

SEC コンクリート中のセメント粒子の結合状態の可視化に関する考察

東海大学 学生会員 ○市川 修平
 リブコンエンジニアリング(株) 正会員 山本 光彦

東海大学大学院 学生会員 外山 友貴
 リブコンエンジニアリング(株) 正会員 伊藤 祐二
 東海大学 正会員 笠井 哲郎

1. はじめに

SEC (Sand Enveloped with Cement) 工法や DM (Double Mixing) 工法は、一括練混ぜのコンクリートに比べ、ブリーディング (BL) が抑制され、ポンプ圧送性等が向上する。また、吹付けコンクリートに使用した場合、コアの圧縮強度が増大するなどの報告がある¹⁾。この効果の発生メカニズムに関し、いくつかのモデルが提案されているが、未だに明確にされているとは言い難い。

そこで、本研究は、セメントペーストによる分割練混ぜ工法の効果発生の既往モデルおよび X 線 CT を用いたセメント粒子の可視化によって結合状態を検証し、新たなセメント粒子の結合モデルを提案した。

2. 既往の研究,

分割練混ぜ (SEC・DM) 効果の発生機構に関し、吉岡ら²⁾は図-1 のモデルを提案している。以下に詳細を述べる。

①自由沈降

沈降実験において、安定な分散系では、粒子表面の電気二重層または吸着層の存在によって粒子の凝集が妨げられ、ほぼ単分散し自由沈降する。

②分割練混ぜ (DM)

注水直後には、粒子は強固なアグロメレートを形成するが、一次練混ぜ時のキャピラリー状態による強力なせん断力でアグロメレートの大部分は破壊され、一次または二次粒子となる。二次練混ぜ時には、これらが再び結合してブロックを形成し、このブロック内に拘束水をより多く保持する嵩高い三次元の網目構造となる。

③一括練混ぜ (SM)

粒子は注水直後にアグロメレートを形成し、練混ぜ後のアグロメレートは、粗大なまま沈降する。SM ではアグロメレートを十分に破壊できない。最終的に綿毛状のアグロメレートブロックとして集合体・堆積層となる。

3. X 線 CT によるセメント粒子の観察

既往の研究より、セメント粒子の結合状態がフレッシュコンクリートの性状を特徴づけていることに着目し、セメントペースト中のセメント粒子の状態を X 線 CT により可視化することを試みた。

3. 1 試験方法

(1)使用材料および練混ぜ方法

普通ポルトランドセメント (NC, 密度: 3.16g/cm^3 , 比表面積: $3.190\text{cm}^2/\text{g}$) を使用した。W/C=60%とし、SM と DM で製造した。セメントペーストの練混ぜ手順を図-2 に示す。

(2)測定方法

G 社製「Phoenix nanotom」を用いて、試験試料を内径 1.4mm のストロー状の筒に入れて、底部から 1.0mm 程度上側の部分を観察した。なお、V 社製「データビューワーソフト (簡易ソフト) my VGL3.0」で閾値および試料厚さを変化させた画像を得た。

