コンクリートのブリーディング量の予測式の作成に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON ESTABLISHMENT OF PREDICTION EQUATION OF BLEEDING OF CONCRETE

阿部道彦*, 仲摩 諭**, 鈴木澄江***
Michihiko ABE, Satoru NAKAMA and Sumie SUZUKI

This paper presents the results of experiment on the simple prediction model of bleeding of concrete. In the experiment, water cement ratio, unit water content and the kind of chemical admixture were varied. At the result of experiment, for the prediction of bleeding, only one constant coefficient need to be established. The value of this coefficient became the similar one in the plain concrete and the concrete with air-entraining agent. But that of concrete with air-entraining and water-reducing agent was a little bit larger than that of plain concrete. And the coefficient varied largely due to the lots of used material even if the brand or district was the same.

Keywords : Concrete, Bleeding, Prediction equation, Unit water content, Water cement ratio, Chemical admixture
コンクリート, ブリーディング, 予測式, 単位水量, 水セメント比, 混和剤

1. はじめに

近年、環境配慮や鉄筋コンクリート造建築物に対する要求性能の多様化により、コンクリートに使用される材料も多岐にわたってきている。そして、それに伴いコンクリートのブリーディングがかなり多くなる場合も生じている。ブリーディングは、JIS A 0203（コンクリート用語）に「フレッシュコンクリート及びフレッシュモルタルにおいて、固材料の沈降又は分離によって、練混ぜ水の一部が遊離して上昇する現象」と定義されているように、コンクリートを型枠の中に打ち込んだあとに生じる材料分離の一種であり、この量が多すぎるとコンクリート部材上部の脆弱化や粗骨材および水平鉄筋の下面への水の滞留による空隙の形成など、コンクリートの品質の低下につながり、一方、その量が少なすぎると、高強度コンクリートなどでは、表面がこわばり、プラスチック収縮ひび割れが発生しやすく、仕上げ作業に支障をきたす場合があるとされている¹⁾。このため、1972年にブリーディング量に関する規定が提案²⁾されて以降、様々な規定が日本建築学会の仕様書や指針などに定められてきている。

しかしながら、ブリーディングに及ぼす各種要因の影響を実験結果に基づいて定量的に評価する試みは少なく、具体的に規定値を満足するための方法は提示されていない。このため本研究では、まず、調査上の基本的な要因である単位水量（スランプ）および水セメント比の影響を把握するための実験を行い、その結果に基づいて簡易な予測式を作成することを試みた。次にその式を既往の予測式と比較してその妥当性を検討した。さらに、コンクリート用化学混和剤協会および建材試験センターより提供されたデータにより、AE剤、AE減水剤などの混和剤がブリーディングに及ぼす影響について検

討した。この論文は筆者らの既往の発表³⁾⁴⁾を再整理するとともに、他の関連する既往の実験結果を整理して取りまとめたものである。なお、JIS A 1123（コンクリートのブリーディング試験方法）は、ASTM C 232-53T（Tentative Standard Method for Bleeding of Concrete）に基づいて 1957 年に制定され、用語等の改正を重ねて 2012 年版に至っており、本実験ではこの版に準じて試験を行っている。

2. 実験概要

実験は4つに分けて実施した。実験の概要を表1に示す。実験1では一般的なコンクリートのブリーディングの傾向を把握するため、スランプおよび混和剤の種類を変化させた9種類のコンクリートについてブリーディング試験を行った。しかしながら、同一スランプにおいて、プレーンコンクリートのブリーディング量が混和剤を使用したコンクリートの場合とあまり変わらないという結果が得られた。そのため、同一水セメント比、同一スランプのコンクリートにおけるブリーディング量のばらつきを把握するため、実験2では水セメント比 55%、スランプ 15cm の場合について、プレーンコンク

表 1 実験概要

実験 No.	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	混和剤の種類	1調査当たりのバッチ数	1バッチ当たりの測定回数	セメントのロット No.	細骨材のロット No.
1	55	8,15,21	なし,AE剤,AE減水剤	1	2	1	1
2	55	15	なし,AE剤,AE減水剤	7	2	2	1
3	45,55,65	8,15,21	なし,AE剤,AE減水剤	1	1	2	1
4	55	15	なし,AE剤,AE減水剤	1	7	2	2

* 工学院大学建築学部建築学科 教授・工博
** 東九州設計工務㈱ 修士(工学)
*** 建材試験センター経営企画部 部長・博士(工学)

Prof., School of Architecture, Kogakuin Univ., Dr. Eng.
Higashikyushu Architectural & Engineering, Inc., M. Eng.
Japan Testing Center for Construction Materials, Dr. Eng.

リート、AE 剤を使用したコンクリートおよび AE 減水剤を使用したコンクリートについて日を変えてそれぞれ 7 バッチ練り、ブリーディング試験を行った。

実験 3 ではブリーディングに及ぼす単位水量と混和剤の影響のほか水セメント比の影響を把握するため、水セメント比を 3 水準に拡張した。また、この実験では、1 バッチ当たりの測定回数を 2 回ではなく 1 回とした。これは、バッチ内のブリーディング量の差が少なくないと判断したためである。

検討の順序としては逆になるが、実験 4 ではバッチ内のばらつきを把握するため、実験 2 のコンクリートと同じ調合について、ブリーディング試験を同じバッチで 7 回行った。

なお、セメントおよび細骨材は同一銘柄、同一産地ではあるが、表 1 に示すようにロットの異なるものを使用している。

3. 実験方法

3.1 使用材料

使用材料を表 2 に示す。セメント、細骨材および粗骨材はいずれも一般的に使用されているもので、混和剤も AE 剤、AE 減水剤として一般的な銘柄のものを選定した。

3.2 調合

実験 1 における単位水量および単位粗骨材かさ容積は、目標スランプおよび適切なワーカビリティとなるように、また、AE 剤および AE 減水剤を使用したコンクリートの目標空気量は 4.5±0.5% となるように、試し練りによって定め、この調合を実験 2～4 でも使用した。単位粗骨材かさ容積 (m³/m³) は、日本建築学会の調合設計指針⁶⁾では、AE 減水剤を使用した場合、水セメント比 40～60%、スランプ 8, 15, 21cm に対してそれぞれ 0.68, 0.66, 0.58 (上記指針の 2015 年の改定で 0.66, 0.64, 0.56) としているが、本実験では 0.64, 0.62, 0.54 となり、この値は混和剤の種類にかかわらず同一とした。

なお、実験 2～4 ではセメントのロットが、また、実験 4 では細骨材のロットが異なっているが、目標スランプおよび目標空気量となるように調合を調整することは行わなかった。

3.3 練混ぜおよび試験方法

コンクリートの練混ぜはパン型ミキサを用いて行い、細骨材とセメントを入れて 30 秒、水を入れて 60 秒、粗骨材を入れて 90 秒練り混ぜた。練混ぜ量は、実験 1～3 では容量 50L のミキサを用いてそれぞれ 35、35、28L とし、また、実験 4 では容量 100L のミキサを用いて 100L とした。

