

(Ⅲ - 31) 不連続体的解析手法による地下空洞掘削解析に関する一考察

(株) 青木建設 技術本部研究所 正会員 ○小谷野康之
(株) 青木建設 技術本部研究所 正会員 孫 建生
(株) 青木建設 技術本部研究所 正会員 永井 哲夫

1. はじめに

不連続性岩盤の力学的挙動を予測する方法は、連続体的手法と不連続体的手法に大別できる。後者は、不連続面の位置、大きさおよび方向などの幾何学特性ならびにその力学特性を特定できていることが前提となることから、モデル実験のシミュレーションや数値実験において有効である。著者らは、不連続体的手法としてジョイント要素による FEM を取り上げ、不連続供試体の三軸圧縮試験結果のシミュレーションを通して、不連続面のせん断剛性の応力依存性を考慮する必要があることをこれまでの研究で明らかにしている¹⁾。そこで本研究では、岩盤内に掘削される地下空洞を対象に、ジョイント要素 FEM プログラムによりシミュレーションを行う場合、不連続面の力学特性の取り扱い方法が空洞周辺岩盤の力学的挙動に及ぼす影響について考察する。

2. 岩盤内に掘削された地下空洞の力学的挙動

著者の一人は、国内の既設揚水発電所地下空洞における施工実績および実測結果に関する事例解析をもとに、大規模地下空洞掘削時における周辺岩盤の力学的挙動に関して考察を行い、岩種に対応して既存節理の開口現象や新たな割れ目の発生現象が見られ、不規則で不連続な変位が生じていることを示した。さらに、火成岩より成る岩盤においては、掘削に伴う既存節理の開口現象の影響で岩盤内に大きな変位を生じ、不安定な状態になる場合があることを明らかにしている²⁾。この開口現象に関しては、既存節理のせん断挙動による影響が大きいようである³⁾。

3. ジョイント要素 FEM による地下空洞掘削解析

不連続供試体の三軸圧縮試験結果のシミュレーションを行うため、著者らはジョイント要素が式 (1) に示すような不連続面のせん断剛性を持つように、既に汎用 FEM プログラム (SIGNAS) を改良している¹⁾。ここでは、前述のような地下空洞周辺岩盤の力学的挙動のシミュレーションを目的として、まず、改良したプログラムにより岩盤内の地下空洞の掘削解析を行い、不連続面の力学特性の取り扱い方法が空洞周辺岩盤の力学的挙動に及ぼす影響について考察する。

$$K_s = K_j \cdot \gamma_v \cdot \left[\frac{\sigma_n}{P_a} \right]^{n_j} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 K_j は剛性数、 n_j は剛性指数、 γ_v および P_a はそれぞれ水の比重および大気圧で、 K_j の次元を無次元化するために用いられているパラメータである。

本研究では、図-1 に示すような地下空洞モデルおよび要素分割に対して、表-1 のようなケースおよび条件で解析を行った。ここで対象としている岩盤は、硬岩または軟岩より成るものであり、Arora の実験結果⁴⁾ を参考にしてそれぞれの岩石実質部および不連続面の力学特性を設定した。

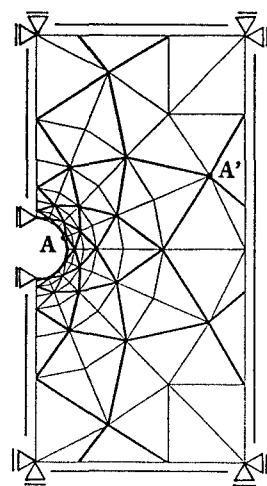


図-1 解析モデルと要素分割

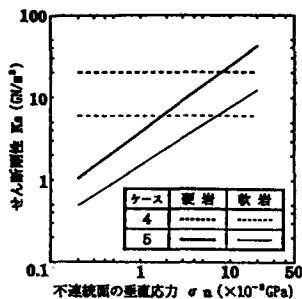


図-2 せん断剛性の入力値
(ケース4、ケース5)

