

(98) 高流動モルタルの特性に及ぼす混和材の影響

オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 ○呉 承寧
同 上 正会員 今井 昌文

1. まえがき

高流動コンクリートには、コンクリートの分離抵抗性を向上するために、増粘剤或いは分離低減剤を使用している。しかし、増粘剤の値段が比較的高いため、このような高流動コンクリートの材料単価は、普通のコンクリートより高くなった。高流動コンクリートのコストを削減するため、増粘剤の代わりに比較的多くの単位粉体量を使用して、コンクリートの分離抵抗性を向上させることもできると考えられる。

粉体系の高流動コンクリートとして、もし全ての粉体がセメントとした場合、コンクリートのコストが高くなるだけでなく、セメント水和発熱による温度応力問題や、収縮、アルカリ骨材反応などの耐久性問題も出てくる恐れがある。この問題を解決するために、一部分のセメントを高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、石灰石微粉末などの混和材で置換することが考えられる。

普通のコンクリートの中で、これらの混和材がコンクリートの特性に及ぼす影響は、昔からよく知られてきたが、新しいタイプの高性能AE減水剤及び高ピーライト系のセメントを用いた高流動コンクリートに及ぼす混和材の影響についての研究はまだ不十分である。本研究は、粉体系の高流動コンクリートに適する混和材を選定するために、新しいタイプの高性能AE減水剤及びセメントを用いた高流動モルタルの流動性及び圧縮強度に及ぼす混和材の影響を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは、一般的に使われる普通ポルトランドセメント、プレストレストコンクリートによく使われる早強ポルトランドセメントおよび近年開発された高ピーライト系の高流動セメントを使用した。これらセメントの物性及び鉱物組成を表-1に示す。

表-1 セメントの物性および組成

項目 種類	記号	比重	比表面積 cm ² /g	水和熱 (J/g)		化合物組成 (%)			
				3日	7日	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
早強セメント	早強	3.14	4450	----	----	64	11	8	8
普通セメント	普通	3.16	3310	323	370	52	23	9	9
高流動セメント	高流動	3.20	4150	261	308	35	46	3	9

高性能AE減水剤は、高強度・高流動コンクリート用のポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を用いた。

混和材として、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、石灰石微粉末を使った。これらの混和材の物性及び主成分を表-2に示す。

表-2 混和材の物性

項目 種類	記号	比重	比表面積 cm ² /g	化学主成分 (%)					
				L. O. I.	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃
高炉スラグ微粉末	BFS	2.92	6170	0	33.7	42.2	15.1	6.1	0.6
フライアッシュ	AF	2.38	5560	3.0	57.0	5.7	24.5	--	6.2
石灰石微粉末	LS	2.67	3840	43.6	1.0	53.1	0.1	1.7	0.1

細骨材は、3種混合の相馬硅砂(3号:4号:5号=36:21:43、F.M.=2.74、比重=2.58、吸水率=0.81%)を使用した。

表-3 モルタルの配合

2.2 モルタルの配合

本研究で用いたモルタルの配合は、普通強度、高強度および超高強度の3タイプで、表-3に示す配合とした。

種類	W/P (%)	S/P	SP/P (%)
普通強度	45	2.5	0.8
高強度	35	1.8	1.0
超高強度	25	1.0	1.5

2.3 試験項目と方法

フレッシュモルタルの流動性は、モルタルのフロー試験により測定した。

S:細骨材の重量、P:セメント+混和材 SP:高性能AE減水剤の重量

モルタルのフロー試験はJIS R 5201によって行った。ただし、水平な鉄板の上で振動を与えず、フロー値の測定を行った。

硬化モルタルの圧縮強度は、直径5cm、高さ10cmの円柱供試体を用い、圧縮試験まで標準養生(標準室に1日養生し、脱枠後直ちに水中養生槽へ)と蒸気養生(20℃で前養生10時間、60℃で蒸気養生8時間、昇降温速度13℃/hr、脱枠後直ちに水中養生槽へ)を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュモルタルの流動性に及ぼす混和材の影響

3.1.1 高炉スラグ微粉末の影響

高炉スラグ微粉末は、潜在水硬性を持っているが、ポルトランドセメントに比べて、水和反応性や高性能AE減水剤を吸着する量が極めて低いので、高性能AE減水剤を用いた高流動モルタルの流動性を向上することができると考えられる。

