

V-90

セメントの水和発熱過程に及ぼす石灰石微粉末の影響

東京大学大学院 学生員 植松 敬治

東京大学大学院 正会員 岸 利治

1. はじめに

自己充填コンクリートはその特徴である充填性を確保するために、配合において多量の粉体を必要とする。しかし、結合材の増加は発熱量の増大に繋がり、温度ひび割れを生じる危険性が高まる。そこで、発熱量の低減を目的とした石灰石微粉末の利用が近年盛んになりつつある。石灰石微粉末は、セメントに混入されることによりセメントの水和を促進させることが知られている^{1), 2)}が、セメントの水和発熱過程と促進効果の発現時期に関する検討は未だ十分とは言い難い。マスコンクリート構造物の温度ひび割れ照査に資するセメントの水和発熱モデルの適用性を高めるためには、石灰石微粉末による水和促進効果を適切に組み入れるべく、更なる知見の蓄積が望まれる。そこで、本研究では石灰石微粉末によるセメントの水和促進効果について、断熱温度上昇量の測定及び水和発熱速度の測定による実験的な検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントは中庸熱セメント（比重 3.21, 比表面積 3260cm²/g）、石灰石微粉末は JCI 石灰石微粉末研究委員会提供の共通試料（比重 2.69, 比表面積 3500, 4700, 8900cm²/g）、細骨材は富士川産川砂（比重 2.56, 粗粒率 2.87）、粗骨材は美山産砕石（比重 2.66, 最大寸法 20mm）、混和剤はポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いた。

2. 2 配合及び方法

断熱温度上昇試験はコンクリートで行い、W/C=32%の自己充填コンクリートを基に粉体の体積を一定に保ちながら、重量比で石灰石微粉末の置換率が0～60%となるよう変化させた。また、置換率 30%ではブレン値を 3500～8900cm²/g と変化させ、さらには石灰石微粉末の代りに細骨材を用いて、石灰石微粉末の粉末度とその発熱量の影響についても検討した。また、練

表1 断熱温度上昇試験におけるコンクリートの配合

	W kg/m ³	C kg/m ³	LS kg/m ³	Blaine cm ² /g	S kg/m ³	G kg/m ³	SP C*%
C100	172	552	-	-	845	815	1.18
C70L30-35	172	365	157	3500	845	815	1.16
C70L30-47	172	365	157	4700	845	815	1.26
C70L30-89	172	365	157	8900	845	815	1.26
C70SAND30	172	365	-	-	994	815	1.00
C40L60-35	172	198	297	3500	845	815	0.89

り上がり温度は、20℃を目標とした。配合を表1に示す。実験には中研コンサルタント社製断熱温度上昇試験装置を用いた。一方、水和発熱速度の測定はセメントペーストで行い、W/C=50%において石灰石微粉末の置換率及び粉末度を同様に变化させた。配合を表2

表2 セメントペーストの配合

	W(g)	C(g)	LS(g)	Blaine	LS/P(%)	W/C
M100	5.0	10.0	0	-	0	0.5
M90L10-35	5.0	10.0	1.11	3500	10	0.5
M70L30-35	5.0	10.0	4.29	3500	30	0.5
M70L30-47	5.0	10.0	4.29	4700	30	0.5
M70L30-89	5.0	10.0	4.29	8900	30	0.5
M40L60-35	5.0	10.0	15.0	3500	60	0.5

3. 実験結果及び考察

3. 1 断熱温度上昇試験

断熱温度上昇試験結果を図1に示す。同じ置換率 30%の場合、石灰石微粉末の比表面積値が変化しても温度上昇の終局値に変化は見られないが、材令初期（約2日まで）では、比表面積値の増大とともに曲線の傾きは大きくなっている（図中矢印）。さらに、石灰石微粉末の代りに細骨

キーワード：石灰石微粉末、鉱物微粉末効果、水和発熱過程、断熱温度上昇

〒113 文京区本郷 7-3-1 TEL 03-3812-2111 FAX 03-5812-2904

材を用いた場合（単位セメント量同一）も同じ終局値を示していることから、石灰石微粉末自体の反応による発熱は、温度ひび割れ制御の観点からは無視できるものと考えられる。また、複合水和発熱モデル³⁾による解析結果も合わせて示した。石灰石微粉末による反応促進効果を考慮していない現状のモデルでは、C40L60-35において材令初期での乖離が大きくなっている。また、低水セメント比のC100において反応末期の追従性が十分でないことが明らかとなった。以上の結果から断熱温度上昇試験からも石灰石微粉末の促進効果が確認できた。そして、同一の置換率では石灰石微粉末の比表面積値が大きくなるほど、その効果は大きくなる傾向が認められた。

