

V-98

セメントペーストのダブルミキシング効果に及ぼす セメントの鉱物組成の影響

東海大学工学部 正会員 笠井 哲郎

1. まえがき

普通ポルトランドセメントを用いたセメントペーストの練り混ぜにダブルミキシング（以下DM）を適用すると、従来の練り混ぜ方法（以下SM）で製造した場合に比べ、セメントペーストのブリーディングは大幅に変化する。すなわち、DMにおける最適の一次水セメント比（ W_1/C ）で、セメントペーストを製造するとブリーディングは減少し、更に最適 W_1/C で一次練り混ぜ時間を延長することで、ブリーディングがほとんど生じないセメントペーストを製造できる。この効果（DM効果）の発生機構については、セメント粒子のゼータ電位がDMによって変化し、ペーストの凝集構造に変化が生じることから説明できることが示されている¹⁾。また、セメント粒子のゼータ電位は、主に練り混ぜ中または練り混ぜ直後のペースト液相中の Ca^{2+} および SO_4^{2-} イオン濃度により決定されると考えられている²⁾。このため、セメントの初期の水和反応などがDM効果に影響を及ぼすものと考えられる。

本研究は、セメントの初期水和時の各種イオンの溶出速度に関係の深いセメントの鉱物組成に着目し、鉱物組成の異なる各種ポルトランドセメントを用いたセメントペーストをDMおよびSMで製造し、そのブリーディング試験結果からDM効果に及ぼすセメントの鉱物組成の影響について検討したものである。

2. 実験概要

セメントは、表-1に示す市販の各種ポルトランドセメントを使用した。表の鉱物組成は、各セメントの化学成分からBogueの式により算出した値である。

DMおよびSMによるセメントペーストの製造方法は、それぞれ図-1に示すとおりである。練り混ぜには容量10ℓのホバート型モルタルミキサを使用した。また、ミキサに電流計を取り付け、練り混ぜ時の電流量を測定し攪拌トルクの指標とした。セメントペーストの W/C は40および60%とし、DMにおける一次水セメント比

（ W_1/C ）は各セメントとも9, 16, 20, 22~26, 30, 40%とした。ここで、 $W_1/C=22\sim 26\%$ は、各セメントにおいて一次練り混ぜ時の攪拌トルクが最大となる値である。以上で製造したセメントペーストについて、土木学会基準「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率および膨張率試験方法」に

準拠し、ブリーディング率を測定した。図-2に普通ポルトランドセメントを用いた場合のブリーディング率-時間曲線の測定結果の一例を示す。この曲線において、ブリーディング率の最大値を最大ブリーディング率（%）として以下に用いた。

3. 実験結果および考察

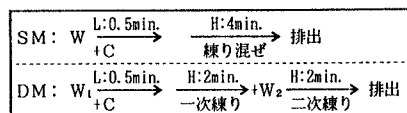
（1）各種セメントのDM効果

図-3, 4に W/C をそれぞれ60%および40%とし、各種セメントを用いた場合のDMの W_1/C の変化と最大ブリーディング率の関係を示す。これらの図において、最大ブリーディング率は、どのセメントの場合

キーワード：セメントペースト、ダブルミキシング、鉱物組成

表-1 使用ポルトランドセメントの鉱物組成

種 類	記号	比重	Blaine (cm^2/g)	鉱物組成 (%)				
				CaS	C ₂ S	CaA	C ₄ AF	CaSO ₄
普通A	OP-A	3.16	3270	45.9	24.2	11.9	9.1	3.23
普通B	OP-B	3.15	3380	58.8	16.5	8.4	9.1	3.40
早強	HP	3.12	4550	64.0	10.0	9.4	7.9	4.76
中腐熟A	MP-A	3.20	3100	48.0	26.2	6.3	11.6	3.06
中腐熟B	MP-B	3.22	3350	43.8	33.5	4.0	11.9	3.23
耐硫酸塩	SP	3.20	3380	62.9	16.0	0.7	14.0	3.57
白色	WP	3.03	3700	67.2	11.2	11.6	0.6	4.25
ビーク	BP	3.22	3690	14.9	71.3	2.0	6.2	3.74



C:セメント, W:水, W_1 :一次水, W_2 :二次水

L:低速, H:高速, →:ミキサによる練り混ぜ

図-1 練り混ぜ方法

とも W_1/C により大幅に変化し、 W/C が60%および40%とも最適 W_1/C （22~26%）において最小値を示し、正のDM効果（DMによってブリーディング減少することをいう）が現れている。

