

V-518

低発熱セメントの断熱温度上昇

建設省土木研究所 正会員 森濱 和正

正会員 河野 広隆

1. まえがき

最近、鉄筋コンクリート構造物の大型化にともない温度ひび割れ対策が重要となっている。従来から温度対策を重視しているコンクリートダムでも、施工の合理化により、パイプクーリングができないことなどから材料面の温度対策が重要となっている。このようなことから、最近中庸熱ポルトランドセメントよりもエーライト(C_3S)を減らしビーライト(C_2S)を高めたセメント(低発熱セメント)が開発されている。このセメントの断熱温度上昇と温度解析に必要な回帰式について検討した。

2. 実験概要

実験に用いた低発熱(L)セメントと比較用の中庸熱(M)ポルトランドセメントの品質は表-1のとおりである。断熱温度上昇試験には、隔壁構造の循環経路を有する熱媒ジャケットを断熱材を設けずに供試体に密着させ、断熱温度上昇を測定する形式の装置を使用した[1]。コンクリートの配合は、コンクリート中の粗骨材容積 G_v を変化させ、 $G_v65\%$ としたとき単位セメント量 120kg/m^3 、単位水量 100kg/m^3 、細骨材率 25% とした。 $G_v45\%$ のとき、単位セメント量 189kg/m^3 、単位水量 157kg/m^3 、細骨材率 43% となった。供試体の大きさは $\phi 30 \times 30\text{cm}$ で、作製は、 G_v45 は棒状パイプレータで締固めたが、 G_v65 は硬練りのためモルタルと粗骨材を6層に分けて交互に投入し、テーブル振動機で締め固めた。

表-1 セメントの物理試験結果

セメント	比重	粉末度 (cm^2/g)	凝 結			安定性	圧縮強度 (kgf/cm^2)			水 和 熱 (cal/g)		化学成分試験結果(%)					鉱物組成(%)			
			水量 (%)	始発 h-m	終結 h-m		3d	7d	28d	7d	28d	MgO	SO ₃	g-loss	R2O	Cl ⁻	C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF
L	3.20	3240	27.3	2-59	4-26	良	51	101	251	43	60	0.9	3.0	0.7	0.41	0.003	21	61	3	8
M	3.20	3130	27.2	3-35	5-15	良	122	180	353	67	78	1.4	1.9	0.8	0.57	0.004	47		3	

3. 実験結果および考察

断熱温度上昇試験結果を図-1に示す。LセメントとMセメントでは単位セメント量が同じであっても断熱温度上昇特性はかなり異なっている。Lセメントは、Mセメントに比べエーライトの水和反応による初期の傾きはほぼ同じであるが、断熱温度上昇は小さい。その後はビーライトの水和反応によるゆっくりとした温度上昇が大きくなっている。

表-2 断熱回帰係数

セメント	回帰式	G v 4 5					G v 6 5				
		K	漸近法 との差	α	β	標準 偏差	K	漸近法 との差	α	β	標準 偏差
L	(1)式	22.8	-6.1	0.27	—	1.82	14.4	-4.2	0.29	—	1.09
	(2)式	38.7	+9.8	0.27	0.42	0.72	21.3	+2.7	0.35	0.41	0.30
	(3)式	14.2	—	1.12	1.49	0.42	9.5	—	1.12	1.07	0.17
	(4)式	12.0	—	0.10	—		7.5	—	0.09	—	
	(5)式	26.2	-2.7	—	—	—	16.4	-2.2	—	—	—
	漸近法	28.9	—	—	—	—	18.6	—	—	—	—
M	(1)式	28.1	-3.5	0.52	—	1.35	17.7	-1.5	0.50	—	0.67
	(2)式	29.7	-1.9	0.60	0.65	0.83	18.6	-0.6	0.56	0.73	0.27
	漸近法	31.6	—	—	—	—	19.2	—	—	—	—

また、実測値から最終断熱温度上昇を求める方法に、 n 日目と $n+1$ 日目の断熱温度上昇が一致したときとする方法があり[2](ここでは漸近法と呼ぶ)、その結果も表-2に示した。

LセメントでGv45の場合の断熱温度上昇の実測値と回帰式の比較を図-2に、実測値と回帰式の温度差を図-3に、温度上昇速度を図-4に示す。(1)式はいずれの関係も実測値よりかなりずれている。(2)式はほぼ一致しているように見える。しかし、漸近法と(2)式から求めた最終断熱温度上昇を比較すると、表-2のように(2)式は10℃近くも大きくなっている。

