

Ⅲ-B104

アーチ形断面のトンネルに生じる応力

東洋大学工学部 正員 浅井 貞重

1. はしがき

長方形断面のトンネルは、土圧や水圧の作用によって生じる剪断力と曲げモーメントが隅角部に集中するので、これを和らげるためアーチ形断面のトンネルが用いられる場合がある。また円形断面のトンネルであっても、道路の分岐部や合流部、地下鉄の駅部などにおいてはホーム設置のため、幅広のアーチ形断面のトンネルが用いられる場合がある。

ところがアーチ形断面のトンネルについての標準規格は、まだ出来ていないので、その内空断面形状はトンネルの使用目的や立地条件などにより、まちまちである。そこで、ここでは、その典型的形状を文献¹⁾より採り、横断面の性状を作図法と数値解析により求め、これを光弾性実験により検証した。

2. アーチ形断面のトンネル

数値解析例は前述の文献¹⁾に掲載されている場合を採用することにした。そのトンネルの状態図を図1に示す。すなわち、トンネルの構造とトンネル

に作用する荷重はトンネルの縦の中心線に対して左右が対称である。

3. 鉛直圧力と水平圧力

土被り厚さを h 、土の単位体積重量を γ 、側方土圧係数を λ とすると、鉛直土圧 q_v と水平土圧 q_h は、

$$q_v = h\gamma; \quad q_h = \lambda q_v \quad (1), (2)$$

である(図-2参照)。ここで覆工の中心線の上下端を原点として、二つの座標系 (x, y) と (s, θ) を導入する。ただし s は原点より、それぞれの軸線に沿って測った座標であり、 θ は s における軸線の傾斜角である。以下の数値解析は (s, θ) 座標系につき行うので、 (x, y) 座標系で求めた q_v, q_h を (s, θ) 座標系で読み取って行う。

4. 垂直土圧と接線土圧

軸線 s の任意の格点に作用する垂直土圧 q_n と接

線土圧 q_o を求めと、

$$q_n = q_v \cos \theta + q_h \sin \theta \quad (3)$$

$$q_o = q_v \sin \theta - q_h \cos \theta \quad (4)$$

と求める。

5. 計 算 式

以上で s に沿っての q_n, q_o は求めたので、後は q_n, q_o を s につき積分すればよい。軸力 N と剪断力 Q を求めるには、原点より u, v 軸を、それぞれ接線方向、法線方向にとり、この軸に式(3)と(4)を、

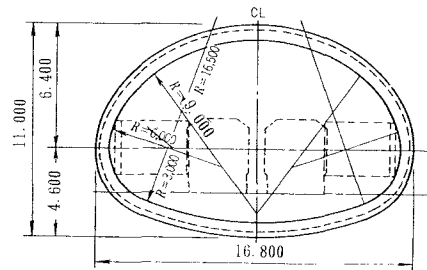


図-1 アーチ形断面のトンネル

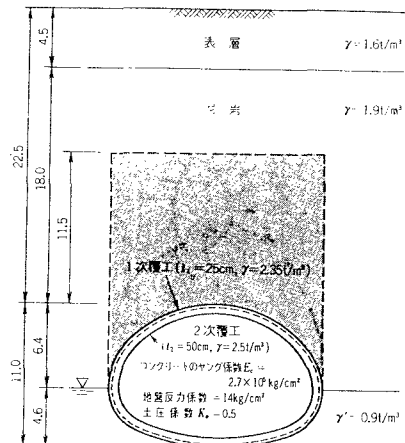


図-2 トンネルにかかる荷重

キーワード：シールドトンネル、地下構造物、土圧

連絡先：東洋大学工学部(〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100、TEL 0492-39-1391、FAX 0492-31-4482)

