

吹付けコンクリートを用いたトンネルライニングの耐力性状に関する模型実験

日本大学 工学部 正会員 原 忠勝

日本大学 大学院 学生員 板垣 豊

1 まえがき

近年、都市トンネルなど 比較的軟弱な地質に対しても吹付けコンクリートを用いたライニングによるトンネル施工が行なわれるようになった。¹⁾ しかし、これらの工法は、これまでロックボルトを用いた山岳トンネルを対象としたもので²⁾ 軟弱地質に対するライニングの設計についての資料はほとんど得られていないのが現状である。

本研究は、これら比較的軟弱な地質下における、吹付けコンクリートを用いたトンネルライニングの設計についての資料を得ることを目的としたものである。本報告においては、これら薄肉トンネルライニングの耐力及び破壊性状についての基礎資料を得るため、モルタルを用いた模型実験を行い検討したものである。

2 実験概要

Rabcewicz による薄肉トンネルライニングの設計に対する地山の破壊挙動は、図-1に示すように、トンネルの側壁部分の地山がすべり破壊する事により、くさび状すべり土塊となって空洞に突出するとするものである。³⁾ これらの地山の破壊挙動は、軟岩をモデル化した安田らの実験によっても検証されている。⁴⁾

これより、ライニングに作用する荷重をモデル化するために、次の仮定を用い、載荷装置を作製した。i) 内部摩擦角： $\phi = 30^\circ$ の上質地山を考慮、ii) ライニングは硬化するまで荷重を受けないとする、iii) 掘削面とライニングとの付着による効果は期待できない、iv) 土圧作用後、

地山周辺における応力再分配はなされない。

載荷装置は、図-2に示すように、内径80cm、奥行40cmの半円で、載荷幅は地山の内部摩擦角・ $\phi = 30^\circ$ より求められるくさび状すべり土塊の幅より $b = 70\text{cm}$ としたものである。図に示すように、この載荷部は、ローラーやリングを用いた可動ブロックである。

実験条件は、現行の慣用ライニング厚さ・ $t = 0.017 D$ ²⁾ (D はトンネル直径)を基準とし、 $t = 1, 2\text{cm}$ とした。また、載荷装置の可動状態に対する予備実験として $t = 4\text{cm}$ についても実験を行なった。

ライニングは、モデル化による寸法縮小のため、粗骨材最大寸法の関係よりモルタルを使用し、型枠を用いて打設した。

また、ライニングの載荷実験と並行して、使用材料の特性を知るために、圧縮・割裂試験のほか、二面せん断試験、間接一面せん断試験 (Push-off タイプ)、さらに、間接一面せん断試験においては、せん断面の角度を $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ と変化させ、圧縮を受けながらせん断するようにした。

3 結果及び考察

載荷重とライニング頂部における変位の関係は、図-3に示す通りである。図に示すように、荷重増加と共に緩やかなカーブを描きながら変位が増加し、脆性的な破壊がみられた。

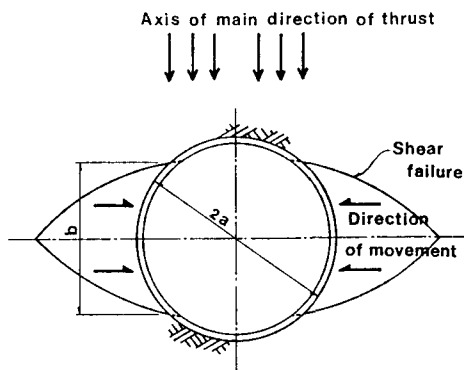


図-1 地山の破壊挙動

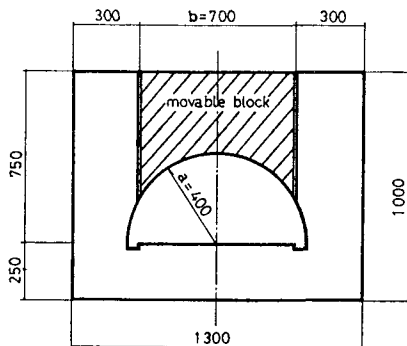


図-2 載荷装置

破壊形状は Rabcewiczが述べているような地山のせん断すべり線に沿ったライニングのせん断破壊で、せん断面とライニング軸方向とのなす角は約 30° であった。

図-4に各荷重時に測定した軸方向歪より求めた軸応力を示した。図のように ライニング頂部での軸応力は、側方に比べて小さい値を示している事から アーチ的な機構となっているように思われるが、ほぼ様な軸応力が作用しているとみてよいようである。そして、破壊時には、一軸圧縮強度に近い圧縮応力がライニングに作用している。また、図において破線・鎖線で示した線は各荷重を単に断面積で除いたものであるが実験値に近似している。

