

# 高性能減水剤によるセメントペーストの ブリーディング速度の変化

Bleeding Rate of Cement Paste with Superplasticizer

魚 本 健 人\*・太 下 健 二\*

Taketo UOMOTO and Kenji OHSHTA

## 1. はじめに

ブリーディングは、モルタルまたはコンクリート中の固体粒子が沈下して、上面に水が浮き出してくる現象であって、過度のブリーディングは粗骨材や鉄筋の下側におけるセメントペーストの付着をさまたげ、また打ち上り付近のコンクリートの品質を低下させる<sup>1)</sup>。一方、近年高耐久あるいは高流動、高強度といったコンクリートを高性能化するために、高性能減水剤は必要不可欠であるとされており、使用頻度は年々高まっている。この高性能減水剤の減水作用は、セメント粒子に高性能減水剤が吸着し、静電的反発作用によってセメント粒子を分散させることにある。すなわち、セメント粒子の物理的諸性質が変化し、その結果ブリーディング挙動にも何らかの変化が生ずるものと思われる。しかし、高性能減水剤によるブリーディング挙動に与える影響は、単位水量の低減によってブリーディング量が低下することがわかっているにすぎない<sup>2)</sup>。

そこで、本研究は、高性能減水剤がブリーディング挙動にどのような影響を与えるかを調べることを目的として、セメントペーストのブリーディング速度を実験的に求め、その原因について考察した結果について述べるものである。

## 2. ペーストのブリーディング試験

セメントは、表 1 に示す物性値の普通ポルトランドセメ

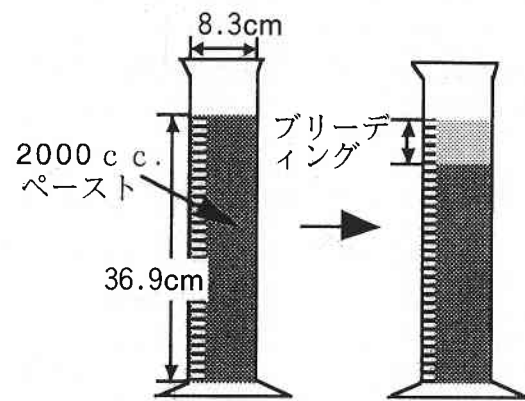


図1 ブリーディング試験方法

ントを用いた。高性能減水剤はアミノスルホン酸系のものを使用した。

ペーストの練り混ぜはホバートタイプのミキサを用い、3分間練り混ぜ後、容器底に付着したセメントを1分間かき落とし、再度2分間練り混ぜた。

ブリーディング速度の試験方法を、図 1 に示す。ガラス製メスシリンダー (2000cc,  $\phi 8.3 \times 36.9$ cm) に、2000cc のペーストを攪拌しながら投入し、試験開始後30分までは5分間隔で、次に試験開始後1時間までは10分間隔で、その後は30分間隔で3時間、ブリーディング高さを測定した。水セメント比は0.4, 0.5, 0.6, 0.75および1.0とし、高性

表1 セメントの化学成分

種類	化 学 成 分 (%)								比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
	強熱減量	不溶残分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	
OPC	1.2	0.4	21.9	5.0	2.8	64.2	1.7	2.0	3230

\*東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報  
 能減水剤を添加しないもの(以下プレーンペーストという)と高性能減水剤をセメントの重量比で1.5%添加したもの(以下SPペーストという)について試験を行った。

ブリーディング速度の算出は以下のように行った。ブリーディングの終了時間は水セメント比で異なり、またブリーディング速度は浸透流の影響が強くほぼ一定速度に近似できるが、終了に近くなると速度は低下し一定速度とはみなせない。そこで、最終ブリーディング量の約50%に相当するまでの期間(以下、半ブリーディング期という)、もしくは3時間後に半ブリーディング期に到達しない場合には3時間後のブリーディング速度から求めた。最終ブリーディング量は、測定上の理由から24時間後(硬化後)の見かけの最終ブリーディング高さから求めた。これは軽量モールド(φ10×20cm)に18cmの高さまでペースト試料を投入し、24時間後にブリーディング高さを測定し、この値に試験体高さ比(36.9cm/18.0cm)を乗じたものである。

