

(51) 岩盤地下空洞の計測管理基準に関する一考察

鹿島建設株式会社 正会員 土肥 穰  
同 〇中島 健一  
同 高橋 祐治

1. はじめに

地下空洞掘削時の計測管理基準値については、以前から議論されているが<sup>1)</sup>、ここでは過去に建設された17の地下空洞の計測データを変状部と健全部に分けて統計的に処理し、図-1のフローに従って管理基準値設定を試みた。

2. 変状パターン

「変状」は“当初の支保工だけでは不十分で、PSアンカーの増し打ち等の対策工を施さなければならなかった地山の現象”と定義し、変状のあった8空洞の例より変状のパターンを次の3つに分ける。

- (1) 変位量あるいは変位速度が予想値よりも大きいか、あるいは、大きくなることが予想される
- (2) 吹付コンクリートや、アーチコンクリート、側壁コンクリートなどにクラックが発生
- (3) アーチ部の岩盤崩落

なお、変状のあった箇所の壁面近傍には、当初、予測できなかった不連続面の存在が報告されているケースが多い。

3. データ収集

3-1 データ項目

表-1にデータ項目のリストを示した。このうち、 $\varphi_u$ は変位計位置ごとに求められていないため、空洞ごとに一定とした。また、計測開始時期の差を考慮するために、変位計設置サイド(空洞内、空洞外)を考えた。ここで、空洞内とは、掘削後に空洞内側より変位計を挿入する場合、空洞外とは、掘削前に周辺トンネルより変位計を設置する場合をいう。

3-2 データのとり方

- (1)  $d$  (変位量)、 $\varepsilon$  (ひずみ) … 変状発生時点での値をとるが、変状パターン(1)及び健全部データについては最終変位をとった。
- (2)  $v$  (変位速度) …………… 掘削期間中で最大変位速度を $v_1$ とし、1ヶ月以上の長期にわたる変形での変位速度を $v_2$ とする( $v_1 \geq v_2$ )。

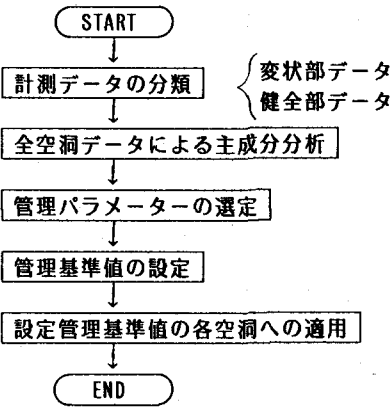


図-1 管理基準値設定のフロー

表-1 データ項目

| 空洞断面<br>面積<br>A | 初期地圧<br>$\sigma_{max}$ | 土被り<br>H | 一軸圧縮<br>強度<br>$\varphi_u$ | 変状の有<br>無 | 空洞内<br>位置<br>(アーチ、<br>側壁) | 変位計設<br>置サイド<br>(空洞内、<br>空洞外) | 変位計長<br>L<br>( m ) | 変位量<br>d<br>( mm ) | 変位速度<br>$v_1$ 、 $v_2$<br>( mm / 日 ) | ひずみ<br>$\varepsilon$<br>( % ) |
|-----------------|------------------------|----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
|                 |                        |          |                           |           |                           |                               |                    |                    |                                     |                               |

#### 4. 全空洞データによる主成分分析

変状の有無と関連の強いパラメーターを見出すために、全空洞のデータを用いて主成分分析を行った。なお、 $d$ 、 $v_1$ 、 $v_2$ 、 $\varepsilon$ の分布は対数正規分布に近いため、これらのデータは対数をとった。

主成分分析の結果、変状の有無が比較的強く関係している主成分は第1主成分、第3主成分であり、それらの主成分を表す他の変数は次のようである。

第1主成分 変位置、変位速度1、変位速度2、ひずみ

第3主成分 空洞内位置（アーチ、側壁）、変位計設置  
サイド（内、外）

従って、管理パラメーターとしては、これらの変数を考える。

なお、第1主成分中の4つの変形データ間の相関係数は、表-2に示すように比較的高い。

表-2 変形データ間の相関係数

|       | $v_1$ | $v_2$ | $\varepsilon$ |
|-------|-------|-------|---------------|
| $d$   | 0.77  | 0.70  | 0.73          |
| $v_1$ |       | 0.79  | 0.67          |
| $v_2$ |       |       | 0.57          |

