

施工過程を考慮したシールドセグメントの合理的設計

首都高速道路公団 正会員 渡邊 健司
同 上 正会員 田嶋 仁志
同 上 正会員 並川 賢治

1. はじめに

道路トンネルのような大口径のトンネルでは、図-1に示すような従来の設計の考え方をを用いると、土木学会「トンネル標準示方書」（シールド工法編）にもあるように、「土水圧等による断面力に対して、自重によって生じる断面力が相当大きくなる（ $D_o=12\text{m}$ 級では6～8割）」ことが知られている。

ここでは、実際の施工状況を評価し、自重による変形に地盤反力を考慮した設計法ならびに設計例を紹介する。

2. 自重による変形に対する地盤反力の考え方

従来のセグメントの設計では、自重に対する地盤反力は、自重につり合う等分布反力を原則としている。外荷重に対しては地盤反力を期待するため、自重と外荷重でそれぞれ断面力を計算しそれらを足し合わせて応力度照査を行っている。

しかし、実際には既設リングの影響、裏込め注入、真円保持機構等により現状の自重設計のような拘束条件になる可能性はなく、自重による発生断面力はそれほど大きくないといわれており、設計法に対する矛盾が指摘されてきている。とくに、新設のセグメントリングはすでに組立てられたリングにボルトで連結されるので、図-2に示すように新設リングは片持ち的な拘束条件となるが、従来のモデルでは表現されていない。

したがって、自重に対する設計を、施工状況を考慮して多リング梁ばねモデルで解析し、自重解析モデルに用いる地盤ばねを設定する。

3. 解析モデルと地盤ばね定数

梁ばねモデルを用いて比較的容易にモデル化できる「既設リングの影響」による自重解析を行い、地盤ばねとしてのどの程度期待できるか解析を行った。解析モデルは、図-3に示すように既設リングを含めた20リング梁ばねモデルを組み、新設リングの自重のみを荷重として与える。地盤ばねの拘束は、新設リングと既設1リングまではシールド機のテール内にあるものとして、既設2リング目からとした。

4. 解析条件

自重解析条件を表-1に、解析ケースを表-2に示す。

解析に用いる地盤ばねは「鉄道構造物等設計標準（シールドトンネル）（財）鉄道総合研究所編」より「全周ばねモデルに用いる2層系地盤の地盤反力の算定法」を用いた。

表-1 自重解析条件

セグメント外径 $D(\text{mm})$	11,800
セグメント幅 $B(\text{mm})$	1,500
セグメント厚さ $h(\text{mm})$	450

