

トンネルの変形抑制効果を期待したロックボルトの合理的な長さに関する検討

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○玉井達毅, 外山真
正会員 嶋本敬介, 鎌田和孝, 板谷創平

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、掘削時の支保部材としてロックボルト（以下 RB）が通常用いられる。一般的に、RB 長を緩み領域よりも外側に定着させる長尺の RB を施工することで、より有効に作用させることができるとされていたが、緩み領域内の RB がどの程度の効果を発揮できるかといった問題は、十分には整理検討されてこなかったのが現状である。一方、インパルト形状ならびに構造の違いが盤ぶくれに与える影響を検討した模型実験では、トンネル断面（D≒10m を模擬）に対し比較的短い RB（L=3m を模擬）でも変位抑制効果が確認できた。そこで、本検討では、膨張モルタルを用いた簡易な実験とその再現解析により、緩み領域内に定着した RB の変位抑制効果について検討した。

2. 簡易実験の手法

実験の概要図を図-1 に示す。RB の長さをパラメータとした Case1～Case3 を同時に、22℃に調整された室内で実験した。手順は以下の①～④の通りである。

①鋼製モールド（φ10cm×20cm）、鋼製上蓋（φ9cm, h=1cm）を各 3 個と RB を模擬するアルミ板を用意する。RB を模擬するアルミ板は、幅 10mm、厚さ 0.8mm のものを 2 枚用意し、内 1 枚の内面にひずみゲージを貼付け、2 枚をエポキシ樹脂系接着剤（クイックメンダー）で接着する。外面には、付着力確保のため、接着剤を塗った上でケイ砂 6 号を落下付着する。

②モールドに低強度モルタル（強度 0.5N/mm²程度）を h=3cm 打設する。この時、ケース 3 ではアルミ板を地山モルタルに 3cm 定着させて固定する。

③低強度モルタル 7 日間養生後、膨張モルタルをモールド内に満たし（h=7cm）、ケースのアルミ板をセットする。ここで、低強度モルタルおよび膨張モルタルの配合は、文献 1) と同じとした。

④膨張モルタル打設からおよそ 8 時間後、膨張モルタルの表面がある程度固まってきた段階で膨張モルタル上面に上蓋を載せる。上蓋中央には孔を空け、そこから RB の頭部を出し、クイックメンダーで充填することで RB とともに固定する。これにより座金ありの RB を表現した。

⑤各種計測を開始する。この時点での膨張モルタルの硬さは羊糞程度であり、上蓋は沈まないが熱伝対は容易に刺すことができた。なお、膨張は計測開始から 2 時間程度（膨張モルタル打設から 10 時間程度）で始まった。

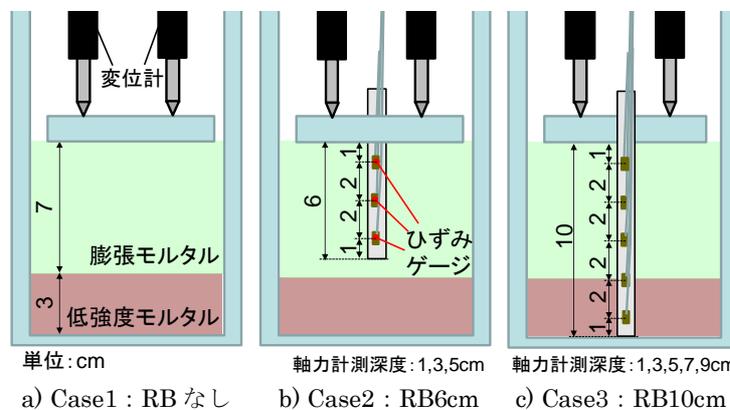


図-1 実験ケース

3. 実験結果

(1) 変位

図-2 に各ケースの隆起変位量の推移を示す。各ケース 2 本の変位計の計測結果の平均値を示しており、RB 有無により、変位が 4 割程度抑制されている。また、Case2(RB6cm)では RB 長が短く、定着部が膨張モルタル内にあるにも関わらず、Case3 と同程度の変位量となった。

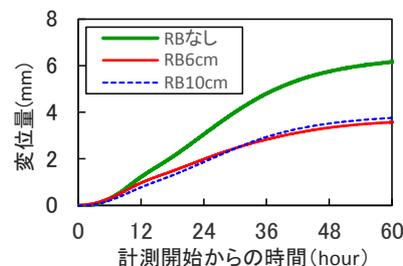


図-2 隆起変位量の経時変化

キーワード 山岳トンネル, ロックボルト

連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 (横浜アイランドタワー27F)

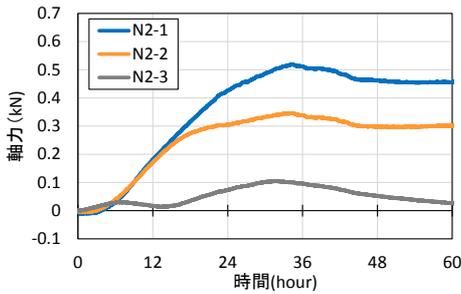


図-3 RB 軸力 Case2 (RB6cm)

