

大深度地下シールド覆工の設計法に関する研究

地盤工学研究室 今村 良輔

指導教官 杉本 光隆

1. はじめに

現在のシールドトンネルの覆工設計において、覆工に作用する土圧は、覆工の変形に関係のない静的な土圧のみを扱っている。しかし、覆工に作用する土圧は覆工の変形に伴って変化をする。そのため、従来のモデルでは、裏込めの過剰注入による作用土圧の増加や、大深度のような自立性が高い地盤で見られる作用土圧の減少を表現できない。このことより、周辺地盤と覆工にかかる土水圧の相互作用を評価するには、地山の自立性と、テールボイドに注入される裏込めの評価が重要となる。

本研究では、周辺地盤と覆工との相互作用を取扱うことのできるモデルを用いて、特に地山の自立性と裏込め注入等によるテールボイドの変化に注目し、大深度トンネル覆工に作用する土水圧を検討する。

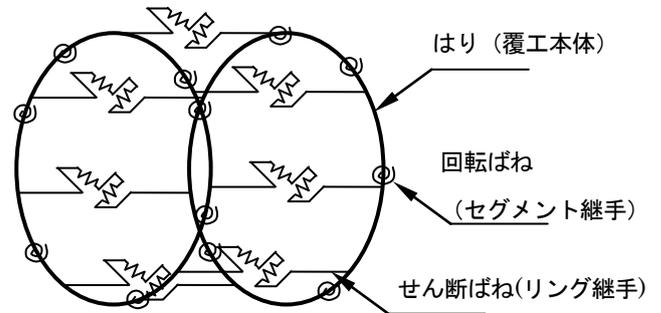


図-1 はりばねモデル

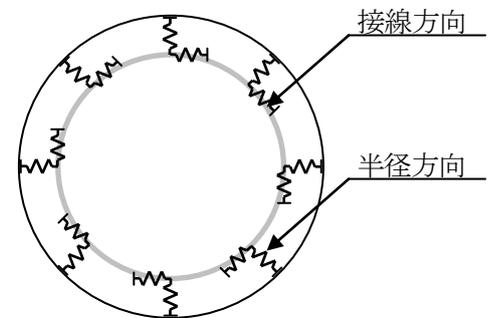


図-2 全周ばねモデル

2. 設計モデル

覆工自体を表現する構造モデルには、図-1 に示すはりばねモデルを用いる。このモデルは覆工をはり、周方向および軸方向継手をばねにより表現している。地盤と覆工との関係を表する相互作用モデルには図-2 に示す全周ばねモデルを用いる。このモデルはセグメントリングの全周にわたって地盤ばねを設定し、覆工の変形に伴って生じる土圧変化を評価している。本研究では、作用土圧と地盤反力係数の評価方法が現行のモデルの場合と異なる。

キンプレートに作用していた荷重がそのまま覆工に作用すると考え、シールド機動力学モデルにおいてスキンプレート作用力を求める際に用いた、地盤変位と土圧係数の関係を用いて土圧および地盤反力を評価する。

3. 地盤と覆工の相互作用

3.1 土圧および地盤反力係数の評価

現行の覆工設計では、真円状態にあるセグメントリングに静的土圧を考慮し、また地盤ばねを設定し地盤反力を評価している。

本研究では、シールド内で組み立てられた覆工はシールドテールを抜けて地山に出ると、シールドス

3.2 地盤変位と土圧係数の関係

地盤変位と土圧係数の関係は次式を用いて図-4 のように表される。

$$K_i(\delta_n) = \begin{cases} K_{i\min} \cdot \tanh\left(\frac{a_i \cdot \delta_{ni}}{K_{i\min}}\right) & (\delta_n \leq 0) \\ K_{i\max} \cdot \tanh\left(\frac{a_i \cdot \delta_{ni}}{K_{i\max}}\right) & (\delta_n \geq 0) \end{cases} \quad (i = h, v)$$

