

V-500

セメントの粉末度および鉱物組成によるブリーディング率の予測に関する研究

東海大学工学部 正会員 笠井 哲郎

東海大学大学院 学生員 中村 達夫

東海大学大学院 学生員 岩佐 志都

1. まえがき

コンクリート構造物の形態や施工方法の多様化に伴い、様々な配合のコンクリートが求められるようになった。このため、フレッシュコンクリートの性能を配合設計の段階で簡易に定量的に予測することは、意義深いことである。本研究では、フレッシュコンクリートの性質の内、ブリーディング率の予測について検討した。コンクリートのブリーディング率は、その配合が一定ならば、セメントペーストのブリーディング率に比例するものと考えてよい。また、セメントペーストのブリーディング率はセメントの種類、水セメント比、練混ぜ方法等の影響を受ける。そこで、本研究では粉末度および鉱物組成の異なる複数のセメントを用い水セメント比および練混ぜ方法を変えて製造したセメントペーストのブリーディング試験を行い、これらの結果を用いてセメントの鉱物組成および粉末度からセメントペーストのブリーディング率を予測する線形重回帰モデルを提案することを試みた。

2. 実験概要

セメントは、表-1に示す21種類の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 式により算出した値である。セメントペーストの練混ぜは、通常の方法(SM)と最適の条件でブリーディングが大幅に小さくなるダブルミキシング(DM)¹⁾により行った。SM および DM の練混ぜ手順を図-1に示す。ミキサは容量 10ℓ のホバート型モルタルミキサを使用した。セメントペーストの W/C は 40%および 60%とした。DM における一次水セメント比(W₁/C)は、各セメントにおいて一次練混ぜ時のミキサの撹拌トルクが最大となる値とし、その値は 22 ~ 26%の範囲となった。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

表-1 使用ポルトランドセメント

ポルトランドセメントの種類	記号	比重	Blaine (cm ² /g)	鉱物組成 (%)				
				C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄
普通-1	OP-1	3.16	3240	49.6	24.9	9.6	8.5	3.40
普通-2	OP-2	3.15	3380	58.8	16.5	8.4	9.1	3.40
普通-3	OP-3	3.16	3260	57.5	17.8	8.8	8.5	3.40
普通-4	OP-4	3.16	3320	62.1	12.9	8.8	8.5	3.40
普通-5	OP-5	3.16	3250	54.4	19.0	9.3	8.5	3.57
普通-6	OP-6	3.16	3300	56.6	19.3	8.5	8.5	3.23
早強-1	HP-1	3.12	4550	64.0	10.0	9.4	7.9	4.76
早強-2	HP-2	3.14	4480	63.8	10.4	9.6	7.6	4.76
早強-3	HP-3	3.14	4450	66.2	8.4	8.9	7.9	4.76
早強-4	HP-4	3.14	4500	65.2	10.8	7.8	7.6	4.76
早強-5	HP-5	3.14	4520	68.6	6.3	9.0	11.6	5.10
中唐熟-1	MP-1	3.22	3350	43.8	33.5	4.0	11.9	3.23
中唐熟-2	MP-2	3.20	4070	34.9	46.5	3.4	8.2	4.59
中唐熟-3	MP-3	3.22	3430	43.0	34.8	3.2	12.8	3.23
中唐熟-4	MP-4	3.22	3120	44.4	33.1	3.6	11.6	3.57
中唐熟-5	MP-5	3.22	3222	41.1	35.6	3.8	12.2	3.57
耐硫酸塩	SP	3.20	3380	62.9	16.0	0.7	14.0	3.57
白色-1	WP-1	3.03	3700	67.2	11.2	11.6	0.6	4.25
白色-2	WP-2	3.05	3650	53.3	25.2	11.9	0.6	4.76
ビーク	BP-1	3.22	3690	14.9	71.3	2.0	6.2	3.74
ビーク	BP-2	3.22	3400	28.8	54.9	2.8	7.3	3.74

