

シールドトンネル覆工の各計算法による断面力算定に関する考察

清水建設株式会社 正会員 ○山田 健明

清水建設株式会社 正会員 Suthiwarapirak Peerapong

清水建設株式会社 正会員 谷田 友里恵

1. はじめに

国内のシールドトンネルの覆工計算法としては、主に軟弱な地盤を対象とした慣用計算法¹⁾およびはり-ばねモデルによる計算法¹⁾が存在する。海外の覆工計算法としては、欧州諸国の地盤を対象とした、自立性の高い地山による周辺地盤の支持効果を期待した A.M. Muir Wood²⁾の計算法が存在する。A.M. Muir Wood の計算法と日本の計算法の比較を実施し、覆工計算の合理性に関して言及した文献資料は、非常に少ない。そこで、同一断面による断面力の算定を行い、各計算法における発生断面力の比較を実施した。

2. 覆工および検討断面の概要

海外の鉄道シールドトンネルを検討対象として、各計算法による断面力の算定を実施した。検討に用いたトンネル諸元および地盤の諸元を表-1、表-2 に示す。また、検討断面の詳細を図-1 に示す。トンネル断面部の地層構成は、沖積粘性土の Ac1a 層(N 値: 5-9)、Ac1b 層(N 値:10-19)となっており、地下水位は、地表面位置である。土被りは、比較的浅く 1D 以下の 5.075m である。

3. 各計算法について

(1) 慣用計算法

セグメントリングを剛性一様なモデルとして断面力算定を実施する方法である。土圧の算定にあたって、土と水の取り扱いを土水分離とした。荷重および構造モデルを、図-2 に示す。

(2) はり-ばねモデルによる計算法

セグメント本体をはり、継手をばねとして断面力算定を実施する方法である。土圧の算定にあたって、土と水の扱いは慣用計算法と同様に土水分離とした。解析には、解析ソフト Moleman-i を使用し、2 リングはり-ばねモデルとして解析を行った。セグメント継手の回転ばね定数は、剛結・ピン構造・Leonhardt らによる Betongelenke に関する理論式³⁾に基づいて算定した値の 3 ケースとした。リング継手のせん断ばね定数は、全ケースにおいて継手の剛性を考慮しないものとして、構造計算上は、極小値を使用して解析を実施した。荷重および構造モデルを図-3 に示す。

表-1 トンネル諸元

トンネル内径(mm)	6,050
トンネル外径(mm)	6,550
セグメントの種類	RC セグメント
セグメント分割数	5+1
セグメント幅(mm)	1,500
セグメント厚さ(mm)	250
コンクリート計算基準強度 (N/mm ²)	48
ヤング係数 (kN/mm ²)	39

表-2 地盤の諸元

土質	沖積粘性土
土と水の取り扱い	土水分離
土被り(m)	5.075
土の単位体積重量(kN/m ³)	16
側方土圧係数	0.5
ポアソン比	0.3

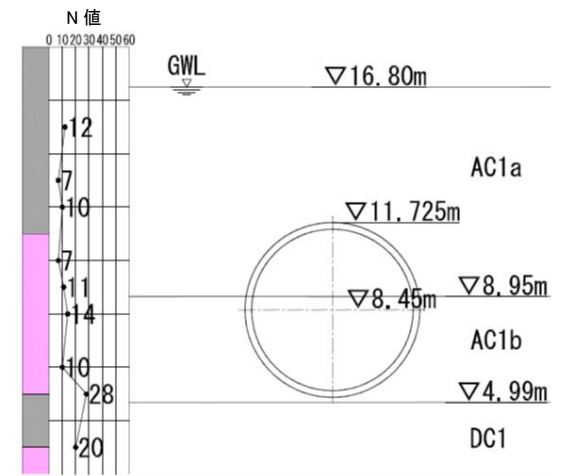


図-1 検討断面の詳細

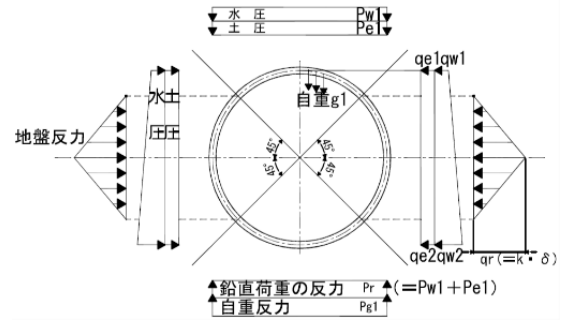


図-2 荷重-構造モデル (慣用計算法)

キーワード セグメント, A. M Muir Wood, 慣用計算法, はり-ばねモデル
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2 丁目 16-1 清水建設(株)土木技術本部 TEL 090-2528-0590

(3) A.M. Muir Wood の計算法

A.M. Muir Wood の計算法は、地盤を半無限二次元弾性体、セグメントを剛性一様として弾性理論解に基づく近似解により、断面力算定を実施する方法である。この計算法では、鉛直土圧は、基本的に全土被り土圧を用いる。水平土圧は鉛直土圧に側方土圧係数を乗じたものとする。また、覆工に生じる断面力は、覆工を包含する地盤に荷重を作用させて求める。

