

委員会報告 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

十河茂幸*1・加藤佳孝*2・福留和人*3・陣内浩*4・中田善久*5 伊代田岳史*6・犬飼利嗣*7・桜井邦昭*8・大塚秀三*9

要旨：近年、ブリーディングに起因する構造物の性能低下が指摘されている。これは、ブリーディングが過剰に生じるとコンクリート構造物の力学性能および耐久性に悪影響を及ぼし、少なすぎるとコテ仕上げなどがしにくくなるためと考えられる。しかし、ブリーディングがコンクリートの特性に及ぼす影響を定量的に把握できていないこと、試験方法が汎用的でないことなどから、適切な制御が十分にはなされていないのが実状である。このような背景から、ブリーディングの適切な制御によるコンクリート構造物の性能確保を目的に委員会活動を行った。この報告は、この委員会活動の成果をまとめたものである。

キーワード：ブリーディング, 自由水, 拘束水, コンクリートの特性値, アンケート, 簡易試験方法

1. はじめに

近年、コンクリート構造物にブリーディングが一因と考えられる不具合が頻発している。これは、コンクリートの材料分離の一つであるブリーディングの適切な制御が十分にはなされていないためと考えられる。また、ブリーディングの評価方法は JIS A 1123 に規定されているが、測定に苦渋作業を伴うことから、実務ではあまり行われていない上、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」の指定事項としても扱われていないのが実状である。このような背景から、公益社団法人日本コンクリート工学会では、「構造物の耐久性向上のためにブリーディング制御に関する研究委員会」を立ち上げ、古くて新しい課題に取り組むこととし、2年間の研究活動を行うこととした。

この委員会では、表-1に示す委員構成とし、性能評価WG、制御技術WG、試験方法WGの3つのWGで目的を達成することを考えた。

性能評価WGでは、主としてブリーディングがコンクリートの特性に及ぼす影響について議論し、外観、打継ぎ・打重ね部、強度、収縮特性、さらに耐久性に及ぼす影響についてまとめた。また、ブリーディングの目標値をどのように設定するべきかを検討した。

制御技術WGでは、ブリーディングのメカニズムを考え、如何にすればブリーディングが制御できるかを検討し、使用材料、配(調)合、施工方法などがブリーディングを変動させる要因ととらえ、制御方法を示した。

試験方法WGでは、ブリーディング試験があまり行わ

れていないこととその理由をアンケートにより調査し、ブリーディングの測定結果に及ぼす試験手順や測定方法の影響を考察し、簡易な試験方法を提案することとした。この研究委員会の活動の概要を以下に示す。

表-1 委員会構成

委員長：十河茂幸（広島工業大学） 副委員長：加藤佳孝（東京理科大学） 幹事長：福留和人（石川工業高等専門学校） 幹事：陣内浩（大成建設） 幹事：中田善久（日本大学）
性能評価 WG 主査：福留和人（石川工業高等専門学校） 副主査：伊代田岳史（芝浦工業大学） 川里麻莉子（飛島建設） 小泉信一（BASF ジャパン） 早川健司（東急建設） 渡邊賢三（鹿島建設） 加藤佳孝（東京理科大学）
制御技術 WG 主査：陣内浩（大成建設） 副主査：犬飼利嗣（岐阜工業高等専門学校） 副主査：桜井邦昭（大林組） 田中章夫（八洋コンサルタント） 松沢友弘（フローリック） 宮野和樹（前田建設工業）
試験方法 WG 主査：中田善久（日本大学） 副主査：大塚秀三（ものづくり大学） 阿佐見雅子（全国生コンクリート工業組合連合会） 萱田健太郎（建材試験センター） 斉藤丈士（日本大学） 土屋直子（国土技術政策総合研究所） 十河茂幸（広島工業大学）

*1 広島工業大学工学部 教授（正会員）

*3 石川工業高等専門学校 教授（正会員）

*5 日本大学理工学部 教授（正会員）

*7 岐阜工業高等専門学校 教授（正会員）

*9 ものづくり大学技能工芸学部 准教授（正会員）

*2 東京理科大学工学部 教授（正会員）

*4 東京工芸大学工学部 教授（正会員）

*6 芝浦工業大学工学部 教授（正会員）

*8 (株)大林組 技術研究所（正会員）

2. ブリーディングのメカニズム

2.1 ブリーディングとは

ブリーディングとは、「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、固体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」(JIS A 0203「コンクリート用語」)である。コンクリートの構成材料の水、セメントおよび骨材の内、密度の最も小さい水が上昇しやすいことが主たる発生原因と考えられる。

ブリーディングによる水の上昇は、沈みひび割れ、レイタンスおよび砂すじ等の発生要因となるなど、硬化コンクリートの品質に対して好ましくない影響が多い。

2.2 用語の定義

JIS A 1123 では、寸法の規定された容器に試料を詰め、試料上面に浸み出た水を経時的に採取してブリーディング量およびブリーディング率を算出する。一般に、コンクリートのブリーディングに関しては、上記の2つの指標が用いられているが、固体粒子(セメント・骨材)から離れた水の全てがコンクリート上面に浸み出るわけではなく、鉄筋や粗骨材の下側などのコンクリート内部に堆積(残留、滞留)する水もある。そこで、本研究委員会では、ブリーディングに関連する用語を次のように定義した。これらの水の分類を図-1に、ブリーディング水と内部ブリーディング水の概念を図-2に示す。

- ・ **自由水**：フレッシュコンクリート中において自由に移動できる水のこと
- ・ **拘束水**：フレッシュコンクリート中における自由水以外の水で、例えば、セメントや骨材などの固体粒子の表面に吸着したり、粒子径の小さい粉体粒子間に拘束された水、等のこと
- ・ **ブリーディング水**：ブリーディングにより上昇する自由水の一部で、コンクリートの上面まで到達した水のこと。内部ブリーディング水に対して、外部ブリーディング水と呼ばれることもある。
- ・ **内部ブリーディング水**：ブリーディングにより上昇する自由水の一部で、コンクリートの上面まで到達しなかった水のこと

すなわち、フレッシュコンクリート中の水を自由に移動できるか否かによって自由水と拘束水とに分類し、自由水のうち、仕上がり面まで上昇した水を(外部)ブリーディング水、骨材や鉄筋の下面に残留したり、側面のせき板に到達したものの上面にまでは達しない水、およびセメントマトリックス中に存在している水などを内部ブリーディング水と定義することにした。

