

低粉体量高流動コンクリートの配合検討 およびブリーディングに関する基礎的検討

福岡 瑛莉奈*1・岩城 圭介*2・西脇 敬一*1・山川 勉*3・パール ピセイ*4

概 要

高流動コンクリートではノンブリーディングが規定されることがあり、これを実現するため比較的高粉体量の高流動コンクリートが用いられている。しかし、近年一般化されつつある高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプの適用により、ノンブリーディングに向けた低粉体量高流動コンクリートが検討されつつある。一方、ブリーディングに関してはブリーディング速度を用いることで、そのメカニズムが解明されつつある。

本研究では、低粉体量高流動コンクリートによるノンブリーディングの配合検討およびブリーディング速度を用いてメカニズムの検証を行った。

キーワード：低粉体量，高流動コンクリート，高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプ，配合設計，ブリーディング速度

FUNDAMENTAL STUDY ON MIX DESIGN AND BLEEDING OF SELF-CONSOLIDATING CONCRETE WITH LOW CONTENT OF CEMENT

Erina FUKUOKA *1, Keisuke IWAKI *2, Keiichi NISHIWAKI *1
Tsutomu YAMAKAWA *3, Pisey PHAL *4

Abstract

The bleeding “0” of concrete may be specified in self-consolidating concrete and in order to achieve this, self-consolidating concrete a relatively high powder is used. However, with the application of Air-entraining and high-range water reducing admixture containing viscosity modifying agent, which has become popular in recent years, self-consolidating concrete with low content of cement for bleeding “0” of concrete is being investigated. On the other hand, regarding bleeding of concrete, the mechanism of bleeding is being elucidated by using the velocity of bleeding.

This study is to examine the mix design of self-consolidating concrete with low content of cement and to verify the mechanism using the velocity of bleeding.

Keywords: Self-consolidating concrete, Low content of cement, Air-entraining and high-range water reducing admixture containing viscosity modifying agent, Mix design, Velocity of bleeding

*1 Material Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*2 Manager, Material Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*3 Research & Development Center, Construction Technology General Center

*4 Overseas Business Promotion Office, Phnom Penh Office

低粉体量高流動コンクリートの配合検討およびブリーディングに関する基礎的検討

福岡 瑛莉奈*1・岩城 圭介*2・西脇 敬一*1・山川 勉*3・パール ピンセイ*4

1. はじめに

鉄道高架橋およびラーメン式橋台の柱部材に用いる高流動コンクリートでは、ノンブリーディングが規定される場合¹⁾があり、これを実現するために比較的高粉体量の高流動コンクリートが用いられている。また、近年一般化されつつある高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプの適用による、ノンブリーディングに向けた低粉体量高流動コンクリートも検討されつつある²⁾。

一方ブリーディングに関しては、耐久性の観点から初期ひび割れ低減に寄与する特性として着目されている³⁾。ブリーディングの評価では、積分値であるブリーディング量が一般的に用いられるが、微分値であるブリーディング速度の検討も行われ^{4), 5)}、ブリーディングのメカニズムが解明されつつある。

本報告は高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプを用いた低粉体量高流動コンクリートの適用拡大に向けて、ノンブリーディングを目的とした配合検討およびブリーディングのメカニズムの検証を目的としたブリーディング速度の検討について、その結果を示すものである。

2. 試験概要

本検討では、自己充填性ランク 2 に相当する高流動コンクリートを対象とした。試験項目および目

標値を表-1に示す。ノンブリーディングを目的としたため、ブリーディング率 0.00%、ブリーディング量 $0.00 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ を目標値とした。また、ブリーディング速度は 1 時間ごとのブリーディング量に基づき、時間毎の平均値を算出した。

使用材料を表-2に、試験配合を表-3に示す。粉体量 506 kg/m^3 、 411 kg/m^3 、 348 kg/m^3 の 3 水準および 4 種類の混和剤を使用して、ブリーディング率の低減を検討した。高性能 AE 減水剤（以下、SP）に関しては、比較的高い粉体量 506 kg/m^3 では SP1 を、低い粉体量 411 kg/m^3 と 348 kg/m^3 では高性能 AE 減水剤増粘

表-1 試験項目および目標値

試験項目	試験方法	目標値
スランプフロー	JIS A 1150	$65 \pm 5 \text{ cm}$
50cm フロー到達時間		3~15 秒
空気量	JIS A 1128	$4.5 \pm 1.5\%$
U 形充填高さ(障害 R2)	JSCE-F 511-2021	300 mm 以上
ブリーディング率/量	JCI-S-015-2018	0.00% $0.00 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$
気泡間隔係数 (参考)	ASTM C457 準抛 リニアトラバース法	250 μm 程度以下