それぞれ投影し、これを積分すれば、

$$N = S + N_A \cos \theta \quad (5)$$

$$Q = R - N_A \sin \theta \quad (6)$$

と求まる。ただし式(5)(6)の S と R は、

$$S = \int_0^4 q_\theta d u \doteq \int_0^4 q_\theta \cdot \sin(\theta - \theta') d s \quad (7)$$

$$R = \int_0^4 q_n d v \doteq \int_0^4 q_n \cdot \cos(\theta - \theta') d s \quad (8)$$

である。次に任意の格点に作用する曲げモーメント $N, Q, M, E I w', E I w$ は、それぞれ求められる。 M は、軸線を基準とした時の撓みを w とすれば、

$$E I w'' = \int_0^s Q d s = \int_0^s R d s - N_A \int_0^s \sin \theta d s - M_A \quad \dots (9)$$

であり、撓み角 w' は式(9)を s につき積分して、

$$E I w' = \int_0^s \int_0^s R d s d s - N_A \int_0^s \int_0^s \sin \theta d s d s - M_A s \quad (10)$$

となる。更に撓み w は式(10)を s につき積分して、

$$E I w = \int_0^s \int_0^s \int_0^s R d s d s d s - N_A \int_0^s \int_0^s \int_0^s \sin \theta d s d s d s - \frac{1}{2} M_A s^2 + E I w_0 \quad (11)$$

と求まる。ただし式(11)の w_0 は覆工の周長が不変と言う条件より求める。なお式(7)~(11)の不定積分は5-8法則³⁾により求める事にした。

6. 底部の応力分布

例えば底部の $s=8.01$ について、 N と Q を求める行程を示すと、

$$\begin{aligned} S = & \int_0^{8.01} \{(53.25 \sin 37.00 - 30.90 \cos 57.00) d s \cdot \sin 0.00, \\ & (50.85 \sin 57.00 - 30.35 \cos 57.00) d s \cdot \sin 33.00, \\ & (47.65 \sin 57.00 - 29.05 \cos 57.00) d s \cdot \sin 43.40, \\ & (44.50 \sin 57.00 - 27.65 \cos 57.00) d s \cdot \sin 50.20, \\ & (41.24 \sin 57.00 - 26.12 \cos 57.00) d s \cdot \sin 57.00\} \\ = & \int_0^{8.01} \{0.00, 14.23, 16.59, 17.10, 17.08\} d s \\ = & 115.56 \text{ ton/m} \end{aligned} \quad (12)$$

となる。同様に R も求まので、 N と Q は求まる。

8. 不静定量

ここでは、不静定量 N_A, M_A, N_E, M_E を求めと、

$$M_A = 684.29 \text{ ton-m}; \quad M_E = 612.03 \text{ ton-m} \quad (13)$$

$$N_A = 127.92 \text{ ton}; \quad N_E = 157.36 \text{ ton} \quad (14)$$

を得る。

9. q, N, Q, M, w' および w の分布

前章で不静定量 N_A, M_A, N_E, M_E が求まったので、 $N, Q, M, E I w', E I w$ は、それぞれ求められる。

10. 光弾性模型実験

外縁と内縁の編次数 n_1 と n_2 を測定した。なお曲げモーメント M は近似的に、

$$M = \frac{1}{2}(n_1 - n_2) \quad (15)$$

で表されたとした。図-3の等色線写真を見ると、
 ほぼ、 $\int_0^s M d \theta = 0$ を満足しているのが分かる。



図-3 光弾性模型実験(応力凍結)

11. 結論

アーチ形断面のトンネルの横断面の性状として、土圧分布、軸力、剪断力、曲げモーメント、撓み角撓み、などが連続的に求められ、エネルギー法と比べると安易であることが分かった。

参考文献

- 1) 小田島 敦：NATMによる地下鉄駅部の施工計画、トンネルと地下、12、3、31-40、1981.3.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書(シールド編)・同解説、技報堂、34-36、1991.
- 3) 浅井貞重：エラスチカとしてのアーチカルバートの性状と光弾性模型による検証、光弾性学論文集、18、2、47-59、1998.