2.3 ブリーディングのメカニズムに関する研究事例

(1) ブリーディングに伴う自由水の量を予測する方法

ブリーディングに伴い上昇する自由水の量を予測する方法に関する研究では、前節で定義したように、自由

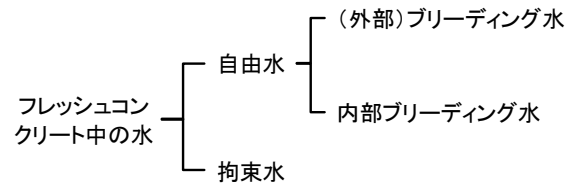


図-1 フレッシュコンクリート中の「水」の分類

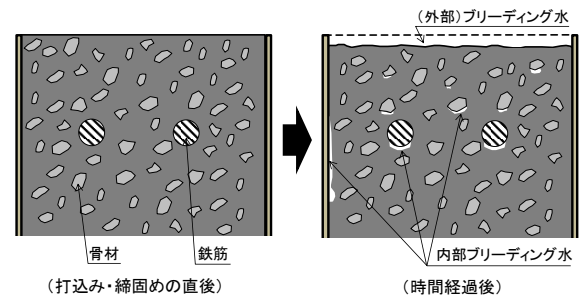


図-2 ブリーディング水および内部ブリーディング水の概念図

に移動できる水(自由水)とセメントや骨材の表面もしくは隙間に拘束される水(拘束水)とに分類して取り扱うことが多い。具体的には、ペーストやモルタルを遠心脱水試験機にかけて自由水を取り除き、残存した水(拘束水)を求める方法¹⁾や、配(調)合の条件からセメントの凝集の程度が変化するモデルを用いて自由水の量を予測する方法などが提案されている²⁾。

(2) コンクリート内部における自由水の挙動

コンクリート内部における自由水の挙動に関する研究では、フレッシュコンクリートもしくは模擬材料中に着色液を注入して、可視化により観察する方法などが行われている³⁾。そして、コンクリート内部の自由水は、粗骨材とモルタルの界面、何らかの原因により試料中に形成された水みち、および型枠側面などを主な移動経路としていることが明らかにされている。

3. ブリーディングがコンクリートの特性に及ぼす影響

ブリーディングにより水分が上昇し、それに伴い固体粒子の沈下が生じる。その結果、鉄筋コンクリートでは鉄筋下面の空隙の形成や沈下によるひび割れなどが生じる恐れがある。またCFTなどでは、鋼板とコンクリートの界面に空隙が形成される可能性があるため、複合構造としての付着不足などが大きな問題となりえる。ただし、これらの問題は、コンクリートのブリーディング量を抑制すれば、問題にならないことが多いと考えられる。一方、図-3に示すようにブリーディングが生じることでコンクリート中では様々な現象が生じ、コンクリートの特性に影響を及ぼすと考えられる。本章では、特にブリーディングがコンクリートの特性に及ぼす影響に関する既往の知見について、とりまとめたものを紹介する。

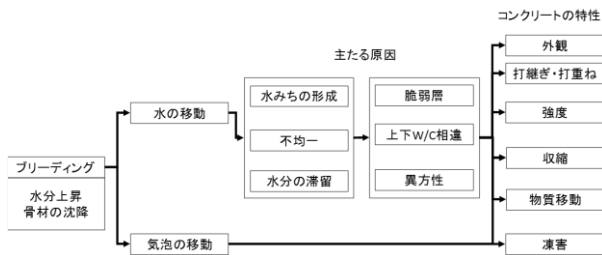


図-3 ブリーディングがコンクリート特性に及ぼす影響

(1) 外観に及ぼす影響目

ブリーディングが外観に与える影響は、外観を色むら、表面気泡、砂すじなどの変状の発生と関係付けて評価している事例が多く、ブリーディング量の増加は変状を助長し、外観の悪化の原因になる。これは型枠近傍に過剰な自由水が存在することによって、白色、黒色の差異の発生、振動締固めの影響による泡立ちなどが生じ、結果として外観に影響を与えていると考えられる。

(2) 打継ぎ・打重ね部に及ぼす影響

ブリーディングが打継ぎ、打重ね部に及ぼす影響に関する研究は、コールドジョイント対策として実施されたものがほとんどである。その中でも、ブリーディング量の影響について言及している文献を整理したが、必ずしもブリーディング量が多い程、打重ね部の一体性が損なわれるわけではなく、ブリーディング量が $0.1\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 程度以下でも締固めが不足した場合には強度低下の懸念がある。一方、ノンブリーディングの場合には下層コンクリート表面の乾燥などの影響により打重ね部の一体性が低下するため、適度なブリーディングが望まれる。

(3) 強度特性に及ぼす影響

実大規模では、ブリーディング水の上昇により上層と下層の強度差が生じ、ブリーディング量が大きいとバラツキも大きくなる。試験体レベルでは、ブリーディングが過大な場合を除き、ブリーディングが強度分布に与える影響は大きくない。また内部ブリーディングによる骨材下面の欠陥により、強度の異方性が認められる。

ブリーディングが鉄筋の付着特性に及ぼす影響は、ブリーディング水が鉄筋下面に滞留することで形成される空隙が原因と考えられている。したがって、ブリーディング量の増大によって平均付着応力度の低下が見られるが、分離低減剤によりブリーディング量を低減することで付着性状が改善される。付着性状に影響を及ぼすブリーディングの滞留の程度は、ブリーディング量の多少のみならず、鉄筋の方向、位置、鉄筋径など、多くの要因の影響を受けると考えられ、定量的な解釈は困難である。

(4) 収縮特性に及ぼす影響

ブリーディングが乾燥収縮特性に及ぼす影響は、ブリーディングに伴う自由水の移動によるコンクリート中の

水量の変化に加え、固体粒子（セメントおよび骨材）の沈降の影響も考えられる。スラグを用いたコンクリートに関する研究によれば、ブリーディング量の増大に伴って、乾燥収縮は低減されるという結果となっている。これは、ブリーディングの発生によって供試体中の単位水量および水セメント比が低減し、乾燥収縮が低減された可能性も考えられる。しかしながら、実際の構造物では、ブリーディング量の増大によって、上部は単位水量および水セメント比の増大が生じるため留意が必要である。

