

山岳トンネルにおける可縮支保工の設計手法に関する一考察

大成建設株式会社 正会員 ○小原 伸高
 正会員 金子 哲也
 正会員 市田 雄行

1. はじめに

大土被りトンネルのような高地圧条件下におけるトンネル掘削では、ある程度の変形を許容することで地圧や支保工応力を低減させようとする変形制御型支保工という考え方があり、可縮支保工もそのひとつである(図-1)。可縮支保工を適用した場合の最終的な支保工応力は、許容する変形量だけでなく、可縮支保工が変形しながら地山に与える内圧の大きさによって変化する。本稿ではそのメカニズムと、それを考慮した可縮支保工の設計手法について考察する。

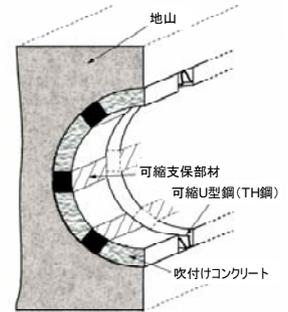
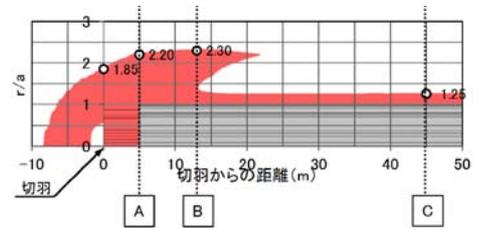


図-1 可縮支保工概念図

2. 支保工の設計における2次元解析と3次元解析結果の相違

トンネルは線状構造物であるので、切羽近傍での地山の応力状態は3次元であるものの、最終的には2次元平面ひずみ状態で近似できると考えられている。従って、一般に平面ひずみ状態を仮定した理論解または数値解析により、地山特性曲線と支保工特性曲線の交点を求めることでトンネル変形量の予測や支保工の設計が行われている。



近年は3次元モデルによる逐次掘削過程を考慮した数値解析が行われるようになってきているが、3次元解析で求めた地山応力と変位の平衡点は、平面ひずみ状態を仮定した地山応答曲線での平衡点とは一致しない場合があることが報告されているが、筆者らは既往の研究で原因について考察してきた¹⁾。

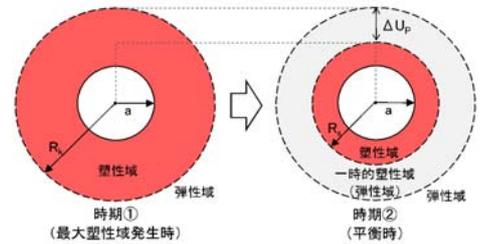


図-2 一時的塑性域概念図

3次元解析結果は、2次元解析結果による地山特性曲線よりも大きな応力レベルで平衡点に達する原因は、切羽近傍の地山が支保工による内圧効果を受ける前に一時的に塑性化することが原因であると考えている(図-2, 図-3)。3次元解析結果の壁面変位量には、切羽近傍にて拘束圧の減少に伴い発生した一時的塑性域内で生じた塑性ひずみによる変位が含まれる。平面ひずみ状態を仮定した2次元解析では、このような現象は考慮されていない。このため、大土被りトンネルのような地山強度比が小さく塑性化しやすい地山条件下では、3次元解析による平衡点が2次元解析と異なる結果となり、実際のトンネル掘削時の挙動も3次元解析に近いものであると考えられる。

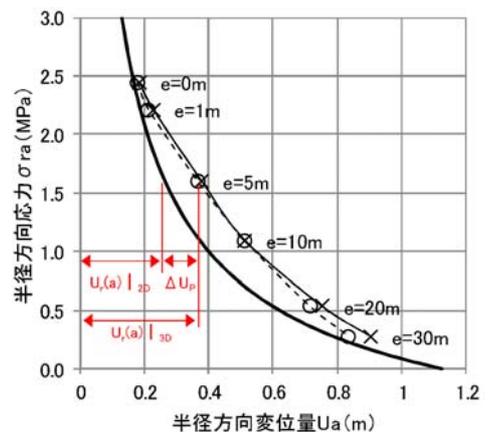


図-3 平衡点の相違

なお、地山特性曲線よりも大きな応力レベルで平衡点に達するという表現をしているが、一時的塑性域による塑性ひずみの分だけ地山特性曲線が右方向にシフトするという表現がより正確であろう。

以上より、地山の変形を許容して地圧や支保工応力の低減を図ろうとする考え方で変形制御型支保工の設計を行う場合は、平面ひずみ状態を仮定した2次元解析では平衡点における支保工応力を過小評価する可能性があることに留意する必要がある。

キーワード 可縮支保工, 数値解析, 地山特性曲線, 支保内圧, 一時的塑性域

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木本部土木設計部 TEL 03-5381-5296

3. 可縮支保工の合理的な設計の考え方

図-4 に示すように地山特性曲線と支保工特性曲線の交点が平衡状態を示すと考えると、可縮機構により大きな変形を許容するほど平衡状態における支保工内圧（支保工応力）が小さくなる。

