

各種コンクリートのブリーディングと 圧縮強度に及ぼす分割練混ぜの影響

Effects of double-mixing on Bleeding and Compressive Strength of Concretes

吉田 行* 堺 孝司**

Susumu YOSHIDA and Koji SAKAI

分割練混ぜ（ダブルミキシング：以下DM）コンクリートは、ブリーディングが低下し圧縮強度が増大されていると言われている。しかしながら、DMの効果は水セメント比や単位セメント量などにより異なると考えられる。本研究では、種々のコンクリートに対してブリーディング試験および圧縮強度試験を行い、DMが有効となる領域について検討した。また、コンクリートの圧縮強度に大きく影響を及ぼすのは細骨材界面よりもむしろ粗骨材界面であることに着目し、従来の細骨材界面を造殻する考え方に基づくDMに加えて粗骨材の界面を造殻する新しいDMを行い、練混ぜ方法の違いがブリーディングおよび圧縮強度に及ぼす影響について検討した。

その結果、分割練混ぜが有効となるコンクリートの配合領域があること、および粗骨材を造殻する練混ぜ方が有効であることが明らかとなった。

《分割練混ぜ；コンクリート；ブリーディング；圧縮強度；細孔分布》

The features of double-mixing (DM) concrete are thought to be a decrease in bleeding and an increase in compressive strength. However, the effects of DM may differ, depending on water-cement ratio and the cement content per unit volume of concrete. In this study, bleeding and compressive strength tests were conducted on various types of concrete to determine ranges in which double-mixing is effective. New double-mixing methods in which the paste membrane is formed on coarse aggregate surface in advance were considered to investigate the effects of mixing methods on bleeding and compressive strength.

The results showed the existence of a certain concrete mixing range in which double-mixing was effective, and the new double-mixing method was effective.

Keywords: double-mixing, concrete, bleeding, compressive strength, pore structure

1. はじめに

分割練混ぜ(ダブルミキシング:以下DM)コンクリートは、一般にブリーディングが低下し圧縮強度が増大すると言われている。著者らは、これまで、ダムコンクリートに対してDMを行い、ブリーディングおよび圧縮強度に及ぼす影響について検討してきた¹⁾。その結果、ある領域においてはDMの効果がみられるものの、ブリーディングと圧縮強度が必ずしも対応しないことが明らかとなった。これらの結果から、DMの効果は水セメント比や単位セメント量などにより異なることが考えられた。そこで本研究では、種々のコンクリートに対してブリーディング試験および圧縮強度試験を行い、DMが有効となる領域について検討した。ま

た、コンクリートの圧縮強度に大きく影響を及ぼすのは細骨材界面よりもむしろ粗骨材界面であることに着目し、従来の細骨材界面を造殻する考え方に基づくDMに加えて粗骨材の界面を造殻する新しいDMを行い、練混ぜ方法の違いがブリーディングおよび圧縮強度に及ぼす影響について検討した。更に、細孔分布の測定を行い、練混ぜ方法の違いがコンクリートの細孔構造に及ぼす影響についても検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表-1および表-2に本研究で使用したセメントの物理特性および化学成分を、また、表-3に骨材の品

表-1 セメントの物理特性

種 類	比 重	比表面積 (cm ² /g)	凝 結			安 定 性	圧縮強さ (N/mm ²)			水和熱 (cal/g)	
			水量	始発	終結		3d	7d	28d	7d	28d
			(%)	(h-min)	(h-min)						
普通ポルトランドセメント	3.16	3380	28.5	2-15	3-25	良	17.2	26.5	42.8	—	—
中庸熱フライッシュセメント(30%)	2.85	3280	26.8	4-10	5-25	良	73	120	235	51.5	64.4

表-2 セメントの化学成分(%)

種 類	ig.loss	MgO	SO ₃	R ₂ O
普通ポルトランド	0.8	2.5	2.1	0.61
中庸熱フライッシュセメント(30%)	0.8	2.0	1.4	0.44

表-3 骨 材 の 品 質

(普通コンクリート用骨材)

骨材の種類 (樽前、見晴産)	比 重	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 (kg/m ³)	実績率 (%)	粒径判定実績率 (%)
細骨材:S	2.70	0.97	2.86	1920	71.8	—
粗骨材(15~5mm):G _s	2.67	1.64	6.48	—	—	
(20~15mm):G _M	2.67	1.49	6.98	—	—	
(20mm以上):G _L	2.68	1.60	7.28	—	—	
混合骨材(20~5mm)	2.67	1.58	6.71	1600	60.8	

(ダムコンクリート用骨材)

