

## V-246

## 高流動コンクリートの流動シミュレーション

五洋建設(株)技術研究所 正会員 大村隆一郎  
 五洋建設(株)技術研究所 正会員 田中 英紀  
 五洋建設(株)関東支店 正会員 内藤 英晴  
 東北大学工学部 正会員 三浦 尚

## 1. はじめに

サンドイッチ構造へ高流動コンクリートを適用する場合に対して、その充填性を解析的に評価することは、コンクリート工事の工期短縮や品質向上を図るための技術開発に大いに役立つものと考えられる。しかし、現在のところ高流動コンクリートの流動性状は理論的に十分に解明されるには至っていない。また、幾つかの提案されている流動解析手法も汎用化されておらず、その早い汎用化が望まれている。そこで本研究では、個別要素法を用いて高流動コンクリートのフレッシュな状態について流動解析を行い<sup>2)</sup>、その充填性に関する各種要因の影響を定性的に評価することとした。

## 2. 個別要素法の基本原理

有限要素法や境界要素法は、基本的には連続体を解析するのに有効な手法であり、不連続性を考慮するには、等価な連続体としての近似法、リンク要素やジョイント要素を用いた解析法を利用している。一方、不連続体を直接モデル化する解析方法として、個別要素法が挙げられる。

個別要素法は、動的な不連続モデルを取り扱うのに適しているため、高流動コンクリートのような粘塑性体の挙動を把握するのに適用しやすいと考えられる。個別要素法では、解析対象領域を剛体要素の集合（ここでは粗骨材）と考え、これらをバネとダッシュポットで結合している（図-1参照）。本方法では、各要素に独立した運動方程式を立て（式-1）、これを差分的に解くことによって各要素の運動を算出していく（式-2）。

## 3. スランプフロー試験の流動シミュレーション

## (1) 解析モデル1

サンドイッチ構造への高流動コンクリートの充填性に関する流動解析を行うに当たり、モデル化の比較的簡単なスランプフロー試験のシミュレーションを行うことにより、表-1に示す解析に必要な定数を設定した。

## (2) 解析定数の設定

(1)で述べた解析定数は、スランプフローが65cm、スランプフロー50cm到達時間が5秒（実験で扱った高流動コンクリートの平均的な値）となるようパラメータスタディを行うことにより設定した。ただし、ここではコンクリートをモルタルと粗骨材からなる2層材料と考え、粗骨材の粒径が5～20mmであることから、全ての要素は、粗骨材の平均粒径である

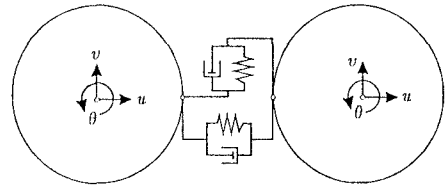


図-1 個別要素法のバネ

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{u} &= F_0 + \sum_j F_j \\ I\ddot{\theta} &= M_0 + \sum_j M_j \end{aligned} \right\} \quad (\text{式-1})$$

$m, I$  : 着目ブロックの質量ならびに慣性モーメント

$\ddot{u}, \ddot{\theta}$  : ブロック図心での加速度と角加速度

$F_0, M_0$  : 着目ブロックに作用する外力とモーメント

$F_j, M_j$  : 隣接する  $j$  番目のブロックから着目ブロックへ作用する外力とモーメント

$$\left. \begin{aligned} u_{t_{n+1}} &= u_{t_n} + \dot{u}_{t_{n+1/2}} \Delta t \\ \theta_{t_{n+1}} &= \theta_{t_n} + \dot{\theta}_{t_{n+1/2}} \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (\text{式-2})$$

表-1 解析定数

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| 接触点バネ定数 | $K_n, K_s$<br>法線および接線方向バネ定数 |
| 付着力     | $b_n, b_s$<br>法線および接線方向付着力  |
| 減衰定数    | $\alpha$                    |

キーワード：個別要素法、高流動コンクリート、サンドイッチ構造

五洋建設(株)技術研究所 〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1 TEL0287-39-2111 FAX0287-39-2132

