

III-358 トンネル支保の効果の評価について

日本鉄道建設公団(正)堀内義朗

日本鉄道建設公団(正)木村 宏

1. 概要—トンネル工事においては、適用された支保や補助工法の効果を定量的に評価し、設計・施工に反映することが大切である。本研究は、地質調査結果と2種類の弾性理論解を用い、支保や補助工法の効果を土被りの増大、あるいは、地山の変形係数の増大に換算して評価しようとするものである。

2. 弾性理論解析—評価に用いた解析解は、無支保状態における(1)静水圧条件下の解 (2)Limanov の解の2種類で、解析条件はFig. 1のとおりである。

(1)静水圧条件下のトンネルクラウンの変位式

トンネルクラウンの変位を S_c とし、 $P=rZ$ とすると

$$(S_c / R) / (rZ / E) = 1 + \nu \quad (1)$$

(2)Limanov の解

トンネル直上の地表面沈下量 S_s , $P=rZ$, $Z=H+D/2$, $R=1/2 D$ とすると、

$$(S_s / Z) / (rZ / E) = (1 - \nu^2) / \{ (H/D)^2 + (H/D) \} \quad (2)$$

3. 評価方法の基本的な考え方—トンネル掘削時に得られた S_c と S_s を用いて式(1)及び式(2)の左辺を計算し、右辺と比較する。式(1), (2)の左辺はいずれも分子がトンネル周辺に発生している実際のひずみに相当し、分母は地山の特性によって決まる掘削時に発生する弾性ひずみを示すことから、左辺が右辺の値以上のある値に達すると地山に破壊が発生すると考えられる。地山が破壊に至る過程及び破壊時における両式の右辺と左辺の関係を把握すると両式を用いて支保あるいは補助工法の効果の程度がFig. 2から次のように評価できる。

計測による S_s , S_c からA点が得られたとする。もし、地山の初期応力状態がFig.1(a)に近く、地山の破壊が $(S_c / R) / (rZ / E) \approx \text{or} > 1 + \nu$ で生ずる場合、支保効果は地山の変形係数を $(1 + \nu) / a$ 以上増大させたものと評価できる。一方、初期応力状態がFig.1(b)に近い場合、支保効果は土被りの b' から b への増大として評価できる。

4. 地山の変形係数の決定—上述の理論式を用いて土被りの異なる地山の沈下を求める場合には、地山の変形係数の評価と決定が重要となる。今回評価の対象としたトンネルは千葉県成田・松戸両地区の洪積砂層に掘削されたもので、トンネル区間の孔内載荷試験から得られた地山の変形係数はFig.3 に示すとおりである。両地区とも土被りに応じて変形係数が増大し、成田・松戸両地区の地山の変形係数は概ね次式で与えられる。

(1)成田地区 $E=0.30H+1.8$ (kg/cm²)

(2)松戸地区 $E=0.093 H+76.1$ (kg/cm²)

したがって、評価には、上式に基づき地表面沈下量に対

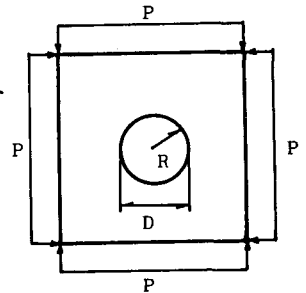


Fig.1 (a)

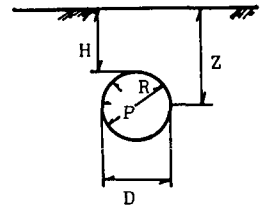


Fig.1 (b)

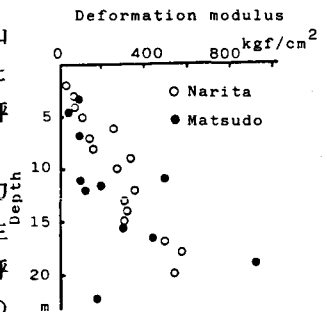


Fig. 3

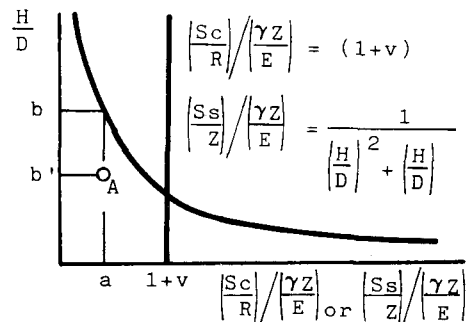


Fig. 2

しては、 $E(h = \frac{1}{2}H)$ ，クラウンの沈下量に対しては、 $E(h = Z)$ を用いている。

5. 評価結果—成田・松戸両地区に施工された6トンネルの結果をFig.4～Fig.6に示す。

(1)地山の破壊について—Fig.4, 6によるとA,E,F, 3トンネルで地表面にクラックが発生するなど何らかの地山破壊が生じた地点の $(S_c/R)/(\tau Z/E)$, $(S_s/Z)/(\tau Z/E)$ は共に $(1+\nu)$ あるいは $(1-\nu^2)/\{(H/D)^2 + (H/D)\}$ とほぼ等しいか、それ以上となっている。このことは、式(1), (2)とも地山の破壊の1つの目安となることを示している。

