

地山と一次支保工の材料境界面の付着特性が トンネル構造体の安定性に与える影響に関する検討

清水建設株式会社 土木技術本部 正会員 ○福田 毅 安藤 拓
清水建設株式会社 技術研究所 正会員 多田浩幸 熊坂博夫

1. はじめに

山岳トンネルの建設において、当初設計時の安定解析によるトンネルの挙動の予測値と施工時に観測される計測値との間には少なからず“隔たり”があることは、この分野においては周知の事実である。この“隔たり”が生じる要因として、地質条件に係る情報の不足に起因するところが大きいと言われている。著者らは地山の不均質性や吹付けコンクリート材料の品質のばらつき、あるいは地山と一次支保工（吹付けコンクリート）の付着特性による影響にも着目して検討を行っている。本報告では、地山と一次支保工の材料境界面における付着特性が地山の变形や支保部材に生じる応力に及ぼす影響に着目し、この付着特性の影響を解析し評価するための付着モデル（Interface 要素と呼ぶ）の適用性を検討するとともに、これを用いて円形トンネルを想定した場合の付着特性の与える影響について考察したので報告する。

2. 地山と一次支保工の間の付着特性を考慮した既往の検討

検証に用いるモデルは、二軸の初期応力が作用している二次元無限弾性体の地山中の円孔に一次支保工（ライニング）がある場合とした。このモデルに対し、Einstein ら¹⁾は、ライニングを Shell 部材とし地山とライニング間のせん断応力が伝達する場合（no-slip 状態）と伝達しない場合（full-slip 状態）のそれぞれの理論解を求め、せん断応力の伝達の違いによる影響について報告している。また、FLAC3D（有限差分法）のマニュアル²⁾では、このせん断応力の伝達の違いによる影響について、ライニングに付着特性を付加した Shell 要素を用いた解析事例を報告している。

本報告の検討では、前述の報告例と同様に有限差分法を用いるが、一次支保工を一層の Solid 要素とし、地山と支保の間に付着特性を表現する Interface 要素を用いて行う（図-1 参照）。なお、Interface 要素は、法線方向は圧縮のみ応力を伝達し、せん断方向に最大摩擦力以上ですべり（slip）を表現できる点に特徴がある。

本検討の目的である地山と一次支保工の間の付着特性がトンネル構造体の安定性に与える影響を定量的に示すために、まず Interface 要素の適用性を確認する必要がある。そこで、上述した Einstein らにより導かれた理論解と比較することで本検討手法の適用性を確認し、付着特性が与える影響について考察する。

3. 解析条件

本報告で用いたトンネル、一次支保工の仕様、および初期地圧などの解析入力値を表-1 に示す。なお、解析領域の設定においては、トンネル掘削の影響の及ばない点に留意し十分に広い領域を設定した。

表-1 解析物性値

地 山				
トンネル 径[m]	弾性係数 [MPa]	ポアソン比 [-]	初期地圧 [MPa]	側圧係数 [-]
20.0	500.0	0.30	4.4	0.50
一次支保工			Interface 要素	
厚さ [m]	弾性係数 [MPa]	ポアソン比 [-]	法線方向 剛性 Kn [MPa/m]	せん断方向 剛性 Ks [MPa/m]
0.20	4,000	0.20	3.7×10^4	3.7×10^4

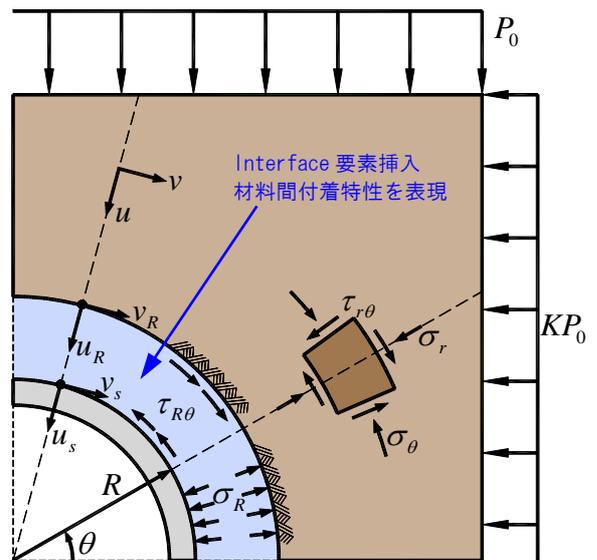


図-1 解析対象のモデル化

キーワード トンネル構造体, 安定性, 付着特性, full-slip, no-slip

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設株式会社 土木技術本部 TEL : 03-3561-3887

4. Interface 要素の適用性と付着特性が及ぼす影響

本解析への Interface 要素の適用性を把握することを目的に、地山と一次支保工の full-slip, no-slip 状態に対して数値解と理論解を比較することで検証した。材料境界面上の接触応力分布を図-2に示す。同様に、一次支保工の変位分布を図-3に示す。両図より数値解と理論解は、良く一致していることがわかる。ただし、周方向変位には若干の差が生じた。この理由としては、トンネル周方向の要素分割寸法の影響、および一次支保工のモデル化の違い(理論解: Shell 部材, 数値解: Solid 要素)による影響と考えられる。

