

練り混ぜ方法がセメントペーストのレオロジー的性質に及ぼす影響

広島大学 正 員 田澤 栄一

広島大学 学生員 笠井 哲郎

広島大学 学生員○柏木 勉

1. まえがき

セメントに水の一部を加えて練り混ぜた後、水の残部を加えて練り混ぜる（DM）と、従来の練り混ぜ方法（SM）に比べて大幅に性質の異なるセメントペーストを製造できることは、これまでの多くの研究報告により明らかにされている。本研究では、ダブルミキシングおよび従来法で製造したセメントペーストのブリージング特性に加え、降伏値 τ_0 、塑性粘度 η_p を測定し、練り混ぜ方法の相違がセメントペーストのレオロジー的性質に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

2. 実験概要

セメントは、普通ポルトランドセメント（比重：3.16、ブレン値：3290 cm^2/g ）を使用した。混和剤としてナフタリンスルホン酸塩系の高性能減水剤を使用した。セメントペーストの W/C は50%および60%である。練り混ぜには20 ℓ のホバート型モルタルミキサーを使用した。セメントペーストの製造は、図-1に示すようにSMおよびDMにて行なった。セメントは図に示す低速運転30秒間にミキサーに連続投入した。混和剤の添加は練り混ぜ水（DMの場合は一次水または二次水）に溶かして行なった。また、DMにおいて一次練り混ぜ時間の影響について検討した。セメントペーストの練り上り容量は10 ℓ 、練り上り温度19~23 $^{\circ}\text{C}$ である。ブリージング率の測定は土木学会基「プレバックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率および膨張率試験方法」に準拠した。降伏値および塑性粘度の測定には図-2に示すような管式粘度計を用いた。管式粘度計で得られたセメントペーストの流動曲線の一例を図-3に示す。本実験で用いたセメントペーストはいずれの場合も図のようにビンガム体と仮定できるので、細管内の塑性流動を示すバッキングラムライナーの式より τ_0 、 η_p を求めた。

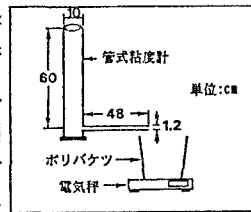


図-2 管式粘度計

従来の方法 (SM)			
W	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:4分}{練り混ぜ}$	排出
			SP 無添加
(W+SP)	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:4分}{練り混ぜ}$	排出
			SP 同時添加
W	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:4分}{練り混ぜ}$	$\frac{H:0.5分}{+SP}$ 排出
			SP 後添加
ダブルミキシング法 (DM)			
W ₁	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:2分}{一次練り}$	$\frac{H:2分}{二次練り}$ 排出
			SP 無添加
(W+SP)	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:2分}{一次練り}$	$\frac{H:2分}{二次練り}$ 排出
			SP 一次水に添加
W ₁	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:2分}{一次練り} + (W_2+SP)$	$\frac{H:2分}{二次練り}$ 排出
			SP 二次水に添加
W ₁	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:2分}{一次練り}$	$\frac{H:0.5分}{+SP}$ 排出
			SP 後添加

W: 水, W₁: 一次水, W₂: 二次水, SP: 高性能減水剤, C: セメント, L: 低速, H: 高速, —: ミキサーによる練り混ぜ

図-1 練り混ぜ方法

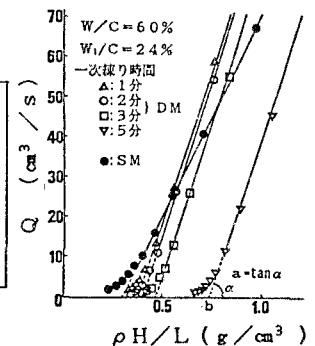
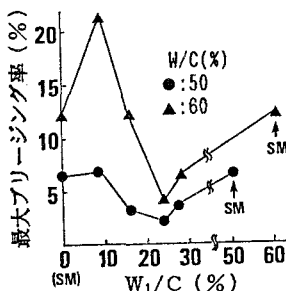
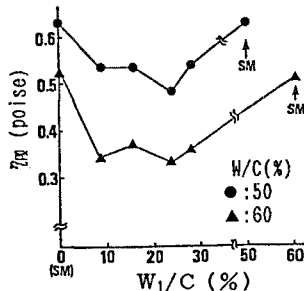
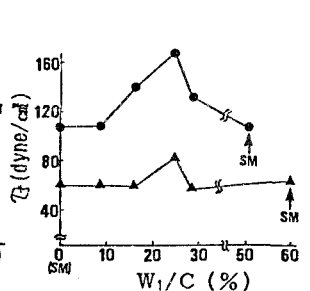


図-3 セメントペーストの流動曲線

3. 実験結果および考察

図-4は、 $W/C=50, 60\%$ のセメントペーストについてそれぞれDMにおける W_1/C の変化に伴うブリージング率を、また、図-5はそのときの τ_0 、 η_p の変

図-4 W_1/C とブリージングの関係図-5 W_1/C と τ_0 、 η_p の関係

化を示したものである。これらの図において W_1/C の変化に伴ない τ_0 、 η_p もそれぞれ変化し、ブリージング

を最小とする W_1/C ($=24\%$) において η_{sp} は最小値を、 η は最大値を示しており、 η の逆数と W_1/C の関係は、 $W_1/C=9\%$ の場合を除いてブリージングと W_1/C の関係に酷似していることがわかる。