3. 2 観察結果

(1)気中の普通セメント (NC) 粒子の状態

写真-1 に気中の NC の状態を示す。一般に普通ポルトランドセメントは $0.3\sim 90\mu\text{m}$ 程度の粒子で構成されてお

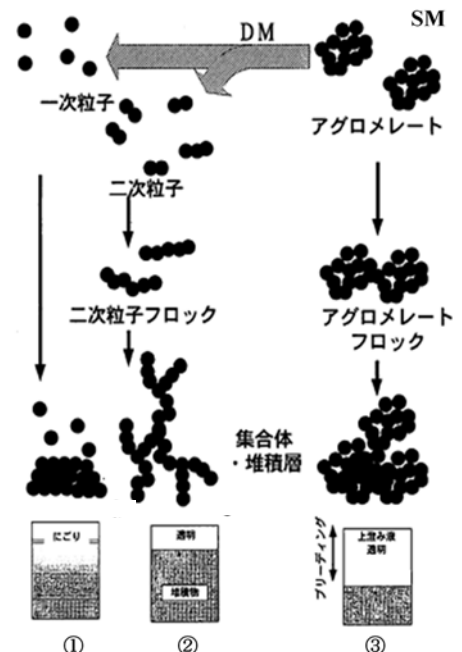


図-1 セメント粒子の凝集モデル

セメントペースト

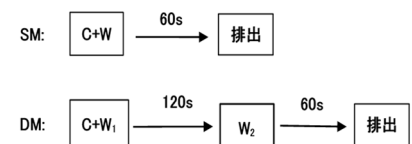


図-2 セメントペーストの練混ぜ手順

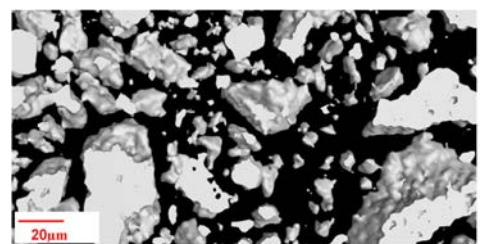


写真-1 気中の NC の状態 (閾値 0.328)

キーワード X 線 CT, SEC 工法, セメント粒子, 団粒, 凝集体 (アグロメレート)

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

り、今回の写真では $50\mu\text{m}$ を超える大小様々な塊（以下、団粒と称す）および $5\mu\text{m}$ 以下の粒子が散在していることが観察できた。

(2)一括練りと分割練りの NC 粒子状態の比較

写真-2 に SM を、写真-3 に DM のセメント粒子の状態を示す。

SM は、 $30\mu\text{m}$ 程度の比較的大きなアグロメレートが目立ち、その周辺に $10\mu\text{m}$ 以下の小さなアグロメレートが分散・浮遊しているように見られた。また、大きなアグロメレート中には、気中の団粒でも見られた気泡が認められ、そのまま引き継がれていると考えられる。

一方、DM は、SM と比べてやや小さな $20\mu\text{m}$ 程度のアグロメレートの周辺に、 $5\sim 10\mu\text{m}$ 程度の結合したブロックがほぼ均一に分布していた。なお、このアグロメレートは一次練混ぜのキャピラリー状態による強いせん断力によっても壊れない強固な結合状態であった。

SM と DM の粒子径に対する頻度・体積図をそれぞれ図-3、図-4 に示す。なお、これらのデータは一边が $300\mu\text{m}$ の立方体に含まれる粒子を球形と仮定した場合の個数および体積である。図より、SM に対して DM の場合は全粒子の個数が 37% と少なく、また全粒子の体積に占める割合は、130% と大きくなっていた。これはバラバラになっていたセメント粒子が結びついた為、見かけの個数が減り、立体的な空隙を有する粒子の凝集構造になっているものと推察される。

4. 分割 (SEC) 練混ぜ工法の効果発生モデルの提案

結果を踏まえて作成した SEC の効果発生モデルを図-5 に示した。

まず①において気中の NC は、大小の団粒および微粒子の単粒体で構成され、団粒は微粒子の結合体が主体であった。その結合状態は、振動や練混ぜを加えても壊れない強固なもので、分子間力、水和物による固体架橋力などの結合力によるものと考えられる。次に②における一括練混ぜは、気中の団粒がほぼ破壊されることなく、そのまま水中で強固なアグロメレートを形成されている。③の SEC は、一次練混ぜのキャピラリー状態では強力なせん断力で大きなアグロメレートを分断し、セメントの水和反応を促進させている。しかし、吉岡らのモデルの様に一次粒子とはならず、気中の団粒が残存する。次に二次水添加によって分散・浮遊していたセメント微粒子が凝集し、内部に拘束水を保持し、ブロックを生成していると考えられる。

以上より、SEC は、ブロック内に拘束水を SM より多く保持する空間が形成されるため BL 量が減少し、ブロックの結合が切れると容易に変形できるようになるために流動性が高くなると考えている。

