

## 高精度粗骨材ポリゴンモデル作成システムの開発

琉球大学 学生会員 ○宮里 真也  
 那覇市 正会員 山城 建樹  
 琉球大学 正会員 松原 仁  
 琉球大学 正会員 富山 潤

### 1. はじめに

コンクリートの力学的性質を数値解析にて評価する場合、粗骨材として球形モデルを利用する機会が多い。しかしながら、この方法では粗骨材の形状に伴った応力の詳細な評価は非常に難しく、計算結果との乖離が見られた。そこで本研究では、粗骨材画像データから実際の粗骨材形状を精度良く再現できるシステムを開発した。そして、ボクセル有限要素法を用いた静弾性解析により、球形モデルとの差を比較する事で本手法の妥当性を検討した。

### 2. 本手法による粗骨材ポリゴンモデルの作成方法

本手法では、実際の粗骨材のデジタル画像から 3 次元的に粗骨材の輪郭を拾い、座標データとして取り扱う。粗骨材モデルの作成手順を以下に示す(本システムのインターフェースは図-1 を参照)。

- (1) 骨材置場から粗骨材を採取
  - (2) 粗骨材を 30° ごとの 12 方向からデジタルカメラにて撮影し、側面画像データを取得
  - (3) 粗骨材の輪郭座標を画面クリックにて取得
  - (4) 輪郭座標データから、粗骨材の表面パッチを作成
- (4)で作成する節点データは、デジタル画像が 2 次元であるため、1 枚の画像では粗骨材の 3 次元座標成分を決定することはできない。そこで本研究では、3 次元座標を決定するために、式(1)に示す回転マトリックスを用いて、粗骨材の実空間における真の座標値を取得することにした。

$$\begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

以上の作業により、実際の粗骨材に非常に近い形状のポリゴンデータを計算機内に記憶させることが出来る。なお、これらの作業はすべてマウスクリックのみで簡単に行うことができ、熟練者を必要としない。

### 3. 粗骨材モデルの精度評価

ここでは、粗骨材置場よりランダムに採取した粗骨材 8 個に対し、形状および体積の比較を行った。図-2 に形状比較の例を示した。上方および側方から見た形状は、実粗骨材の形状によく一致しており、高い精度であることがわかる。表-1 では実粗骨材と粗骨材モデルとの体積を比較した。粗骨材モデルの体積は、実粗骨材の体積にほぼ一致しており、最大の誤差でも 8.015%である。従って、本手法より、高精度な粗骨材モデルを作成できると考えられる。



図-1 粗骨材画像データ 90° (Y)

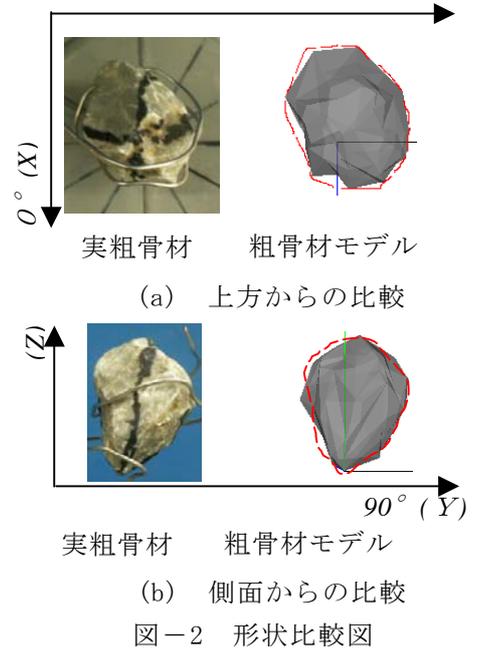


図-2 形状比較図

キーワード 粗骨材ポリゴンモデル, 2相コンクリートモデル, ボクセル有限要素法

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地

表-1 体積比較図

|      | 実体積(mm <sup>3</sup> ) | 粗骨材モデル体積(mm <sup>3</sup> ) | 誤差率(%) |      | 実体積(mm <sup>3</sup> ) | 粗骨材モデル体積(mm <sup>3</sup> ) | 誤差率(%) |
|------|-----------------------|----------------------------|--------|------|-----------------------|----------------------------|--------|
| No.1 | 5,765.39              | 6121.485                   | 6.176  | No.5 | 3,954.47              | 3839.505                   | 2.907  |
| No.2 | 4,582.75              | 4,950.05                   | 8.015  | No.6 | 4,361.00              | 4,336.53                   | 0.561  |
| No.3 | 2,919.65              | 2,993                      | 2.500  | No.7 | 3,104.44              | 3,195.62                   | 2.937  |
| No.4 | 6,763.25              | 7,171.12                   | 6.031  | No.8 | 5,876.27              | 5,427.98                   | 7.629  |

4. Voxel有限要素法による応力解析<sup>(1)</sup>

ここでは、本研究で提案する粗骨材モデルの数値解析における妥当性を検討するために、Voxel有限要素法による応力解析を行う。比較モデルとして、従来より用いられてきた球形モデルを選択した。解析では、球形モデルおよび粗骨材モデルを図-3(b)に示すボクセルで表現し、図-3(a)に示す立方体解析領域内へ配置した。ここで、球形モデルの半径は、粗骨材モデルの体積と等価となるように決定した。解析条件および寸法は図-3(c)に示す通りで、粗骨材とモルタルおよび界面の材料特性は表-2に示す通りである<sup>(2)</sup>。