試験方法を表 3 に示す。ただし、ブリーディング試験における取水は、JIS では最初の 60 分間は 10 分ごととなっているが、本実験では 30 分ごととした。これはモルタルによる比較実験⁷⁾およびコンクリートによる比較実験⁸⁾によると、最初の 60 分間をいずれの方法で行っても結果にほとんど影響しないとの報告に基づいて設定したものである。

4. 実験結果とその考察

4.1 調合、フレッシュ性状、圧縮強度の試験結果

コンクリートの調合とフレッシュコンクリートおよび 4 週圧縮強度の試験結果を表 4 に示す。なお、ブリーディング試験結果の表記として JIS にはブリーディング量とブリーディング率があるが、建

表 2 使用材料

材料	種類または生産者	物性値等
セメント	普通ポルトランドセメント	実験1～4:密度:3.16g/cm ³
細骨材	大井川水系陸砂	実験1～3:表乾密度:2.56g/cm ³ 、実積率:68.0%、粗粒率:2.62 実験4: 表乾密度:2.59g/cm ³ 、実積率:66.0%、粗粒率:2.77
粗骨材	青梅産硬質岩砕石 2013と1305等量混合	実験1～4:表乾密度:2.65g/cm ³ 、実積率62.3%、粗粒率:6.74
練混ぜ水	上水道水	—
混和剤	AE剤	アニオン系界面活性剤
	AE減水剤:標準形	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体

表 3 試験方法

項目	試験方法
スランプ試験	JIS A 1101
空気量試験	JIS A 5308
練上がり温度の測定	アルコール温度計
フレッシュコンクリートの単位容積質量試験	JIS A 1116
ブリーディング試験	JIS A 1123
圧縮強度試験	JIS A 1108 (標準養生材齢4週)

図 1 ブリーディング試験結果 (実験 1)

図 2 単位水量とブリーディング量の関係 (実験 1)

築の分野ではブリーディングの規定が前者による表記となっているため、本研究でも前者の表記とした。

4.2 単位水量および混和剤の影響

図 1 に実験 1 のブリーディング試験結果を示す。混和剤の種類ごとに同じ日に試験を行っている。これによると、同じ種類のコンクリートの場合、スランプが小さくなるとブリーディング量も減少する傾向が確認された。ただし、AE 減水剤を使用した場合には表 4 の実験 1 のデータから確認されるように、スランプ 15cm と 8cm でブリーディング量に逆転が見られた。また、スランプが小さくなるほど、ブリーディングの終了する時間は短くなることが確認された。

図 2 に単位水量とブリーディング量の関係を示す。同一スランプで比較した場合、プレーンコンクリートと混和剤を使用したコンクリートでは後者のほうが単位水量が少ないにもかかわらず、ブリーディング量はあまり変わらないという結果になった。これは一般に言われていることと矛盾する可能性があるため、これが試験のばらつきの範囲なのかどうかを確認するために、次の実験 2 を行った。