13mmの直径を持つ円形要素とし、その単位容積質量は $2.6\text{g}/\text{cm}^3$ とした。

実験結果との対比により同定した解析定数を表-2に示す。

表-2 パラメタスティにより同定した定数

| 解析定数 | 同定値あるいは設定値                    |
|------|-------------------------------|
| バネ定数 | $K_n, K_s=1000\text{ (N/mm)}$ |
| 付着力  | $b_n=0.11\text{ (N)}$         |
|      | $b_s=0.08\text{ (N)}$         |
| 摩擦係数 | $\mu=0.01$                    |
| 減衰定数 | $\alpha=0.9$                  |

#### (4) 解析結果

図-2にはスランブコーンの中に詰められた要素のうち、上段、中段、下段に位置する要素A, B, Cの経時的な変位量を示している。実際のスランブフロー試験においても、スランブコーンの底面付近に位置する粗骨材ほど変位量が大きく、本流動解析では、その挙動を定性的に再現することができた。これより、高流動コンクリートのように通常のコンクリートに比べて変形量が多い粘性体に対する流動解析の手法として、個別要素法は適用性が高いものと判断される。

### 4. サンドイッチ構造模型の充填シミュレーション

#### (1) 解析モデル2

サンドイッチ構造の充填シミュレーションモデルを図-3に示す。充填性が問題になるのは構造物上部であること、計算ステップ数に対するプログラム上の制約（最大で100万サイクル）から、解析モデルの大きさは実構造物レベルの寸法より小さくしたが、内部のL型補剛材のサイズは構造物の上部に相当するものを設定した。なお、解析では補剛材の向きが充填状況に及ぼす影響を把握するため2つのケースについて検討した。また、充填方法としては、箱形容器の上面にホッパーを直接取り付け、ホッパー内へのパッキング状態から、要素に一樣に落下高さ50cmに相当する下向き速度( $313\text{cm}/\text{sec}$ )を与えることにより、容器内へ充填させた。

#### (2) 解析結果

当該モデルのように密閉された容器でも、解析上は最終的に内部はすべて充填されることとなった。しかし、補剛材の向きによって充填状況にそれぞれの特徴が見られた。その結果の一例を図-3に示す。補剛材が充填口側に向いたものでは、補剛材①では、空隙（空気だまり）はできにくい、補剛材②では背面側（充填口と反対側）のみでなく前面側に空隙のしやすいことが予想される。また、補剛材が充填口側と反対を向いたものでは、補剛材①と②のいずれにおいても、その背面側に空隙のしやすいことが予想される。

### 5. まとめ

高流動コンクリートの流動解析の手法として個別要素法は有望な手法であると考えられる。ただし、今後、この解析を一般的なものにするためには、解析上の定数とコンクリートのレオロジー定数との相関関係について詳細検討する必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会：構造工学における計算力学の基礎と応用，1997
- 2) 鍋田ら：個別要素法を用いたフレッシュコンクリートの流動シミュレーション，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16-1，1994

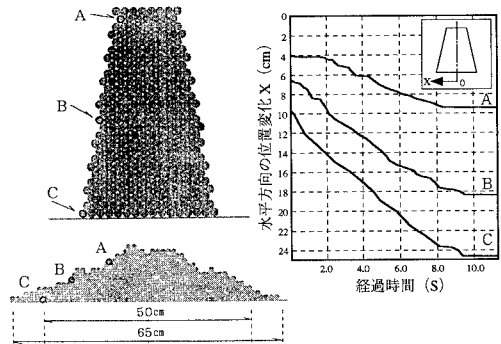


図-2 スランブフロー試験の流動シミュレーション

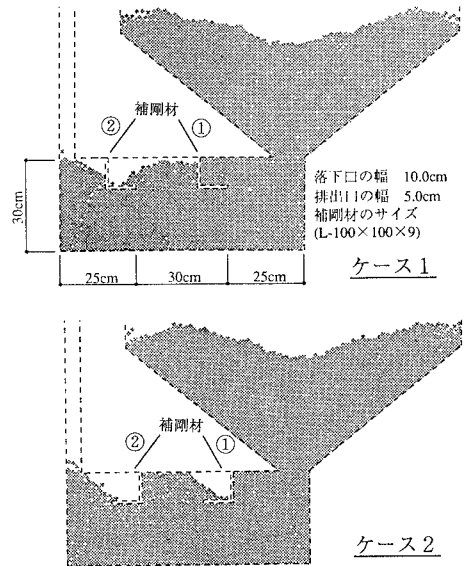


図-3 充填モデルと解析結果