論文　小型容器によるコンクリートのブリーディング試験に及ぼす試料の量および環境温度の影響に関する研究

奥山　夏樹[*1]・大塚　秀三[*2]・中田　善久[*3]・十河　茂幸[*4]

要旨：本研究では，小型容器によるコンクリートのブリーディング試験方法の有用性を検証することを目的とし，ブリーディングの挙動が異なる 3 配(調)合のコンクリートにおいて，容器の材質，内径および試料の高さに加え，試験中の気温および試料の温度がブリーディング量およびブリーディング率に及ぼす影響について検討を行った。その結果，20±3℃において容器の内径が 125 および 150mm，試料の高さが 255mm の容器であれば，JIS A 1123 において規定されている容器を用いて得られる試験値とほぼ同等の値を示し，JIS A 1123 による試験結果との近似性の観点からその有用性が示唆された。

キーワード：ブリーディング，JIS A 1123，容器の材質，容器の内径，試料の高さ，試験中の気温，試料の温度

1. はじめに

コンクリートのブリーディング(以下，コンクリート上面に浸み出た水のことを指す)は，JIS A 1123 : 2012「コンクリートのブリーディング試験方法」(以下，JIS A 1123 とする)に準拠して測定することが一般的である。JIS A 1123 では，内径 250mm および内高 285mm の金属製の円筒状の容器(以下，JIS 容器とする)を用いること，試験中の気温を 20±3℃および試料の温度を 20±2℃とすることと規定されている。一方で，日本コンクリート工学会・構造物の耐久性向上のための研究委員会によれば，JIS A 1123 は，試験場所および試料の温度制御が困難であること，容器と試料を合わせた質量が過重であること，試験が長時間に及ぶこと，試験後において JIS 容器からの試料の取出しが困難であることなど，多くの労力を伴う試験方法であることが報告されている[1)]。

これらを鑑みて同研究委員会の提案によって，小型容器を用いて合理的にコンクリートのブリーディングを評価する方法として，「コンクリートのブリーディング簡易試験方法(試案)」(以下，小型容器法とする)が提案されるに至っている。小型容器法は，試験に用いる容器を JIS 容器より小型の内径 125mm または 150mm としていること，容器の材質をポルトランドセメントおよびその他の水硬性セメントと化学的な反応を示さず試料を詰めた際に変形しない剛性があれば金属以外の材質であってもよいこと，実際の現場で実施する試験を想定して試験中の気温および試料の温度の制限を設けないこととしている。また，小型容器法では，同一の気温および試料の温度であれば JIS A 1123 に近似した試験結果が得られるとしている。しかし，小型容器法は，提案されて間もないこともあって試験データの蓄積が十分とは言い難く，試験結果に及ぼすと考えられる各種の要因の影響についての知見が乏しい状況にある。

そこで本研究では，小型容器法に影響すると考えられる要因のうち，試料の量および環境温度に着目して実験的に検討し，その有用性を検証することを目的とした。ここでは，既報[2)~7)]に引き続き，ブリーディングの挙動が異なる 3 配(調)合のコンクリートにおいて，容器の材質，内径および試料の高さに加え，試験中の気温および試料の温度の相違がブリーディング試験の結果に及ぼす影響について検討を行った結果について報告する。

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**，実験の組合せを**表－2**，試験中の気温と試料の温度を**表－3** に示す。実験の要因は，水セメント比，試料の高さ，容器の内径，容器の材質，試験中の気温および試料の温度とした。水セメント比は，45，55 および 65%の 3 水準とした。容器の内径および試料の高さの組合せは，内径 100mm で 102.0，135.0，170.0

表－1　実験の要因と水準

要因	水準			
水セメント比(%)	45，55，65			
試料の高さ(mm)	102.0, 135.0, 170.0, 255.0	127.5, 169.0, 212.5, 255.0	153.0, 202.5, 255.0	255
容器の内径(mm)	φ100	φ125	φ150	φ250
容器の材質	ぶりき，鋼，塩化ビニル			
試験中の気温および試料の温度(℃)	10，20，30			

