

V-519

超低発熱セメントを用いたエアミルクの諸性状

住友セメント(株) 正会員 小田部 裕一 吉原 正博
 同上 長曽我部 徹
 麻生フォームクリート(株) 川野 整 渡来 正

1. はじめに

エアミルクは、軽量性、流動性に優れた材料であり、トンネル覆工背面や地盤沈下による建家基礎等の空隙部の充填を主目的に使用されてきた。そのため要求される品質は圧縮強度が定められている程度であり、普通ポルトランドセメントが主に使用されてきた。しかし、近年、エアミルクの発熱量の抑制が要求されるに至り、超低発熱セメントを用いる試みが増えてきている。

本研究は、超低発熱セメントを用いたエアミルクの諸性状について、温度解析に必要な熱特性を含めた基礎性状について検討したものである。

2. 使用材料および配合

2-1 使用材料 試験に用いたセメントは超低発熱セメント（以下“LHC”と称す）であるが、これは高ビーライト系のセメントをベースとし、スラグ、フライアッシュを混合した3成分系のセメントである。一部の試験では比較対象として、普通ポルトランドセメント（以下“OPC”と称す）を用いた。また、起泡剤には麻生フォームクリート社のマールPを使用した。

2-2 配合 エアミルクの配合を表-1に示す。この配合はLHCを使用した場合、練り上がり時の生比重が 0.52 ± 0.05 、フロー値が 180 ± 20 mm、空気量が $67 \pm 5\%$ 、材齢28日の圧縮強度が 10 kgf/cm^2 以上となるように定めたものである。今回の試験ではOPCを用いた場合にも表-1の配合を用いた。また、エアミルクは予め起泡剤を発泡機により発泡させた泡とセメントミルクとを混合するプレフォーム法によって練り上げた。

3. 実験結果および考察

3-1 超低発熱セメントと普通セメントの諸性状の比較 表-2はLHCとOPCを用いたエアミルクの練り上がり時のフロー値、圧縮強度試験結果を示したものである。LHCのフロー値はOPCに比べて小さい値を示しているが、これはLHCの粉末度が高いことによる影響と考えられる。強度性状では、LHCの圧縮強度が材齢7日、28日ともにOPCのそれを下回る結果となった。しかし、材齢7日においてLHCの圧縮強度はOPCの6割程度であるが、材齢28日では8割程度にまで達しており、更に長期材齢における強度増加が期待できる。したがって、若材齢における圧縮強度が問題とならない場合にはOPCに代えてLHCを用いることができると考えられる。図-1は、厚さ10cmの断熱材で作製した容積 60 l の容器にLHCとOPCのエアミルクをそれぞれ充填し、密閉後に試料中心部の温度の経時変化を測定した結果を示したものである。この図から、OPCは打込み後半日でピークに達するのに対して、LHCは2日と発熱速度が緩やかになっている。また、温度上昇量の最大値を比較すると、OPCが 68.4°C であるのに対してLHCは 37.5°C と上昇量を約半分に低減できた。今回は同一配合での比較を行ったため圧縮強度の値はそれぞれ異なっているが、仮にLHCの単位セメント量を増して、材齢28日強度がOPCと同レベルになるように配合を修正したとしても、LHCの温度上昇の抑制効果は十分得られるも

表-1 配合表

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m^3)		
	水	セメント	起泡剤*
60	180	300	39.5

*起泡剤は25倍溶液の量を示す。

表-2 エアミルクの性状

セメント 種類	フロー値 (mm)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	
		材齢7日	材齢28日
LHC	175	5.20	11.6
OPC	190	9.02	14.4

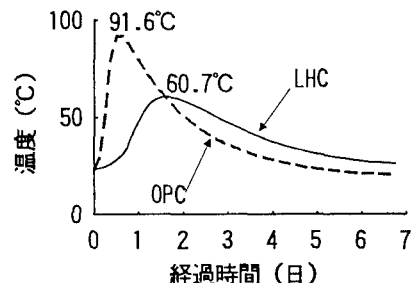


図-1 LHCとOPCの発熱量の比較

図-1は、厚さ10cmの断熱材で作製した容積 60 l の容器にLHCとOPCのエアミルクをそれぞれ充填し、密閉後に試料中心部の温度の経時変化を測定した結果を示したものである。この図から、OPCは打込み後半日でピークに達するのに対して、LHCは2日と発熱速度が緩やかになっている。また、温度上昇量の最大値を比較すると、OPCが 68.4°C であるのに対してLHCは 37.5°C と上昇量を約半分に低減できた。今回は同一配合での比較を行ったため圧縮強度の値はそれぞれ異なっているが、仮にLHCの単位セメント量を増して、材齢28日強度がOPCと同レベルになるように配合を修正したとしても、LHCの温度上昇の抑制効果は十分得られるも