### 3. 実験結果

プレーンペーストのブリーディング試験の結果を図2に

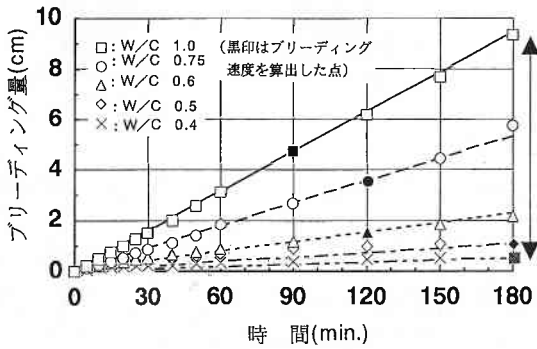


図2 ブリーディング試験結果(プレーンペースト)

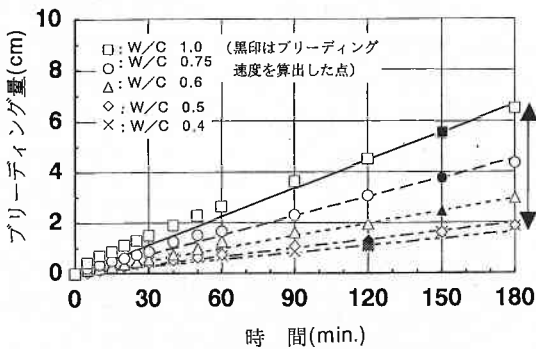


図3 ブリーディング試験結果(SPペースト)

示す。ブリーディング量は、いずれの水セメント比でも直線的に増加しており浸透流の影響が大きい。図中の直線は求められたブリーディング速度勾配を示している。図中の黒印は、ブリーディング速度の算出に使用した半ブリーディング期である。半ブリーディング期は、W/C=0.4と0.5では3時間後でも到達せず、W/C=0.6とW/C=0.75では120分後、またW/C=1.0では90分後であった。この結果は、ブリーディングの終了は水セメント比が低下するほど遅くなる傾向であった。

SPペーストのブリーディング試験の結果を図3に示す。SPペーストでは試験開始後60分程度まではブリーディング速度が若干、速くなる傾向が認められた。しかし、いずれの水セメント比でも直線的にブリーディング量は増加しており、この場合も浸透流の影響が大きいと思われる。また、SPペーストのブリーディング速度の算出に使用した半ブリーディング期は、W/C=0.4と0.5では120分後、W/C=0.6とW/C=0.75およびW/C=1.0では150分後であった。この結果は、プレーンペーストの場合とは逆にブリーディングの終了は水セメント比が低くなるほど速くなる傾向であった。また、図2のプレーンペーストの場合と

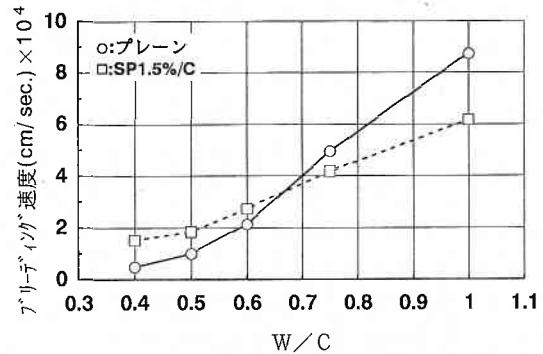


図4 水セメント比とブリーディング速度の関係

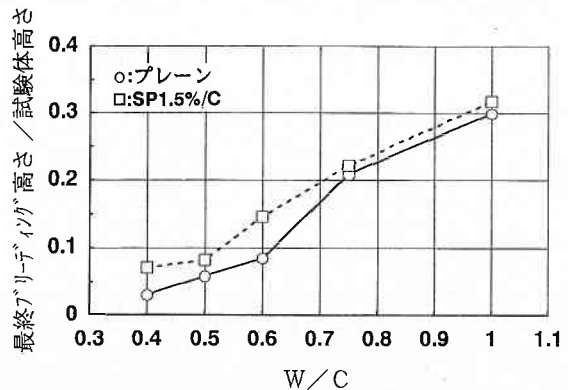


図5 最終ブリーディング高さ と試験体高さ比

図3のSPペーストの場合を比較すると、水セメント比によるブリーディング速度の差(図中、矢印範囲で示す)はプレーンペーストの場合には大きく、SPペーストの場合には小さいという結果であった。