*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　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 近未来コンクリート研究会　代表　工学博士　(正会員)

および 255.0mm，内径 125mm で 127.5，169.0，212.5 および 255.0mm, 内径 150mm で 153.0, 202.5 および 255.0mm, 内径 250mm で 255.0mm とした。容器の材質は, ぶりき, 鋼および塩化ビニル(以下, 塩ビとする)の 3 水準とした。試験中の気温および試料の温度は，10，20 および 30℃の 3 水準とした。なお，試料の温度は，コンクリートの練上り温度とした。以降，試験中の気温および試料の温度は，実測値と異なるが，目標とする温度ごとに便宜的に 10，20 および 30℃と呼称する。また，比較用としていずれの水準とも JIS A 1123 による試験も行った。

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－4**，コンクリートの配(調)合を**表－5** 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 減水剤を用いた。コンクリートの配(調)合は, 水セメント比を 45, 55 および 65% として，それぞれ単位粗骨材かさ容積を 0.62，0.60 および 0.58m^3/m^3 と変化させた 3 配(調)合とした。

2.3 試験方法

容器の傾斜方法を**図－1**，ブリーディングの採取の時間間隔を**図－2** に示す。ブリーディング試験は, JIS A 1123 に準ずる方法と，小型容器法により行った。小型容器法は，以下の方法によって実施した。打込み方法は，JIS A 1132 の 4.3.2(突き棒を用いる場合)に準じて，内径ごとに突き数および層数を定めた。突き数は，内径 100mm で 8 回，内径 125mm で 13 回，内径 150mm で 18 回とした。層数は，試料の高さ 255mm で 3 層，その他でいずれも 2 層とした。容器の傾斜角度は, JIS 容器と同様の角度となるように容器の底部片側にブロックを挟んで調整した。ブリーディングの採取の時間間隔は, 試験開始から 60 分間を 10 分間隔，60 分から 180 分までを 30 分間隔とした。また，180 分以降は，試験の終了時間を正確に把握するため，再度 10 分間隔とした。なお，ブリーディング量およびブリーディング率は，容器 2 個の平均とした。

2.4 試験に用いる容器の概要

試験に用いる容器の概要を**表－7** に示す。容器の材質は，内径が 250mm の容器では鋼および塩ビの 2 種類，内径が 100，125 および 150mm の容器では，ぶりき，塩ビおよび鋼の 3 種類とした。以降では，容器の内径および試料の高さを「φ○○-h○○」として表記する。

3. 結果および考察

表－2　実験の組合せ

検討項目		実験の概要				
		容器の水準			水セメント比 (%)	試験中の気温および試料の温度(℃)
		材質	試料の高さ(mm)	内径(mm)		
3.1 試験に用いる容器の影響	(1) 試料の高さの影響	ぶりき，鋼，塩ビ	102.0，135.0，170.0	φ100	45，55，65	20
			127.5，169.0，212.5	φ125		
			153.0，202.5，255.0	φ150		
	(2) 容器の内径の影響	塩ビ	255.0	φ100，125，150，250	65	20
	(3) 材質の影響	ぶりき，鋼，塩ビ	255.0	φ150	45，55，65	20
3.2 試験中の気温および試料の温度の影響	(1) JIS 容器と同一環境の場合	ぶりき，鋼，塩ビ	102.0，135.0，170.0	φ100	45，55，65	10，20，30
			127.5，169.0，212.5	φ125		
			153.0，202.5，255.0	φ150		
	(2) JIS 容器と異なる環境の場合	ぶりき	255.0	φ150	65	10，20，30

表－3　試験中の気温と試料の温度

水セメント比 (%)	目標とする温度 (℃)	試験中の気温 (℃)	試料の温度 (℃)
45	10	11.1	11.8
55		9.9	11.0
65		8.4	12.6
45	20	18.2	20.4
55		19.0	19.0
65		18.7	20.7
45	30	29.6	30.0
55		30.0	30.8
65		31.0	30.9