(5) 耐久性に及ぼす影響

ブリーディングによるコンクリートの構成材料割合の変化や水みちの形成により、コンクリートの空隙構造が変化するため、ブリーディングはコンクリートの物質移動抵抗性に影響すると考えられる。このため、その影響は供試体や部材の底面で小さく、打込み面で大きくなる。また、ブリーディングによる水は型枠面へも移動するため、側面、特に打込みの上方となる側面の物質移動抵抗性に及ぼす影響が大きくなる。これらの影響程度はコンクリートのブリーディング量によって異なり、同一水セメント比のコンクリートにおいても、骨材種類や単位水量等の影響で変化するブリーディング量と物質移動抵抗性の相関関係が定量的に示されている。

ブリーディングに伴う水の流れが気泡の安定性に影響することで、気泡間隔係数や気泡径分布などで示される気泡組織の形成に影響を及ぼし、凍結融解抵抗性の良否を決めるといえる。つまり、ブリーディング量の増大によって気泡の合一と破泡が生じ、気泡組織が粗大化することで凍結融解抵抗性が低下するものと考えられる。

4. ブリーディングに関する目標値の設定に関する検討

ブリーディングに関する目標値の設定を検討するにあたり、既往の指針類のブリーディング量に関する規定値の設定事例および経緯を調査した。さらに、ブリーディングの抑制が必ずしも良い影響を与えない可能性のある圧送性、表面仕上げ、プラスチック収縮ひび割れについて、ブリーディングの影響をとりまとめた。これらの調査結果を踏まえ、3.の成果に基づいて、ブリーディングに関する目標値の設定の考え方を示し、一部の項目では、既往データに基づく目標値設定例を紹介する。

4.1 既往の指針類におけるブリーディング量の規定

(1) ブリーディング量の規定

日本建築学会では、2015年版の JASS 5（以下、JASS5）のほか、鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説（以下、ひび割れ制御指針）、コンクリートポンプ工法施工指針・同解説（以下、ポンプ指針）および高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説でブリーディング量の

目標値を設定している。

JASS 5 の「3節 コンクリートの種類および品質」の「3.6 ワーカービリティおよびスランプ」の a 項では、『ブリーディングおよび材料分離が少ないものとする。』としているが、十分なデータの蓄積がないという理由で具体的な数値は示されていない。一方、鋼管充填コンクリートでは、 $0.1\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下、水密コンクリートおよび凍結融解作用を受けるコンクリートでは、 $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下と具体的な数値が規定されている。同様に、ひび割れ指針、ポンプ指針でも、 $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下と具体的な数値が規定されている。

(2) ブリーディング量の目標値設定の経緯

JASS 5 でブリーディング量の目標値がはじめて記載されたのは 1975 年版であり、解説中にコンクリートの品質の級に応じたブリーディング量の目標値を示した試案（表-2）が記載されている。この表は加賀らの提案⁴⁾から引用されているが、数値は、仮定の値であり、今後の研究に期待しなければならない、と記述されている。このようにブリーディング量の規定値を定めた根拠に関する記述は見当たらなかった。

4.2 ブリーディング抑制による影響

(1) 圧送性に及ぼす影響

ブリーディング量が過大な場合には、コンクリートの圧送性が確保できない場合がある。一方、ブリーディングを抑制した場合、脱水に伴う閉塞は生じにくいですが圧送負荷に影響する。このため、ブリーディングを抑制したコンクリートを使用する場合には、圧送負荷が大きくなる場合があるので、コンクリートポンプの選定や配管計画等に留意する必要がある。

(2) 表面仕上げに及ぼす影響

ブリーディング量が多すぎる場合は、仕上げ作業の遅延、沈下ひび割れなどによる品質低下が懸念され、ブリーディング量の抑制により改善が図れる。しかし、ブリーディング量が少なすぎる場合は、水分の蒸発速度など環境条件によっては、ひび割れや表層剥離などの不具合が発生する可能性が高くなる。さらに、仕上げ作業性も悪くなるため、均し・仕上げ補助剤等による対策の検討も必要である。

(3) プラスティック収縮ひび割れに及ぼす影響

プラスチック収縮ひび割れは、コンクリート上面からの水分蒸発速度がブリーディングによる上面への水分供給速度より大きい場合に生じるとされる。したがって、水分蒸発量がブリーディング量を上回る場合には、コンクリート打込み後に注意が必要であり、施工環境の温度、湿度、風速に留意しながら適切な養生を実施するとともに、ひび割れが発生した際にはタンピングなどの措置をする必要がある。つまり、ブリーディング量の大小に関係なく、気象条件等に応じてプラスチック収縮ひび

表-2 各級の目標性能の試案⁴⁾

項目 コンクリートの品質の級	ブリージング量 (cc/cm^2)	乾燥収縮率 ($\times 10^{-4}$)	耐久性指数 (300 サイクル)
高 級	0.3 以下	9 以下	70 以上
常 用	0.5 以下	8 以下	—
簡 易	0.7 以下	10 以下	—

割れの防止対策を講じることが肝要と言える。

4.3 ブリーディングに関する目標値設定の考え方

(1) 外観からみた設定値の考え方

既往の研究から、ブリーディング量が多いほど、外観に与える悪影響がより大きくなるものと考えられた。したがって、外観の観点からブリーディングを適切に制御することが望ましい。しかしながら、外観に及ぼす影響からブリーディング量の上限値を提案することは難しいと判断された。これは、色むらの発生原因の究明が進んでいないこと、外観とブリーディング量の定量的なデータが不足していることによる。さらに、示方書等で外観に関した定量的な目標値、規定値が存在しないことにも由来していると考えられる。今後、データの蓄積、原因の究明が望まれる。

(2) 強度特性からみた設定値の考え方

既往の研究から、ブリーディング量が多いと上層部で強度低下が認められることは明らかである。また、ブリーディング量が増大すれば、骨材下面へ滞留するブリーディングの増大により圧縮強度に比べて引張強度の低下が大きくなり、異方性が生じることが示されている。このような巨視的な欠陥は、強度への影響はさることながら、物質移動抵抗性に影響を及ぼすことも考えられる。さらに、ブリーディング量の増大により鉄筋の付着特性に影響を及ぼすことが示されている。付着性状への影響は、鉄筋下面へのブリーディングの滞留による空隙の形成によるが、鉄筋の腐食にも影響を及ぼすことも指摘されている。

以上のように、強度特性への影響の観点からブリーディングを適切に制御する必要があるが、ブリーディング量（率）と強度特性との関係は定量化されておらず、また、施工条件、構造物形状寸法、配筋条件など、多くの要因を受けるため、現状では、具体的な目標値の設定は困難である。今後検討を進め、ブリーディングの適切な制御に繋げることが望まれる。

