

## 膨張性地山におけるロックボルトの支保効果に関する基礎的研究

首都大学東京大学院 学生会員 ○後藤 優斗  
首都大学東京大学院 正会員 土門 剛  
首都大学東京大学院 正会員 西村 和夫

## 1. 研究背景・目的

山岳工法では、トンネル支保工のひとつとしてロックボルト（以下、ボルト）が使用される。特に低強度地山におけるボルトの効果は、地山変位とボルト変位との変位差によって生じたボルト軸力が、ベアリングプレートを通じてトンネル壁面に支保内圧を与える効果が卓越するものと考えられる。この認識のもとに、土門らは低強度地山におけるボルトの力学モデル（以下、提案モデル）を構築している。提案モデルでは、ベアリングプレートが機能していれば、低強度地山であっても比較的短いボルトによる変位抑制効果が高いことを実証している。

本研究では、トンネル施工中の縫い返しを必要とするような膨張性地山を対象に、ベアリングプレートが機能していれば比較的短いボルトでも変位抑制効果を発揮することを実証し、その効果を提案モデルで表現できるかを検証することを主たる目的とする。本報告ではまず、簡易な実験によるボルトの変位抑制効果について論じる。

## 2. 実験概要

本実験は玉井ら<sup>1)</sup>の実験方法を参考にした。実験概要を図 1 に示す。ボルトの有無とベアリングプレート  
の大きさによる変位抑制効果を検証するため、実験ケースを同図のように 3 つ設定した。実験で用いた材料・  
モデルおよび方法を以下に示す。

## 2.1 実験材料・モデル

ボルトモデルは、底辺 5mm の直角二等辺三角形断面で長さ 140mm のアクリル棒を 2 つ用意し、斜辺側面に千鳥配置でひずみゲージを貼り付けたあと側面どうしをエポキシ樹脂系接着剤で接着する。また、付着力確保のため、ボルト周囲に豊浦砂を塗布する。ベアリングプレートは、厚さ 10mm の円形鋼製上蓋（以下、上蓋）で模擬し、ケース 2 は  $\Phi 90\text{mm}$ 、ケース 3 は  $\Phi 50\text{mm}$  とする。

膨張性地山は膨張モルタルで模擬する．膨張モルタルは，表 1 に示す配合のモルタルと，モルタルとの重量比約 20%の静的破砕材（太平洋ブライスター150）とを混ぜたものである．

## 2.2 実験方法

膨張モルタルを鋼製モールド( $\Phi 100\text{mm}$ ,  $h=200\text{mm}$ )の底面から  $150\text{mm}$  の高さまで打設する。膨張モルタル打設から約 14 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、ボルトモデルと上蓋を載せる。なお、ボルトモデルは上蓋の中央の  $\Phi 10\text{mm}$  の孔に通し、所定の位置でエポキシ樹脂系接着剤で固定しておく。上蓋を載せた直後からボルトモデルに生じる軸力及び上蓋の変位の計測を開始する。

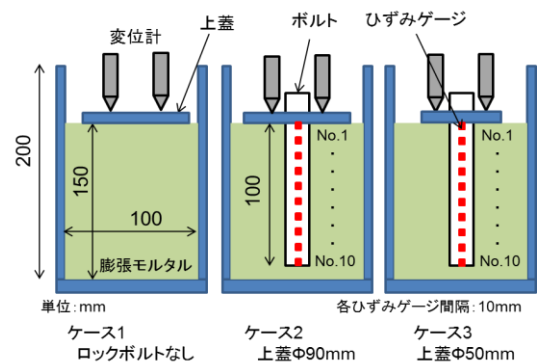


図 1 実験概要

表1 モルタル計画配合

|        |      |
|--------|------|
| 水      | 600  |
| セメント   | 171  |
| 標準砂    | 790  |
| 石灰石微粉末 | 76   |
| 減水剤    | 17.1 |
| 増粘剤    | 7.7  |

單位量(kg/m<sup>3</sup>)

キーワード ロックボルト, ベアリングプレート, 膨張性地山

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域

### 3. 実験結果

#### 3.1 変位量

材料の膨張は計測開始から約 6 時間後に確認された。

図 3 に各ケースの変位の時間推移を示す。変位量は 2 つの変位計測結果の平均値を示している。ボルトなしのケースは計測開始から 60 時間を超えても漸増しているが、ボルトを設置したケースは 40 時間経つとほぼ変位量が収束している。また、ボルトなしの場合の変位量は 4mm を超えるが、ボルトを設置した場合の変位量は約 7 割減の 1mm 程度に抑制されている。また、上蓋の大小による変位量およびその推移はほとんど差がない。

