

III-100

土被りの浅いトンネルに作用する緩み土圧について

神戸大学 学 川端康祝 正 櫻井春輔 学 川嶋幾夫

1. はじめに 最近、未固結あるいは土砂地山の土被りの浅いトンネルを、NATM工法によって掘削する例が多くなってきた。従来土被りの浅いトンネルの掘削に用いられてきたシールド工法などとは異なり、NATM工法では、覆工がトンネルに作用すると想定される荷重に耐えうるように設計されてはいない。そのため、土被りの浅いトンネルを、NATM工法によって掘削する場合には、覆工の耐荷力が問題となる。一方、トンネルに作用する土圧については、トンネル標準示方書(シールド編)¹⁾によれば、設計計算用土圧には、全土被り圧を用いるが、良質地盤において土被りが $1 \sim 2D$ (D :シールドの外径)以上ある場合においては、緩み土圧を採用しているのが実情である、と述べられている。また、この緩み土圧の計算法は、一般にテルツァギー(Terzaghi)の式を利用している、と書かれている。このように、示方書には一般的な考え方が示されるに留まっており、トンネルに作用する土圧が明らかにされることが待たれている。そこで本研究は、村山ら²⁾が開発したアルミ棒の積層体を地山材料として用いて、圧力境界の条件によって掘削をシミュレートするモデル実験を行い、トンネルに作用する土圧について実験的に考察した。

2. 実験の概要 ここでは、図-1に示す実験装置を用いた。この実験装置では、掘削のシミュレーションを圧力境界の条件によって行う。この実験装置は、アクリル板および鉄板の間に、地山材料のアルミ棒の積層体を設置し、積層体内に設定したトンネル部分に、エアバッグを設けたものである。このエアバッグは連結したホースを介して、水圧～空気圧置換槽、水槽に結んであり、水槽の昇降によって、エアバッグ内の空気圧を調整できる。なお、モデルの作成は次の手順によった。①地山とトンネル部分との境界に型枠を設け、地山部分に所定の土被りになるまでアルミ棒を積み上げる。②トンネル部分のエアバッグを膨らませて、その空気圧を土被り圧と等しくした状態で、積み上げたアルミ棒を動かさないように注意して、型枠を取り除く。このように作成したモデルを用いて、アルミ棒積層体内のエアバッグの圧力を逐次低下させて、トンネルの掘削をシミュレートする。掘削のシミュレーションによって地山が変形するが、この装置では、そのときの水面の高さを読みとることにより、そのときのエアバッグの空気圧がわかる。そこで、掘削のシミュレーションによって地山が変形を開始したときの、エアバッグの空気圧を測定すれば、この圧力はトンネルの支保に最小限必要な支保圧であることから、これはすかさず、トンネルに作用する緩み土圧であると理解できる。そこで、ここではモデル実験を行なって、トンネルに作用する緩み土圧について検討した。

3. 実験結果 図-2に、土被りが $D/2$, $1D$ および $2D$ のケースについて、地山が変形を開始したときのエアバッグの空気圧を、土被り高さに換算し、トンネル径(D)を基準にして示す。このように測定された空気圧は、トンネルに作用する緩み土圧と理解できる。また図中には、実験において観察された地山の变形から推定される緩み領域の高さ(緩み高さ)を用いて換算した緩み土圧、およびトンネル標準示方書(シールド編)に示されている設計計算用土圧を併せて示している。ここで、実験における地山の变形から推定される緩み領域を、土被りが $D/2$, $1D$ および $2D$ のケースについて、それぞれ図-3(a), (b), (c)に示す。この緩み領域は、トンネル周辺地山に格子状の標点を描き、掘削シミュレーション前後の標点の位置を写し