(3) 収縮特性からみた設定値の考え方

既往の研究から、スラグの使用によるブリーディング量の増大に伴って乾燥収縮は低減されることが示されている。これは、過大なブリーディング量の発生に伴う供試体の単位水量および水セメント比の低減による影響と推測される。つまり、打込み高さの高い実構造物では、

ブリーディング量の増大によって上部は単位水量および水セメント比の増大が生じ、乾燥収縮が増加することも懸念される。ブリーディングが構造物上部の乾燥収縮特性に及ぼす影響を評価することは容易ではないが、現象解明により適切な制御がなされることが望まれる。

(4) 物質移動抵抗性からみた設定値の考え方

既往の研究から、物質移動抵抗性は、同一水セメント比でもブリーディング量が多いほど低下し、また、部材上部の低下が大きくなるなど、ブリーディングの影響を受けることが明らかとなった。土木学会コンクリート標準示方書の中性化および塩害に対する照査では、コンクリートの材料係数は、上面の部位に対して 1.3 とするのがよいとしている。これによりブリーディングに起因する部材上部の物質移動抵抗性の低下を考慮可能であるが、ブリーディングが過大になる場合には、材料係数 1.3 では、不十分となる可能性も考えられる。現状ではブリーディング量が物質移動抵抗性に及ぼす影響に関するデータは少なく、具体的な目標値の設定は困難であるが、今後検討を進め、ブリーディングの適切な制御による物質移動抵抗性の確保に繋げることが望まれる。

(5) 凍結融解抵抗性からみた目標値の考え方と設定例

4.1 に示すように、JASS5 では、凍結融解作用を受けるコンクリートでは、ブリーディング量の上限值が示されているが、その根拠は不明である。そこで、JASS5 の品質管理目標値、コンクリート標準示方書の凍害に対する照査時の最小限界値から、a) 相対動弾性係数 60%以上、b) 相対動弾性係数 85%以上、c) 気泡間隔係数 $250\mu\text{m}$ 以下の 3 ケースを設定し、既往文献より、これらを満足するブリーディング量を確認した。図-4 に一例⁵⁾を示す。その結果、凍結融解抵抗性を確保できると判断できるブリーディング量は、a)は $0.12\sim 0.40\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、b)は $0.05\sim 0.40\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、c)は $0.30\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であり、使用材料や配(調)合によってブリーディング量に幅が生じることを確認した。3.でも述べたように、凍結融解抵抗性に影響を及ぼすのは気泡間隔係数や気泡径分布に代表される硬化コンクリートの気泡組織である可能性が高く、ブリーディング量の低減はあくまで内部ブリーディング水が気泡に及ぼす影響を軽減するものであると推察される。したがって、コンクリートの凍結融解抵抗性を満足するブリーディング量の閾値を一概に示すことは困難である。また、ブリーディング量が多いコンクリートであっても、硬化後の気泡組織が条件を満たしていれば凍結融解抵抗性を確保できる場合もあることを補足する。

(6) まとめと今後の課題

ブリーディングがコンクリートの特性に及ぼす影響が定量化できていないなど課題も多く、ほとんどの項目で目標値の具体的な提示には至らなかったが、ブリーディ

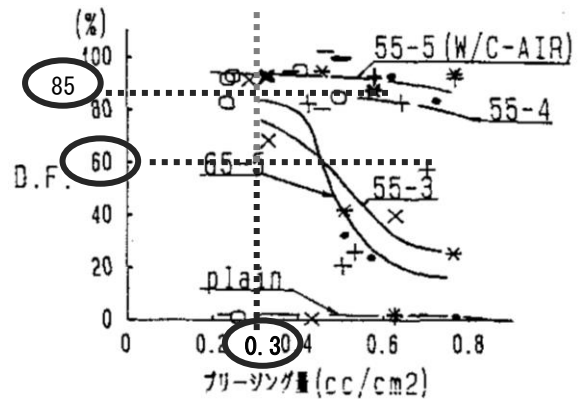


図-4 耐久性指数とブリーディング量の関係⁵⁾

ングの適切な制御によってコンクリート構造物の性能確保に繋がる可能性があることも明らかとなったと言える。今後、根拠のあるブリーディングの目標設定のためには、データ蓄積、現象解明を進めることが課題である。

一方、ブリーディングにより部材上部の圧縮強度や物質移動抵抗性等の低下が生じ、“硬化後の均質性”にも大きな影響を及ぼすことも明らかである。これは、ブリーディングの程度によっては、設計時に設定したコンクリートの特性値が構造物中で発揮されなくなる可能性があることを意味する。今後の取り組みによって、ブリーディングの適切な制御を通して、“硬化後の均質性”が確保され、構造物の性能確保に繋がることを期待する。

5. ブリーディングの制御方法

ブリーディングのメカニズムから、ブリーディングの制御方法の基本は、フレッシュコンクリート中の自由水の抑制ということになる。また、フレッシュコンクリートそのものを自由水の移動し難い緻密なものとするのも有効である。さらに、凝結速度が速ければ、自由水が移動しやすい時間が短くなり、ブリーディングは抑制される。ここでは、上記のようなメカニズムを念頭におき、使用材料、配(調)合条件および施工条件の3つの観点からブリーディングを抑制する方法を検討する。

5.1 使用材料がブリーディングに及ぼす影響

ブリーディング率とセメントの種類の関係の一例を図-5に示す⁶⁾。セメントの比表面積が大きいほど、凝結時間が短いほどブリーディング率は減少する。前者は自由水の拘束量の増加、後者は自由水の移動の抑制と関連すると推察されるため、抑制方法自体は異なる。具体的には、ブリーディング率は、早強ポルトランドセメントでは減少し、低熱ポルトランドセメントでは増加する。

骨材は、自由水の拘束体としての位置づけが大きいと考えられる。したがって、表面積の大きさや骨材表面の水の拘束しやすさなどがブリーディング量の抑制に効果的と考えられている。図-6にブリーディング量と細骨

材中に含まれる全微粒分量の関係を示す⁷⁾。細骨材中に含まれる全微粒分量の増加は、ブリーディング量の抑制には極めて有効である。

混和剤は、様々な形でブリーディングに影響を及ぼす。例えば、化学混和剤の減水性能は、コンクリートの単位水量の抑制により、自由水の減少などに寄与する。また、凝結促進剤、遅延剤は、フレッシュコンクリートの凝結速度を制御するため、自由水が移動しやすい時間に影響する。さらに、分離低減剤（増粘剤）は、フレッシュコンクリート中の自由水を拘束するため、ブリーディング量の減少に作用すると考えられている。例えば、文献⁸⁾では、増粘剤中の直鎖状のセルロースエーテル分子の親水性官能基が、水分子を捕捉（拘束）することによって生じていると考察している（図-7参照）。