表-2 使用材料

材料	記号	種類および物性他
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16 g/cm^3
細骨材	S	陸砂, 表乾密度 2.57 g/cm^3
粗骨材	G	碎石 2005, 表乾密度 2.71 g/cm^3
化学 混和剤	SP1	高性能 AE 減水剤 ポリカルボン酸コポリマー
	SP2	高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプ ポリカルボン酸コポリマー, 特殊増粘剤
	SP3	高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプ ポリカルボン酸系化合物, 特殊増粘剤
	VMA	粉末増粘剤, セルロースエーテル系

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 材料グループ

*2 建設技術総合センター 研究開発センター 材料グループ グループリーダー

*3 建設技術総合センター 研究開発センター

*4 海外事業推進室 プノンペン事務所

剤一液タイプの SP2 および SP3 を使用した。なお SP3 は、SP2 に比較して増粘作用が大きい高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプである。また、VMA (Viscosity Modifying Admixture) は補助的に使用したセルロースエーテル系の粉末増粘剤 (以下、VMA) である。高流動コンクリートのブリーディング低減に向けて単位水量、細骨材率、混和剤使用量を適宜調整した。

3. 試験結果

試験結果を表-4に示す。いずれの試験ケースもブリーディング量は 0.1 cm³/cm² 以下であり、CFT (Concrete Filled Steel Tube : コンクリート充填鋼管) 造の基準⁶⁾を満足した。しかし、ブリーディング率およびブリーディング速度は配合要因により大きく変化した。また、ブリーディング率とブリーディング

表-3 試験配合

試験ケース	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				化学混和剤							
			W	C	S	G	SP種類	SP (C×%)	VMA (g/m ³)					
506-1	34.6	49.2	175	506	784	854	SP1	1.35	-					
506-2	33.6	49.6	170		797	854		1.45	-					
411-1	40.1	51.9	165	411	874	854	SP2	1.75	-					
411-2		52.3			887	854		1.95	-					
411-3		54.5			160	925		813	2.05	-				
411-4									2.30	-				
411-5									2.45	25				
411-6		52.6			160	900		854	2.55	50				
411-7									2.10	-				
411-8	2.30		-											
411-9	38.9	54.9	936	813	2.35	-								
411-10					2.50	-								
411-11					41.4	51.9	170	874	854	1.75	-			
411-12	2.15	-												
348-1	48.9	48.9	170	348	848	935	SP2	1.80	-					
348-2								2.00	25					
348-3								2.10	50					
348-4								2.40	100					
348-5								53.3	180	925	854	1.80	-	
348-6												2.30	-	
348-7								51.7	52.6	170	348	899	854	SP3
348-8	809	976	2.50	-										
348-9	48.9	48.9	170	848	935	2.50	-							
348-10						3.00	-							
348-11						2.50	-							
348-12	53.3	925	854	3.00	-									

