

個別要素法による不連続性岩盤内大規模地下空洞の力学的挙動の評価

長崎大学 学生員○後藤光佑 学生員 森尾慎吾 学生員 李 博
 長崎大学工学部 フェロー会員 棚橋由彦 正会員 蔣 宇静
 九州電力㈱ 正会員 山下裕司 正会員 江藤芳武

1. はじめに

大規模地下空洞の安全施工に際して、ゆるみ領域の発生メカニズムの解明は重要な課題である。また、不連続性岩盤内における空洞掘削に伴う周辺岩盤の変形や破壊は、不連続面に沿うせん断破壊やダイレンションに大きく起因することが認識されていながらも、予備設計は有限要素法(FEM)など連続体解析に基づいて行うことが主流であるという矛盾がある。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の掘削にあたり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、不連続面の挙動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メカニズムの解明を図る。特に、初期地圧の主応力方向の変化や空洞の断面形状による挙動を比較し、新たに解析的に評価・考察し、不連続性岩盤のさらなる挙動解明を図る。

2. 解析モデル

空洞の断面形状モデルについて、対象現場で採用されている弾頭型と、タマゴ型の2タイプを用いる。図1に断面形状の比較を示す。なお、掘削断面積は弾頭型 950m^2 、タマゴ型 1125m^2 である。

空洞の掘削はベンチカット掘削工法で行われ、発破時の振動・波動により周辺岩盤が損傷を受けると考えられる。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範囲で弾性係数を低減させている。弾頭型の変位計測箇所と周囲の不連続面分布状況を図3に示す。岩盤及び不連続面の物性値は原位置試験及び室内試験で求めた値を用いる。なお、空洞深度は425mである。初期地圧の主応力方向の影響を調べるために、傾斜角度は図2に示すように反時計回りを正として 0° 、 5° 、 10° 、 13° 、 20° 、 35° 、 50° 、 -20° 、 -35° 、 -50° と変化させる。

3. 解析結果と考察

図4は全掘削工程終了時における各変位計設置箇所での絶対変位量の、初期地圧傾斜角度の違いによる変化の傾向を示している。凡例は変位計測箇所の壁面からの距離である。

3.1 断面形状による影響

弾頭型よりタマゴ型の方が変位を抑制する傾向が見られる。これは弾頭型の側壁が鉛直なのに対し、タマゴ型は側壁までアーチ状であるため応力集中度が低いと考えられる。

空洞の変形挙動について、現場施工では奥行深部の基準点に対し計測される相対変位量を用いている。ここでは、絶対変位量の解析結果を示す。図4より、本解析では壁面から20mの位置でも変位が大きく発生し、また初期地圧傾斜角度の影響を受けることを判断したため、絶対変位量による評価が適切と判断したからで

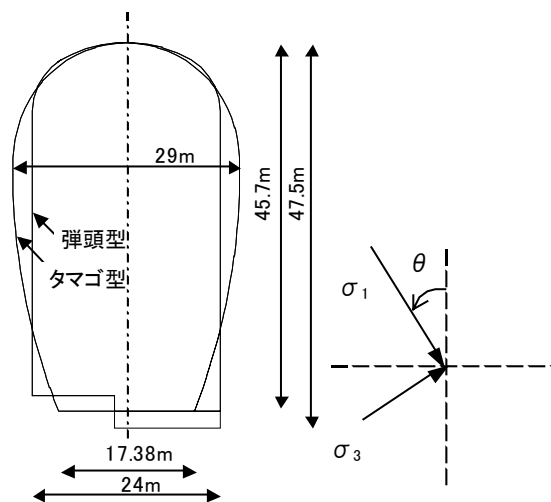


図1 断面形状の比較

図2 主応力方向

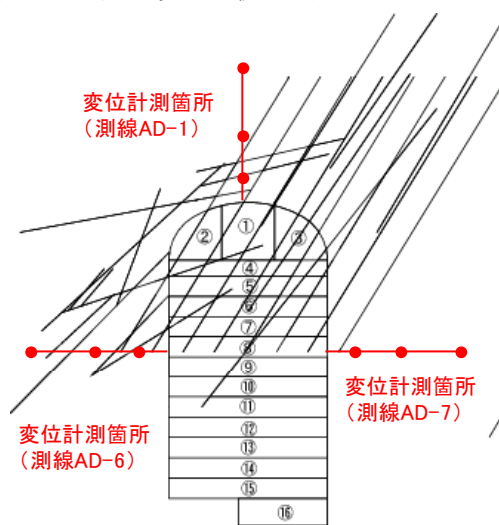


図3 変位計測箇所と不連続面分布状況

ある。この結果より、空洞全体の変形挙動を評価するには奥行深部の基準点の動きを考慮する必要があると考えられる。

3.2 初期地圧の方向による影響

(1) 測線 AD-1 (アーチ部) の挙動

壁面から 4m の位置において弾頭型・タマゴ型ともに、不連続面の傾きとほぼ同じ角度である $\theta = -35^\circ$ と $\theta = -50^\circ$ で特に大きな変位を示している。

