

## Ⅲ-B38

## 圧力トンネルでのグラウトによる地山改良評価方法の提案

(株) 熊谷組 正会員 ○中北 昭浩  
// 宮内 敏勝、御手洗 良夫

## 1. はじめに

圧力トンネルにおいて、ゆるんだ地山の改良およびトンネルからの漏水を抑制し、内圧の地山負担の向上を目的とするコンソリデーショングラウトの施工時に、覆工コンクリート内に設置した鉄筋ひずみ計でひずみを測定した。それらのひずみ量をもとにグラウト作用外力を逆解析（影響線解析）し、地山状況、注入状況との比較により地山改良効果を評価する方法を提案する。

## 2. 解析目的と概要

コンソリデーショングラウトの施工にあたって、覆工コンクリート内に設置された鉄筋ひずみ計  $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_8$  (図-1) により測定されたひずみから、以下に述べる方法を用いて覆工に作用する外力値を逆解析し、地山改良効果を評価した。ひずみ計による測定は1断面当たり8箇所であった。

算定方法は外力をひずみ計を中心とする等分布荷重でモデル化し、FEMにより単位荷重が作用したときの各点での発生ひずみ（表-1  $\varepsilon_i$ ）を求めた。次に、この算定ひずみを係数とし、未知数を各荷重値 ( $P_1 \sim P_8$ )、実測ひずみを既知数とする連立一次方程式を

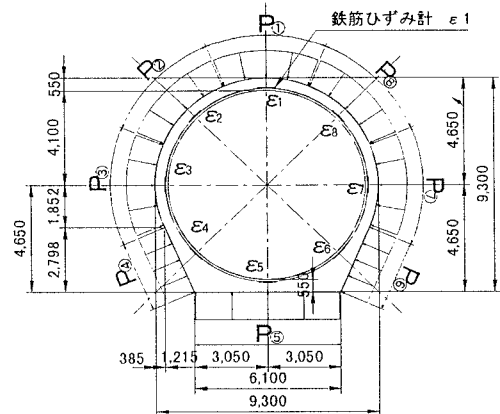


図-1 トンネル断面図

たて、これを解くことによってトンネル覆工に作用する荷重を算定する。連立一次方程式を次に示す。

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \varepsilon_{11} \cdot P_1 + \varepsilon_{12} \cdot P_2 + \varepsilon_{13} \cdot P_3 + \cdots + \varepsilon_{18} \cdot P_8 & \text{ここに、} \\ \varepsilon_2 = \varepsilon_{21} \cdot P_1 + \varepsilon_{22} \cdot P_2 + \varepsilon_{23} \cdot P_3 + \cdots + \varepsilon_{28} \cdot P_8 & \varepsilon_{ij}: \text{単位荷重 } P \text{ による各測点ひずみ} \\ \vdots & \text{下付き添字: 各測点位置} \\ \varepsilon_8 = \varepsilon_{81} \cdot P_1 + \varepsilon_{82} \cdot P_2 + \varepsilon_{83} \cdot P_3 + \cdots + \varepsilon_{88} \cdot P_8 & \text{上付き添字: 荷重 No.} \end{cases}$$

表-1 算定ひずみをもとにした連立方程式

( $\times 10^{-6}$ )

| 測点:i  | 実測 $\varepsilon_i$ | $\varepsilon_i^{(1)}$ | $\varepsilon_i^{(2)}$ | $\varepsilon_i^{(3)}$ | $\varepsilon_i^{(4)}$ | $\varepsilon_i^{(5)}$ | $\varepsilon_i^{(6)}$ | $\varepsilon_i^{(7)}$ | $\varepsilon_i^{(8)}$ |
|-------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 天端:1  | -813               | 2507                  | -7342                 | -3962                 | -786                  | 2109                  | -786                  | -3962                 | -7342                 |
| 左上:2  | -944               | -7373                 | 2481                  | -7448                 | -2729                 | -833                  | 833                   | -314                  | -3920                 |
| 左SL:3 | -547               | -4038                 | -7592                 | 2111                  | -2974                 | -8222                 | 482                   | 1270                  | -347                  |
| 左下:4  | -564               | -191                  | -3332                 | -7247                 | 3658                  | -9151                 | -2209                 | -375                  | 1088                  |
| 真下:5  | -689               | 1364                  | -282                  | -4418                 | -7156                 | 4449                  | -7156                 | -4418                 | -282                  |
| 右下:6  | -416               | -192                  | 1088                  | -375                  | -2209                 | -9149                 | 3658                  | -7247                 | -3332                 |
| 右SL:7 | -351               | -4038                 | -347                  | 1270                  | 482                   | -8221                 | -2974                 | 2111                  | -7592                 |
| 右上:8  | -532               | -7373                 | -3920                 | -314                  | 833                   | -834                  | -2729                 | -7448                 | 2481                  |

( $P=100,000\text{kN/m}^2$ 、コンクリートの弾性係数  $1.8 \times 10^7\text{kN/m}^2$ 、地山の弾性係数  $4.2 \times 10^6\text{kN/m}^2$ )