5. まとめ

X 線 CT の可視化によって、以下の結論を得た。

(1) 気中の NC は、大小の団粒および微粒子の単粒体で構成され、団粒は微粒子の結合体が主体であった。

(2) 気中の団粒は注水しても、その形状が保たれてアグロメレートになったものと考えられ、練混ぜでも僅かに細くなる程度であり、強固な結合状態であった。

(3) 分割練混ぜは、一括練混ぜと比較して、全粒子の個数で 37% と少なく、体積で 130% と大きく、アグロメレート間のセメント微粒子が立体的で緩やかな結合状態であることが示唆された。

参考文献

- 1) 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, 2018.8
- 2) 吉岡一弘：セメント粒子の凝集構造に及ぼす鉱物組成ならびに練混ぜ方法の影響 (広島大学 博士論文 1999.3)

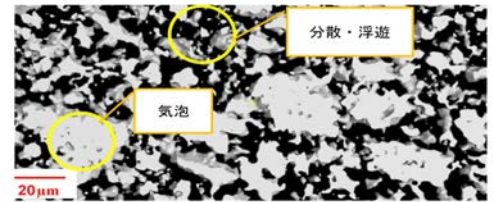


写真-2 SM の NC 粒子の状態 (閾値 0.254)

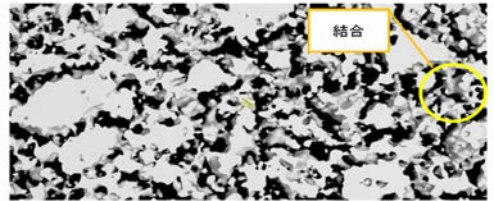


写真-3 DM の NC 粒子の状態 (閾値 0.254)

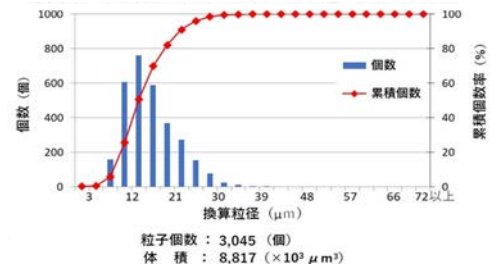


図-3 一括の粒子径に対する個数・体積図

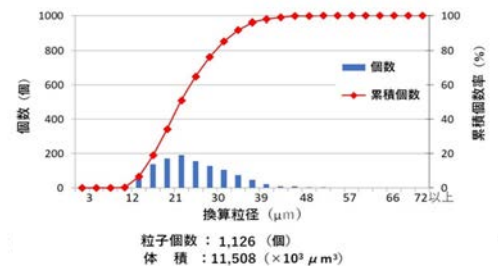


図-4 分割の粒子径に対する個数・体積図

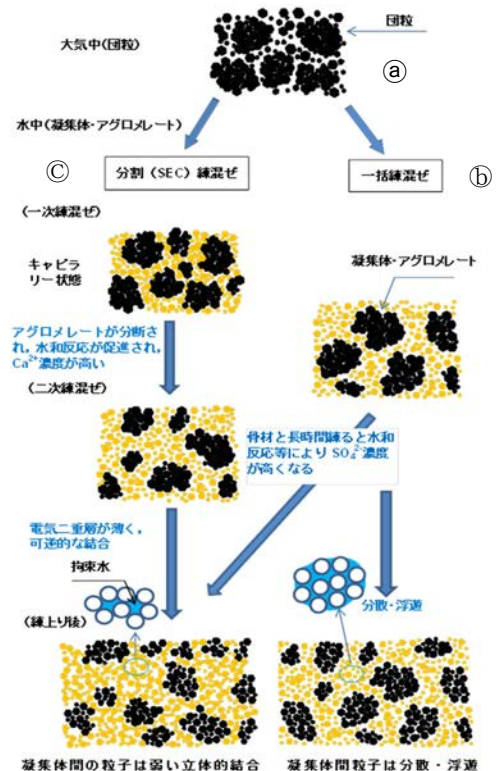


図-5 分割練混ぜ工法の効果発生モデル