

有限要素—剛体ばねモデルによる不連続解析

琉球大学 学生会員 ○神田 康行 琉球大学 学生会員 松原 仁
 琉球大学 正会員 伊良波 繁雄 琉球大学 正会員 富山 潤
 琉球大学 学生会員 山城 建樹

1. 目的

不連続解析手法の一つとして川井が開発した剛体—ばねモデル(RBSM:Rigid Bodies-Spring Model)は、要素を剛体と仮定し、要素境界に設けた 2 種類のばねを評価することにより不連続解析が容易に行える手法である。しかし、弾性域においては、要素境界に設けた 2 種類のばねでは、弾性変形を表現するのは困難であるため、一般に弾性解析の精度保証はされていない¹⁾。

一方、変位法の有限要素法(FEM:Finite Element Method)は、連続体力学に則っているため、弾性域では容易に高精度な解を得ることができる。したがって、弾性解析は FEM、塑性解析は RBSM という弾塑性解析は非常に有用性の高いものと考えられる。

このような観点より著者らは、弾性域は FEM、塑性域は RBSM を用いるという新しい不連続解析手法として有限要素—剛体ばねモデル(FE-RBSM:Finite Element-Rigid Bodies Spring Model)を開発した²⁾。本研究では、一軸圧縮モデルを用いて本手法の妥当性を検討した。

2. 有限要素—剛体ばねモデル(FE-RBSM)

2. 1 FEM と RBSM の自由度の関係

FEM と RBSM の 2 次元平面要素を比較すると、FEM の自由度は一般的に要素各頂点に設けられ、一般的に RBSM は要素内の重心点一ヶ所に設けられる(図-1(a)参照³⁾)。また、自由度数は前者が並進方向変位の 2 つであり、後者が並進方向変位と剛体回転角の 3 つである。このように両者は自由度の数と場所が一致しない。そのため、竹本らは両者を融合する際に RBSM を FEM ベースに再定義したモデルを提案している⁴⁾。

一方、高精度有限要素として、FEM の平面要素に回転自由度を導入する研究が数多く行なわれている⁵⁾。この要素の自由度は並進方向変位と回転角の 3 であるため、RBSM の自由度と一致する。よって、弾性体の場合は三角形の頂点に自由度 3 を有する要素として取り

扱い、塑性域では図-1のように 3 枚の板とそれを連結するばねでモデル化した RBSM として取り扱うことで弾性から塑性まで取り扱うことが出来る。

また、本研究では弾性域に用いる有限要素を関口・菊池の回転自由度を有する平面三角形要素としている。

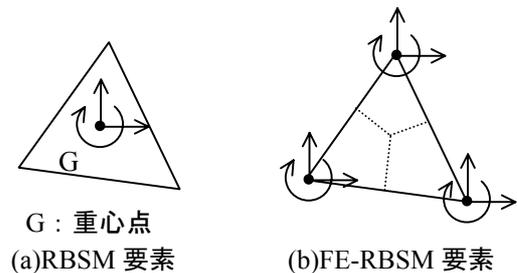


図-1 RBSM と FE-RBSM 要素

2. 2 要素内分割について

RBSM は要素境界に沿って破壊が進行するため、その解析解は要素分割に大きく左右される。この問題を解決するため、坪井らは主応力方向を考慮して要素内を分割する方法を提案している⁶⁾。本研究においても、主応力方向より要素内分割を行った。

破壊が進行する角度は Mohr-Coulomb の破壊基準によれば、最小主軸と $\pm(\pi/4 - \phi/2)$ である⁶⁾。この時、破壊進行角度は 2 つの角度が考えられるが、今回は 1 方向のみに破壊が進行すると仮定した。要素内分割後の状況を図-2 に示す。要素内分割後の RBSM のばね剛性として、分割線上にある 2 つのばねは塑性時のばね剛性とし、残りの 1 つは弾性時のばね剛性とした。

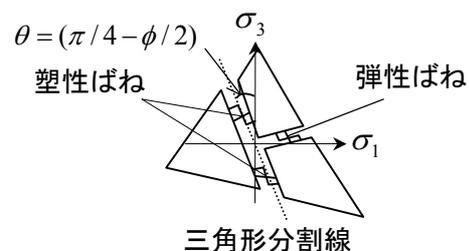


図-2 有限要素内分割

キーワード 剛体—ばねモデル, 有限要素法, 不連続解析, 自由度

連絡先 〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地 琉球大学工学部環境建設工学科 TEL098-895-8663

