

ブリーディングにともなうセメントペーストの組織変化の定量評価

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

金沢大学工学部 正会員 渡辺 暁央

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、粉体および骨材が沈降し、構造物中の鉛直断面方向において組織に不均質性が生じる時、この組織変化が硬化コンクリートの品質に及ぼす影響は大きいと考えられる。一方、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(W/C)が変化していることであり、これは内部組織の多孔質性に変動を生じていることを意味する。ブリーディングはコンクリートの耐久性や力学的特性に重大な作用を及ぼすと考えられるが、これと内部粗大毛細管空隙構造の変化について詳細に研究した例は少ない。

本研究では W/C=0.6 のセメントペーストを打設し、その鉛直断面方向の内部構造の変化を明らかにすることを目的とした。さらにブリーディング抑制を意図した継続練混ぜの組織形成への影響について検討を加えた。

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 W/C 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（以後、普通練混ぜ供試体と称す）。また、打設に必要なワーカビリティを有し、かつブリーディングを生じないと判断されるまで練混ぜを継続（約 12 時間）した後、同じく円柱供試体に打設した供試体（以後、継続練混ぜ供試体と称す）も作成した。それぞれの供試体は脱型後、20℃ の水中養生を行った。なお、普通供試体の材齢 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。材

(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 100 倍では約 1.10μm、観察倍率 500 倍では 0.221μm に相当する。観察倍率 100 倍では試料上面より鉛直方向に連続的に画像を抽出し、500 倍では無作為に抽出した。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。

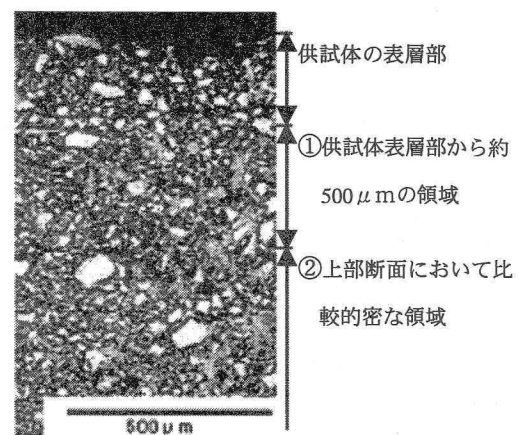


図-1 普通練混ぜ供試体表層部の反射電子像

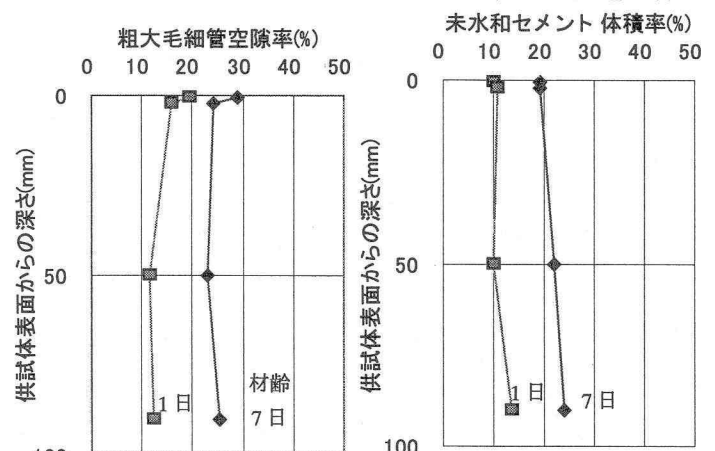


図-2 普通練混ぜ供試体の鉛直方向の内部組織変化

(3) 圧縮強度試験

(1)で記述したものと同様に作製、養生を行った供試体を用いて、所定材齢にて JIS A 1108 に準じて、圧縮強度試験を行った。

3. 結果および考察

図-1 は普通練混ぜ供試体における上部断面の反射電子像の例である。供試体表層部においては非常に多孔質な組織をしている。供試体表層部から約 $500\mu\text{m}$ の深さまでの領域①では粗大毛細管空隙が多く多孔質な組織であり、それより下の領域②において組織は比較的密であり、中部および下部との組織の相違は目視からは識別できなかった。

