

骨組構造解析による都市 NATM 覆工への地盤ばねの影響

熊谷組 正会員 ○里見 賢
 首都大学東京 正会員 西村和夫
 首都大学東京 正会員 土門 剛

1. 研究背景と目的

主に山岳トンネルで用いられてきた NATM は、補助工法の進歩、断面選定の自由度、経済性の観点から環境条件や地質条件の厳しい都市部においても適用されることが多くなった。この都市 NATM では、パターン設計が適用される山岳部での NATM と異なり、個別に設計が行われている。この設計時に荷重や構造モデルを設定しているが、これらにはまだ不明確な点が多く、未だ技術者の工学的判断が求められるのが現状である。特に覆工のモデル化の相違が計算結果へ及ぼす影響が大きいことも知られていることから、モデル化に及ぼす結果への影響を把握する必要がある。

現在、NATM トンネルの覆工計算では荷重系、構造系の取り扱いが明確かつ容易であり、複雑な設計条件に対しても比較的精度よく覆工の発生断面力を算定することができる骨組構造解析が最も採用実績が多い。

本研究では都市 NATM トンネル覆工設計時の地盤ばねの設定がどのように解析結果に影響するのかを検討するため、地質条件から推定される変形係数の変動範囲とトンネル断面力との関係を明らかにし、その傾向について検討した。

2. 数値解析概要

2.1 解析モデル

(1) 構造条件 図-1 に示すような型の異なる 2 つのトンネル形状について、それぞれの覆工を 72 分割した曲がりばりのフレーム要素として模擬した。曲がりばりの物性値は、実設計で用いられた値を参考に表-1 のように設定した。

(2) 地盤条件 地盤ばねは変形係数とトンネル形状から、『道路橋示方書・同解説 IV. 下部構造編』での地盤反力係数算定法を用いて設定した。地盤の物性値も実設計を参考に表-1 の通りとした。

(3) 荷重条件 全土被り荷重を採用し、側方土圧係数 K を 0.5 とした。

2.2 解析ケース

土被り H とトンネル高さ D の比である H/D を 0.5, 1.0, 2.0 とした 3 ケースをそれぞれ扁平型と防水型の 2 種類のトンネル形状で解析した。表-2 に解析ケースを示す。

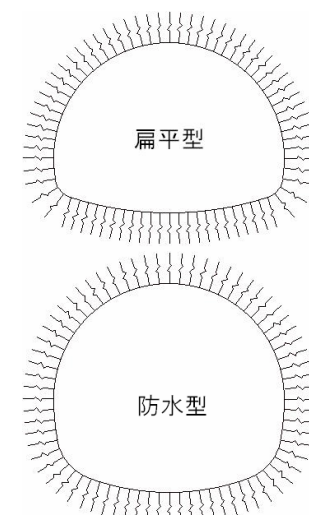


図-1 トンネル形状と地盤ばねの配置

各ケースに対し変形係数は都市の地盤を想定して $E=5\sim 500$ (MN/m^2) と、比較のため硬岩を想定した $E=1000$ (MN/m^2) の計 16 パターン設定した。

表-1 覆工及び地盤の物性値

	扁平型	防水型	地盤
弾性係数 [kN/mm^2]	23.5	25.0	E
単位体積重量 [kN/m^3]	25.0	25.0	16.0
配筋(径[mm]ピッチ[cm])	16.0,20.0	16.0,20.0	—
設計基準強度 [N/mm^2]	21.0	24.0	—

表-2 解析ケース

H/D	0.5	1.0	2.0
扁平型	ケース1	ケース2	ケース3
防水型	ケース4	ケース5	ケース6

キーワード 都市 NATM, 覆工, 骨組構造解析, 地盤ばね, 断面力

連絡先 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境学部 TEL0426-77-1111 (代)

3. 結果と考察

3.1 変形係数変化による断面力の挙動

右の図-2, 3 は数値解析から得られた各ケースの最大せん断力および曲げモーメントをそれぞれ qD （トンネル高さ D ，トンネルアーチ部にかかる分布荷重 q ）および qD^2 で除して無次元化したものである。いずれの断面力も変形係数が増加することによって緩やかに減少し、収束に向かっていく様子がわかる。

図-2 は同じ荷重条件下でのせん断力の比較である。2つのトンネル型の比較では、経済的に有利な扁平型よりも、円に近い形状の構造的に有利な防水型のほうが軟らかい地盤での断面力が収束しやすいことが見て取れる。

3.2 土被り変化による断面力の挙動

図-3 は土被りの異なる3つのケースの無次元化した曲げモーメントを比較したものである。3つのケースでの曲げモーメントが一致したことから、曲げモーメントとトンネルの深さには比例関係を見出すことができ、この場合、深さの影響を考慮しなくてもよいと考えられる。

