

大規模地下揚水発電所空洞の情報化施工に関する基礎的研究

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔭 宇静
九州電力(株) 総合研究所 正会員 溝上 建 長崎大学大学院 学生員○杉野秀一

1.はじめに

近年、土地の有効利用あるいは環境問題などの視点から地下の利用が積極的に進められている。その中で、大規模地下空洞はその断面が大きくなるため安定性が低下し、また、支保構造も著しく大規模となる。このような大規模地下空洞の施工にあたっては、地山の変形などの力学的挙動を観察・計測し、その分析結果を設計・施工に反映させるいわゆる情報化施工が重要な役割を担うことになる。これにより適切な対策を施して、安全性、経済性の確保に努めることが可能になる。

本研究では、大規模地下空洞の掘削に伴う周辺地山の力学的挙動を的確に把握するために、現場の地山特性および掘削過程を比較的忠実に考慮した三次元掘削解析モデリングを行い、安全性、経済性を確保し得る合理的支保設計の検討を目的とする。

2.解析モデル

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 25m、高さ 50m の弾頭形である。解析モデルを図-1 示す。ここに示すモデルは節理や断層の影響を考慮した等価連続体三次元モデルであり、空洞断面の中心軸に対して左右対称となる。また、支保工としては、PS アンカーは、アーチ部で長さ 10m、側壁部で長さ 15m とし、ロックボルトは PS アンカーの間に、補助的部材として長さ 5m のものを打設する。PS アンカーはロックボルトと異なり、緊張力を導入しなければならない。本解析では、グラウトにより固定された部分のケーブル要素に緊張力を与え、その反力として、本来アンカープレートとなる範囲に垂直応力を作用させて PS アンカーのモデル化を行う。掘削ステップについては、まずアーチ部を中央部掘削後、両端部(本研究では、左右対称であるため右側のみ)を経て、ベンチカットで本体部を切り下がる段階を組んでいる。解析プロセスはアーチ部で 2 ステップ、本体部で 13 ステップである。

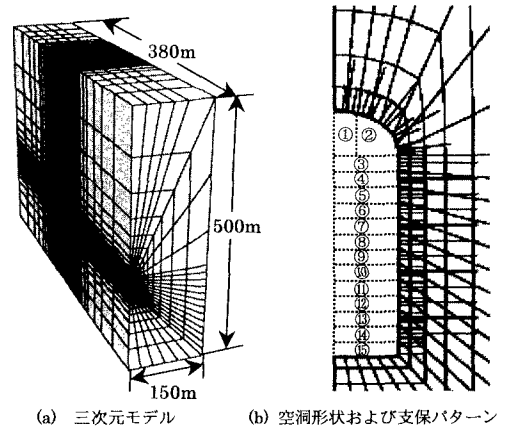


図-1 解析モデルの概要

3.解析結果と考察

解析では、支保パターンにおいて、上述した PS アンカーを考慮した場合(ケース 1)と、PS アンカーを同じ長さのロックボルトで代用した場合(ケース 2)を考えた。図-2 に空洞周辺の変位ベクトルを示す。空洞延長方向中央では、アーチ部上方および底盤部の内空変位ベクトルが最も卓越し、側壁の高さ方向にも同様の特徴がみられる。

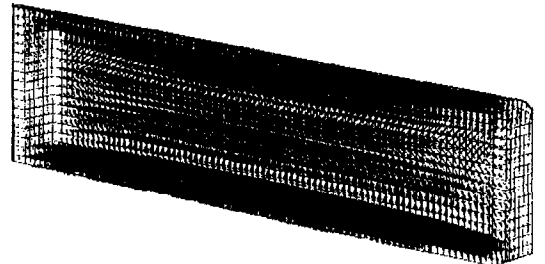


図-2 空洞周辺の変位ベクトル

図-3 に空洞アーチ部および本体部側壁における変位を示す。ここでは空洞延長方向において、中央部(A0,R0)とそこから 45m 奥(A45,R45)、空洞端にあたる 93m の地点(A93,R93)の 3 断面について考察する。天端、側壁部とも、空洞延長方向中央部で最も変位が大きく、空洞端に向かうほど変位が小さくなっている