5.2 コンクリートの配（調）合条件がブリーディングに及ぼす影響

ブリーディングのメカニズムから、コンクリートの配（調）合条件もブリーディング水の抑制とやや複雑に関係する。例えば、単位水量の抑制は、自由水とセメントの量を低減する一方で、拘束体となる骨材の量の増加を伴うことになる。図-8に示すように、一般には単位水量とブリーディング率の関係をプロットすると、単位水量の低減がブリーディング率の低減につながるように解釈しがちである⁹⁾。しかしながら、実際には表-3に示すように、単位水量の抑制を行うと拘束体の骨材の量が増加するため、少なくなった自由水をさらに多くの骨材が拘束するブリーディングを抑制しやすい配（調）合条件となっている⁹⁾。また、図-8からは、単位水量を一定として、水セメント比を変化（単位セメント量を変化）させた場合の傾向も読み取れる。図からわかるように、水セメント比が低いほど、ブリーディング率は小さくなる傾向にある。これは、水を拘束するセメントや骨材の量が多くなることに加え、フレッシュコンクリートの組成自体が水の移動しにくい緻密な状態となったことが影響していると推察される。

5.3 施工条件がブリーディングに及ぼす影響

施工条件もブリーディングに影響を与える。例えば、外気温が低下し、セメントの水和が遅延すれば、ブリーディング量は多くなる。また、打込み高さが大きくなれば、移動する水の量も多くなり、上面に溜まるブリーディング水の量は多くなる。例えば、文献¹⁰⁾では、図-9に示すような壁試験体を打ち込み、上面のブリーディング量を測定している。この結果、図-10のように打込み高さに応じてブリーディング量が増加することを報告している。縦軸は単位面積当たりのブリーディング量を表しているが、打込み高さが5倍になっても5倍になるわけではない。つまり、ブリーディング率で考えれば、

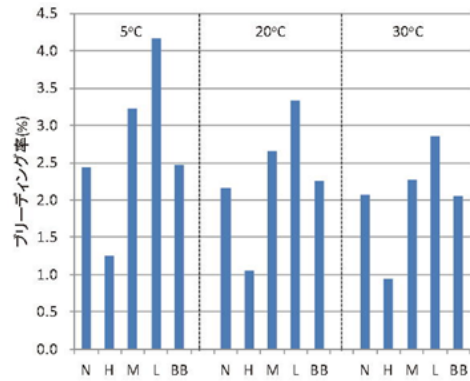


図-5 ブリーディング率とセメントの種類の関係⁶⁾

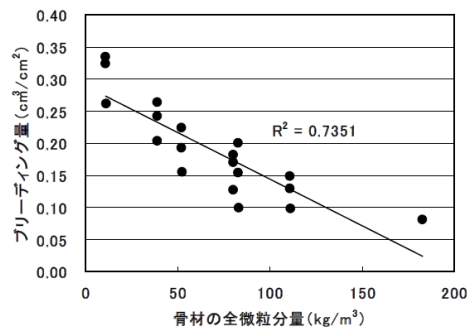


図-6 ブリーディング量と細骨材中に含まれる全微粒分量の関係⁷⁾

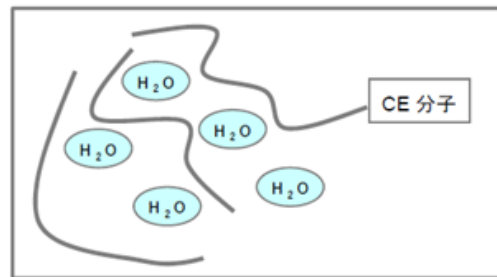


図-7 セルロースエーテル系増粘剤によるブリーディング低減機構の概念図⁸⁾

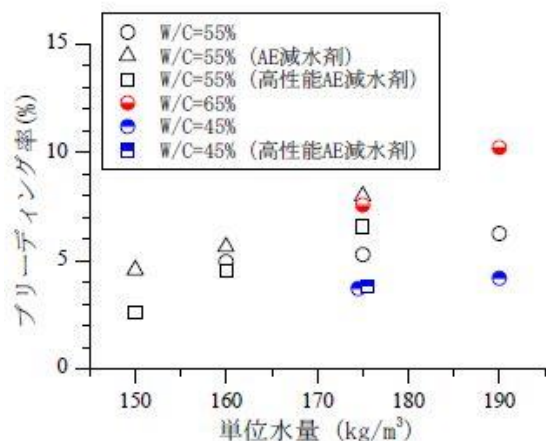


図-8 単位水量とブリーディング率の関係⁹⁾

打込高さが大きくなるほどブリーディング率は小さくなる傾向となる(表-4参照)。したがって、施工条件からブリーディングの抑制をはかる場合でも、どのような観点からブリーディング率とブリーディング量のいずれを小さくすべきなのかを正しく考える必要がある。

5.4 ブリーディングの抑制策

使用材料の面では、コンクリートが遅延しすぎないように材料を選定することが重要となる。また、増粘剤などを使って自由水を拘束することも有効である。

配(調)合条件の面では、自由水の量を抑制しつつ、拘束体となるセメントや骨材の(比表面積の)量を増加させることなどが有効である。また、水セメント比を低く設定すると、コンクリート中を水が移動するのを助け、ブリーディング水を減少させることができると考えられる。具体的には、単位水量の抑制、水セメント比の低減、細骨材率の増加のような一般によく実施されるブリーディング対策が有効となる。

施工条件の面では、外気温が低下し、セメントの水和が遅延すれば、ブリーディング量は多くなることに注意する必要がある。また、打ち込む部材の形状、要求事項などをよく考え、適切な対応を考える必要がある。

6. ブリーディングに関するアンケート調査

ブリーディング試験の運用の実態および実務者の意識を把握し、改善点等を模索することを目的としてアンケート調査を実施し、(1)ブリーディング試験の実施状況、(2)生コン工場におけるブリーディングに関する問合せや協力要請の状況、(3)ブリーディング試験における作業と試験方法の実態および(4)ブリーディングに対する実務者の意識と認識の実態についてまとめた。

6.1 アンケート調査の概要

アンケート調査は、平成27年10月～平成28年1月に実施した。調査の対象は生コン工場、建設会社、セメントメーカー、化学混和剤メーカーおよびコンクリートに関係する試験機関とした。調査項目は、多岐にわたるため、本報告では、抜粋した項目の結果を示した。

