

Ⅲ-B153

ひずみ軟化解析による大規模地下空洞の三次元効果の検討

東電設計 正会員 豊田耕一 大森剛志 田坂嘉章 宇野晴彦
東京電力 正会員 小山俊博 南部茂義

1. はじめに

地下発電所大規模地下空洞は、内在する発電機器の形状・配置により三次元的に複雑な形状を有している。そこで、既往の空洞安定性評価に用いている二次元ひずみ軟化解析を三次元化し、空洞掘削解析による空洞形状の三次元効果について検討を行った。

2. 解析手法

岩盤は、等方性均質材料とし、図-1に示すように最大強度に達した後、残留強度まで応力が低下するひずみ軟化特性を有するものとした。岩盤の強度特性は、図-2に示すモール・クーロンの破壊基準を用い、せん断破壊した場合は、 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ 一定条件で残留強度に抵触するように残留応力状態を設定した¹⁾。岩盤が引張破壊した場合は、引張応力に抵抗できないno-tension材料を仮定し、引張応力を0とした。せん断破壊および引張破壊に伴う余剰応力は等価節点外力として周辺要素に再配分した。再配分計算²⁾は修正Newton-Raphson法を用いた。

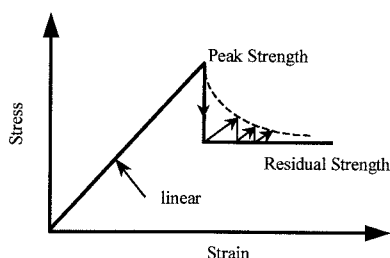
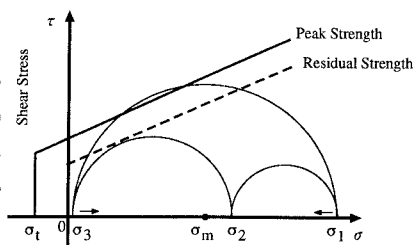


図-1 応力-ひずみ関係の理想化

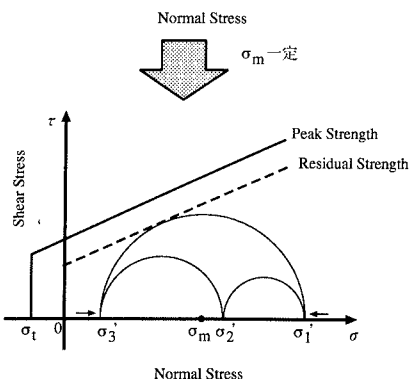
3. 解析条件

地下空洞形状は、たまご型の断面形状とし、空洞中央部にロックストラットを有する地下発電所空洞³⁾を想定した。図-3に三次元FEMメッシュを示す。初期応力は12.5MPaの等方応力状態とし、空洞形状の対称性により1/4の領域をモデル化した。表-1に解析に用いた岩盤物性を示す。掘削は、地下発電所空洞の一般的な掘削施工過程³⁾に合わせて、頂設導坑、アーチ部拉幅および盤下げ掘削を模擬し、計14段階のステップ解析を行った。



4. 解析結果

ここでは、図-4に示す検討断面の破壊要素の分布(破壊領域)に着目する。図-5は、第7ステップ終了時および第14ステップ終了時のa断面からg断面の破壊領域である。図-5(1)に示した領域I,II,IIIの掘削が終了した時点(第7ステップ)の各断面の破壊領域は全断面同じであり、領域IIIの妻壁の影響は破壊領域には見られない。ただし、変位は妻壁に近いf,g断面において小さくなる傾向が認められた。第8ステップから第14ステップは領域Vの掘削であり、この掘削により空洞形状は複雑になる。このため、図-5(2)に示すように第14ステップの破壊領域は各断面ごとに異なっている。空洞側壁部の破壊領域は、領域Vの中央となるd断面で最大となっている。c,e断面の破壊領域は、同じ掘削規模のd断面に比べて小さい。これは、領域IVおよび領域VIの岩盤の

図-2 せん断破壊時の応力再配分
(最大主応力 σ_m 一定条件)

キーワード：地下空洞、三次元、ひずみ軟化、FEM

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3 東電設計上野センター TEL:03-5818-7796 FAX:03-5818-7608