表－4　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：3.290cm^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 吸水率　：2.22%
粗骨材	栃木県佐野市会沢町砕石2005	表乾密度：2.70g/cm^3 吸水率　：0.65%
化学混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸系

表－5　コンクリートの配(調)合

W/C (%)	単位粗骨材かさ容積 (m^3/m^3)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)				AE 減水剤 (C×%)	Air (%)	SL (cm)
			W	C	S	G			
45	0.62	42.9	178	396	731	1004	1.2	4.5	15.0
55	0.60	46.9	176	320	829	972		4.7	15.5
65	0.58	49.4	180	277	885	940		3.5	14.5

3.1 試験に用いる容器の影響

(1)試料の高さの影響

試料の高さとブリーディング量およびブリーディング率の関係を**図－3**に示す。ここでは，水セメント比65%のコンクリートおよびぶりき製の容器を用いてJIS容器と比較した。ブリーディング量は，申ら[8]の大型の試験体を用いた実験では，試験体の高さに比例して大きくなる傾向を示しているが，小型の容器を用いた本検討では，試料の高さの増加に伴いわずかに大きくなる程度であった。一方，JIS容器との比較において，容器の内径が100mmでは下回るのに対して，125および150mmでは概ね同等となる傾向を示した。これは，辻ら[9]が示したブリーディングの上昇範囲が打込み面から7～9cm程度であることに従えば，小型容器程度の寸法であれば試料の高さが異なってもブリーディング量が概ね同等となることを示唆する一方で，内径100mmを下回るような試料の量が少なくなると必ずしも同様の傾向とならないことが分かる。

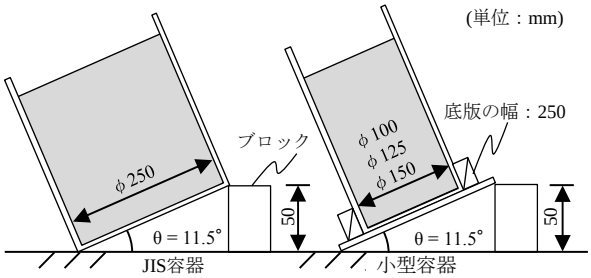
ブリーディング率は，高畑ら[10]の報告と同様に試料の高さが高いほど小さくなる傾向が見られ，φ150-h255では，JIS容器と概ね同等の傾向を示した。ここで，試料の高さとブリーディング率の関係の概念を**図－4**に示す。試料の高さが大きいほどブリーディング率が小さくなったのは，ブリーディング量が等しい場合において試料中の全水量に対する打込み面に上昇した水量の割合が試料の高さに比例して相対的に小さくなるためと考えられる。以上のことから，小型容器法に用いる試料の高さは，容器の径が125mm以上あればJIS容器と同様の255mmに近いほどJIS容器の結果に近似するものといえる。

(2)容器の内径の影響

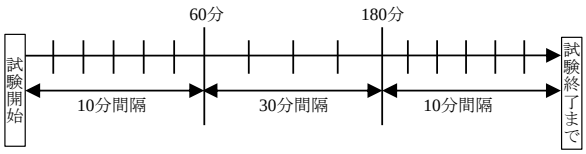
容器の内径とブリーディング量およびブリーディング率の関係を**図－5**に示す。ここでは，水セメント65%のコンクリート，塩ビ製容器および試料の高さを255mmに統一して，容器の内径が100，125，150および250mmの容器を用いて，JIS容器と比較した。ブリーディング量およびブリーディング率は，内径100mmの容器では，顕著に小さくなる。一方で，内径125および150mmの容器では，内径の増加に伴いわずかに大きくなるものの，JIS容器に対して概ね近似する傾向を示した。以上から，小型容器法に用いる容器は，内径125～150mm程度の範囲が適切であるといえる。