4.3 バッチ間のブリーディング量のばらつき

図 3 に日を変えて行った 7 バッチのブリーディング試験結果を示

表 4 実験結果一覧

実験 No.	コンクリートの 種類	目標 スラン プ (cm)	目標 空気量 (%)	水 セメン ト比 (%)	単位 粗骨材 かさ容 積 (m^3/m^3)	単位 細骨材 率 (%)	単位 水量 (kg/m^3)	質量(kg/m^3)			混和剤 ($\text{cx}\%$)	AE助剤 ($\text{cx}\%$)	ブリーディング量 (cm^3/cm^2)			ブリーディング終了時間 (分)			フレッシュ性状				4週 圧縮 強度 (N/mm^2)
								セメン ト	細骨材	粗骨材			1	2	平均	1	2	平均	スラン プ (cm)	空気量 (%)	練り 上げの 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	単位容 積質量 (kg/m^3)	
1	プレーン	21	1.0	55	0.54	48.6	213	387	814	892			0.217	0.260	0.239	210	210	210	21.0	0.0	20.5	2348	43.1
		15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.129	0.135	0.132	180	180	180	13.0	0.9	20.5	2366	42.1
		8	1.0	55	0.64	44.1	176	320	804	1057			0.061	0.069	0.065	120	180	150	5.5	0.2	20.3	2388	42.5
	AE剤	21	4.5	55	0.54	47.9	196	356	793	892	0.045		0.214	0.228	0.221	270	240	255	21.0	4.8	20.0	2227	32.0
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.045		0.161	0.152	0.157	240	240	240	15.0	4.8	20.0	2264	35.2
		8	4.5	55	0.64	43.0	162	294	771	1057	0.045		0.096	0.072	0.084	180	210	195	8.0	4.7	20.5	2286	36.8
	AE減水剤	21	4.5	55	0.54	49.3	185	337	836	892	0.250	0.004	0.223	0.279	0.251	270	300	285	22.0	4.1	20.0	2279	38.2
		15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.106	0.148	0.127	210	270	240	14.0	4.6	20.0	2287	37.4
		8	4.5	55	0.64	44.0	154	280	803	1057	0.250	0.008	0.162	0.135	0.149	300	270	285	9.0	4.6	20.0	2293	35.3
2	プレーン	15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.267	0.319	0.293	210	180	195	15.8	0.4	20.0	2347	40.5
		15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.229	0.275	0.252	180	210	195	15.0	0.4	21.0	2340	41.1
		15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.273	0.241	0.257	180	210	195	16.2	0.5	21.0	2337	38.7
		15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.225	0.237	0.231	180	180	180	16.7	0.3	21.5	2340	41.4
		15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.325	0.226	0.276	210	180	195	14.5	0.5	21.0	2333	40.5
		15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.223	0.220	0.222	210	210	210	15.6	0.0	21.5	2345	38.7
	AE剤	15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.230	0.264	0.247	210	240	225	17.2	0.2	20.0	2341	44.3
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.222	0.198	0.210	240	240	240	17.1	5.8	20.0	2248	26.2
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.245	0.263	0.254	210	210	210	16.4	5.4	21.0	2250	25.7
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.192	0.165	0.179	210	210	210	15.5	5.9	21.0	2252	26.6
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.188	0.176	0.182	210	180	195	18.0	5.2	21.5	2251	29.0
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.192	0.180	0.186	210	210	210	15.2	5.1	21.5	2257	24.6
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.231	0.224	0.228	210	210	210	16.9	4.6	22.0	2266	20.9
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.177	0.203	0.190	210	210	210	15.0	4.6	20.0	2266	24.6
	AE減水剤	15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.217	0.231	0.224	270	270	270	14.7	5.0	20.0	2271	31.4
		15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.190	0.197	0.194	240	240	240	15.6	8.0	21.0	2216	29.9
		15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.202	0.200	0.201	240	240	240	17.0	5.9	21.0	2257	34.0
		15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.217	0.190	0.204	210	240	225	17.7	3.9	21.5	2289	34.6
		15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.184	0.187	0.186	210	210	210	16.4	4.3	21.5	2253	34.4
		15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.237	0.260	0.249	270	270	270	16.4	4.9	21.0	2272	33.7
15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.228	0.233	0.231	240	240	240	15.0	5.0	19.5	2265	34.3		
3	プレーン	21	1.0	45	0.54	46.4	213	473	744	892			0.231			210			21.0	0.9	20.0	2198	56.5
		15	1.0	45	0.62	42.0	190	422	717	1024			0.187			180			16.3	0.5	21.0	2225	57.8
		8	1.0	45	0.64	42.2	176	391	746	1057			0.150			180			9.5	0.9	21.5	2222	55.4
	AE剤	21	4.5	45	0.54	45.8	196	435	729	892	0.040		0.191			210			20.0	5.0	20.5	2123	42.9
		15	4.5	45	0.62	41.2	175	388	694	1024	0.040		0.142			210			15.1	5.9	21.0	2119	41.3
		8	4.5	45	0.64	41.3	162	360	718	1057	0.040		0.119			180			7.9	4.6	21.0	2161	42.6
	AE減水剤	21	4.5	45	0.54	47.4	185	412	776	892	0.250	0.004	0.254			270			20.3	4.4	21.0	2142	45.1
		15	4.5	45	0.62	42.5	166	369	732	1024	0.250	0.006	0.186			270			16.1	4.7	20.0	2153	40.7
		8	4.5	45	0.64	42.4	154	342	753	1057	0.250	0.006	0.148			240			7.4	3.6	21.0	2179	41.6
	プレーン	21	1.0	55	0.54	48.6	213	387	814	892			0.466			240			22.5	0.0	20.0	2197	34.0
		15	1.0	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			0.323			240			17.0	0.1	19.0	2215	45.1
		8	1.0	55	0.64	44.1	176	320	804	1057			0.223			180			8.0	0.4	19.0	2221	43.5
	AE剤	21	4.5	55	0.54	47.9	196	356	793	892	0.040		0.311			300			20.2	4.5	21.0	2113	34.5
		15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		0.231			270			17.0	5.3	20.5	2104	30.7
		8	4.5	55	0.64	43.0	162	294	771	1057	0.040		0.167			180			9.5	5.1	21.0	2140	28.0
	AE減水剤	21	4.5	55	0.54	49.3	185	337	836	892	0.250	0.004	0.323			240			21.6	3.8	21.0	2143	36.5
		15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	0.220			240			16.5	4.5	15.0	2150	35.8
		8	4.5	55	0.64	44.0	154	280	803	1057	0.250	0.006	0.143			240			8.1	4.0	20.5	2162	34.8
	プレーン	21	1.0	65	0.54	50.0	213	328	862	892			0.486			240			22.5	0.5	20.0	2185	31.1
		15	1.0	65	0.62	45.4	190	292	822	1024			0.387			240			14.6	0.8	20.0	2198	29.4
		8	1.0	65	0.64	45.3	176	271	844	1057			0.262			180			8.1	0.5	20.0	2214	29.2
		21	4.5	65	0.54	49.3	196	301	838	892	0.040		0.350			210			20.2	5.8	20.0	2095	22.3
		15	4.5	65	0.62	44.4	175	269	791	1024	0.040		0.344			240			16.6	3.4	19.5	2152	26.5
		8	4.5	65	0.64	44.2	162	249	808	1057	0.040		0.181			180			7.6	4.3	20.0	2143	25.5
	AE減水剤	21	4.5	65	0.54	50.5	185	285	878	892	0.250	0.004	0.347			240			20.6	4.5	20.0	2120	26.9
		15	4.5	65	0.62	45.5	166	255	824	1024	0.250	0.006	0.301			240			15.5	4.5	20.0	2137	30.7
		8	4.5	65	0.64	45.1	154	237	838	1057	0.250	0.006	0.185			210			7.6	3.9	20.0	2160	28.6
4	プレーン	15	4.5	55	0.62	44.1	190	345	779	1024			※1:4行下参照	0.416	※4:4行下参照	240			19.9	1.2	18.5	2273	42.4
	AE剤	15	4.5	55	0.62	43.2	175	318	751	1024	0.040		※2:4行下参照	0.266	※5:4行下参照	266			16.5	5.9	20.0	2195	33.2
	AE減水剤	15	4.5	55	0.62	44.3	166	302	787	1024	0.250	0.006	※3:4行下参照	0.280	※6:4行下参照	300			19.5	5.0	19.5	2215	31.7
	試験番号	1	2	3	4	5	6	7	試験番号	1	2	3	4	5	6	7							
ブリーディング 量 (cm^3/cm^2)	※1	0.368	0.487	0.435	0.363	0.381	0.361	0.517	ブリーディング終了 時間(分)	※4	240	240	240	240	240	240							
	※2	0.251	0.278	0.293	td																		

す。同じ日にブレン、AE 剤、AE 減水剤を用いたコンクリートの試験をそれぞれ 1 バッチずつ行っている。また、図 4 は各回のブリーディング量（2 回の平均）と 7 バッチの平均を示している。これらによると、平均的には一般にいわれているブレンコンクリートのほうが、AE 剤や AE 減水剤を使用した場合よりブリーディング量は大きくなっているが、試験を行った日によってはほぼ同等であったり、一部に逆転が見られたりしており、ブリーディング試験結果にはバッチ間の影響がかなりあるものといえる。今回は一つの調査の結果ではあるが、ブリーディング量の標準偏差 (cm^3/cm^2) はそれぞれ 0.023, 0.026, 0.021、また、変動係数(%)は 9.0, 12.7, 9.8 となった。これから推測すると、実験 1 は混和剤の種類ごとに試験を行った日が異なるため、そのような結果となることも十分ありうるものと考えられる。なお、十代田は、「コンクリートのブリーディング試験結果の大きなバラツキに悩まされることもなくなる」としてモルタル分による試験を提案している⁹⁾。また、高畑らの行った水セメント比 55%、スランブ 18cm の AE 減水剤を使用したコンクリートのブリーディング試験結果¹⁰⁾をみると、同一調査について図から読み取ったブリーディング率を換算したブリーディング量 (cm^3/cm^2) には、0.255, 0.094, 0.186 とかなりのばらつきが認められることから、ブリーディング試験はもともとばらつきの大きい試験であると考えられる。

4.4 単位水量・水セメント比・混和剤の影響

図 5 は、実験 3 のブリーディング試験結果を示したもので、図の中央の水セメント比 55% に比べて、左側の水セメント比 45% はブリーディング量が小さく、右側の水セメント比 65% は大きくなる傾向が確認された。図 6 は実験 3 の結果を単位水量とブリーディング量の関係により示したものである。これによると、水セメント比および混和剤の種類にかかわらず、ほとんどの場合、単位水量が減少するとブリーディング量も減少する傾向を示していることが確認された。また、同一単位水量で比較すると、いずれの混和剤を使用した場合も水セメント比が小さくなるとブリーディング量は減少する傾向を示した。

