

論文 模擬床部材のブリーディング性状が硬化コンクリートの各種品質に及ぼす影響

檜村 啓^{*1}・大塚 秀三^{*2}・中田 善久^{*3}・十河 茂幸^{*4}

要旨：本研究は、同一の水セメント比でブリーディング量を変化させたコンクリートを対象に、JIS A 1123 に準拠した試験室内、屋外に設置した模擬床部材とその近傍に設置した JIS 容器の 3 つの条件下におけるブリーディングの挙動を把握し、模擬床部材におけるブリーディングと硬化コンクリートの品質の関係を明らかにすることを目的とした。その結果、ブリーディング量は、模擬床部材、その近傍の JIS 容器、試験室内の順に大きくなり、JIS A 1123 の試験結果と実構造物のブリーディング性状が異なる可能性を示した。また、模擬床部材に生じたブリーディングと圧縮強度、引っかけ傷幅および透水量との相関性が高いことを明らかにした。

キーワード：模擬床部材、ブリーディング、沈降量、圧縮強度、引っかけ傷幅、透水量

1. はじめに

コンクリートのブリーディングは、鉄筋コンクリート構造物の表層部分¹⁾や鉄筋とコンクリートの付着²⁾などの各種品質に影響を及ぼすことがある。コンクリートのブリーディング試験は、JIS A 1123「コンクリートのブリーディング試験方法」に準拠して実施することが一般的である。JIS A 1123 では、試験容器(内径φ250mm×内高285mmの金属製の円筒状、以下、JIS 容器とする)、コンクリート温度(20±2℃)および試験中の室温(20±3℃)などが規定されており、JIS A 1123 に従って試験する場合にはこれらの一定の条件下において試験を実施することが求められる。

一方で、実際の構造物では、同一の構造物であっても部材の種類や形状、気象環境および立地条件などによってブリーディングの挙動が異なること^{3), 4)}がある。これは、JIS A 1123 の試験結果と構造体コンクリートのブリーディングの挙動が一致しない場合のあることを示唆するものといえ、JIS A 1123 の試験結果から推定される構造体コンクリートの品質に乖離が生じる可能性がある。しかしながら、JIS A 1123 の試験結果と構造体コンクリートに生じるブリーディングの差異に加え、構造体コンクリートそのものに生じたブリーディングと硬化コンクリートの品質の関係について言及した例は筆者等の把握する範囲では見当たらず不明な点が残る。

そこで本研究は、同一の水セメント比でブリーディング量を変化させたコンクリートを対象に、JIS A 1123 に準拠した試験室内、屋外に設置した模擬床部材とその近傍に設置した JIS 容器の 3 つの条件下におけるブリーディングの挙動を把握するとともに、模擬床部材から直接

採取したブリーディングとコア供試体による硬化コンクリートの各種品質の関係を実験的に明らかにすることを目的とした。

ここでは、前述の 3 つの条件下におけるブリーディングとこれに伴う沈降量の挙動に加え、模擬床部材から採取したブリーディングとコア供試体における引っかけ傷幅、圧縮強度および透水性との関係について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1 に示す。実験の要因は、コンクリートのブリーディング量、ブリーディング試験の実施場所および対象とした。コンクリートは、ブリーディング量の異なる 4 配(調)合とした。ブリーディング試験の実施場所は、JIS A 1123 に準拠した試験室内(室温 20±3℃)および屋外(外気温 17.0~24.7℃)の 2 水準とした。ブリーディング試験の対象は、試験室内では JIS 容器(以下、JIS 容器(試験室)とする)、屋外では模擬床部材およびその近傍に設置した JIS 容器(以下、JIS 容器(屋外)とする)の 3 水準とした。

2.2 コンクリートの使用材料および配(調)合

コンクリートの使用材料を表-2、コンクリートの配

表-1 実験の要因と水準

要因	水準	
コンクリートのブリーディング量	ブリーディング量を変化させた 4 配(調)合	
ブリーディング試験の実施場所および対象	試験室 (温度 20±3℃)	JIS 容器
	屋外 (外気温 17.0~24.7℃)	JIS 容器 模擬床部材

