

## 表面断熱処理によるトンネルのつらう防止工の延長幅効果

国鉄 (前) 鉄道技術研究所  
(現) 構造物設計事務所

正員 岡田 勝也

## 1. まえがき

トンネルのつらうは一晩で建築限界を侵すほどに成長することが多く、列車運転に重大な影響を及ぼす。また側氷はそれに加えて、線路巡回や作業員の歩行を困難にし、列車待避などに危険を与えると共に、レールを埋める氷は脱線事故にもつながるものである。

このようなつらうと側氷は、従来初列車前に人力によってつらう落し作業や削氷作業を行いながら、列車運転を確保してきており、厳寒期の未明におけるこれらの作業は関係者に課せられた肉体的精神的にも最も厳しい作業の一つである。そこで従来的人力によるつらう落し作業に期待するのではなく、積極的なつらう防止工の開発が強く望まれてきた。

そのような背景のもとで、トンネル覆工内面を発泡断熱材で被覆し、地熱を冬期になるべく放出ししないことによりトンネル覆工表面温度を氷点下に達しないように保温する、いわゆる表面断熱処理によるトンネルのつらう防止工法を開発し、<sup>2)</sup> 試験施工時の温度実測とその非定常熱伝導解析によって当工法に必須な断熱材厚を既に提案した。<sup>1)</sup> しかし、十分な断熱材厚が確保された場合であっても、断熱材のトンネル軸方向の延長幅 $w$ が狭い場合、あるいはたとえ広くてもその端部付近では断熱材を施工していない所からの寒気の影響を受けて、断熱材背面でも氷点下になる可能性がある。したがって断熱材の延長幅 $w$ にはある程度の余裕長 $L_n$ が必要になるわけである。当報告はこの余裕長 $L_n$ に関する実験的解析について述べたものである。

## 2. 供試トンネルとつらう防止工の概要

供試トンネルは北海道・羽幌線天塩駅～初山別間の延長 270 m の単線トンネルであり、覆工厚は中間部で 45 cm である。地質は新第三紀の増幌層であり、泥岩、砂岩あるいは雑色礫岩を含むものである。またつらう防止工としての断熱材はウレタン系発泡断熱材（独立発泡型）を使用し、羽幌地方の年平均気温 $t_m = 7.1^\circ\text{C}$ 等を考慮してその厚さは $d_h = 3.5\text{ cm}$ と決定された。そして断熱材の延長幅 $w$ （図-1 参照）を 1, 2, 4 と 8 m に設定し、それらに対し、トンネル内気温、断熱材、覆工と地山の温度、風速などを測定し、解析を進めた。

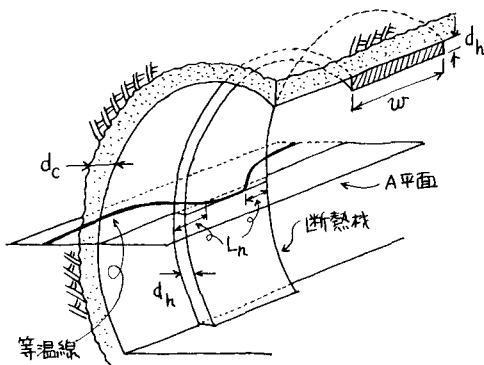


図-1 つらう防止工の概要

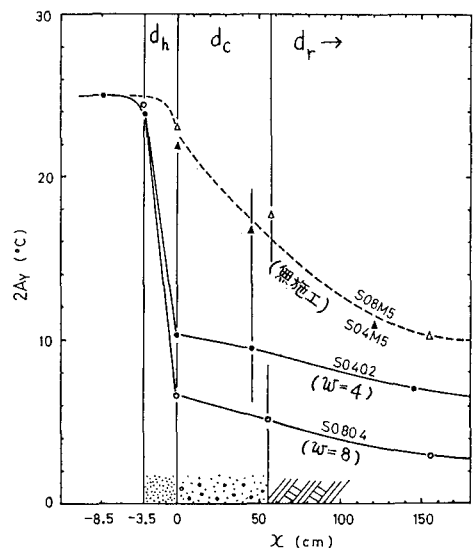


図-2 トンネル横断面の温度の年振幅

### 3. 解析結果

(1) トンネル横断方向の温度分布をその年振幅 $A_T$ について描くと図-2 のようになる。図は断熱材の延長幅が、 $W=4\text{ m}$  と  $W=8\text{ m}$  である場合の  $W$  の中央の位置における  $A_T$  と、つまり防止工を施工していない所のそれを示したものである。トンネル内気温の  $2A_T=25^\circ\text{C}$  に対し、断熱材背面では  $W=8\text{ m}$  で  $2A_T=6.6^\circ\text{C}$  になるが、 $W=4\text{ m}$  では  $2A_T=10.2^\circ\text{C}$  に増大する。さらに  $W$  が小さくなって  $W=0\text{ m}$  の極限を考えると、それは無施工区（図の破線）の温度振幅に一致する。このように断熱材の延長幅  $W$  が及ぼす温度効果は、特に  $W$  の小さい所で著しいことがわかる。

