

型枠の撥水性・平滑性の変化によるブリーディング挙動の変化と水みちの可視化による表面気泡生成メカニズムの考察

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 ○中山功暉

東京大学大学院工学系研究科 フェロー 石田哲也

鹿島建設(株) 正会員 吉田祐麻 渡邊賢三

徳山工業高等専門学校 正会員 温品達也

1 背景および目的

近年コンクリートの高耐久化が重要視され、特にかぶりコンクリートの品質を向上させる様々な技術開発が行われている。木村らは型枠に平滑で高撥水性を有する熱可塑性樹脂シートを貼り付けることによって型枠近傍のブリーディング率が減少することを¹⁾、また海老らは同様のシートを使うことで、合板と比較して表面気泡の低減が可能であることを実験的に示している²⁾。これらから、型枠の平滑性や撥水性がコンクリートの表面のブリーディング率や表面気泡に影響を及ぼしていると考えられるが、何れの要因が強く影響を与えているかは不明である。そこで、まず型枠表面の撥水性と粗度をパラメータとしてブリーディングに関する測定・観察を行い、これらの影響度を実験的に検討した結果について述べ、考察を与える。

2 簡易ブリーディング試験

2.1 型枠表面の撥水性と粗度の制御

本実験では、撥水性は水との接触角で、また粗度は算術平均粗さで評価するものとし、これらのパラメータを型枠表面に与えるため、熱可塑性樹脂シート（以下、シートと称す）を型枠表面に貼付して実験を行った。実験ケースとして、撥水性について2水準、粗度について2水準、さらにプラスチック（シート無し）を加えて5要因とした。表-1に、測定したシートの接触角及び算術平均粗さを示す。

表-1 各要因の接触角と算術平均粗さ

ケース	接触角 (°)		算術平均粗さ (μm)	
	H	L	滑	粗
シート	95	40	0.09	0.95
プラスチック	70.90		0.263	

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)		
	W	C	S
55.0	317	577	1320

2.2 実験概要

表-2に示す配合のモルタルを用いてブリーディング量の測定を行った。所定の時間ごとに打込み面に静置した吸水紙の重さの変化を測定するという簡易的な手法で、ブリーディング量を測定した。試験体は各要因につき2体ずつ作製し、試験体寸法はφ10×20cmの円柱供試体とした。打込みはシートを貼り付けた後4層に分けて行い、各層につき5秒間のテーブルバイブレーターによる締固めを行った。

2.3 実験結果

図-1に測定結果を示す。結果は2回の平均値で、ブリーディング率はJIS A 1123に従って求めたものである。接触角が大きいH (95°) およびプラスチックを用いた場合、接触角の小さいL (40°) に比べてブリーディング率が一割程度減少していることが確認できた。一方で、粗度の変化に関しては大きな影響が見られなかった。以上から、ブリーディング率は型枠の接触角が大きいほど減少し、粗度の影響は小さいことが示唆された。

3 ブリーディングの可視化実験

3.1 実験概要

型枠の接触角が大きい場合にブリーディング量が減少するメカニズムを解明するために、水みちを可視化することによって視覚的に水の動きを観察する実験を行った。水みちの可視化に関しては打重ね面に蛍光塗料を散布する方法などが試されている³⁾。しかし従来の方法では打重ね面でのW/Cの上昇や、塗料の分布の不均一性という課題があるため、本実験では練混ぜ水に蛍光塗料を混ぜることによって着色したモルタルを使用し、着色モルタルと通常モ

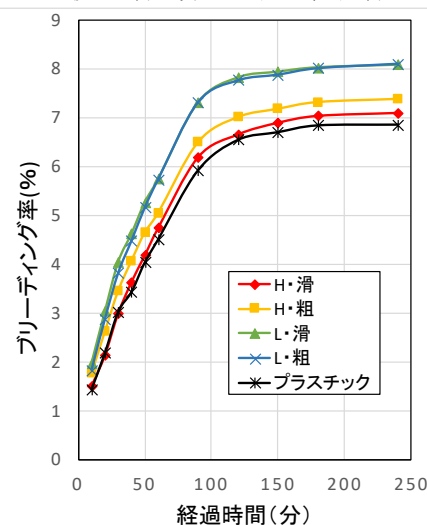


図-1 簡易ブリーディング試験の結果

キーワード：ブリーディング，表面気泡，撥水性，平滑性，熱可塑性樹脂シート

連絡先：〒113-8654 東京都文京区本郷7丁目3-1 東京大学コンクリート研究室 TEL03-5841-7498

ルタルを交互に打ち重ね、層の境目部分の水の動きを可視化する実験を行った。モルタルの配合は表-2 に示した通りで、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のプラスチックの円柱試験体を用い、打込みは 4 層打ちで行った。締固めを行わないケースと、各層につき 5 秒間のテーブルバイブレーターによる締固めを行ったケースの 2 パターンを行い、型枠条件は前述のものと同じ 5 種類を設定した。