*1 ものつくり大学大学院 ものつくり学研究科 ものつくり学専攻 (学生会員)

*2 ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 准教授 博士 (工学) (正会員)

*3 日本大学 理工学部 建築学科 教授 博士 (工学) (正会員)

*4 広島工業大学 工学部 都市デザイン工学科 教授 工学博士 (正会員)

表-2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性質
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3,290 cm ² /g
水	上水道水	—
細骨材	栃木県栃木市尻内町産 陸砂	表乾密度：2.61g/cm ³
粗骨材	栃木県佐野市会沢町産 石灰岩碎石2005	表乾密度：2.70g/cm ³
化学混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸系

表-3 コンクリートの配(調)合およびフレッシュコンクリートの性状

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (C×%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	CT*1 (°C)	OT*2 (°C)
		W	C	S	G					
58.5	46.5	161	276	843	1021	1.2	5.6	9.0	22.7	18.5
	46.6	167	286	848	1004		4.5	11.0	24.2	24.7
	49.4	181	310	872	923		5.3	18.0	22.1	17.0
	51.1	190	325	882	875		4.4	21.0	19.5	17.0

*1：コンクリート温度 *2：外気温

表-4 試験項目および方法

試験項目	試験方法・規格	試験対象			
		JIS 容器 (試験室)	JIS 容器 (屋外)	模擬床部材	標準養生供試体
ブリーディング試験	JIS A 1123:2012	○			
	JIS A 1123:2012 に準じた方法		○	○	
沈降量試験	変位計を用いた		○	○	
圧縮強度試験	JIS A 1108:2006			○	○
引っかき傷幅試験	日本建築工学会式 引っかき試験器を用いた			○	
透水試験	JIS A 6909:2003			○	

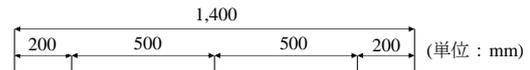
表-5 ブリーディング試験の概要

試験の場所	試験の対象	容器または模擬床部材の寸法(mm)	試料の高さ(mm)	試験場所の温度(°C)	ブリーディング水の採取頻度
試験室	JIS 容器 (試験室)	φ250×H285mm	255	室温：20±3	最初の60分間：10分ごと
屋外	模擬床部材	W1,000×L1,000×H205	205	外気温：17.0~24.7	以降ブリーディング水が認められなくなるまで：30分ごと
	JIS 容器 (屋外)	φ250×H285mm	255	外気温：17.0~24.7 模擬床部材の近傍に設置	

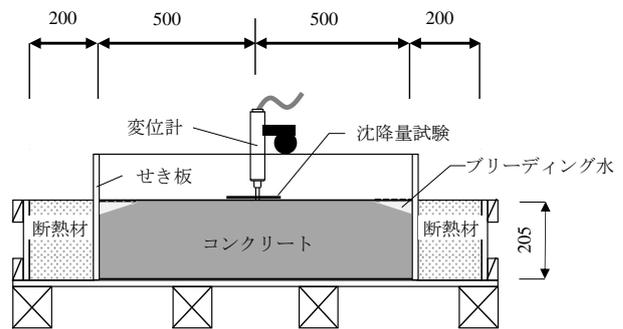
(調)合およびフレッシュコンクリートの性状を表-3に示す。コンクリートの使用材料は、セメントに普通ポルトランドセメント、細骨材に陸砂、粗骨材に砕石 2005、化学混和剤に AE 減水剤とした。コンクリートの配(調)合は、水セメント比を一定として単位水量および細骨材率を変化させた4水準とし、それぞれ空気量4.5%およびスランプ8cm、12cm、18cmおよび21cmを目標とした。以降、それぞれのコンクリートをスランプで呼称する。

