

V-131

各種セメントを用いたエアームタルの熱特性

住友大阪セメント ○正会員 小田部裕一 正会員 寺野 宜成 正会員 鈴木康範

1. はじめに

エアームタルは軽量性、流動性に優れている反面、熱容量が普通コンクリートに比べて小さく、水和熱に起因する硬化時の温度上昇が大きくなる。一方、近年エアームタル中あるいはそれに接して耐熱性に乏しい材料を設置する事例が増えており、硬化時の温度上昇が問題になってきている。そこで、これら熱特性値を実験的に求めるとともに、発熱特性については水和発熱モデルの適用性についても検討した。

2. 実験概要

エアームタルの配合は、フロー値 180mm を目標に、セメント量、空気量を変化させた（表1参照）。実施した試験項目は、熱拡散率、熱伝導率および断熱温度上昇である。熱拡散率は Glover 法、また熱伝導率は Neven 法に従って測定した。これら熱特性試験では、供試体内外の水分移動による影響を防ぎ、境界面における熱伝導の妨げにならないように銅製の薄板で全面被覆した。断熱温度上昇試験は、エアームルクを中心に、低熱ポルトランドセメント(LPC)、高炉セメント B 種(BB)、三成分系低熱セメント(LBFC)を用いて行った。

表1 エアームタルの配合

試験項目	セメント種類	温度条件(°C)	砂セメント比	セメント量(kg/m³)	空気量(%)	生比重
断熱温度上昇	BB	10,20,30	0	300	83.0	0.57
				350	81.5	0.62
		20	0	300	64.0	0.57
				250	65.0	0.52
	LPC	10,20,30	0	350	82.0	0.62
				200	48.5	0.90
		20	2	250	43.0	1.05
				300	82.0	0.57
熱特性	LBFC	10,20,30	0	350	80.5	0.62
				300	84.0	0.57
	LPC	10,20,30	0	350	82.0	0.62
				600	41.5	1.00
		20	2	200	48.5	0.90
				250	43.0	1.05
	LPC	20	2	300	27.5	1.30
				300	27.5	1.30

3. 実験結果

3.1 熱拡散率および熱伝導率 図1は熱容量の実測値と計算値を比較したものである。計算値は、セメントおよび細骨材の比熱を $0.8[\text{kJ/kg}^\circ\text{C}]$ と仮定して算出した。この図より、実測値は計算値にほぼ等しく、採用した熱特性試験方法は乾燥状態にない試料の測定に適していると思われる。図2は熱拡散率および熱伝導率の値に最も影響が大きいと思われる空気量との関係を示したものである。エアームタル、エアームルクとも熱伝導率は空気量の増加に伴い減少する傾向がある。一方、熱拡散率は、空気量の増加に伴い、エアームルクでは増加する傾向にあり、エアームタルではほぼ一定であった。

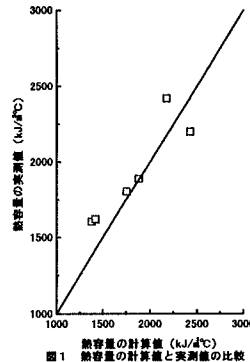


図1

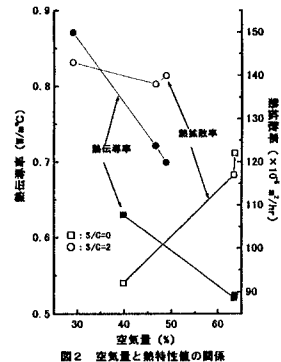


図2 空気量と熱特性値の関係

3.2 発熱特性 断熱温度上昇試験結果の一例を図3に示す。また、表2は断熱温度上昇量を表中の式で近似した結果である。エアームルクの熱容量は、コンクリートの半分程度であるため、断熱温度上昇量はほぼ倍の値となる。エアームタルは熱容量が大きくなり、断熱温度上昇量がコンクリートと同等程度となる。一方、試験結果をセメント間で比較した場合、LPC、LBFC の終局断熱温度上昇量 Q_{∞} は BB に比べて 2 割程度小さく、また γ の値も小さくなっており、 Q_{∞} のみならず、温度上昇速度も緩やかであることが分かる。なお、打込み温度の影響がかなり大きく、打込み温度の変化により Q_{∞} が 13°C 異なるものもある。これは、打込み温度によっては温

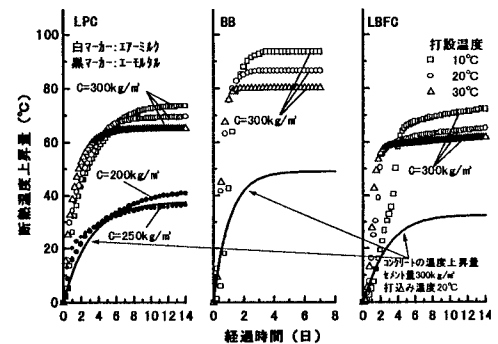


図3 断熱温度上昇試験結果

キーワード：エアームタル、エアームルク、熱拡散率、熱伝導率、断熱温度上昇、水和発熱モデル

度が100℃を超過する場合もあり、その温度領域において水和が急速に停滞した可能性がある。

次に著者らの一人が提案する水和発熱モデル¹⁾の適用性について検討した。水和発熱モデルは、式(1)のように温度Tと積算発熱量Qの関数として定義される。

$$\underline{H}(T, Q) = \underline{H}_{\infty}(Q) \exp \left\{ -\frac{E(Q)}{R} \cdot \frac{1}{T} \right\} \quad \cdots (1)$$

