

トンネルの逐次掘削による土圧再配分のメカニズム

首都大学東京大学院 学生会員 今井明士
首都大学東京大学院 正会員 土門 剛
首都大学東京大学院 正会員 西村和夫

1. 目的

トンネルの逐次掘削工法とは、トンネル断面の一部分を先行して掘削し、次に掘削した一部分に隣接した部分を掘削し、最後にトンネルの全断面を掘削してトンネルを構築する工法である。わが国の複雑な地質では、トンネル全長を通じて全断面掘削工法で施工が可能な場合は少ないため、逐次掘削工法は有効な工法である。

一般に単設トンネルの設計に用いる作用土圧は、全土被り圧、あるいは Terzaghi の緩み土圧を用いている。しかし、逐次掘削工法でのトンネルの超近接施工による土圧再配分のメカニズムに関しては不明な部分が多いため、用いる土圧も定まてはいない。このような背景から当研究室では過去 12 年にわたって研究を実施しており、掘削順序によって全土被り圧以上の土圧が作用することを明らかにしている、このような場合、従来のトンネルに作用する土圧の評価方法では、工事の安全確保や経済性を追及する上で大きな問題となる。

本研究では、トンネルの逐次掘削過程において、掘削順序によって土圧がどのように変化するかを定量的に観測し、種々の要因が地山挙動に及ぼす影響を検討した上で、その評価法を提案することを目的としている。

2. 実験方法

実際のトンネル掘削は三次元の現象であるが、本研究では掘削後の内空変位による静的な地山挙動を観察することを目的としているため、トンネル縦断方向の変位は考慮しない二次元実験とした。また、地山材料には、簡便で再現性も期待できることを理由に、表-1 に示す物性のアルミ棒積層体を使用した。実験ではトンネルの逐次掘削を5連の降下床で模擬し、降下床を順に降下させることによって、トンネルの逐次掘削による緩みを再現した(図-1)。降下床の降下順序を逐次掘削トンネルの掘削順序とし、様々な順序で降下床を降下させることによって生じる降下床土圧を計測した。なお、本概要では掘削手順、すなわち降下順は、図-2 のように左から右へ順にA B C の3つの降下床を2mm ずつ降下させたケースのみを示す。

表-1 地山材料の物性

材質	アルミ合金
長さ	100mm
径	1.6mm,3.0mm
混合比(重量比)	3:2
地山密度	≒21.5kN/cm ³
粘着力	≒0kN/cm ²
内部摩擦角	30°

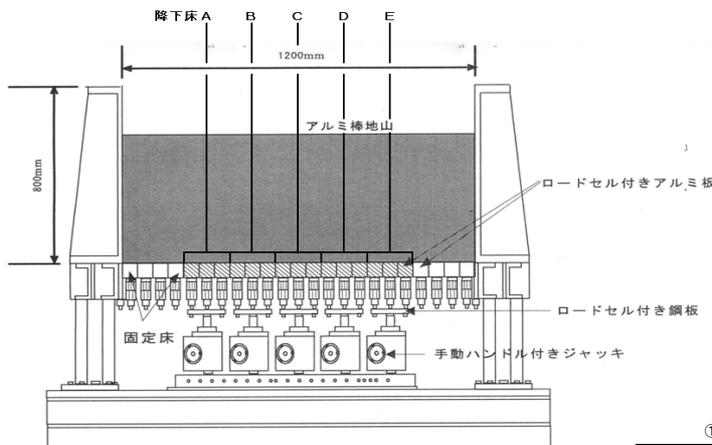


図-1 実験装置



図-2 降下順ABC

キーワード トンネル, 逐次掘削工法, 降下床実験, 土圧

連絡先 〒192-0364 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース トンネル・地下空間研究室

3. 実験結果と考察

3.1 模型実験結果

図-3に土被りが250mm, 降下順ABCにおける降下床土圧の推移を示す. 縦軸は正規化土圧(降下床土圧/初期土圧, 以下, 単純に土圧と表現する.)を示し, 横軸は累計降下量を示す.

まず, Aが降下するのに伴ってA自身の土圧が0.4倍まで減少している. この値は土被り250mmにおけるTerzaghiの緩み土圧に相当する. 一方, Aに隣接しているBの土圧は1.3倍まで増加している. Cの土圧にはほとんど変化は見られない. 次に, Bが降下するのに伴ってB自身の土圧が0.45倍まで減少し, Bに隣接するAの土圧が0.95倍, Cの土圧が1.3倍までそれぞれ増加している. さらに, Cが降下するのに伴って, C自身の土圧が0.45倍まで減少し, Cに隣接するBの土圧が1.0倍まで増加している.