2.3 模擬床部材の概要

模擬床部材の概要を図-1に示す。模擬床部材の寸法は、W1,000×L1,000×H205mmとした。模擬床部材へのコンクリートの打込みは、1層打ちとし、棒状パイプを用いて1箇所につき5秒、計5箇所において締め固めた。模擬床部材は、ブリーディング水が逸散するのを防ぐため、外周に高さ400mmの塗装されたコンクリート型枠用合板のせき板を設置し、せき板の接合部にシリコン系シーリング材を用いて止水した。



平面図



断面図

図-1 模擬床部材の概要

コンクリート表面の均しは、打込み直後に金属製のこてを用いて1回行うものとし、ブリーディング水の上昇を阻害しないように概ね平滑となる程度とした。また、ブリーディング水の採取を容易に行うため、外周に向かってわずかに傾斜を施した。

2.4 試験項目および方法

試験項目および方法を表-4に示す。同表には、試験項目ごとにそれぞれの試験対象を付記した。

(1) ブリーディング試験

ブリーディング試験は、同一のコンクリートを用いて表-5に示す3つの条件下において試験を行った。JIS容器(試験室)は、JIS A 1123に準拠して試験した。模擬床部材におけるブリーディング水の採取は、部材の水平を維持しながらコンクリート表面よりスポイトを用いて直接行った。また、ブリーディング水の採取時以外は、覆いをかぶせた。JIS容器(屋外)は、模擬床部材の近傍に設置した。なお、模擬床部材と同様に試験時以外には蓋をするとともに、JIS容器に直射日光が照射されないようにした。ブリーディング水の採取頻度は、いずれの条件とも同一の頻度とした。さらに、JIS容器(試験室)およびJIS容器(屋外)におけるブリーディング試験は2回行い、その平均を試験値とし、模擬床部材では1回とした。

