

NTT

茨城電気通信研究所

正員 ○森光 武則

"

"

正員 田中 憲二

"

"

阪田 秀明

1. まえがき

近年、軌道越し、河川越し等、従来、特殊区間に限られていた小口径トンネルに対して適用領域を拡大しようとする気運が高まってきている。すなわち、道路交通量の増大等のために、従来のように道路を開削して通信ケーブル等を埋設することが困難となってきており、長距離・曲線の小口径トンネル築造を可能とする新しい工法の実現が望まれている。本稿では、口径30cm程度のトンネルを道路線型に沿って築造するための方策として発泡材料による仮設ライニング技術の提案を行うとともに、方式設計上、発泡材料の圧縮弾性率が重要であることを指摘し、本工法の実現の可能性を検討している。

2. 仮設ライニング技術の概要

小口径のトンネル築造には推進または削進工法が広く用いられているが、一般のトンネルは現場生成ライニング工法によって築造される。ここで提案している工法は小口径のトンネル築造に現場ライニング技術を適用しようとするものであり、図1にその概要を示す。すなわち、掘進機本体をジャッキ等で貫入推進させた後、モールド部に空間を設けて、2種類の液体を注入し、化学反応させて発泡硬化させる。材料が発泡硬化後、この発泡材料を反力材として用い、掘進機本体を推進させて、仮設ライニング築造を繰り返す。

3. 発泡材料の弾性率

(1) 方式設計上の課題

このような工法でライニングを築造するには、必要な圧縮および曲げ強度を有した発泡材料を得ること、また、200m以上の長距離施工を目標とするため、発泡原液にはパイプ輸送が可能なように高い流動性が要求される。また、発泡材料を現場生成するための各種装置が必要なのはいうまでもない。さらに、本方式で重要なことは、もし仮りに、掘進機本体を推進させるに十分な圧縮強度を有した材料が得られたとしても、材料の圧縮弾性率が小さいと掘進ライニング材料に推進反力が作用する場合、ライニング材料の圧縮変形が大きく、掘進機本体を推進させることが困難になるのみならず、十分なモールドスペースが確保できなくなることである。

(2) 圧縮時の変形量

いま、立坑を固定して、ライニングを築造していく時のライニング材料の軸力を図2にモデル化して示す。Pが掘進機本体の推進に必要な軸力、 ℓ_0 が1ストロークの施工長で、ライニングと地山との間の摩擦力は相対変位と逆向

掘進機本体 材料供給装置

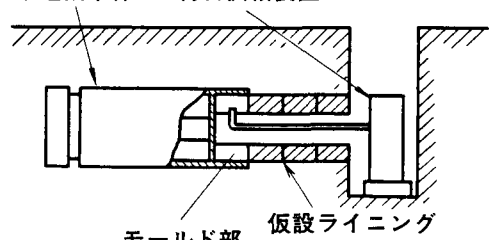


図1 発泡材料による仮設ライニング技術

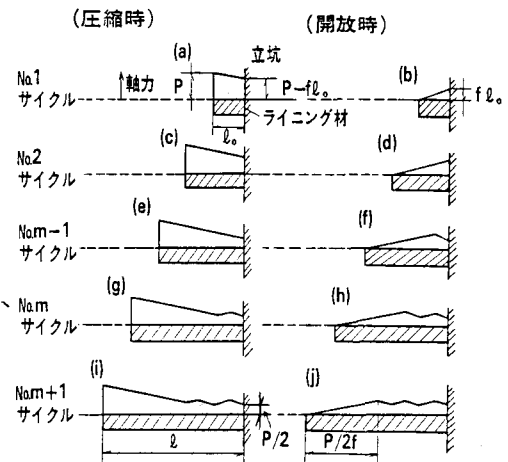


図2 ライニングの軸力モデル

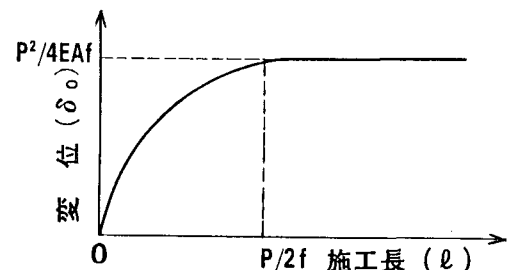


図3 施工長とライニングの圧縮変位

きに単位長さあたり f (一定値) の力が作用するものとして求めている。すなわち、最初の 1 ストロークでは軸力は図の (a) のように立坑端に向かって直線的に減衰し、ライニング先端部の推進力が開放された後は、軸力 (b) のように逆向きの傾斜を持つ。この繰り返しにより、ライニング先端部の相対変位、すなわち掘進機本体の推進力を受ける場合と、推進力が開放された場合の変位の差は、施工長とともに増大していくが、施工長 l が $P/2f$ 以上になると図 3 のように一定値

$$\delta_0 = P^2 / 4EAf \quad (1)$$

となる。文献(1) による施工実績をもとに式(1) を算出すると図 4 を得る。今、仮にライニング先端部の許容変位度を 10 cm とすると、発泡材料に必要な圧縮弾性率は、約 190MPa となる。