4.5 同一バッチ内のブリーディング量のばらつき

実験 3 では同一バッチ内のばらつきが小さいと考えて 1 バッチにつき 1 回の試験を行ったが、それを確認するため、水セメント比 55%、スランブ 15cm の同一バッチで 7 回試験を行った実験 4 の結果を図 7 に示す。ばらつきの程度を比較しやすいように、AE 剤と AE 減水剤を用いた場合は、縦軸の最大値をブレンコンクリートの 0.6 に対して 0.4 としている。これによると、ブレンに対して AE 剤や AE 減水剤を使用した場合はばらつきが小さくなっている。これは AE 剤では独立した微細な空気泡をコンクリート中に一様を含むことにより、また AE 減水剤ではそれに加えてセメント粒子の分散効果により、ブレンコンクリートに比べて採取試料の構成材料の分布が均質になったためと推察される。今回は一つの調査の結果ではあるが、ブリーディング量の標準偏差 (cm^3/cm^2) はそれぞれ 0.060, 0.014, 0.009、また、変動係数(%)は 14.4, 5.4, 3.2 となった。

5. 予測式の作成に関する検討

5.1 作成の方針

既往の実験結果によると、同一水セメント比における単位水量と

図 5 ブリーディング試験結果（実験 3）

図 6 単位水量とブリーディング量の関係（実験 3）

図 7 同一バッチ内のばらつき（実験 4）

ブリーディング量の関係は、単位水量が広範囲にわたる場合には S 字曲線になると考えられる¹¹⁾が、図 6 に示した結果によると、一部にばらつきは認められるものの、一般的なコンクリートの単位水量の範囲では、同一水セメント比における単位水量とブリーディング量の関係はほぼ直線になるとみなして差し支えないものと考えられる。そして、この外挿した直線は x 軸上のほぼ同一の点に収束する

ことが推測される。また、水セメント比が大きくなるとこの直線の傾きは大きくなる傾向が認められる。このため、図 8 に示すように、各コンクリートについて回帰式を求め、外挿により x 切片、すなわちブリーディング量が 0 になるとみなされる単位水量を求め、次に水セメント比と回帰式の傾き a との関係を求めて、ブリーディング量を単位水量と水セメント比との関係で表示することとした。

5.2 本実験結果による検討

(1) 単位水量とブリーディング量に関する検討

同一水セメント比ごとに回帰式を外挿したときの x 切片の値を表 5 に示す。これによると x 切片の値は各コンクリートの水セメント比および混和剤の種類によりあまり変わらないという結果になり、全平均は 119kg/m³ となった。

(2) 水セメント比とブリーディング量に関する検討

次に、図 8 に示すように、各単位水量から表 5 の全平均である 119 を差し引いた値 x' を用いて、x' とブリーディング量との関係を原点回帰したときの式の傾き a を求め、図 9 に水セメント比と回帰式の傾き a の関係を示す。これによるとプレーンコンクリートに比べて AE 剤を使用したコンクリートはやや小さく、また、AE 減水剤を使用したコンクリートはやや大きくなる傾向が認められた。ここでは、プレーンコンクリートと AE 減水剤を使用したコンクリートの両者の平均として、ブリーディングが 0 となる水セメント比を 23.2% とした。これは T.C.Powers の基本水セメント比に相当するもので、彼は 25%、梶井らは 30% としており¹⁴⁾、それらよりやや小さい値となった。一方、AE 減水剤を使用したコンクリートは全般にプレーンコンクリートや AE 剤を使用したコンクリートより傾き a の値が大きくなっているが、これは AE 減水剤の効果によりセメント粒子がより分散されたことも一因と考えられる。AE 減水剤を使用したコンクリートの回帰式の x 切片は+2.6 でプレーンコンクリートや AE 剤を使用したコンクリートと異なっているが、式の簡易化を図るため x 切片を-23.2 とし、水セメント比 55% における回帰式の傾き a の値を求めると、AE 減水剤を使用した場合はプレーンコンクリートや AE 剤を使用した場合の 1.19 倍となった。式(1)は以上の結果をまとめたものである。

回帰式の係数 a

プレーンと AE 剤 : $a = 0.0125 \times (w/c - 23.2) / 100$

AE 減水剤 : $a = 0.0149 \times (w/c - 23.2) / 100$

ブリーディング量の推定式

$$B = a (W - W_0) = \alpha (W - W_0) (w/c - 23.2) / 100 \quad \cdots (1)$$

ここに、B : ブリーディング量 (cm³/cm²)

W : 単位水量 (kg/m³)

W₀ : 実験定数 (本実験では 119) (kg/m³)

α : 実験定数(本実験ではプレーンと AE 剤 : 0.0125,

AE 減水剤 : 0.0149)

5.3 既往の実験結果による検討

表 6 に、既往の実験結果で同一水セメント比における単位水量とブリーディング量の関係が直線であるとみなして外挿により求めたブリーディング量が 0 になる単位水量 (表中の x 切片) を示す。図 10 はこれを水セメント比との関係で示したもので、これによると、本実験で得られた値は、プレーンコンクリート、AE 剤を使用

図 8 回帰式の傾き a を求める模式図

表 5 回帰式を外挿したときの x 切片

水セメント比(%)	プレーン	AE剤	AE減水剤
45	104	109	112
55	142	121	128
65	128	114	112
平均	125	115	117
全平均	119

図 9 水セメント比と回帰式の傾き a の関係

したコンクリートおよび AE 減水剤を使用したコンクリートのいずれにおいてもほぼ平均的な値とみなして差し支えないものと考えられる。なお、文献 12 と 25 の減水剤は AE 減水剤とみなした。

また、表 7 には既往の実験結果から同様に求めて求めたブリーディングが 0 になる水セメント比を示し、図 11 にはそれを単位水量との関係で示す。かなりばらつきがあり、本実験から得られた値はプレーンと AE 減水剤を使用した場合ではやや小さい値となった。実験 3 の実験値とこの式より求めた計算値の関係を示すと図 12 のようになり、計算値は実験値の±25%以内となった。

6. 本実験における各実験の比較

これまで行った 4 つの実験のうち、共通の調査である w/c55%、スランプ 15cm の場合をまとめて示すと図 13 のようになる。この図からわかるように、実験 2 と実験 3 は同じロットのセメントと細骨材を使用しているため、類似の結果となったが、実験 1 と実験 4 はそれと異なる結果となっており、これはそれぞれセメントと細骨材のロットが異なるためと推測される。このため、実験 3 で求めた実験定数 α をそのまま適用しても実験値と計算値の対応は図 14 に示すように良くなく、±25% の範囲を大きく外れることとなった。このため、以後の検討では、その実験に対応して実験定数 α を求めて本実験の式を適用することとした。

