

矢板工法による山岳トンネルの挙動に関する解析的検討

東京都立大学大学院 学生会員 ○石井 祥旭
東京都立大学大学院 正会員 砂金 伸治
(国研) 土木研究所 正会員 日下 敦
三井住友建設(元土木研究所) 正会員 小出 孝明

1. 目的

近年、山岳トンネルにおいて盤ぶくれ等の変状の発生が報告されている。これらは NATM、矢板工法のいずれの方法で設計・施工されたトンネルで見られており、対策工として底盤部にインバートの新設・補強等を行うことが多い、この場合は現有の構造の残存耐力を評価したうえで設計するのが望ましく、そのためには、検討にあたっての適切なトンネル構造のモデル化が必要になる。しかし、山岳トンネルのうち矢板工法によって施工されたトンネル(以下矢板工法トンネル)においては構造の複雑さに加え、その施工時の情報が残されていない場合が多く、また、検討にあたってのモデル化に関する知見も乏しく、解析的な検討を加えた実績も限られていることから、その解析手法の確立が求められている。

本報は矢板工法トンネルを取り上げ、数値解析で検討を行う上でのモデル化の一手法として、矢板工法の構造の弱部になり得ると考えられる覆工の水平方向の打継ぎ目の挙動に着目し、解析等で検討を行う上での留意点を明らかにすることを目的として、二次元解析を用いて考察をした結果について述べる。

2. 解析内容

数値解析は非線形二次元 FEM 解析を用いた。解析に用いる断面図を図 1 に示す。モデルとして使用したトンネルは覆工の半径 5.3m、インバートの半径 10.6m である。一般的に矢板工法トンネルは、上半アーチコンクリートを打設した後に側壁コンクリートを打設し、隙間を硬練りのモルタル等の充填材で埋めるという逆巻き工法にて施工を行うことが多く、その境界面が不連続面となることから、トンネル構造上の弱点になりやすいと考えられている。この箇所を数値解析上で再現するため、図 2 のように上半アーチとその充填部の境界にインターフェイス要素を配置することで、上半アーチと側壁を不連続面と仮定して解析を行った。また、外力の設定については、トンネル周辺地山の経年劣化により、地山が塑性化して変形しようとする荷重を外力として評価する地山劣化モデルを仮定し、覆工の変位や変形モードの比較を通じてインターフェイス要素を用いた矢板工法トンネルの挙動に及ぼす影響の把握を試みた。

入力した物性値を表 1 に示す。地山強度および覆工の物性値は文献¹⁾より、充填材の物性値は通常の覆工コンクリートよりも剛性が低いことを想定し、一般に裏込め注入工として使用されるエアモルタルの物性値と仮定した。劣化した地山の強度低下については、粘着力の減少によって表現した。インターフェイス要素の物性値は表 2 を基準とし、そこから打継ぎ処理が適切に行われなかった等の条件によって打継ぎ目がより弱部になることを想定し、表 3 のように解析ケースごとに変化させた。ケース分けにつ



図 1 検討断面図



図 2 検討断面詳細

表 1 入力物性値

	DII地山	劣化地山	覆工	充填部
弾性係数 (MN/m ²)	150	150	22,000	18,000
粘着力 (kN/m ²)	200	50		
内部摩擦角 (°)	30	30		
単位体積重量 (kN/m ³)	20	20	23	12
ポアソン比	0.35	0.35	0.2	0.2

表 2 インターフェイス要素物性値

法線剛性Kn (N/mm ²)	せん断剛性Kt (N/mm ²)	粘着力C (N/mm ²)	内部摩擦角 (°)
1800	12	1	30

キーワード 山岳トンネル, 矢板工法, 水平打継ぎ目, 数値解析, インターフェイス要素

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 Tel 042-677-1111 (代表)

いては、ケース 1 はインターフェイス要素を用いずに打継ぎ目を剛結とみなしたものである。ケース 2 は既往の研究²⁾を参考に、充填部の弾性係数の物性値を考慮して、インターフェイス要素の法線剛性とせん断剛性の物性値を設定したものである。また、ケース 3～5 は、ケース 2 の値を基準にして法線剛性とせん断剛性を変更したものである。粘着力はせん断破壊を考慮し小さい値とした。なお、解析領域は、側方左右に 5D、下方 4D、土被りを 100m (約 10D) 確保した。(D: トンネル掘削幅)

