

地下空間開発に対する地盤変動解析モデル

— 高次有限要素の適用 —

九州東海大学工学部 正会員 鹿田 光一
 学生員 原田 務
 学生員 清田 善雅
 九州大学工学部 正会員 江崎 哲郎

1、はじめに

地下空間開発に関連した諸問題に対してはFEMを始めとする種々の数値解析手法の発展が大いに貢献しているものの、その解析モデルについては、物理実験に対応するモデルおよび仮想モデルを含めた場合においても、主にそのモデル化の対象は、空洞、斜面といった地盤構造物のみを取り扱ったものが殆どある。しかしながら、今日のように開発に対する周辺環境の保全が強く叫ばれる中で地下開発の周辺への影響も取り扱うためには、構造物を無限空間中の局所的なものと考えただけでは決して十分とは言えない。このため、本研究においては、地下構造物の安定性のみならず、地下空間開発の周辺地盤への影響を評価し得る解析モデル、その一つのアプローチ法として、高次有限要素を用いた実用解析モデルの適用可能性の検討を行った。その解析精度に対する検討結果を報告する。

2、地下空間開発に対する地盤変動解析モデル

2. 1 地下空間開発による地盤変動現象

地下空間開発の周辺地盤への影響、すなわち、掘削等による応力状態の変化、それに伴う空洞の変形の影響は、その深度が大きく、固結度が高い地盤においては、図1のような伝播特性を有することが知られている¹⁾。このため、既存の地下施設への影響および相互作用、既設の地上施設に与える影響、将来地上施設が新設される場合の影響、地下水・地盤環境への影響の評価に際しては、非常に広い領域が解析すべき対象となる。従って、この非常に大きな解析領域を取り扱うのに適した効率的な解析モデルが必要となる。

2. 2 高次有限要素の適用

広い解析領域のモデル化手法としては、準三次元法の適用²⁾、有限要素法の効率化、および、境界要素法の実用化などが考えられる。この内、有限要素法は地盤の諸問題に対して極めて有効な解析法であるが、そのモデル化においては、有限要素を用いて解析領域を非常に密に分割する必要があり、さらに解の精度を改良しようとする要素分割をより細分化することが一般的になされている（図2）³⁾。これは、解析領域・空洞形状の変更など解析モデルの修正には適しておらず、実問題への適用性は低い。

しかし、地盤の解析では一般的ではないものの、有限要素法に高次要素：高次多項式の形状関数を導入する事により、理論上、一定の要素分割のままで精度を向上させることが出来、これは、CST要素からなる解析モデルよりも、要素数

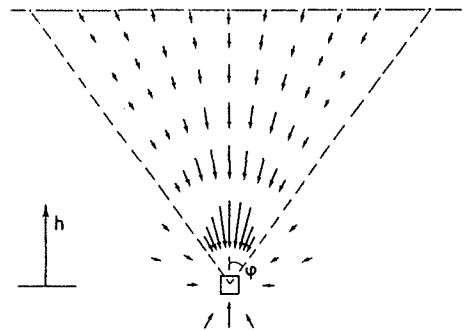


図1 地盤内変位の伝播特性

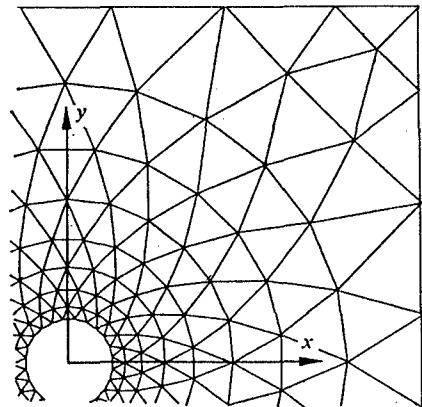


図2 CST要素を用いた解析モデル

キーワード：地下空間開発、地盤変動、高次有限要素

連絡先：〒862 熊本市渡鹿 9-1-1 TEL 096-382-1141

FAX 096-381-7956

を大幅に減少させ得る可能性を有している。このため、本研究においては、有限要素解法の効率化の一つのアプローチ法として、比較的少数の高次有限要素を用いた実用的な解析モデル(図3)の適用可能性を検討するため、有限要素法プログラム⁴⁾に、2次8節点要素に対する要素マトリクス計算モジュール⁵⁾を導入し、円形空洞周りの応力・変位解析に対して、線形要素を用いるよりも粗な要素構成において精度の検討を行った。検討のために用いた解析モデル(要素数4、節点数21)を図4に示す。