表 6 既往の実験結果から求めたブリーディングが0となる単位水量

発表年	著者	使用材料				データ数	調合						回帰式			備考
		セメント	細骨材	粗骨材	混和剤		水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)		スランプ (cm)		傾き (× 10 ⁻³)	y 切片	x 切片		
								最小	最大	最小	最大					
1956	西他 ¹²⁾	普通ポ ⁺	砂 0.6mm	砂利25mm	ブレーン	7	55.0	165	220	10.0	22.0	2.47	-0.278	113	150φ×300の 容器使用	
					AE剤	7	65.0	186	224	10.0	22.0	2.78	-0.336	121		
						4	50.0	168	195	10.0	22.0	2.33	-0.292	125		
					4	60.0	165	201	10.0	22.0	3.02	-0.347	115			
					減水剤	4	55.0	154	200	10.0	22.0	1.96	-0.180	92		
						4	65.0	160	192	10.0	22.0	3.88	-0.408	105		
			砂 2.5mm	山砂利 25mm	ブレーン	7	55.0	173	198	10.0	22.0	2.26	-0.228	101		
					AE剤	7	65.0	172	201	10.0	22.0	3.96	-0.509	128		
						4	50.0	150	192	10.0	22.0	1.38	-0.161	117		
					4	60.0	151	187	10.0	22.0	1.74	-0.141	81			
					減水剤	4	55.0	145	175	10.0	22.0	0.19	0.052	—		
						4	65.0	163	185	10.0	22.0	4.96	-0.706	142		
1967	佐治他 ¹³⁾	普通ポ ⁺	浜砂 0.6mm	砂利25mm	ブレーン	12	60.0	178	259	8.0	22.9	5.00	-0.624	125	150φ×300の 容器を使用し、沈降量から換算	
						6	70.0	179	269	14.5	22.9	4.85	-0.484	100		
			川砂 2.5mm			12	60.0	168	242	8.5	20.9	4.42	-0.539	122		
						6	70.0	172	228	8.9	20.6	4.65	-0.621	134		
						3	35.0	156	194	7.9	20.6	0.89	-0.034	38		
						3	45.0	152	181	8.4	21.2	9.65	-1.259	130		
1970	梶井他 ¹⁴⁾	普通ポ ⁺	砂 2.5mm	砂利25mm	AE剤	3	55.0	148	177	8.7	21.9	9.35	-1.000	107		
						3	65.0	148	177	7.8	20.8	6.68	-0.493	74		
						2	55.0	191	216	17.0	20.0	3.40	-0.388	114		
1972	友澤他 ¹⁵⁾	普通ポ ⁺	川砂 2.5mm	砕石2005	ブレーン	2	65.0	188	214	14.0	22.0	15.5	-1.772	114		
						2	65.0	161	186	8.5	18.5	3.12	-0.382	122		
						2	65.0	165	190	9.0	19.2	3.69	-0.480	130		
1975	秋山他 ¹⁶⁾	普通ポ ⁺	川砂 2.5mm	川砂利 25mm	AE剤	2	65.0	176	197	8.5	18.8	4.02	-0.564	140		
			川砂 2.5mm	砕石25mm		2	65.0	179	198	8.7	19.2	4.59	-0.671	146		
			砕砂 2.5mm			2	50.0	179	210	12.1	21.0	3.88	-0.621	160		
			1978	十代田 ¹⁸⁾		普通ポ ⁺	川砂 f.m.2.82	砕石25mm	ブレーン	4	61.0	157	213	6.0	20.5	1.20
川砂 f.m.1.66	砕石20mm	3			61.0		176	213		14.0	21.0	1.62	-0.153	94		
川砂 f.m.2.80	砂利20mm	AE減水剤			2		60.0	157		174	8.5	18.5	2.59	-0.132	51	
1979	依田他 ²⁰⁾	普通ポ ⁺	川砂	砂利20mm	AE減水剤	2	60.0	171	185	20.0	22.0	4.29	-0.343	80		
1981	池田他 ²¹⁾	普通ポ ⁺	丘砂	砕石20mm	AE減水剤	3	60.0	146	180	6.0	21.5	2.31	-0.140	60		
						4	57.0	168	190	12.0	20.5	2.21	-0.251	114		
1993	大分県生コン ²²⁾	普通ポ ⁺	海砂＋山砂	砕石20mm	AE減水剤	4	50.0	162	184	10.4	18.8	0.91	0.053	-		
						4	65.0	167	188	10.5	18.7	3.33	-0.327	98		
1997	松本他 ²³⁾	普通ポ ⁺	海砂＋山砂	砕石20mm	AE減水剤	2	50.0	165	189	8.0	19.5	2.08	-0.284	137		
2007	木村他 ²⁴⁾	普通ポ ⁺	砕砂＋砕砂	砕石20mm	AE減水剤	2	65.0	163	187	8.0	19.5	3.75	-0.541	144		
						4	55.0	160	193	8.5	22.0	13.5	-1.950	144		

