

Ⅲ-677

大規模岩盤内地下空洞におけるFEM解析に関する一考察

竹中土木 正会員 ○吉澤 敦
 竹中工務店 正会員 下河内 隆文
 竹中工務店 正会員 鈴木 吉夫

1. はじめに

近年、地下空間利用方法の一つとして一般客が利用する岩盤内大空洞（文化施設等）が提案されている¹⁾。建設に向け推進されている例では従来の石油備蓄基地、地下発電所等の地下空洞とは異なり、建築物としての評価の取得が実施されており、その中で耐震性の検討も行われている²⁾。ホール状の地下空洞を設計するにあたってはトンネル等の線状構造物とは違い、3次元効果が発揮されるため簡便な2次元平面ひずみ問題では過大な設計がなされることが予想される。しかし3次元解析ではモデル化、計算、データ整理等に多大な労力と費用がかかり、設計レベルにおいては実用的とは言えない。また、空洞形状と3次元効果の程度の関係も明らかではなく、さらには常時静的解析結果が耐震検討時の結果にも影響を及ぼすことが予想される。

本報告は、有限要素法を用い、簡易な空洞モデルにより空洞長を変化させ、形状の影響を調査した。また各ケースについて3次元、2次元、軸対称解析を実施し3者の計算結果を定性的に比較し、形状と3次元効果の関係、静的安定性に関する設計における適用性の検討と耐震性検討時の初期条件としての考察を行った。

2. 解析モデルと条件

図-1に解析モデル（3次元）を示す。対称性を考慮し1/4モデルとした。表-1に解析ケースを示す。形状パラメータとして空洞長（A）を変化させ、空洞幅（B）との比によって表現した。各ケースに対し3次元、2次元、軸対称解析を行った。2次元、軸対称解析に関しては長辺（A）側を解析断面とした。荷重は自重のみを考慮した。各物性値は表-2に示す値を用いた。なお、計算は汎用FEMプログラム「SIGNAS」を使用し線形弾性解析を行った。

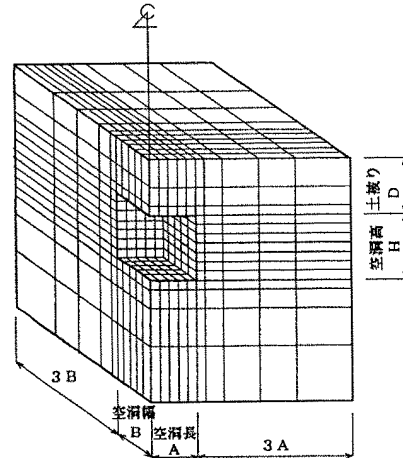


図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

CASE	空洞長 A (m)	空洞幅 B (m)	A/B	空洞高 H (m)	土被り D (m)
1	25.0	25.0	1.0	35.0	30.0
2	37.5	25.0	1.5		
3	50.0	25.0	2.0		

3. 結果、考察

1) 変位 図-2に天端沈下量の各計算次元におけるCASE-1のとの比を示す。2次元、軸対称解析が形状による変化率がほぼ等しい。図-3に各ケースの3次元解析との比を示す。アスペクト比の増加により3次元解析との差が大きくなっている。軸対称解析ではCASE-1においてほぼ同じ結果となった。

2) 引張応力 長辺断面における天端面に発生した最大引張応力について比較を行った。図-4にCASE-1との比較、図-5に3次元解析結果との比較を示す。それぞれアスペクト比の増加とともに増大し、3次元解析との差が大きくなっている。CASE-1の軸対称解析ではよく近似されているが2次元解析及び他のケースの軸対称解析

表-2 解析に用いた定数

単位体積重量 γ	2.6 tf/m ³
弾性係数 E	6.0×10^5 tf/m ²
ポアソン比 ν	0.3
側圧係数 K_0	0.5
粘着力 C	300 tf/m ²
内部摩擦角 ϕ	40°

では過大評価していることがわかる。図-6にCASE-1における引張応力発生領域の比較を示す。天端部においては発生領域に大きな差は見られない。これは補強領域の決定には計算次元はあまり影響しないことがわかる。