表-4 試験結果

試験ケース	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		化学混和剤			スランブフロー (cm)	50cm到達時間 (s)	空気量 (%)	U形充填高さ (mm)	ブリーディング			気泡間隔係数 (μm)				
			W	C	SP種類	SP (C×%)	VMA (g/m ³)					率 (%)	量 (cm ³ /cm ²)	最大速度 (×10 ⁻⁵ cm ³ /cm ² ・S)					
506-1	34.6	49.2	175	506	SP1	1.35	-	62.0	4.2	4.7	354	0.00	0.00	-	209				
506-2	33.6	49.6	170		1.45	-	63.5	4.5	5.1	350	0.00	0.00	-	-	-				
411-1	40.1	51.9	165	411	SP2	1.75	-	64.5	3.6	3.7	348	0.32	0.01	0.14	-				
411-2		52.3				1.95	-	65.5	4.9	3.5	358	0.19	0.01	0.09	-	-			
411-3		54.5				160	925	813	2.05	-	55.5	6.6	4.9	-	-	-	-	-	
411-4									2.30	-	63.0	4.5	4.6	349	0.06	0.00	0.05	269	
411-5									2.45	25	60.5	5.7	4.2	349	0.00	0.00	-	242	
411-6		52.6				160	900	854	2.55	50	61.0	6.7	4.0	354	0.00	0.00	-	274	
411-7									2.10	-	59.5	7.5	5.1	-	-	-	-	-	
411-8	2.30		-	65.0	5.3				4.8	354	0.07	0.00	0.05	-					
411-9	38.9	54.9	936	813	2.35	-	57.5	8.5	5.0	-	-	-	-	-					
411-10					2.50	-	59.0	7.5	5.2	348	0.07	0.00	0.06	-					
411-11					41.4	51.9	170	SP3	1.75	-	42.0	15.8	3.1	-	-	-	-	-	
411-12	2.15	-	50.0	8.3					2.3	-	0.13	0.01	0.08	-					
348-1	48.9	48.9	170	348	SP2	1.80	-	64.0	3.3	3.1	352	1.14	0.05	0.44	377				
348-2						2.00	25	61.5	3.1	4.8	345	0.59	0.02	0.24	260				
348-3						2.10	50	60.0	3.8	5.2	346	0.39	0.02	0.19	250				
348-4						2.40	100	63.5	6.8	3.9	350	0.63	0.03	0.30	-				
348-5						53.3	180	925	854	1.80	-	56.0	3.1	4.7	327	0.36	0.02	0.24	-
348-6										2.30	-	60.0	4.9	4.4	343	0.74	0.03	0.33	-
348-7						51.7	52.6	170	348	SP3	3.00	-	59.5	3.8	2.9	342	1.26	0.06	0.47
348-8	2.50	-	57.5	5.2	3.8						344	0.82	0.04	0.27	-				
348-9	2.50	-	52.5	4.1	4.9						328	0.49	0.02	0.20	-				
348-10	48.9	48.9	170	3.00	-						55.0	6.1	3.2	331	0.98	0.04	0.27	-	
348-11				2.50	-						43.0	-	2.6	-	-	-	-	-	-
348-12				53.3	3.00						-	46.0	-	4.2	-	0.22	0.01	0.17	-

速度の関係は、**図-1**に示すようにブリーディング率が大きいほどブリーディング速度が大きい傾向であった。さらに、気泡間隔係数に関しては、VMAの使用量による影響が見られないこと、および概ね凍結融解抵抗性を確保できることが示された。

4. ノンブリーディングに向けた低粉体量高流動コンクリートの配合検討

(1) SP使用量とスランプフローの関係

SP使用量とスランプフローの関係でVMAの混入なしの場合を**図-2**に示す。粉体量506 kg/m³のSP1では、SPの使用量が比較的少ない範囲でスランプフローが60 cm以上であった。また、粉体量411 kg/m³のSP2および348 kg/m³のSP2では、SPの使用量がSP1と比較して多いもののスランプフロー60 cm以上に調整可能であった。しかし、粉体量411 kg/m³のSP3および348 kg/m³のSP3では、SP使用量がカタログ記載上限値のC×3.0%においてもスランプフロー60 cm以下となり、SPの使用量によるスランプフローの調整が難しい結果であった。

(2) スランプフローとブリーディング率の関係

VMAの混入なしの場合のスランプフローとブリーディング率の関係を**図-3**に示す。粉体量506 kg/m³のSP1では、スランプフローが60 cm以上かつノンブリーディングであった。また、粉体量411 kg/m³のSP2も、スランプフローは60 cm以上かつブリーディング率が小さい結果であった。一方、粉体量348 kg/m³では、SP2、SP3ともにスランプフローの増加に伴いブリーディング率が増加する傾向であった。特にSP3ではスランプフローが小さいにも関わらずブリーディング率が大きい結果であった。これは今回使用した骨材とSP3の相性に起因すると考えられ、前項で示したようにSP3の使用量が過多であり、粘性と分散性のアンバランスが生じたと考えられる。よってSP3は、使用