水セメント比とブリーディング速度の関係を図4に示す。この結果より、高性能減水剤の添加は、水セメント比の高い場合にはブリーディング速度を遅くし、逆に水セメント比の低い場合にはブリーディング速度を速くするという影響を与えることがわかった。

最終ブリーディング高ささと試験開始時の試験体高さ比を図5に示す。すべての水セメント比で、SPペーストの方がブリーディング量は大きくなった。コンクリートでは、高性能減水剤を使用することによる単位水量の低減によって、ブリーディング量が低下することがわかっている<sup>2)</sup>。しかし、この結果から、もし同一配合に高性能減水剤を使用する場合には、ブリーディング量は大きくなる影響があり、使用方法によって考慮しなければならないと思われる。

以上の結果を考察するために、T.C. Powersのブリーディング速度に関する理論を用いることにした。

4. T.C. Powersのブリーディング速度に関する理論

T.C. Powersは、セメントペーストのブリーディング挙動を、セメントペースト中のセメント粒子と水の比重差による浸透流と考え、流体が粉体充填層を通過する流れに対して適用されるKozeny-Carmanモデルに基づいて次式で説明した<sup>3)</sup>。

$$Q = \frac{(\rho_s - \rho_f)g}{\eta k_c \sigma_{ap}^2} \left[ \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} - \alpha \right]^3 (1 - \varepsilon)^2 \quad (1)$$

- Q : ブリーディング速度
- $\rho_s$  : セメントの比重
- $\rho_f$  : 水の比重
- $\eta$  : 水の粘性係数
- $\sigma_{ap}$  : セメントの見かけの比表面積
- $1 - \varepsilon$  : ペースト単位容積中のセメントの絶対容積
- $\varepsilon$  : ペースト単位容積中の水の絶対容積
- g : 重力加速度
- $k_c$  : Carman定数
- $\alpha$  : 非移動水分/セメント容積比

ここで、見かけの比表面積 $\sigma_{ap}$ とは、図6に示すようにいくつかのセメント粒子が水中で水分を伴って1つの凝集体を形成して、その凝集体の比表面積を示している。この時、伴われる水分が非移動水分であり、凝集体を形成するためにセメント量に一定の割合で吸着する。セメント

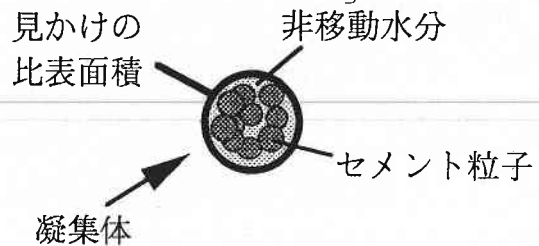


図6 見かけの比表面積

に吸着される水分のセメント容積に対する割合が $\alpha$ であり、その値は粉体ごとの固有のものであり凝集しやすいものほど値は大きくなる。またCarman定数は、一般的に5が広く用いられている。

(1)式はそのほとんどが定数として取り扱え、変数として考えなければならないのはセメントの見かけの比表面積 $\sigma_{ap}$ と非移動水分/セメント容積比 $\alpha$ のみである。

(1)式は(2)式に変形することにより、 $[Q/(1 - \varepsilon)^2]^{1/3}$ と $\varepsilon/(1 - \varepsilon)$ (水セメント容積比)は直線関係となる。

$$\left[ \frac{Q}{(1 - \varepsilon)^2} \right]^{1/3} = \left[ \frac{(\rho_s - \rho_f)g}{\eta k_c \sigma_{ap}^2} \right]^{1/3} \left[ \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} - \alpha \right] \quad (2)$$

そして、数点の水セメント比のブリーディング速度のデータを(2)式に従いプロットすれば、直線の傾きの項よりセメントの見かけの比表面積 $\sigma_{ap}$ を、またX軸との交点から非移動水分/セメント容積比 $\alpha$ を求めることができる。

