

個別要素法による大規模岩盤構造物の力学的挙動の評価

長崎大学大学院 学生員 永家健司
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
 九州電力(株) 正会員 山下裕司

長崎大学工学部 フェロー会員 棚橋由彦
 長崎大学大学院 学生員 山下秀一
 九州電力(株) 正会員 江藤芳武

1. はじめに

地下揚水発電所や大規模エネルギー貯蔵施設などの大規模地下空洞の変形挙動と安定性を支配する節理、断層などのような既存不連続面の力学的挙動を適切にモデル化し、ゆるみ領域の発生メカニズムを解明することが地下空洞を始め岩盤構造物の設計・施工・管理を行う上で重要な課題となっている。

また、岩盤構造物の設計において、有限要素法(FEM)を代表とする連続体解析法が一般的に用いられている。しかし、不連続性岩盤内に空間の立地を考えた場合、空洞の掘削に伴う周辺岩盤の変形や破壊の大部分は不連続面に沿うせん断破壊やダイレイションに起因することが多いと認識されていながらも、設計の現状は連続体解析が主流であるという矛盾があった。

そこで、本研究では宮崎県に建設中である揚水発電所大規模地下空洞掘削の調査、試験、解析、計測の各段階で蓄積された技術データを活用し、複雑な不連続面幾何学分布のモデル化が容易で、不連続面の分離を表現できる個別要素法を用いて、不連続面の影響を受けた空洞変形のメカニズムを解析的に評価・考察する。

2. 不連続体解析モデル

2.1 想定地盤

本研究では、深部における比較的堅硬な岩盤地山中に位置する大規模地下空洞を対象とし、断面形状は、幅 24m、高さ 48m の弾頭形であり、空洞深度は 425m に設定している。

掘削は発破によるベンチカット掘削工法であるが、この工法を用いた場合、周辺岩盤が発破による振動・波動により損傷を受けると考えられている。よって本解析においても空洞周辺に発破による損傷を受ける領域(発破損傷領域)を設定し、調査結果に基づく事前検討により空洞周辺約 2m の範囲で弾性係数を低減させて発破損傷を表現した。また、岩盤及び不連続面の物性値を表-1 に示すが、これらは原位置試験及び室内試験で求めたものである。

2.2 不連続面のモデル化

地質状況から不連続面を取り入れた解析モデルを図-1 に示す。空洞掘削前の事前調査で判明した断層(太線)、アーチ部の施工過程で判明したアーチ部周辺の連続した節理群(点線)、ステップ 4 以降の施工過程で判明した断層(細線)、そして、大規模地下空洞の両側 28m の距離に励磁室と工事用道路の地下空洞を掘削しており、この周辺坑も大規模地下空洞の掘削に伴う変状に何らかの影響を与えるものと考え、モデル化を行い、現場計測値と解析結果を比較することで、同解析法の挙動予測における有用性及び妥当性の検証を試みる。

表-1 解析用物性値

(a) 岩盤基質部

項目	単位	値
単位体積重量	kN/m ³	27.1
弾性係数 E	MPa	20000
ポアソン比	-	0.23
粘着力 c	MPa	1.6
内部摩擦角	deg.	60
引張強度 σ_t	MPa	0

(b) 不連続面

項目	単位	値
せん断剛性 K_s	MPa / m	5.62×10^3
垂直剛性 K_n	MPa / m	1.17×10^4
粘着力 c_j	MPa	0
摩擦角 ϕ_j	deg	20
引張強度 σ_{jt}	MPa	0

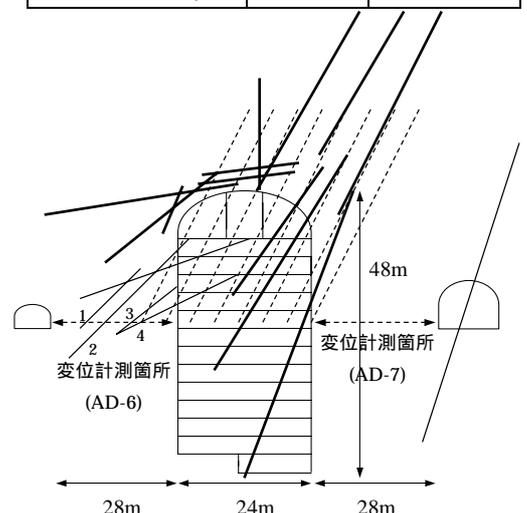


図-1 解析断面(不連続面の分布)

3. 解析結果と考察

図-2 に大規模地下空洞掘削時の側壁部変位量(図-1 に示す箇所)の解析結果と現場計測値との比較を示す。アーチ部掘削完了時の側壁部はほとんど挙動しておらず、盤下げの進行に伴い変位が大きくなっていく。(a) に示す壁面からの距離 6~8m で変位が急激に増加しているのは、不連続面の影響であり、現場計測値を精度よく予測できている。また、(a)と(b)を比較すると、流れ目(AD-7)より指し目(AD-6)の岩盤挙動が大きい結果となった。このことより、空洞の局所的変形に対して不連続面の影響は明らかであり、不連続体解析によって岩盤の異方性を考慮することは、空洞周辺岩盤の挙動を予測する上で重要である。

