

Ⅲ - B 215

岩盤不連続面の破壊条件を考慮した逆解析の一例

(株) ニュージェック 正会員 ○柿原 満
 神戸大学大学院 白井ひとみ
 神戸大学工学部 正会員 芥川 真一
 神戸大学工学部 正会員 桜井 春輔

1. はじめに

不連続性岩盤内に、揚水発電所における地下発電所空洞などのような重要構造物を建設する場合、調査・設計・施工・安全管理には最大限の慎重を期さなければならない。情報化施工は、このような状況下で用いられる一般的な施工管理技法として確立されつつあるが、その中でも変位計測結果から現状の岩盤の変形状態を把握するための逆解析手法は重要な位置を占める。しかしながら、これまでに開発された逆解析手法では最も合理的と思われる解に到達するために人為的な試行錯誤のプロセスを取らざるを得ない点で、順解析に基づくパラメータスタディと基本的には同様の問題を抱えており、また安定性が危惧されている場合に計測結果から即座に岩盤の安定性を判定する点からも不備な点がある。そこで、本報告では、不連続性岩盤内に建設される大規模地下空洞周辺岩盤の変形挙動を、与えられた情報から最も合理的、かつ迅速に把握するために、岩盤不連続面のすべり変位、および破壊条件に注目した逆解析手法を開発し、その適用性を確認することとした。

2. 不連続性岩盤のモデル化と逆解析の手順の概要

ここで述べる逆解析手法では、原位置調査などから得られる情報は、できるだけそのままの形で既知情報として解析に取り入れ、未知数は不連続面のすべりのみとする方向で定式化が行われている¹⁾。今、掘削に伴う応力変化に対応する代表要素の全体コンプライアンスを C とし、それが岩質部(上添え字 r)と複数(例えば2個)のジョイントセット(上添え字 $j1$ と $j2$)におけるコンプライアンスの合計であると考えれば次式が成立する。

$$C = C_r^e + C_p^e + C_{j1}^e + C_{j2}^e + C_{j1}^p + C_{j2}^p \quad (1)$$

ここで、上添え字 e, p はそれぞれ弾性、非弾性成分に対応するものとする。さて、岩質部およびジョイントの線形コンプライアンスは原位置もしくは室内での試験によって、ある程度妥当と認められる値を推定することは可能である²⁾。しかし、ジョイントの非線形変形特性、破壊基準、強度特性などは岩盤内の場所ごとに微妙に異なる値をとると考えられる。また、事前の調査では特定されなかったジョイントセットや、弱面などの存在も否定できないこともあるため、これらが引き起こすジョイントの非線形コンプライアンスは式(1)の右辺を構成する各成分の中で、最も特定が困難であると考えられるため、これは以下の手順によって変位計測結果を逆解析することによって決定する。

まず、岩盤の基本的な変形挙動は岩質部とジョイントの弾性変形挙動に従うと考える。しかし、実際には岩盤不連続面の滑りが生じているため、変位計測値をこの基本的弾性挙動で説明することはできない。そこで、空洞周辺の各場所でのどの程度の滑りが生じれば、計測されたような変位分布が得られるかに注目して、すべり変位量と変位分布の一次関係式を導く。即ち、実際の掘削過程においてはジョイントが破壊し、すべりとそれに伴う開口が生じるが、この現象は、「本来の非線形挙動を示す岩盤に掘削相当外力が作用することにより、岩盤に弾性変形とすべりなどの非弾性な変形が生じる。」と考える替わりに、「岩質部とジョイントの弾性変形特性で代表される岩盤に、掘削相当外力とジョイントのすべりに等価な未知外力が作用することにより岩盤が弾性的に変形する。」と考えることによって説明しようという訳である。また、ここではこれまでに開発した方法¹⁾に破壊基準を考慮したアルゴリズムを組み込むことにより、結果として得られるひずみ、応力場をより妥当なものとする改良を加えた。すなわち、既知情報として与えた岩盤不連続面の粘着力、内部摩擦角を用いて破壊条件を設定し、すべり変位が生じた後でも不連続面上での応力状態が破壊規準を超えないようにした。この方法では若干の繰り返しは必要となるが、本来、非線形な問題を線形問題に変換して解いているため、掘削の各段階で求められる計測変位から、効率良く不連続面のすべり・開口変位、変位増分、またその内訳、応力・ひずみ増分などを逐次求めることが可能である。

3. 大規模地下空洞掘削問題への適用例

本逆解析手法を適用する地下発電所空洞は幅24m、高さ46.6m、長さ134.5mの規模を持ち、土被りは約300mである。空洞周辺の岩盤は全体的には C_4 級(電中研式岩盤分類)の良好な岩盤である³⁾。応力解放法によって求めた地山の初期応力 σ_0 は、最大主応力が10MPa(圧縮)であり、その方向は発電所長軸方向にほぼ直交し、傾斜は水平より右回りに36度下向きとする。

