分割練混ぜしたペースト中のセメント粒子凝集状態の高精度X線CTによる検討

東海大学大学院 学生会員	○市川修平	同左:	学生会員	外山友貴
リブコンエンジニアリング㈱ 正会員	山本光彦	同左	正会員	伊藤祐二
		東海大学	正会員	笠井哲郎

1. はじめに

コンクリートの分割練混ぜには Sand Enveloped with Cement (SEC) 工法や Double Mixing (DM) 工法がある. これらの工法 では、ブリーディングの低減やセメントの初期水和の向上などの 改善効果を示すことが報告されている^{1),2)}.また,これらの品質 向上のメカニズムに関しては様々な検討が行われ、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 水)を加え練り混ぜて製造したセメントペーストでは、従来の練混 ぜ (一括練混ぜ: Single Mixing, SM)に比べ, 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²⁾.このセメント粒子の分 散・凝集構造に関し,光学顕微鏡やレーザー顕微鏡などによる観察 が行われているが、いずれもセメントペーストを高倍率で薄めた条 件のものであり、実際の濃度で明確に捉えた観察結果はなく、前述 の分散・凝集構造の変化に伴う効果発現の説も想像の域を脱し得な い.

そこで SPring-8(施設者:国立研究開発法人理化学研究所(理研),利用促進業務:公益財団法人高輝度光科学研究センター)所有の中尺ビームライン(BL20XU)³⁾を用いて,実濃度のペースト中のセメント粒子の分散・凝集構造に関し,X線CTスキャンによって視覚的,および定量的(粒子の体積や個数など)な評価を試みた. 2.実験概要

2.1 使用材料および練混ぜ方法

使用セメントは普通ポルトランドセメント(以後 NC と記す,密度: 3.16 g/cm³,比表面積: 3280 cm²/g),水道水を用い,水セメント比 60%のセメントペースト(以後 CP と記す)を図-1 に示す SM と DM の練混ぜ方法で製造した.

2.2 試験装置

X線CTは、対象物をX線が透過する際の「透過しやすさ」や「吸収されやすさ」の違いを利用して、材質や構造を調べる装置である.物体を様々な方向からX線で撮影し、再構成処理を行うことにより、物体の内部構造の情報を立体的に得ることができる.実際に使用したX線CTスキャン装置の照射部および計測制御装置を写真-1に示す.

2.3 試験手順

CT スキャンは以下の手順で実施した.内径 1mm のポリ イミド管に観察試料を 3~5cm 入れ,管を立てた状態で X 線 照射部の回転台に設置した(写真-1).照射は試料底から 1mm 程度上の気泡のない部分とした.CP 練上り後 10 分で CT スキャンを測定時間 5 秒で行った.CT スキャンデータ は画像構成ソフト:「myVGL3.2」(V 社製)を使用し,試料 の中心部を 1 辺が 200 μ m の立方体の画像として再構成し た.その後,得られた画像より粒度分布を算出し,CT スキャン像は幅 200 μ m×高さ 100 μ m×奥行き 5 μ m の 3 次元切断 画像として求めた.図-2 に CT スキャンのモデルを示す.

DM: C+W₁(+Ad) → W₂ → 排出 SM: C+W (+Ad) → 排出

図-1 CPの練混ぜ手順



写真-1 X線照射装置



図-2 CT スキャンのモデル



キーワード X線 CT, SEC 工法, セメント粒子, 凝集体

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学 TEL. 0463-58-1211 FAX: 0463-50-2045

実験結果および考察

3.1セメント粉体

図-3に使用した NC のレーザー回折散乱法による粒度分布を示す.この図より,NC 粒子の体積の中間値(体積比 50%)における平均粒径は15µm 程度であるにも拘わらず,粒子個数の 95%以上が 3µm 未満の粒子径であることが分かる.図-4(a)に NC の CT スキャン像を示す.この図より,大多数を占めているはずの 3µm 未満の粒子がほとんど認められないこと,直径 10~50µm の塊が多数あり,これら塊の表面形状や断面の空隙状態などから,3µm 以下の粒子は凝集体(集合体)を形成しているものと推察される.

3.2 練混ぜ方法が相違した CP

図-4 (b), (c) に練混ぜ方法を DM および SM とした CP の CT スキャン像を示す. この図より, CP は練混ぜ方法によらず,セメント粒子の集合体が存在していることが分かる. NC と比較すると,元々セメント粉体に存在していた凝集体が, CP になっても残存しているものと考えられる. これはセメント粉体中の凝集体が CP の練混ぜ時のエネルギーでも壊されにくい強い凝集力が示唆される. また, DM と SM の場合を比較すると DM の場合の方は凝集体が小さめとなっている. これは一次練混ぜ時に大きな剪断力で CP が練り混ぜられることによって,セメント凝集体の分解や表層部の破壊が生じるためと考えられる.

図-5 に練混ぜ方法を DM および SM とした CP のセメント粒子の粒度分 布を示す. この図は 200µm 立方体の CP に含まれる,セメント粒子の結 果を示しており, CP 中のセメント粒子の粒度分布は全て同一体積の CP を対象としている. この図では DM と SM の場合の粒子体積はほぼ等し いが,粒子数は DM の場合が SM に比べて小さい. 粒度分布では粒径で 9 ~15µm の粒度部分が DM の場合に減少しているが,粒径で 33~36µm の 粒度部分が DM の場合に多いため,このような結果となっている.

4. まとめ

- (1) 練混ぜ方法を変えたセメントペーストのセメント粒子は、練混ぜを行っても気中で形成されていた多数のセメント凝集体がそのまま残存していた.このことはセメント粉体
 中の凝集体が、練混ぜでも壊されにくい強
- い凝集力が示唆される. (2) セメント粉体粒子数の 95%以上を占める 3µm 以下の粒子は高精度 X 線 CT スキャン によっても観察できない部分が多いと考え られた.

本観察結果から今後セメントペースト中の微小 粒子凝集状態をより詳細に観察する方法を検討 し、今後練混ぜ方法の相違によるセメント粒子の 分散・凝集構造に関し、モデル化を行う予定であ る.

【参考文献】

- 一般財団法人土木研究センター,建設技術 審査証明報告書:性能向上のために分割練 混ぜをしたコンクリート「SEC コンクリー ト」,(建技審証 第 0309 号), p.2 (2018).
- 田澤榮一,笠井哲郎:フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果,土木学会論文集,No.396,V-9,pp.135-142 (1988).
- 国立研究開発法人物質・材料研究機構 HP 参照: https://www.nims.go.jp/personal/X rayCT/about/index.html 参照日 2019/06/12



図-4 NC と CP(DM と SM) スキャン像



図-5 CP (DM と SM) におけるセメント粒子の分布