ただし、不連続面の変形特性については、垂直剛性を一定とし、せん断剛性は定数型または垂直応力依存型であると考えて入力値としている。

なお、ケース4では、ケース5の場合

と同レベルのせん断剛性を選定した(図-2参照)。そして、初期応力は静水圧状態でその大きさを10MPa、空洞の半径は5mとして掘削解析を行った。

いま、掘削により空洞周辺に生じた最大変位をケースごとにまとめると表-2のようになる。ここでは、ケース1の弾性FEMで得られた解との比率も合わせて示している。また、図-1の測線A-A'上の変位分布をケースごとにまとめると図-3および図-4のようになる。これらの結果から、不連続性岩盤においては、それを構成する岩石の力学特性よりも不連続面の特性によりその力学的挙動が支配されるという現象に関して、不連続面のせん断剛性の垂直応力依存性を考慮したジョイント要素FEMが有効であることが分かる。さらに、ケース5を参考にして不連続面のせん断剛性(定数型)を定めたケース4もある程度有効であると考えられる。

4. おわりに

ここでは、主として変位に焦点を当てて検討を行ったが、応力分布や変形モードを見ると空洞壁面付近で特異な値を示している。これは、ジョイント要素FEMに不連続面のせん断剛性の応力依存性

を取り込んで空洞の掘削解析を行ったことによるものと思われるが、今後更なる検討が必要である。

表-1 解析ケースと条件

ケース No.	硬岩より成る岩盤				軟岩より成る岩盤				備 考
	E (GPa)	ν	K _s (GN/m²)	K _s (GN/m²)	E (GPa)	ν	K _s (GN/m²)	K _s (GN/m²)	
1	20	0.3	—	—	1	0.3	—	—	弾性解析
2	"	"	1000	400	"	"	80	32	K _s /K _n =1/2(1+ν _j) ここで、ν _j =0.25
3	"	"	"	100	"	"	"	8	K _s /K _n =0.1
4	"	"	"	20	"	"	"	6	図-2参照
5	"	"	"	950 × σ _v ^{0.8}	"	"	"	189 × σ _v ^{0.7}	垂直応力依存性 図-2参照

表-2 掘削により空洞周辺岩盤に生じた最大変位

ケース No.	硬岩より成る岩盤		軟岩より成る岩盤	
	最大変位 (mm)	弾性解比率 (%)	最大変位 (mm)	弾性解比率 (%)
1	2.880	100.00	57.60	100.00
2	2.970	103.12	57.80	100.35
3	3.270	113.54	62.50	108.51
4	4.270	148.26	64.00	111.11
5	4.720	163.89	63.70	110.59

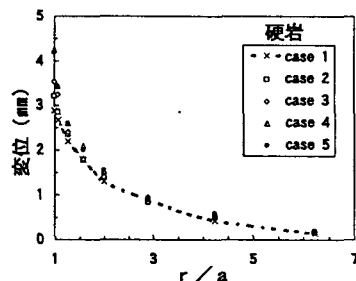


図-3 変位分布(硬岩)

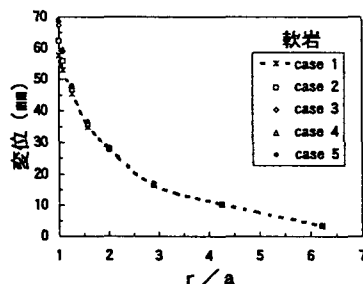


図-4 変位分布(軟岩)

【参考文献】

- 1) 永井哲夫・孫 建生・國村省吾：不連続面のせん断剛性の応力依存性を考慮したFEM解析，第21回関東支部技術研究発表会講演概要集(土木学会)，pp.360-361，1994.
- 2) 池尻 健・國村省吾・永井哲夫：大規模地下空洞掘削に伴う周辺岩盤の挙動に関する一考察，第2回岩盤システム工学シンポジウム講演論文集，pp.27-30，1994.
- 3) 打田靖夫・吉田次男・浦山 克・平川芳明：大規模地下空洞掘削における不連続性岩盤の変形形態，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第3部，pp.1178-1179，1994.
- 4) Arora, V. K. : Strength and Deformational Behaviour of Jointed Rocks, Ph.D. Thesis, Indian Institute of Technology, New Delhi, India, 1987.