図-3 に、各空洞掘削ステップにおける側壁部変位計測箇所(AD-6)の不連続面(左から順番に4本)の開口幅の推移を示す。掘削が進行するにつれ、掘削ステップ7までは緩やかに開口幅が増加するが、側壁部変位計測箇所付近の掘削に伴い開口幅は急激に拡大している。さらに、ステップ10以降の掘削時には開口幅は減少する結果となった。これは、空洞掘削に伴う側壁部岩盤の応力解放により不連続面の開口幅は増加するが、掘削が進むにつれ、空洞下部岩盤不連続面の開口幅の増加に伴い、空洞上部岩盤不連続面は圧縮されるため、側壁部変位計測箇所の不連続面の開口幅は閉束する。

このように、周辺岩盤の挙動に影響を与える断層と連続性のある節理のモデル化は岩盤挙動の予測に重要である。さらに、掘削に伴う不連続面の開口変位のメカニズムは解明されたが、空洞周辺岩盤の内空変位を適確に把握するためには、掘削に伴い発生する新規亀裂の影響を考慮する必要がある。

4. おわりに

本研究では、不連続面を忠実にモデル化した個別要素法によって掘削シミュレーションを行うことで、周辺岩盤の局所的挙動、変形、不安定化挙動を把握できるということが確認された。空洞の局所的変形に対して不連続面の影響は明らかであり、事前調査及び施工過程において判明した不連続面の反映は、空洞の挙動予測において不可欠である。今後は、この結果からより精度の高い空洞安定を評価する上で着目すべき不連続面について整理し、初期地質調査における着目点について提案していく。

参考文献

- 1)土木学会：大規模地下空洞の情報化施工, 1996.
- 2)鶴田正治, 他：小丸川地下発電所の設計解析と情報化施工計画, 電力土木, No.300, pp.114-118, 2002.7.

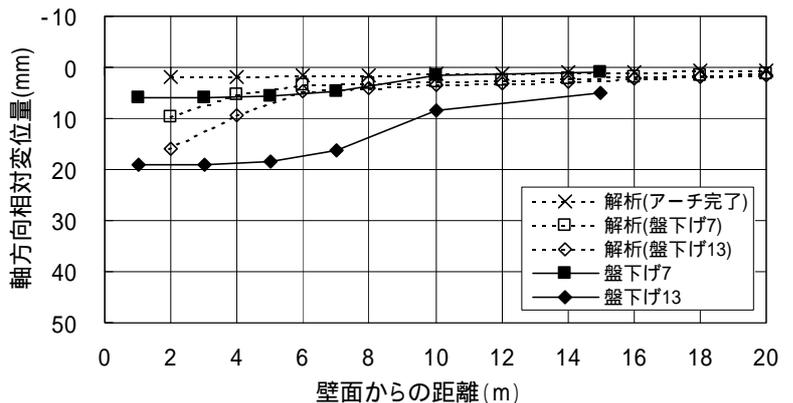
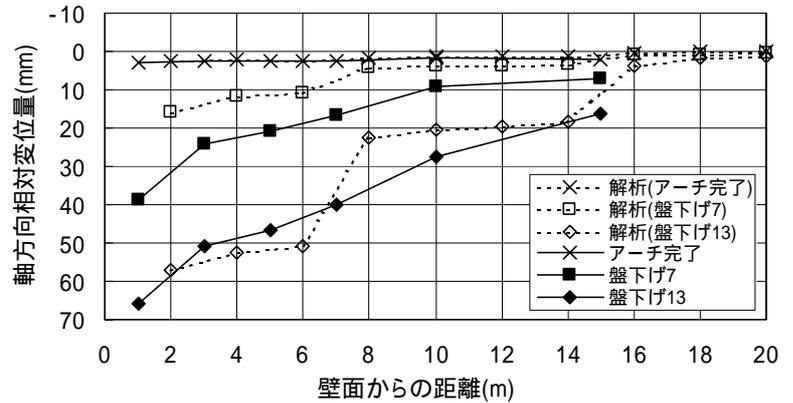


図-2 空洞側壁部変位の比較

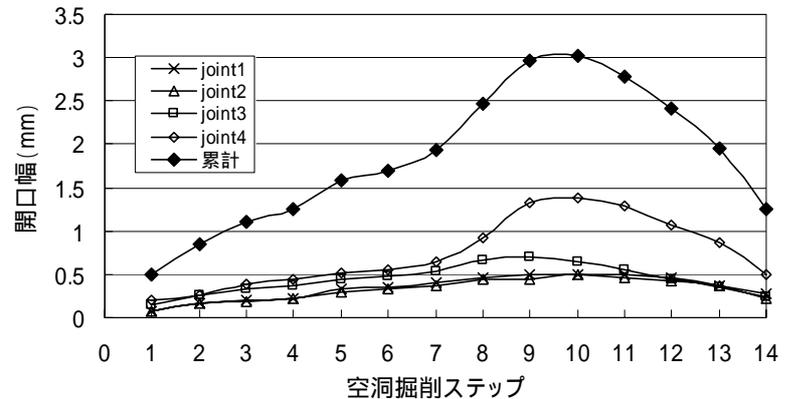


図-3 測線上(AD-6)における不連続面の開口幅の推移