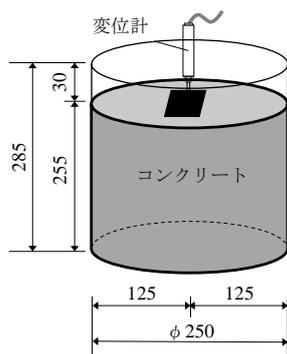


図-2 JIS容器(屋外)における沈降量試験の概要

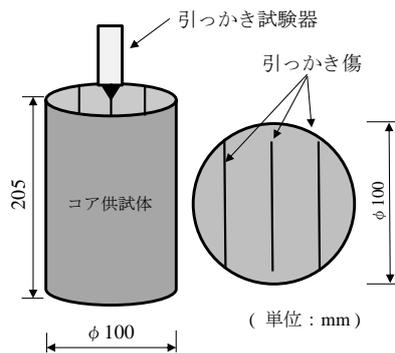


図-3 引っかかり傷幅試験の概要

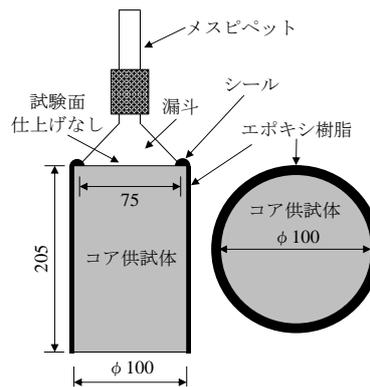


図-4 透水試験の概要

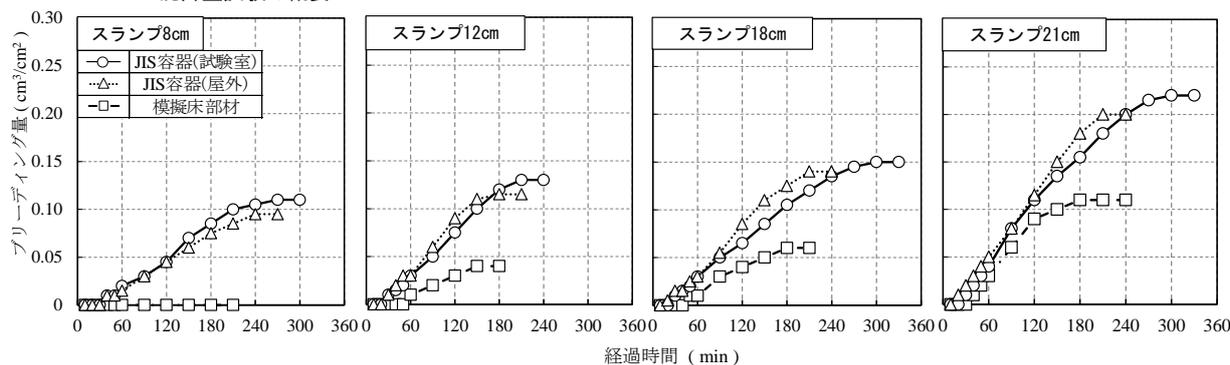


図-5 経過時間とブリーディング量の関係

(2) 沈降量試験

沈降量試験の対象は、模擬床部材およびJIS容器(屋外)におけるコンクリート表面とした。沈降量試験は、模擬床部材については図-1、JIS容器(屋外)については図-2にそれぞれ示す通り、コンクリート表面の中央部に設置した変位計を用いて行った。また、沈降量の測定は、試料を均してから30分間隔で360分までとした。

(3) 引っかかり傷幅試験

引っかかり傷幅試験は、日本塗布床工業会認定・日本建築仕上学会式の引っかかり試験器を用いて、模擬床部材の図-1に示す位置より採取した $\phi 100 \times 205\text{mm}$ のコア供試体の上面および底面を対象に行った。試験材齢は材齢28日として、図-3に示すように1本の供試体につき3箇所の引っかかり傷幅の平均を試験値とした。

(4) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、材齢28日に、引っかかり傷幅試験に用いたコア供試体に加え、標準養生供試体のそれぞれ3本を対象に行い、3本の平均を試験値とした。

(5) 透水試験

透水試験の概要を図-4に示す。透水試験は、図-1に示す箇所より採取した $\phi 100 \times 205\text{mm}$ のコア供試体における上面および底面それぞれ3本ずつを対象とした。なお、採取したコア供試体は、室温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ および相対湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温恒湿室に7日間気中養生した後、エ

ポキシ樹脂を用いて供試体の上面および底面以外を塗布し、上面および底面における透水量を7日間測定した。

3. 試験対象の相違によるブリーディングおよび沈降量の挙動に関する実験結果および考察

3.1 ブリーディング

(1) 経過時間とブリーディング量の関係

経過時間とブリーディング量の関係を図-5に示す。ブリーディング量は、スランブに比例して大きくなる傾向を示した。これは、スランブに比例して単位水量が増大することに加え、 s/a が大きくなることによって小野ら⁵⁾が指摘したように粗骨材量が減じられ、粗骨材の下部に停滞する余剰水が相対的に少なくなったためと考えられる。

一方、ブリーディング量は、いずれのスランブともJIS容器(試験室)およびJIS容器(屋外)で概ね同等であったのに対して、模擬床部材では顕著に小さくなった。これは、模擬床部材では、他の試験対象に比べコンクリートの表面積が大きく、試験時に外気の影響を受けやすかったことに加え、試料の高さの違いが影響したと推察される。すなわち、試料の量より試料の高さの方がブリーディング量へ影響することを示唆するものと考えられる。