表-1に ライニングの耐力算定に関して、せん断破壊をずるとして計算した幾つかの方法による値を示した。表に示されるように、ライニングの破壊形態はせん断破壊となっているが、アーチとしての軸力発生により、ライニングは圧縮力を受けながらせん断されていると思われるため、純せん断強度で算定した耐力より、かなり大きな耐力を有していることがわかる。(4)の方法では、せん断強度を一軸圧縮強度の43%としているため、実験値に近い値となっている。図によるこの式は、ライニング材の圧縮強度を引張強度の10倍であるとして Mohrの破壊包絡線を放物線と仮定して導いた式であり、その時のライニングのせん断角を 30° としている。

以上、薄肉トンネルライニングについて、載荷実験を行なった結果、ライニングは、ほぼ様な軸応力を受けつつせん断されるため、純せん断強度を用いて耐力算定を行なつよりも、圧縮とせん断の組合わせ応力下におけるせん断強度を用いて算定すべきであると思われる。また、今回の実験では、地山の土質条件を $\phi = 30^\circ$ と仮定したため、この条件とライニングのせん断角との間に関連性があるかどうかについては不明である。それ故、 ϕ によって決定される載荷幅を変えた実験を行なう必要があると思われる。

＜参考文献＞

- 1) 例えば、佐々木、指田、篠原、大断面 NATM の計測結果、日本国土開発技術研究報告、No.3
- 2) 高山昭：NATM (1)~(22) トンネルと地下、Vol.12, No.1, 1981, ~Vol.13, No.10, 1982
- 3) Rabcewicz, L.V. Stability of tunnels under rock load, Water Power, June~Aug., 1969
- 4) 安田、土屋、須藤：ロックボルトによるトンネル補強効果に関する試験(その2)、第38回年報Ⅲ-64
- 5) 岡行俊：薄肉理論とその応用(1),(2)、トンネルと地下、Vol.7, No.4~5, 1976

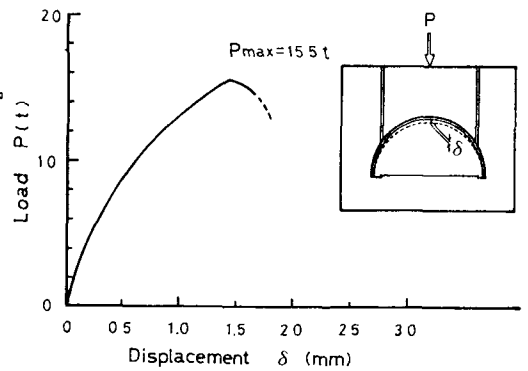


図-3 載荷重と変位の関係 ($t = 2\text{ cm}$)

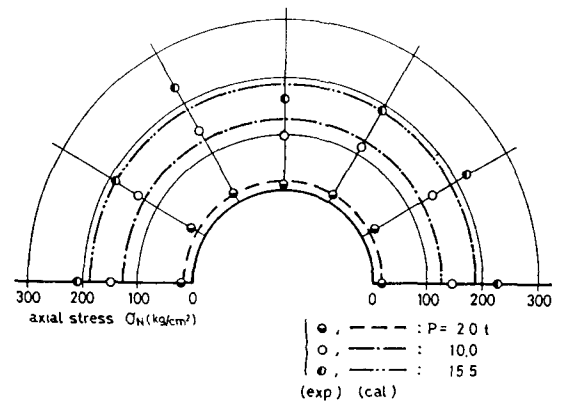


図-4 荷重、軸方向応力の関係 ($t = 2\text{ cm}$)

表-1 各種せん断強度による耐力算定 ($t = 2\text{ cm}$)

	(1)	(2)	(3)	(4)
τ (kg/cm ²)	34.4	31.2	29.5	102.6
P (t)	5.5	5.0	4.7	16.4
exp./cal.	2.80	3.10	3.30	0.95

$$P = 2\tau A, A = 80\text{ cm}^2 : P(\text{exp.}) = 15.5\text{ t}$$

- (1) 二面せん断試験の値
 - (2) 間接一面せん断試験の値
 - (3) $\tau = \sqrt{f_c f_t} / 2$ Mohr
 - (4) $\tau = 0.43 f_c$ 岡
- ($f_c = 238.5\text{ kg/cm}^2, f_t = 14.6\text{ kg/cm}^2$)