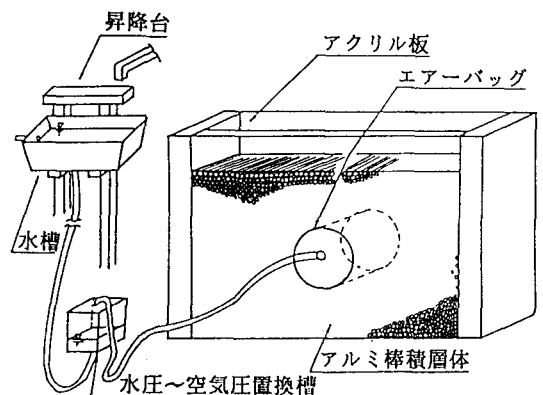


図-1 実験装置

取り、それを基に描いた等変位線図等から求めたものである。また、示方書に示されている設計計算用土圧は、土被りが1Dまでは全土被り圧、土被りが1Dを超える場合は、図-4に示すテルツァギーの提案した緩み土圧である。なお、緩み高さの計算にあたっては、 $C=0$, $\phi=30^\circ$ ²⁾, $\gamma=2.18\text{g/c}\text{m}^3$ ³⁾とした。図-2から、実験で測定した緩み土圧は、実験で観察された緩み領域の高さ(緩み高さ)から換算した緩み土圧、および示方書に示されている設計計算用土圧と比べて、いずれの土被りにおいても、非常に小さいことがわかる。また、観察された緩み領域の高さから求めた緩み土圧、および示方書に示されている設計計算用土圧は、いずれの土被りに対しても、ほぼ等しいことがわかる。ここで、観察された緩み領域の高さから換算した緩み土圧、および示方書に示されている設計計算用土圧(緩み土圧)は、いずれも緩み高さをまず求めて、これを地山の単位体積重量に乗じて計算したものである。このように、緩み高さから換算して求めた緩み土圧が互いにほとんど等しく、測定された緩み土圧が、それらに比べてはるかに小さい値となっていることから、緩み土圧は緩み高さとは同じものではないことがわかる。これより、トンネル直上の緩み領域とされる部分においてもアーチング効果が働き、緩み領域における地山の重量はその一部しか、緩み土圧としてトンネルに作用していないことがわかる。

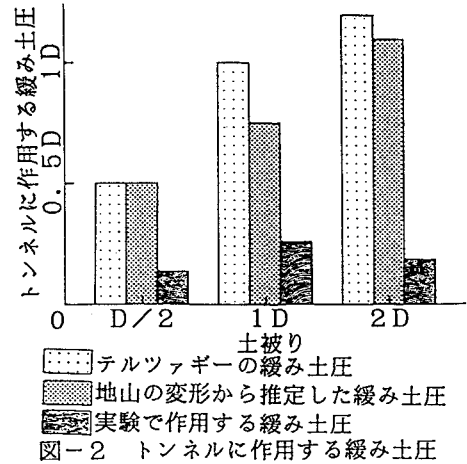
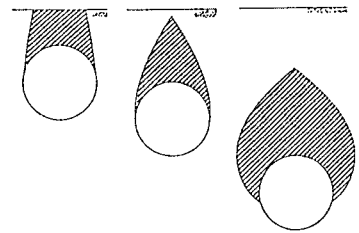


図-2 トンネルに作用する緩み土圧



(a) $D/2$ (b) $1D$ (c) $2D$
図-3 緩み領域 (■ 緩み領域)

また、実験で測定された緩み土圧は、それらの緩み高さから換算した緩み土圧に対して、土被りが $D/2$ および $1D$ のケースでは $1/3$ 程度、土被りが $2D$ のケースでは $1/6$ 程度になっている。これより、土被りが $1D$ までのケースと、 $1D$ を超えるケースでは、トンネルに作用する土圧のメカニズムが異なるものと考えられる。

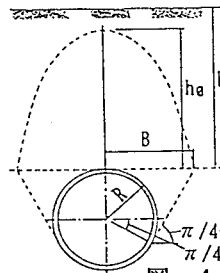


図-4 テルツァギーの式

$$h_a = \frac{B_i(1-C/B_i \cdot \gamma)}{K \cdot \tan \phi} \cdot (1 - \exp(-K \cdot \tan \phi \cdot H/B))$$

$$B = R \cdot \cot\left(\frac{\pi/4 + \phi/2}{2}\right)$$

h_a : 土の緩み高さ
 K : 水平土圧と鉛直土圧の比 (通常 $K=1$ としてよい)
 ϕ : 土の内部摩擦角
 γ : 土の単位体積重量
 C : 土の粘着力

4. まとめ

- ① トンネルに作用する緩み土圧は、緩み領域の高さ(緩み高さ)を地山の単位体積重量に乗じて計算した土圧より、はるかに小さいことがわかった。この結果から、緩み土圧と緩み高さは同じものではないことがわかる。
- ② 土被りが $D/2$ および $1D$ のケースでは、測定された緩み土圧は、緩み高さから換算した緩み土圧の $1/3$ 程度、 $2D$ のケースでは、 $1/6$ 程度であった。これより、土被りが $1D$ までのケースと、 $1D$ を超えるケースでは、トンネルに作用する緩み土圧の発生メカニズムが異なるものと考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会トンネル工学委員会: トンネル標準示方書(シールド編)・同解説, 土木学会, pp34~36, 1977年
- 2) 村山朗朗, 松岡元: 粒状土地盤の局所沈下減少について, 土木学会論文報告集, 第172号, pp. 31~41, 1969年
- 3) 足立紀尚, 田村武, 八嶋厚, 上野洋: 砂質地山トンネルの挙動と解析に関する研究, 土木学会論文集, 第358号, pp. 129~136, 1985年