

## 有限要素法によるモルタルの応力解析

Research on analysis of mortal specimen using finite element method

苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科  
 苫小牧工業高等専門学校 創造工学科 都市・環境系  
 苫小牧工業高等専門学校 創造工学科 都市・環境系  
 苫小牧工業高等専門学校 創造工学科 都市・環境系

○学生員 クリーソジアート (Kry Socheath)  
 正会員 渡辺暁央 (Akio Watanabe)  
 正会員 廣川一巳 (Kazumi Hirokawa)  
 正会員 高橋正一 (Syouchi Takahashi)

## 1. はじめに

有限要素法は、英語では Finite Element Method と呼ばれ、省略すると FEM となる。基本的には微分方程式を、近似的に解くための数値解析の方法であり、複雑な形状・性質を持つ物体を単純な小部分（メッシュ）に分割することで近似し、物体の全体的な挙動を予測するものである。この方法を用いて設計した部品は力・振動・高熱を受けたとき、壊れないか、また変化しないかを解析する必要があるでしょう。現在、FEM 法は構造力学・音響解析・流体力学などの様々な分野で広く適用されている<sup>1)2)</sup>。一方で、FEM はソフトウェアを利用して行うことが一般的になっている。研究用のソフトウェアは数百万円以上の価格のものがあるのに対して、簡単なものであればフリーソフトのものもある。教育用として考えるのなら、フリーソフトが適切であるが、正確性や再現性不明である。学生がフリーソフトの FEM を使うために実験値対応など検討しておくことが大切と考えられる。

本研究では、乾燥した供試体を FEM プログラムで解析し、実際に行われる静弾性試験の結果と、ひずみ応力グラフを使って比較することが目的である。また、応用として、養生した供試体の温度応力を解析する。温度を下げることによって、固定される供試体はどのような変動、また挙動をするかプログラムで解析することを二番目の目的とする。その後、解析した結果と温度応力実験から得られた結果を比べ、実際に行われる実験の方法をどう改善するかを検討する。

現在、利用する FEM プログラムは二種類あり、FreeCAD と ANSYS である。FreeCAD は無料のものである。ここでは、乾燥したモルタルの解析にのみ利用する。ANSYS は有料であるが、使っているのは無料の学生バージョンである<sup>4)</sup>。ANSYS はシミュレーションなどの機能がより良い、幅広く解析できるプログラムであるため、温度の応力解析にも利用できる。

## 2. 解析概要

## 2.1 乾燥したモルタルの解析

モルタルは角柱と円柱の二種類(図-1)を作製し、圧縮による静弾性係数試験を行い、モルタルの材質を調べる。角柱供試体の寸法は 40 mm×40 mm×260 mm として作製し、両側に鉄製アタッチメントをつけて一体化にする。アタッチメントをつける理由は角柱供試体は温度応力試験にも用いるためである。一方、円柱供試体にはアタ

チメントをつけず、直径 100 mm×高さ 200 mm の寸法で作製する。

ここで、角柱と円柱モルタルの配合を表-1 に示す。



図-1 乾燥したモルタル供試体

表-1 角柱と円柱モルタルの配合

|    | W/C (%) | 水 (g) | セメント (g) | 細骨材 (g) |
|----|---------|-------|----------|---------|
| 角柱 | 50      | 313   | 647      | 1305    |
| 円柱 | 50      | 547   | 1132     | 2283    |

また、静弾性係数試験による角柱と円柱の材質の結果を表-2 に示す。これらのデータを使ってプログラムに入力し、調べることにする。

表-2 角柱と円柱モルタルの物性

|    | ヤング率 (GPa) | ポアソン比 | 密度 (Kg.m <sup>-3</sup> ) |
|----|------------|-------|--------------------------|
| 角柱 | 20.83      | 0.264 | 3006                     |
| 円柱 | 23.68      | 0.190 | 2140                     |

## 2.2 モルタルの温度応力解析

円柱供試体は温度応力試験に使われないため、角柱供試体のみプログラムで温度応力解析をすることになる。また、温度応力解析に関しては、モルタルの線膨張係数の値が必要になる (図-2)。ここで使う値は  $1.4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  である。これはプログラムにある一般非線形材料に属するコンクリートの線膨張係数の値である。さらに、モルタルの部分のみプログラムで解析する対象とするため、両側のアタッチメント部(40 mm)は考慮しない。そのため、角柱供試体の高さは 220 mm となる。

| プロパティアウトライン行 5: 角柱の温度応力解析データ |            |            |                    |
|------------------------------|------------|------------|--------------------|
|                              | A          | B          |                    |
| 1                            | 特性         | 値          |                    |
| 2                            | 材料フィールド変数  | テーブル       |                    |
| 3                            | 密度         | 3006       | kg m <sup>-3</sup> |
| 4                            | 等方性平均線膨張係数 |            |                    |
| 5                            | 線膨張係数      | 1.4E-05    | C <sup>-1</sup>    |
| 6                            | 等方性弾性      |            |                    |
| 7                            | 派生         | ヤング率とポアソン比 |                    |
| 8                            | ヤング率       | 20830      | MPa                |
| 9                            | ポアソン比      | 0.264      |                    |
| 10                           | 体積弾性率      | 1.471E+10  | Pa                 |
| 11                           | せん断弾性係数    | 8.2397E+09 | Pa                 |