(3)容器の材質の影響

容器の材質とブリーディング量およびブリーディング率の関係を**図－6**に示す。ここでは，容器の材質が鋼，塩ビおよびぶりきのφ150-h255の容器を用いてJIS容器と比較した。ここで鋼として扱う容器は，一般的な鋼製型枠である。鋼製型枠は，水密性を確保するため，継ぎ目にシリコーン系シーリング材を用いて止水処理を施した。ブリーディング量およびブリーディング率は，容器の材質に関わらず概ねJIS容器と同等で材質の相違によ



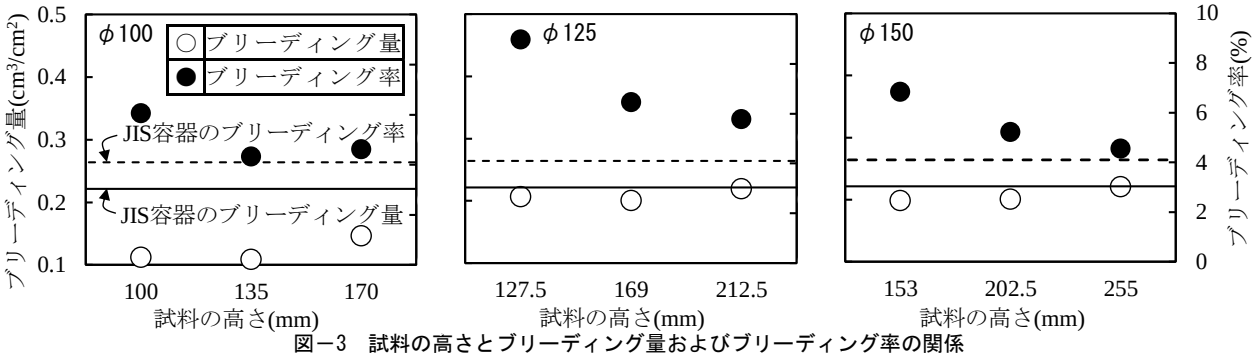
図－1　容器の傾斜方法



図－2　ブリーディングの採取の時間間隔

表－7　試験に用いる容器の概要

容器内径 (mm)	試料の高さ (mm)	容器の外観と材質
φ250	255	
φ150	153，202.5，255	
φ125	127.5，169，212.5，255	
φ100	102，135，170，255	



図－3　試料の高さとブリーディング量およびブリーディング率の関係

る差異は少ない傾向を示した。これは，阿部ら[11]の接触角の異なる材質の容器を用いた検討において，接触角の違いがブリーディングに及ぼす影響は少ないとした知見と同様である。以上から，小型容器法は，試験の実施に影響しない水密性および剛性があれば金属以外の材質の容器とすることが可能であるといえる。

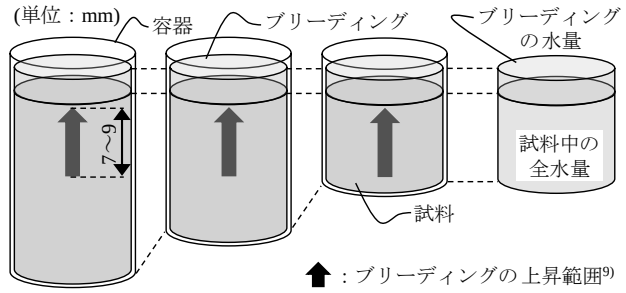
(4) 試験に用いる容器の影響に関する傾向

小型容器法に用いた容器と JIS 容器のブリーディング量およびブリーディング率の関係を**図－7** に示す。ここでは，前述した，試料の高さの影響および容器の材質の影響に関して検討した全ての実験データを容器の内径および試料の高さごとに JIS 容器と比較した。ブリーディング量は，容器の内径 125mm および 150mm において，概ね JIS 容器と同等の傾向を示す一方で，内径 100mm では JIS 容器と乖離する傾向を示した。ブリーディング率は，φ150-h255 において，JIS 容器と同等の傾向を示した。一方，φ125-h212.5 では，概ね JIS 容器に近似するものの，JIS 容器をわずかに上回る傾向を示した。この理由については**図－4** において説明した通りであるが，φ125-h212.5 については，若干試料の高さを高くした方がより，JIS 容器のブリーディング率に近似するものと考えられる。