K : 土圧係数

δ : 地盤変位

a : 地盤反力係数

サフックス h : 水平方向

サフックス v : 鉛直方向

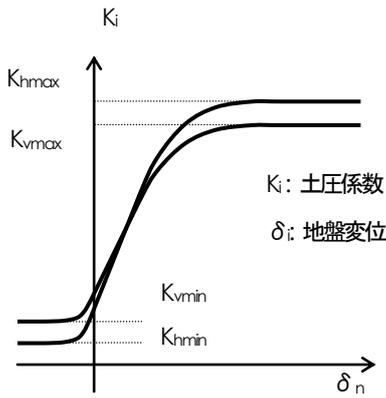


図-4 地盤変位と土圧係数の関係

ここで、覆工設計に用いられる地盤反力係数の考え方を基に得られる地盤変位と土圧係数の関係は、図-4の2本の直線で表され、双曲線関数で表される地盤変位と土圧係数の関係の一次近似に相当する。

覆工上の任意の位置での地盤変位と土圧係数の関係は次式で表される。

$$K(\delta_n, \theta) = K_v(\delta_n) \cos^2 \theta + K_h(\delta_n) \sin^2 \theta$$

δ_n : 覆工の半径方向の地盤変位

3.3 静的土圧

真円状態のセグメントリングに作用する静的土圧は、地盤ばねに静的土圧作用時に発生する変位を入力することにより評価する。これにより覆工の変形に伴い静的土圧が変化することを表現する。

3.4 地盤ばね定数

覆工の変形に伴って生じる土圧変化は地盤ばねを介して評価しており、全周ばねモデルにおいては地盤ばね定数を適切に評価することが特に重要とされる。覆工は半径方向および接線方向の地盤ばねにより支持され、ばね定数は地盤変位と土圧係数の関係より得られる双曲線の傾きによって定める。

4. 本モデルの特徴

本解析では以下の2点の評価に注目してトライアル解析を行う。

4.1 周辺地盤による作用荷重の分担の評価

本解析では、緩み土圧に相当する初期変位を強制変位として地盤ばねに与え、その中で覆工が力のつ

り合いをとるように変形する。こうすることにより覆工変形後に作用する土圧を低減させ、周辺地盤による作用荷重の分担を評価する。

4.2 裏込注入効果の評価

本解析では、図-4に示したグラフの縦軸を図-5のように変位方向にシフトすることにより裏込注入効果を評価する。変位のシフト量は以下の式で表される。

$$\delta_{shift} = t_v \times (\alpha / 100 - 1)$$

δ_{shift} : 強制変位 (m)

t_v : テールボイド (m)

α : 裏込注入率 (%)

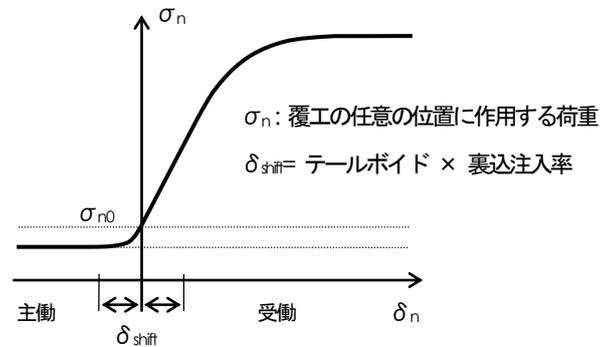


図-5 裏込注入率の評価

5. 解析結果と計測値の比較

全土圧の解析値と計測値の比較を図-6に示す。

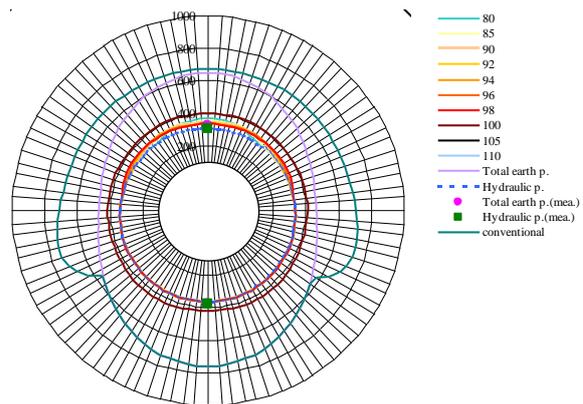


図-6 全土水圧 (kPa) (kn=500MN/m³)

地盤反力係数 500MN/m³ 以上で、有効裏込注入率 96%から 98%で解析値と実測値は非常に近い値を示した。