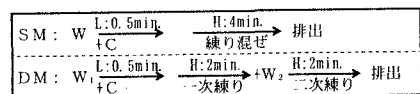
「ブレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率および膨張率試験方法」に準拠し、ブリーディング試験を行った。

3. 検討結果および考察

表-2にブリーディング試験から得られた、各種セメントペーストの最大ブリーディング率を示す。また表では、同一 W/C における(SMのブリーディング率)/(DMのブリーディング率)(SM/DM)の値を DM 効果¹⁾と定義し、同時に示した。この値が大きいかほどDM効果が大きいことを示すものである。

(1) ブリーディング率の予測式

セメントの粉末度および鉱物組成からセメントペーストのブリーディング率を求める予測式の提案を試みた。すなわち、同一 W/C および練混ぜ方法で製造されたセメントペーストのブリーディング率が、セメントの粉末度および鉱物組成のみに影響され、その最大ブリーディング率の値が式(1)の1次線形式で表せると仮



C: セメント, W: 水, W₁: 一次水, W₂: 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

キーワード: セメントペースト, ブリーディング, 鉱物組成, 線形重回帰モデル, ダブルミキシング

〒259-12 平塚市北金目 1117 TEL 0463-58-1211(4263) FAX 0463-50-2045

定し、最大ブリーディング率を目的変数、セメントの粉末度および鉱物組成を説明変数とし、表-1および表-2の全てのデータを用いて重回帰分析を行った。

$$MB = \beta_1 \cdot (\text{Blain}) + \beta_2 \cdot (\%C_2S) + \beta_3 \cdot (\%C_3S) + \beta_4 \cdot (\%C_4A) + \beta_5 \cdot (\%CA\cdot F) + \beta_6 \cdot (\%CaSO_4) \quad (1)$$

ここに、MB：各練混ぜ方法における最大ブリーディング率(%), Blain：粉末度(cm^2/g),

(%i)：各鉱物組成の含有率(%), i：セメント鉱物

この解析によって得られた各 W/C および練混ぜ方法ごとの回帰係数(β)を表-3に示す。 $\beta_1 \sim \beta_6$ を式(1)に代入することにより、セメントの粉末度および鉱物組成からセメントペーストのブリーディング率を求める予測式が得られる。図-2, 3は W/C=60%の SM および DM の場合について、式(1)による計算値と実測値の関係を示したものであるが、SM および DM ととも相関係数 0.85 以上で、

予測値は実測値とよく一致している。

W/C=40%についてもほぼ同様な結果となった。

(2) ダブルミキシング

効果の予測式

セメントの粉末度および鉱物組成からセメントペーストの DM 効果を求める予測式の提案を試みた。すなわち、式(1)における目的変数 MB を DM 効果に置き換えて、セメントの粉末度および鉱物組成を説明変数として、表-1および表-2のデータを用いて重回帰分析を行った。この解析により得られた回帰係数を表-4に予測値と実測値の関係を図-4, 5に示す。最大ブリーディング率の場合よりその相関性はやや劣るものの R=0.77 以上の相関性が得られた。

以上より、セメントの粉末度および鉱物組成から、セメントペーストの最大ブリーディング率および DM 効果を求める予測式が提案できた。

<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.

