

東北大学 正会員 ○ 岩城一郎
東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

著者らはこれまで、石灰石微粉末を混和したコンクリートは、低温環境下においても常温と同程度の優れた強度発現性を発揮すること、また、石灰石微粉末混和コンクリートの強度発現性は、石灰石微粉末の添加量に依存し、石灰石微粉末をセメントに対して外割で多量に添加すると、長期にわたり強度発現の増進が期待できること等を明らかにしてきた。本研究では、石灰石微粉末混和コンクリートのこうした強度発現機構について、水和反応の進行過程と細孔組織の緻密化に着目し、実験的に解明することを試みた。

2. 研究概要

図-1に石灰石微粉末添加量の違いが20℃及び0℃一定封かん養生を行ったモルタル供試体の強度発現性に及ぼす影響を示す。凡例中のO5は、石灰石微粉末を混和しない水セメント比50%のプレーンな配合を意味し、O5La3、O5La2はそれぞれ水セメント比を50%一定とし、細骨材の一部を石灰石微粉末と体積置換することにより、水粉体比を30%及び20%まで低下させた配合である。図より、O5の強度発現は、0℃養生を行った場合、20℃養生と比較して明らかに低下しているが、石灰石微粉末を添加することにより、20℃の強度発現に0℃の強度発現が顕著に近づき、O5La2では、O5と比較して、20℃、0℃ともに強度発現が大幅に増進する傾向を示した。石灰石微粉末は、水和反応にはほとんど寄与しないと言われているが、このように強度発現の増進に寄与した理由について、石灰石微粉末添加量を変化させたモルタル供試体の結合水量を強熱減量（1000℃～105℃）から算出するとともに、細孔量を水銀圧入式ポロシメータにより測定することにより、水和の進行過程と細孔組織の緻密化の両面から検討を行った。

3. 実験結果及び考察

図-2に20℃及び5℃一定封かん養生を行ったO5及びO5La3の材齢7日及び91日における結合水量測定結果を示す。図より、材齢7日の結合水量に着目すると、O5La3でO5の結合水量を上回っており、その傾向は20℃と比べ、5℃でより顕著に現れている。既往の研究²⁾においても石灰石微粉末の添加によりセメントの初期の水和反応が促進する効果が認められているが、その理由は、石灰石微粉末表面がセメント水和物の析出サイトとして寄与し、セメント水和物層の厚さが減少したことにより、水和物層を介したイオンや水分の移動抵抗が軽減したためであるとする説が有力視されている。本実験結果は、常温と比べ低温下において、石灰石微粉末の添加による水和反応の促進効果が一層顕著に現れることを示している。しかしながら、材齢91日の結合水量に着目すると、配合や養生温度の違いによらず、ほぼポテンシャル（理論上23%）に近い値で頭打ちの傾向を示しており、図には示していないが同様の傾向はO5La2においても確認さ