骨材の種類 (札内川産)	比 重	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 (振動台法) 2)	実績率 (%)	粒径判定実績率 (%)	
細骨材：S	2.66	1.53	2.96	1950 (kg/m ³)	73.3	—	
粗骨材(20～5mm)：G _s	2.70	1.00	6.70	—	—	60.0	62.9
(40～20mm)：G _M	2.72	0.74	—	—	—	—	
(80～40mm)：G _L	2.71	0.62	—	—	—	—	
混合骨材(80～5mm)	2.71	0.79	7.90	1880	69.4	—	

質をそれぞれ示す。普通コンクリートでは、セメントは普通ポルトランドセメント（OP）を使用した。細骨材は苫小牧樽前産の海砂を、粗骨材には小樽市見晴産の碎石を使用し、粗骨材の最大寸法は20mmとした。ダムコンクリートでは、セメントはフライアッシュ置換率30%の中層熱フライアッシュセメント（MF）を使用した。骨材は札内川産を使用し、粗骨材の最大寸法は80mmとした。混和剤は、普通コンクリートの水セメント比35%では高性能AE減水剤および空気連行剤を使用し、他の水セメント比ではAE減水剤および空気連行剤を使用した。ダムコンクリートではAE減水剤遅延型を使用し、有スランブコンクリートには空気連行剤を併せて使用した。表－4に混和剤の主成分を示す。

2. 2 コンクリートの配合

表－5に各コンクリートの配合を示す。普通およびダム有スランブコンクリートの目標スランブおよび空気量はそれぞれ、 $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ 、 $4.5\% \pm 1\%$ 、および $4.0 \pm 1.0\text{cm}$ 、 $3.5 \pm 1\%$ とした。また、RCDコンクリートの目標VC値は 20 ± 10 秒とした。

2. 3 試験の概要

表－6にコンクリートの練混ぜ方法および使用ミキ

サを示す。練混ぜケースSMは、練混ぜ水を一括投入する従来の練混ぜ方式である。DMは、練混ぜ水を一次および二次水に分割して投入する従来の分割練混ぜ方式で、モルタル先練りとした。GDは、新しく考案した粗骨材を造殻する分割練混ぜ方式である。GDではセメントも分割し、一次セメントは粗骨材の造殻に使用し、残りの二次セメントおよび二次水は細骨材と混練してモルタルを作製し、二次練り時に造殻した粗骨材とモルタルを併せ、粗骨材の造殻膜の損傷をできるだけ少なくする方式とした。なお、各方法における練混ぜ時間は、コンクリートの状態を目視で判定し決定した。また、コンクリートの練混ぜに使用したミキサは、それぞれの練混ぜの行程を考慮して決定した。

普通コンクリートおよびダム有スランブコンクリートのブリーディング試験は、JIS A 1123に準拠して行った。RCDコンクリートについては、VC試験後のペーストが十分に上昇した状態からその測定を行った。また、圧縮強度試験は、普通コンクリートでは3、7、28日の3材齢で、ダムコンクリートでは7、28、91日の3材齢で行った。普通コンクリートおよびダム有スランブコンクリートの供試体作製は、JIS A 1132に準拠した。RCDコンクリートの供試体作製は、RCD工法技術指針（案）³⁾の圧縮強度試験用供試体作製の方法に

表－4 混和剤の主成分

記号	種 類	主 成 分
a	高性能AE減水剤（I種）	ポリカルボン酸エーテル系の複合体
b	AE減水剤標準型（I種）	リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体
c	AE減水剤遅延型（I種）	リグニンスルホン酸化合物
d	空気連行剤	変性ロジン酸化合物

表－5 コンクリートの配合

コンクリートの 区分	配合 名	セメントの 種類	水セ メント 比 W/C (%)	細骨 材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						スランプ VC値 cm,秒	空気 量 %	混和剤 (記号:表－４) (※1A=セメント1kgに 対し1%溶液2cc)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材					
								GS	GM	GL			
普通コンクリート	SM35	O P	35	43	135	386	810	584	425	53	7.5	4.1	a : C × 0.5% d : 0.75A※
								1062					
	SM50		50	46	140	280	902	576	419	53	7.7	4.2	b : C × 0.25% d : 1.50A
								1048					
	SM65		65	49	144	222	980	555	404	51	7.6	4.2	b : C × 0.25% d : 0.95A
								1010					
ダム有スランプ	SSM	M F	67.5	32	108	160	681	515	445	517	3.8	4.0	c : C × 0.25% d : 9.0A
								1477					
RCD	RSM		64.2	32	77	120	737	557	481	559	20	—	c : C × 0.25%
							1597						

