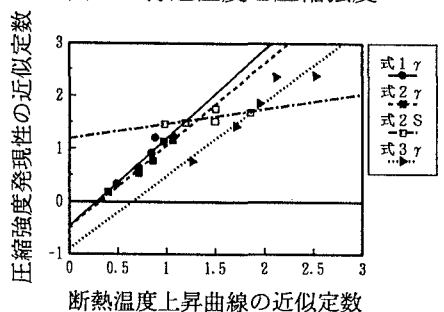


図6 近似定数の相関性（普通セ・圧縮強度）