各計算法において用いた荷重を表-3 に示す。上載荷重として 10kN/mm² を考慮している。

表-3 荷重値

断面力計算法	Pv1	Ph1	Ph2	qr	Pwc
慣用計算法	91. 3	72. 7	154. 6	-	-
はり-ばねモデル計算法	91. 3	72. 7	154. 6	-	-
A.M. Muir Wood	40. 5	30. 1	-	-	83. 5

Pv1: 頂部荷重, Ph1: 頂部側方荷重, Ph2: 底部側方荷重,
qr: 水平直径点の地盤反力, Pwc: トンネル中心位置における水圧

4. 検討の結果、考察

各計算法で算定された曲げモーメントおよび軸力の結果を図-5、図-6 に示す。曲げモーメントは、慣用計算法およびはり-ばねモデルによる計算法と A.M. Muir Wood の計算法では分布が逆の結果となった。慣用計算法およびはり-ばねモデルによる計算法では、側方の水圧が大きい為、側方荷重が鉛直荷重よりも大きくなり、縦潰れの挙動を示す。一方で、A.M. Muir Wood の計算法では、水圧による曲げモーメントは発生しないため、横潰れの挙動を示す。また、各設計法での曲げモーメントの絶対値を比較すると、慣用法が最も大きいことから、最も安全側の計算法と言える。A.M. Muir Wood の設計法で発生する曲げモーメントの絶対値は、慣用法と比較して小さく、はり-ばねモデルと比較してセグメント継手が剛結のときの算定値と近い値である。A.M. Muir Wood の計算法では、水圧は均等に作用すると仮定しているため、土被りが浅い大口径シールドトンネルの場合、トンネル頂部と底部の水圧差は無視できなくなり、危険側の計算になる可能性があると考えられる。

5. おわりに

今回は、1 ケースのみの検討断面で断面力の比較を実施したが、今後は、様々な土質条件において検証を行い、実際の工事中に計測されたセグメントに発生している応力および変形挙動と比較を行い、土質条件に合った合理的な計算法の確立を目指したい。

参考文献

1) 「トンネル標準示方書シールド工法編・同解説」土木学会, 2016
2) 「The circular tunnel in elastic ground」Geotechnique25, No.1, 1975, A. M. MUIR WOOD
3) 「Betongelenke」Der Bauingenieur, 41, 1966, F. Leonhardt und H. Reimann

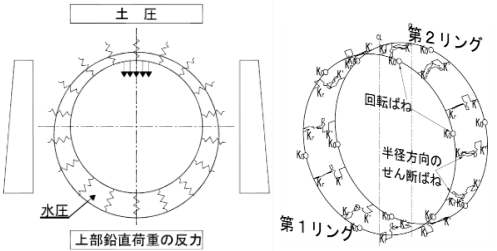


図-3 荷重-構造モデル（はり-ばね）

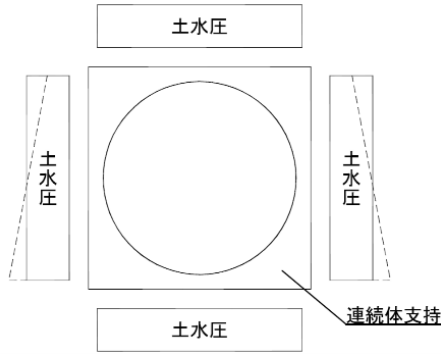


図-4 荷重-構造モデル（Muir Wood）

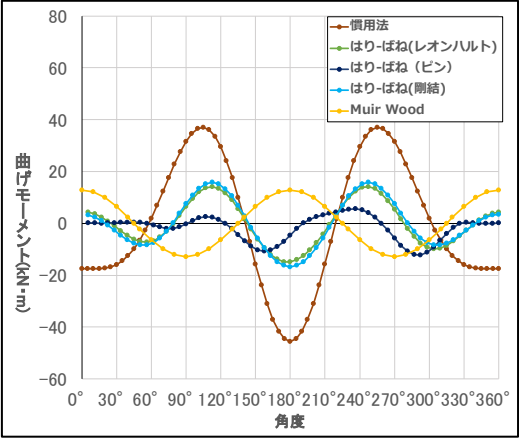


図-5 曲げモーメント分布図

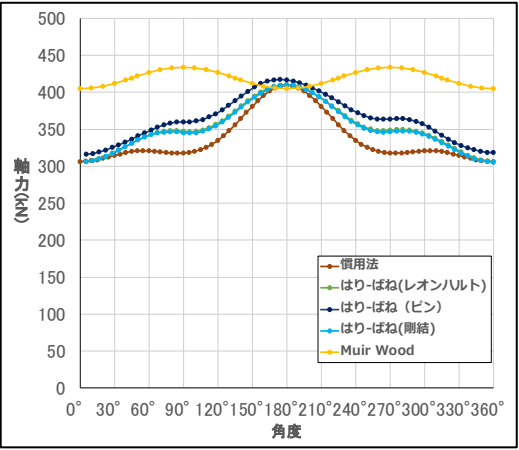


図-6 軸力分布図