(2) 単位水量とブリーディング量の関係

単位水量とブリーディング量の関係を図-6に示す。

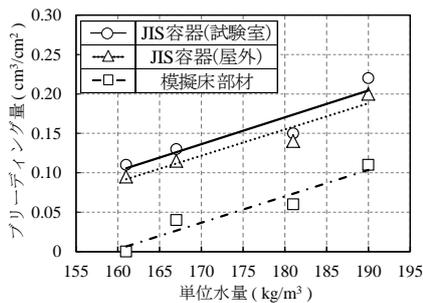


図-6 単位水量とブリーディング量の関係

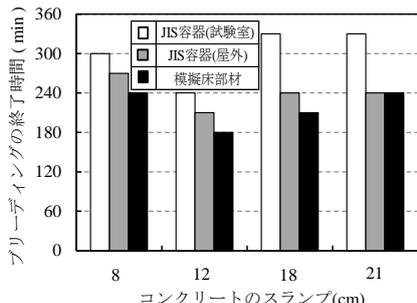


図-7 ブリーディングの終了時間

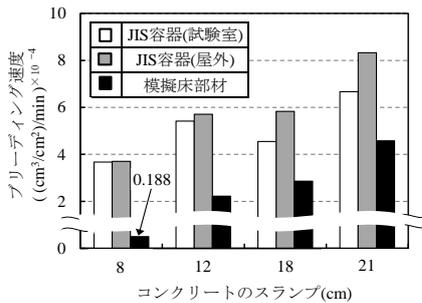


図-8 ブリーディング速度

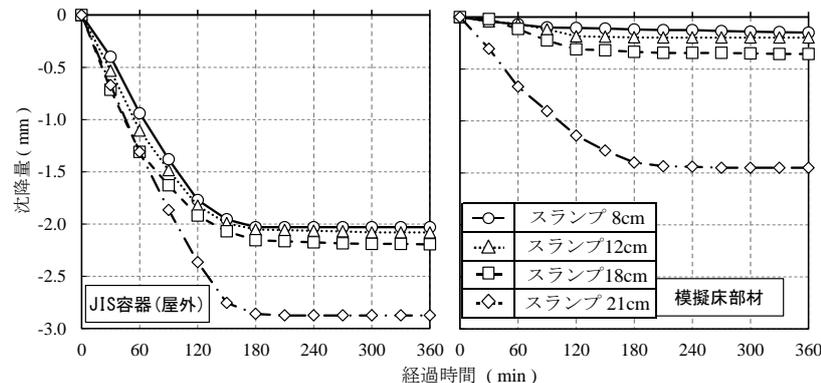


図-9 経過時間と沈降量の関係

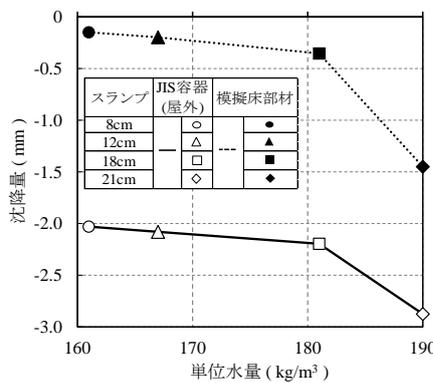


図-10 単位水量と沈降量の関係

ブリーディング量は、いずれの試験対象とも単位水量に比例して大きくなる傾向を示した。これは、阿部ら⁶⁾と同様の傾向であった。一方、単位水量とブリーディング量の関係を一次回帰した直線の傾きは、試験対象の違いによる差異はほとんど認められなかった。このことから、試料の高さが単位水量の増分に対するブリーディング量の増加傾向へ及ぼす影響は少ないものと推察される。

(3) ブリーディングの終了時間

コンクリートごとのブリーディングの終了時間を図-7に示す。ブリーディングの終了時間は、スランブに関わらず JIS 容器(試験室)、JIS 容器(屋外)および模擬床部材の順に概ね短くなる傾向を示し、スランブが 8cm および 12cm では 30 分の差に留まる一方で、スランブが 18cm および 21cm では JIS 容器(試験室)が 90 分遅くなった。一方で、前述したようにブリーディング量の差異は JIS 容器(試験室)が JIS 容器(屋外)を若干上回る程度であるにも関わらず、ブリーディングの終了時間は JIS 容器(試験室)の方が長くなった。

以上から、ブリーディング量の多い配(調)合を JIS 容器により試験した場合には、ブリーディング量よりも終了時間において、試験の環境条件が及ぼす影響がより大きくなる可能性が示唆される。

(4) ブリーディング速度

コンクリートごとのブリーディング速度を図-8に示す。ここで、ブリーディング速度は、ブリーディング量を終了時間までの試験時間で除して求めた。ブリーディング速度は、試験対象ごとに見ればブリーディング量に