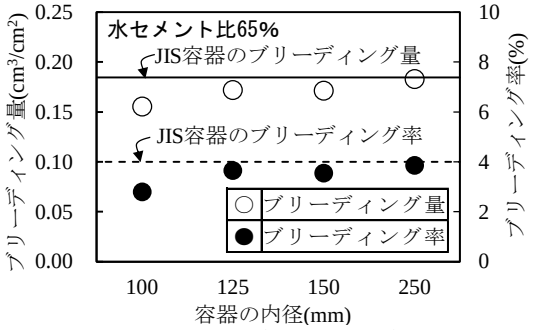
3.2 試験中の気温および試料の温度の影響

(1) 試験中の気温および試料の温度が同一の場合の JIS 容器と小型容器法の関係

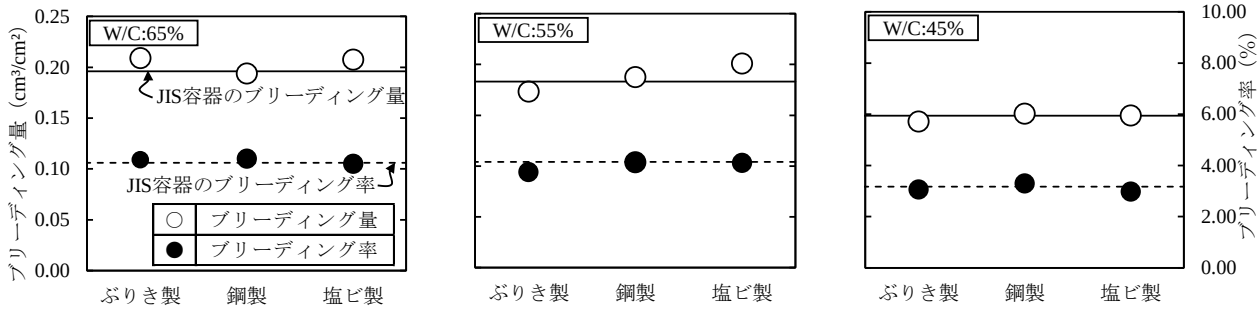
小型容器法に用いた容器と JIS 容器の試験中の気温お



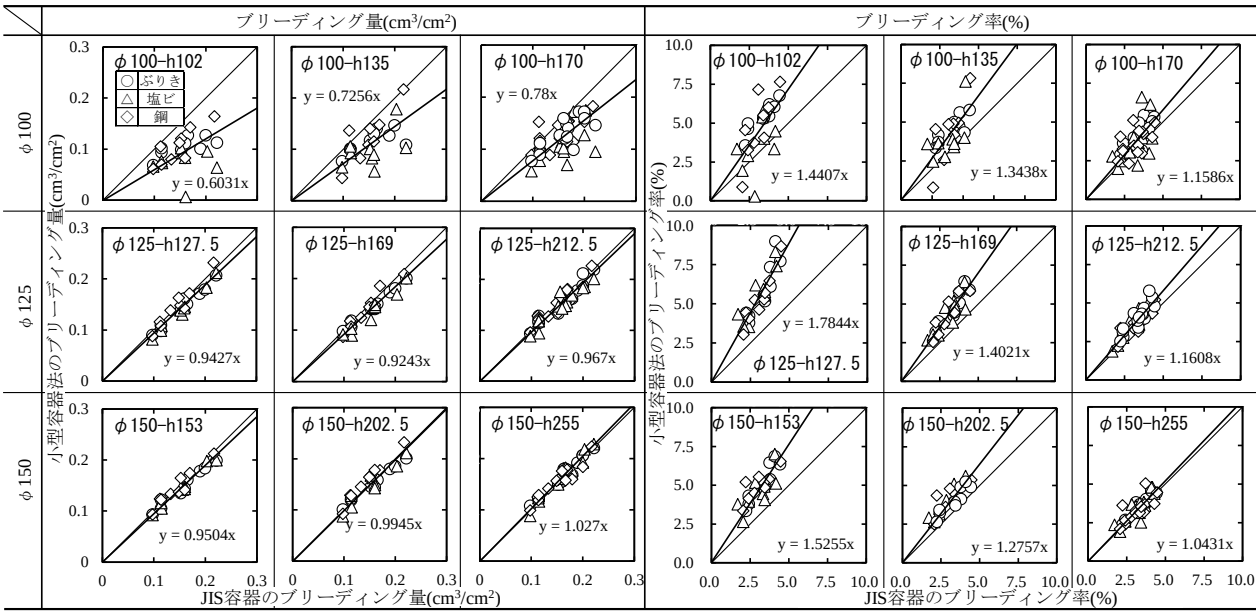
