

## 増粘剤によるブリーディング抑制が組織形成に及ぼす影響

金沢大学工学部 石 垣 俊  
金沢大学大学院 正会員 五十嵐 心一

### 1. 序論

高水セメント比のフレッシュコンクリートにおいて、セメントや骨材が沈降して、組織に不均質性が生じる場合、この組織変化が硬化コンクリートの性能に及ぼす影響は大きい。このブリーディングを微視的な見地から見ると、局所的に水セメント比が変化しており、組織を構成する粒子の分布構造が変化していることを意味する。

本研究では、セメント硬化体中の未水和セメント粒子や粗大毛細管空隙の空間構造に着目し、材料分離抵抗性と高流動性の確保を目的とした増粘剤と高性能減水剤の添加によるブリーディング抑制効果を、内部粗大毛細管空隙構造およびセメント粒子分散の幾何学的特徴の変化から定量的に評価することを目的とする。

### 2. 実験概要

#### (1) 反射電子像観察

セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、さらに JIS R 5201 および JSCE-F506 に準じて水セメント比が 0.6 のセメントペーストを練混ぜ、直ちに直径 50mm、高さ 100mm の円柱供試体に打設して静置した。なお、供試体の材齢 1 日までのブリーディング率は JIS A 1123 に準じて測定したところ約 18%であった。また、ブリーディングを抑制するためにセルローズ系増粘剤に高性能減水剤を添加した供試体を同様の手法で作製した。添加量は、ブリーディングを抑制する最低量とし増粘剤は水量の 0.6%、高性能減水剤はセメント質量の 0.6%とした。それぞれの供試体は脱型後、20℃の水中養生を行った。材齢 1 日および 7 日にて各供試体の

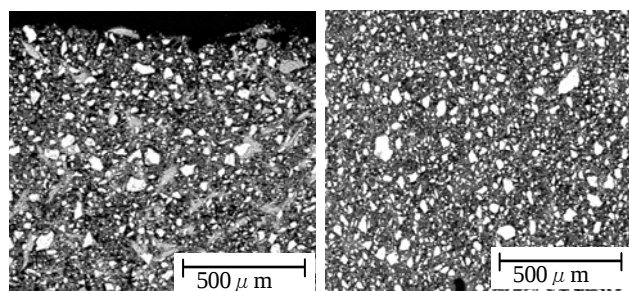
上部(上面より 10mm)、中部(上面より 50mm)、下部(上面より 100mm)の 3 箇所から 10mm 四方の角柱試料を切り出し、エタノール置換および t-ブタノール置換を行い、凍結真空乾燥装置を用いて水分を除去した。乾燥後の試料に対してエポキシ樹脂を含浸させ、表面を耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーを使用して研磨し、金・パラジウム蒸着を行い反射電子像観察試料とした。

#### (2) 画像取得方法

試料から観察倍率 100 倍、500 倍にて抽出した断面の反射電子像をパーソナルコンピュータに取り込んだ。1 画像は 1148×1000 画素からなり、1 画素は観察倍率 500 倍では 0.221  $\mu\text{m}$  に相当し、無作為に抽出した。取り込んだ画像に対してグレースケールに基づいて、未水和セメントおよび粗大毛細管空隙に対する 2 値化を行い面積率を求めた。

#### (3) 2 点相関関数

未水和セメントの分布状況や、それらの粒子の相関関係を調べるために 2 点相関関数を用いた。2 点相関関数は、ある一定の長さの線分をランダムに落とした時に、その両端が同一相に入る確率関数である。画像上の任意の未水和セメント上から、半径の異なる同心円と放射線を引き、その交点が未水和セメント上にある数を数えて 2 点相関関数を求めた。この操作を画像上の無作為に選択された点で行った。2 点間の距離が長くなるにつれて両者には相関性がなくなるので関数は、ある値に収束していく。理論上は、画像中に存在するセメント粒子の面積率を  $\Phi_0$  とすれば、距離の増加にともない関数値は  $\Phi_0^2$  に収束する。横軸に 2 点間の距離、縦軸に 2 点相関関数の確率をプロットしていくと、セメント粒子の分布状況を定量的に表すことができる。この収束値  $\Phi_0^2$  に最初に接する値までの 2 点間距離を構造距離といい、これは粒子の分布を表すひとつの特性値である。同一の  $\Phi_0$  に対して構造距離が大きいとは粗大な粒子が存在する、もしくは凝集構造を形



(a) 普通供試体上部 (b) 増粘剤供試体上部

図-1 供試体上部断面の反射電子像

成していることを意味し、構造距離が短くなれば寸法の小さい粒子が多く存在していることを示す。また、この2点相関関数の傾きは比表面積を表しており急であれば寸法の小さい粒子が多く比表面積が高く、緩やかであれば粗大な粒子が多く比表面積は低い。

