

# (Ⅲ - 42) 不連続性岩盤内空洞の安定性について

(株) 青木建設 正会員 永井 哲夫  
正会員 ○國村 省吾  
正会員 池尻 健

## 1. はじめに

岩盤の力学的挙動が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支配される場合、その岩盤を不連続性岩盤と呼ぶことにする。このような岩盤内に大規模地下空洞を合理的に建設するためには、空洞掘削に伴う周辺岩盤の挙動を的確に把握し安定性を評価して、所要支保数量を求め合理的な設計を行う必要がある。いま、不連続性岩盤の挙動を予測し安定性を評価する方法は、連続体的手法と不連続体的手法に大別できる。不連続面の間隔が構造物の寸法に比べてかなり小さい岩盤を対象とする場合、全ての不連続面を個々に調査・評価せず、巨視的観点からその岩盤の力学特性と類似の特性を有する等価な連続体を考える前者の方法が、実際の設計においては有効であると考えられる。本研究では、この連続体的手法に基づく不連続性岩盤内空洞の安定性評価について、過去の実績に関する文献調査・分析により考察を行う。

## 2. 調査対象とデータ分析に用いたパラメータ

揚水発電所地下空洞は、一般に硬岩からなる岩盤内に建設されることが多く、不連続性岩盤内に設けられた空洞の実際の挙動および安定性を検討するのに適していると考えられる。そこで、既設揚水発電所地下空洞に関する調査・試験、設計、施工および計測等の実績について、過去30年余りの各種文献(例えば、発電所工事誌、電中研報告書、発電水力等)調査を行い、本研究で必要とする種々の情報が得られる24地点の大規模地下空洞を対象として取り上げた。

ここでは、ロックボルトやアンカーにより補強された側壁部周辺の岩盤挙動に着目して、連続体的手法に基づき空洞の安定性について考察するため、次のようなパラメータを定義してデータの分析を行った。

「全体ひずみ」：岩盤変位計による最長計測区間の最大変位／最大岩盤変位計測断面における側壁高さ  
「局所ひずみ」：最大岩盤変位発生地点の岩盤変位計による区間最大変位／区間最大変位計測地点の区間長  
「変位速度」：最大変位計測地点の掘削最盛期の期間最大変位／期間最大変位の計測期間(3～15日)  
「岩石、岩盤限界ひずみ<sup>1)</sup>」：岩石または岩盤の一軸圧縮強度／弾性係数  
「側壁ひずみ」：最大内空変位または2×最大岩盤変位／最大変位計測断面における側壁高さ

## 3. 空洞周辺岩盤の安定性

まず、空洞掘削により周辺岩盤に生じる変位の空間的、時間的不連続性を表すパラメータとして、局所ひずみおよび変位速度を取り上げ検討を行った。これらのデータを分析すると、局所的には不規則で不連続体的な変位が空洞周辺岩盤に生じていることが分かる(図-1)。次に、これらのデータを全体ひずみとの関係でまとめると図-2および図-3のようになる。図-2を見ると、局所ひずみが小さい間は全体ひずみとの間に線形関係があり、ある限界値を境に局所ひずみが卓越するようになり、空洞周辺の岩盤では何らかの変状(表-1)が生じている。この原因として、節理の開口や滑りなど不連続体的挙動の発生が考えられる。岩種別(表-2)に見ると、このような傾向は火成岩において強く、堆積岩および変成岩ではほとんど見られない。同様の結果が、ボアホールテレビ装置による間隙幅の計測結果と岩盤変位計測結果の比較をもとに報告されており<sup>2)</sup>興味深い。このように、連続体的挙動や不連続体的挙動を示すデータが混在しているにもか

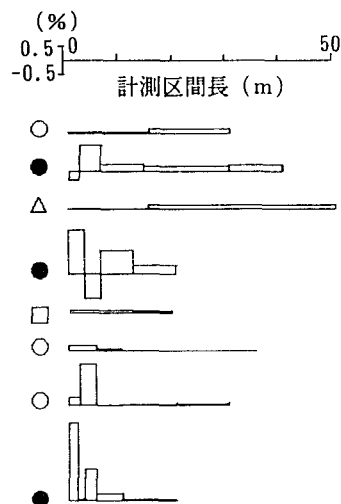


図-1 局所ひずみの分布状況

ならず、全体ひずみと局所ひずみおよび変位速度の間には高い相関のあることが分かる。これらのことと、側壁部における主な変状は表-1のように岩盤の微小変形によるものと見なせることから、岩盤内で生じている不連続体的な挙動は、巨視的に捉えると岩盤と等価な連続体の挙動により評価できると考えられる。

