

X線CTでのセメントペーストの可視化によるセメント粒子結合の検討 Study on Cement Grains Combination in Cement Paste by X-ray Computerized Tomography

笠井 哲郎^a, 伊藤 祐二^b
Tetsuro Kasai^a, Yuji Ito^b

^a 東海大学, ^b リブコンエンジニアリング(株)
^aTokai University, ^bLivecon Eng. Co. Ltd.

主要な建設資材であるコンクリートはセメント、水、砂、砂利および必要に応じて混和材料をミキサー等で練り混ぜることにより製造される。申請者は練混ぜ水を分割して投入する分割練混ぜにより、コンクリートの諸物性を改善する効果発生のメカニズムの解明を進めている。練混ぜ方法を変えたセメントペースト（CP）のX線CTスキャンにより、セメント粒子の分散・凝集構造の変化を捉えることを試みた。解析は終了していないが、練混ぜ方法の相違によりセメント粒子の分散・凝集構造が変化することが確認できた。

キーワード： コンクリート、X線CTスキャン、セメント粒子の分散・凝集構造

背景と研究目的：

主要な建設資材であるコンクリートはセメント、水、砂（細骨材）、砂利（粗骨材）および必要に応じて加えられる混和材料をミキサー等で練り混ぜることにより製造される。使用材料が同じでも練混ぜ方法、材料投入順序を工夫することでフレッシュコンクリート（固まる前のコンクリート）や硬化コンクリートの諸物性を改善できることは古くから知られていたが、その条件や効果に関する系統だった検討は成されていない。

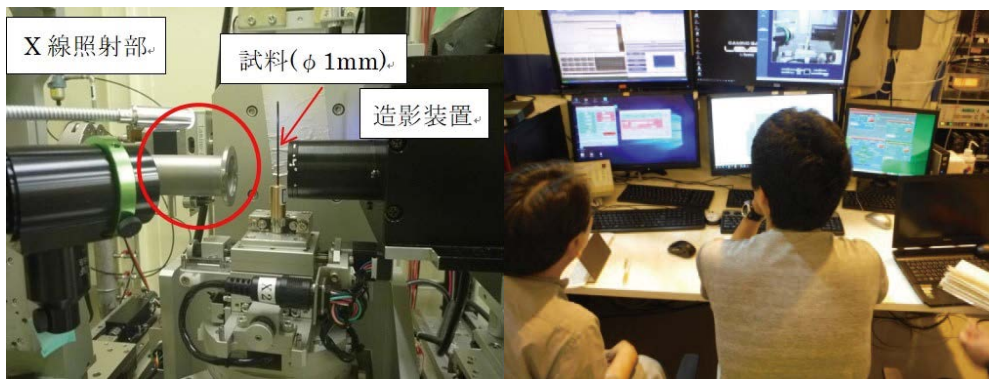
申請者らは、練混ぜ水を分割して投入することで通常の練混ぜ方法に比べ、フレッシュコンクリートの性質が変化し、特に、ブリーディング（練混ぜ直後からの水の分離）の低減や流動特性を大幅に改善できることを示した。この工法は、従来の一括で練混ぜる方法に対し、分割練混ぜ法と呼ばれ、SEC工法とダブルミキシング工法が実用化され、吹き付けコンクリートやプレキャストコンクリートの製造などに広く適用されている。一方で、分割練混ぜによるこれらの効果の発生メカニズムについて、これまで様々な検討が行われてきたが、その解明には至っていない。有力な説の一つは、セメントと水の練混ぜにおいて、セメントと一次水をキャピラリー状態となる量で練り混ぜた後（一次練り）、残りの水（二次水）を加え練混ぜて製造したセメントペーストでは、セメント粒子の分散・凝集構造が大幅に変化し、水を保水しやすい構造となりブリーディングを大幅に低減するとしている。しかし、セメントペースト中のセメント粒子の分散・凝集構造を明確に捉えた観察結果はなく、上記の説も想像の域を脱し得ないものである。

そこでBL20XUの装置を用いて、練混ぜ方法の相違によりセメントペースト中のセメント粒子の凝集・分散構造がどのように変化しているかを視覚的に、また定量的（粒子の接点数や平均間隔など）に評価できれば、コンクリートのフレッシュ性状（ブリーディング特性、流動性、分離抵抗性など）の性能向上のメカニズムの解明ができるものと予想する。この解明により、さらなる練混ぜ方法の改善や分割練混ぜ工法の適用範囲を広げることができる等が期待される。