3) 圧縮応力 拘束圧が小さく応力集中の大きい側壁下端部の最大圧縮応力について比較した。図-7にCASE-1との比較、図-8に3次元解析との比較を示す。3次元解析（長辺断面）においては減少傾向が見られるが全体的に形状による影響は小さいようである。軸対称解析は3次元効果をよく近似していることがわかる。図-9に3次元解析における長辺、短辺断面間の比較を示す。これによりA/B>1.0の場合、短辺側の応力が大きくなることがわかる。図-10に、3次元解析の短辺断面とCASE-1の2次元、軸対称解析の比較を示す。空洞長の増加により2次元解析結果が3次元解析結果に接近する。これは平面ひずみ状態に近づいていくことを示している。

地震時挙動を検討するにあたり、常時の応力状態および周辺岩盤の剛性は重要である。そこで、動的解析の初期条件の観点から本静的解析を考察する。被りの浅い本解析モデルでは空洞天端から地表まで引張領域が拡がっており、特に2次元解析では大きな引張応力が発生している。この様なケースでは支保工等の施工過程を踏まえた応力、ひずみ状態の把握が必要であり、静的安定性の検討のみならず地震時の初期条件としての初期応力および岩盤剛性に対して岩盤内不連続面、風化状態及びその剛性の非線形性の把握が重要と考えられる。

4. まとめ

1) 形状の影響について：長辺断面においてはアスペクト比の増加とともに変位、引張応力とも増大する。最大圧縮応力は3次元解析の長辺断面では減少し、短辺断面で増加している。他は増加傾向にある。

2) 解析次元による差異について：2次元解析が最も3次元解析との差が大きい。CASE-2, 3では特に著しい。ただ最大圧縮応力に関してはその差は比較的小さい。

3) 設計への適用：CASE-1では軸対称解析により検討が可能であると考えられる。CASE-2, 3では短辺断面での検討が必要である。天端部以外では2次元解析により短辺断面での安全側の検討が可能であると考えられる。

4) 今後の課題：支保工設計、動的解析時の検討

参考文献：1) (財)エンジニアリング振興協会、地下開発利用研究センターガイドブック研究会：地下空間利用ガイドブック、清文社、1994、2) 近久他：第2回システム工学シンポジウム、pp1~4、1994

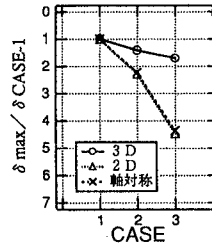


図-2 天端沈下 (CASE-1との比較)

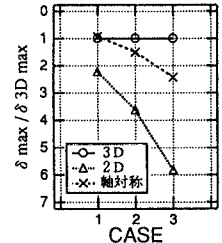


図-3 天端沈下 (3次元との比較)

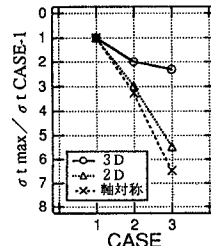


図-4 引張応力 (CASE-1との比較)

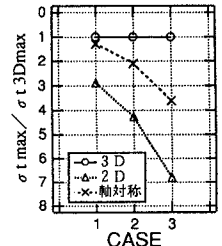


図-5 引張応力 (3次元との比較)

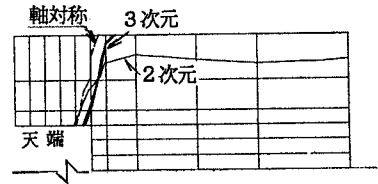


図-6 引張応力発生領域

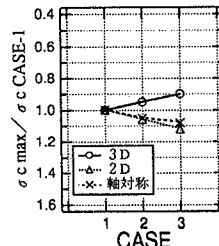


図-7 圧縮応力 (CASE-1との比較)

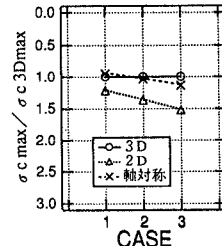


図-8 圧縮応力 (3次元との比較)

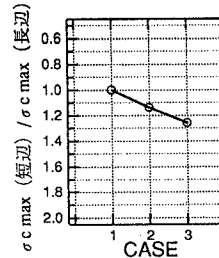


図-9 圧縮応力 (3D) (短辺側と長辺側の比較)

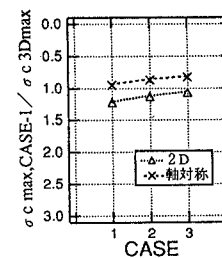


図-10 圧縮応力 (3D, 短辺 (CASE-1)との比較)