### 3. 結果および考察

図-1は供試体上部の反射電子像を示したものである。ブリーディングを生じた場合は非常に多孔質な組織であり、目視によっても組織の不均質性が確認できる(図-1(a))。これに対し、図-1(b)の増粘剤供試体はセメント粒子および粗大毛細管空隙ともにその全体的な空間分布が均質であることがわかる。

図-2は普通供試体および増粘剤供試体の各部位における未水和セメント体積率および粗大毛細管空隙率の経時変化を示したものである。普通供試体は上部から下部に向かい未水和セメント体積率が増加しており、ブリーディングによる材料分離の影響が現れている。また、粗大毛細管空隙率の経時変化については、普通供試体は上部から下部に向かって体積率が減少し、鉛直方向に関して局所的に水セメント比が変化していることがわかる。増粘剤供試体では各部位における未水和セメント体積率および粗大毛細管空隙率ともに深さ方向に体積率の変化は認められず、供試体全体として均一な組織が形成されている。

図-3は普通供試体および増粘剤供試体の各部位における未水和セメントの2点相関関数を示したものである。上部では、材齢1日において増粘剤供試体の関数値が大きく、より多くの粒子が存在しているが、構造距離に大きな差はなかった。また、材齢7日では両者の関数は一致し、分離や増粘剤の影響は認められない。供試体中部では材齢1日および7日とも両者の差は小さいようであるが、材齢1日で普通供試体の構造距離が大きくなっている。

一方、下部では普通供試体と増粘剤供試体の2点相関関数の相違はより明確である。材齢1日においては、増粘剤供試体の方が構造距離が小さくセメント粒子の凝集範囲および粒子寸法が小さくなっており、より水和が進行していることがわかる。また下部では、上部および中部とは異なり、材齢7日の普通供試体の関数値が増粘剤供試体のものよりも大きく、差異は明らかである。しかし、その傾きは近似しており、これは

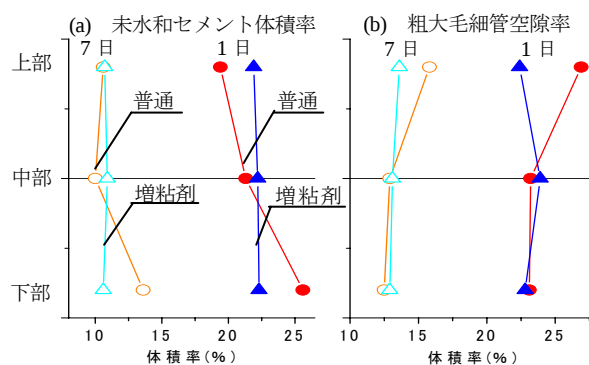


図-2 鉛直方向の構成相体積率の経時変

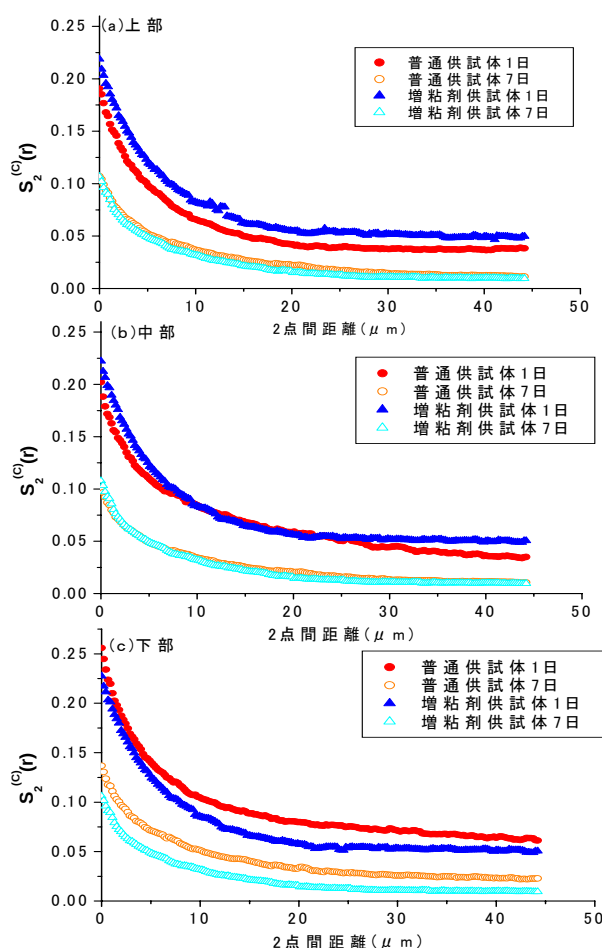


図-3 未水和セメントの2点相関関数

比表面積が同じであることを示している。すなわち、普通供試体ではセメント粒子の沈降により水セメント比が局所的に低く、セメント粒子は凝集し、水和の進行程度が小さくなったのに対し、増粘剤供試体ではそれに比べて水セメント比が高く、水和がより進行したことを示している。

### 4. 結論

増粘剤を使用することにより、セメント粒子が均一に分散するようになり、水和の進行は供試体のどの部位でも同様に進行していることが2点相関関数により示された。