図－4　試料の高さとブリーディング率の関係の概念図



図－5　容器の内径とブリーディング量およびブリーディング率の関係



図－6　容器の材質とブリーディング量およびブリーディング率の関係



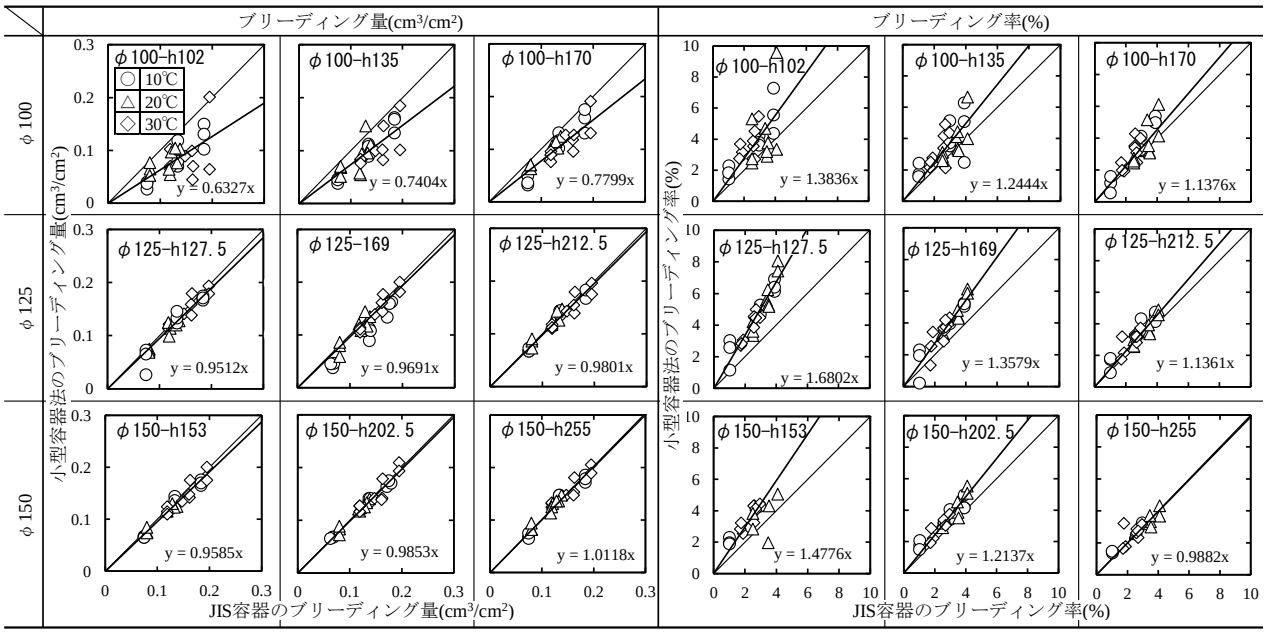
図－7　小型容器法に用いた容器と JIS 容器のブリーディング量およびブリーディング率の関係

