

トンネル鋼製支保工に作用する荷重推定

Estimation of Applied Loads on Steel Support of Tunnel

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 竹部公章 (Hiroaki Takebe)
 北海道開発土木研究所 正員 佐藤 京 (Takashi Sato)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 三上 隆 (Takashi Mikami)
 (株) ドーコン 正員 小池明夫 (Akio Koike)

1. はじめに

一般に力学の問題は、所定の荷重を与えたときの応力や変位から、あらかじめ知られている許容応力や許容変位と比較するという形がとられることが多い。しかし、トンネルの場合には荷重の大きさがわからず、支保工の応力やひずみがわかっている場合が多くなる。このとき、解析式を逆に辿ると荷重を推定できる場合がある。

北海道内にある A トンネルでは、鋼製支保工のひずみが測定されている。本研究では、測定されたひずみのデータから測定点における断面力を算定し、外力との釣り合い方程式からこのトンネルの鋼製支保工に作用している荷重の推定を試みた。

2. 解析モデルの概要と解析方法

本研究では解析モデルとして、北海道内にある A トンネルの支保工を用いた。支保工のデータを表 1 に示す。支保工は、断面が幅 125mm、高さ 125mm、腹板厚 6.5mm、腹板高さ 107mm の H 型鋼を使用した。

表 1 支保工データ

半径R	6.175(m)
ヤング率E	$2.058 \times 10^8 (\text{kN/m}^2)$
断面二次モーメントI	$8.39 \times 10^{-6} (\text{m}^4)$
断面積A	$3.0 \times 10^{-3} (\text{m}^2)$
ウェブの断面積Aw	$6.955 \times 10^{-4} (\text{m}^2)$
ポアソン比ν	0.3

解析方法は、まずひずみゲージの測定値から支保工に作用する軸力(N)、せん断力(Q)、曲げモーメント(M)を求める。ひずみゲージの貼り付け位置は、軸力と曲げモ

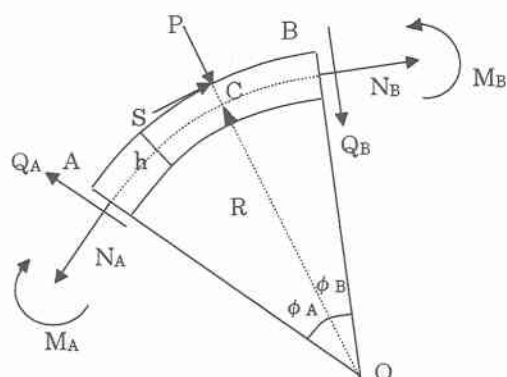


Fig.1 断面力と外力の関係

ーメントを測定するために支保工の軸方向と平行に、中立軸より 43.5mm それぞれ内空側と地山側に配置した。また、せん断力を測定するために中立軸上で軸線に対して $\pm 45^\circ$ に配置した。トンネルの断面は半円状であり、等間隔に 9 箇所、 22.5° おきにひずみデータが与えられた。これより 8 箇所荷重が算出される。内空側ひずみを ε_i 、地山側ひずみを ε_o 、せん断ひずみを γ 、中立軸からゲージ位置までの距離を y とすると

$$N = \frac{\varepsilon_i + \varepsilon_o}{2} \cdot A \cdot E \quad (1)$$

$$M = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_o}{2} \cdot \frac{I}{y} \cdot E \quad (2)$$

$$Q = \frac{E}{2(1+\nu)} \cdot \gamma \cdot A_w \quad (3)$$

で与えられる。

算出した断面力を用いてトンネル荷重を求めるには、Fig.1 に示すように、支保工の一部を取り出して、測

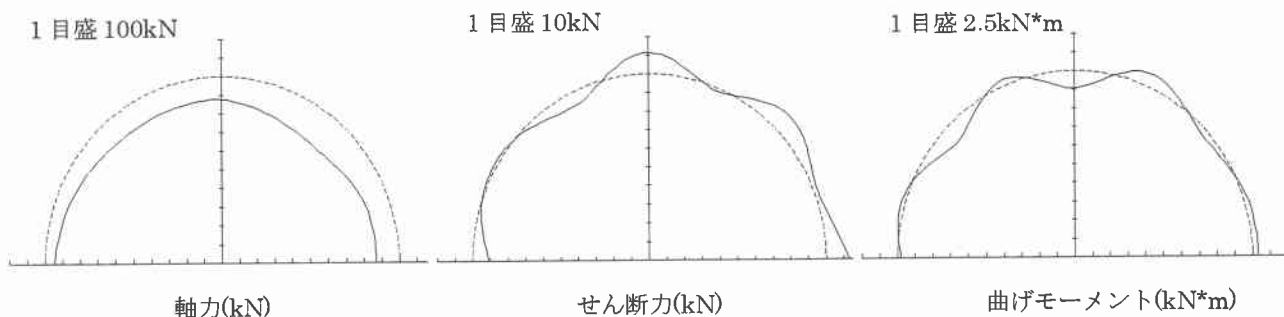


Fig.2 断面力分布図(L1.5)

定断面 A、B での断面力を軸力 N_A 、 N_B 、せん断力 Q_A 、 Q_B 、曲げモーメント M_A 、 M_B とし、外力が測定断面間の作用点 C に任意の方向にただひとつ作用するものとする。この外力の半径方向の成分を P 、接線方向の成分を S 、作用位置を ϕ_A とすれば、支保工のけた高を h とし、半径 $R \gg h/2$ と考えると、