フレッシュモルタルのフローに及ぼす高炉スラグ微粉末の影響を水セメント比別に、それぞれ図-1、図-2、及び図-3に示す。これらの高炉スラグ微粉末の影響は、高炉スラグ微粉末の混和率、セメントの種類によって、違うことがわかった。一般的に、フレッシュモルタルのフロー値は、高炉スラグ微粉末の混和率が高いほど高いが、モルタルの配合による限界があることも確認された。

一方、フレッシュモルタルのフロー値に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響は、図-1に示すように、用いたセメントの種類にも影響を受ける。高流動セメントを用いたモルタルは、普通セメントまた早強セメントを用いたモルタルに比べ、フレッシュモルタルのフロー値に与える高炉スラグ微粉末の影響はかなり少ない。即ち、高流動セメントペーストは、普通セメントペーストまたは早強セメントペーストに比べ、高炉スラグ微粉末ペーストとの流動性に差が小さいと考えられる。その理由として、高流動セメントの極早期水和反応性が普通セメントおよび早強セメントより低いためである。しかし、そのセメントの種類による差は、図-3に示すように、水セメント比が大きくなると、少なくなる。

3.1.2 フライアッシュの影響

フライアッシュは、ポゾラン反応性のある球状微粒子の混和材である。フレッシュモルタルに対して、球状のフライアッシュはベアリング作用があると思われる。また、フライアッシュは、ポルトランドセメントより、高性能AE減水剤に対する吸着能力が非常に低い。モルタル中の一部のポルトランドセメントをフライアッシュにより置換すると、高性能AE減水剤に対する吸着が少なくなって、フレッシュモルタルの流動性が高くなると考えられる。

フレッシュモルタルのフローに及ぼすフライアッシュの影響

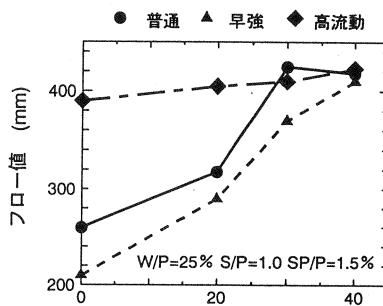


図-1 超高強度モルタルのフロー値と高炉スラグ微粉末の混和率の関係

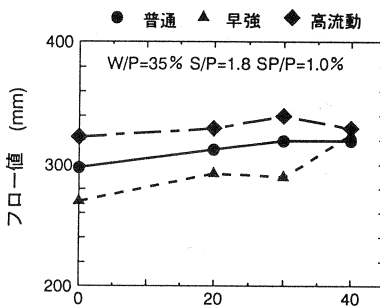


図-2 高強度モルタルのフロー値と高炉スラグ微粉末の混和率の関係

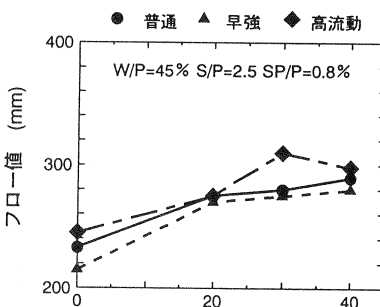


図-3 普通強度モルタルのフロー値と高炉スラグ微粉末の混和率の関係

を図-4及び図-5に示す。フライアッシュは、高炉スラグ微粉末と同様にフレッシュモルタルのフローに寄与する。これらの図より、フレッシュモルタルの流動性を向上させるフライアッシュの効果は、混和率の増加に

従って大きくなるが、モルタルの配合によって限界もある。本実験の条件において、フライアッシュを10%以上混和すると、フレッシュモルタルのフローを向上させるフライアッシュの作用が水平になる傾向を確認した。

3.1.3 石灰石微粉末の影響

石灰石微粉末は、水和反応性のほとんどない混和材と考えられている。石灰石微粉末は水和反応性がないだけでなく、ポルトランドセメントに比べて、高性能AE減水剤に対する吸着量が極めて低いので、高性能AE減水剤を用いた高流動モルタルとして、一部のポルトランドセメントの代わりに石灰石微粉末を混和することにより、高性能AE減水剤に対する吸着が少なくなると考えられる。