#### 5. 全空洞データによる管理基準値の設定

##### 5-1 変形関係の管理パラメーターの選択

$d$ 、 $v_1$ 、 $v_2$ 、 $\varepsilon$ のうち任意の2つを管理パラメーターとした場合の比較を行い、表-3にその結果を示した。また、管理パラメーターを変位置のみとした場合についても検討した。なお、管理基準値は、以下の2条件を満足するように設定した。

- (1) 管理基準値以上の範囲での全データのうち、変状データの出現率を最大にする。
- (2) 管理基準値未満の範囲での全データのうち、変状データの出現率を1%以下に抑える。

この結果、変位置とひずみを合わせた場合に管理基準値以上での変状データの出現が50%と最大となり、最もよい組合せであることがわかる。しかし、変位置のみを管理パラメーターとした場合でも上記出現率は45%とあまり変わらず、変形データ間の相関係数が高いことを考え合わせると、変位置のみを管理パラメーターとして充分であると思われる。

表-3 管理パラメーターの違いによる変状データの出現率

| 管理パラメーター              | 管理基準値                                        | 管理基準値未満 |              | 管理基準値以上 |              |
|-----------------------|----------------------------------------------|---------|--------------|---------|--------------|
|                       |                                              | 全データ数   | 変状データの出現率(%) | 全データ数   | 変状データの出現率(%) |
| $d$ と $\varepsilon$   | $d=22\text{mm}$ 、 $\varepsilon=0.17\%$       | 410     | 1.0          | 58      | 50           |
| $d$ と $v_1$           | $d=21\text{mm}$ 、 $v_1=0.19\text{mm/日}$      | 403     | 0.7          | 65      | 46           |
| $d$ と $v_2$           | $d=22\text{mm}$ 、 $v_2=0.0\text{mm/日}$       | 410     | 1.0          | 65      | 45           |
| $\varepsilon$ と $v_1$ | $\varepsilon=0.17\%$ 、 $v_1=0.19\text{mm/日}$ | 387     | 0.5          | 81      | 38           |
| $\varepsilon$ と $v_2$ | $\varepsilon=0.17\%$ 、 $v_2=0.03\text{mm/日}$ | 364     | 0.8          | 104     | 29           |
| $d$                   | $d=22\text{mm}$                              | 403     | 1.0          | 65      | 45           |

##### 5-2 空洞内位置・変位計設置サイドを考慮した管理基準値の設定

全データを空洞内位置ごと、即ち、アーチ部、側壁部に分け、それぞれについて、変位置を管理パラメーターとして管理基準値を設定した。それぞれの場合の変位置とひずみの散布図を図-2、3に示す。