比例して概ね早くなる傾向を示した。一方で、試験対象同士を比較すると、JIS 容器(屋外)、JIS(試験室)および模擬床部材の順に速くなる傾向を示しており、必ずしもブリーディング量の大小と一致しなかった。これは、JIS 容器(試験室)および JIS 容器(屋外)では、ブリーディング量がほぼ同等にも関わらず、終了時間の差異が影響したためである。

3.2 沈降量

(1) 経過時間と沈降量の関係

経過時間と沈降量を図-9に示す。沈降量は、JIS 容器(屋外)が模擬床部材より顕著に大きくなる傾向を示した。これは、大倉ら⁷⁾と同様に、試料の高さが影響したと推察される。また、屋外および模擬床部材の沈降量は、概ね 180~240 分ほどで収束する傾向にあり、図-7で示したブリーディングの終了時間と同様の傾向であった。

(2) 単位水量と沈降量の関係

単位水量と沈降量を図-10に示す。沈降量は、単位水量に比例して大きくなる傾向を示し、模擬床部材より JIS 容器(屋外)の方が大きかった。そのうち、いずれの試験対象とも、単位水量が 181kg/m³以下では単位水量の増加に伴う沈降量の増加が小さいが、190kg/m³では顕著に沈降量が大きくなった。これは、前述したように単位水量および s/a が大きいことに起因したと推察する。また、単位水量が 181kg/m³から 190kg/m³に掛けての模擬床部材の沈降量の増加は、現場の JIS 容器より大きくなる傾向を示した。