3. 2 水和発熱速度の測定

実験結果を図2に示す。各データは石灰石微粉末は発熱しないと仮定した際の中庸熱セメント1g当りの発熱速度を表す。石灰石微粉末の置換率が增大するにつれ、浅賀らの指摘²⁾にあるようにC/Sの活発な水和反応に対応する第2ピークの促進が認められる。また、置換率一定（30%）では石灰石微粉末のブレン値が大きい配合ほど、同様な傾向が見られる。以上の結果より、石灰石微粉末による水和の促進は、置換率及び粉末度が高いほど効果が大きいことが確認できた。しかし、横軸に材令をとった図2からは、セメントの水和反応過程区分と石灰石微粉末の促進効果との関係が明らかではない。そこで、セメントの水和発熱過程を、反応開始からの積算発熱量で整理することにより、同一の水和率という観点から検討を行った。その結果、図3に示すように、反応促進効果は水和発熱過程全領域において認められるが、特に第2ピーク後半の拡散律速過程において顕著であることが明らかになった。この理由については更なる検討が必要であるが、石灰石微粉末周辺が水和生成物の析出サイトとして有効に機能するためとする従来の鉱物微粉末効果の説明¹⁾に加えて、セメント粒子表面近傍での拡散移動抵抗が軽減されることも一因と考えられる。

4. まとめ

石灰石微粉末によるセメントの水和促進効果が断熱温度上昇試験においても確認できた。また、水和発熱速度を積算発熱量によって整理することにより、促進効果が水和反応における拡散律速過程において顕著であることが、明らかになった。

【参考文献】

- 1) 山崎 寛司：鉱物質微粉末がコンクリートに及ぼす効果に関する基礎研究、土木学会論文集第85号、(1962)
- 2) 浅賀 喜与志、久我 比呂氏：ポルトランドセメントの水和反応速度に与える炭酸カルシウムの影響、第22回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集 pp79-84 (1995)
- 3) 岸 利治、前川 宏一：高炉スラグ及びフライアッシュを用いた混合セメントの複合水和発熱モデル、土木学会論文集 No. 550/V-33, 131-143, (1996)

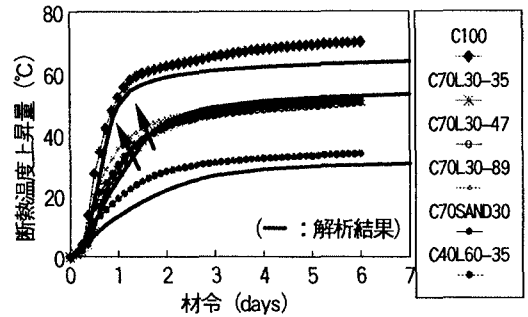


図1 断熱温度上昇試験結果と複合水和発熱モデルによる解析

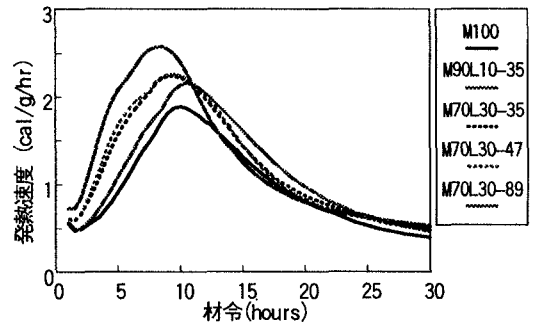


図2 石灰石微粉末を添加したセメントペーストの発熱速度

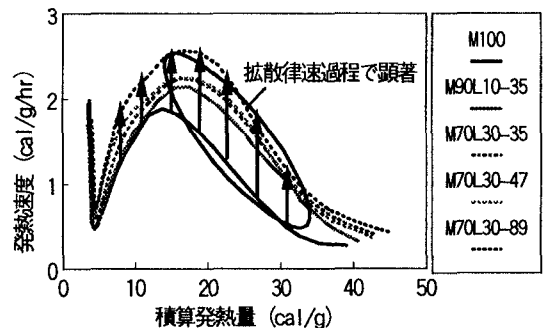


図3 積算発熱量で整理した水和発熱速度