次に、アーチ部、側壁部のデータを変位置計の設置サイド（内・外）で更に分け、同様の検討を行った。

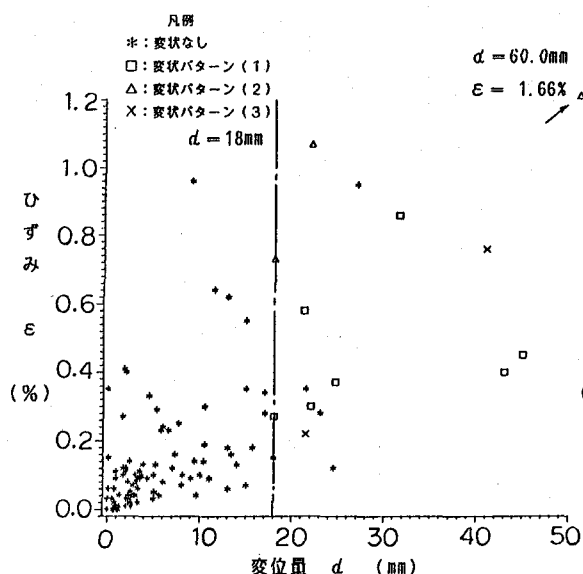


図-2 変位量とひずみの散布図（アーチ部）

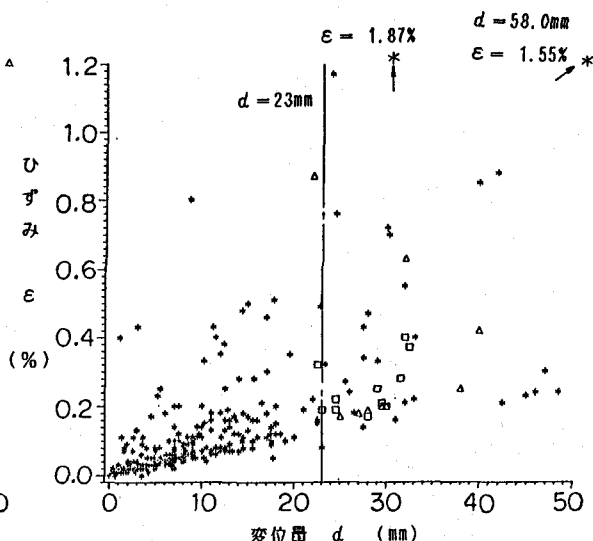


図-3 変位量とひずみの散布図（側壁部）

これらの結果を表-4にまとめて示した。同表より、以下のことがわかる。

- (1) 管理基準値は、アーチ部より側壁部の方がやや大きい。即ち、アーチ部の方がやや小さい変形で変状に至っている。
- (2) アーチ部における、管理基準値以上での変状出現率は75%と非常に高い。
- (3) 一方、側壁部ではこの出現率は40%と低い。これは、一つには、側壁下部では変位が大きくなってあまり補強しないことが多く、タイプ(1)の変状が少なくなっていることが一因と思われる。
- (4) 側壁部では、外から設置した箇所に変状がなかったため、管理基準値が非常に大きくなり、内からの場合の管理基準値との差が大きくなっている。これは、内からでは測れない先行変位を外からの変位計が測り、それが側壁部では非常に大きいことによるものであろう。
- (5) アーチ部では、外からの場合と内からの場合の管理基準値の差は4mmで、側壁ほどの影響は受けていない。これは、アーチ部での先行変位が側壁部ほど大きくないことも一因であろう。
- (6) ここで、ひずみと呼んだ量は、それが大きい場合はクラック開口中の増加などの影響が大きく、いわゆる連続体のひずみとは異なると考えられるが、表-3中のひずみの管理基準値は $\varepsilon = 0.17\%$ と、桜井<sup>2)</sup>の提案する一軸圧縮強度から推定される限界ひずみに近い値となっており興味深い。ただし、ひずみのみを管理パラメーターとした場合は、図-2、3より明らかなように管理基準値以上の変状データの出現率は非常に低い値となるため、ひずみ単独では管理パラメーターとして不十分であることがわかる。
- (7) (1)~(5)より管理基準値はアーチ部、側壁部で分けて考え、更に、側壁部では変位計設置サイド（内、外）で分けて考える必要がある。

表-4 空洞内位置、設置サイド別設定管理基準値

| 空洞内位置 | 設置サイド | 管理基準値<br>d (mm) |      | 管理基準値未満 |     |              |     | 管理基準値以上 |    |              |    |
|-------|-------|-----------------|------|---------|-----|--------------|-----|---------|----|--------------|----|
|       |       |                 |      | 全データ数   |     | 変状データの出現率(%) |     | 全データ数   |    | 変状データの出現率(%) |    |
| アーチ   | 内     | 18              | 18   | 120     | 71  | 0            | 0   | 16      | 8  | 75           | 88 |
|       | 外     |                 | 22   |         | 50  |              | 0   |         | 7  |              | 71 |
| 側壁    | 内     | 23              | 23   | 285     | 246 | 0.7          | 0.8 | 47      | 38 | 40           | 50 |
|       | 外     |                 | 58以上 |         | 48  |              | 0   |         | 0  |              | 0  |