3. 数値解析例

本手法の妥当性を検討するため、図-3(a)に示す一軸圧縮モデル⁶⁾で解析を行う。一般に RBSM は、要素境界に沿って破壊が進行していくため内部摩擦角 ϕ が変化した場合は要素の再分割が必要になる。そこで、本手法においても要素の再分割が必要になるかの検討として、内部摩擦角 ϕ を 0° 、 15° 、 30° と変化させて解析を行った。また、要素分割は図-3(b)のようなデローニー三角形分割によりランダムに分割した。解析に用いた諸係数は表-1の通りである。なお、圧縮強度 f'_c の算定は次式より求めこれを理論解とした。

$$f'_c = \frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (1)$$

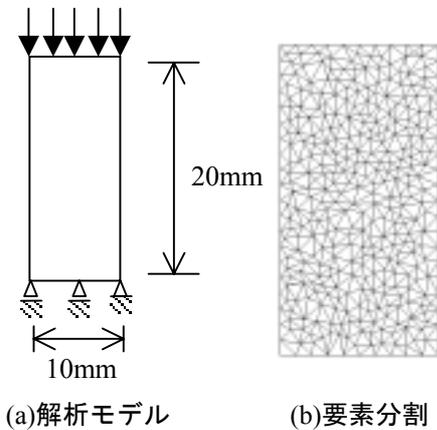


図-3 一軸圧縮モデル

表-1 材料係数

ヤング係数 (E)	290000N/mm ²
ポアソン比 (ν)	0.2
せん断強さ (c)	31.2N/mm ²

解析より得られた応力-ひずみ曲線を図-4に示す。本手法は、主応力方向を考慮し RBSM を要素内に導入するため、内部摩擦角の変化に関係なく圧縮強度と良好な一致を示している。よって、RBSM と違い内部摩擦角を変化させた場合においても、本手法では要素の再分割が必要でないということがわかる。このことから、RBSM の強い要素分割依存は本手法を用いれば解決出来るものと考えられる。

また、弾性域では有限要素法を用いているため、弾性解 ($\delta = PL/EA$) と良好な一致を示している。したがって、本手法は FEM の弾性解析の精度と RBSM の塑性解析の精度を兼ね備えた手法であり、有用性の高い不

連続解析手法であるといえる。

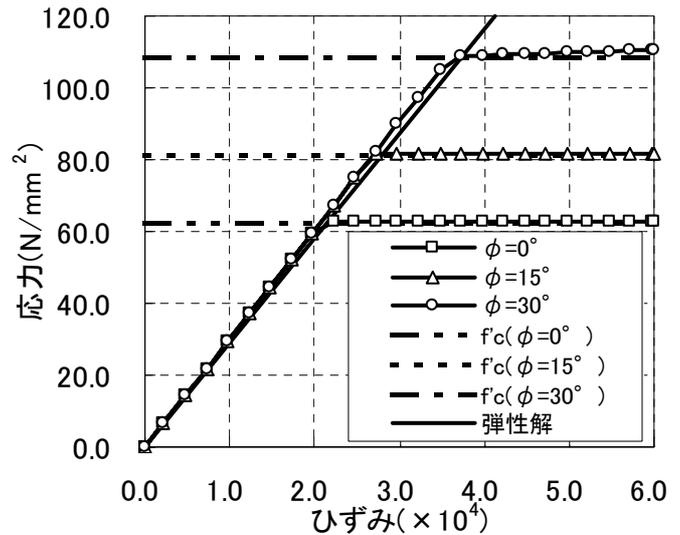


図-4 応力-ひずみ曲線

4. まとめ

本研究では、FEM と RBSM を融合した FE-RBSM を用いて簡単な一軸圧縮モデルを解析した。得られた結果を以下にまとめる。

- FE-RBSM は弾性域では FEM を用いており、通常の RBSM では表現が難しい弾性域を容易に表現することが出来る。
- FE-RBSM は要素内を分割し塑性を導入するため、内部摩擦角に関係なく任意の要素分割で良好な解を得ることが出来る。

参考文献

- 1) 川井忠彦編：固体力学の離散化極限解析，生研セミナーテキスト，生産技術研究奨励会，1982.
- 2) 神田康行，松原仁，伊良波繁雄，富山潤：コンクリートの離散化び割れ解析手法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 26, No2, pp. 139-144, 2004. 7.
- 3) 川井忠彦，竹内則雄共著：離散化極限プログラミング，培風館，1990.
- 4) 竹本憲介，上林勝敏，香月智，石川信隆：RBSM-FEM 混合型要素モデルによるコンクリート供試体の圧縮破壊解析，土木学会論文集，No696/I-58, pp. 197-213, 2002. 1
- 5) 松原仁，伊良波繁雄，富山潤，山城建樹，入部綱清：回転自由度を有する関口・菊池要素と Cook 要素の比較，応用力学論文集，Vol. 7, pp. 431-440, 2004. 8
- 6) 坪井征司，市之瀬敏勝，小椋紀行，神谷将史：ひび割れ発生を考慮した離散化極限解析の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol. 18, No. 2, pp. 371-376, 1996.