これらより、Lセメントのようにピーライトが多い場合の断熱温度上昇の回帰式は、通常用いられている(1)または(2)式では無理があり、エアライトとピーライトの水和発熱を考慮する必要がある。(3)～(5)式で表すことを試みた。初期の水和発熱を(3)式によって求め、その後の水和発熱を(4)式によって表そうとするものであり、両式の一階微分が一致するように、最小二乗法によって係数を決めるものである。そのときの最終断熱温度上昇は(5)式となる。この結果についても表-2と図-2～4に示してあるように、ほぼ全過程にわたって一致していることがわかる。

$$T_1 = K_1 \{1 - \exp(-\alpha t^\beta)\} \dots \dots \dots (3)$$

$$T_2 = K_2 [1 - \exp\{-\alpha(t - t_1)\}] + T_1(t_1) \dots \dots \dots (4)$$

$$K = T_1(t_1) + K_2 \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 t_1 :(3)式と(4)式の一階微分が一致するときの材齢、 $T_1(t_1)$:材齢 t_1 のときの(3)式から求められる T_1 、である。

4. まとめ

低発熱セメントの断熱温度上昇試験を行なった結果、中庸熱セメントと比較し水和初期の発熱量は少ない。その後はピーライトの水和が長期にわたって継続する。そのため、解析に用いる回帰式は、通常用いられている(1)式または(2)式の適合性には問題がある。ここでは、(3)式と(4)式を組み合わせた回帰式を提案した。今後、温度解析への検討が必要である。

【参考文献】[1]鈴木他:温度解析における断熱温度上昇試験結果の適用性、第7回コンクリート工学年次講演会、1985.6 [2]柳田:マスコリトにおける上昇温度の実用的推定方法、土木技術資料、Vol. 11, No. 4, 1969.4

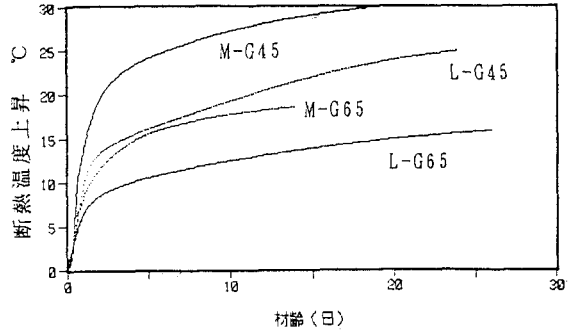


図-1 断熱温度上昇結果

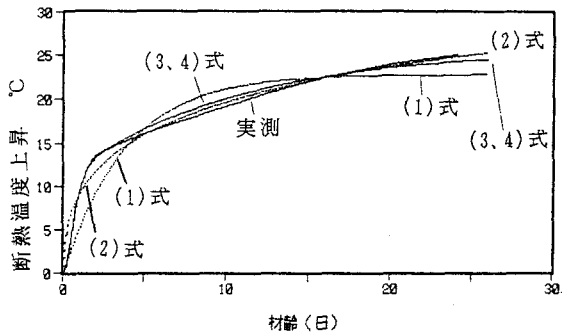


図-2 回帰結果

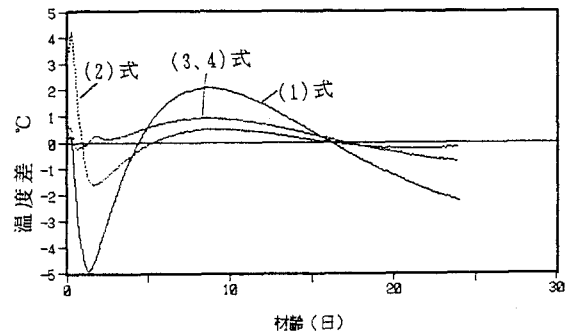


図-3 実測値と回帰の差

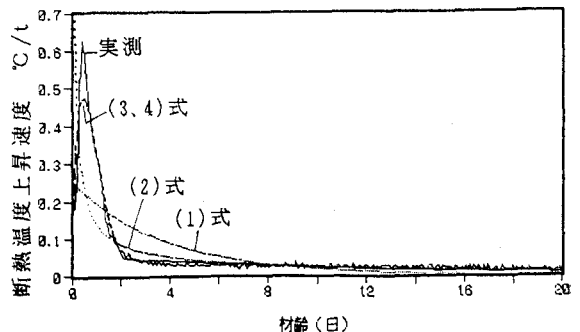


図-4 上昇速度