

シールドトンネルに作用する浮力に関する実験的検討

株式会社 大林組 (元首都大学東京大学院)
 首都大学東京大学院
 首都大学東京大学院

正会員 ○板場 建太
 正会員 土門 剛
 正会員 西村 和夫

1. 研究目的・背景

トンネル標準示方書 シールド工法・同解説¹⁾において、浮力や水圧の考え方が実態にそぐわないと指摘されることがある。前者は、地下水位以下にあるケースなど、浮力の影響が無視できないトンネルにおいて、鉛直方向の水圧の差を浮力として浮き上がりに対する安定性が評価される。後者は、とくに慣用計算法において、トンネル上端と下端での鉛直水圧は図1のように同じ値に設定される。両者の考え方は、安全側の設計と簡便さを考慮したものであるが、本来、実現象を理解した上で設計がなされるべきものの、実現象自体も明らかにされていないのが現状である。本研究ではまず、模型実験を実施し、それらの実現象の再現を試みた。その後、実験結果と実験を再現した数値解析あるいは現行設計法や安定性照査法との比較を試み、浮力や水圧における考え方と実現象との差異を考察した。

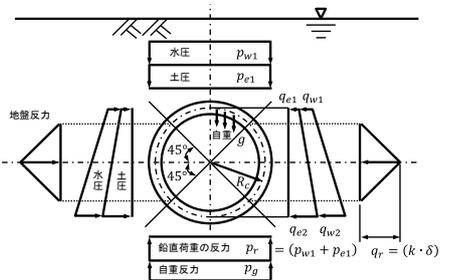


図1 設計・解析に入力する荷重の概要図

2. 研究概要

小土被り、地下水位以下の地盤に建設されたトンネルに浮力が作用し、浮き上がりが生じた際の地盤の抵抗メカニズムを確認するためにトンネル模型引き抜き実験を実施する。その後、トンネルに生じる断面力を確認するために地下水位上昇実験を実施し、その再現解析についても実施する。



写真1 トンネル模型引き抜き装置



写真2 断面力計測用模型

2.1 模型実験

実験槽は高さおよび幅が500mm、奥行き100mmの亚克力製であり、トンネル模型は内径100mm、奥行き96mmの亚克力管である。そして、地盤模型には直径2mmのガラスビーズを投入する。地下水位上昇を模擬するため、実験槽の下から注水を行う。実験槽内の地盤にマーカーを設置し、そのマーカー移動量を画像解析ソフト Move-tr/2D で読み取り、せん断ひずみ図を描く。断面力用ひずみの計測は注水開始時から実施する。

表1 トンネル模型の物性値

弾性係数(MN/m ²)	3.00 × 10 ³
単位体積重量(g/cm ³)	1.19
覆工厚さ(m)	1.00 × 10 ⁻³
地盤ばね係数(MN/m ³)	10.00

トンネル模型引き抜き実験は、浮力による浮き上がりを再現するために写真1に示すトンネル模型引き抜き装置を自作し、引き抜きロッド上部に設置した金属板とダブルナットの間に設置した六角ナットを時計回りに1回転させることで1mm浮き上がる方法で実験を実施し、浮き上がり量ごとの連続写真からせん断ひずみ図を描く。地下水位上昇実験は、写真2に示すようなトンネル模型の外側と内側に45°間隔でひずみゲージを計16箇所設置した断面力計測用模型を用いて、各計測位置で計測される外側ひずみと内側ひずみから断面力の曲げモーメントと軸力の値を算出する。

キーワード シールドトンネル, 浮力, 模型実験, 骨組み解析, 水圧

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL 03-5769-1111

2. 2 数値解析

解析はノンテンション地盤ばねを用いた二次元骨組み解析を MOLEMAN-i を用いて実施した。物性値を表 1 に示す。そして、解析モデルに入力する荷重系は慣用計算法との比較も実施するため、図 1 と同様とした。その際、側方土圧係数は 0.5 とした。

3. 実験結果と解析結果

トンネル模型引き抜き実験の結果より、図 2 に示すようなトンネル模型周辺地盤のせん断ひずみ図を描いた。設置したマーカーは約 0.2D 間隔である。①は引き抜き前の状態である。②の引き抜き量 10mm 時では、トンネル模型のスプリングライン(以下、S.L と称す) 近傍の地盤とアーチ肩部近傍の地盤にせん断ひずみが生じ始め、③の引き抜き量 20mm 時ではトンネル模型近傍の地盤約 0.2D の範囲でせん断ひずみが生じ、特に S.L 近傍で大きいせん断ひずみが生じた。そして、④は引き抜き量 115mm でトンネル模型が完全に浮き上がった状態を模擬している。この図より、地盤が崩壊した場合の影響範囲は S.L 近傍の左右で約 0.2D となり、地表面部の左右で約 1.0D となった。