3.2 側面の観察結果

図-2 の左側は締固めなし、右側は締固め有りの側面の写真であり、型枠条件は共に「滑・H」のケースである。型枠条件による側面の外見には大きな変化がなかったが、異なる締固め条件では外見に違いが生じた。締固めをしない場合は無着色の層と着色された層の境目が滑らかではっきりしている。一方で締固めを行った場合は、境目に着目すると着色部が楯状に伸びており、その塗料の伸びた先には気泡が存在していることが観察された。このことから、締固めによって気泡が上昇すると、その道筋が水みちとなりやすく、局所的なブリーディングが発生することが示唆された。型枠の撥水性が高い場合に表面気泡が少ないという既往の実験結果²⁾と合わせて考えると、撥水型枠では表面気泡が少ないため、局所的なブリーディングの発生箇所が減少することにより、最終ブリーディング量が低減される可能性が示唆された。

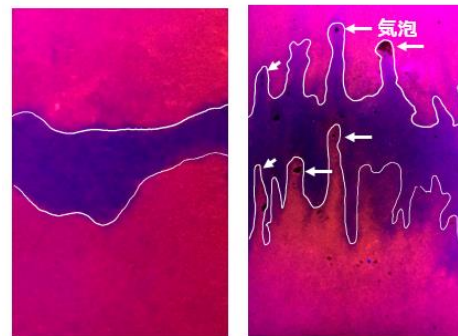


図-2 モルタル側面の観察

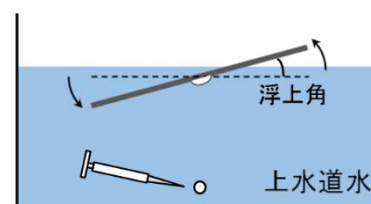


図-3 簡易実験概要図

4 コンクリート表面気泡の生成メカニズムの考察

4.1 簡易実験による単一気泡の移動性の検証

ブリーディングと気泡の動きに関連性があることが示唆されたため気泡に関する検討を行った。園山らの実験⁴⁾を参考に、型枠表面の撥水性と粗度が、水中の単一気泡の移動に与える影響を確認するため、以下に示す簡易実験を行った(図-3)。上水道水を入れた水槽に、シートを貼付したプラスチック製の薄板を水平に沈め、下方からシリンジを用いて単一気泡を薄板表面に付着させる。その後、静かに薄板を傾け、薄板表面の気泡が動き出す時の傾き(以降、浮上角と称す)を計測した。計測は各要因 10 回ずつ行い、表-3 にその平均値を示す。表より、接触角及び算術平均粗さが大きいほど浮上角は大きくなり、気泡は移動しにくくなる傾向にあることが確認された。本実験の条件下では気泡の移動に対し、粗度と比較して撥水性の方がより強い影響を与えることが確認できた。

表-3 簡易実験の結果

接触角 (°)	算術平均粗さ(μm)		
	0.09(滑)	0.55(中)	0.95(粗)
95(H)	45.0	59.3	67.4
60(M)	45.3	51.4	49.8
40(L)	39.9	41.6	40.2

4.2 表面気泡生成メカニズムの考察

以上の結果を踏まえ、表面気泡生成メカニズムについて、以下のように仮説を立てた。まず打込み直後、型枠近傍には、打込み時に巻き込んだ比較的大きな気泡であるエントラップエアと、練混ぜ水に含まれるエントレインドエアが存在する。気泡サイズが大きいほど、付着面積に対する浮力が大きいため、締固めを行うとエントラップドエアは上昇し、空气中へ抜けていく(図-4, 上)。一方でエントレインドエアは、締固めによって浮上しないまでも、互いに移動し合泡することで顕在化し、ある程度大きくなると徐々に浮上を始める(図-4, 下)。この浮上の様子はブリーディングの可視化実験で観察されたものだと考えられる。その後、締固めを終了すると、浮力・付着力・コンクリートのせん断抵抗力が釣り合い、表面気泡として残る。このメカニズムを仮定すると、撥水性の型枠は、界面の影響が大きいエントレインドエアの成長を抑制し、顕在化を防ぐことで表面気泡減少を実現し、さらにそれに伴う局所的なブリーディングの発生箇所を低減させ、最終ブリーディング量の抑制に寄与すると考えられる。これによって今まで得られた結論と矛盾しない、統一的な理解が可能となる。

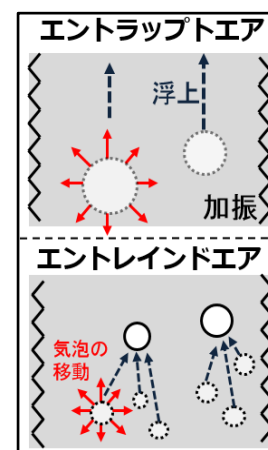


図-4 気泡生成メカニズムの概念図

参考文献

- 1) 木村ら：熱可塑性シートによるブリーディング抑制効果，土木学会第 69 回年次学術講演概要集，V-62，2014
- 2) 海老ら：締固め方法や熱可塑性シートの張り付け方法が表面気泡に与える影響，土木学会第 69 回年次学術講演概要集，V-65，2014
- 3) 松崎ら：配合と養生がコンクリート表層の透気性に及ぼす影響程度に関する一考察，土木学会第 64 回年次学術講演概要集，V-217，2014
- 4) 園山ら：濡れ性の悪い水平平板上に付着する気泡の大きさと形状，鉄と鋼，vol.36，No.11，pp709-716，2000