

(VI-5) コンソリデーショングラウトによる地山改良評価方法の提案

○伊藤 尚直

中北 昭浩

正會員

西間木 朗

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求められる覆工に作用する外力の値によって地山改良効果を評価した。

コンソリデーショングラウトの施工直後、ひずみ計による測定は1断面当たり8箇所(天端、左上、左SL、左下、真下、右下、右SL、右上)であった。それぞれの箇所におけるひずみを表-1に示す。

そこで、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-2 ε_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した。(表-4)

連立一次方程式（今回単位荷重として $P=100,000\text{kN/m}^2$ とした）

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 \cdot P = \varepsilon_1^{(1)} \cdot P_1 + \varepsilon_1^{(2)} \cdot P_2 + \varepsilon_1^{(3)} \cdot P_3 + \dots + \varepsilon_1^{(8)} \cdot P_8 \\ \varepsilon_2 \cdot P = \varepsilon_2^{(1)} \cdot P_1 + \varepsilon_2^{(2)} \cdot P_2 + \varepsilon_2^{(3)} \cdot P_3 + \dots + \varepsilon_2^{(8)} \cdot P_8 \\ \vdots \\ \varepsilon_8 \cdot P = \varepsilon_8^{(1)} \cdot P_1 + \varepsilon_8^{(2)} \cdot P_2 + \varepsilon_8^{(3)} \cdot P_3 + \dots + \varepsilon_8^{(8)} \cdot P_8 \end{array} \right.$$

ここで、 $\varepsilon_1^{①} \sim \varepsilon_8^{⑧}$: 単位荷重 P による各測点ひずみ

下付き添字：各測点位置 上付き添字：荷重 No.

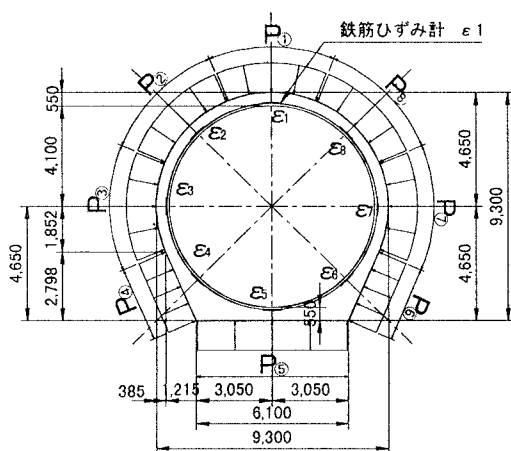


図-1 トンネル断面図

表一 各測点におけるひずみ

	実測ひずみ ($\times 10^{-6}$)
①天端 ε_1	-813.5
②左上 ε_2	-943.7
③左SL ε_3	-546.6
④左下 ε_4	-564.3
⑤インバート ε_5	-689.2
⑥右下 ε_6	-416.0
⑦右SL ε_7	-350.7
⑧右上 ε_8	-532.2

キーワード：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

表-2 算定ひずみをもとにした連立方程式

(×10⁻⁶)

測点 <i>i</i>	ε_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

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-4に表-2の連立方程式を解いて求めた算定荷重値と、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-5)を切羽観察の結果を比較すると、湧水がみられた箇所において低い荷重値(⑤~⑧)となっており、その他の箇所では、グラウト注入の設計圧2000kN/m²に近い値となっていた。

表-3 各材料の物性値

要素	弾性係数 E(kN/m ²)	ポアソン比 ν
コンクリート	1.8×10^7	0.20
地山	4.2×10^6	0.25

表-4 算定荷重値とひずみの比較

	荷重値(kN/m ²)	実測ひずみ (×10 ⁻⁶)	算定荷重による ひずみ(×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-5 作用荷重値

	荷重値(kN/m ²)
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

4. まとめ

圧力トンネルにおいて、コンソリデーショングラウト後の、測定鉄筋ひずみから逆解析を行い、作用外力を算定した。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、求めた作用荷重値と設計注入圧との比較により、追加注入の判断材料の一つとした。

今後は、他の区間での計測結果と解析結果を総合的に解析し、切羽状態との関連性についても詳細に検討し、解析によるグラウト評価法の確立を目指していきたい。

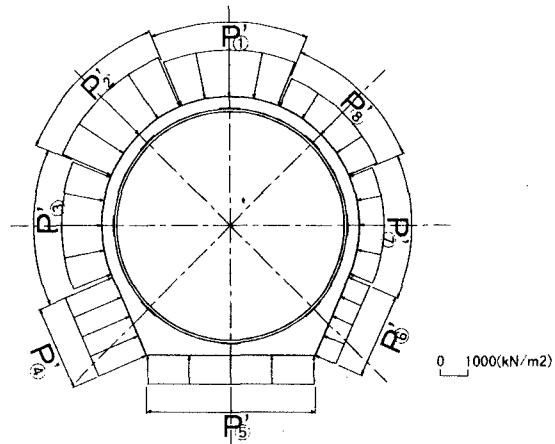


図-2 算定荷重