図-6, 7は、最適 W_1/C で DM を行ない一次練り混ぜ時間を変化させて製造したセメントペーストのブリージング率および η_{sp} , η を示したものである。最適

W_1/C の DM で一次練り混ぜ時間を延長するとブリージング率は時間に伴ない大幅に減少している。また、 η_{sp} は一次練り混ぜ時間1分で SM に比べ急激に小さくなり、以後ほとんど変化がないが、 η は一次練り混ぜ時間の延長に伴ない単調に増加した。上で述べたブリージング率と η の関係が一次練り混ぜ時間を延長した場合においても同様に現われている。

図-8, 9は、高性能減水剤を一次水に添加し、それぞれの添加量での最適 W_1/C のセメントペーストにおいて、高性能減水剤の添加量がブリージングおよび η_{sp} , η に及ぼす影響を示したものである。DM で製造した場合、高性能減水剤の添加量の増加に伴いブリージング率は減少し 0.7% で最小値となるが、これを越えるとブリージング率は増加している。しかし、 η は添加量に伴ない単調に減少しており、プレーンペーストにおいて見られた η とブリージングの相関性は認められない。

図-10は、これまで示したセメントペーストおよび DM における一次練り混ぜ時間、高性能減水剤の添加方法等を変化させたセメントペーストの η - η_{sp} 関係を示したものである。 η - η_{sp} 関係は同一組成のセメントペーストにおいても、DM における W_1/C 、一次練り混ぜ時間および高性能減水剤の添加方法の相違により明らかに異なっており、 η - η_{sp} 関係を単一の関数で表わすことはできない。また、 η - η_{sp} 平面上の二本の破線によって分けられる領域①②③は、最適の DM で製造した場合(領域①)、最適以外の DM で製造した場合(領域②)および SM で製造した場合(領域③)に対応させることができる。これより、 η と η_{sp} の相関性はセメントペーストの組成を同一にすることよりもむしろ練り混ぜ方法を同一にすることで現われてくるものと考えられる。

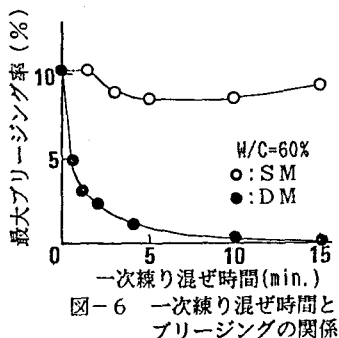


図-6 一次練り混ぜ時間とブリージングの関係

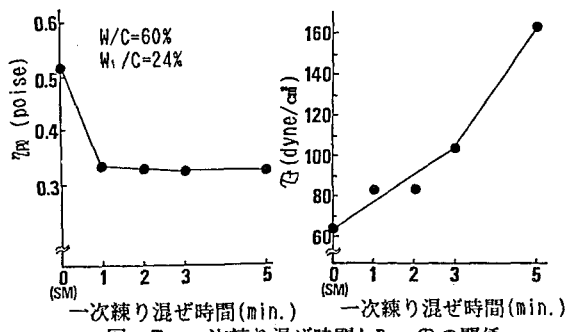


図-7 一次練り混ぜ時間と η_{sp} , η の関係

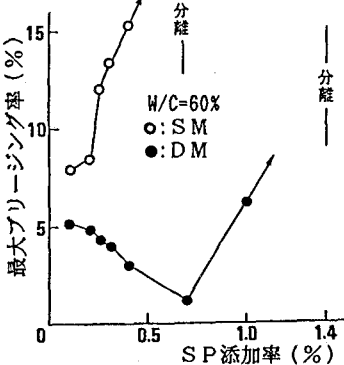


図-8 SP添加量とブリージングの関係

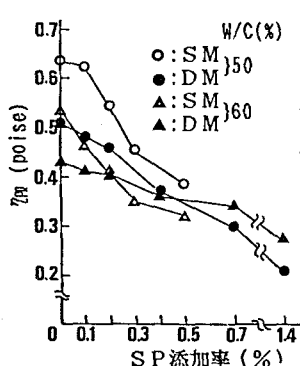


図-9 SP添加量と η_{sp} , η の関係

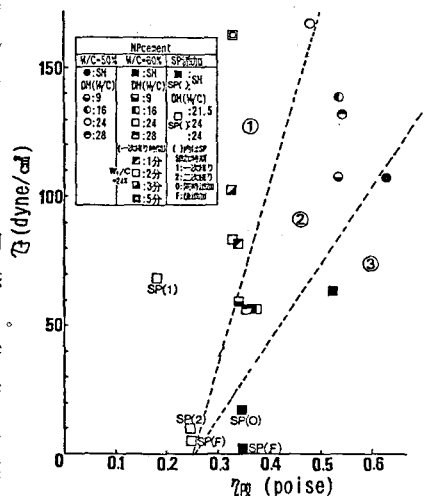


図-10 η - η_{sp} の関係