

土被りの浅いトンネルの周辺地山におけるアーチ作用に関する実験的研究

神戸大学工学部 正 桜井春輔 正 清水則一 NTT(株) 正○板板浩二

1. はじめに 土被りの浅いトンネルは、①土被りが浅い位置に掘削するトンネルと、②完成後、地表面掘削によって土被りが浅くなるトンネルとに分類される。いずれのトンネルにおいても、トンネルの安定性を考察する上で、地山のアーチ作用のメカニズムを知ることは重要である。本研究では、上に述べた2種の土被りの浅いトンネルを対象にし、アルミ棒積層体による降下床実験を行い、地山のアーチ作用について若干の考察を行った。

2. 実験装置について 地山のモデルとして用いたアルミ棒積層体は、村山、松岡の実験¹⁾にしたがって作成した。(長さ50mmの直径1.6mmと直径3.0mmの2種のアルミ棒を、重量比3:2に混合した)なお、見かけの単位体積重量は 2.3 gf/cm^3 である。降下床実験装置の概要を図1に示す。この装置の底盤には幅の変更可能な降下床が設けられている。トンネル周辺地山の応力状態を調べるために、図2に示す土圧計を作成した。それは、厚さ1.0mmのはがねを両端固定ばりとし、4ゲージ法により歪を計測し(図2(d))、土圧に換算するものである。土圧計には、はりとアルミ棒との摩擦を断つために両側に仕切り板を、また、はりとアルミ棒との温度差による影響を除くためにアクリルの台を設けた(図2(a),(b))。さらに鉛直荷重によるはりのたわみによって、受圧板の上部にアルミ棒のアーチが生じないように幅をとった(図2(c))。なお、水平力測定には、図2(a)に示すものを用いた。

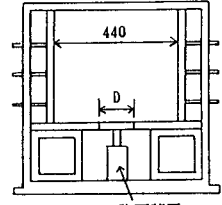


図1 装置概要

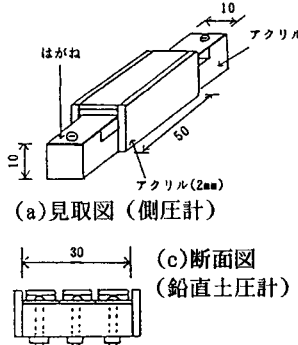


図2 土圧計 (d)歪ゲージはりつけ位置

3. 土被りが浅いトンネルの場合 土被りが浅い大断面トンネルにおける地山のアーチ作用およびトンネル土圧は、通常断面のトンネルと比べてどの様な違いがあるかは興味もたれる。そこで、トンネル径の違いによる土圧の大きさおよび地山のアーチ作用について調べるために、4種の降下床幅(4cm, 8cm, 12cm, 16cm)について降下床実験を行った。なお、土被り高さは1D, 2D, 3Dとする。一般に降下床直上の土圧は、図3の様に降下直後に最小値をとり、その後次第に増加していく傾向がある。ここでは、その最小鉛直土圧と土被り高さ、および降下床幅の関係を図4の様に取りまとめた。同図には、テルツァギの土圧式²⁾の σ_v から求めた緩み高さ H と降下床幅 D との比、

$$(H/D) = (\sigma_v / \gamma / D) = 1 / (2K \tan \phi) (1 - \exp\{-(Z/D) * 2K \tan \phi\}) \quad (1)$$

【ただし、 K =側圧係数、 ϕ =内部摩擦角、 γ =単位体積重量、 Z =地表面からの深さ】

から得られる値を、4つの側圧係数に対して示している(図中実線、点線等)。その結果、降下床直上の鉛直土圧から求めた緩み高さの無次元量($Q/\gamma/D$ に相当)は、降下床幅の大小によって特に大きな違いはみられず、式(1)において、側圧係数を0.5~1.25とした値の範囲にある。したがって、本実験においては、降下床直上の土圧