また、壁面から 10m, 20m の位置の変位を比較すると、弾頭型は初期地圧の傾斜角度 (θ) を増加するに従い増加傾向であるのに対し、タマゴ型では減少傾向である。弾頭型はアーチ部が短く側壁面が鉛直な構造であるため、初期地圧傾斜角度が大きくなるにつれ変位が生じやすい。一方、タマゴ型はアーチ部が長いいため初期地圧の傾斜角度が大きくても十分にアーチ効果を発揮し、また傾斜角度が大きくなるにつれ主応力の鉛直方向成分が小さくなるため測線 AD-1 においては変位が小さくなる傾向を示したと考えられる。

(2) 測線 AD-6 (左側) の挙動

図 3 に示すように、空洞の左側における不連続面は指し目的に分布している。壁面から 10m, 20m の位置では弾頭型・タマゴ型ともに角度を増加するに従い増加傾向を示す。これは弾頭型では側壁が鉛直であり、またタマゴ型でも鉛直に近いアーチ状であるために横方向の応力に対しては変形しやすい構造なためである。壁面から 4m の位置では弾頭型・タマゴ型ともに初期地圧の傾斜角度による大きな変化は見られない。

(3) 測線 AD-7 (右側) の挙動

空洞の右側における不連続面が空洞側壁面に対し流れ目的分布となっているが、全般的に変位が測線 AD-1,6 に比較し小さい。これは測線上に不連続面がほとんど存在しないためである。

4. おわりに

不連続面の挙動を表現できる個別要素法を用いて、初期地圧の傾斜角度と空洞形状による変形挙動の相違を比較していくつかの知見を得た。特に、弾頭型に対しタマゴ型が幅広い初期地圧傾斜角度において変位を抑制する点で有利な形状であること、初期地圧の傾斜角度に近い角度の不連続面が多数存在する場合に空洞変形を促進させることを解明することができた。

【参考文献】

- 1) 永家健司, 棚橋由彦, 蔣 宇静, 山下裕司, 江藤芳武: 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, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 福岡, III-82, pp.531-532(2005.3)

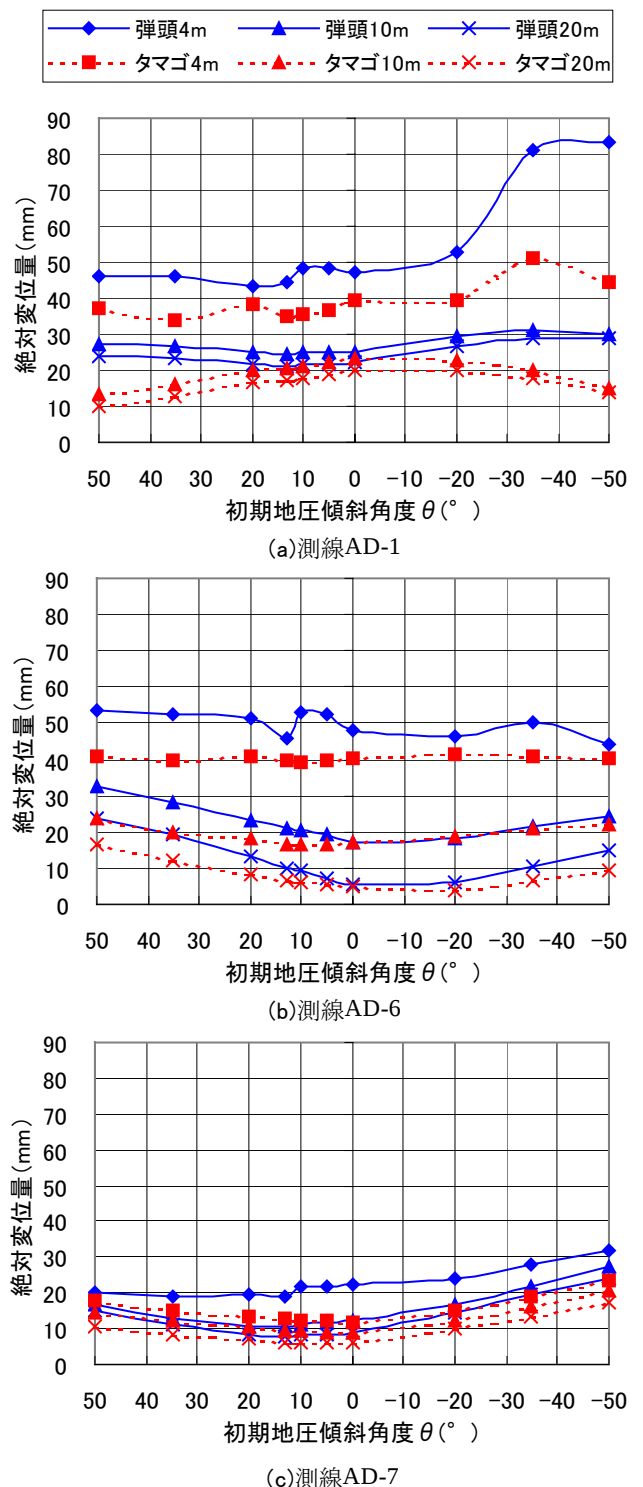


図 4 空洞壁面から深度毎の絶対変位量の変化