図-2 プログラムの入力に必要なデータ

### 3. 結果および考察

#### 3.1 乾燥したモルタルの解析

##### 3.1.1 角柱

図-3 のグラフにより、モルタルの弾性域では両方のグラフが一致している。

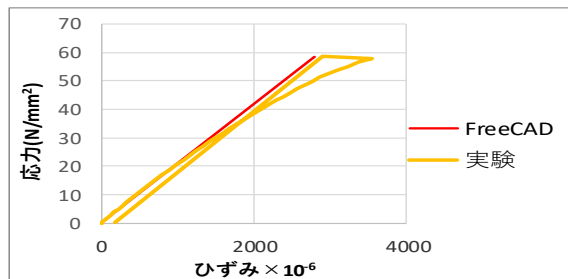


図-3 ひずみ-応力関係

##### 3.1.2 円柱

実験のグラフと比べ、FreeCAD によるグラフは直線であり、モルタルの弾性域では上の角柱の場合と同様にグラフが一致している。

同じ条件で ANSYS により、モルタルの弾性域ではグラフが一致しないが、実験の最大ひずみに近い結果が得たと見られる。

果たして、FreeCAD による結果は常に供試体の弾性域と同じであると判断できる。供試体のヤング係数とフックの法則を使えば、FreeCAD を使わなくてもこのような結果を出せると考えられる。

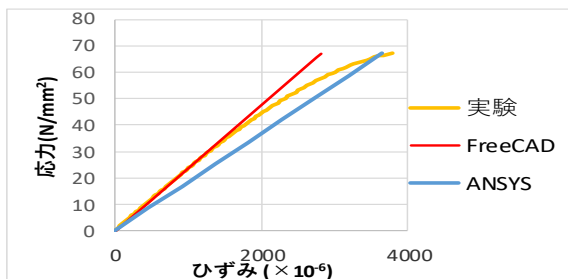


図-4 ひずみ-応力関係

#### 3.2 モルタルの温度応力解析

プログラムにより、最大主応力の値が二タイプ得られ、最大値と最小値である。実験値(3MPa)と比べ、最

大値(69.089MPa)が非常に大きいため、最小値(6.3887MPa)を適用して実験の結果と比較することにする。図-5 のグラフにも示すように、最大主応力の最小値がおおよそ実験による応力の2倍となる。

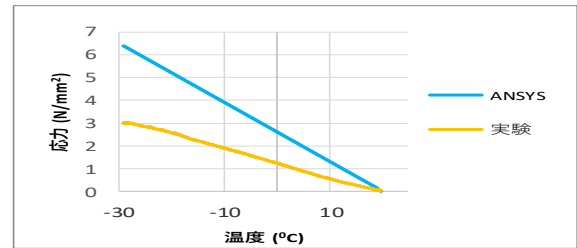


図-5 温度-応力関係

最大主応力の最大値に関しては、こんなに大きい値が得た理由はまだ不明である。もしプログラムの問題であれば、使われた線膨張係数の値が不正解ではないかと考えられる。

グラフに加えて、図-6 は温度が-29.1℃の時に発生した最大主応力のシミュレーション結果を表す。最大値、また最小値はモルタルのどこにあるかが分かった。

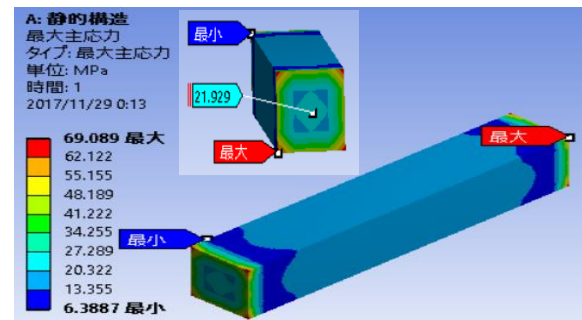


図-6 最大主応力のシミュレーション

### 4. まとめ

- FreeCAD プログラムの結果はフックの法則に相当する（弾性域のみ）。
- FreeCAD による結果の信頼性が低いと考えられる。
- 温度応力解析について、モルタルの先端の位置（固定端）に応力が比較的に大きく発生した。
- 最大主応力の最小値が実験値の2倍程度である。
- 最大主応力の最大値が実験値より極めて高い。その原因を調べることが課題となる。

### 5. 参考文献・サイト

- 1) 構造計画研究所 SBD 営業部 SBD サポート Web  
➤ [https://sbdsupportweb.custhelp.com/app/answers/detail/a\\_id/1135](https://sbdsupportweb.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/1135)
- 2) CAE 技術者のための 情報サイト  
➤ [http://jikosoft.com/cae/fem\\_basic01.html](http://jikosoft.com/cae/fem_basic01.html)
- 3) 邵 長城著・基本からわかる有限要素法, 森北出版株式会社, 2008
- 4) ANSYS 学生バージョンソフト  
➤ <http://www.ansys.com/academic>