一方、岩盤と等価な連続体の限界ひずみ（岩盤限界ひずみ）によりその連続体の力学特性を表し、巨視的に捉えた側壁岩盤のひずみ（側壁ひずみ）との関係を見ると図-4のようになる。この図から、等価な連続体の限界ひずみに対してある限界以上の変位を生じさせると、空洞周辺岩盤では何らかの変状が生じていることが分かる。このことから、ロックボルトやアンカーにより補強された不連続性岩盤の安定性を連続体的手法に基づいて評価できると考えられる。このように、安定性評価の指標として限界ひずみがある有効であるのは、連続体の力学特性を表す他の指標（一軸圧縮強度や弾性係数）に比べて、限界ひずみが不連続面の影響を受けにくく<sup>1)</sup>、さらにロックボルトなどの支保工の影響をも受けにくい<sup>3)</sup>ことによるものと思われる。

#### 4. おわりに

ロックボルトやアンカーにより補強された不連続性岩盤は高次の不連続体と考えられるが、過去の現場計測結果を分析すると、微視的には不連続体的挙動を示す場合もあるが、巨視的に捉えると等価な連続体としてその挙動を評価できることが分かった。そして、空洞周辺岩盤の安定性を評価する場合も等価な連続体を考えればよいことが分かった。そのとき、安定性の評価基準として岩盤限界ひずみがある有効で、これは岩石の室内試験結果から容易に推定できるものである<sup>1)</sup>。

なお、支保工により補強された空洞周辺岩盤の挙動を連続体的手法により予測するためには、ロックボルトを含む不連続性岩盤と力学的に等価な連続体に対して、著者の一人が既に提案した構成式<sup>3)</sup>を用いる方法が有効であると思われる。

#### 【参考文献】

- 1) 櫻井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文報告集，No. 317，pp. 93-100，1982.
- 2) 本島 睦・日比野 敏：岩盤内大規模地下空洞の掘削時挙動と安定性（その2）－既設揚水発電所地下空洞の実測結果による岩盤挙動の検討－，電力中央研究所・研究報告；385042，1986.
- 3) 永井哲夫：ロックボルトにより補強された不連続性岩盤の力学的挙動に関する研究，神戸大学博士論文，1992.

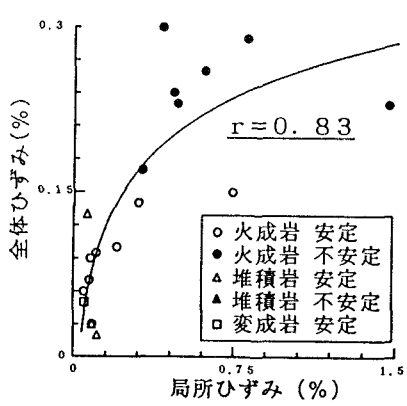


図-2 全体ひずみと局所ひずみ

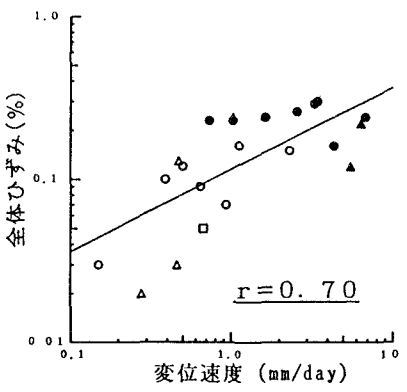


図-3 全体ひずみと変位速度

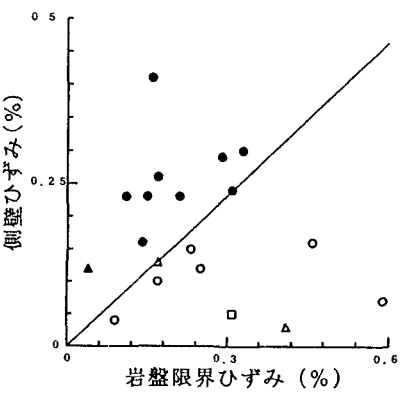


図-4 ひずみによる安定性の評価

| 表-1 主な変状状況                                            |  |
|-------------------------------------------------------|--|
| 側壁における主な変状状況                                          |  |
| 内空変位、岩盤変位の急増<br>P C鋼線・P C鋼棒の緊張力の急増<br>吹付コンクリートにクラック発生 |  |

| 表-2 地下空洞周辺岩種 |                         |
|--------------|-------------------------|
| 岩 種          | 岩石の名称                   |
| 火成岩          | 花崗岩 流紋岩 ひん岩<br>石英斑岩 閃緑岩 |
| 堆積岩          | 砂岩 礫岩 頁岩                |
| 変成岩          | 片岩                      |