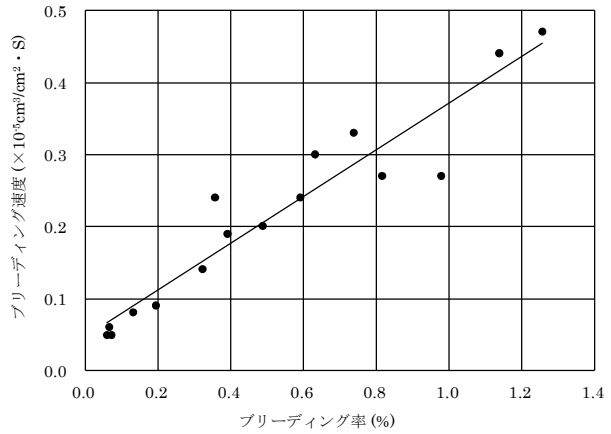


図-1 ブリーディング率とブリーディング速度の関係

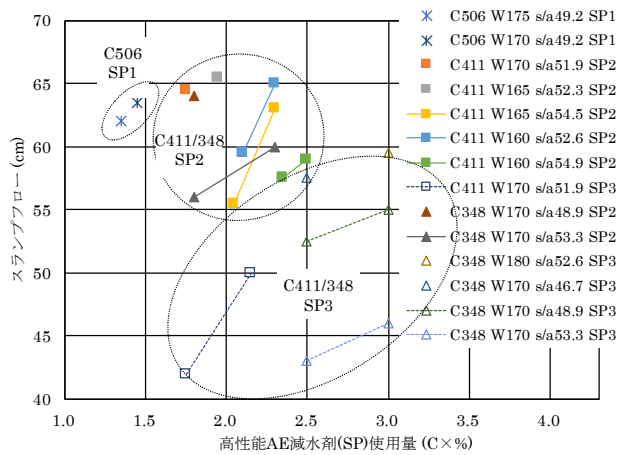


図-2 SP使用量とスランプフローの関係

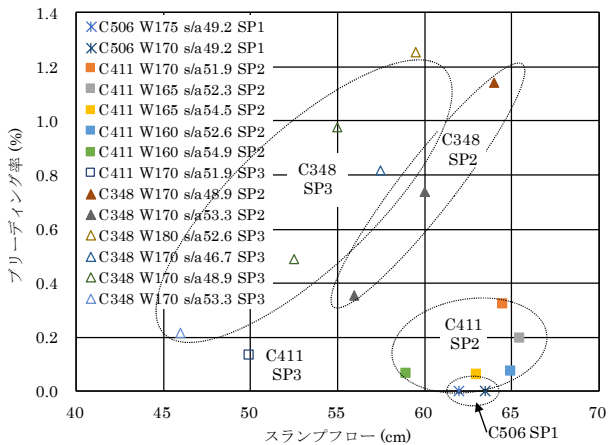


図-3 スランプフローとブリーディング率の関係

量が比較的少ない範囲でスランプフローを調整可能な骨材との組合せであれば、ブリーディング低減に効果を有する可能性もあると考えられる。

(3) VMA 使用量とブリーディング率の関係

粉体量 411 kg/m³, 単位水量 165 kg/m³, s/a 54.5%, SP2 および粉体量 348 kg/m³, 単位水量 170 kg/m³, s/a 48.2%, SP2 のケースにおいて, VMA 使用によるブリーディングの抑制を試みた。VMA 使用量とブリーディング率の関係を図-4 に示す。粉体量 411 kg/m³ では VMA 使用量 25 g/m³ でブリーディング率が 0.00% になった。一方, 粉体量 348 kg/m³ では VMA 使用量の増加に伴い 50 g/m³ までブリーディング率を低減することができた。しかし, VMA 使用量をさらに増加した場合には SP2 も増量したため, ブリーディング率が増加した。

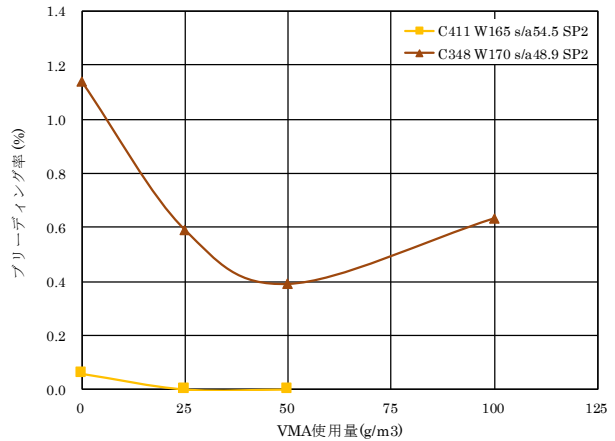


図-4 VMA 使用量とブリーディング率の関係

5. ブリーディングのメカニズムの検証

(1) 経過時間とブリーディング量の関係

SP2 を使用したケースについてのブリーディングメカニズムを検証した。経過時間とブリーディング量の関係を図-5 から図-7 に示す。なお, 図-5 は粉体量 411 kg/m³, 図-6 は粉体量 348 kg/m³, 図-7 は粉体量 348 kg/m³・VMA 混入ありの場合である。積分値であるブリーディング量については, いずれも右上がりの同様のカーブを示し, ある値までは直線に近い増加傾向であり, その後は緩やかな曲線を呈して定常となる傾向が確認できた。経過時間とブリーディング量の関係では, ブリーディングのメカニズム推定に有用な情報が本試験結果からはあまり得られなかった。