5. 実験結果とT.C. Powers理論

(2)式を実験結果に適用するには、定数として取り扱うセメントの比重、水の比重、水の粘性係数、重力加速度およびCarman定数が必要である。用いた値を表2に示す。高性能減水剤を使用する場合には、水の粘性係数の変化を考慮しなければならないと思われるが、高性能減水剤の使用量がわずかで増粘効果はないこと、また仮に水の粘性係数に対して影響を与えるならば、高性能減水剤はセメント量に対して一定量添加しているため、それぞれの水セ

表2 計算条件

計算条件	
セメントの比重： $\rho_s$	3.15g/cm <sup>3</sup>
水の比重： $\rho_f$	1.00g/cm <sup>3</sup>
水の粘性係数： $\eta$	0.01002poises
Carman定数： $k_c$	5.00
重力加速度： $g$	980.6

研究速報

表3 非移動水分/セメント容積比  $\alpha$  と見かけの比表面積  $\sigma_{ap}$

得られた物性値	プレーン	SP
非移動水分/セメント容積比： $\alpha$	0.659	0
見かけの比表面積： $\sigma_{ap}$ ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ )	6421	11122

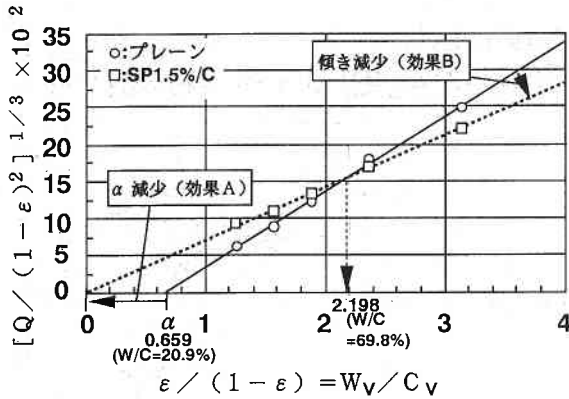


図7 (2)式を用いた試験結果

メント比では異なる粘性係数をもつこととなり、(2)式の係数項に影響するため直線性は得られないと考えた。そこで、今回は高性能減水剤は水の粘性係数に影響を与えないものとし、すべて実験条件である 20°C での水の粘性係数を用いた。また、Carman 定数についても本来は種々検討する必要があるが、今回は通常用いられる値 5 を使用した。

先に実験で得られた値を(2)式に代入し、プロットした結果が図7である。得られた非移動水分/セメント容積比  $\alpha$  とセメントの見かけの比表面積  $\sigma_{ap}$  をまとめて表3に示す。プレーンペーストではセメント1容積あたり水の容積 0.659 (水セメント比で20.9%) が移動不可能な状態となっていて、その非移動水分が高性能減水剤によってすべ

て開放され、SPペーストでは非移動水分/セメント容積比  $\alpha$  が 0 となったものと思われる(図7中 効果A)。この効果はブリーディング速度を大きくする。また、高性能減水剤によってセメントの見かけの比表面積  $\sigma_{ap}$  は1.7倍程度に増加し、図中の直線の傾きが小さくなり、ブリーディング速度が低下したと考えられる(図7中 効果B)。

以上の2つの効果が相殺され、水セメント容積比 2.198 (水セメント比で69.8%) では、プレーンペーストと SP ペーストのブリーディング速度は等しくなったと思われる。

6. ま と め

高性能減水剤がブリーディング挙動に与える影響に関して、セメントペーストを対象としたブリーディング速度の実験結果を考察した結果、以下のことがわかった。

- (1) 高性能減水剤の添加は、プレーンペースト中の水セメント比で約21%の非移動水分を開放する効果があり、ブリーディング速度を速くすると考えられる。
- (2) 高性能減水剤の添加は、見かけの比表面積を増大させる効果があり、ブリーディング速度を遅くすると考えられる。
- (3) 高性能減水剤の添加によって発生する2つの効果が相殺されることによって、水セメント比約70%では高性能減水剤を使用したペーストのブリーディング速度はプレーンペーストとほぼ等しくなると考えられる。

(1994年3月31日受理)

参 考 文 献

- 1) 國分正胤編：土木材料実験(改訂4版)、技報堂出版、pp. 104-105, 1982
- 2) 日本建築学会：高性能 AE 減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針(案)・同解説、pp. 130-133, 1992
- 3) T.C. Powers; The Properties of Fresh Concrete, John Wiley and Sons, Inc., 1968