フレッシュモルタルのフローに及ぼす石灰石微粉末の影響を図-6、図-7及び図-8に示す。これらの図より、石灰石微粉末を混和すると、フレッシュモルタルのフロー値が高くなった。しかしながら、フレッシュモルタルの流動性を向上する石灰石微粉末の作用は、モルタル中の高性能AE減水剤の添加率が低いほど、少ないことも認められた。この現象は、石灰石微粉末が主に高性能AE減水剤の吸着量を減少させることによってフレッシュモルタルの流動性を向上することを実証した。モルタル中の高性能AE減水剤の添加率が少なくなると、この石灰石微粉末の混和することによる高性能AE減水剤の吸着量の減少も少なくなると考えられる。高流動セメントは、普通セメント及び早強セメントより、高性能AE減水剤に対する吸着量が少ないため、

高流動セメントを用いたフレッシュモルタルの流動性が比較的高いことが幾つかの研究により明らかとなった[1][2]。この高性能AE減水剤を吸着する量の少ない高流動セメントを用いたモルタルに対

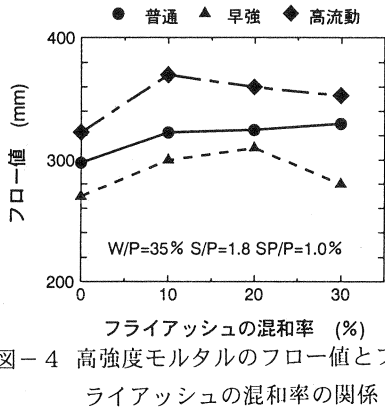


図-4 高強度モルタルのフロー値とフライアッシュの混和率の関係

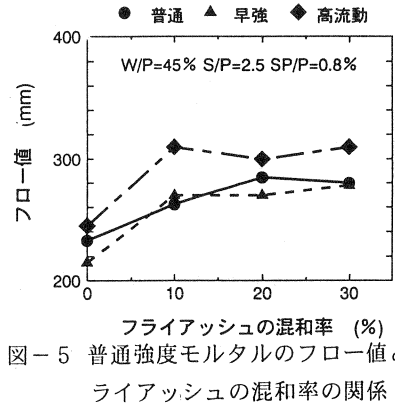


図-5 普通強度モルタルのフロー値とフライアッシュの混和率の関係

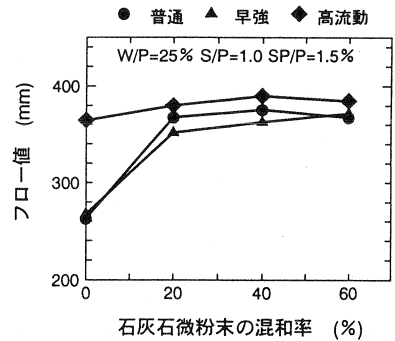


図-6 超高強度モルタルのフロー値と石灰石微粉末の混和率の関係

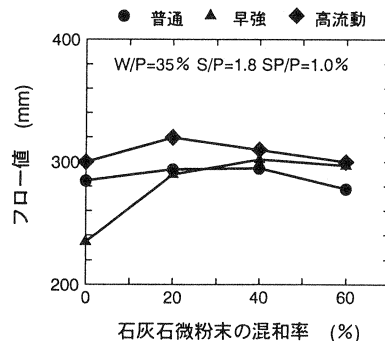


図-7 高強度モルタルのフロー値と石灰石微粉末の混和率の関係

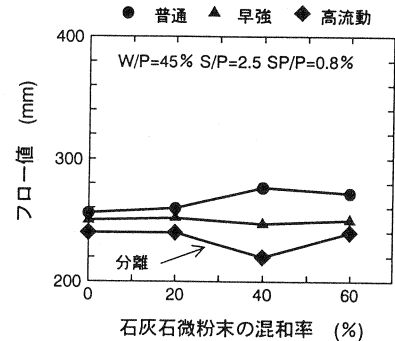


図-8 普通強度モルタルのフロー値と石灰石微粉末の混和率の関係

して、図-6、図-7及び図-8に示すように、石灰石微粉末は置換によりモルタルの流動性を向上させる効果の少ないことがわかった。

3.1.4 各種混和材の比較

違う種類の混和材は、粒子の形状や、粒度分布、高性能AE減水剤の吸着量などによってフレッシュモルタルの流動性に及ぼす影響が異なることが予想される。フレッシュモルタルのフローに及ぼす混和材の種類影響を図-9に示す。この図より、フライアッシュは、高炉スラグ微粉末及び石灰石微粉末より、フレッシュモルタルのフロー値を増加させる作用が大きいことが明らかになった。これは、球状のフライアッシュのベアリング効果と関係があると考えられる。

