

弾塑性有限差解析による縫返し時のトンネル挙動の評価

鹿島建設(株) 正会員 ○岡崎勇樹 藤原浩一 畝田篤志 田部井和人 宇津野衛

1. はじめに

NATM は比較的薄肉の支保工により地山を補強しながら、地山自身が持つ支保機能を最大限に発揮させてトンネルの安定性を確保する工法である。そのため NATM では、ある程度の地山の変形を許容することとなり、事前に設定した許容値の範囲で変形量を制御するために、地山の状態に応じて支保工を選択しながら掘削を行う。しかし、誤った支保工を選択し、確保すべき内空断面を侵すほどの変形が生じた場合、縫返しが必要となる。縫返しは既に設置した支保工を取り外し、その背面の地山を再掘削した後に新たな支保工を設置する行為であるが、その際に生じる地山の変形は当初掘削時と比べて小さくなることが経験的に知られている¹⁾。

そこで、本報文では、弾塑性有限差解析を用いて、地山強度比が異なるトンネルの縫返し時の挙動を模擬し、それらの結果を「掘削解放力の低下」と「支保工効果」の2点に着目して考察を行ったので、その内容を報告する。

2. 掘削解放力に着目した縫返し挙動の評価

縫返し時の変形量に影響を与える要因の1つに掘削解放力の低下が挙げられる。当初掘削時にトンネル壁面近傍の地山の応力は既に低下しているため、その地山を掘削した際に発生する掘削解放力は当初掘削時に比べて小さくなり、その結果、縫返し時の変形量が当初掘削時と比較して減少すると考えられる(図-1)。

そこで、無支保で円形トンネルを掘削・縫返しすることを想定し、2次元弾塑性 FDM 解析を行なった。なお、本解析では関連流れ則を用いた。

解析モデル図と解析用物性値を図-2 に示す。初期応力は土被り 1000m 相当の 24MPa で等方等圧とし、①当初掘削後の壁面要素応力(縫返し時の掘削解放力に相当)と②縫返し変形比(当初掘削時の変形量と縫返し時の変形量の比)に着目し、地山強度比が異なる3ケースを比較した。解析結果を図-3 に示す。地山を弾性でモデル化したケース1では、壁面要素の半径方向応力が 1.1MPa(初期応力の5%)まで低下し、その結果として、縫返し変形比が 17%と、当初掘削時の変形量と比較して縫返し時の変形量が大きく減少した。一方、地山強度比の違いに着目すると、地山強度比が小さくなるにつれ、壁面要素応力は低下しているのに対し、縫返し変形比は増加する結果となった。これは縫返し時に塑性変形量が増加することに起因する現象であり、このことから、地山強度比が小さく、縫返し時に塑性変形の影響が大きくなる場合には、縫返し時の変形量が増加する可能性があることがわかる。

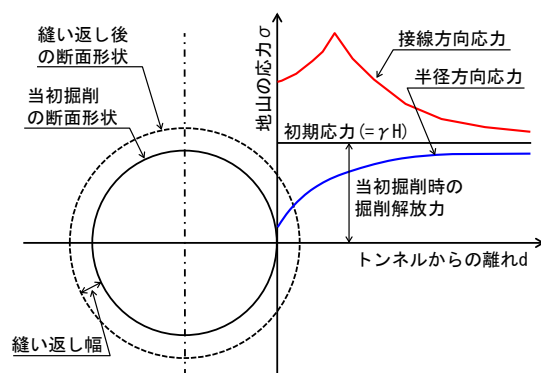


図-1 縫い返し時の地山応力概念

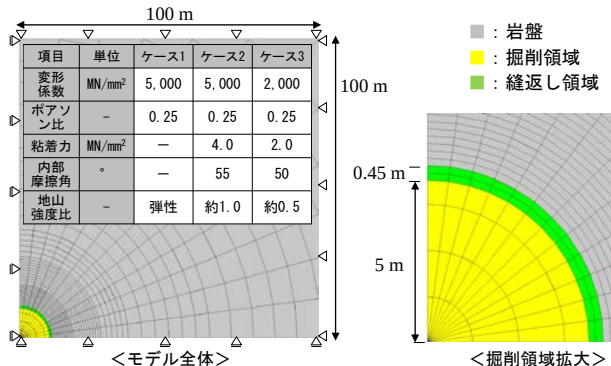


図-2 2次元解析モデル

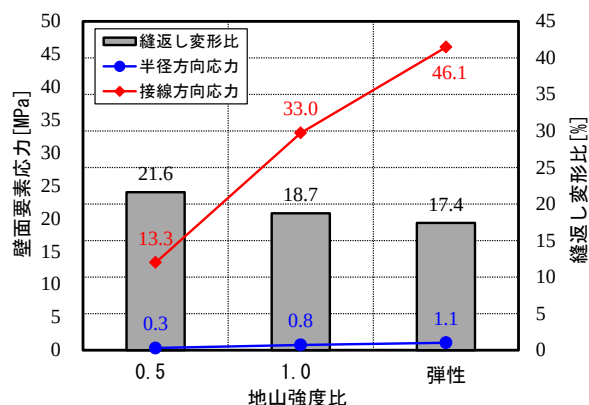


図-3 地山強度比と縫返し挙動

キーワード 縫返し, 数値解析, 弾塑性, NATM

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 Tel : 03-6229-6647

3. 支保工の効果に着目した縫返し挙動の評価

縫返し時の変形量に影響を与えるもう 1 つの要因に支保工の効果が挙げられる。縫返しは、縫い返す対象の支保工と地山が保持していた応力を新たに設置される支保工と地山に再分配する複雑な現象である。通常、2次元解析では掘削解放率の概念を用いて 3 次元的な挙動を擬似的に表現するが、縫返し時の掘削解放率は当初掘削時と異なると予想される。そこで、支保工を考慮して円形トンネルの掘削・縫返しを 3 次元弾塑性 FDM 解析によりシミュレーションした。