#### 3.2 軸力

図 4 および図 5 はそれぞれケース 2 とケース 3 のボルトに生じる軸力の時間推移を示す。なお、No.1 は上蓋に最も近い測点で No.10 は最もボルトの先端にある測点である。図 4 より、ケース 2 では上蓋に近いほど軸力が大きくなり、ボルト先端に向かうにしたがい軸力が低くなっている。一方、ケース 3 では、No.3 の測点で最も軸力が大きくなっている。その他はケース 2 と同様、ボルト先端に向かうにしたがい軸力が低くなっている。両ケースに共通するのは、計測開始から約 72 時間後の軸力において、ボルト先端に近いほど軸力が早く収束していること、上蓋に近いほど軸力が漸増していることである。

両ケース 72 時間後の No.1 軸力を上蓋の面積で除した支保圧力を表 2 に示す。ケース 3 はケース 2 より 3 倍弱支保圧力が大きい、変位量は両ケースほぼ等しい (図 3 より)。この原因を見出すため、計測開始から 72 時間後のボルト軸力分布を図 6 に示す。同図より軸力分布に違いが見られることから、最大軸力発生位置が変位抑制効果メカニズムに何らかの影響を及ぼしていると考えられる。

### 4. 結論

実験結果より、変位量はボルトが無い場合に比べて 7 割程度抑制されること、また、上蓋の大小による変位抑制効果の差はないことが明らかとなった。今後は実験ケースを増やし、ボルト長・ベアリングプレートの大小が変位抑制効果に及ぼすメカニズムを解明したい。また今回の実験では膨張量が少なく、模擬地山の大きさに対してボルトが長いといったことが考えられるので、実験装置や地山材料の工夫、改善を行っていきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 土門ら：ロックボルトによる支保内圧効果を考慮した低強度地山トンネルの簡便モデル，土木学会論文集 No.722/Ⅲ-61，149-167，pp.50-51，2002.12.
- 2) 玉井ら：トンネル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，土木学会第 72 回年次学術講演会，Ⅲ-372，2017.9.

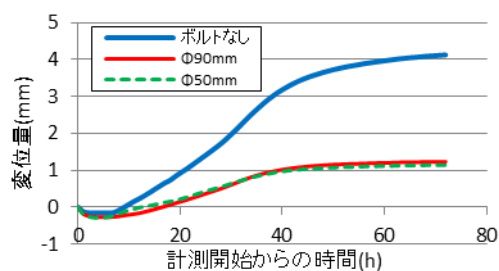


図 3 変位の時間推移

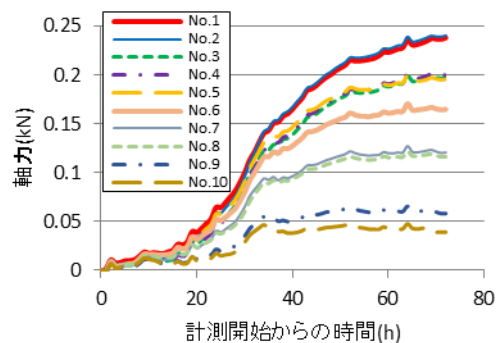


図 4 ケース 2 における軸力の時間推移

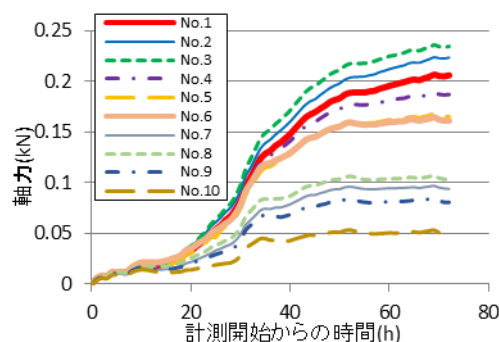


図 5 ケース 3 における軸力の時間推移

表 2 計測開始 72 時間後の支保圧力

|                          | ケース 2 | ケース 3 |
|--------------------------|-------|-------|
| 上蓋面積 (m <sup>2</sup> )   | 0.006 | 0.002 |
| No.1 軸力 (kN)             | 0.238 | 0.206 |
| 支保圧力(kN/m <sup>2</sup> ) | 37.9  | 109.2 |

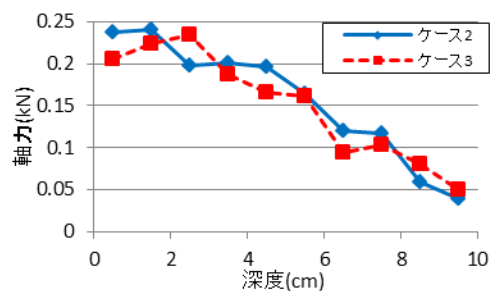


図 6 計測開始 72 時間後のボルト軸力分布