3.2 硬化モルタルの強度に及ぼす混和材の影響

本研究には、混和材の種類が硬化モルタル強度に及ぼす影響を検討するために、潜在水硬性のある高炉スラグ微粉末、ポゾラン反応性のあるフライアッシュ、及び水和反応性のほとんどない石灰石微粉末等の水和反応性の異なる3種類混和材を使用した。さらに、早強セメント、普通セメント、高流動セメントなど強度発現速度の異なる3種類セメントをそれぞれ用いて、硬化モルタルの圧縮強度にこれらの混和材の影響を検討した。

3.2.1 高炉スラグ微粉末の影響

硬化モルタルの圧縮強度に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響を図-10に示す。高炉スラグ微粉末を混和することにより、3種類のセメントに対して、いずれモルタルの早期強度を低減させた。しかし、普通セメントまたは高流動セメントを用いたモルタルの長期強度に高炉スラグ微粉末はあまり影響しないことに比べて、早強セメントを用いたモルタルの長期強度は、高炉スラグ微粉末の混和によって、かなり増加された。その理由として、早強セメントは、普通セメントまた高流動セメントに比べて、長期強度に役に立つ鉱物成分が比較的に少ないため、長期強度の伸び率が低い。早強セメントに高炉スラグ微粉末を混和すると、潜在水硬性のある高炉スラグ微粉末は、徐々に水和してモルタルの空隙に充填し、モルタルの長期強度に寄与すると考えられる。

高炉スラグ微粉末の混和によるモルタルの早期強度の低下は、図-11に示すように、蒸気養生により改善することができる。特に、高炉スラグ微粉末を40%まで用いたモルタルの早期圧縮強度は、無混和のモルタルの圧縮強度とほぼ同じであった。しかし、図-10と図-11を比べると、蒸気養生したモルタルの長期強度は、標準養生の場合より、低いことが明らかになった。モルタルの早期強度に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響は、モルタルの配合によって、違うことが図-12からわかった。水セメント比の小さい富配合のモルタルに対して、高炉スラグ微粉末はモルタルの早期強度にあまり影響しない。その原因は、富配合のモルタルに早期強度に対する必要なセメント量が十分にあるから。この時、高炉スラグ微粉末はフィラーとしても、モ

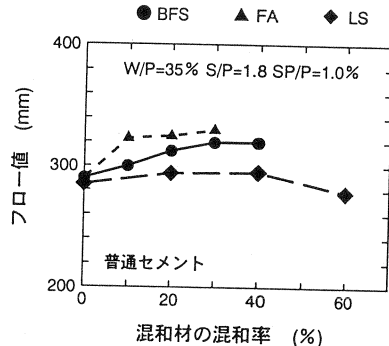


図-9 フレッシュモルタルのフローに及ぼす混和材の種類影響

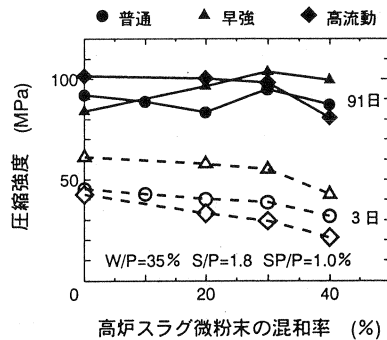


図-10 モルタルの圧縮強度に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響

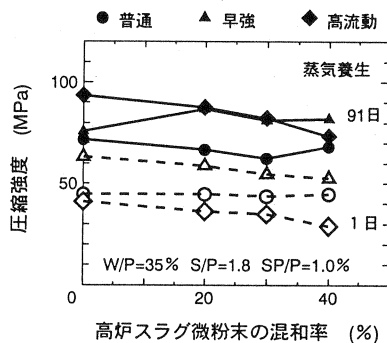


図-11 高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの強度に及ぼす蒸気養生の影響

ルタルが十分な強度を得られる。しかも、高炉スラグ微粉末自身は、アルカリのセメント水和生成物の刺激により水和して、モルタルの強度に役に寄与する。

3.2.2 フライアッシュの影響

フライアッシュを混和したモルタルの圧縮強度を図-13に示す。この図より、普通セメントまたは早強セメントを用いたモルタルには、良質のフライアッシュを30%まで混和すると、モルタルの早期強度が低下せず、しかも、長期強度を増加させた。ところが、同じ条件で、高流動セメントを用いたモルタルにフライアッシュを混和すると、早期及び長期ともに、無混和より強度が低くなった。従って、高流動セメントは、普通セメントまたは早強セメントより、フライアッシュに対するアルカリ刺激能力が低いと考えられる。