表 7 既往の実験結果から求めたブリーディングが0になる水セメント比

発表年	著者	使用材料				データ数	調合								回帰式			備考
		セメント	細骨材	粗骨材	混和剤		水セメント比 (%)		単位水量 (kg/m ³)			スランプ (cm)		傾き (× 10 ⁻³)	y切片	x切片		
1956	横通他 ²⁵⁾	普通ポ	砂 f.m.2.73	砂利25mm	減水剤P 減水剤D	3	46.3	81.6	145	147	148	2.0	7.4	2.84	0.295	—	180分後の値	
						3	40.6	72.2	127	129	130	2.0	6.0	9.89	-0.281	28.4		
						3	41.2	72.2	127	130	133	3.1	6.4	9.41	-0.226	24.1		
1970	梶井他 ¹⁴⁾	普通ポ	砂 f.m.2.82	砂利25mm	AE剤	3	45.0	65.0	148	149	152	目標8	—	10.9	0.033	-3.0		
						3	45.0	65.0	159	160	163	目標15	11.3	-0.214	20.8			
						3	45.0	65.0	177	178	181	目標21	14.7	-0.417	20.8			
1972	友澤他 ¹⁵⁾	普通ポ	川砂 2.5mm	砕石2005	ブレーン	2	55.0	65.0	188	190	191	14.3	16.5	12.5	-0.426	34.0		
						2	55.0	65.0	214	215	216	20.3	22.3	34.4	-1.546	44.9		
1978	中川 ¹⁹⁾	普通ポ	川砂 f.m.2.80	砂利20mm	AE減水剤	3	50.0	70.0	174	175	176	18.0	19.0	8.50	-0.210	24.7		
1985	麻生他 ²⁶⁾	普通ポ	海砂 f.m.2.47	砕石20mm	ブレーン	3	45.0	65.0	—	213	—	18.0	18.0	10.3	-0.255	24.8		
1985	岐阜生コン ²⁷⁾	普通ポ	川砂混合	砂利25mm	AE剤	3	45.0	65.0	158	160	163	目標7～10	4.18	-0.049	11.8	16～18℃		
1987	麻生他 ²⁸⁾	普通ポ	海砂f.m.2.47	砕石20mm	ブレーン	3	45.0	65.0	-	233	-	-	-	5.00	-0.095	19.0		
						3	45.0	65.0	-	199	-	-	-	3.50	-0.079	22.6		
						3	45.0	65.0	-	183	-	-	-	3.00	-0.078	26.1		
1993	青森生コン ²⁹⁾	普通ポ	山砂＋砕砂	砕石20mm	AE減水剤	3	45.0	55.0	181	182	184	—	—	6.00	-0.220	36.7		
1997	田中他 ³⁰⁾	普通ポ	砕砂＋細砂	砕石20mm	AE減水剤	3	45.0	65.0	-	184	-	目標18	—	12.7	-0.245	19.3		
2000	陶他 ³¹⁾	普通ポ	海砂 f.m.2.88	砕石20mm	AE減水剤	3	45.0	65.0	-	175	-	目標12	—	9.50	-0.263	27.6		
			海砂 f.m.2.52			3	45.0	65.0	-	173	-	目標8	—	2.75	-0.088	32.0		
			海砂			2	50.0	60.0	-	180	-	目標18	—	16.4	-0.554	33.8		
2005	真鳥他 ³²⁾	普通ポ	海砂7＋砕砂3	砕石20mm	AE減水剤	2	50.0	60.0	-	178	-	目標18	—	15.7	-0.542	34.5	17～18℃	
			海砂5＋砕砂5			2	50.0	60.0	-	176	-	目標18	—	13.0	-0.437	33.5		
			砕砂 f.m.2.70			2	50.0	60.0	-	174	-	目標18	—	9.27	-0.278	30.0		
2008	因幡他 ³³⁾	普通ポ	山砂＋陸砂	砕石20mm	AE減水剤	2	55.0	65.0	-	170	-	18.5	19.0	6.00	-0.100	16.7		

7. 既往の実験結果への適合性

ここでは、以下の3つの場合について既往のブリーディング推定式と本研究で提案する式との比較を行い、図 15～17 に示す。

7.1 西らの式¹²⁾との比較

西らは、ブリーディングは単位水量より単位細骨材量との相関が強いとして、粗骨材の種類および細骨材の粒度ごとに式¹²⁾を示している。図 15 には、ブリーディング量の実測値と計算値の関係を、西らの場合と本研究の場合を比較して示す。西らの場合には、ブレーンコンクリートと混和剤を使用した場合で式の係数を変えていない

ため、本研究の場合も同じ係数で計算値を算出している。これによると、西らの提案する式より、本研究による式のほうが適合性はよくなっているといえる。

7.2 佐治らの式¹³⁾との比較

佐治らは、水セメント比（60%、70%）、細骨材の粒度（細砂、粗砂）を組み合わせたコンクリートにより、粗骨材、細骨材の実積率およびセメントや細骨材の保水性能を考慮し、コンクリートの沈降量をブリーディング量と見なしてその推定式を作成した。図 16 には、前記と同様の比較を示す。これによると、佐治らおよび本研究

図10 ブリーディングが0になる単位水量

図11 ブリーディングが0になる水セメント比

のいずれもほぼ同等の対応を示しているといえる。

7.3 梶井らの式¹⁴⁾との比較

梶井らは、水セメント比 35～65%、スランブ 8～21cm、温度 10～30℃、骨材の種類 3 種類という膨大な実験を行っている。このうち、水セメント比 45～65%、スランブ 8～21cm、温度 20℃、砂利・砂を用いた場合について比較を行った。ブリーディング率で示された梶井らの式をブリーディング量で表示すると、次のようになる。

$$B = 0.00904 W (w/c - 30) / 100 \quad \dots (2)$$

また、本研究の式を適用した結果を次式に示す。

$$B = 0.0350 (W - 119) (w/c - 23.2) / 100 \quad \dots (3)$$

図 17 には、7.1 と同様の比較を示している。梶井らの場合については、式 (2) からわかるように、ブリーディング量が単位水量そのものに比例しているため、実験値におけるブリーディング量の増加に対して計算値の増加が小さくなっている。なお、梶井らの場合は、全般に実験値より計算値のほうが小さくなっているが、これは梶井らは水セメント比や温度条件が本実験より広範囲にわたるデータを対象に式を作成していることも一因と考えられる。

8. 混和剤の効果に関する適用事例

8.1 コンクリート用化学混和剤協会のデータによる検討

混和剤の効果を検討するため、コンクリート用化学混和剤協会より提供を受けたデータ (AE 剤 4 銘柄: 基準コンクリートと試験コンクリート各 8 件、AE 減水剤 6 銘柄: 同各 13 件、1998～2010 年) のうち、同一産地の骨材を使用した各 19 件に式(1)を適用して α を算出した結果を図 18 に示す。これによると、プレーンコンクリートの α と混和剤を用いたコンクリートの α は比較的良好に対応しており、AE 剤を使用した場合は平均でプレーンコンクリートの 0.97 倍となり、AE 減水剤を使用した場合は平均で 1.04 倍となった。また、基準コンクリートであるプレーンコンクリートの α の値も、骨材のロットの相違によるところが大きいと考えられるが、0.005 から

図12 ブリーディング量の実験値と計算値の対応

図13 各実験におけるブリーディング量の比較

図14 実験3の結果を適用した実験値と計算値の対応

0.014 までかなり大きく変化することが分かった。

図 19 は α の平均値を産地の異なる骨材にも適用して、実験値と計算値の対応をみたものであるが、砂の異なる場合には対応の悪くなる場合が認められた。

8.2 建材試験センターのデータによる検討

文献 34)に使用されたデータを用いて、プレーンコンクリートで

図 15 西らの式との比較

図 16 佐治らの式との比較

図 17 梶尾らの式との比較

ある基準コンクリートおよび混和剤を用いた試験コンクリートそれぞれについて α の値を求めた。この一連の試験では同じ産地の骨材を用い、セメントは3銘柄等量混合であるが、プレーンコンクリートの α は、データ数141で、最大0.0241、最小0.0050、平均0.0115、標準偏差(σ_n)0.027となり、かなり幅のある結果となった。

図20は、プレーンコンクリートの α と混和剤を用いたコンクリートの α を比較したものであるが、混和剤の種類により両者の関係がやや異なること、また、AE剤や減水剤を使用した場合に比べて、AE減水剤や高性能AE減水剤を使用した場合のほうが、 α の範囲が大きくなっている傾向が認められ、後者のほうがブリーディングに及ぼす銘柄(成分)の影響が大きいことを示しているともいえる。

図 18 プレーンコンクリートの α と混和剤を使用したコンクリートの α の比較

図 19 ブリーディング量の実験値と計算値の対応(コンクリート用化学混和剤協会のデータ)