(2)補助工法の効果—Fig.4 によれば、 $(S_c/R)/(\tau Z/E) < 1+\nu$ では、同じ設計，施工法を実施したEトンネルでは、 H/D の減少に伴いほぼ一定の割合で $(S_c/R)/(\tau Z/E)$ が増大している。この関係を補助工法として注入及びミニパイプルーフを用いたAトンネルに適用し、補助工法の効果を考察すると次のようになる。通常的设计・施工では、 $P \sim P'$ 点において地山破壊の極限值に達し、そのまま施工を続ければ地山は破壊すると推定される。一方、 $H/D < 0.8$ (or 0.7) のとき、補助工法の効果は変形係数 E が $(1+\nu)/\{(S_c/R)/(\tau Z/E)\}$ 倍以上になったものと評価できる。この場合、注入の効果は地山の变形係数を1.6倍以上に、ミニパイプルーフは1.6～27倍以上に改良したものと同等とみなせる。

また、Aトンネルに対するFig.5 からは、一定の施工によって H/D の減少に伴って増大する $(S_s/Z)/(\tau Z/E)$ が Limanov の解の変化状況と同じとすると、 $0.45 < H/D < 0.8$ における注入の効果は H/D が小さくなればなるほど顕著で、 $H/D \geq 1.4$ の条件下で施工するのと同等の条件にする効果と解される。このことから H/D の小さい領域では注入領域，注入量等を減少させる可能性があったと判断される。

(3)サイロット工法の効果—サイロット工法，1次閉合式で施工されたC,Fトンネル（サイロット）とDトンネル（1次閉合）での施工結果を同様に評価すると、Fig.4 からサイロット工法の方が1次閉合式よりも $(1+\nu)/\{(S_c/R)/(\tau Z/E)\}$ で0～50%以上大きく、サイロット工法の方が1次閉合式と同様かそれ以上に安全な施工法であることを明確に示している。一方、Fig.6 には、Fトンネルにおけるショートベンチからサイロットへの移行に伴う $(S_s/Z)/(\tau Z/E)$ の変化を示すが、ショートベンチでの H/D の減少に伴う $(S_s/Z)/(\tau Z/E)$ の変化が Limanov の解と同様と考え、サイロットに切替えた後の H/D の減少に伴う $(S_s/Z)/(\tau Z/E)$ の増大状況よりもやや小さい。このことは H/D が小さくなってからのサイロットの地山の破壊防止に対する効果が現れていることを示している。

6. おわりに—本論文では簡単な解析と計測結果をリンクすることで支保や補助工法の効果を量的に評価することを試みた。この手法が土被りの浅い地山での支保部材の設計や補助工法の選択に役立てられるようにさらに研究を進めたい。

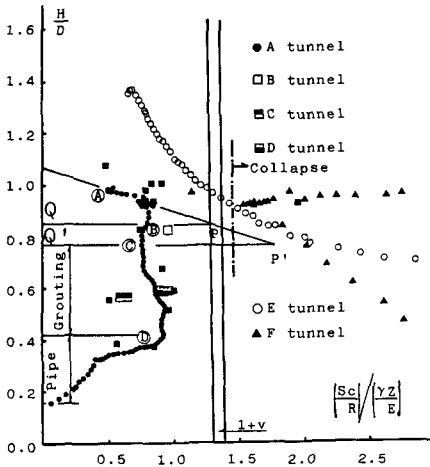


Fig. 4

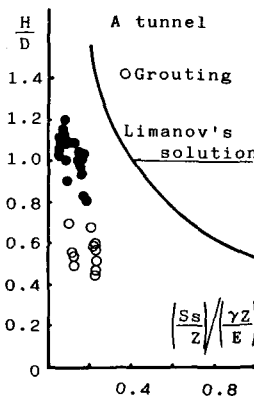


Fig. 5

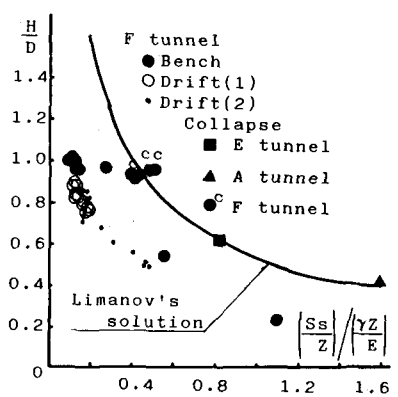


Fig. 6