よび試料の温度ごとのブリーディング量およびブリーディング率の関係を**図－8** に示す。ここでは，10，20 および 30℃において，小型容器法に用いた容器のブリーディング量およびブリーディング率を同一の試験中の気温および試料の温度における JIS 容器と比較した。また，容器の材質は鋼，塩ビおよびぶりきの 3 種類を用いた。ブリーディング量は，内径 125 および 150mm の容器において試験中の気温および試料の温度に関わらず，JIS 容器と概ね同等となる傾向を示した。

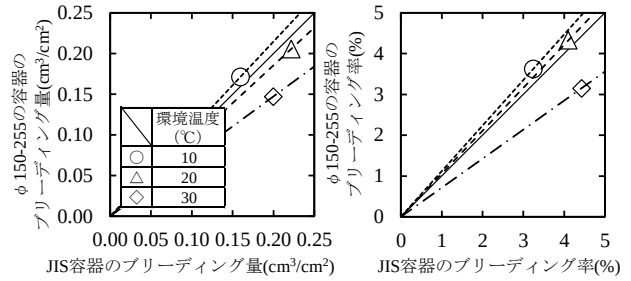
ブリーディング率は，φ150-h255 の容器において試験中の気温および試料の温度に関わらず，JIS 容器と概ね同等となる傾向を示した。以上のことから，試験中の気温および試料の温度が同一であればφ150-h255 の容器は，ブリーディング量およびブリーディング率ともに JIS 容器に対して近似性が高いといえる。

(2) 試験中の気温および試料の温度が異なる場合の JIS 容器と小型容器法の関係

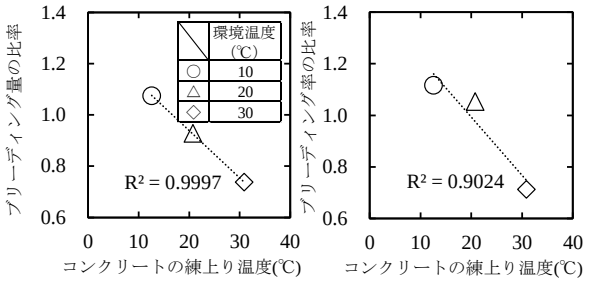
10，20 および 30℃のφ150-h255 の容器と 20℃の JIS 容器のブリーディング量およびブリーディング率の関係を**図－9** に，コンクリートの練上り温度とブリーディング量およびブリーディング率の比率の関係を**図－10** に示す。ここでは，水セメント比 65%のコンクリート，ぶりき製の φ150-h255 の容器を用いて JIS 容器と比較した結果を示す。**図－9** に示す結果は，10，20 および 30℃で配(調)合は同一であるものの粗骨材および細骨材の表面水率の変動が生じることを考慮して，各温度のφ150-h255 の容器と併せて，同一の材料を用いて 20℃に制御した別室で JIS 容器の実験を行ったため 10，20 および 30℃のそれぞれの φ150-h255 の容器に対応する 20℃の JIS 容器の値が異なる。なお，ブリーディング量およびブリーディング率の比率とは，それぞれの試験中の気温および試料の温度ごとのφ150-h255 の容器のブリーディング量およびブリーディング率を 20℃の JIS 容器のブリーディング量およびブリーディング率で除したものである。ブリーディングは，水の動粘性係数に着目するとコンクリート温度が高いほど移動しやすいが [12]，本検討においてはブリーディング量およびブリーディング率ともに試験中の気温および試料の温度が低温であるほど，大きくなる傾向を示した。これは，高畑ら [10]の研究と同様に，より低温になるほど凝結が遅れるためと考えられる。ブリーディング量の比率は，30℃でおよそ 0.7 倍，20℃でおよそ 0.9 倍，10℃でおよそ 1.2 倍であった。ブリーディ