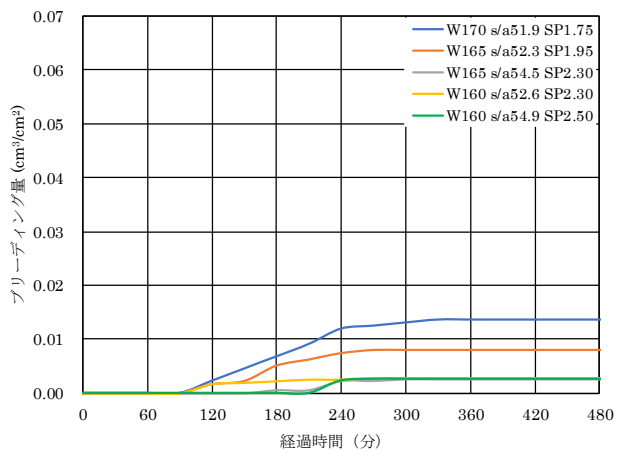


図-5 経過時間とブリーディング量の関係 (粉体量 411 kg/m³)

(2) 経過時間とブリーディング速度の関係

粉体量 348 kg/m³ の経過時間とブリーディング速度の関係を図-8, 図-9 に示す。図-8 では VMA なしの 3 配合を比較したが, 細骨材率や SP2 の使用量の影響によりブリーディング量が異なるものの, いずれも 120 分~180 分にブリーディング速度のピークが認められた。

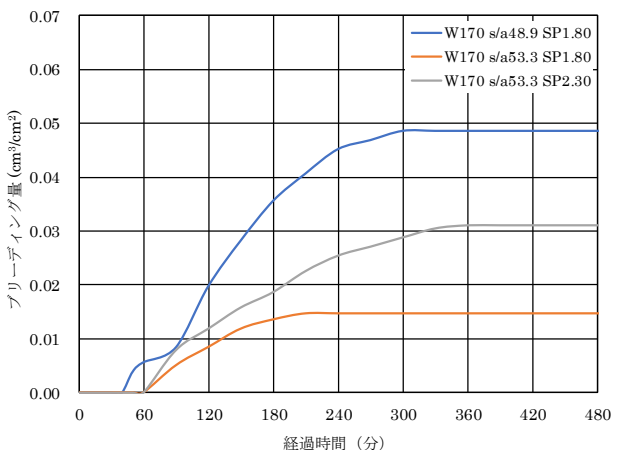


図-6 経過時間とブリーディング量の関係 (粉体量 348 kg/m³)

一方, 図-9 は VMA 使用量の影響について比較したが, VMA 使用量の増加に伴い, ブリ

ーディング速度が低下するとともに, ブリーディング速度のピークが 240 分程度まで遅延した。以上により, VMA 使用によるブリーディン

グ抑制のメカニズムとして、下記の①～③のステップが推定される。

- ① 比重差による材料分離から水みちがで、ブリーディング速度が大きくなる。VMA 混入なしでは下部から連続して水が供給され、早い時期にブリーディング速度は大きくなる。一方、VMA 混入ありでは VMA による水分拘束能力による保水性からブリーディング速度が小さくなる。ブリーディング速度の最大値が現れる時間およびその値から VMA の有効性が判断できる。
- ② 材料分離による水の供給が少なくなり、ブリーディング速度が低下する。VMA 混入ありは明瞭な水みちが生成せず細かな毛細管のみとなるため、ブリーディング速度のピークが遅くなり、かつ大きな値とはならない。
- ③ VMA 混入あり・なしともにブリーディング速度が減少する。

6. 結論

本研究では低粉体量高流動コンクリートでノンブリーディングを目的として、高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプと VMA を併用する配合検討を行った。また、ブリーディングのメカニズムの検証を目的として、ブリーディング量とその速度について検討した。本検討の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 1) いずれのケースも高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプを使用することでブリーディング量は $0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ (0.2%) 以下に抑制が可能であった。
- 2) 少量の VMA を併用することで、粉体量 411 kg/m^3 , SP2 ではノンブリーディングを可能とする配合が見いだせた。また、粉体量 348 kg/m^3 , SP2 では 0.5% ($0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$) までのブリーディング率の低減が可能であった。
- 3) VMA を使用したケースでは、その保水性のため初期のブリーディング速度が小さく、そのピークとなる時間も遅れた。これによりブ