(3) 発泡材料の弾性率

発泡材料の強度は、発泡材料の発泡倍率すなわち密度に大きく依存することが知られている。発泡倍率を変えて、種々の試験片を作成し、圧縮弾性率を求めた。その結果を図 5 に示す。圧縮弾性率は密度をコントロールすることによって、所定のものが得られることが分かる。例えば前記の 190MPa の弾性率を得るためには、約 0.3 以上の密度の材料を生成すればよいことになる。なお、図中の実線は次式によって得られる理論式である。

$$E_f = [1 - (1 - \rho_f / \rho_s)^{1/3}] E_s \quad (2)$$

ここに、 E_f , E_s : 発泡材料および無発泡材料の圧縮弾性率

ρ_f , ρ_s : " の密度

で $E_s = 1750\text{MPa}$, $\rho_s = 1.195 \text{ g/cm}^3$ である。 Photo 1 は上記のヤング率に関する検討の他に圧縮、曲げ、および水密性、モールド部の脱型性、脱型装置に関する実験を踏まえて室内実験により作成した仮設ライニングのサンプルリングである。

4 まとめ

以上、発泡材料における小口径トンネルライニング技術を提案するとともに、ライニング材の圧縮弾性率が重要となることを指摘し、所要弾性率の求め方を明らかにした。これらの検討結果により、現場打設による小口径トンネルライニング技術の実現の見通しが得られた。

「文献」

- (1) 野村由司彦, 保科宏, 塩見博司, 梅津孝雄; 「方向制御可能なトンネル機械の設計と特性」, 土木学会論文集, 第 352 号, III-2, pp. 99~107, 1984

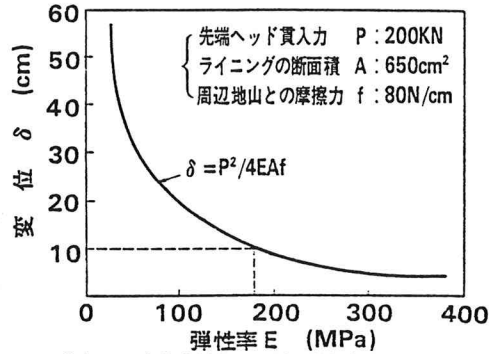


図 4 発泡材料の圧縮弾性率と変位

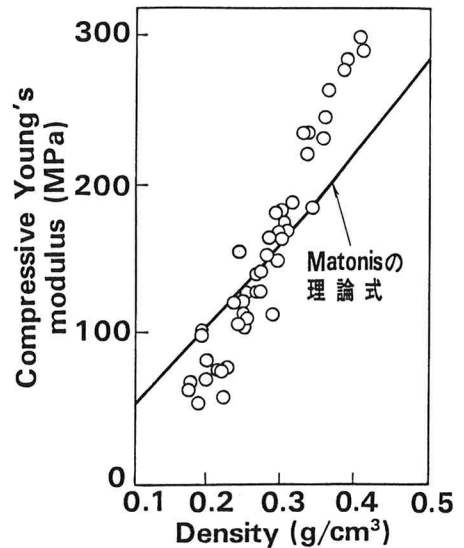


図 5 発泡材料の密度と圧縮弾性率

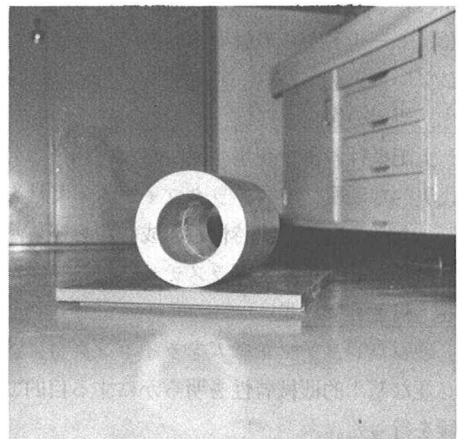


Photo 1. ライニングのサンプルリング