トンネルの形状や解析用物性値、初期応力は前述の検討と同様とした。また、解析ステップは図-4 に示す通りとし、①縫返し変形比と②支保工軸力の分担率(当初掘削時の支保工軸力に対する縫返し後の支保工軸力の割合)に着目して、地山強度比が異なる 2 ケースを比較した。解析結果を図-5、図-6 に示す。支保工を考慮した場合の縫返し変形比は地山強度比 1.0 で 23%、0.5 で 40%となり、支保工を考慮しない場合よりも増加する結果となった。これは、縫い返される支保工が保持していた応力を地山が負担し、縫返し後の変形量が増えたことに起因する。次に、支保工軸力の分担率に着目すると、新設支保工の分担割合は地山強度比 1.0 で 21%、0.5 で 37%となり、縫い返される支保工が保持する軸力の大部分を地山が負担する結果となった。このことから、縫返し時には地山の変形量が減少するだけでなく、新たに設置する支保工に作用する軸力も当初掘削時と比較して大幅に減少することが明らかとなった。

4. おわりに

弾塑性有限差分析を用い、地山強度比の違いによる縫返し時のトンネル挙動を比較した。その結果、以下の知見が得られた。

1) 2次元解析から、掘削解放力の減少により縫返し時の変形量は当初掘削時と比べて低下する。しかし、塑性変形の影響が大きくなるにつれ、その低下量は小さくなる。

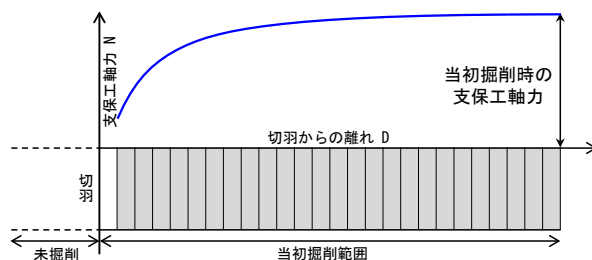
2) 3次元解析の結果より、既設の支保工が保持する軸力の大部分は地山が負担するため、縫返し時に新たに設置する支保工に作用する軸力は当初掘削時と比較して小さくなる(地山強度比 0.5 でも 37%程度となる)。

これらの知見は、多重支保工法や導坑先進掘削工法にも応用できるものであり、特に大土盛りなどの地圧が大きいトンネルにおける変位制御には、これらの工法が活用できる。今後は、計測等も踏まえ、実トンネルを対象に知見を蓄積していきたい。

参考文献

- 1) 北川修三, 三木茂, 進士正人, 呉旭: 縫い返し効果を取った設計施工法(多重支保工法)の提案, トンネル工学研究論文・報告集, 第 12 巻, pp.125-130, 2002 年。

①当初掘削: 1.0m間隔で「掘削」→「支保工の設置」を繰り返す



②縫返し: 1.0m間隔で「掘削・既設支保の撤去」→「新規支保の設置」を繰り返す。

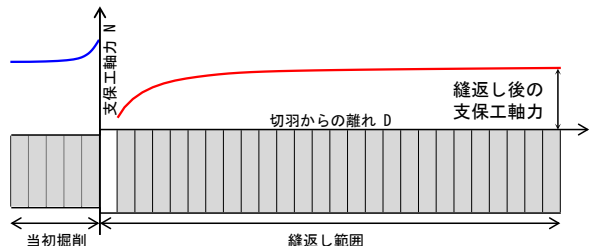


図-4 解析ステップと支保工軸力

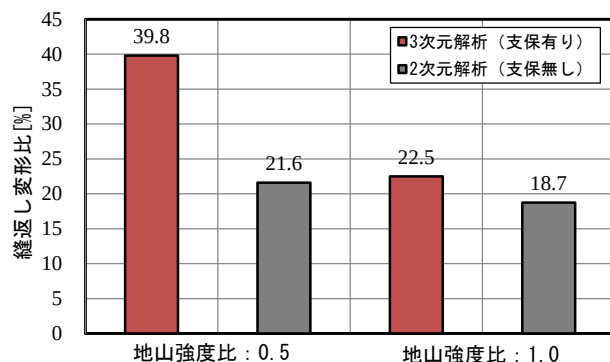


図-5 支保工の有無による縫返し変形比の比較

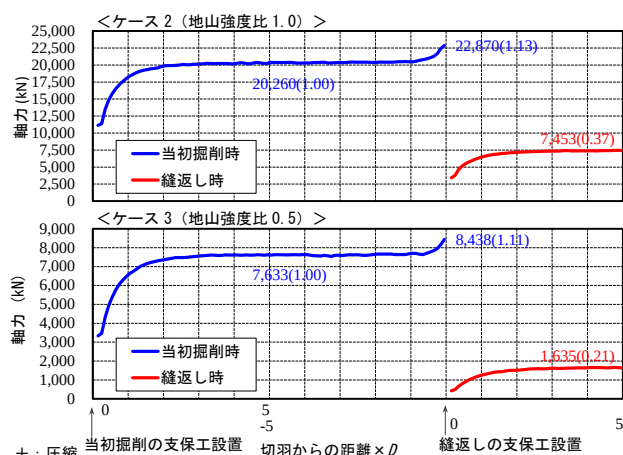


図-6 支保工の軸力分布