表-2は、DM効果の大きさを（SMのブリーディング）／（DMのブリーディング）と定義し、各種セメントを用いた場合について、図-3、4の結果から求めたものである。なお、

表の値が1より大きい場合に正のDM効果であり、また値が大きいほどDM効果が大きいことを示すものである。表より、各種セメントについてDM効果を比較すると、OP、HPセメントでDM効果が大きく、続いてWPセメント、MP、SP、BPセメントの順に小さくなっていく。

（2）DM効果に及ぼす鉱物組成の影響

表-3は各種セメントの鉱物組成（表-1）とDM効果（表-2）との相関を取り、各々鉱物についてDM効果との相関係数を示したもので、この相関係数が1に近いほどDM効果に関係が深いことを示すものである。表より、 W/C が40%および60%の場合とも、各鉱物の相関係数はほぼ同じ値となり、また C_3A に正の相関が最も強く現れている。すなわち、 C_3A の比率が多いセメントほど正のDM効果が大きく現れることを示すものである。一般にポルトランドセメント中の C_3A は、他の鉱物に比べて極初期の水和反応が速く、 $CaSO_4$ との間で $C_3A-A-CaSO_4-H_2O$ 系複塩（エトリンガイトまたはモノサルフェートなど）を生成すると説明されており、このような極初期の反応がDM効果に影響を及ぼすことが予想される。このことは、著者の一人が行った、DM効果を示さないある種の中熟セメントに硬化促進剤を添加し、初期の水和速度を速くすると正のDM効果を示すようになるという実験結果の見解と一致するものである³¹⁾。

以上より、セメントペーストのDM効果はセメントの種類により異なり、セメントの鉱物組成の内 C_3A の比率が多いセメントほど正のDM効果が大きくなる。

<参考文献> 1)田澤、笠井：セメントペーストのダブルミキシング効果とその発生機構，材料，Vol. 39, No. 445, 1990. 2)名和、江口 他：セメントの初期水和反応と流動性に関する一考察，セメント技術年報，Vol. 40, 1986.

3)笠井、田澤：セメントペーストのダブルミキシング効果と初期ブリーディング速度，土木学会年講，No. 43, 1988.

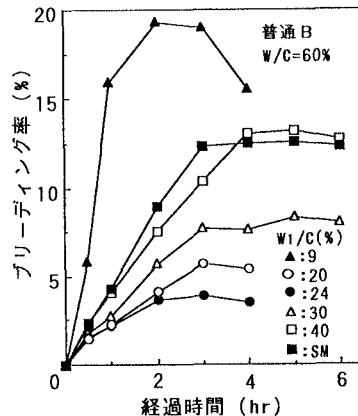


図-2 ブリーディング率-時間曲線

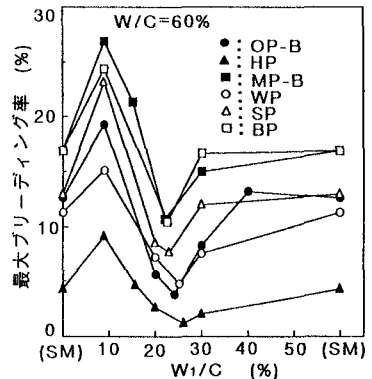


図-3 W_1/C とブリーディングの関係（ $W/C=60\%$ ）

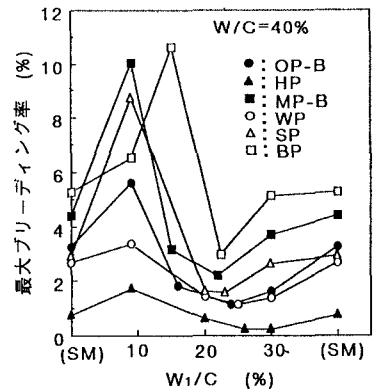


図-4 W_1/C とブリーディングの関係（ $W/C=40\%$ ）

表-2 各種セメントのDM効果(SM/DM)

セメントの種類	W/C	
	60%	40%
OP-A	3.12	2.91
OP-B	3.25	2.82
HP	3.58	3.59
MP-A	1.67	1.77
MP-B	1.60	1.98
SP	1.70	1.82
WP	2.34	2.40
BP	1.62	1.75

表-3 鉱物組成-DM効果の相関係数

セメント 鉱物	W/C	
	60%	40%
C_3S	0.452	0.468
C_2S	-0.530	-0.541
C_3A	0.740	0.723
C_4AF	-0.257	-0.266
$CaSO_4$	0.444	0.560