準拠し、振動台による締固めは12秒とした。なお、ダムコンクリートの供試体寸法は $\phi 15 \times 30$ cmとし、40mmふるいでウェットスクリーニングした試料を用いた。

細孔分布の測定は、水セメント比50%の普通コンクリートおよびRCDコンクリートに対して行った。試料の採取は、普通コンクリートは材齢28日、RCDコンクリートは材齢91日でそれぞれ行い、水銀圧入法により測定した。

2. 4 一次および二次水セメント比

表-7に各コンクリートの分割練混ぜにおける一次および二次水セメント比とスランプおよび空気量を示す。各コンクリートの1次水セメント比は、セメント

ペーストの練混ぜ抵抗が最大となる水セメント比とした¹⁴⁾。図-1に各セメントペーストの練混ぜ抵抗試験の結果を示す。OPにおいては、普通コンクリートの水セメント比35%と65%では単位セメント量が大きく異なる(約1.7倍)ことから、粉体量の違いがペーストの練混ぜ抵抗に及ぼす影響も検討するため、粉体量を変えて試験を行った。その結果、ピークとなる水セメント比は異なったが、本研究では、各ピークの間中値である水セメント比26%を一次水セメント比として決定した。MFにおいては、普通コンクリートに比べてダムコンクリートの単位セメント量が少ないこと、およびダム有スランプコンクリートとRCDコンクリートの単位セメント量が大きく異なることから、粉体

表-6 試験 ケース

区分	ケース	材料投入順序および練混ぜ時間	使用ミキサ
普通コンクリート	SM	(S+C $\Rightarrow$ 30秒 + G $\Rightarrow$ 10秒) + W $\Rightarrow$ 120秒	100ℓパン型強制練り
	DM	(S + W ₁ $\Rightarrow$ 30秒) + C $\Rightarrow$ 30秒 (モルタル練り) モルタル + G + W ₂ $\Rightarrow$ 60秒	100ℓパン型強制練り
	GD	(C ₁ + W ₁ $\Rightarrow$ 30秒) + G $\Rightarrow$ 30秒 (粗骨材造殻) (C ₂ + W ₂ $\Rightarrow$ 60秒) + S $\Rightarrow$ 30秒 (モルタル練り) 造殻G + モルタル $\Rightarrow$ 60秒	50ℓパン型強制練り 20ℓモルタルミキサ 100ℓパン型強制練り
ダムコンクリート	SM	(S+C $\Rightarrow$ 10秒 + G $\Rightarrow$ 5秒) + W $\Rightarrow$ 60秒	200ℓ二軸強制練り
	DM	(S + W ₁ $\Rightarrow$ 15秒) + C $\Rightarrow$ 60秒 (モルタル練り) (モルタル + G $\Rightarrow$ 5秒) + W ₂ $\Rightarrow$ 60秒	100ℓパン型強制練り 200ℓ二軸強制練り
	GD	(C ₁ + W ₁ $\Rightarrow$ 60秒) + G $\Rightarrow$ 30秒 (粗骨材造殻) (S + W ₂ $\Rightarrow$ 30秒) + C ₂ $\Rightarrow$ 30秒 (モルタル練り) 造殻G + モルタル $\Rightarrow$ 60秒	50ℓパン型強制、200ℓ二軸強制 100ℓパン型強制練り 200ℓ二軸強制練り

表-7 一次および二次水セメント比

区分	配合名	W/C (%)	W ₁ /C ₁ (%)	W ₂ /C ₂ (%)	単位量 (kg/m ³)				スランプ ^{a)} VC値 (cm) (秒)	空気量 (%)
					W ₁	W ₂	C ₁	C ₂		
普通 コン クリ ート	DM35	35	26	—	100	35	386	—	6.1	4.3
	GD35-※R15			72	81	54	311	75	9.9	4.7
	GD35-R30			40	38	97	146	240	8.5	4.3
	DM50	50		—	73	207	280	—	8.0	4.1
	GD50-R20			150	59	81	226	54	6.5	4.2
	GD50-R30			76	37	103	144	136	8.0	3.8
	DM65	65		—	58	164	222	—	6.6	4.5
	GD65-R30			130	36	108	139	83	5.9	4.3
ダ 有	SDM	67.5	24	—	38	—	160	—	3.5	4.1
	SGD-R40			487	35	73	145	15	2.8	3.3
	SGD-R50			178	28	80	115	45	2.9	3.8
R	RDM	64.2		—	29	—	120	—	20	—
C	RGD-R60			306	25	52	103	17	20	
D	RGD-R90			117	16	61	68	52	16	