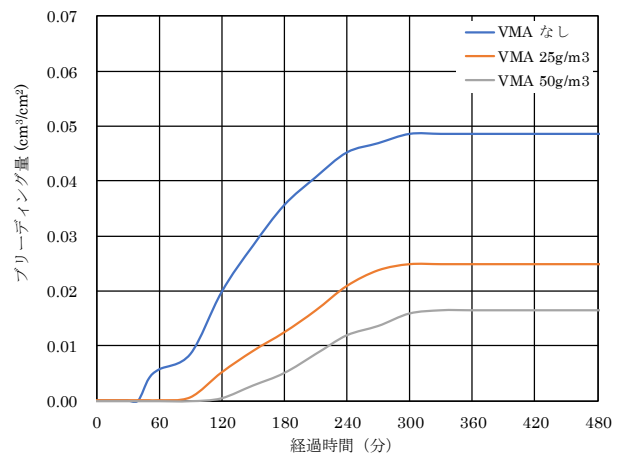


図-7 経過時間とブリーディング量の関係
(粉体量 348 kg/m^3 ・VMA あり)

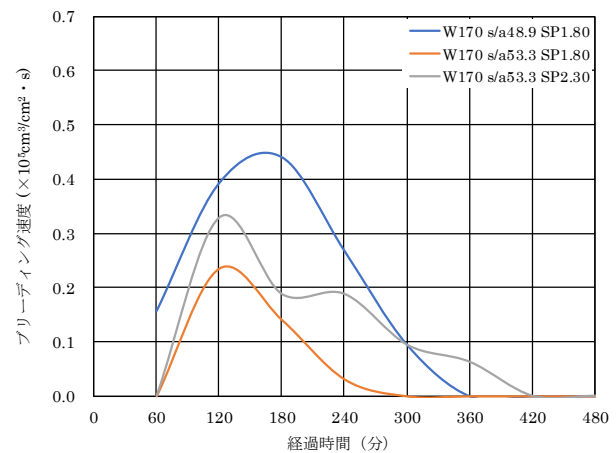


図-8 経過時間とブリーディング速度の関係
(VMA なし)

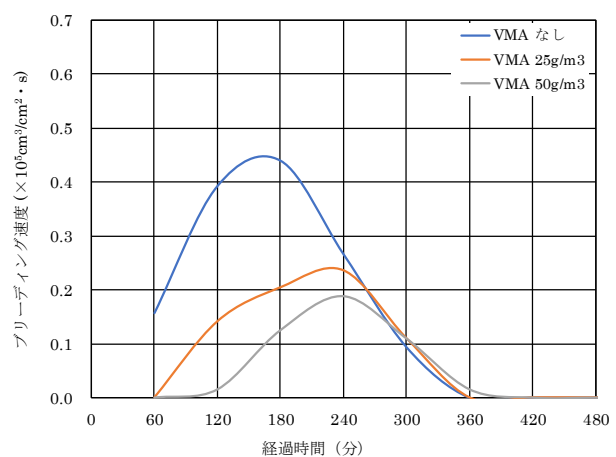


図-9 経過時間とブリーディング速度の関係
(VMA 添加量の影響)

リーディング量が少なくなったと考えられる。

以上より、高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプを用いた高流動コンクリートでは、その用途と目標性能に応じた混和剤種類の選定が重要であることが示された。また、ブリーディングのメカニズムは、微分値であるブリーディング速度を検討することで検証が可能であると考えられた。

参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事部 設備部：土木工事標準仕様書，2016.9
- 2) 福岡瑛莉奈ら：ノンブリーディングに向けた低粉体量高流動コンクリートの配合検討，土木学会年次講演会（関東）V-301，2021.9
- 3) コンクリートのブリーディング制御に関するシンポジウム，日本コンクリート工学会，2016.3
- 4) 井田浩二ら：低分子量セルロースエーテルのコンクリートへの適用性に関する基礎的研究，その8 ブリーディングに及ぼすセルロースの影響，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）No.1010，pp.19~20，2019.9
- 5) 岩城圭介ら：低粉体量高流動コンクリートのブリーディングに関する基礎的検討，土木学会年次講演会（関東）V-302，2021.9
- 6) 一般社団法人 新都市ハウジング協会：コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説の運用及び計算例等，2015.7