

# 大土被りトンネルにおける変形制御型支保技術の解析的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○岡田侑子 岩野圭太 小泉 悠 横田泰宏 伊達健介

## 1. はじめに

大土被りトンネルを施工する場合、通常の支保では高地圧に抵抗することができず、その機能を失う恐れがある。その場合、国内では、高剛性の多重支保を適用し、地山の変位を極力抑制しながら地圧に抵抗する設計手法がよく用いられている。一方、海外では、支保に作用する地圧を低減させるためあえて変形を許し、変位を制御しながらトンネル掘削を進める変形制御型支保(図-1、図-2)が導入されている<sup>1, 2)</sup>。

国内でも今後の大土被り地山で予想以上の大変形が生じた場合の対策を検討しておく必要がある。そこで、筆者らは2次元FEMを用いて変形制御型支保をモデル化し、地山条件に対する適用性を考察したので報告する。

## 2. 変形制御型支保の構成

海外で適用されている変形制御型支保は、例えば、変形許容部がスライドすることで変形に追従する鋼製支保工と、優先的に変形する特性を持った吹付けスリットを挟んだ吹付けコンクリートで構成されている(図-3)。鋼製支保工がスライドし、吹付けスリットが優先的に圧潰することで変形に追従し、その後、通常の鋼製支保工や吹付けが支保機能を発揮する。鉱山では、鋼材が伸びることで変形に追従するロックボルトも適用されている。

## 3. 変形制御型支保のモデル化

変形制御型支保の解析モデルは、任意のスライド長を備えた変形制御型支保(部材A)と、スライド時の抵抗を模擬する部材(部材B)の2つで構成した(図-4)。部材Aがスライドしている間は部材Bが機能し、部材Aのスライド長が任意の値に達した時点から部材Aに応力が発生し始める。それと同時に部材Bはモデル中から取り払われ、部材Aのみで応力を負担する。比較のために二重支保もモデル化し解析を行った。

## 4. 解析条件

解析条件を表-1に示す。No.①~⑱についてそれぞれ3ケースの土被り(H=500m・800m・1,000m)で解析を行った。トンネルは、直径10mの円形トンネルで、応力を解放することでトンネル掘削に伴う周辺地山の挙動を

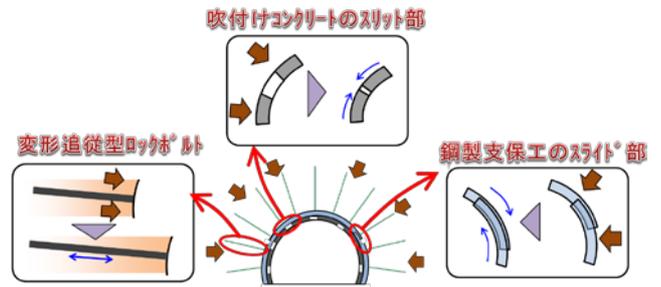


図-1 変形制御型支保の構造

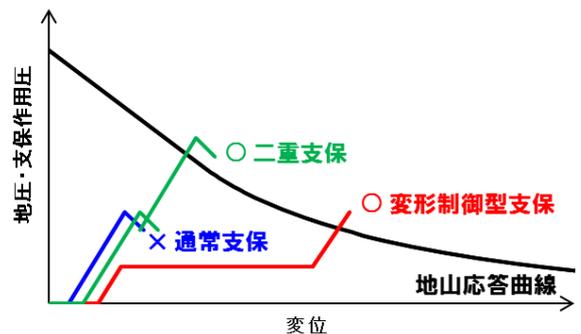


図-2 地山応答曲線・支保応答曲線



図-3 海外の変形制御型支保

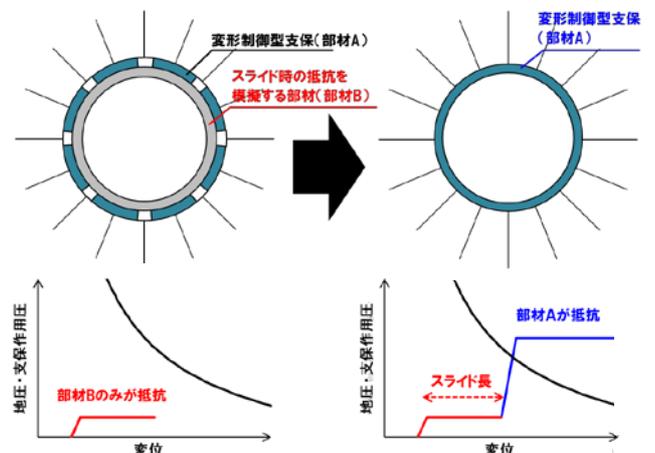


図-4 変形制御型支保のモデル概要

キーワード 山岳トンネル, 大土被り, 大変形, 変形制御型支保, 二重支保, FEM 解析

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6596

模擬した。ある断面の応力解放率を考える場合、切羽到達時の変位量と最終変位量の比をもってその時点での応力解放率とした。変形制御型支保は切羽で建て込むこととし、二重支保の一次支保は切羽で建て込み、二次支保は0.5D後方で建て込むこととした。

