

長尺鏡ボルトによる地山補強効果の検討

京都大学 学生会員 ○前田 龍一
 京都大学 正会員 朝倉 俊弘
 京都大学 正会員 西藤 潤

1. 研究の背景と目的

近年不安定な地山に対する工事が増えておりそれにしがたい切羽崩壊などの事故もまれに発生する。その対策として山岳トンネルの比較的新しい補助工法である長尺鏡ボルトは、事前の地山補強や鏡面の安定対策として採用され、その実績は大幅に増加している。しかしながら、鏡ボルトによる地山補強効果については不明瞭な点も多く、その設計も既往の事例にならった経験的な手法にとどまっているのが現状である。よって、本研究により土被りの浅い土砂地山と、膨圧が発生する泥岩地山を想定して長尺鏡ボルトの作用効果の差異について考察し、合理的な設計手法の確立に寄与することを目的として三次元有限差分法による解析的により検討を行う。

2. 解析モデルと解析ケース

地山の物性値は地山強度比がどちらの地山もほぼ1になるよう施工事例にもとづき設定した(表1、表2、表3)。

地山強度比をほぼ1になるように設定したのは地山の切羽前方に塑性領域が発生し不安定化現象が生じる地山を再現するためである。

解析モデル(図1)は解析範囲を15m×60m×30m 境界条件は上面については、土砂地山の場合は自由境界、泥岩地山の場合は土被りに相当する応力境界条件とし、そのほかの側面および底面はいずれもローラ支持とする。地山はMohr-Coulombの降伏基準に従う弾塑性体モデルとした。鏡ボルトはケーブル要素を用いてモデル化した。ケーブル要素はせん段ばねとスライダにより地山との結合と滑りを表現できるモデルであり、ボルト材料はいくつかに分割された質点を軸ばねで連結している。ボルトに作用するせん断力は地山とケーブル要素との相対変位から一定勾配で増加し、せん断力が付着強度に達するとスライダにより滑りが表現される仕組みになっている。

掘削は要素を除去することにより再現した。施工順序は、グラスファイバー製のボルト(ラップ長=2m)を打ち込んだ後に1mずつ掘削を行い掘削部分の1m手前までに吹付けコンクリートを施工する。鏡ボルトがラップ長さに達すると新たに鏡ボルトを打ち込み、これらを繰り返して行いトンネル長が30mになるまで行う。

解析ケースは鏡ボルトを施工しない場合、12本、6本施工する場合のそれぞれを2種類の地山で鏡ボルトの長さをL=12m,6mと変えて、計10ケース(表4)行った。

表1 地山解析用入力物性値

	単位	土砂	泥岩
土被り	m	10.8	94
単位体積重量	kN/m ³	20	20
弾性係数	MPa	60	300
ポアソン比	—	0.35	0.3
粘着力	MPa	0.09	0.8
内部摩擦角	°	30	10

表2 長尺鏡ボルトの解析用物性値

	単位	土砂	泥岩
断面積	m ²	1.71×10^{-3}	
弾性係数	GPa	38	
ポアソン比	—	0.3	
せん断剛性	MN/m ²	77	8800
付着強度	kN/m ²	100	210

表3 吹付けコンクリートの解析用物性値

	単位	入力値
弾性係数	GPa	3.4
ポアソン比	—	0.2
単位体積重量	kN/m ³	23

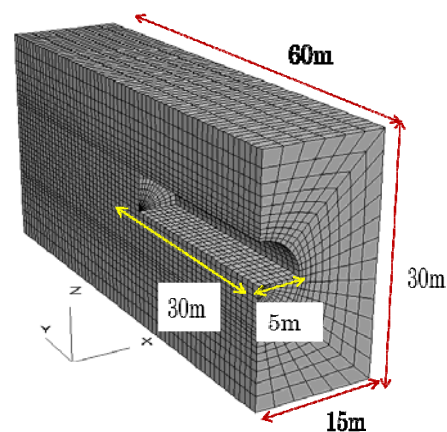


図1 解析モデル図

キーワード 長尺鏡ボルト 地山補強効果 三次元掘削解析

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C-1 Rm. 357 E-mail : maeda@cain.kumst.kyoto-u.ac.jp

3. 解析結果と考察

掘削が 30m まで到達した時点で、土被りの浅い土砂地山と土被りの深い泥岩のトンネル鉛直における地山での切羽中央部の切羽押し出し量を比較した(図2 図3)。また表5では切羽全体での最大押し出し量をまとめた。土砂地山、泥岩地山のどちらのケースでも長尺鏡ボルトを施工することにより押し出し量の低減が確認された。