均質なモルタルモデルに、球形モデルを配置した場合の応力分布と粗骨材モデルを配置した場合を図-4に示す。図-4より、各断面において粗骨材モデル境界に生じる最大主応力分布は、球形モデルを用いた場合は左右対称な分布である。一方、粗骨材モデルを用いた場合は粗骨材の形状に沿った分布をしていることが分かる。また、粗骨材の最大主応力は、球形モデルで1.696N/mm<sup>2</sup>、粗骨材モデルで1.720N/mm<sup>2</sup>であり、球形モデルを用いた場合に比べ低く評価されている。これは、球形表面が滑らかな幾何形状であるのに対し、粗骨材モデルは極めていびつな幾何形状であるのに起因している。従って、実コンクリートの力学的性質を数値解析にて評価する場合は、実粗骨材形状を考慮したモデルの利用が極めて重要であると考えられる。

6. まとめ

本研究では、実粗骨材形状を考慮できるシステムを提案し、従来より用いられてきた球形モデルとの比較解析をVoxel有限要素法により行った。その結果、本手法によりコンクリート内部の極めて複雑な応力分布が表現可能であることが示唆された。

参考文献

- (1) 鈴木克幸, ほか: 多重ボクセル情報を用いたソリッド構造の解析法, 日本計算工学会論文集, 2(2), pp.395-398, 1997
- (2) 富山潤: コンクリートの引張破壊挙動に関する解析的研究, 琉球大学博士論文, 2000

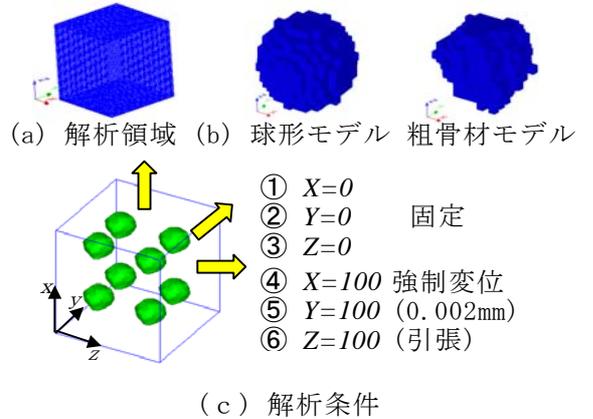


図-3 ボクセルモデルと解析条件

表-2 モルタル, 粗骨材, 界面の材料特性

|            | E(N/mm <sup>2</sup> ) | $\nu$ |
|------------|-----------------------|-------|
| モルタル       | 29,460                | 0.28  |
| 粗骨材(石灰岩碎石) | 56,122.45             | 0.15  |
| 界面(粗骨材側)   | 50,562                | 0.25  |
| 界面(モルタル側)  | 25,040                | 0.25  |

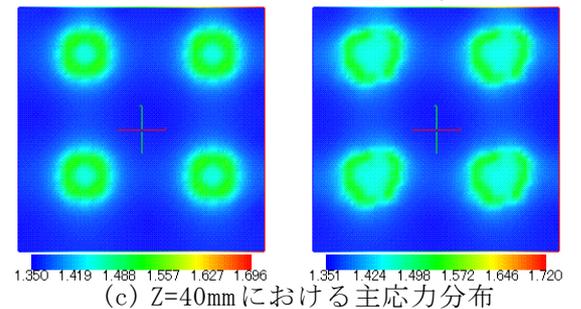
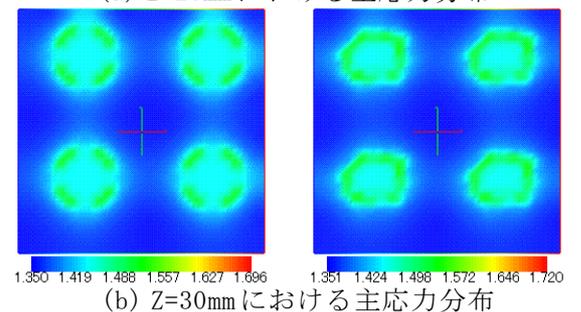
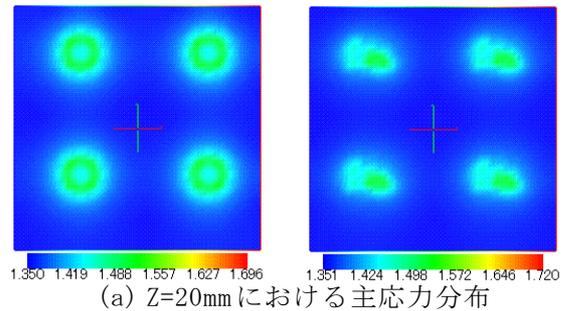


図-4 最大主応力分布(左:球形モデル 右:粗骨材モデル)