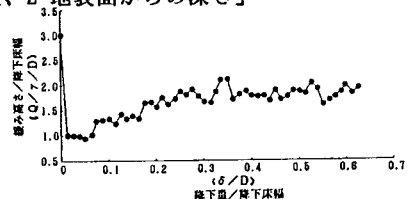


図3 緩み高さの推移

Shunsuke SAKURAI, Norikazu SIMIZU and Kouji ITASAKA

は地山条件(γ, ϕ, K)を除くと、降下床幅と土被り高さから推定でき、式(1)が有効であることが分かった。次に、降下床幅8cm、土被り高さ24cmのケースについて、積層体内の側圧の分布を図5に示す。ただし、図中 K_0 は降下床を下げる以前の初期の側圧係数である。また、同図には、鉛直土圧から求めた緩み高さ(図4参照)の位置を示している。最小鉛直土圧を取るとき、の側圧係数は、降下床から0.5Dが最も大きく、こ

図4 降下床幅による比較

の辺りでアーチが形成されていることが分かる。また、降下にしたがって、地山上部の側圧が大きくなっているのは、緩み領域が拡大し、アーチを形成する位置が次第に地表面近くに移動していることを示しているものと考えられる。

4. 土被りが浅くなるトンネルの場合 地表面掘削によって土被りが減少する場合、トンネル周辺に形成されたアーチは消失するのか、あるいは保持されるのかは興味もたれる。本実験では、まず降下床を降下させ、降下床上部にアーチを形成させた後、地表面からアルミ棒を取り除き、その間の土圧の変化を測定した(図6)。降下床幅8cm、当初土被りが24cmの場合、地山内および降下床位置の土圧は、アルミをすべて取り除くまで単調に減少した³⁾。そこで、ある程度地表面を掘削した後、図6に示すようなトレンチを掘削した。その結果、図7から明かなように、トレンチ掘削によって降下床および地山内の土圧は増加した。これは地表面掘削によって土被りが減少しても、地山には有効な水平力が存在し、地山にはアーチによるせりもち効果が保持されていることを示している。なおこのような現象は、実際のトンネルにおける地表面掘削においても同様にみられる⁴⁾。

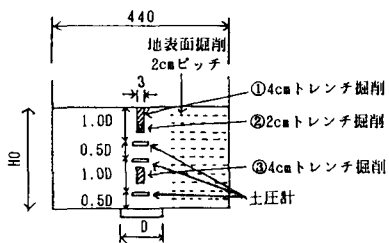


図6 実験方法

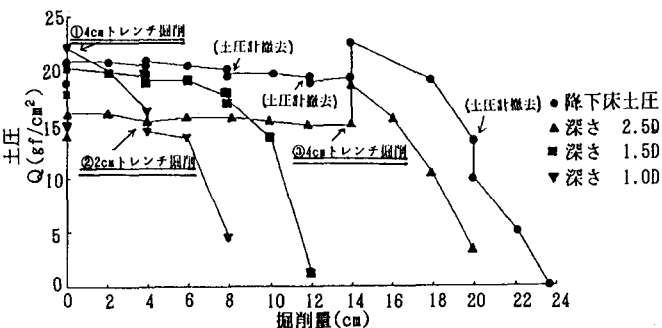


図7 地表面掘削による影響

5. むすび 本降下床実験から得られた知見は次のようである。①土被りが浅いトンネルの場合、緩み高さは降下床幅の大小にかかわらず、テルツァギの式で概ね評価できる。②土被りが浅くなるトンネルの場合、地表面掘削によって土被りが減少しても、地山のアーチは消失せず有効に保持されている。

参考文献 1) 村山、松岡：粒状土地盤の局部沈下現象について、土木学会論文集報告第172号, 1969, pp. 98-108 2) H. カスナー：トンネルの力学, 共立出版, 1974, pp. 57-62 3) 板坂浩二：土被りの浅いトンネルにおける地山のアーチ作用に関する実験的研究, 神戸大学工学部土木工学科卒業研究, 1991 4) 桜井、清水、金澤、梶尾：地表面掘削による既設トンネルの変形挙動, 第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 1990, pp. 243-248