側圧係数: $k=0.5$ の応力状態において、Kirsch解析解および境界要素法による応力に関する結果との比較検討を行った。BEMについては、FEMのモデル境界と同じ節点を用い、1次元線形要素のみにより要素分割を行った。ただし、FEM、BEMともに体積力の考慮を行っていないため、数値積分のための内部セルは設定しておらず、領域内部における精度の比較のためには、FEMの節点座標に対応して内点を設定している。

2. 3 解析結果および考察

表1に解析解に対するFEMおよびBEMによる応力の誤差を示す。ここでの誤差は、解析解と数値解の差の絶対値を解析解で除したものである。また、「内部(内点)」は、FEMでは領域内部の節点、BEMについては内点に関する誤差を示す。結果として、BEMでは各軸方向共に3%弱内の精度に、内点については6%弱の精度内にあるにもかかわらず、FEMにおいてはすべての節点グループについて比較的大きな誤差が生じており、特にY軸方向の節点について顕著である。これは、Y軸方向の節点間においてひずみの分布が比較的大きな変化を呈している事を示し、解析モデルの要素分割に対し要素の次数が適切でない事が分る。

3. まとめ

本研究においては、広い解析領域を実用的に取り扱うことを目的に高次有限要素の導入による解析モデルの例を提案した。実用的な要素分割においては十分な計算精度が得られず、一般的には要素の細分化の必要性を呈した。しかし、本研究においては、要素分割の変更は行わず、さらに高次の要素を導入する事により精度向上を図る事が次の課題と考えられる。また、精度の検討を通じて、境界要素法の高適用性、高精度が示され、今後、地盤問題への実用化の検討を予定している。

参考文献

- 1) H. Kratzsch(1983): Mining Subsidence Engineering, Springer-Verlag, pp. 62-91.
- 2) 江崎哲郎 他(1994): 地下開発に関連した地盤環境の予測及び評価のための解析手法, 土木学会地下空間利用シンポジウム, PP. 65-72.
- 3) O. C. Zienkiewicz, Y. K. Cheung(1967): The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics, McGRAW-HILL, pp. 26-45.
- 4) 坂井健一郎、杉山賢治(1995): 地下空洞の変形挙動に関する基礎的研究、九州東海大学卒業論文
- 5) G. Dhatt, G. Touzat(1984): The Finite Element Method Displayed, New York, Wiley & Sons Ltd., pp. 271-280.

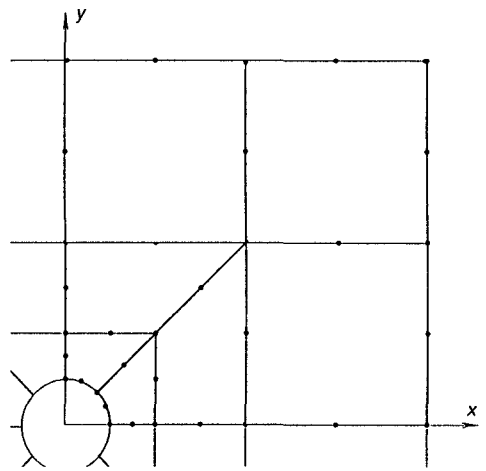


図3 高次要素を用いた解析モデル

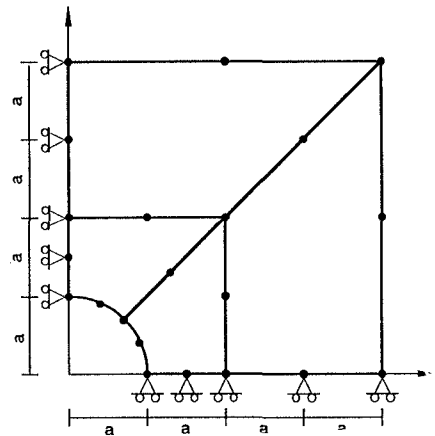


図4 精度検討のための有限要素解析モデル

表1 応力に関する解析誤差

	誤 差		
	X 軸方向	Y 軸方向	内部(内点)
BEM	0.02659	0.02407	0.05863
FEM	0.05829	0.21463	0.13877