

小野田セメント(株) 中央研究所
同 上正会員 谷村 充 正会員 曾根 徳明
正会員 藤山 修 正会員 小野 義徳

1. はじめに

筆者らは、多様化・高度化の趨勢にある低発熱セメントへの要求性能をクリアするセメントとして、基材としての高ビークライト¹⁾に高炉スラグ微粉末、石灰石微粉末といった鉱物質微粉末を混用した、高ビークライト-鉱物質微粉末混合系のセメントに着目し、昨年度の本大会において高ビークライト-鉱物質微粉末混合系低発熱セメントの性質²⁾と題して報告を行った。本報告は、この種のコンクリートに関して、鉱物質微粉末の混合割合を変化させた場合の強度・発熱特性並びに温度ひび割れに対する抵抗性を、従来からマスコンクリート工事に使用されている各種低発熱コンクリートの場合との比較において述べるものである。

2. 試験概要

試験には、高ビークライト(記号: BPC, 比重: 3.22, フレッシュ: 3540cm³/g, C₃S=12%, C₂S=76%)、混合材として、高炉スラグ微粉末(比重: 2.90, フレッシュ: 5800cm³/g)及び石灰石微粉末(比重: 2.71, フレッシュ: 7010cm³/g)を、また、SO₃量の調整には天然二水石膏を使用した。表-1にセメントの混合割合を示す。比較用セメントとして、中庸熟ポルトランドセメント(記号: MPC, 比重: 3.21, フレッシュ: 3230cm³/g)、低発熱形高炉セメントB種(記号: LBB, 比重: 2.95, フレッシュ: 5410cm³/g)、3成分系超低発熱セメント(記号: SLH, 比重: 2.77, フレッシュ: 5470cm³/g)を用いた。細骨材には陸砂(比重2.59, 吸水率2.75, 粗粒率2.75)、粗骨材には碎石(比重2.65, 吸水率0.78%, 粗粒率6.66)を用いた。混和剤としてリグニン系AE減水剤を使用した。コンクリートの配合は単位セメント量を300kg/m³の一定とし、単位水量及び細骨材率はスランプ(12.0±1.5cm)及び空気量(4.0±1.0%)が所定の値となるよう試し練りにより定めた。練混ぜは20℃の恒温槽でパン型強制練りミキサーを用いて行った。強度試験用の供試体はφ10×20cmの円柱体とし、材齢2日で脱型後、20±1℃の恒温水槽内で所定の材齢(3, 7, 28, 91日)まで養生した。断熱温度上昇試験装置は空気循環式を用いた。尚、セメントの種類は以後、例えば、記号70-30-0は、(高ビークライト): (高炉スラグ): (石灰石微粉末)の混合割合(重量%)が70:30:0を表す。

表-1. セメントの混合割合

混合割合(重量%)		
高ビークライト	高炉スラグ	石灰石微粉末
100*	0	0
100, 80, 70, 60	0, 20, 30, 40	0
70	0, 10, 15, 20	30, 20, 15, 10

(*) 基材セメント(SO₃量: 1.8%)
(注) 基材セメント以外のSO₃量は全て2.5%

3. 試験結果および考察

図-1に、セメントの種類と圧縮強度との関係を示す。高ビークライトを基材として混合材を混用することにより、種々の強度発現性を持たせることが可能である。

表-2に、断熱温度上昇試験結果を示す。表中には断熱温度上昇試験における経過時間と断熱温度上昇量との関係を、最小二乗法により $T=K(1-\exp(-at))$ 式に近似した場合の係数K, aを併記した。高ビークライト、また、高ビークライトに混合材を混用したセメントの最終断熱温度上昇量(=係数K)、発熱速度に関する係数aといった熱特性は、従来から使用されている各種低発熱セメントの場合とは異なる性質が得られる。

図-2に、高炉スラグ微粉末の混合割合と係数K及びaとの関係を示す。スラグの混合割合が増大するに伴い、K値は減少し、a値は直線的に増加する。これは、高ビークライトの水和の進行が遅い初期では高炉

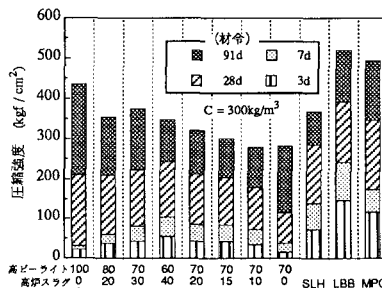


図-1. セメントの種類とコンクリートの圧縮強度との関係

表-2. コンクリートの断熱温度上昇試験結果

セメントの種類	最終断熱温度上昇(℃)	T=K(1-exp(-at))*	
		K	a
100-0-0	28.8	26.93	0.202
80-20-0	30.9	30.81	0.337
70-30-0	29.9	29.97	0.463
60-40-0	27.4	27.51	0.569
70-20-10	25.0	25.04	0.488
70-15-15	22.0	21.96	0.507
70-10-20	20.4	20.23	0.503
70-0-30	17.6	17.63	0.463
SLH	23.0	23.46	0.868
LBB	38.3	38.70	0.881
MPC	38.4	38.06	0.703