表8は、プレーンコンクリートの α に対する混和剤を用いたコンクリートの α の比を示したもので、この値は、水セメント比と単位水量の影響を除いた場合のブリーディングへの影響の度合いを示している。たとえば、AE剤であれば、それを用いることによる水セメント比と単位水量の減少分に相当するブリーディングの抑制効果が期待できることになり、減水剤であれば、標準形の場合にはそれ以上の効果が期待できるが、遅延形ではそれが期待できないこととなる。また、同じく建材試験センターで実施された文献(35)の結果と比較すると、一部に逆のものもあるが、全般にブリーディングに関して混和剤の性能が改善されていることを読み取ることができる。

図21は、表9の α_2/α_1 を各基準コンクリートの α に乗じてブリーディング量の計算値を算出し、実験値との対応をみたものである。これによると、図20からも推測されるように、AE剤や減水剤を使用した場合に比べて、AE減水剤や高性能AE減水剤を使用した場合のほうが、ブリーディング量の少ない領域ではあるが、やや対応が悪くなっていることがわかる。

図 20 プレーンコンクリートの α と混和剤を使用したコンクリートの α の比較

図 21 ブリーディング量の実験値と計算値の対応

表 8 基準コンクリートと試験コンクリートの実験定数 α

混和剤の種類		スランブ8cm					スランブ18cm					α_2/α_1 の平均				前回と 今回の 比
		基準コンクリート		試験コンクリート		α_2 / α_1	基準コンクリート		試験コンクリート		α_2 / α_1	今回 ⁽³⁴⁾ 値	前回 ⁽³⁵⁾ 値			
		n	α_1	n	α_2		n	α_1	n	α_2			n	値		
AE剤		9	0.0112	9	0.0113	1.02	9	0.0122	9	0.0113	0.92	0.97	12	0.97	1.00	
減水剤	標準形	10	0.0101	10	0.0065	0.65	10	0.0106	10	0.0077	0.72	0.69	9	0.87	0.79	
	遅延形	2	0.0127	2	0.0177	1.40	2	0.0140	2	0.0179	1.28	1.34	1	1.14	1.17	
AE減水剤	標準形	44	0.0102	44	0.0089	0.87	44	0.0109	44	0.0099	0.91	0.89	33	1.05	0.85	
	遅延形	27	0.0102	27	0.0100	0.98	27	0.0109	27	0.0110	1.01	1.00	16	1.14	0.88	
	促進形	6	0.0108	6	0.0090	0.83	6	0.0119	6	0.0092	0.78	0.80	17	0.89	0.90	
高性能 AE減水剤	標準形	29	0.0124	29	0.0103	0.83	29	0.0129	29	0.0108	0.84	0.83	9	0.78	1.07	
	遅延形	14	0.0134	14	0.0118	0.88	14	0.0146	14	0.0164	1.12	1.00	4	1.10	0.91	

注) α_1 :プレーンコンクリートである基準コンクリートの α 、 α_2 :混和剤を使用した試験コンクリートの α

9. まとめ

本研究の結果は以下のようにまとめられる。

- (1) ブリーディング量は混和剤の種類が同一の場合、単位水量および水セメント比の減少とともにほぼ直線的に減少するとみなして差し支えないことが確認された。
- (2) 水セメント比1水準であるが、ブリーディング試験におけるバッチ間やバッチ内のばらつきのデータを得ることができ、プレーンコンクリートではバッチ内のばらつきが大きいことが把握された。
- (3) 単位水量および水セメント比を考慮したブリーディング予測式を作成し、既往の式と比較しても遜色のない結果が得られた。
- (4) ブリーディング予測式における実験定数 α は、使用材料の銘柄や産地が同じでも、ロットなどにより3~4倍程度の幅をもつこと、すなわちブリーディング量が同じ3~4倍程度の幅をもつことが把握された。今後、 α の値に及ぼすセメントや細骨材の品質の影響について検討する必要がある。
- (5) 混和剤を使用した場合について、プレーンコンクリートの α に乗ずる係数を混和剤の種類ごとに示したが、AE剤や減水剤に比べ、AE減水剤や高性能AE減水剤では、ブリーディング量の実験値と計算値の対応がやや劣る結果となった。