## 6. 各空洞への設定管理基準値の適用

アーチ部、側壁部での管理基準値をそれぞれ $d = 18 \text{ mm}$ 、 $23 \text{ mm}$ とし、17空洞の各々についてデータ判別率を求め、表-5に示した。同表より、この管理基準値は、個々の空洞についてみた場合でもデータをかなりよく説明できていることがわかる。なお、判別率は次式により定義した。

$$\text{判別率} = \frac{(\text{管理基準値未満の健全部データ数}) + (\text{管理基準値以上の変状部データ数})}{\text{全データ数}} \times 100(\%)$$

表-5 設定管理基準値による空洞別データ判別率

| 空洞No. | データ数 |       | 計測最大値           |                       |                    | 判別率(%) |     |
|-------|------|-------|-----------------|-----------------------|--------------------|--------|-----|
|       | 総数   | 変状データ | $d (\text{mm})$ | $v_1 (\text{mm/day})$ | $\varepsilon (\%)$ | アーチ    | 側壁  |
| 1     | 21   | 3     | 45              | 0.73                  | 0.45               | 100    | 100 |
| 2     | 21   | 1     | 28              | 1.06                  | 0.17               | 100    | 100 |
| 3     | 36   | 1     | 60              | 1.53                  | 1.66               | 67     | 78  |
| 4     | 20   | 0     | 22              | 1.00                  | 0.35               | 91     | 100 |
| 5     | 88   | 6     | 33              | 2.34                  | 1.60               | 100    | 84  |
| 6     | 36   | 0     | 32              | 0.85                  | 0.55               | 80     | 83  |
| 7     | 26   | 2     | 58              | 2.24                  | 1.87               | 100    | 68  |
| 8     | 9    | 0     | 20              | 0.67                  | 0.96               | 100    | 100 |
| 9     | 45   | 6     | 38              | 4.0                   | 0.28               | 100    | 100 |
| 10    | 8    | 0     | 13              | 0.18                  | 0.08               | 100    | 100 |
| 11    | 23   | 0     | 18              | 0.57                  | 0.34               | 100    | 100 |
| 12    | 18   | 2     | 30              | 4.0                   | 0.20               | 100    | 100 |
| 13    | 18   | 0     | 30              | 0.79                  | 0.72               | 100    | 80  |
| 14    | 19   | 0     | 9               | 0.30                  | 0.14               | 100    | 100 |
| 15    | 16   | 0     | 8               | 0.07                  | 0.04               | 100    | 100 |
| 16    | 20   | 0     | 10              | 0.38                  | 0.05               | 100    | 100 |
| 17    | 44   | 12    | 41              | 10.0                  | 0.76               | 100    | 94  |

## 7. おわりに

各変位計測点での岩盤分類及び壁面近傍の不連続面の存在などのデータが得られれば、有効な管理パラメーターとなる可能性があるが、現状では、そのようなデータはあまり得られておらず、今後の課題である。

### 【参考文献】

- 1) 例えば、世一、蓮井：「地下空洞掘削時における側壁部の変形管理基準について」、第38回土木学会年次講演会、Vol. III、pp.231～232、1983。
- 2) 桜井 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、第317号、pp.93～100、1982。

(51) A CONSIDERATION ON REALTIME CONSTRUCTION CONTROL OF  
EXCAVATIONS OF LARGE UNDERGROUND CAVERNS

Minoru Dohi  
Ken-ichi Nakajima  
Yuji Takahashi

Kajima Corporation

Abstract

Deformation data of 17 rock caverns were collected and were analyzed to see if there had been a boundary value between a group of intact parts and that of failed parts. Failure here denotes the rock behavior where additional supports such as prestressed anchors were required in the course of excavations.

Through principal component analysis, the occurrence of failure was found to have much stronger correlation with the following parameters than with other parameters such as initial stress and rock mass characteristics.

- 1) Deformation ..... Displacement, Displacement velocity, and Strain
- 2) Measured location (arch or wall)
- 3) Installed side of extensometer (from inside the cavern or from outside)

The boundary value to separate the two groups has been found to be best established by means of displacement when the data are divided according to measured locations. It has also been realized that extensometer installation side has little to do with the boundary value of arches, while it affects that of walls considerably.