※R15はペースト膜厚が骨材平均粒径の15分の1を意味する。

量は1ℓのみとした。その結果、水セメント比24%で練混ぜ抵抗が最大となり、これを一次水セメント比として決定した。

GDにおける二次水セメント比は、骨材を造殻するペーストの膜厚を変数として考慮した。表-8に二次水セメント比算出の一例を示す。まず、コンクリート中の粗骨材の粒子数を計算し、すべての粗骨材を造殻するのに必要なペーストの総量を算出した。次に、一次水セメント比とこのペーストの総量から、一次セメント量および一次水量を決定し、残りのセメント量および水量から二次水セメント比を決定した。なお、骨材は球形で骨材周辺のペーストは、各骨材粒子にペースト膜厚が均等に付着すると仮定し、ペーストの膜厚を算出する際の骨材粒子径には、各ふるい目の代表値を用いた。

2.5 モルタル試験

本研究では、普通コンクリートおよびダム有スランブコンクリートでDMおよびGDを行った結果、SMよりもスランブおよび空気量が低下した。その要因として、一次および二次水セメント比の組合せ、造殻ペーストの膜厚および混和剤の添加方法などが影響を及ぼしているものと考えられる。これらの影響について検討するためモルタル試験を行い、各種要因がモルタルのフロー値および空気量に及ぼす影響について検討した。また、混和剤の種類がフロー値および空気量に及ぼす影響についても併せて検討した。

試験は、水セメント比50%の普通コンクリートのモルタルの配合を用い、造殻膜厚(R/15、20、25、30)と一次水セメント比(35、40、50、60、70%)を試験の変数としてそれぞれ組み合わせ、一括練りした場合

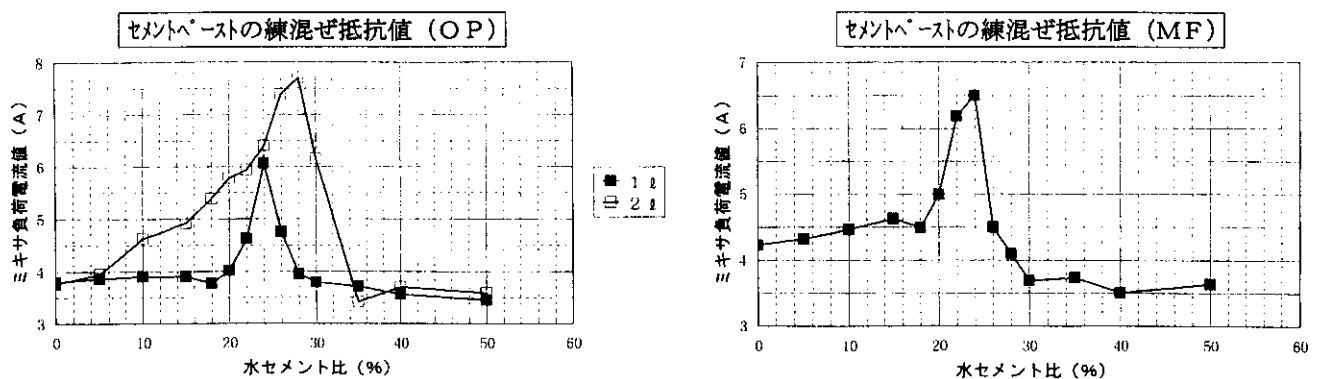


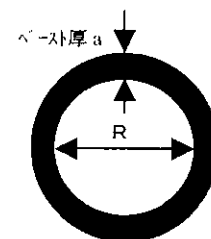
図-1 セメントペーストの練混ぜ抵抗

表-8 二次水セメント比の算出例

セメント比重: 3.16											
	C	W	S	GS	GM	GL	G(TOTAL)	s/a	W/C		
重量(kg)	280	140	902	576	419	53	1048	46%	50.0%		
容積(ℓ)	89	140	334				393				

コンクリート 1 m³ 当たりの粗骨材

粒径: R (mm)	全骨材に対する割合	容積(ℓ)	1粒(ℓ)	全粒数
20	1%	3.9	0.00418667	9.38E+002
15	16%	62.8	0.00176625	3.56E+004
10	53%	208.0	0.00052333	3.98E+005
5	29%	113.8	0.00006542	1.74E+006