謝辞

実験に際し、当時工学院大学卒論生であった石橋涼君をはじめ、卒論生各位の協力を得ました。また、コンクリート用化学混和剤協会および宇部三菱セメントからは、データの提供を受けました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，p. 505, 2015. 7
- 2) 日本建築学会材料施工委員会：鉄筋コンクリート工事の現状と今後の課題，建築雑誌，Vol. 87, No. 1056, pp. 931-935, 1972. 9
- 3) 仲摩諭，阿部道彦：コンクリートのブリーディングに及ぼす各種要因の影響に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp. 263-264, 2013. 8
- 4) 仲摩諭，石橋涼，阿部道彦：コンクリートのブリーディングに及ぼす各種要因の影響，日本建築学会関東支部研究報告集，No. 84(I), pp. 121-124, 2014. 3
- 5) 阿部道彦，仲摩諭，石橋涼：コンクリートのブリーディング予測式の作成に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp. 529-530, 2014. 9
- 6) 日本建築学会：コンクリートの調合設計指針・同解説，p. 10, 1999. 2
- 7) 阿部道彦，斉藤正城：モルタルによるブリーディング試験方法に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1, pp. 277-278, 2004. 8
- 8) 永島明夫，平田隆洋，竹田宣典：ブリーディング試験結果に及ぼす測定方法の影響，土木学会第50回年次学術講演会講演梗概集 V，pp. 1010-1011, 1995. 9
- 9) 十代田知三：コンクリートのブリーディング試験について，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造系，pp. 69-70, 1984. 10
- 10) 高畑友彦，高橋敏樹，青木一久：測定条件の違いがブリーディング試験の結果に及ぼす影響，土木学会第57回年次学術講演会講演梗概集 V，pp. 1449-1450, 2002. 9
- 11) 麻生実，島添洋治，白川敏夫：モルタル・コンクリートのブリーディングに関する研究，日本建築学会九州支部研究報告，第29号，pp. 21-24, 1986. 3
- 12) 西忠雄，長島弘，山川哲郎：コンクリートのブリーディングについて，セメント技術年報，第10巻，pp. 313-319, 1956
- 13) 佐治泰次，松藤泰典：軟練りコンクリートの沈降現象と調合について（第1報），日本建築学会論文報告集，第138号，pp. 1-6, 1967. 8
- 14) 梶井基彦，平山勇，森脇明行，河村一正：砂利および軽量コンクリートのブリーディング性状について，セメント技術年報，第24巻，pp. 369-374, 1970
- 15) 友澤史紀，五十畑新一：ブリーディング試験方法に関する研究，昭和46年度建築研究所年報，pp. 353-356, 1972. 2
- 16) 秋山憲男，今井茂，井出昌男，古越浩一，中井裕：コンクリート用細骨材としての砕砂（2.5~0）の利用，骨材資源，通巻No. 26, pp. 8-31, 1975
- 17) 友澤史紀，川瀬清孝，赤石博，田中斉：コンクリート用骨材としての砕砂に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造系，pp. 45-46, 1976. 10
- 18) 十代田知三：コンクリートの内部構造におよぼすブリーディングの影響，学位論文，pp. 7-12, 1978. 3
- 19) 中川脩：水砕スラグ細骨材コンクリートの調合と性質（その2），コンクリート用水砕スラグ細骨材の使用規準の作成に関する研究報告書，社団法人日本鉄鋼連盟コンクリート用水砕スラグ細骨材使用規準作成研究会，II-D-1-30, 1978. 3
- 20) 依田彰彦，横室隆，大平光洋：水砕スラグ砕砂に川砂・海砂を混用したモルタル及びコンクリートについて，第1回コンクリート工学年次論文集，pp. 177-179, 1979
- 21) 池田正志，岸谷孝一，嵩英雄，飯塚正則：流動化コンクリートの工学的性質に関する実験的研究，第3回コンクリート工学年次論文集，pp. 45-48, 1981
- 22) 大分生コンクリート工業組合スラッジ対策研究会・産業廃棄物利用研究会：乾燥スラッジを混入したコンクリートの特性，第7回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 69-74, 1993
- 23) 薬師寺照夫，松本阜月，田口茂久，佐藤嘉昭：微粉碎乾燥スラッジ混入コンクリートの特性，第9回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 91-96, 1997
- 24) 木村博明，片山一司，藤村大輔，河野晋一郎：各種要因が及ぼすブリーディングの傾向について，第14回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 1-6, 2007
- 25) 横通英雄，一木保夫，松井司：セメント拡散剤およびAE剤がコンクリートのスランプ、強度およびブリーディングにおよぼす影響の比較，セメント技術年報，第10巻，pp. 194-199, 1956
- 26) 麻生実，島添洋治，白川敏夫：モルタル・コンクリートのブリーディングに関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，A，pp. 517-518, 1985. 10
- 27) 岐阜県生コンクリート工業組合他：A・B・C種高炉セメントを用いたコンクリートについて，第4回生コン技術大会論文集，pp. 149-154, 1985
- 28) 麻生実，島添洋治，白川敏夫：コンクリートのブリーディングに関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，A，pp. 95-96, 1987. 10
- 29) 青森生コン協同組合技術部会，青森生コン工業組合：高耐久性コンクリートの基礎物性に関する実験，第7回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 167-170, 1993
- 30) 田中敏，霜出秋徳，河合栄一，茶園光秋，高柳藤夫，関野一男：都市ゴミ焼却灰を原料としたセメントを用いたコンクリートの諸性状及び現場への適用，第9回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 47-52, 1997
- 31) 陶佳宏，松下博通，鶴田浩章，上田哲史：打継ぎによるコンクリートの強度低下に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 22, No. 1, pp. 265-270, 2000
- 32) 真鳥信秋，持永真二，田中信也，白倉純一，小松武史：海砂の代替として石灰石砕砂を使用したコンクリートの性状について，第13回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 17-20, 2005
- 33) 因幡芳樹，守屋健一，金子樹，嵩英雄：コンクリートの打重ね部の付着強度に及ぼす打重ね時間間隔とセメント種類の影響，日本建築学会構造系論文集，Vol. 73, No. 631, pp. 1443-1448, 2008. 9
- 34) 志村明春，鈴木澄江：過去10年間に実施した「コンクリート用化学混和剤」の品質試験結果について，建材試験情報，Vol. 39, No. 10, pp. 17-24, 2003
- 35) 飛坂基夫，岸賢蔵，柳啓：コンクリート用化学混和剤の品質—高性能AE減水剤を含む—，第5回生コン技術大会研究発表論文集，pp. 125-130, 1989

EXPERIMENTAL STUDY ON ESTABLISHMENT OF PREDICTION EQUATION OF BLEEDING OF CONCRETE

Michihiko ABE^{}, Satoru NAKAMA^{**} and Sumie SUZUKI^{***}*

^{*} Prof., School of Architecture, Kogakuin Univ., Dr. Eng.

^{**} Higashikyushu Architectural & Engineering, Inc., M. Eng.

^{***} Japan Testing Center for Construction Materials, Dr. Eng.

Because of environmental consideration and variety of required performance for concrete, the kinds of constituent materials used for concrete have been increased. For this reason the bleeding of concrete has shown a high value in some cases. It is said that higher bleeding has some harmful effects on the properties of concrete and reinforcement but the method for control of bleeding have not been proposed.

This paper presents the results of experimental study and the literature survey on the simple prediction model of bleeding of concrete.

The experiment was composed of four series and the bleeding test of concrete was conducted in accordance with JIS A 1123 except for the interval of taking the rising water. In series 1, unit water content and the kind of chemical admixtures were varied under the constant water cement ratio. In series 2, the variation of bleeding in the different 7 batches was checked. In series 3, unit water content, water cement ratio and the kind of chemical admixtures were varied. In series 4, the variation of 7 bleeding test samples in the same batch was checked. Based on the series 2 a simple prediction equation of bleeding was established.

And a literature survey on bleeding of concrete in Japan was conducted and the data of experiments in which unit water content or water cement ratio are varied under the other condition is constant were set in order.

Moreover the comparison of the existing three prediction equations and the equation model of bleeding of concrete proposed in this paper was conducted.

At the last stage the effect of bleeding in the cases in which this proposed equation was adapted to those using with other chemical admixtures were considered based on the data provided by some organizations, because the concretes using with air-entraining agent and air-entraining and water-reducing agent were treated in this experiment.

The conclusions of this study are summarized as follows.

- (1) It was confirmed that bleeding amount reduces linearly with the reduction of unit water content or water cement ratio.
- (2) The data of variation in the different batches and that in the same batch were obtained, and in the latter case the variation of plain concrete was larger than that of concrete with air-entraining agent or air-entraining and water-reducing agent.
- (3) The prediction equation of bleeding considering unit water content and water cement ratio was established, and it compares favorably with existing equations.
- (4) The empirical constant coefficient in the prediction equation of bleeding had wide range of 3 or 4 times due to the lots of used materials even if the brand or district was the same. In other words, it was found that bleeding mass had the same range. Accordingly, it is necessary to study the influence of the quality of cement and fine aggregate on the empirical constant coefficient in the future.
- (5) In the case where chemical admixtures were used, the coefficients which multiplies the empirical constant coefficient of plain concrete were shown in each kind of chemical admixture. The compatibility of experimental values and calculated values in the case of air-entraining and water-reducing agent or air-entraining and high range water-reducing agent was not so good compared to air-entraining agent or water-reducing agent.

(2016 年 12 月 5 日原稿受理, 2017 年 6 月 6 日採用決定)