3.2.3 石灰石微粉末の影響

石灰石微粉末は、図-14及び図-15に示すように、モルタルの圧縮強度に影響した。普通セメント、早強セメントまたは高流動セメントを用いたモルタルいずれにしても、水セメント比の違いにもかかわらず、石灰石微粉末を混和すると、モルタルの圧縮強度は石灰石微粉末の混和率が高いほど、低くなった。

3.2.4 各種混和材の比較

図-16に示すように、高炉スラグ微粉末及びフライアッシュと比べて、石灰石微粉末は水和反応性がないから、石灰石微粉末を混和したモルタルの強度が最も低い。特に、潜在水硬性のある高炉スラグ微粉末またはポゾラン反応性のあるフライアッシュに対して、蒸気養生は水和反応を促進することができるため、蒸気養生したモルタルの1日強度は、混和材を混和したモルタルと無混和モルタルとでほぼ同程度であることが図17より明らかにわかる。ところが、水和反応性のない石灰石微粉末を用いたモルタルに対して、蒸気養生しても、早期強度は石灰石微粉末の混和率が高いほど低いことも明確になった。

石灰石微粉末は、水和反応性がほとんどないが、図-18及び図-19に示すように、モルタル中のセメント水比と圧縮強度との関係を考えて (即ち、石灰石微粉末が外割りで混和すると考える)、同じセメント水比で、石灰石微粉末を混和したモルタルは無混和より強度が高いことが明らかになった。したがって、石灰石微粉末は、フィラー作用により、モルタルの強度を向上することができる。石灰石微粉末の混和率 (外割り) が

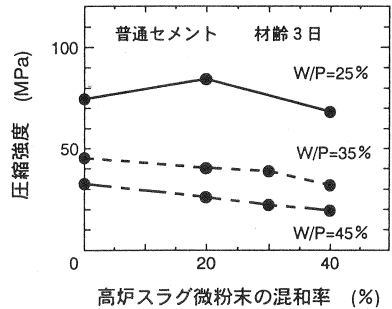


図-12 モルタルの早期強度に及ぼす高炉スラグ微粉末と配合の影響

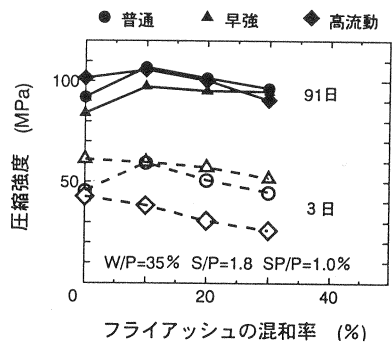


図-13 モルタルの強度に及ぼすフライアッシュの影響

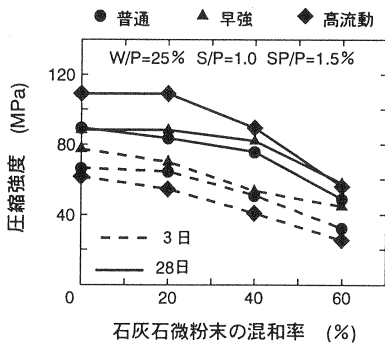


図-14 モルタルの圧縮強度に及ぼす石灰石微粉末の影響

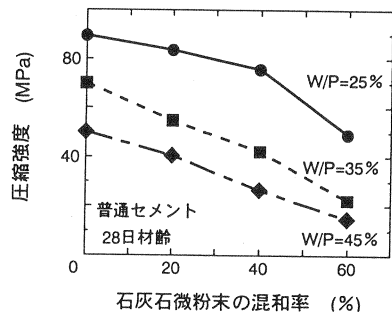


図-15 水セメント比の違うモルタルの強度に及ぼす石灰石微粉末の影響

高ければ高いほど、モルタルの強度を増加する効果が高いことも判明した。ところが、これらの図より、モルタルのセメント水比が1.5以下になると、モルタルの強度を増加させる石灰石微粉末のフィラー作用はなくなることがわかる。その理由は、セメント水比が少なくなると、石灰石微粉末の周りに接着する必要セメント量が足りなくなったためと考えられる。