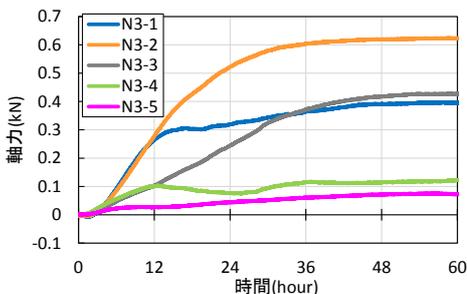


図-4 RB 軸力 Case3 (RB10cm)

(2) 軸力

図-3 および図-4 に Case2 (RB6cm) と Case3 (RB10cm) の RB 発生軸力の経時変化を示す。

Case2 では、測点 1~3 において深度の浅い方から順に軸力が大きくなっており、実験開始後 35 時間で最大となった。一方、Case3 は、膨張領域の中央部付近の測点 2 (3cm) で最大軸力を示し、実験開始 40 時間程度でほぼ最大となった。

Case2 と Case3 での実験終了時の軸力分布を図-5 に示す。両者は深度 1cm の浅い位置で大差ない結果となっており、RB から上蓋に伝達する下向きの力としては大差なく、結果として変位量に差が生じなかったと考えられる。

4. 再現解析結果

実験の再現解析には有限差分コード FLAC^{3D} を用いた。解析モデル図を図-6 に、入力物性値を表-2 に示す。解析は、図-6 の膨張モルタルの要素に 4MPa の応力を σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} の全方向について与え、RB ありの Case2 と 3 では RB をモデル化し、その後上蓋の変位を自由にするこ

とで行った。すなわち、4MPa 分の応力開放により、膨張を模擬している。また、上蓋と RB は相対変位が発生しないようモデル化している。上蓋の隆起量を表-3 に、RB の軸力を図-7 に示す。軸力は実験よりもかなり大きい結果となっているにも関わらず、RB による変位抑制効果は実験よりかなり小さい結果となった。RB は Cable 要素の節点とモルタルを表現する Solid 要素節点の相対変位に応じた荷重を近隣節点に分配することでモデル化されているが、RB には多様な効果があり、解析ではそれらを十分に表現できていないものと考えられる。

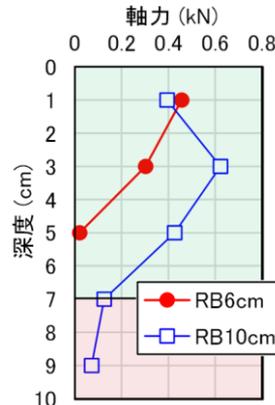


図-5 RB 軸力 (実験終了時)

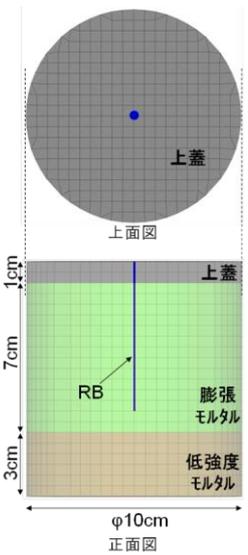


図-6 解析モデル図 (RB6cm)

表-2 解析入力物性値

	項目	値
低強度モルタル	弾性係数 E (MPa)	40
	ポアソン比 ν	0.24
膨張モルタル	弾性係数 E (GPa)	70
	単位長さ当たりのせん断ばね剛性 k_g (MN/m ²)	5000
RB (Cable 要素でモデル化)	単位長さ当たりの付着強度 c_g (kN/m)	16
	摩擦角 ϕ_g (°)	45

表-3 解析結果 (上蓋隆起量)

ケース	隆起量(mm)
Case1 RB なし	5.94
Case2 RB6cm	5.61
Case3 RB10cm	5.51

5. まとめ

膨張モルタルを用いた簡易実験およびその再現解析により、RB の有無や長さが変位抑制効果に与える影響について検討した。

実験では、①ロックボルトの有無により変位が 4 割程度抑制されること、②RB が短い場合でも変位抑制効果が十分得られることがわかった。一方、解析では、③RB の効果が実験よりも小さいことが確認できた。

今後は、数値解析における RB の適切なモデル化等について検討を深度化したいと考えている。

参考文献

- 1) 嶋本他：地山の吸水膨張による山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究，土木学会論文集 F1 特集号，Vol.68，No.3，pp.65-79，2012。

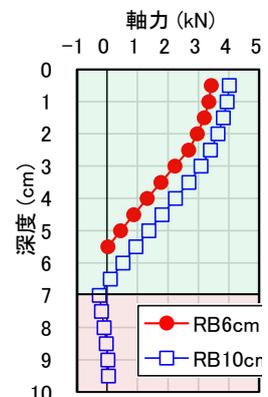


図-7 RB 軸力 (解析結果)