土砂地山の場合、図1から本数による押し出し量の抑制効果が大きく、本数の影響が少ない。これは、土砂地山ではボルトの付着力が低く、ボルトに滑りが生じると一定以上の軸力が発揮できなくなるためと考えられる。よって本数を増やすことの効果が長さを増すことによる効果より卓越するものと考えられる。

泥岩地山の場合、顕著な違いは見られなかったが、本数による効果より、長さによる効果が大きいと考えられる。土被りの大きい泥岩地山では前方に広い塑性領域が発生する。塑性領域内に鏡ボルトがすべて留まってしまうと、十分なアンカー効果が発揮できなくなる。よって塑性領域を超えるよう鏡ボルトを打設するのが望ましく、そのためには長い鏡ボルトを用いることか、十分なラップ長を確保することが有効である。

表4 最大押し出し量比較

	土砂地山の解析					泥岩地山の解析				
ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ボルト本数	0	8	8	12	12	0	8	8	12	12
ボルト長	—	6m	12m	6m	12m	—	6m	12m	6m	12m
最大押し出し量	23.2cm	12.1cm	8.6cm	11.2cm	7.2cm	72.2cm	52.3cm	41.9cm	50.2cm	40.2cm

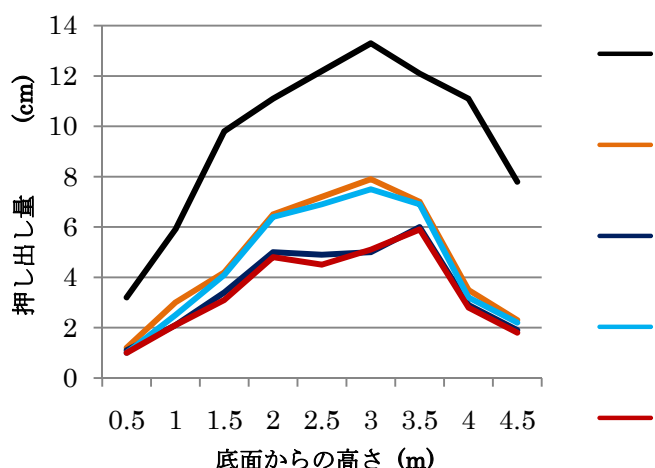


図2 土砂地山での切羽変位

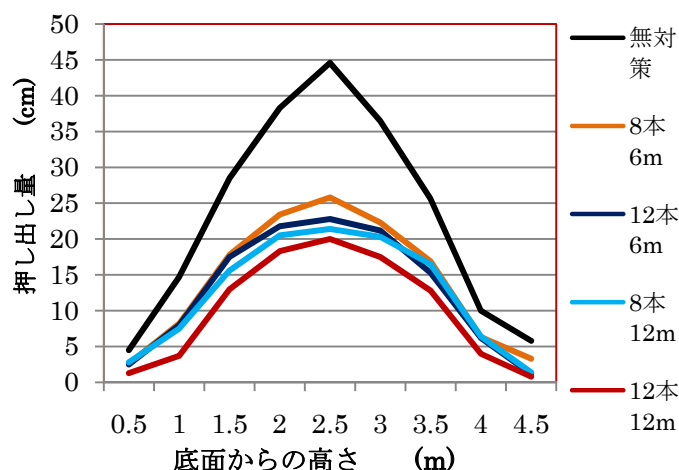


図3 泥岩地山での切羽変位

(参考文献)

- 1)「切羽の不安定化現象の分類と対策に関する考察」、竹林亜夫、山本和義、泉谷康志、上岡真也、トンネル工学論文、報告集・第9巻、土木学会 1999 年 11 月論文(1)
- 2)「地山とボルトの付着特性に着目した長尺鏡止ボルトによる地山補強効果の評価」、大塚勇、青木智幸、大町達夫、伊藤洋、土木学会論文集C Vol.62 No.1 2006 年 3 月 pp,110-126
- 3)切羽補強工技術資料、切羽補強研究会、2009 年 4 月
- 4)「長尺鏡ボルト工の適切配置に関する解析的評価」西崎晶士、宮本健太郎、羽場徹、岡部正、トンネル工学報告集第 14 巻 2004 年 11 月報告集(5) pp.31-36