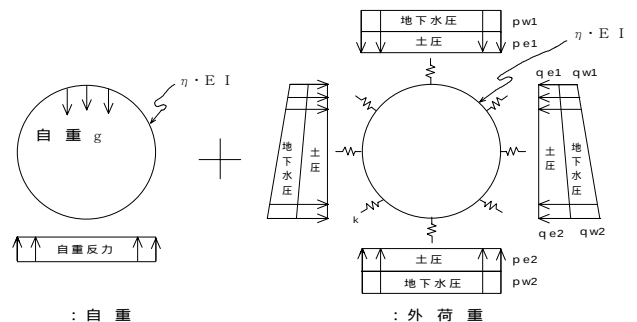


図-1 従来の設計の考え方

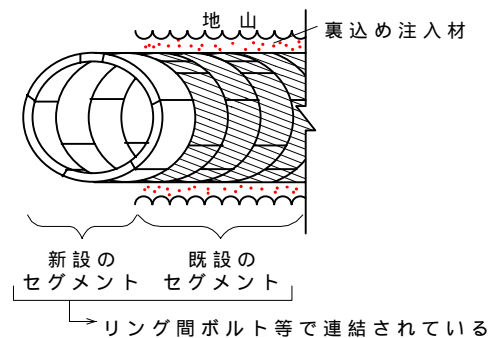


図-2 新設セグメントと既設セグメント

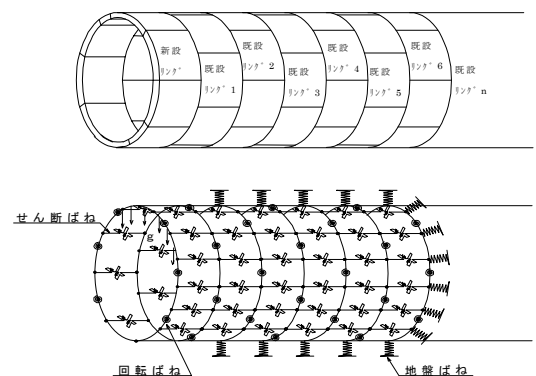


図-3 解析モデル

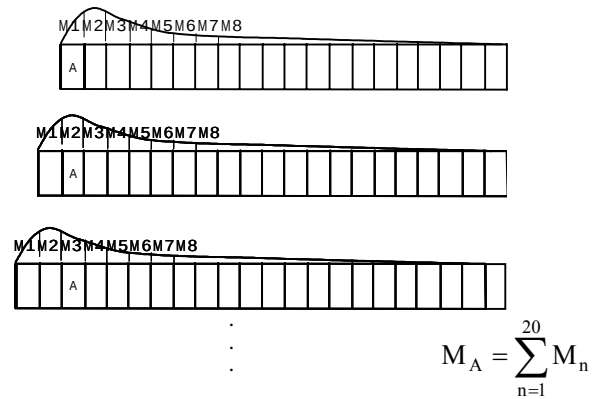
キーワード：シールドトンネル、大口径シールド、セグメント、覆工厚、自重解析

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-6-2 首都高速道路公団 Tel 03-5320-1665 FAX 03-5320-1658

表－2 解析ケース

ケース	地盤ばね(N/cm ³)			回転ばね(kN・m/rad)		せん断ばね(kN/m)	
	9.4	6.9	2.0	大※ ¹	小※ ²	大※ ³	小※ ⁴
	(N=50)	(N=30)	(N=13.7)	3.0×10^5 -2.0×10^5	3.0×10^4 -2.0×10^4	2.5×10^6	2.5×10^4
①	○			○		○	
②	○			○			○
③	○				○	○	
④	○				○		○
⑤		○		○		○	
⑥		○		○			○
⑦		○			○	○	
⑧		○			○		○
⑨			○	○		○	
⑩			○	○			○

注) ※1 短ボルト継手を想定 ※3 既往の実験結果による
 ※2 ほぞ付きセグメントを想定 ※4 ほぞ付きセグメント(リング間)



図—4 断面力の累積

5. 解析結果

試算結果は、最大曲げモーメントが従来の地盤ばねを考慮しない自重解析に対して、18～44%の値となった。このように施工を考慮した自重解析を行うことで経済的な設計ができることが確認される結果であった。さらに、計算の簡略化のために、多リングの断面力に等しくなるように2リング梁ばねモデルの地盤ばね k_2 を算定した。換算地盤ばね k_2 の試算から、継手の剛性および地盤ばねの条件により結果が異なるが、既設リングの拘束の影響により地山の地盤ばねの6～8割程度の地盤ばねを期待できそうである。

しかし、覆工の厚さは、自重、土水圧のみで設定されるのではなく、大口径、大深度になるほど施工時の荷重も十分に考慮して設計を進めて行くべきである。

この試算では、地盤の変形係数が換算地盤ばねの最大要因となっている。なお、今回の解析モデルでは、真円保持装置、裏込め注入圧、ジャッキ推力等を考慮しておらず、提案の換算地盤ばねを用いても実際には安全側の断面力と考えられる。

6. 設計事例

洪積層の砂質土を通過するRC構造短ボルト継手シールドの条件(内径 $\phi 11,100$ を固定)を用いて、自重時の地盤ばねモデルを変えて覆工厚に対する影響度を試算した。計算結果を表－3に示す。半径方向地盤ばね k (2.0N/cm^3)を考慮することにより、セグメント厚さ h を、400mm程度に縮減可能と想定される結果となった。

表－3 試算結果

自重時の検討モデル	地盤ばね無し	地盤ばね考慮 2リング換算地盤ばね (2リング)	地盤ばね考慮 (20リング)	裏込め注入材 硬化過程考慮 (20リング)
地盤ばね k (N/cm ³)	—	7.1	8.3	8.3～32.2
セグメント幅 b (mm)	1500			
セグメント厚さ h (mm)	440	390	380	360
外側鉄筋	D22×10	D19×10	D19×10	D19×10
内側鉄筋	D29×6 D25×4	D19×10	D19×10	D19×10

7. おわりに

今回の試算結果から想定される $h=400\text{mm}$ では、従来一般に言われている(厚さ/外径)比が3.4%と4%を下回るが、今後、施工時の検討、実セグメントの計測結果などから照査していきたい。