実験：

- ・試料の条件：水セメント比（W/C）を50%、60%としたセメントペーストおよびセメント粉体。また、練混ぜ方法と時間の相違、高性能減水剤の有無などを変えた64ケース。
- ・計測条件：内径1mmのポリイミド管に試料を高さ3cm程度入れ、管を立てた状態でX線CTスキャンを実施し、300μm立方体のCTスキャンデータを得た。照射条件はBL20XUのラインで30keVの出力、回転角0~180degを90000pulseである。

測定状況を写真に示す。



結果および考察：

図1に試料の X 線 CT スキャン測定結果 (300 μm 立方体) から、データを見るために切り出した切断画像の定義を示す。この図では 300 μm 立方体の右側面から見て、深さ B 平面と深さ C 平面の間の厚さ (C-B) 分を切り出して、三次元画像としている。この図に示すように厚さを変えることで、厚さ方向の大きさが変わり、画像の見え方も変化する。

図2に分割練混ぜた W/C=60%のセメントペースト (CP) の切断画像 (300 μm \times 300 μm \times 厚さ 5 μm) を示す。この図より、一般的 X 線 CT スキャン装置での場合にはセメント粒子の輪郭がぼやけ微細粒子の存在も明確でないが、BL20XU での測定ではセメント粒子の輪郭や微細セメント粒子がより明瞭に判別でき、精度の優位性は明らかであった。当然であるが、測定結果に伴って CP 中のセメント粒子の粒度分布などの測定結果も異なってくる。

現在、測定データの解析中ではあるが、練混ぜ方法の相違によってセメントペースト中のセメント粒子の分散・凝集構造が変化することがより明確に確認できた。

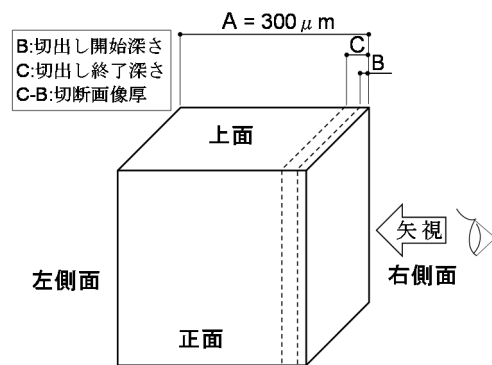
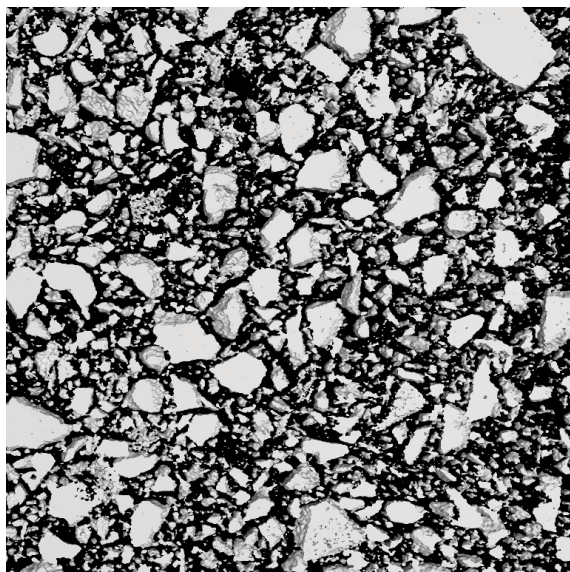
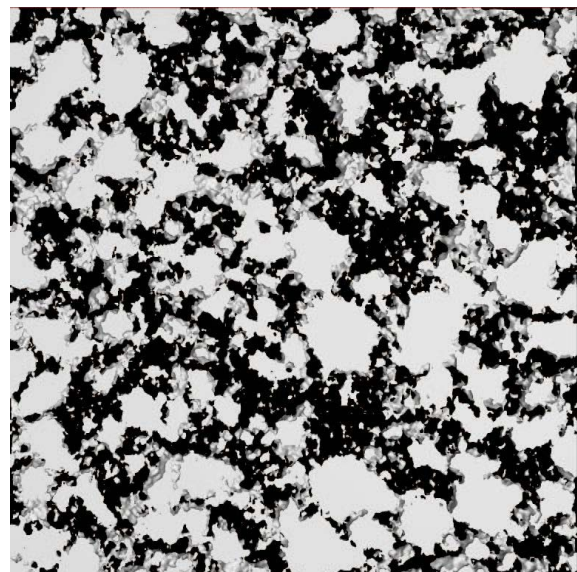


図1. 切断画像の定義



(BL20XU 使用)



(一般的 X 線 CT スキャン装置使用)

図2. 分割練混ぜ CP の X 線 CT スキャン装置による切断画像の比較