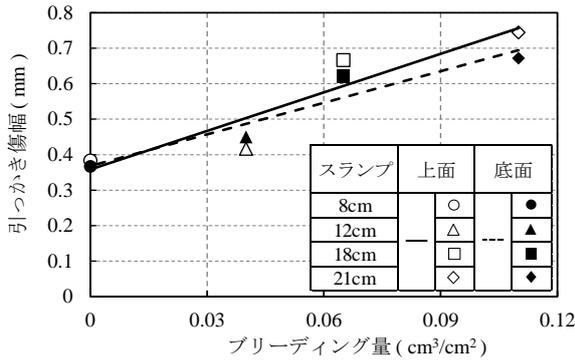


図-11 ブリーディング量と引っかけ傷幅の関係

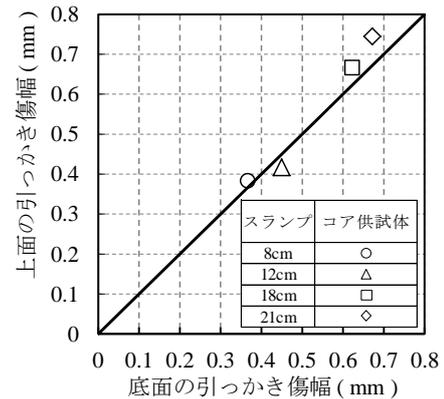


図-12 底面および上面と引っかけ傷幅の関係

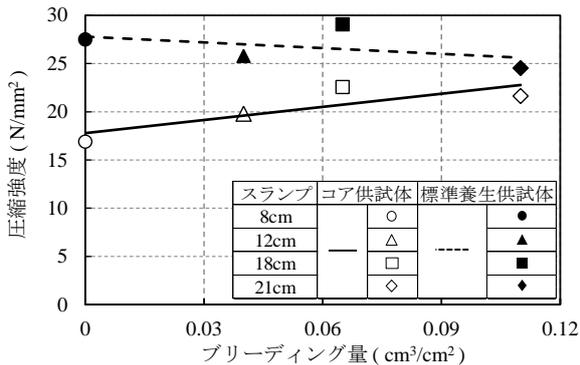


図-13 ブリーディング量と圧縮強度の関係

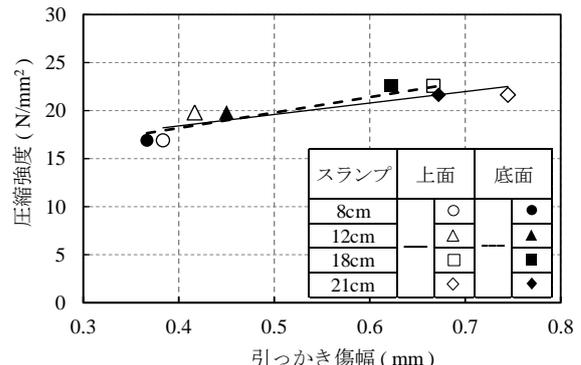


図-14 引っかけ傷幅と圧縮強度の関係

4. 模擬床部材におけるブリーディングと硬化コンクリートの品質の関係に関する実験結果および考察

4.1 引っかけ傷幅

ブリーディング量と引っかけ傷幅の関係を図-11、底面および上面における引っかけ傷幅の関係を図-12に示す。コア供試体の引っかけ傷幅は、ブリーディング量に比例して大きくなり、ブリーディング量が大きいほど上面が底面より大きくなる傾向を示した。これは、ブリーディング量に比例して上面に堆積するレイタンスによる多孔質な脆弱層が増大するためと推察される。

4.2 圧縮強度

(1) ブリーディング量と圧縮強度の関係

ブリーディング量と圧縮強度の関係を図-13に示す。圧縮強度は、水セメント比が一定にも関わらず、ブリーディング量に比例して大きくなる傾向を示す一方で、標準養生供試体においては概ね同等であった。これは、ブリーディングにより模擬床部材の内部の余剰水がブリーディングとともに排出され、見掛けの水セメント比が小さくなったためと推察される。

(2) 引っかけ傷幅と圧縮強度の関係

引っかけ傷幅と圧縮強度の関係を図-14に示す。引っかけ傷幅と圧縮強度の関係は、湯浅ら⁸⁾の示す一般的な傾向とは相反し、引っかけ傷幅に比例して圧縮強度が大きくなる傾向を示した。これは、ブリーディング量が多くなるにつれて表層に形成される脆弱層が増大し、表面

強度は小さくなるものの、圧縮強度との相関性はほとんどないことを示唆するものと考えられる。

4.3 透水量

(1) ブリーディング量と透水量の関係

ブリーディング量と透水量の関係を図-15に示す。透水量は、ブリーディング量に反比例して小さくなる傾向を示した。また、底面と比較して上面では、透水量が顕著に大きくなる傾向を示した。以上から、引っかけ傷幅と圧縮強度の関係と同様に、ブリーディングに伴うレイタンスによって表層に形成された脆弱層より、ブリーディングによる見掛けの水セメント比が小さくなることの方がより顕著に影響したと考えられる。一方で、底面の透水量は、ブリーディング量の大きさに関わらず概ね同等な傾向を示し、ブリーディングによる影響はほとんど生じないことが分かる。

(2) 引っかけ傷幅と透水量の関係

引っかけ傷幅と透水量の関係を図-16に示す。透水量は、引っかけ傷幅が大きくなるほど小さくなる傾向を示し、引っかけ傷幅と圧縮強度の関係と相反する傾向となった。これは、前述のようにブリーディングによって見掛けの水セメント比が小さくなったことに起因すると考えられる。また、上面に比較した底面の透水量は、引っかけ傷幅の変化に対して緩慢に変化する傾向にあり、引っかけ傷幅に関わらず概ね同等になる傾向を示し、ブリーディングによる影響はほとんど生じないことが分かる。