ペースト膜厚=aのペースト量: $4\pi a (r \cdot r + a \cdot r + a \cdot a / 3)$

粒径: R (mm)	半径: r	ペースト膜厚	1粒(ℓ)	ペースト量(ℓ)	100ℓ当り
20	10	0.6667	8.94E-004	0.8	0.08
15	7.5	0.5000	3.77E-004	13.4	1.34
10	5	0.3333	1.12E-004	44.4	4.44
5	2.5	0.1667	1.40E-005	24.3	2.43

a = R/30の場合

W ₁ /C ₁ = 26% の場合	100ℓ当たり
・一次セメントおよび一次水量	
C ₁ = 14.4 kg	
W ₁ = 3.7 kg	
・二次セメントおよび二次水量	
C ₂ = 13.6 kg	
W ₂ = 10.3 kg	
W ₂ /C ₂ = 76%	

総ペースト量 8.3 ℓ

および分割練りした場合のモルタルのフロー値および空気量を比較検討した。また、混和剤の種類を変えた場合の性状比較試験では、試験の変数を一次水セメント比(20、25、30、35%)のみとし、セメントの分割は行わなかった。なお、混和剤の種類はAE減水剤と高性能AE減水剤の2種類とした。また、高性能AE減水剤の添加量は標準使用量であるC×1.1%とし、添加は一次・二次水に分割して投入した。

図-2に一次水セメント比を60%に固定して造殻ペーストの膜厚を変えた場合のモルタルのフロー値および空気量を示す。分割練りを行ったモルタルのフロー値および空気量は、シングルミキシングよりも減少しており、また、造殻ペーストの膜厚を厚くした方がフロー値および空気量は大きい。

図-3に造殻ペーストの膜厚をR/15に固定して一次水セメント比を変えた場合のモルタルのフロー値および空気量を示す。分割練混ぜしたモルタルは一括練りしたものよりもフロー値および空気量が小さかった。また、同じ造殻膜厚では一次水セメント比を変えてもフロー値および空気量に明確な傾向は認められなかった。

図-4に混和剤の添加方法を変えた場合のモルタルのフロー値および空気量を示す。分割練混ぜしたモルタルは一括練混ぜしたものよりもフロー値および空気

量が小さくなっているが、分割練混ぜにおいて二次水に一括して添加する(A)よりも、一次・二次水に分割したモルタル(D)の方が、フロー値および空気量の低減が小さい傾向が見られた。

図-5に混和剤の種類を変えた場合のモルタルのフロー値および空気量を示す。本試験では当初、高性能AE減水剤の添加により、モルタルのフロー値および空気量が非常に大きくなったため、単位水量を基本配合から20kg弱減らし、高性能AE減水剤と空気連行剤の併用を止めたが、フロー値および空気量はSMよりも大きくなることを確認された。

以上の結果から、本研究では、分割練混ぜを行うことにより生じる普通コンクリートのスランプおよび空気量の減少は、高性能減水剤を用いて調整した。また、混和剤は練混ぜ水と同じ割合で分割し練混ぜ水の一部として投入した。

3. 実験結果および考察

3.1 ブリーディング

図-6にブリーディング率の経時変化を示す。

普通コンクリートでは、ブリーディング率は、分割練混ぜを行ったもののほうがSMよりも単位時間当たりおよび最終ブリーディング率の何れも低減していた。また、ブリーディングの絶対量が少ない水セメン