土被り250mmにおける緩み土圧は約0.4倍なので, Aの降下後土圧は緩み土圧まで減少するが, BとCの降下後土圧は緩み土圧まで減少しない.

3.2 各降下床に作用する土圧の算定

Terzaghiの理論に基づき図-4のようなモデルを考えることにする. このモデルでは, 降下にともなうすべり土塊を長方形でモデル化する. これにより, 降下床を降下させると, 隣接する降下床との間にすべり面が生じ, せん断力が生じる. したがって降下床nの降下後土圧を σ_n , 降下床nの左側のすべり面に生じるせん断力を Q_n とすれば次式の関係が成り立つ.

$$\sigma_n D = \gamma DH + Q_n - Q_{n+1}$$

別の降下順による実験において, 左右両側とも既降下の場合には, 降下後土圧が約0.6倍となることが判明している. また, 左右いずれかが既降下の場合には, 約0.5倍であることも判明している.

これらの降下履歴を考慮して, 図-5のようなモデルを考えることにする. ここで, 降下した降下床自身の土圧は実験結果から, 両側とも未降下の場合は0.4倍, 片側のみ既降下の場合は0.5倍, 両側とも既降下の場合は0.6倍となると仮定した.

以上の方法で, 土被り250mm・降下順ABCにおける各降下床に作用する土圧を算定すると図-6のようになり, 各降下床の降下前と降下後の土圧が図-3の実験結果とほぼ一致する.

4. 結論

地山のゆるみや応力履歴を考慮しなくても, 地山間のすべり面に生じるせん断力だけを考慮してモデル化することによって, 実験結果に近い結果となった.

今後はDEMによる解析を行ない, 本論文で提案したモデルの妥当性を確認していきたい.

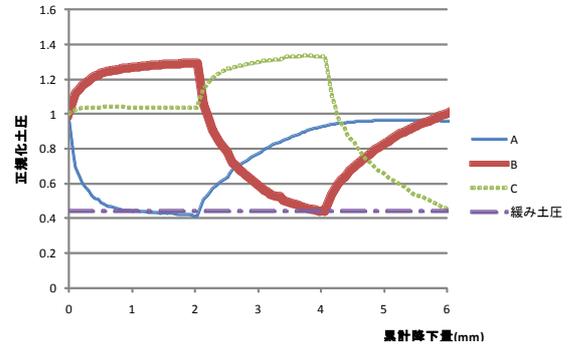


図-3 降下順ABCにおける降下床土圧の推移

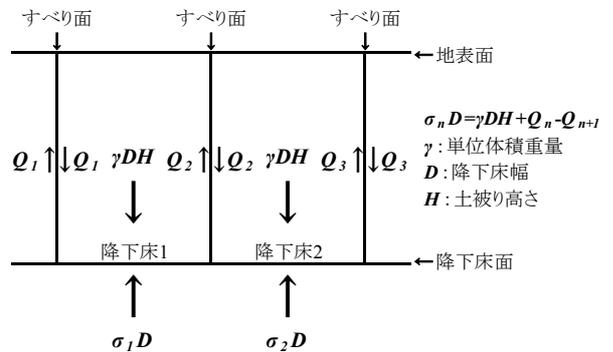


図-4 降下にともなう生じるすべり面モデル

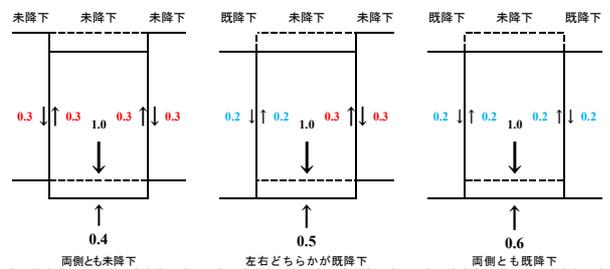


図-5 降下時作用荷重モデル

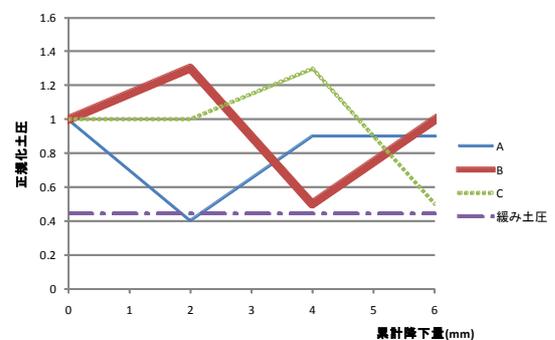


図-6 降下順ABCにおける降下床土圧の算定結果