つぎに、土被り 0.15D、地下水位上昇実験で地下水位が地表面に到達した時の断面力計測結果(以下、実験値と称す)と骨組み解析の結果(以下、解析値と称す)、さらに慣用計算法で算出した値(以下、設計値と称す)との比較結果を図 3 と図 4 に示す。まず、曲げモーメント分布について、設計値と解析値の結果はほとんど一致した。両結果を 3 回の実験値と比較すると、トンネルの天端部とアーチ肩部、そしてアーチ脚部では、実験の曲げモーメントの値が設計・解析曲げモーメント分布と概ね同様の傾向となった。しかし、S.L とトンネル底部の曲げモーメントは、設計・解析値が正曲げであるのに対し、実験値が負曲げであり、その傾向は一致しなかった。つぎに軸力分布について、曲げモーメント分布と同様に設計値と解析値はほとんど一致した。しかし、S.L 以下の実験値が設計・解析値よりも大きい結果となった。

4. 考察

- ・浮力が作用し、トンネルが浮き上がる際の周辺地盤に生じるせん断ひずみについて、浮き上がりの初期では S.L 近傍の側方地盤がトンネルを拘束するため、S.L 付近の地盤に大きいせん断ひずみが生じた。その後、浮き上がりに伴いトンネルの斜め上方へすべり線を形成するように地盤内にせん断ひずみ領域が発生した。以上より、浮き上がりに対する地盤の抵抗は、浮き上がり初期では側方地盤の反力、最終段階ではすべり領域のせん断抵抗で異なるメカニズムが生じたと考えられる。
- ・設計値と解析値は曲げモーメントと軸力でほぼ一致するが、実験値は曲げモーメントで S.L と底部で生じる値が逆モードとなり、軸力で S.L 以下の値が大きくなった。これは、実験が小土被りであり、トンネル直上の荷重よりも側方の荷重が卓越するため、実験の S.L の値に影響が出たと考えられる。また、実験の曲げモーメント底部の値、軸力の S.L 以下の値から、トンネルへ作用する浮力が影響した断面力分布が確認できた可能性があることが判明した。

【参考文献】

- 1) (社)土木学会 トンネル工学委員会：トンネル標準示方書 シールド工法・同解説，2006.7

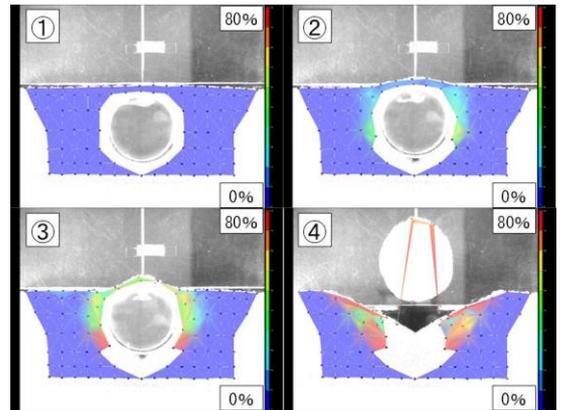


図 2 地盤のせん断ひずみ図

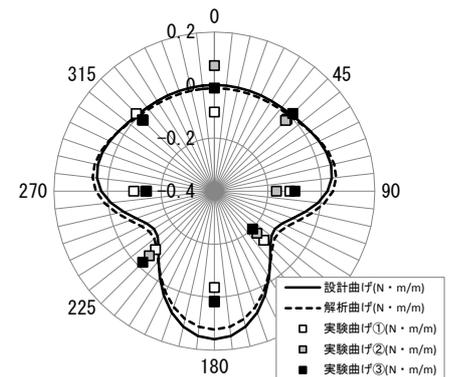


図 3 曲げモーメント比較結果

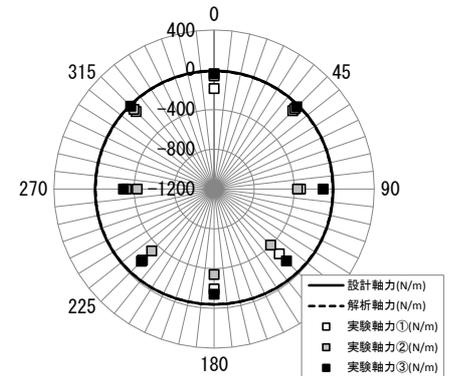


図 4 軸力比較結果