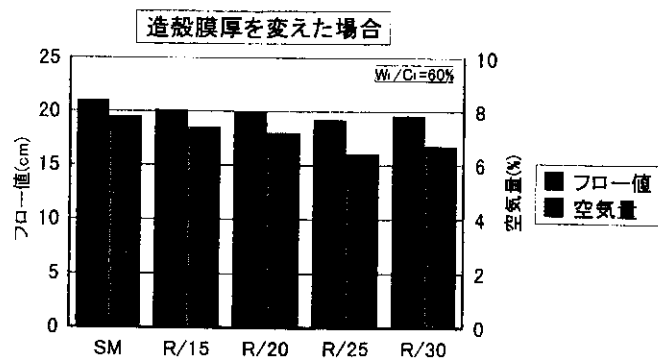


図-2 造殻膜厚を変えた場合のモルタルのフロー値および空気量

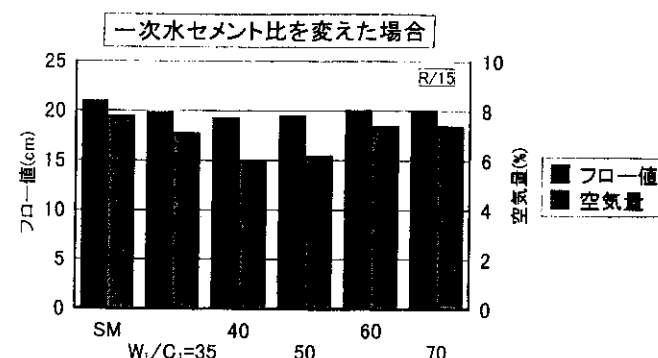


図-3 一次水セメント比を変えた場合のモルタルのフロー値および空気量

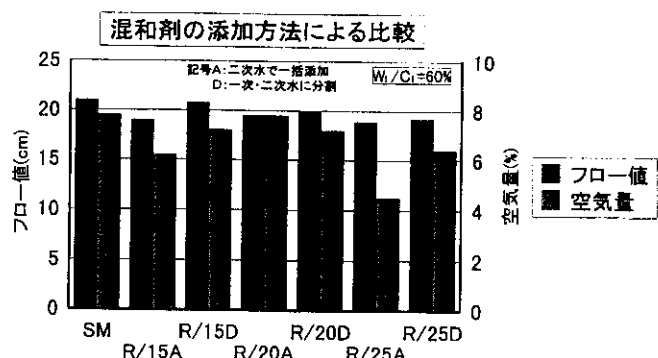


図-4 混和剤の各添加方法におけるモルタルのフロー値および空気量

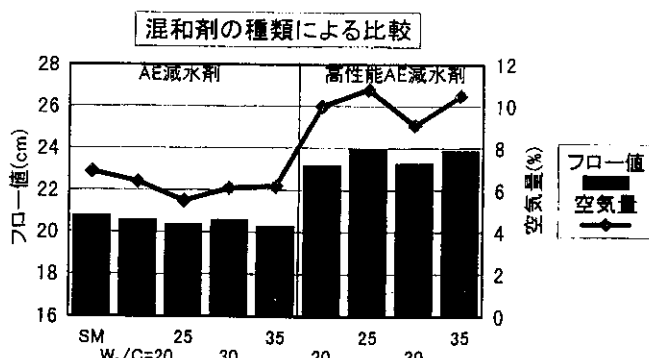


図-5 混和剤の種類を変えた場合のモルタルのフロー値および空気量

ト比35%の場合を除くと、従来型のDMよりも粗骨材造殻のGDの方がブリーディング率が低減した。

ダム有スランブコンクリートおよびRCDコンクリートも同様に、分割練混ぜを行ったものの方がSMよりもブリーディング率は小さく、また、従来型のDMよりも粗骨材造殻のGDの方がブリーディング率が低減した。

3. 2 圧縮強度

図-7に各コンクリートの圧縮強度と最終ブリーディング率の関係を示す。

普通コンクリートでは、ブリーディング率と圧縮強

度の関係は対応しており、ブリーディング率が高いSMよりもDMおよびGDのほうが圧縮強度は大きく、また、DMよりもGDの圧縮強度が大きかった。水セメント比の影響について見ると、35%の場合は他と比べて圧縮強度の改善率が小さかった。これは、水セメント比が小さい高強度コンクリートでは、もともとブリーディングが少ない。従ってこの場合、基本的にブリーディングが骨材界面にあまり影響を及ぼさないことによるものと考えられる。