アンケートの配付数および回収の内訳を表-5に示す。ここで、生コン工場以外は、回収率は、配付した組織数に対する回収した組織数で表している。

6.2 ブリーディング試験の実施実績

ブリーディング試験の実施の有無を図-11に、生コン工場の地区ごとの試験の実施の有無を図-12に示す。なお、以降、図中のn数は回答者数を示している。

試験を実施したことがあるとの回答は、生コン工場には30%以下であるが、試験機関は60%、建設会社およびメーカーでは80%を超えている。これから、生コン工場の全体では、ブリーディングを確認する頻度はあまり高く

表-3 図-8のコンクリートの配(調)合⁹⁾

配 合	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(% vs C)			Sl (cm)	Air (%)	σ ₂₈ (MPa)
		W	C	S	G	WR	SP	AE			
1	55	175	318	803	979	-	-	0.006	12.5	4.8	39.3
2		190	345	775	945			0.01	18.5	5.4	37.1
3		160	291	831	1013			0.008	7.5	4.8	35.5
4		175	318	803	979	0.25		0.001	20.5	3.7	42.2
5		190	345	775	945			0.002	22.0	3.3	34.0
6		160	291	831	1013			0.004	10.5	5.8	37.5
7		150	273	849	1036			0.003	4.0	4.3	40.7
8		175	318	803	979	-	1.0	0.004	22.5	5.4	35.7
9		160	291	831	1013			0.002	21.0	5.7	39.1
10		150	273	849	1036			0.002	11.0	6.0	40.7
11		150	273	849	1036		4.0	0.005	18.5	2.3	27.4
12	65	175	269	821	1001			0.006	11.5	4.5	26.3
13		190	292	795	969			0.006	20.0	4.0	28.3
14	45	175	389	776	947			0.008	8.0	5.5	45.4
15		190	422	746	910			0.008	13.5	5.8	46.0
16		175	389	776	947	1.0		0.002	25.5	5.5	49.5
17		190	422	746	910			0.002	25.5	3.0	44.6

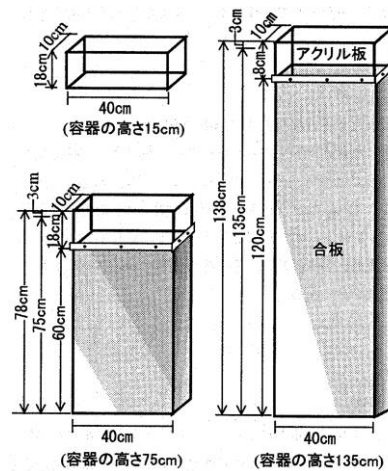


図-9 壁試験体¹⁰⁾

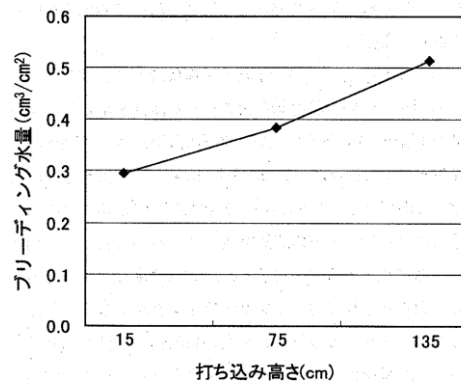


図-10 打ち込み高さとブリーディング量¹⁰⁾

表-4 打ち込み高さとブリーディング率/量の関係

打ち込み高さ	ブリーディング率	ブリーディング量
大きい	小さい	大きい
小さい	大きい	小さい

ないといえるが、図-12に示すように、生コン工場の所在地によって大きく異なる結果であった。実施したとする回答の割合は関東一区が突出して大きく、次いで近畿であり、ブリーディングを確認する必要のある工事は地

域差が大きく、大都市部に集中している。

生コン工場を対象に、設計者や施工者からブリーディングに関する問合せや協力要請を受けたコンクリートの使用箇所の回答結果を図-13に示す。使用箇所は、逆打ちやCFTなど圧入が要求される部位が最も多く、また建築工事が占める割合が大きい。その他の調査項目においてブリーディングに関する問合せや協力要請を受けた地域は大都市圏が多く、また工事の種別は建築工事が多い傾向にあった。これは、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」にブリーディング量および沈降量の上限¹²⁾が示されていることを反映した結果と考えられる。

6.3 ブリーディングの試験方法と作業

JIS A 1123「コンクリートのブリーディング試験方法」の規定（以下、JIS 規定）に沿わない（沿えない）方法（以下、沿わない方法）による試験の有無を図-14に示す。JIS 規定に沿わない方法で試験を実施する場合がありますと回答した割合は、生コン工場で26%、試験機関で27%と比較的低かったが、建設会社では57%、メーカ（セメント・化学混和剤）では58%と半数を上回った。JIS 規定に沿わない項目（試験条件）の複数回答による結果を図-15に示す。JIS 規定に沿わない項目（試験条件）として「試験室の温度」、「試験室の湿度」および「コンクリートの温度」が回答数に対し半数以上と多く、また「2回分の試料採取」が生コン工場で53%と多かった。これは、温湿度を管理する設備が整っていない場所で試験を実施する場合や工事現場で採取した生コンを対象に試験を実施する場合に、試験場所の温湿度やコンクリート温度をJIS 規定に沿えることができないものと推察される。このことは、JIS 規定に沿わない方法による試験を実施する割合が、試験室でコンクリートを作ることのできる生コン工場および試験機関において低くなっていることと一致する傾向と考えられる。なお、生コン工場において「2回分の試料採取」が多くなったのは、ブリーディング試験容器の保有実態によると考えられる。すなわち、他の項目の調査結果によるが、ブリーディング試験容器を保有する生コン工場が全体の1割未満と少ない上に、保有している場合でもその数はほとんどの場合1～2個と少ないため、複数の試験を行う場合、1度の試験を1回分の試料で行う場合があるものと考えられる。

試料を詰めた容器の重さの印象を図-16に、試験終了後の試料の取出し作業の印象を図-17に示す。試料を詰めた容器の重さの印象は、いずれの回答者も「非常に重い」が最も多く次が「重い」となり、「非常に重い」と「重い」を合わせるといずれも9割以上を占めている。これは、JIS 規定の容器と試料の合計質量が40kg前後になるためと考えられる。厚生労働省の指針では、満18歳以