(2) つらう防止工を含む2次元平面（図-1のA平面）に対する2次元温度分布を求め、厳寒期の  $0^\circ\text{C}$  の等温線と連ねればA平面の実線ようになる。たとえば2月における  $W=4\text{ m}$  の場合、無施工区のそれは覆工背面以来の地山中にあるが、 $W$  の中心に向かって  $0^\circ\text{C}$  の等温線は覆工に入り、やがて断熱材端より  $L_n=80\text{ cm}$  の位置で断熱材背面に達する。それより中央側にあっては断熱材の中に等温線が存在することになり、そこでは断熱材背面の覆工表面温度は  $0^\circ\text{C}$  以上に保持され、有効な保温幅（ $W-2L_n=240\text{ cm}$ ）となる。この  $0^\circ\text{C}$  の等温線が断熱材背面を切る位置と断熱材端の距離を余裕長  $L_n$  と称することにする。

(3)  $L_n$  と  $W$  の関係を年平均気温  $t_m$  をパラメータにして求めると図-3 のように得られる。図中破線は  $W/2=L_n$  に相当し、トンネル漏水が一ヶ所に限られる時の限界となる  $t_m$  を指示するもので、 $t_m$  が低くなれば必要な  $W$  が加速度的に大きくなっていくことを表わしている。一方  $t_m$  が高い場合にはある程度大きな  $W$  を持つ所では  $L_n$  は  $W$  にかかわらずほぼ一定の値を有することになる。

(4) 以上は断熱材厚  $d_h=3.5\text{ cm}$  に対する初山別トンネルの実測値をもとに求めたものである。他の  $d_h$  に対

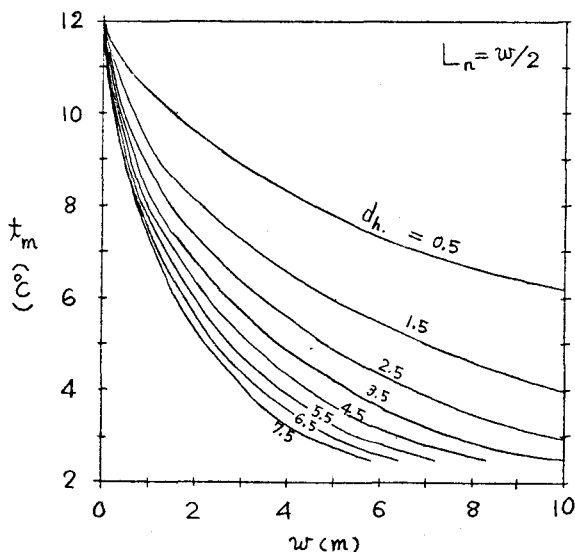


図-4  $W$  の中心における覆工表面温度が  $0^\circ\text{C}$  になる時の  $t_m$  と  $d_h$  の関係

する  $L_n$  の推定は、2次元定常熱伝導モデルの結果\*を適用することにする。すなわち、 $W/2=L_n$  に対して  $K(\theta_r)$  が  $t_m$  一定のとき定数とすれば、

$$W=10^{\{\log K(\theta_r)-\log d_h\}/1.4}$$

によって与えられるものと仮定した。その結果は図-4 のようになる。これは図-3 の条件のもとに  $t_m$  と  $W$  の関係を  $d_h$  をパラメータに描いたものであり、 $t_m$  が一定の時  $d_h$  が薄くなると  $W$  が急激に大きくなっていくことを示している。

(\*)  $\lambda_h=0.012$ ,  $\lambda_c=1.0$ ,  $\lambda_r=2.0\text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ ,  $d_c=50\text{ cm}$ ,  $d_r=300\text{ cm}$  の地温  $\theta_r=5.0^\circ\text{C}$ , トンネル流体温  $\theta_w=-5.0^\circ\text{C}$  ( $\lambda$  は熱伝導率、係数  $h, c, r$  はそれぞれ断熱材、覆工、地山)等の仮定のもとに  $W=4, 8, 10\text{ m}$  について図-1のA平面の2次元定常熱伝導計算を行ったものである。

- 1) オ33回土木学会年次学術講演会概要集
- 2) オ31回, オ32回土木学会年次学術講演会概要集

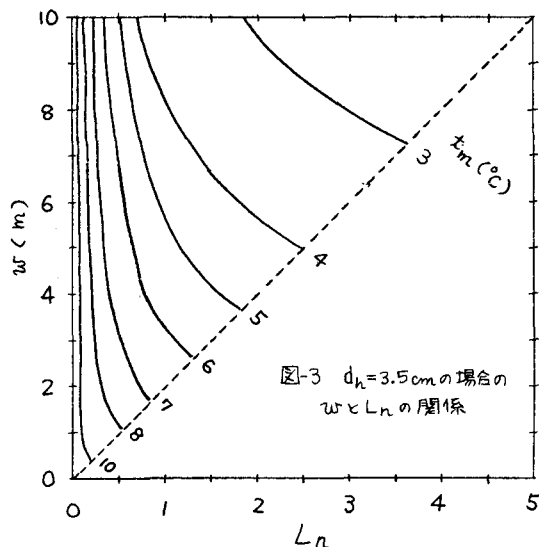


図-3  $d_h=3.5\text{ cm}$  の場合の  $W$  と  $L_n$  の関係