図-2 は普通練混ぜ供試体の上部、中部、下部における粗大毛細管空隙率および未水和セメント体積率を示したものである。粗大毛細管空隙率に関しては、領域①で大きくなくなっているが、材齢 1 日においては領域②と中部および下部の空隙率の差は小さくない。材齢 7 日においては上部とその他の領域の粗大毛細管空隙率の差は大きくなり、供試体中部および下部と比較して上部は約 4% 程度大きな値を示している。一方、未水和セメント体積率に関しては、上部から下部に向かって若干、未水和セメント体積率が大きくなっており、これはセメント粒子の沈降の影響を受け、上部は局所的に W/C が高く、下部は W/C が低くなっているためである。ゆえに上部においては他部位よりも粗大毛細管空隙率が高く、さらに高 W/C であるために水和度が高くなり、未水和セメント体積率が低くなったといえる。

図-3 は継続練混ぜ供試体における上部および下部の断面の画像解析から得られた粗大毛細管空隙率を示したものである。いずれの材齢においても上部と下部では粗大毛細管空隙率の差は小さく、材料分離による鉛直断面方向の内部組織の変化は認められない。図-2 の普通練混ぜ供試体の粗大毛細管空隙率と比較すると、材齢 1 日においては継続練混ぜ供試体の方が粗大毛細管空隙率が低くなっている。これは練混ぜを続けることでセメント粒子の分散が良くなったためと考えられる。しかし、材齢 7 日では継続練混ぜ供試体と普通練混ぜ供試体では上部の粗大毛細管空隙率に大差はなく、また、下部の粗大毛細管空隙率は継続練混ぜ供試体のほうが大きく、組織は粗になっている。

図-4 は普通練混ぜ供試体と継続練混ぜ供試体の圧縮強度を比較したものである。継続練混ぜ供試体の圧縮強度は普通供試体よりも低く、脆弱な構造であったことが示唆される。

図-5 は普通練混ぜ供試体と継続練混ぜ供試体における材齢 1 日中部の反射電子像の例である。普通練混ぜ供試体では、全体に均一に粗大毛細管空隙が分布しているのがわかる。一方、継続練混ぜ供試体の組織の特徴は普通練混ぜ供試体とは明らかに異なり、繊維状の大きな水酸化カルシウムの結晶が確認できる。さらに局所的に大きな空隙が認められ、粗大毛細管空隙構造は異なる。

4. 結論

本研究より高 W/C の普通練混ぜ供試体においてブリーディングにより不均質な組織が形成されることが確認され、材料分離の影響は粗大毛細管空隙構造やセメント粒子の充填性にも現われることが分かった。一方、高 W/C のコンクリートの内部組織を検討する際、ブリーディングの影響を除去するために、ブリーディングがなくなるまで練混ぜを長時間継続し、組織観察や物性の検討が行なわれる場合がある。しかし、その微視的構造は通常の練混ぜ過程を経て作成されたコンクリートとは全く異なることが示され、これを高 W/C のセメントペーストの組織を代表するものとして取り扱うことは必ずしも適切ではないことが示唆された。

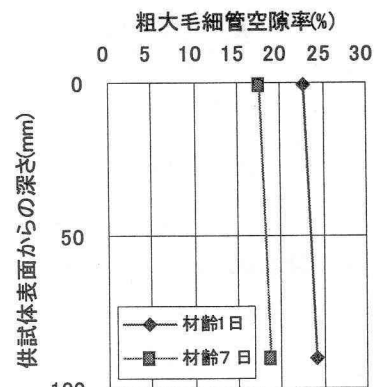


図-3 普通練混ぜ供試体の鉛直方向の内部組織変化

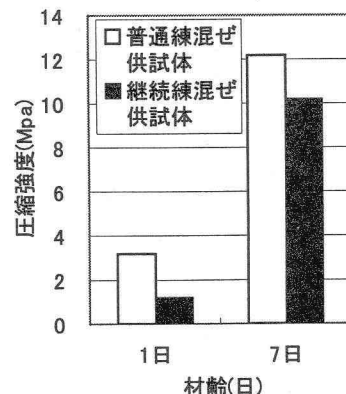


図-4 圧縮強度試験結果

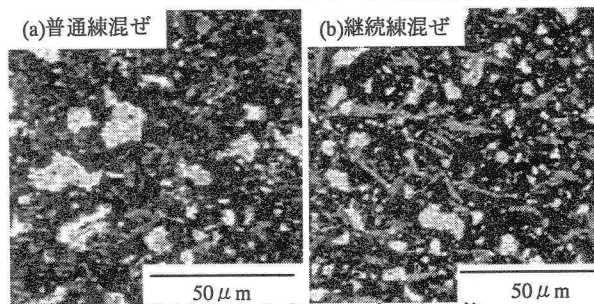


図-5 供試体中心部の反射電子像