三次元効果と考えられる。

a,b断面およびf,g断面は、第7ステップで盤下げ掘削が終了するが、第14ステップ終了時に破壊領域が拡大している。b断面は、a断面よりも領域Vに近い断面である。b断面の破壊領域は、同じ掘削規模のa断面よりも全体的に大きくなっている。f,g断面間にも同傾向が認められる。以上より、領域Vの掘削の影響は、当該断面内だけでなく面外方向にも及ぶことがわかる。

図-6にA断面およびB断面の破壊領域を示す。A断面の側壁部の破壊領域は、領域IIの中央部で最大となり、a断面およびg断面に向かって縮小する分布となっている。B断面の側壁部の破壊領域にも同様の傾向が認められる。領域IVおよび領域VIの岩盤の破壊領域は、空洞長軸中心で最大となり、側壁部に向かって縮小する分布となっている。

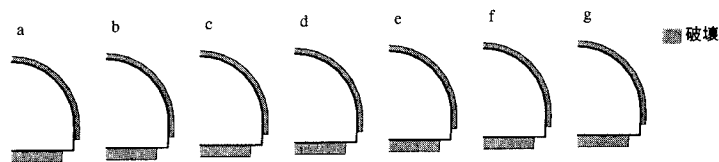
5. おわりに

三次元ひずみ軟化FEMによる大規模地下空洞の掘削解析を行った結果、空洞形状に起因する三次元効果が岩盤挙動（破壊領域）に認められた。今後、地質構造や初期応力などの三次元構造にも着目した解析を実施し、支保合理化について検討を行う予定である。

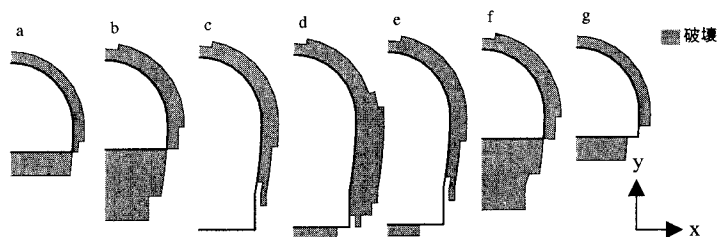
参考文献

1)田中、鵜飼、河邑、阪上、大津：地盤の三次元弾塑性有限要素解析、丸善株式会社、pp.84-90、1996。 2)川本 脩、林 正夫：地盤工学における有限要素解析、培風館、1978。 3)土木学会編：大規模地下空洞の情報化施工、pp.86-90、1976。

表-1 解析に用いた岩盤物性値		
単位体積重量(kN/m ³)		2.75
弾性係数(GPa)		10
ポアソン比		0.25
破壊強度 (ピーク)	c_p (MPa)	1.5
	ϕ (degree)	58
破壊強度 (残留)	c_r (MPa)	0.5
	ϕ (degree)	50
引張強度(MPa)		0.0



(1) 領域I,II,III掘削終了時(第7ステップ)



(2) 領域I,II,III,V掘削終了時(第14ステップ)

図-5 a-g断面の破壊領域図

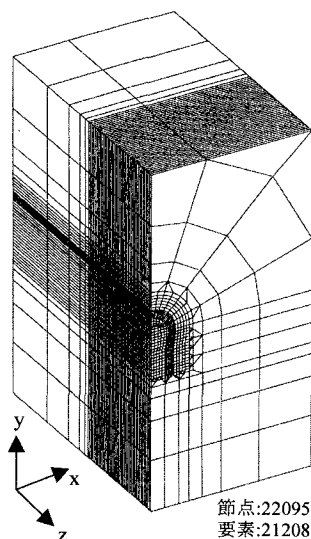


図-3 三次元FEMメッシュ

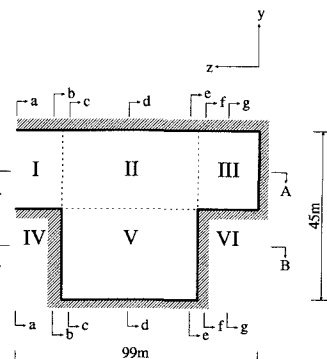


図-4 検討断面の位置

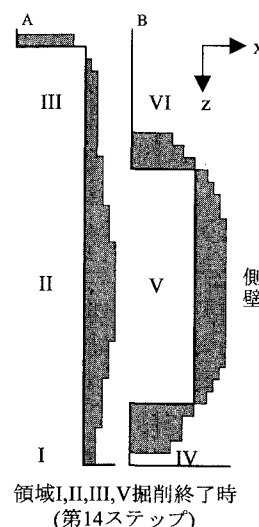


図-6 A,B断面の破壊領域図