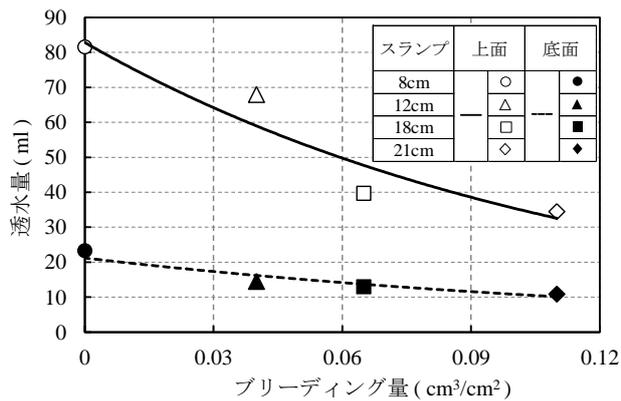


図-15 ブリーディング量と透水量の関係

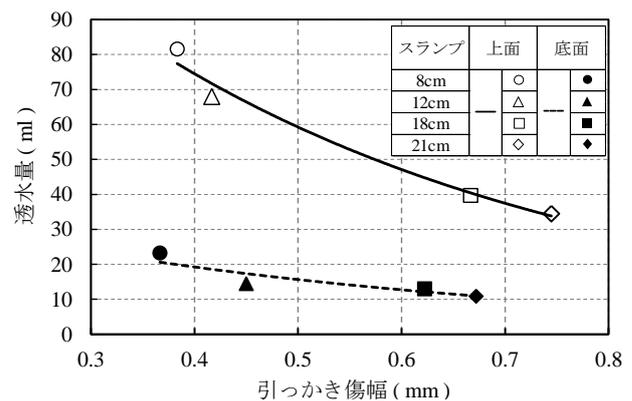


図-16 引っかけ傷幅と透水量の関係

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 試験対象の相違におけるブリーディング量は、JIS 容器(試験室)および JIS 容器(屋外)で同等なものに対して、模擬床部材では顕著に小さくなったが、いずれの試験対象とも単位水量に比例して大きくなる傾向を示した。
- (2) ブリーディング速度は、ブリーディング量の大小と一致せず、JIS 容器(屋外)、JIS 容器(試験室)および模擬床部材の順に速くなった。
- (3) 試験対象の相違による沈降量は、スランブに関わらず JIS 容器(屋外)が模擬床部材より顕著に大きくなった。
- (4) 引っかけ傷幅は、ブリーディング量に比例して大きくなり、ブリーディング量が大きくなるほど上面が底面より大きくなった。
- (5) 圧縮強度は、ブリーディング量に比例して大きくなるが、一般的な傾向とは相反し、引っかけ傷幅に比例して大きくなった。
- (6) 透水量は、ブリーディング量に反比例して小さくなった。また、透水量は、引っかけ傷幅が大きくなるほど小さくなった。

本検討を踏まえ、今後は、柱および梁などの部材におけるブリーディング性状と硬化コンクリートの関係についてさらに検討を行う予定である。

謝辞

本研究に際して、日本コンクリート工学会「構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会」(委員長：十河茂幸・広島工業大学 教授)の委員各位より有益なご助言を頂いた。また、実験に際して、ものつくり大学大塚研究室および日本大学中田研究室の学

生より多大な助力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 例えば、早川健司，水上翔太，加藤佳孝：表面透気試験による構造体かぶりコンクリートの品質評価に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2，Vol.68，No.4，pp.385-398，2012
- 2) 例えば、青木秀行，村上祐貴，木下英吉：水セメント比の違いによる鉄筋近傍の透水性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.519-524，2002
- 3) 例えば、本田悟，小山智幸，湯浅昇，野中英：暑中環境で施工される構造体コンクリートのコールドジョイントに関する研究 その1 研究の概要及びコンクリートのフレッシュ・強度性状，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.629-630，2013.8
- 4) 例えば、権代由範，月永洋一，庄谷征美，阿波稔：コンクリート部材の断面厚さの相違が表層部脆弱層の形成に及ぼす影響，セメント・コンクリート論文集，No. 64，pp.391-397，2011.2
- 5) 小野博宣，佐々弥人ほか：コンクリートのブリーディング測定に関する一考察，日本建築学会東海支部研究報告集，第 37 号，pp.69-72，1999.2
- 6) 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 A-1 分冊，pp.263-264，2013.8
- 7) 大倉真人，菅谷泰之ほか：CFT 柱の構造体コンクリート強度確認実験 その2フレッシュコンクリートの試験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.845-846，2002.8
- 8) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇：引っかけ傷幅によるコンクリートの表面強度測定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.677-678，1999.7