3.3 M-N 図でみる断面力の挙動

図-4, 5 はそれぞれ扁平型および防水型におけるインバートや天端など覆工の代表断面の曲げモーメントと軸力の関係を表したものである。同じ土被りにおける変形係数の影響を見ると変形係数が低くなるにつれ、曲げモーメントの変化 ΔM が加速度的に増えていくのがわかる。また、土被りが増えるにしたがい ΔM も増えていく。変形係数の低い地盤では土被りの小さな変化であっても曲げモーメントが大きく変動する恐れがあるといえる。トンネル形状で比較すると軸力には大きな差はないが曲げモーメントでは値、増分ともに扁平型のほうが大きい。特に ΔM に関しては終局状態を左右する問題であるため、実解析においては変形係数やトンネルの扁平率などとの関係を詳細に調べる必要があるといえる。

軸力に関しては変形係数の変化に対して大きな影響を受けておらず、また、土被りがこれ以上大きくなると緩み荷重となると想定されることからこれ以上の軸力の増加は考えにくい。

4. まとめ

変形係数は覆工の曲げモーメントに影響を与え、特にその値が小さい、つまり軟弱な地盤であるときは特に注意が必要である。トンネルは線状の構造物であるからトンネル軸方向に対して地山状況が変化することが予想されるが、都市 NATM の場合には周辺地山の調査が十分に行われているので変形係数と土被り、側方土圧係数、トンネルの扁平率などとの関係を把握することはとても有効である。そのためにさらに数多くのケースの解析を行う必要がある。

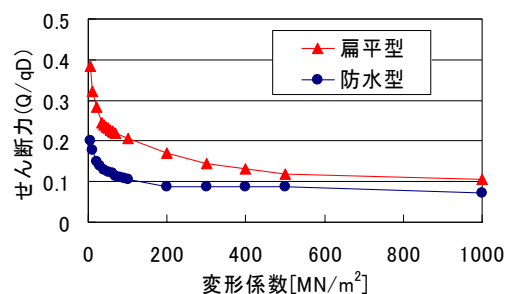


図-2 せん断力の比較
(ケース2および5)

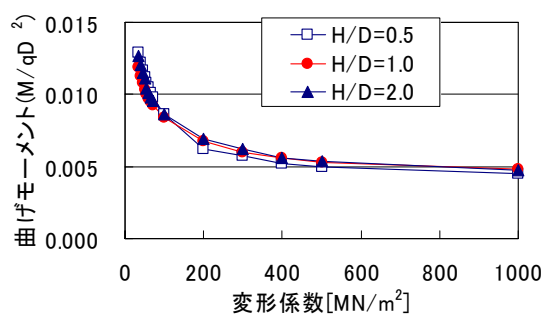


図-3 曲げモーメントの比較
(ケース1, 2および3)

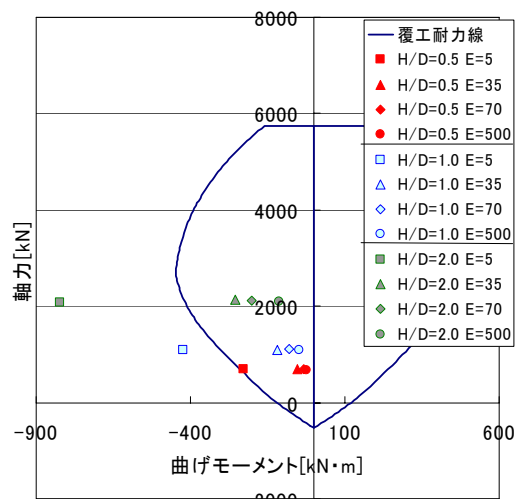


図-4 M-N 図 (扁平型)

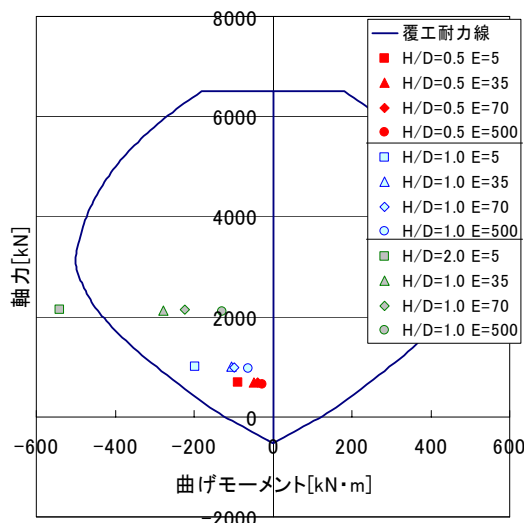


図-5 M-N 図 (防水型)