ことがわかる。

ケース 1 について、空洞掘削終了後、各ベンチレベルでの内空変位を空洞延長方向で比較した結果を図・4 に示す。第 4 ベンチレベルにおいて内空への水平変位が最も大きく、側壁最下部にあたる第 13 ベンチレベルでは、延長方向のどの地点でもほとんど変位を生じていないことがわかる。また、空洞延長方向中央に向かうほど変位が増加しており、空洞両端ほど安定していることがわかる。ここで、最も内空変位が大きく生じた第 4 ベンチレベルに関して、ベンチ掘削に伴う内空変位の進展履歴を調べる(図・5)。1 つ前の段階である第 3 ベンチ掘削完了までは変位がほとんど生じていないのに対し、次の第 5 ベンチ掘削後から変位が増加しはじめ、延長方向において中央 100m 範囲の変位がほぼ均等に増加し、全断面掘削終了時に内空への水平変位は最大に達する。

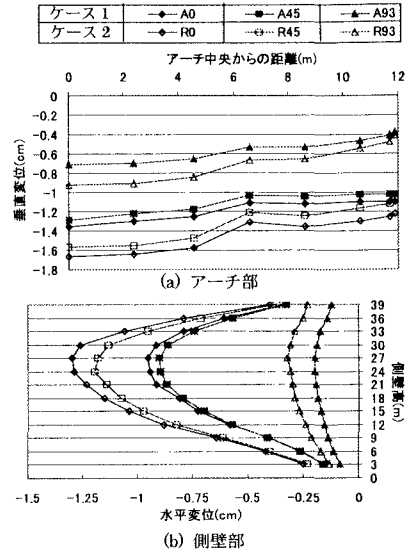
図・6 は、図・3 に示した 3 断面における空洞周辺地山のせん断破壊領域の分布を示す。内空変位の分布特徴と同様に、空洞延長方向中央ほど塑性領域が広く分布している。アーチ部では側壁部に比べ分布が少なく、安定しているといえよう。側壁部においては、図・4 において最も内空変位が大きかった第 4 ベンチレベル付近に塑性領域が広く分布しており、本文に掲載していないが、PS アンカーをロックボルトで代用したケース 2 と比べると、PS アンカーを打設することにより、側壁部の中央から下部にかけて塑性領域の広がりが抑制されている結果が得られた。しかし、空洞延長両端の断面ではその違いがあまりみられず、つまり、PS アンカー打設の効果はあまり期待できないと考えられる。

4.まとめ

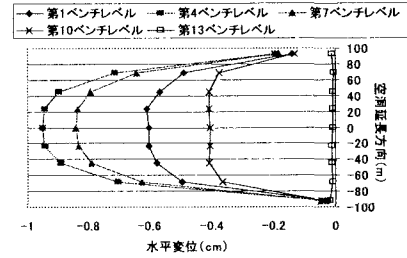
大規模地下空洞の情報化施工を行うために、ベンチ掘削過程を忠実に再現することにより、空洞および周辺地山の変形挙動を三次元的に把握することができた。空洞はその延長方向中央部ほど、また、アーチ上部から空洞高さの約 1/3~3/5 の側壁部では地山が塑性領域を広く生じるが、PS アンカー、ロックボルトにより内空変位が効果的に抑えられることを確認することができた。今後は、延長方向に沿う周辺地山の支持効果の違いも考慮して、支保工の合理的打設パターンをさらに検討していく。

〈参考文献〉

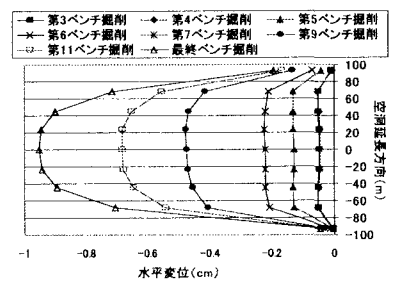
- 1) 土木学会：大規模地下空洞の情報化施工，1996



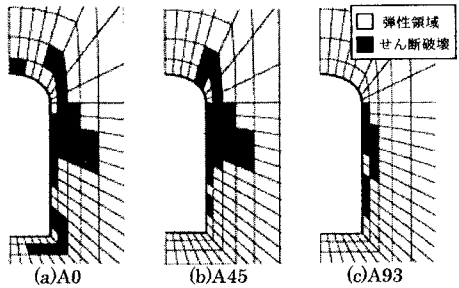
図・3 アーチ部および側壁部の変位分布



図・4 掘削完了後側壁部の内空変位の比較



図・5 第 4 ベンチレベルの内空変位の変化



図・6 塑性領域分布