5. 解析結果

支保の応力照査は、鋼製支保工の圧縮応力  $\sigma_s$  が降伏応力を上回った場合、吹付けコンクリートが過剰分を負担するものとして考えた。図-5に吹付けコンクリートの圧縮応力と天端沈下量を示す。また、吹付けコンクリートの圧縮応力  $\sigma_c$  の安全率から支保の健全性を表-2に整理した。

CII地山では土被り1,000mの場合でも二重支保で対応することができるが、変形制御型支保にすることで変位は1.5倍程度増加する反面支保の合理化が図れることが分かった。DI地山では、土被り800m以上の場合、二重支保では抵抗することができなかった。一方、変形制御型支保では、No.18の支保条件で土被り1,000mまで対応できることが分かった。ただし、天端沈下量が430mm発生しており、これでは地山が緩み過ぎてしまう懸念がある。また、変形制御型支保のスライド長が地山の変形に対して大きすぎると、スライド部が閉塞しきらず地山を必要以上に緩ませてしまう可能性がある。

6. まとめ

大土被りの地山条件で変形制御型支保の解析的検討を行った。その結果、地山条件に応じて地山の変形を適切に制御することで、支保の合理化や大変形区間への対応が図れる可能性が示唆された。今後は、3次元FEMで詳細な検討を進めるとともに、引き続き変形制御型支保の適用性を探っていく所存である。

参考文献

- 1) K.Kovári : DESIGN METHODS WITH YIELDING SUPPORT IN SQUEEZING AND SWELLING ROCKS, World Tunnel Congress 2009, 2009.
- 2) 岩野圭太ほか：変形制御型ロックボルトの引抜メカニズムに関する検討，土木学会第71回年次学術講演会講演概要集，2016.9.

表-1 解析条件

CII地山	No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
	支保の種類	二重支保			変形制御型支保						
鋼製支保工	H125-H125	H200-H125	H200-H200	H125			H150				
吹付けコンクリート(cm)	15-15	25-20	25-25	15			20				
スライド長(mm)	-	-	-	400	600	800	400	600	800		
ロックボルト(m)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
DI地山	No.	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	
	支保の種類	二重支保			変形制御型支保						
	支保規格	H125-H125	H200-H125	H200-H200	H150			H200			
	吹付けコンクリート(cm)	15-15	25-20	25-25	20			25			
	スライド長(mm)	-	-	-	800	1000	1800	800	1000	1800	
ロックボルト(m)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

※□-□は、「1次支保」-「2次支保」を示す。

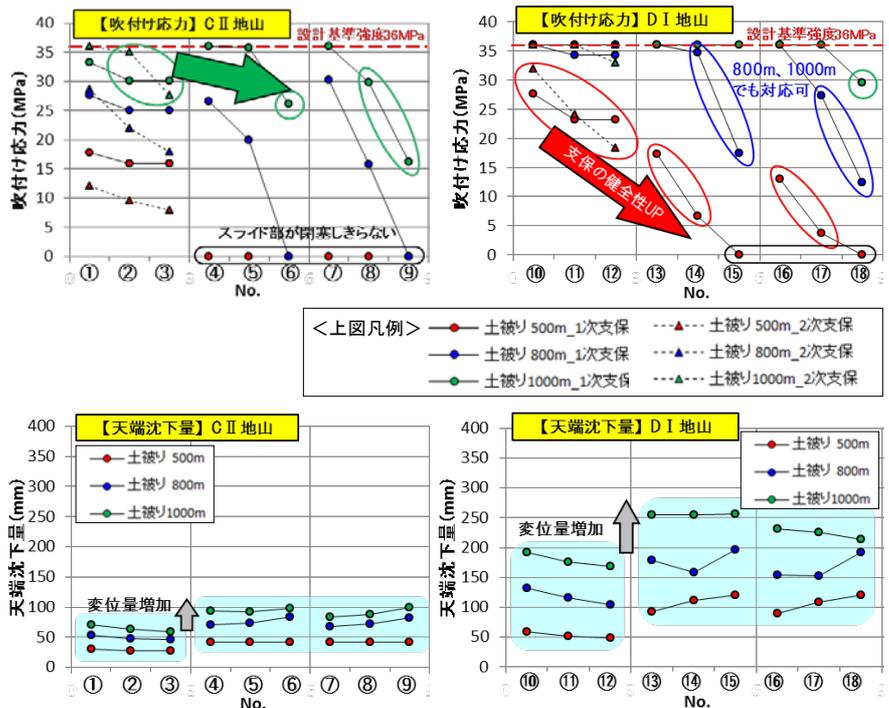


図-5 各解析条件における吹付けコンクリート応力と天端沈下量

表-2 支保の健全性

土被り	No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
500m	<凡例>	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-
800m	安全率SF= $\sigma_c/36$	○	○	○	○	○	-	○	○	-
1,000m	◎: SF $\geq 1.5$	×	○	○	×	○	○	×	○	◎
	○: 1.5 > SF $\geq 1.0$	◎	◎	◎	◎	◎	-	◎	◎	-
	×: 1.0 > SF	○	○	○	◎	◎	-	◎	◎	-
土被り	-: スライド部が閉塞しきらない	×	×	×	×	○	◎	×	○	◎
500m		×	×	×	×	×	×	×	×	○
800m		×	×	×	×	×	×	×	×	○
1,000m		×	×	×	×	×	×	×	×	○