のと考えられる。

3-2 エアミルクの断熱温度上昇試験 図-2は断熱温度上昇試験結果を示したものである。LHCを用いたエアミルクは材齢2日の間に測定終了時の上昇量の8割程度の急激な温度上昇があり、その後は1.5℃/日程度のゆっくりとした発熱となる傾向が認められる。式-(1)は実測値をコンクリート標準示方書の式を用いて表したものである。しかし、この式では材齢2日までの急激な上昇をうまく表現できない。そこで、エアミルクの断熱温度上昇曲線を表すために、式-(2)で近似した。この式を用いると、材齢2日までのエアミルクの特徴

的な温度上昇を表現できる。なお、それぞれの式を用いた場合の標準誤差を求めると、式-(1)の場合が3.8℃、式-(2)の場合が2.2℃であった。

3-3 エアミルクの熱特性試験結果 FEMによる温度解析を行う場合には、断熱温度上昇に関するデータと共に熱特性についてのデータも必要となる。そこで、LHCを用いたエアミルクの熱伝導率と比熱を試験により求めた。熱

伝導率の測定は、建材等の評価の際に用いられるJIS A 1412に規定する平板直接法により、また比熱については断熱型熱量計法によりそれぞれ行った。このようにして測定した熱特性試験の結果を表-3に示す。

表-3 熱特性試験結果

熱伝導率 (kcal/mh℃)	比熱 (kcal/kg・℃)
0.113	0.41

3-4 実物大モデルによる温度測定および温度解析結果との比較 LHCを用いたエアミルクを実際の現場に用いた場合の性状について確認するために図-3に示すようなモデルを作製し、エアミルクの充填部の温度変化を測定した。このモデルはシールドトンネルとその中央部に設置される下水管との中空部にエアミルクを充填する構造物の1/4断面を模したものである。図-4はこの試験より得られた充填部の温度変化のうち最高温度を示した位置における経時変化を示したものである。これより打込み後2日程度までは温度は上昇しているが、その後緩やかに降

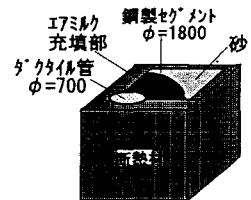


図-3 モデル概略図

下している。これは断熱温度上昇試験において急激な温度上昇が2日までに生じていることに合致している。なお、今回測定されたモデル供試体の最高温度は45.1℃であった。次に、上記の位置での温度の経時変化を、FEMにより解析し、図-4中に併せて示した。Case 1は3-3で得られた熱特性値を用いて計算した結果である。この場合、計算値は実測値と大きく異なっている。この原因は、計算に用いた熱特性値の影響と考えられる。つまり、3-3の試験方法では試験中にエアミルク試料の含水率を一定に保つことが難しいため、試験中に物性が変化することが予想されるからである。そこで、実測値を基に熱特性値を逆推定した結果、Case 2の場合に実測値に合った結果が得られた。このときの熱伝導率は0.50kcal/mh℃、比熱は0.525kcal/kg℃であった。

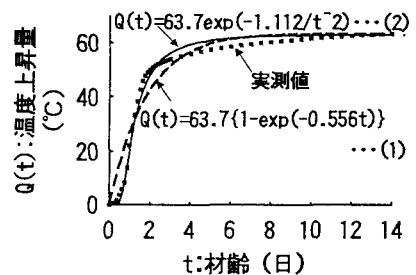


図-2 断熱温度上昇試験結果

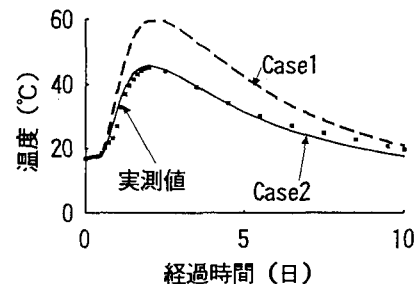


図-4 温度解析結果と実測値の比較

4. まとめ

- ①超低発熱セメントを用いたエアミルクは、普通ポルトランドセメントを用いた場合に比べ、圧縮強度を大きく損なうことなく断熱温度上昇量の低減が可能である。
- ②適切な熱特性値を与えることにより、エアミルクの温度経時変化はFEMにより解析が可能である。