表-5 アンケートの配付数および回収の内訳

対象者	配付数 (工場・社)	回答数		回収率 (%)	
		回答数 (工場・社)	回答数 (件)		
生コン工場	2641	1819	1819	68.9	
建設会社	23	20	63	87.0	
メーカ	セメント	18	9	74	50.0
	化学混和剤	14	12	16	85.7
試験機関	89	39	78	43.8	

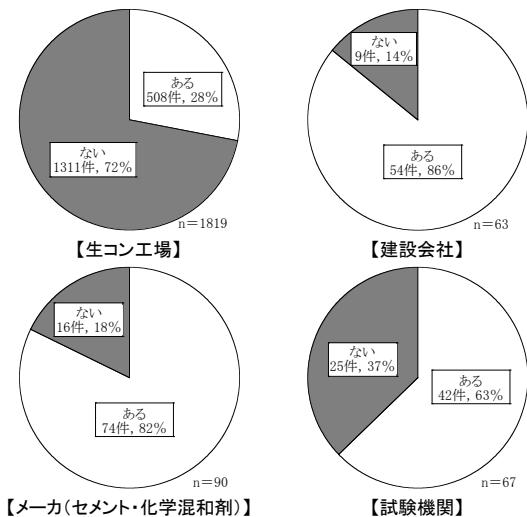


図-11 ブリーディング試験の実施の有無

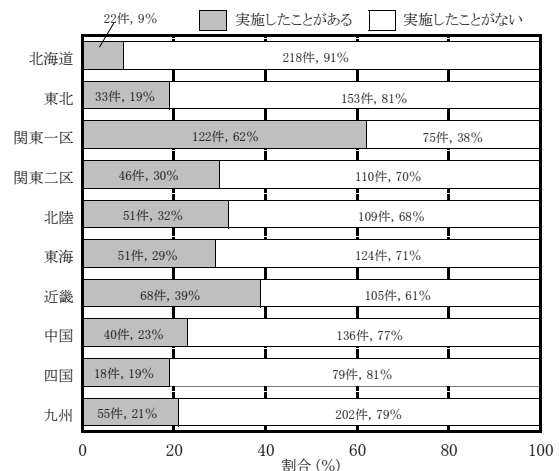


図-12 生コン工場の地区ごとにおけるブリーディング試験の実施の有無

上の男子労働者が人力により取り扱う物の重量は体重のおおむね40kg以下となるよう努め、これを超える重量物は2人以上で取り扱うよう努めるとしている¹³⁾。

試験後の試料の取出し作業の印象は、いずれの回答者も「大変だと思う」とする回答が最も多く、およそ7～8割を占めている。これは、前述のように容器と試料をあわせた質量が40kg前後と重く取り扱いにくいことに加え、試験後には流動性はなく、凝結が開始している場合もあり、コンクリートの取出し作業に労力を要する場合があるためと考えられる。

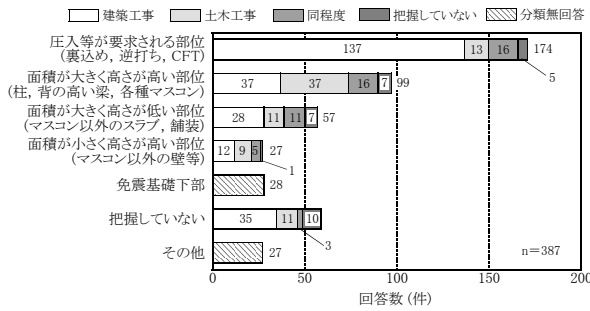


図-13 問合せや協力要請を受けたコンクリートの使用箇所

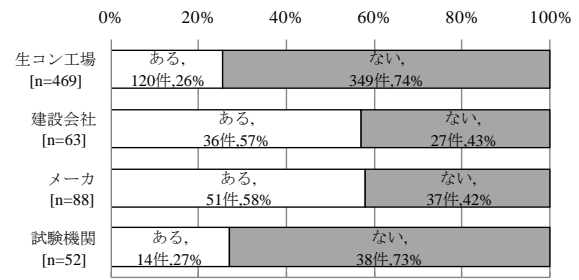


図-14 JIS 規定に沿わない方法による試験の有

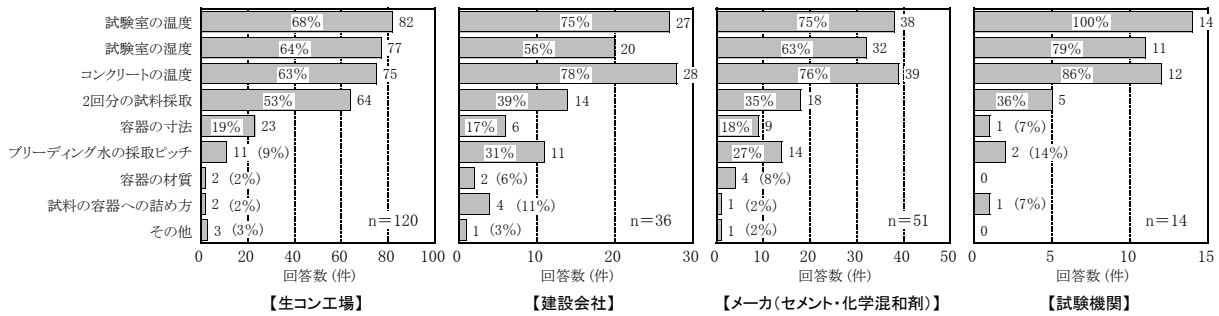


図-15 JIS 規定に沿わない項目(試験条件) / (複数回答)