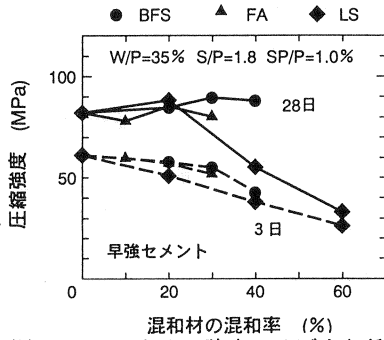


図-16 モルタルの強度に及ぼす各種の混和材の影響

作用はなくなることがわかる。その理由は、セメント水比が少なくなると、石灰石微粉末の周りに接着する必要セメント量が足りなくなったためと考えられる。

4. まとめ

本研究において、高流動モルタルの特性に及ぼす混和材の影響について、以下のことが明らかとなった。

(1) 混和材はフレッシュモルタルの流動性に寄与するが、そのうち、フライアッシュは最も効果的と考えられる。

(2) 高流動セメントを用いたモルタルの流動性に対する混和材の改善効果は、普通セメントまたは早強セメントを用いたモルタルより、少ないことが判明した。

(3) 高性能AE減水剤の添加率の少ない貧配合モルタルより、高性能AE減水剤の添加率の高い富配合モルタルの方が、モルタルの流動性に対する混和材の効果が高いことを確認した。

(4) 高炉スラグ微粉末またフライアッシュは、普通セメントまた早強セメントを用いたモルタルに対して、早期強度を低減させるが、長期強度を増加することができる。しかし、高流動セメントに対して、早期及び長期強度とも低減させる。

(5) 石灰石微粉末の混和により、モルタルの早期および長期強度とも低減させるが、もし混和率を外割りで計算した場合、石灰石微粉末はモルタルの強度を増加させる。

(7) モルタルの早期強度に及ぼす高炉スラグ微粉末またフライアッシュの影響は、蒸気養生または富配合によって、改善することができるが、石灰石微粉末を混和したモルタルの早期強度に対して、蒸気養生の効果はあまりないことを確認した。

参考文献

- [1] 名和豊春：高ピーライト系セメントの現状、コンクリート工学、Vol. 34, No. 12, pp. 16~25, 1996
- [2] 中村昌志・長岡誠一・和田芳明・春日 忍、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤のクリンカー-鉱物への吸着特性、第49回セメント技術大会講演集、pp. 38-41, 1995

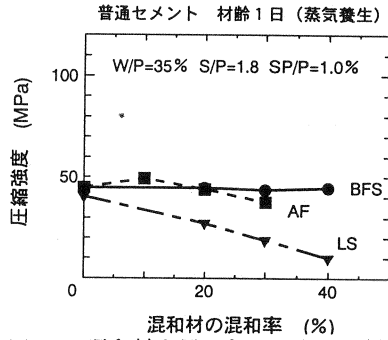


図-17 混和材を用いたモルタルの早期強度に及ぼす蒸気養生の影響

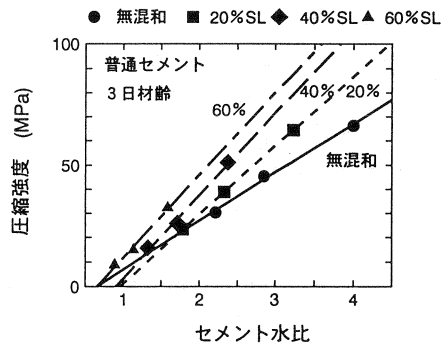


図-18 セメント水比及び石灰石微粉末の混和率とモルタルの材齢3日強度の関係

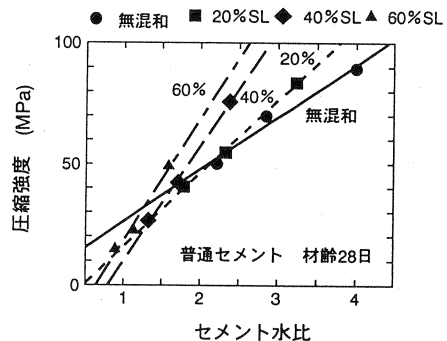


図-19 セメント水比及び石灰石微粉末の混和率とモルタルの材齢28日強度の関係