ダム有スランブコンクリートでは、材齢91日において、分割練混ぜを行ったコンクリートの圧縮強度がSMと同程度かそれ以上になる傾向も見られたが、全

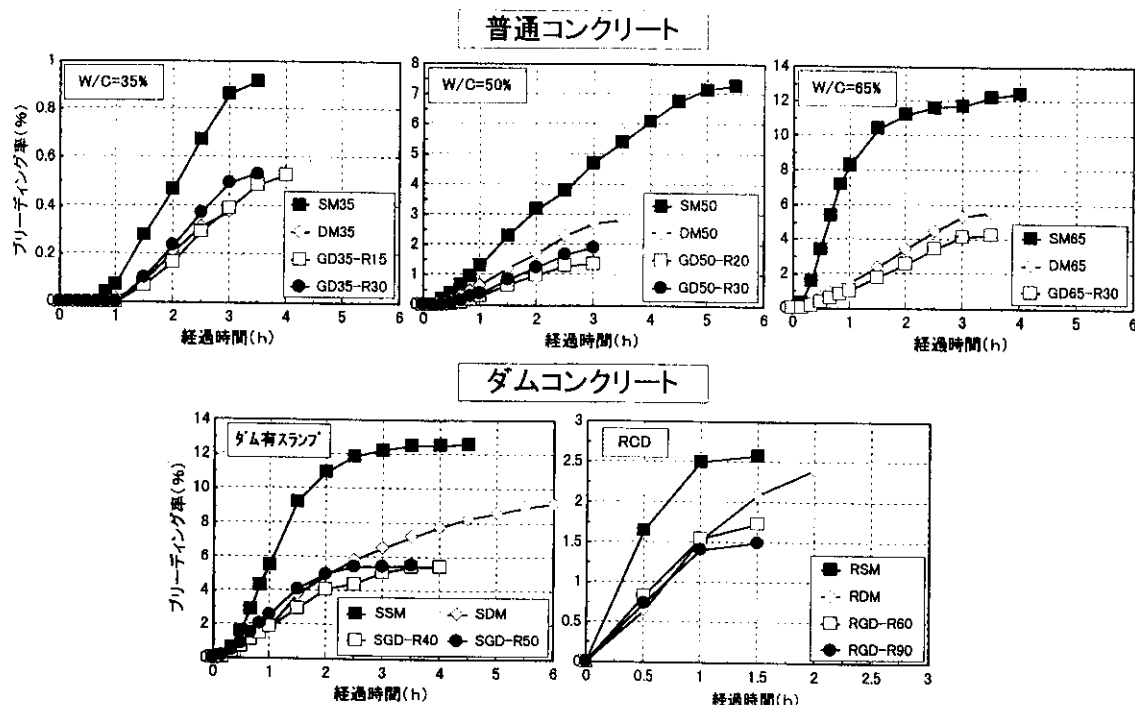


図-6 ブリーディング率の経時変化

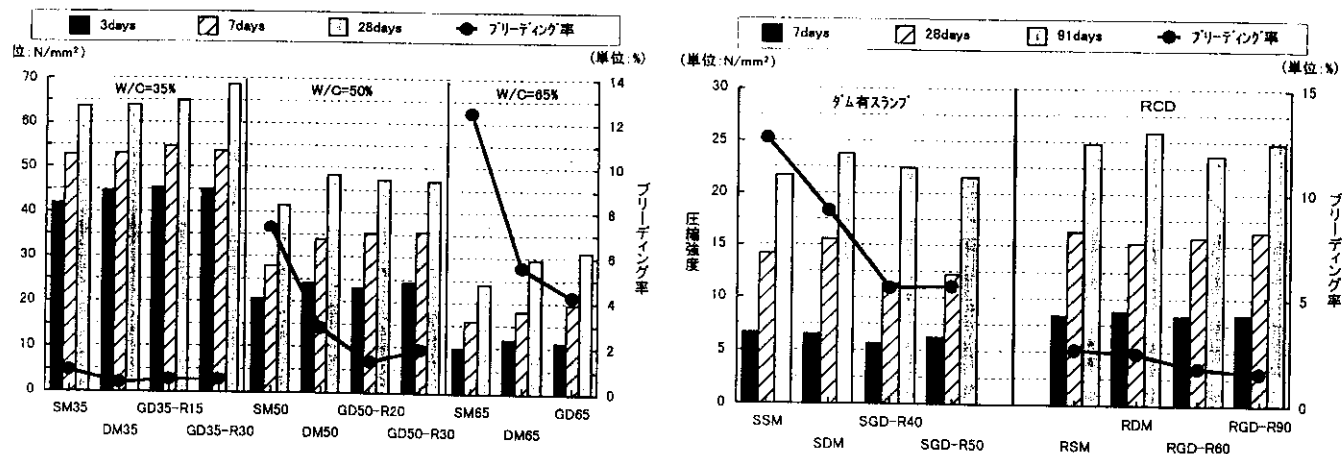
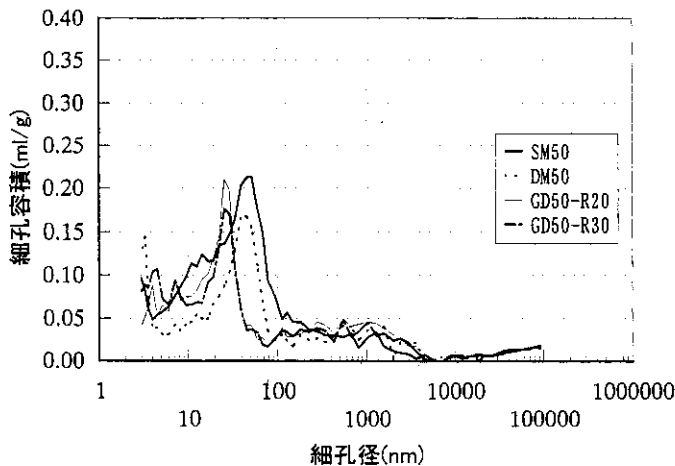


