

地下開発に対する地盤変動解析システムのあり方について

九州東海大学工学部 学生員 原田 務

学生員 清田 善雅

正会員○鹿田 光一

九州大学工学部 正会員 江崎 哲郎

1. はじめに

地下空間の構造的複雑化・多様化（空間の形状、上下水平方向への広がり、複数空間の立体的配置など）に加え、その大規模化および深部化する傾向に際して、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。しかしながら、空洞周辺の地盤移動など地盤環境の予測及び対応を目的とした立場からこれらの解析法を眺めると多くの問題点があるように思われる。

このため、本研究においては、最初に岩盤工学の諸問題に対する数値解析的アプローチを扱った文献の分析を行う。次に、分析結果をもとに問題点を指摘し、地下開発に対する地盤変動解析システムのあり方について検討を行う。これに対し、広い解析領域を取り扱うための実用的な解析法として、高次要素を用いた有限要素法の適用可能性について検討する。

2. 地下開発に関連した解析的研究の現状

地盤の解析方法に関する現状を把握するため、岩の力学関連で国内において最近5年間に発表された解析的研究についての文献172編の分析を行い、表1に整理した¹⁾。その結果を以下に述べる。

解析範囲については、物理実験に対応するモデルおよび仮想モデルに基づく解析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。また、解析手法については、約半数の文献で有限要素法が用いられているのみならず、地盤問題に対して境界要素法が適用されにくい現状を示している。

表1 地下開発に関連した解析的研究の現状

解析内容	地下空洞	斜面	浸透流	その他	合計
	79	17	34	42	172
解析範囲	構造物	周辺考慮		その他	合計
	149	12		2	163
解析手法	FEM	BEM	解析解	その他	合計
	82	6	26	53	167
解析次元	1次元	2次元	準3次元	3次元	合計
	3	114	5	40	162

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を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。すなわち、影響が及ぶ可能性を有する地表および既存する地下空間との整合性を考慮した多元的な問題であることの認識が必要となる。このため、従来から研究が進められている地下構造物自体の安全で合理的な設計・施工技術の向上に加え、開発に伴って生じる周辺への影響を防止または軽減を計る得る解析システムの整備が不可欠となる。

3. 地下開発に対する地盤変動解析システムの検討

3. 1 従来の対応

筆者らは準三次元解析法（Face element 法）を用いた地盤変動解析システムを確立し、地下開発の進展過程、影響の伝播特性などを考慮するなど常に地盤環境保全の立場から、実際の地下資源開発の現場への適用を行い、良好な結果を収めてきた²⁾。しかしながら、近年における地下開発の構造的複雑化、多様化にさらに柔軟に対応するため、新たなアプローチを検討する。

3. 2 高次有限要素の適用

前述の通り、地下開発に対しては、地下構造物自体の安定性の検討のみならず、それに伴う周辺地盤への影響を予測し、的確に対応することが求められる。しかしながら、影響が及び得る全領域を解析対象とするためには、非常に広い解析領域のモデル化が必要となる。このためのモデル化手法としては、準三次元法の適用、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、本研究では、有限要素解析について高次有限要素を用いることによる効率化を検討する。

有限要素法において解を改良するには要素分割をより細分化することが一般である。しかし、高次要素を導入すると、理論上、一定の要素分割のままでも精度を向上させることが出来るにもかかわらず、高次多項式の形状関数を導入することは地盤の解析では一般的ではない。このため、本研究においては、

有限要素法³⁾に、2次8節点要素に対する要素マトリックス計算モジュール⁴⁾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、節点数が21)を図1に示す。

これに対し、解析解(側圧係数: $k=0.5$ に対するKirsch解:図2)および他の数値解法として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。

3. 3 解析結果および考察

表2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。

4. まとめ

本研究においては、まず、地下開発に関する文献の分析を行い、広い解析領域を実用的に取り扱うことが可能な地盤変動解析システムの必要性が明らかになった。それに対応して、有限要素解析の効率化を目的に高次要素の導入を行った。実用的な要素分割においては十分な計算精度が得られなかったが、その場合も要素分割の細分化を図るのではなく、今後はさらに高次の要素の導入により精度の向上を図ることが必要と考えられる。また、境界要素法は、従来、地盤問題に関する解析への適用が希であったが、今後、積極的に研究・活用することを予定している。

参考文献

- 1) 宇治橋信雄、清水誠(1995): 地下空間開発のための研究の現状と方向性の分析、九州東海大学卒業論文
- 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) 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

- 4) G. Dhatt, G. Touzat(1984): The Finite Element Method Displayed, New York, Wiley

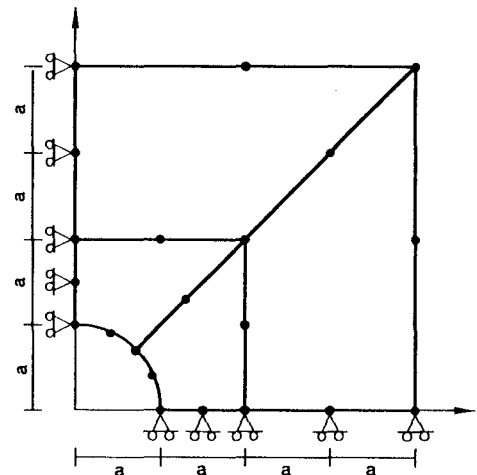


図1 2次8節点有限要素解析モデル

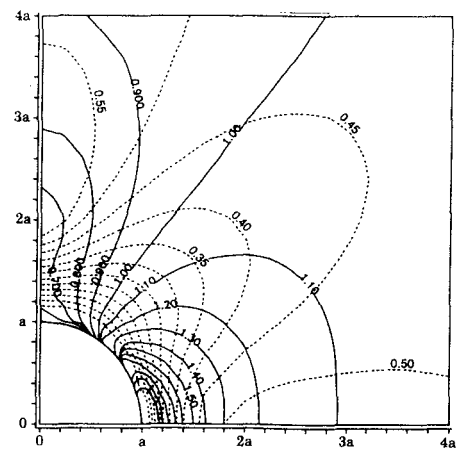


図2 円形空洞周辺の等主応力等高線図

表2 応力の解析誤差

	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