ここで、 $\underline{H}(T, Q)$ は水和発熱速度、 $\underline{H}_{\infty}(Q)$ は限界水和発熱速度、 $-E(Q)/R$ はセメントの温度活性である。これら定数は、同一配合で打込み温度の異なる断熱温度上昇試験より求められる。

今回の実験より求めた限界水和発熱速度、セメントの温度活性は図4、5に示す通りである。水和発熱モデルの定数は打込み温度が異なっても Q_{∞} がほぼ等しくなることを前提にその定数が算出される。ただし、今回の結果では打込み温度毎に Q_{∞} が大きく異なる。そこで、各打込み温度での Q_{∞} が等しくなるものと仮定し、水和発熱速度を外挿補間して便宜的に限界水和発熱速度とセメントの温度活性を求めた（図中の点線区間）。図6は水和発熱モデルから算出した断熱温度上昇量の推定値と実測値を比較したものである。推定値と実測値はほぼ一致しており、エアームルクに対しても水和発熱モデルの適用が可能と考えられる。ただし、各打込み温度での Q_{∞} が異なることに起因して、常温に近い温度では、最大積算発熱量に近づくにつれて水和発熱速度が急速に増加するなど不自然な現象が認められる。したがって、100℃を超過するような高温域での水和反応の変化を考察し、これを水和反応モデルに反映させ、改善を図る必要がある。

4. まとめ

- ①熱拡散率および熱伝導率の実測値から算出した熱容量は、理論上の計算値とほぼ等しく、今回採用したGlover法およびNeven法は乾燥状態にないエアームタルの測定に適している。
- ②エアームルクの熱容量はコンクリートの半分程度であり、その断熱温度上昇はほぼ倍にまで達する。一方、エアームタルは熱容量が大きくなりコンクリートと同等程度の断熱温度上昇となる。なお、低発熱タイプのセメントを使用することで、一般的に用いられている高炉セメントB種に比して断熱温度上昇は2割程度低減され、温度上昇速度も緩やかとなる。
- ③著者らの一人が提案する水和発熱モデルがエアームルクに対しても適用可能であることが示唆された。ただし、打込み温度による影響で終局断熱温度上昇量が大きく異なるため、高温域での水和反応の変化を考察し、これを水和反応モデルに適切に反映させ、改善を図る必要がある。

【参考文献】

- 1) 鈴木康範ほか：コンクリート中に存在するセメントの水和発熱過程の定量化，土木学会論文集，No.414/V-12，pp155～164

表2 近似式の係数

セメント種類	温度(℃)	S/C	セメント量(kg/m ³)	Q_{∞}	γ_1	γ_2	δ
LPC	10	0	300	73.8	0.402	0.395	1.017
			250	82.4	0.425	0.458	0.938
			350	69.7	0.540	0.581	0.914
	20	0	350	77.9	0.822	0.858	0.919
			200	41.9	0.305	0.418	0.781
			250	38.6	0.475	0.874	0.658
BB	10	0	300	85.1	0.854	0.898	0.878
			300	93.5	0.882	0.585	2.785
			300	86.8	1.803	2.014	1.651
	20	0	350	100.4	1.253	1.448	2.045
			300	80.1	1.885	3.471	2.138
			300	74.5	0.277	0.074	2.012
LBFC	20	0	300	67.8	0.490	0.351	1.537
			350	71.8	0.483	0.242	1.908
			300	64.8	0.693	0.570	1.819

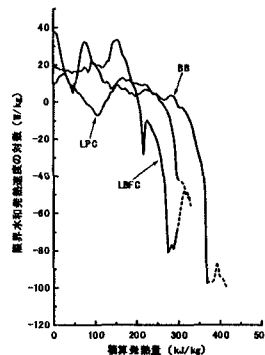


図4 積算発熱量とセメントの温度活性の関係

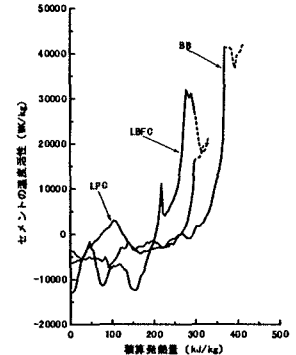


図5 積算発熱量とセメントの温度活性の関係

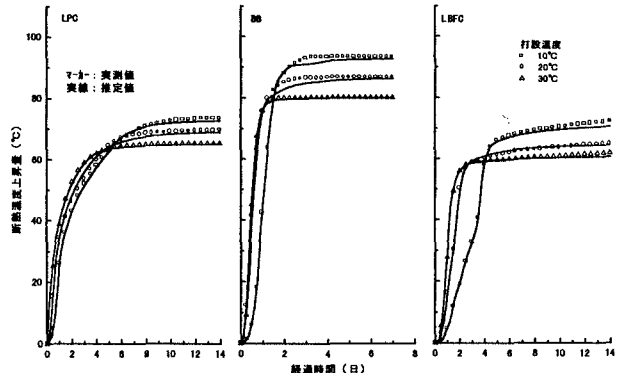


図6 エアームルクの断熱温度上昇量の推定結果（単位セメント量300kg/m³）