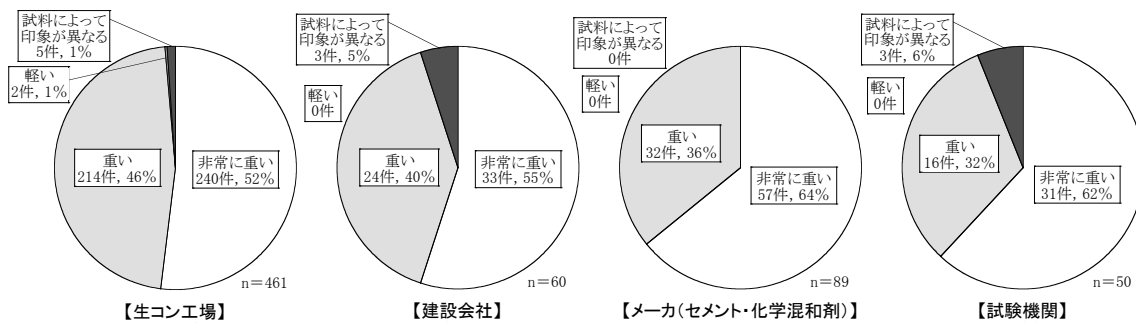


図-16 試料を詰めた容器の重さの印象

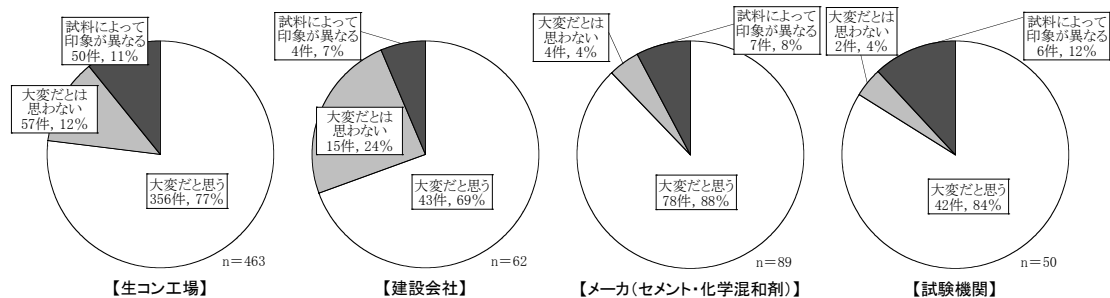


図-17 試験終了後の試料の取出し作業の印象

7. ブリーディング試験方法に関する検討

国内外におけるブリーディング試験方法の規格に関する調査の結果とアンケート調査の結果を踏まえてブリーディング試験方法を改善するための検討を行い、その結果から「コンクリートのブリーディング簡易試験方法(試案)」を策定した。

7.1 国内外におけるブリーディング試験方法の規格

国内におけるブリーディング試験方法には、JIS A 1123 がある。JIS A 1123 は 1957 年に制定されて以降、1975 年、1997 年、2003 年および 2012 年の 4 回の改正を経て現在に至っている。一方、海外のブリーディング試験方法としては ASTM C 232 : 2004 「Standard Test Method for Bleeding of Concrete」および BS EN 480-4 : 2005

「Admixtures for Concrete, Mortar and Grout-Test Methods-Part 4: Determination of Bleeding of Concrete」が代表的である。これらと JIS A 1123 との主要な相違点は、試験容器の材質・寸法、試験室の環境（室温および湿度）、試料の高さおよびブリーディング水の採取時間間隔である。しかし、この相違点も大幅に異なるものではなく、概ね同様の試験方法である。

7.2 コンクリートのブリーディング簡易試験方法（試案）の提案

アンケート調査によって明らかとなった、JIS A 1123 において実務者が難儀している点を改善すべく、試験方法 WG が実施した実験の結果と合わせて総合的に勘案し、コンクリートのブリーディング簡易試験方法（試案）を策定し提案した。

本試案と JIS A 1123 との主要な相違点は次のとおりである。

- ・容器寸法（内径×内高）は、φ250×285mm（JIS 容器）、φ125×250mm および φ150×300mm の 3 種類
- ・容器の材質は、ポルトランドセメント及びその他の水硬性セメントと化学的な反応を示さなければ金属製でなくてもよい
- ・試験場所を限定せず、直射日光や風にあたらない平らな場所であればよい
- ・試験場所および試料の温度の規定は設けなかった
- ・ブリーディング水の採取間隔を採取時間にかかわらず一律 30 分とした

8. あとがき

本報告では、2 年間にわたる委員会活動の成果を取りまとめた。まず、ブリーディングに関する共通の意識を持つために、メカニズムの整理と用語の定義を行った。次に、ブリーディング量（率）とコンクリートの特性の関係性について調査・検討した結果を整理し、その結果に基づいて、コンクリートの特性値を実現するためのブリーディングの目標値の設定に関する考え方を示し、さらに、設定された目標値の制御方法について整理した。ブリーディングを制御するためには、試験方法も重要となることから、アンケート調査で実態を把握し、実務に適したブリーディング簡易試験方法を提案した。

本委員会の活動成果により、コンクリート構造物の性能向上のためのブリーディングの制御のあるべき姿を示すことができたと考えられる。しかしながら、ブリーディングがコンクリートの特性に及ぼす影響が定量化できていないなど課題も多く、ブリーディングの目標値の具体的提示は不十分である。今後の検討によりブリーディングの制御技術が確立され、コンクリート構造物の性能向上に繋がることを期待したい。

参考文献

- 1) 上野敦, 国府勝郎, 宇治公隆: コンクリートの流動性およびブリーディング性状に及ぼす粉体材料の影響評価に関する基礎検討, 土木学会論文集, No.725 / V-58, pp.213-225, 2003.2
- 2) 桜井邦昭・丸山久一・近松竜一: 高性能 AE 減水剤による分散効果と流動性を考慮したブリーディング水量の予測モデル, 土木学会論文集 E2, Vol.70, No.2, pp.166-179, 2014
- 3) 犬飼利嗣, 畑中重光, 三島直生, 金子林爾: 視覚的評価方法にもとづくモルタル中の自由水のブリーディング挙動に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 590 号, pp.1-7, 2005.4
- 4) 加賀秀治, 笠井芳夫: コンクリートの級別, 建築雑誌, 1972.9
- 5) 庄谷征美, 杉田修一, 徳橋一樹: フェロニッケルスラグ砂を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性, 土木学会年次学術講演会概要集, V-271, 1991.9
- 6) 住友大阪セメント株式会社: セメント技術資料, pp.8-9
- 7) 多田克彦, 吉本稔, 林建祐, 河野広隆: 石灰石骨材の微粒分量が汎用強度コンクリートの物性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.149-154, 2011
- 8) 小西秀和, 山川勉: 低分子量セルロースエーテルの普通コンクリートへの適用に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）, A-1, pp.255-256, 2016.8
- 9) 古賀裕久, 山田 宏, 渡辺博志: ブリーディング増大要因に関する実験的検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会, V-599, pp.1197-1198, 2012.9
- 10) 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
- 11) 流田靖博, 飛坂基夫: コンクリートの材料分離性に関する研究（その 3 試験条件に関する検討）, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp.737-738, 1992.8
- 12) 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, 2012.8
- 13) 厚生労働省労働基準局: 職場における腰痛予防対策指針及び解説, 基発 0618 第 1 号 職場における腰痛予防対策の推進について 別添, 2013.6.1