キーワード：圧力トンネル、グラウト、地山改良

連絡先：〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株) 熊谷組土木技術部 TEL03-3235-8622 FAX03-3266-8525

ここで算定した荷重は覆工と地山が連続した状態の値であるため、覆工に作用する荷重は地山負担分を差し引く必要がある。そこで、地山負担は、2次元有限要素法（FEM）により算出し控除するものとした。

### 3. 解析結果と評価

表-2に、表-1の連立方程式を解いて求まった算定荷重値と、実測ひずみ、算定荷重値によるひずみの比較を示す。それぞれのひずみの整合性からこの算定荷重値を求める解析方法が妥当であることがわかる。また、実際の地山において、地山負担を差し引き求められた作用荷重値（表-3、図-2）と切羽観察の結果（図-3）を比較すると、断層破碎帯を挟むCM級岩盤（湧水有り）区間において低い荷重値（⑤～⑧）となっており、その他の箇所（CH級岩盤）では、1500～2000kN/m<sup>2</sup>のほぼ均等分布状態となっている。

表-2 算定荷重値とひずみの比較

|        | 荷重値(kN/m <sup>2</sup> ) | 実測ひずみ<br>( $\times 10^{-6}$ ) | 算定荷重による<br>ひずみ( $\times 10^{-6}$ ) |
|--------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| ①天端    | 3810                    | -813.5                        | -805.6                             |
| ②左上    | 4309                    | -943.7                        | -942.1                             |
| ③左SL   | 6883                    | -546.6                        | -545.7                             |
| ④左下    | 4692                    | -564.3                        | -570.6                             |
| ⑤インバート | 1085                    | -689.2                        | -679.3                             |
| ⑥右下    | 553                     | -416.0                        | -413.1                             |
| ⑦右SL   | 2021                    | -350.7                        | -349.7                             |
| ⑧右上    | 3017                    | -532.2                        | -529.3                             |

表-3 作用荷重値

|        | 荷重値(kN/m <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| ①天端    | 1680                    |
| ②左上    | 1910                    |
| ③左SL   | 1450                    |
| ④左下    | 1850                    |
| ⑤インバート | 1020                    |
| ⑥右下    | 810                     |
| ⑦右SL   | 880                     |
| ⑧右上    | 1100                    |

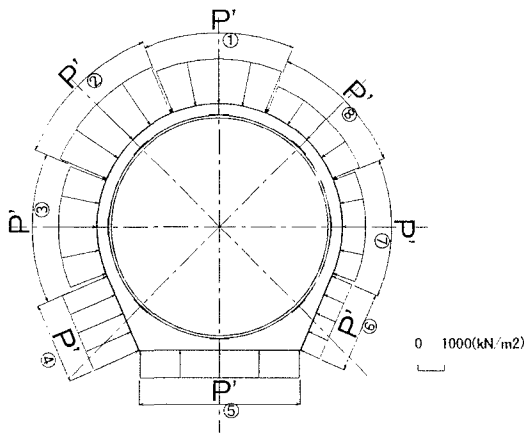


図-2 算定荷重

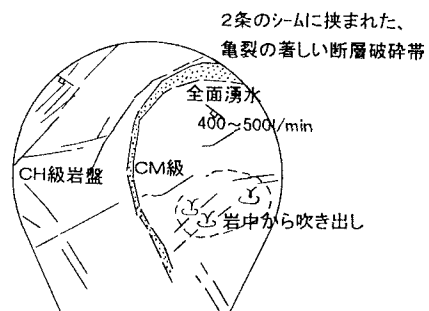


図-3 切羽観察記録

また、単位注入セメント量も低い荷重値（⑤～⑧）では100～120kg/mの注入量に対し、その他の箇所では60～100kg/mの注入量と少なく、グラウト次数に応じてほぼ対称形の注入分布を示している。これより、⑤～⑧の箇所では断層破碎帯を挟むCM級岩盤が水みちとなり、ミルクの流れも影響を受けたと考えられる。算定荷重の分布は、この性状を良く表している。

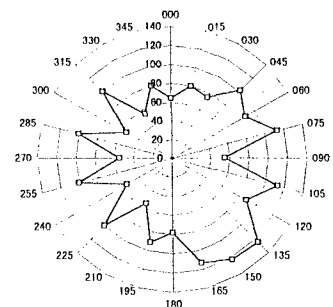


図-4 単位注入セメント量(kg/m)

### 4. まとめ

圧カトンネルにおいて、コンソリデーショングラウト後の測定鉄筋ひずみから作用外力の逆解析法を提案した。その結果、計測値と解析値の整合性から提案した解析方法の妥当性を確認した。また、求まった作用荷重値と地山状態、注入状況との比較により、本方法はグラウト評価を定量的に判断できると考えられる。

今後は、データの蓄積・照査により施工中のグラウト評価法（施工パターン決定）の確立を目指したい。