点 O まわりのモーメントの釣り合いより、

$$S - N_A + N_B + \frac{1}{R}(M_A - M_B) = 0 \tag{4}$$

点 C の半径方向の釣り合いより、

$$P - Q_A \cdot \cos \phi_A + Q_B \cdot \cos \phi_B + N_A \cdot \sin \phi_A + N_B \cdot \sin \phi_B = 0 \tag{5}$$

点 C の接線方向の釣り合いより、

$$S - Q_A \cdot \sin \phi_A - Q_B \cdot \sin \phi_B - N_A \cdot \cos \phi_A + N_B \cdot \cos \phi_B = 0 \tag{6}$$

となり、以上の 3 式からトンネル荷重の大きさとその作用方向が求まる。ここで、 $\phi_A + \phi_B = 22.5^\circ$ である。

解析に用いるデータには支保工の間隔が 1.2m、1.5m、2.0m の 3 断面のデータを使用し、それぞれ L1.2、L1.5、L2.0 とし、支保工の荷重推定区間を Fig.3 に示すように、左断面から順に 1～8 と表し、例えば L1.2 の推定区間 1 を L1.2-1 と表す。

なお、ひずみデータから式(1)～(3)より求めた断面力の分布を L1.5 について Fig.2 に示す。

3. 解析結果と考察

Fig.3 にそれぞれの支保工間隔の場合における荷重の解析結果を示す。荷重は一部分につき P と S の合力として 1 つの値で示す。L1.2 については、荷重を鉛直方向と水平方向に分解した図も示しておく。表 2 に各推定区間の荷重の作用位置 ϕ_A と、中心角 ϕ との比 ϕ_A/ϕ を示す。

全ての断面において、荷重の作用方向が非対称であり、複雑な形をしている。とくに、L1.5-8 を除いて、端部における荷重の鉛直成分が上向きになっているのがわかる。これは、支保工の支持部分に原因があると考えられる。また、全体的に様々な外力の大きさ、方向の分布を示しているが、L1.2-6、L2.0-2 など、鉛直方向よりも水平方向の荷重のほうが大きい、もしくはほぼ等しい例が多いことが確認できる。荷重の作用位置については L1.5 と L2.0 で ϕ_A/ϕ が減少する傾向にある。

表 2 荷重の作用位置と中心角との比

	L1.2		L1.5		L2.0	
部分	ϕ_A	ϕ_A/ϕ	ϕ_A	ϕ_A/ϕ	ϕ_A	ϕ_A/ϕ
1	11.85	0.53	21.12	0.94	20.21	0.90
2	10.93	0.49	11.82	0.53	16.24	0.72
3	11.03	0.49	13.49	0.60	15.30	0.68
4	7.60	0.34	8.40	0.37	14.00	0.62
5	13.06	0.58	10.96	0.49	11.47	0.51
6	10.75	0.48	9.51	0.42	10.23	0.45
7	11.64	0.52	8.56	0.38	10.82	0.48
8	12.46	0.55	7.24	0.32	7.42	0.33

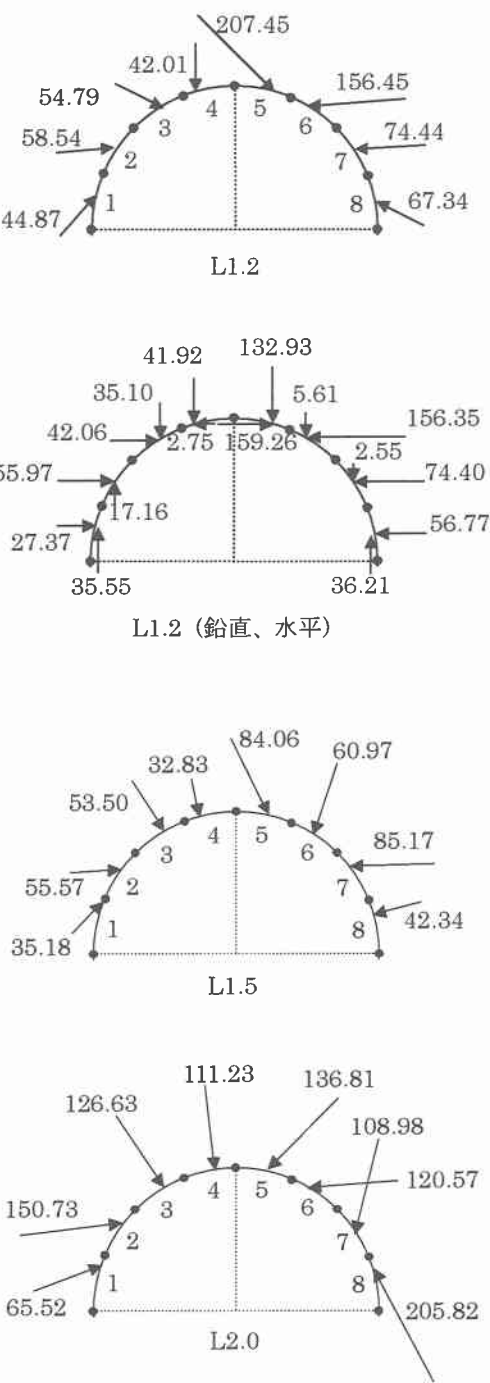


Fig.3 荷重の解析結果(単位 kN)

4. まとめ

本研究では、計測から得られたひずみのデータから断面力を算出し、鋼製支保工に作用する荷重の推定を行った。今後は支持条件等を考慮し、本研究で推定した荷重の妥当性を解析から評価していきたいと考えている。

参考文献

1)村山朔郎、松岡元：トンネル土圧算定のための鋼アーチ支保工における一測定法、土木学会誌、1968.3