表-2 最大ブリーディング率と DM 効果

試料の種類	最大ブリーディング率 (%)				SM/DM	
	SM60	DM60	SM40	DM40	60%	40%
OP-1	10.84	1.52	3.23	1.07	7.13	3.02
OP-2	12.58	3.87	3.24	1.16	3.25	2.82
OP-3	12.38	2.92	4.06	1.44	4.24	2.62
OP-4	10.79	2.47	2.26	1.00	4.37	2.26
OP-5	10.82	1.84	3.51	0.65	5.88	5.40
OP-6	12.61	5.90	4.23	1.43	2.14	2.96
HP-1	4.30	1.20	0.79	0.22	3.58	3.59
HP-2	4.63	0.45	0.51	0.10	3.58	5.12
HP-3	4.72	1.14	1.89	0.30	4.14	6.26
HP-4	4.30	0.90	0.70	0.40	4.78	1.75
HP-5	5.90	0.52	0.80	0.15	11.35	5.33
MP-1	16.98	0.64	4.40	2.22	1.60	1.98
MP-2	14.86	6.51	3.99	2.07	2.28	1.93
MP-3	14.50	6.50	4.90	1.70	2.23	1.93
MP-4	12.54	3.56	4.68	1.52	3.52	3.08
MP-5	14.85	6.58	4.30	1.48	2.26	2.91
SP	12.96	7.64	2.91	1.60	1.70	1.82
WP-1	11.30	4.83	2.71	1.13	2.34	2.40
WP-2	9.82	6.19	2.67	1.11	1.59	2.41
BP-1	16.98	0.45	5.27	3.00	1.62	1.76
BP-2	11.68	7.14	2.88	1.87	1.64	1.54

表-3 回帰係数(最大ブリーディング率)

W/C (%)	練混ぜ方法	回帰係数						相関係数 R
		β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	
60	SM	-0.0031	0.3391	0.3950	-0.0112	0.1006	-1.0501	0.90973
	DM	-0.0005	0.2462	0.2413	-0.5865	-0.3681	-1.3702	0.85799
40	SM	-0.0011	0.0843	0.1251	0.1059	0.0961	-0.5326	0.89156
	DM	-2.4E-05	0.0510	0.0635	-0.0801	-0.0564	-0.4812	0.95038

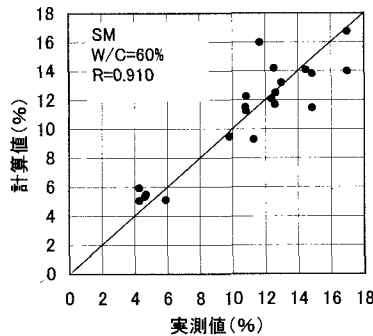


図-2 実測値と計算値の関係

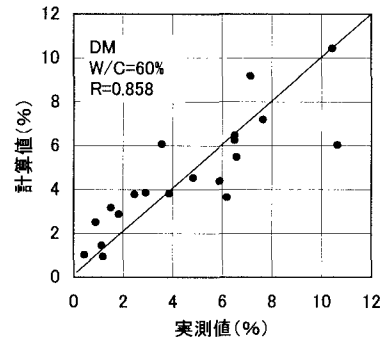


図-3 実測値と計算値の関係

表-4 回帰係数 (DM 効果)

W/C (%)	回帰係数						相関係数 R
	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	
60	-0.0013	-0.1767	-0.1029	0.7045	0.6562	2.4392	0.77668
40	-0.0007	-0.0790	-0.0389	0.3948	0.3267	1.2944	0.79507

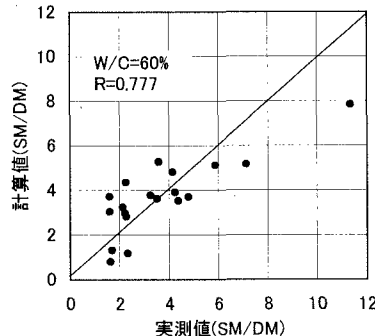


図-4 実測値と計算値の関係

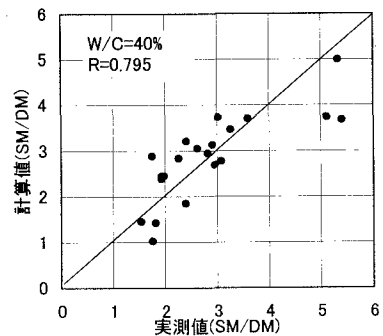


図-5 実測値と計算値の関係