(*) 断熱温度上昇回帰式
ここに、T : 断熱温度上昇量(℃)
t : 経過時間(日)
K, a : 回帰係数

スラグの水和反応が発熱増進(a値の増加)に寄与し、また、高炉スラグ混合割合の増大に伴う相対的なセメント量の減少がK値の減少に影響しているものと考えられる。

図-3に、混合材の混合割合を30%とし、混合

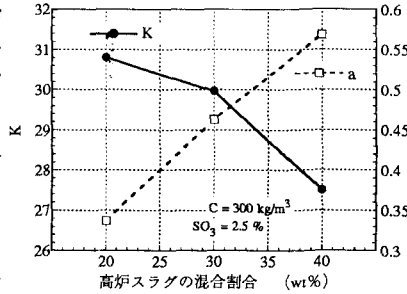


図-2. 回帰係数K,aに及ぼすスラグ量の影響

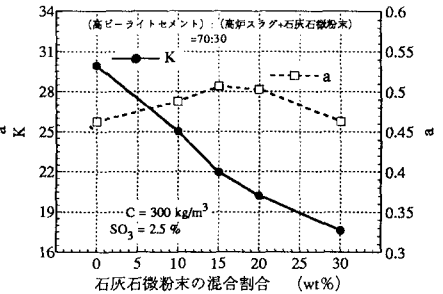


図-3. 回帰係数K,aに及ぼす石灰石微粉末量の影響

材として高炉スラグと石灰石微粉末を併用した場合の、石灰石微粉末量と回帰係数K, aとの関係を示す。混合材中に占める石灰石微粉末の割合が増すと、K値は大幅に減少するが、a値には大差が生じない。石灰石微粉末の増加と共に、高炉スラグの割合が減少するためK値、a値ともに小さくなるものと予測されたが、石灰石微粉末を混用するとセメント自体の水和が促進し、同一初期材齢では発熱量が大きくなることが確認されており³⁾、本研究の場合で、a値に大差が生じていないのは、この促進効果に起因しているものと推察される。

図-4に、セメントの種類と圧縮強度・最終断熱温度上昇量比との関係を示す。コンクリートの温度ひび割れ抑制性能評価の一つとして、この比が大きいものが温度ひび割れ抑制効果が大であると考えられる。高ビークメント一鉱物質微粉末混合系のセメントを用いたコンクリートの圧縮強度・最終断熱温度上昇量比は、材齢28日迄の範囲では高ビークメント単味の場合と、91日ではLBB及びMPCの場合と比較して大略同等か優れている。

前述の如く、高ビークメント一鉱物質微粉末混合系のセメントを用いたコンクリートは、従来のものと比べ強度・発熱特性が異なる。そこで、この種のセメントのマスコンクリートへの適用性について検討するために、図-5に示す単純化したマスコンクリート構造物(1次元モデル)を想定し、熱応力解析を実施した。コンクリートの熱定数は、セメントの種類が異なる場合も全て同一とし、一般的な値を用いた。

図-6はリフト高さと温度ひび割れ指数との関係である。同図より、高ビークメントに混合材として高炉スラグと石灰石微粉末を併用した場合の同指数は、それぞれ単独混合した場合よりも大きく、併用混合した場合の効果が判る。従来の低発熱セメントの場合、温度ひび割れ指数はMPC<LBB<SLHの順であるが、混合材を併用混合した高ビークメントは、リフト高さ1.0m及び2.5mの場合にSLHのひび割れ指数と同等で、リフト高さ3.5mにおいてはSLHのそれよりも大きい。解析条件が限られたものであるため断定的には言えないが、基材として高ビークメントに高炉スラグ及び石灰石微粉末を併用混合したセメントは、マスコンクリート用のセメントとして有用であると考えられる。

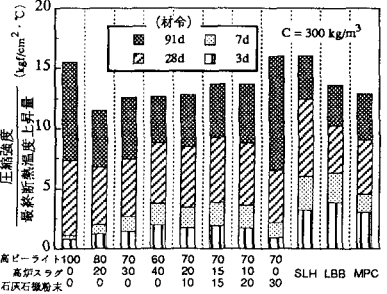


図-4. セメントの種類と圧縮強度・最終断熱温度上昇量比との関係

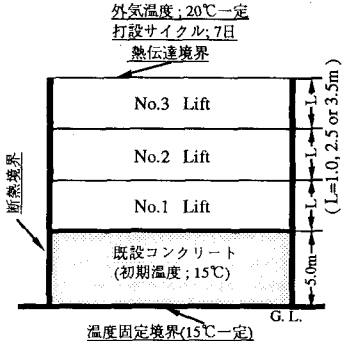


図-5. 解析モデル概略図

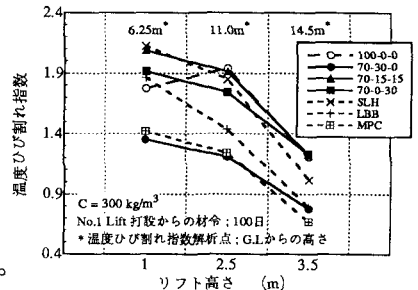


図-6. リフト高さと温度ひび割れ指数との関係

[参考文献] (1) 曾根, 藤山, 谷村; セメント・コンクリート論文集 No. 46, pp. 392-397, 1992

(2) 谷村, 曾根, 藤山; 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集(第5部), pp. 96-97, 1993

(3) 坂井, 中川, 三原, 大門; セメント・コンクリート No. 546, pp. 129-137, 1992