図-1に示した地質断面図から分かるように、水圧管路側(Penstock side)は全体的にシームが少なく良好な岩盤状況である。一方、放水路側(Tailrace side)においてはアーチ部と側壁部に多数存在する流れ目のシームによって岩盤が劣化しており、計測された地中変位は全体的に大きくなっている。解析では2組のジョイントセットを考慮した。傾斜はジョイントセット1が水平から反時計回りに60度(左落ち)、ジョイントセット2が時計回りに40度(右落ち)である。

キーワード：岩盤不連続面、すべり変位、逆解析

1) 〒542-0082 大阪市中央区島之内1-20-19 Tel (06) 245 4901 Fax (06) 243 2774

2) 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1、神戸大学工学部建設学科(土木系教室) Tel (078) 803 1026 Fax (078) 803 1050

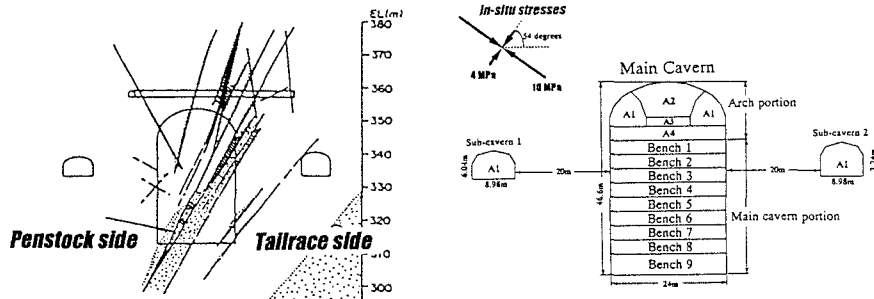


図-1 解析断面と掘削段階

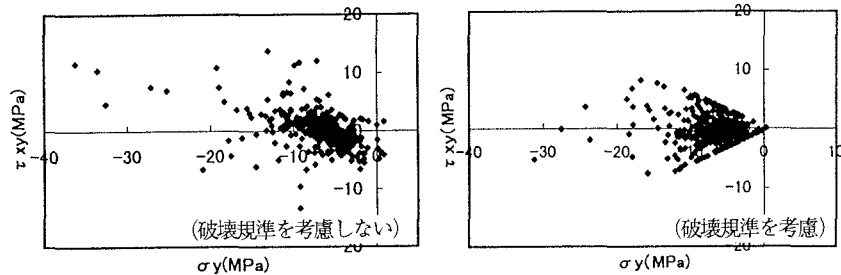


図-2 最終段階における岩盤不連続面上の応力状態

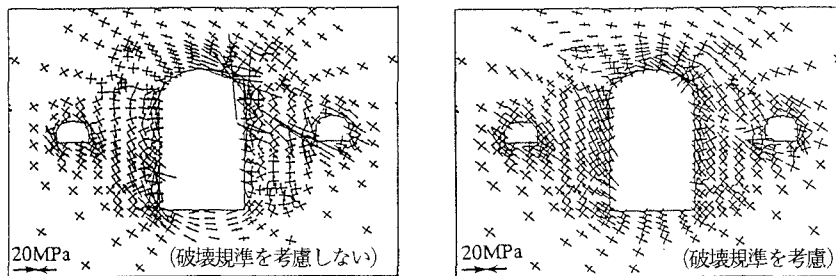


図-3 最終段階における周辺岩盤の応力状態

掘削は、アーチ部を4段階で掘削したあと9段のベンチ掘削を実施するものとし、この各段階ごとに対して実績資料に基づいたPS工の導入力も考慮した上で、増分型の逆解析を13回行った。ここでは、その結果の一部を、破壊基準を考慮しない場合の結果¹⁾と比較しながら示す。

まず、ジョイントセット2においてその最終段階における応力状態を図-2に示す。くり返し型のアルゴリズムで拘束条件を追加した逆解析を実施したことにより、すべての場所で応力状態は破壊基準内に納まっていることが確認できる。また、図-3に応力分布を示す。一部の局所的な変形挙動が応力の集中度を極端に高めることはなくなり、周辺岩盤のあらゆる場所において妥当なレベルの応力状態が達成されていることが分かる。この時、変位計測値は逆解析によって100%再現されていることを考慮すると、今回加えた改良により逆解析結果の精度はより高いものになったと考えることができる。

ここでは紙面の都合から一部の結果のみについて検討を加えたが、不連続面のすべり変位量、ひずみの弾性成分、非弾性成分、PS工の軸力などの項目についても詳細な検討を加え、別の機会に報告する予定である。

参考文献

- 1) 芥川真一, 柿原満, 武山真樹, 桜井春輔: 岩盤不連続面のすべりを考慮した逆解析手法の開発と現場への適用例, 土木学会論文集, No. 589/III-42, pp. 335-348, 1998. 3.
- 2) 北條明, 中村真, 打田靖夫, 桜井春輔: 不連続性岩盤におけるロックボルトの設計法について, 土木学会論文集, No. 553/VI-33, pp. 143-152, 1996. 12.
- 3) 片山武, 矢田篤, 木屋路豊, 福岡孝: 弾頭形大規模地下空洞の建設 関西電力・大河内水力発電所, トンネルと地下, 第22巻10号, pp. 7-14, 1991.