Interface 要素を用いた解析を行う上で、通常要素分割の要領で良いか把握するため、要素分割寸法を変えたモデルで比較検討した。full-slip と no-slip 状態の一次支保工の軸応力分布を図-4に示す。要素分割の疎密を比較すると最大4%程度の差が見られたが、図-2に示すように理論解と良く一致していることを踏まえると、通常要素分割でも Interface 要素を適用できると考えている。

一次支保工に発生する軸応力分布を図-5に示す。図-2に示した半径方向の応力 σ_R は、つり合い時の一次支保工に作用する地圧であるため、図-5は“地圧 σ_R が作用した場合の一次支保工の軸応力分布”に相当する。よって、初期応力や掘削解放率が同じ条件でも、材料境界面の付着特性が異なれば一次支保工に作用する地圧は大きく変化することになる。したがって、材料境界面の付着特性は、トンネル構造体の安定性を考える上で重要な力学的因子であると考えられる。

5. おわりに

本報告では、地山と一次支保工の材料境界面における付着特性を表す Interface 要素の適用性について検討するとともに、付着特性がトンネルの安定性に及ぼす影響や効果について予備的考察を行った。材料境界面の力学特性を考慮することは、掘削時のトンネルの共下がり挙動や押し出し性地山でのトンネル構造体の力学モデルや荷重分担率の検討に活用が期待できる。

今後は実測値との比較も視野に、地山と一次支保工の付着特性について検討を深めたいと考えている。

参考文献

- 1) HH Einstein, etc. : Simplified Analysis for Tunnel Supports, JGED, Vol.105, No.4, pp.499-518, 1979.
- 2) ITASCA : FLAC^{3D} Version5.01, User's manuals.

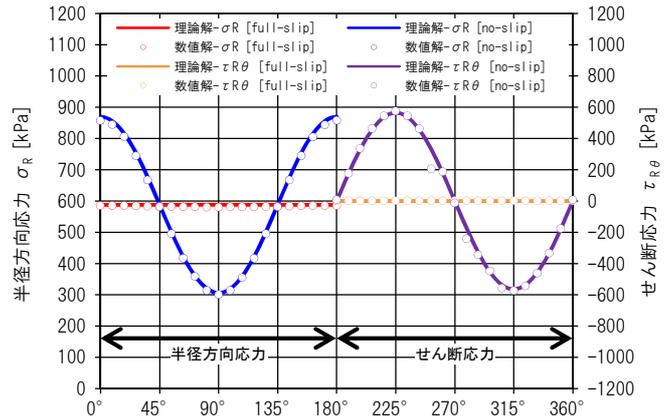


図-2 材料境界面の接触応力の比較

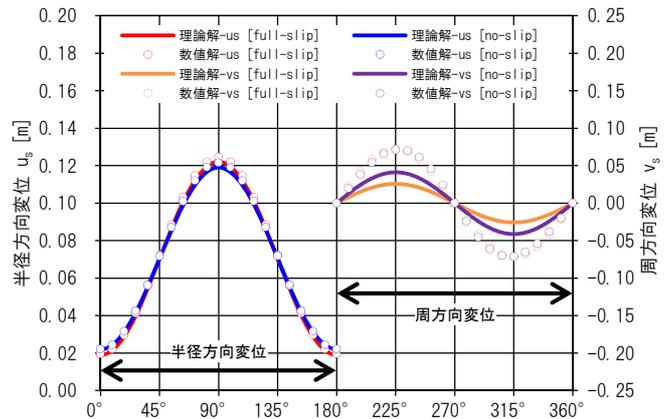


図-3 一次支保工の変位の比較

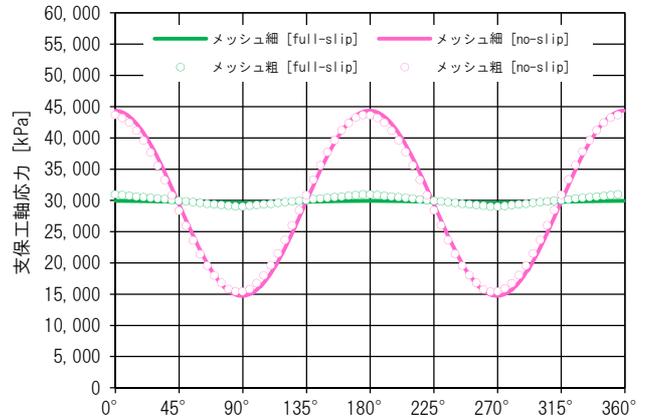


図-4 要素分割程度と解析結果の比較

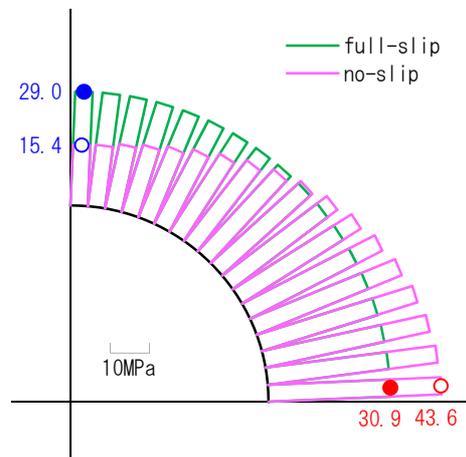


図-5 境界面付着特性と支保工軸応力の関係