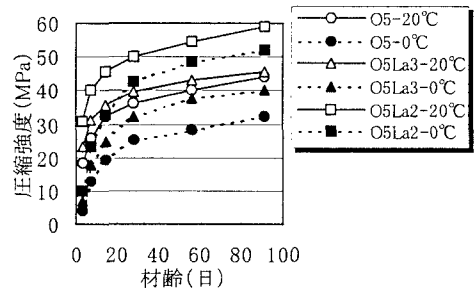


図-1 石灰石微粉末の添加量の違いが強度発現性に及ぼす影響

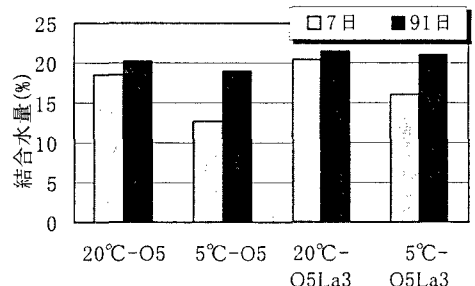


図-2 石灰石微粉末の添加が結合水量に及ぼす影響（モルタル）

れている。従って、石灰石微粉末の多量添加による長期にわたる強度増進効果は、水和反応とは無関係な機構であると推察される。そこで、石灰石微粉末の添加の有無によるモルタルの圧縮強度とその時の細孔量を比較検討することとした。結果を図-3に示す。上段には圧縮強度と全細孔量の関係を示している。両者には負の相関が見られるものの相関係数は低く ($R=0.711$)、同じ細孔容積で比較した場合、石灰石微粉末を添加した場合(黒塗り)、添加しない場合(白抜き)と比較して圧縮強度が高い値を示している。この理由は、石灰石微粉末をセメントに対して外割で置換しているため、配合によってモルタル中のペースト量に変化したためであると考えられる。そこで、石灰石微粉末をペーストの一部と考え、ペースト当たりの細孔量と圧縮強度との関係について整理した結果を中段に示す。相関係数は高くなっているものの、今度は同じ細孔量で比較した場合、石灰石微粉末を添加した場合、添加しない場合よりも低い圧縮強度を示す結果となった。これは、石灰石微粉末を含むペーストは、セメント単味のペーストと比較し、同じ細孔量であっても同等の強度を示さないことを表している。さらに、強度と最も相関が良いとされているペースト中のマクロポア ($50\text{nm}\sim 2\mu\text{m}$)³⁾と圧縮強度の関係について整理した結果、両者の間には良好な相関が認められ、石灰石微粉末を多量に添加した配合(O5La2)では、マクロポアに相当する細孔量が著しく減少していることが確認された。つまり、石灰石微粉末の多量添加による強度増進は、石灰石微粉末の空隙充てん作用により粗大な径の空隙が緻密化されることによって考えられる。

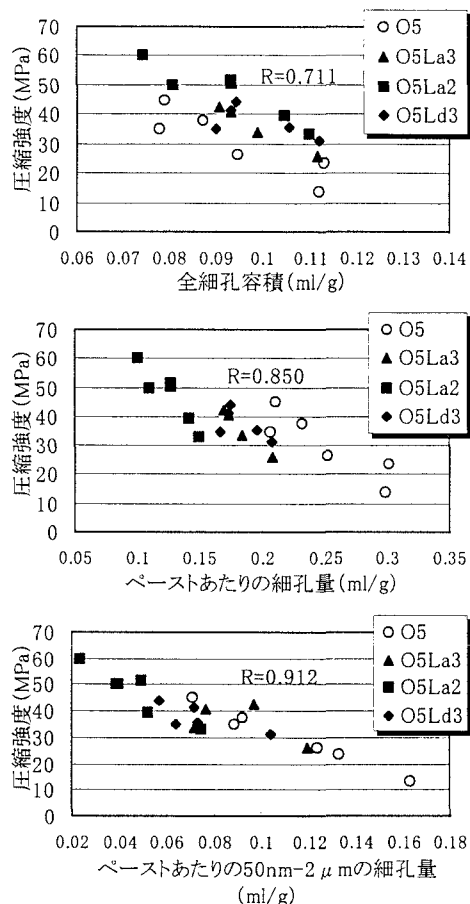


図-3 石灰石微粉末の添加の有無が細孔組織に及ぼす影響

4. 結論

以上の検討結果より、以下の結論が導かれる。

- 1) 石灰石微粉末の添加による低温下におけるセメント硬化体の強度発現増進効果は、セメントの水和反応に対する環境の改質に伴い、水和反応が著しく促進したためであると考えられる。
- 2) 石灰石微粉末の多量添加によるセメント硬化体の長期にわたる強度増進効果は、石灰石微粉末の空隙充てん作用により、ペースト部の細孔構造が変化し、粗大な径の空隙が緻密化されたためであると考えられる。

【参考文献】

- 1) 岩城一郎, 大村英昭, 三浦尚: 寒冷地における石灰石微粉末を添加したコンクリートの強度発現性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No.2, pp.169-174, 1999.
- 2) 例えば, 後藤孝治, 星野清一, 小澤尚志: エーライトの水和に及ぼす鉱物微粉末の影響, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.42-47, 1998.
- 3) Mehta, P. K. and Monteiro P. J. M. (田澤榮一, 佐伯昇監訳): コンクリート工学 微視構造と材料特性, 技報堂出版, 1998.