3. 解析結果

合成変位図を図 3 に示す。なお、変位は内空方向の縮小を正とした。ケース 1 とケース 2 を比較すると、通常の試験に基づいた物性によるインターフェイス要素を挿入することで発生する変位は打継ぎ部やインバート部でも非常に小さい値となった。このことから、打継ぎ部が剛結であると仮定した場合と適切な打継ぎ目処理がされているとみなせる場合は、与えた条件下での地山の劣化では変位の差が大きく生じる可能性は少ないと考えられる。一方、ケース 3 ではインターフェイス要素のせん断剛性を低下させたが、その結果、右側の側壁上部においてトンネルの内空方向にわずかではあるが変位が生じたが、インバート部分の変位量はほとんど変化が見られなかった。ケース 4 では法線剛性を低下させたが、トンネル右側の覆工打継ぎ目付近での変位が顕著になったが、上半アーチ部で変位が小さくなり、側壁部の変位やインバート部の変位量が増加する結果が得られた。これは、法線剛性が打継ぎ目に対して縦方向、せん断剛性が横方向に働くばねであることの影響であることが考えられる。すなわち、ケース 4 では、下方からの力を十分に伝達することができず、変位がトンネル下部に集中したと考えられる。また、どちらの値も変化させたケース 5 では両方のばねの影響が組み合わされることとなり、打継ぎ部とインバート部ともに大きな変形が現れた。以上のことから、不連続面の処理が適切に行われなかった等があった場合によって打継ぎ目が弱部になったと想定される場合は、変形量が増大することは確認できた。ただし、粘着力の低下のみに着目した地山の劣化によって変形が一般的に考えられている有害な変位になる現象は、表 1 に示した入力物性値では解析的には確認されず、実際の変状の再現には地山等の物性値に加え、外力の設定に関する検討も必要であることがわかった。

4. まとめ

矢板工法トンネルにおいて、数値解析で検討を行う上でのモデル化に必要となる側壁部における不連続面を、インターフェイス要素を用いることで表現することを試みた検討を行った結果、法線剛性 K_n とせん断剛性 K_t の設定により生じる変形への影響等、モデル化を行うにあたっての留意点が把握できたと考えられる。なお、今回の解析では最大でインバート部で約 1.3 倍、打継ぎ部で約 6.5 倍の変位量の差が生じたが、アーチ部に変形が生じないことや、値としては有意な差が生じたとは言えず、実現象を検討するにあたっては地山条件や外力の作用等の検討も必要になると考えられる。今後は模型実験等を通じた再現解析や実際の点検結果等との比較を行い、矢板工法トンネルの解析におけるモデル化の設定条件を明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路公団 試験研究所 道路研究部トンネル研究室：トンネル数値解析マニュアル 平成 10 年 10 月
- 2) 宮石・砂金・西村・小出・日下：覆工とインバートの打継ぎ目の力学特性に関する要素実験 土木学会年次学術講演会、2019

表 3 解析ケース

ケース	法線剛性 (N/mm ³)	せん断剛性 (N/mm ³)
1		
2	1800	12
3	1800	1.2
4	18	12
5	18	1.2

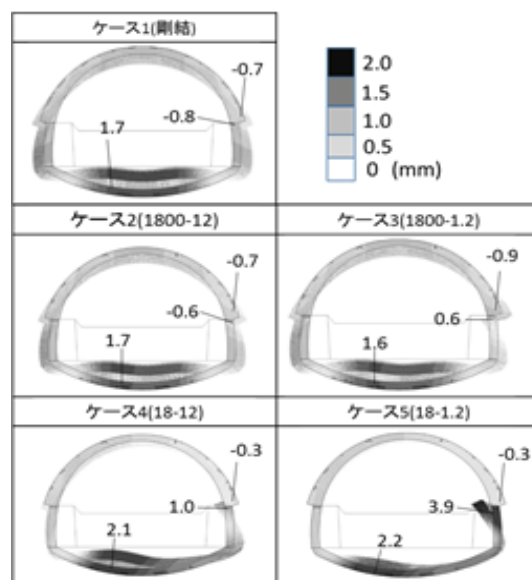


図 3 合成変位ベクトル図