図－8　小型容器法に用いた容器と JIS 容器の温度ごとのブリーディング量およびブリーディング率の関係



図－9　10，20 および 30℃のφ150-h255 の容器と 20℃の JIS 容器のブリーディング量およびブリーディング率の関係



図－10　コンクリートの練上り温度とブリーディング量およびブリーディング率の比率の関係

ング率の比率は，30℃でおよそ 0.7 倍，20℃でおよそ 1.0 倍，10℃でおよそ 1.1 倍であった。

以上より，試験中の気温および試料の温度によってブリーディング量およびブリーディング率は異なる傾向を示すことが分かり，小型容器法を実施する場合には，20℃近傍であることが望ましいと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) ブリーディング量は，試料の高さが高くなるにつれ増加する一方，ブリーディング率は試料の高さが低いほど増加する。

(2) 容器の内径は，試料の高さを 255mm に統一した場合において 125～150mm の範囲であれば，JIS 容器のブリーディング量およびブリーディング率と概ね同等となる。

(3) 容器の材質は，小型容器法の結果に及ぼす影響が小さい。小型容器法では，材質に関わらず試験の実施に影響しない水密性および剛性があれば容器とすることが可能であると考えられる。

(4) 試験中の気温および試料の温度が同一である場合，内径 125mm および 150mm の容器のブリーディング量は，温度に関わらず JIS 容器と概ね同等となる。ブリーディング率は，φ150-h255 であれば，JIS 容器と概ね同等となり，φ125-h212.5 では若干上回る傾向を示した。

(5) ブリーディング量およびブリーディング率は，温度が低いほど大きく，温度が高いほど小さくなる。そのため，小型容器法を実施する場合は 20℃近傍の試験中の気温および試料の温度での実施が望ましい。

以上の検討から，試料の量，容器の材質，試験中の気温および試料の温度が同一である場合，φ150-h255 およびφ125-h212.5 では概ね JIS 容器との近似性をもつ結果が得られ小型容器法の有用性の一端が示唆された。今後，試料の詰め方，採取の時間間隔，コンクリートの使用材料および調合条件など，小型容器法に及ぼす影響についてさらに検討を進めていく予定である。

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・当時・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，株式会社コンステック 研究開発本部 樫村啓氏に多大な助力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1) 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報告書，pp.169-237，2017.6

2) 城代和義，中田善久，大塚秀三，樫村啓，石渡翔太：ブリーディング試験に及ぼす容器の材質および内径の影響，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.1-4，2016.3

3) 樫村啓，大塚秀三，中田善久，十河茂幸：ブリーディング試験における容器の材質および内径の相違がブリーディング性状に及ぼす影響，「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論文集，pp.87-90，2016.3

4) 濱尾誠弥，大塚秀三，樫村啓，中田善久：ぶりき製の軽量型枠を用いたコンクリートのブリーディング試験方法に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.1-4，2017.3

5) 大塚秀三，樫村啓，中田善久，斉藤丈士：ぶりき製の軽量型枠を用いたブリーディング試験方法の簡易化に関する検討，2017 年度日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.311-312，2017.9

6) 奥山夏樹，大塚秀三，樫村啓，中田善久，斉藤丈士，石川将也：容器の違いがコンクリートのブリーディング試験の結果に及ぼす影響に関する検討その 1 試験環境の温度による影響，2018 年度日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.411-412，2018.9

7) 石川将也，大塚秀三，樫村啓，中田善久，斉藤丈士，奥山夏樹：容器の違いがコンクリートのブリーディング試験の結果に及ぼす影響に関する検討その 2 容器の内径と試料の高さによる影響，2018 年度日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.413-414，2018.9

8) 申英珠，田中享二：コンクリート壁のセパレーターの透水性に影響を及ぼすブリーディングについての研究，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.61-64，2001

9) 辻正哲，坂井秀紀：ブリージングの発生機構に及ぼす影響に関する基礎的研究，セメント技術年報，第 37 巻，(社)セメント協会，pp.229-232，1983

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，pp.1499-1450，2002.9

11) 木村洋一，阿部道彦：ブリーディングに及ぼす各種要因の影響に関する検討，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.21-24，2016.3

12) 渡邉真史，三本巖：温度分布に着目したコンクリートのブリーディング水の挙動に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，pp.1243-1248，Vol.39，No.1，2017