図-7 各コンクリートの圧縮強度とブリーディング率

普通コンクリート



RCDコンクリート

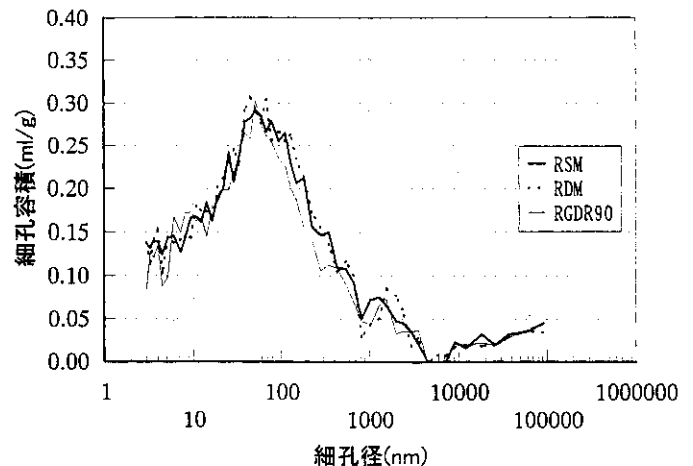


図-8 細孔分布

体的にはほぼ横這いかあるいはブリーディング率が大
きいSSMやSDMの方が粗骨材造殻のものより圧縮強
度が大きくなる傾向が見られた。これは、ダム有スラ
ンプコンクリートの場合、水セメント比は65%程度で
はあるが、普通コンクリートの水セメント比65%と比
べると単位セメント量はかなり少ないため十分な骨材
造殻が行われないこと、およびダム有スランプコンク
リートでは骨材界面の改善効果よりもブリーディング
によってコンクリート自体の水セメント比が小さくな
ったことによる影響の方が大きくなったことなどが原
因と考えられる。

RCDコンクリートにおいては、ダム有スランプコン
クリートと同様に、各練混ぜ方法で明確な差は認めら
れず、分割練混ぜによるブリーディング量の低下は圧
縮強度の増大にはつながらなかった。しかしながら、
極端に水量が少ないRCDコンクリートにおいてブリー
ディングを抑制することは、全体として施工性の改善
に有効であり、実施工でもこのことが確認されている。

3.3 細孔分布

図-8に普通コンクリートおよびRCDコンクリート
の各練混ぜ方法における細孔分布を示す。普通コン
クリートでは、細孔分布のピークが分割練混ぜを行っ
たものの方がSMよりも細孔径が小さい方向にシフト
しており、細孔構造が緻密になっていることがわかる。
これは、圧縮強度試験の結果と一致しており、分割練
混ぜを行うことによりブリーディングが減少し、それ
による欠陥部が減少したことによると考えられる。こ
れに対して、RCDコンクリートの細孔構造は、練混ぜ

方法の違いによる明確な差は見られず、圧縮強度試験
の結果と同様の傾向であった。このことから、分割練
混ぜの効果はコンクリートの種類によって異なること
が明らかになった。

4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下の通りであ
る。

- (1) 分割練混ぜしたモルタルのフロー値および空気量
は、造殻膜厚、1次水セメント比および混和剤の添加
方法によって異なる。
- (2) 分割練混ぜを行うことによって生じるコンクリ
ートのスランプおよび空気量の低下は、混和剤の種類お
よび添加方法を考慮することにより改善することがで
きる。
- (3) 分割練混ぜコンクリートは、一括練りしたコンク
リートよりもブリーディングが少ない。また、細骨材
を造殻する従来型の分割練混ぜよりも、粗骨材を造殻
する分割練混ぜの方がブリーディングを低減すること
ができる。
- (4) ブリーディングと圧縮強度との関係に及ぼす分割
練混ぜの影響は、コンクリートの種類によって異なる。

参考文献

- 1) 吉田、堺：分割練混ぜダムコンクリートの諸特性、
開発土木研究所月報 No.519、pp.11~23、1996年
8月
- 2) 志水、柳田：RCD工法における大型供試体試験、
ダム技術 No.26、pp.3~14、1988
- 3) 財国土開発技術研究センター：RCD工法技術指針

(案)、PP.115～116、1989

- 4) 山本、服部、黒羽、丸嶋など：SECコンクリートの実用化に関する研究、大成建設技術研究所報第15号、pp.35～44



吉田 行*

開発土木研究所
構造部
材料研究室室員



堀 孝司**

開発土木研究所
構造部長
工学博士
(前材料研究室長)