しかし、2章で述べたように、高地圧条件下で地山強度比が小さいなどにより押し出し性挙動を示す地山では、変形を許すと切羽近傍で地山が塑性化するため、平衡点が地山特性曲線を越える応力状態となる。

降伏強度に達した後に、その応力状態を維持したまま大きなひずみレベルまで変形できるような特性をもつ可縮部材を考えた場合、その降伏強度の大きさによりタイプA、タイプB、タイプCに分類できる。図-5、図-6 は許容する可縮変形量が同じで降伏強度が異なる場合の平衡点を3次元逐次掘削解析により求めた結果である²⁾。

- ・タイプA：地山特性曲線を越える応力状態で平衡点に達することになり、大きく変形させているにも関わらず支保工応力は大きくなる。
- ・タイプB：可縮変形量の途中で釣り合い状態になり、地山特性曲線上で平衡点に達する。
- ・タイプC：降伏強度が大きいので、可縮部材の大きく変形できる特性が発現する前に平衡状態に達するため、支保工応力が大きくなる。

すなわち、可縮支保工のように変形を許容することで地圧や支保工応力を低減させようとする変形制御型の支保工の場合、変形させながら地山に与える内圧を適切に設定することで最終的な支保工応力を最適化できることになり、地山特性に応じた可縮部材の合理的な設計が可能となる。

逆の見方をすれば、変形制御型の支保工設計において、変形させながら地山に適切な内圧を与えるようにしないと、最終的な支保工応力が平面ひずみ状態を仮定した地山特性曲線よりも大きくなることに留意する必要がある。

4. まとめ

- ・大土被りなど地山強度比が小さい地山条件の場合、切羽近傍で地山が一時的に塑性化するために、平衡状態の支保工応力は、平面ひずみ状態を仮定した地山特性曲線よりも大きくなることを3次元解析により示した。
- ・可縮支保工などのように変形を許容することで地圧や支保工応力を低減させようとする場合は、変形させながら一定の支保内圧を与えることで平衡状態の支保工応力を最適化することができることを示した。

参考文献

1) 市田, 金子, 小原: トンネル切羽近傍における一時的な塑性域に着目した地山挙動の考察, 第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.205-210, 2016.1
 2) 小原, 金子, 坂井, 谷, 市田: 山岳トンネルにおける可縮支保工の設計と適用可能性検討, 第45回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.103-108, 2018.1

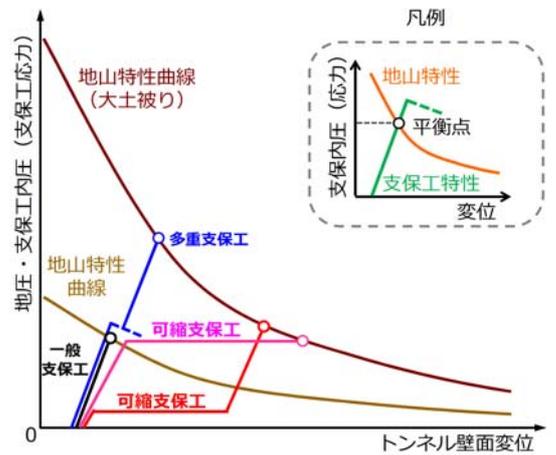


図-4 地山特性曲線と支保工特性曲線

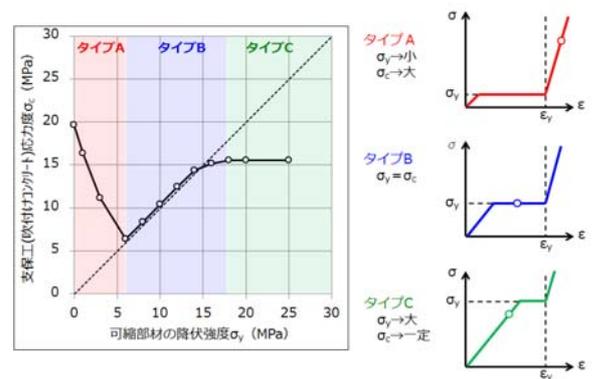


図-5 可縮部材の降伏強度と支保工応力の関係

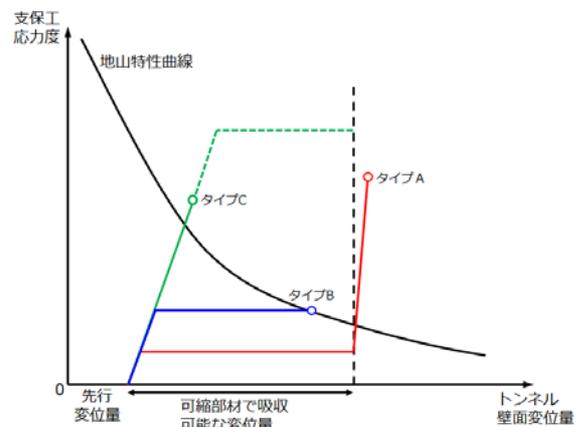


図-6 可縮部材の地山と支保工の平衡点