

未固結地山における先受け工と鏡ボルト工の併用効果について

鉄道総研 正会員 岡野法之

鉄道・運輸機構 正会員 高橋源太郎, 三浦聡史

フジタ 正会員 ○吉川和行, 徳永高志

1. はじめに

未固結地山中に山岳工法にてトンネルを施工する場合、切羽鏡面の安定を目的とした補助工法として、鏡ボルト、先受け工等を組合せて用いることが多く、これら補助工法を併用した場合の効果の検証には、現場計測によることが多い。その際、鏡ボルト工や先受け工が単独で採用されることは少ないため併用の場合と単独の場合とでの効果の検証がなされた事例は少ない。そこで、未固結地山を想定した模型実験から、補助工法のうち先受け工、鏡ボルト工およびそれらを併用した場合の作用効果について検討したので、その結果を報告する。

2. 実験概要

未固結地山における先受け工と鏡ボルト工の作用効果と切羽前方地山の挙動を把握するために土槽実験を行った。実験土槽を図-1に示す。実験土槽中央下部には、トンネル上半掘削を想定して直径 $D=500\text{mm}$ 、高さ $H=250\text{mm}$ 、長さ $\ell=340\text{mm}$ の半円筒形のトンネル模型が設置してあり、この先端部にはトンネル模型より

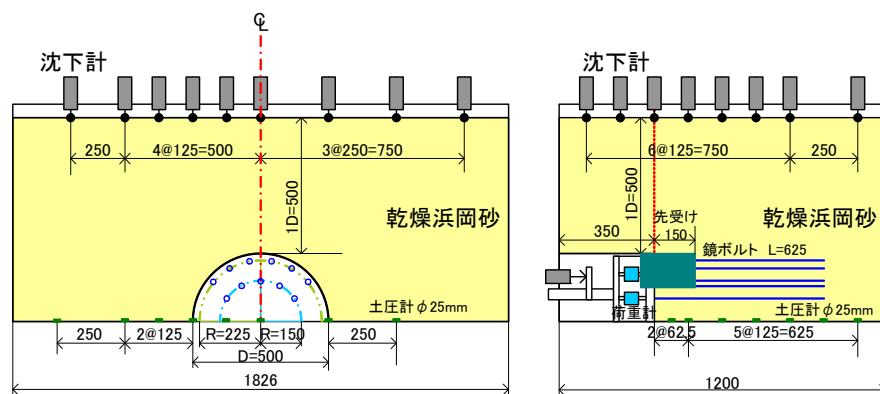


図-1 実験土槽 (case⑦) の概略図

り 10mm 突出させた切羽板を有する。そして、切羽に作用する荷重を測定するための荷重計がこの切羽板の背面側のトンネル模型内に設置してある。模擬地盤は低土被り未固結地山を想定して、土被りを 1D (500mm)、地盤材料には乾燥浜岡砂を用い、これを空中落下法にて作製した。このとき模擬地盤の乾燥密度は $\gamma_d=1.48\text{g/cm}^3$ 、相対密度は $Dr=29\%$ で、粘着力、内部摩擦角は、それぞれ $C=2.8\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=36.6^\circ$ である。

先受け工の模型については、塩ビ板 (肉厚 $t=0.5\text{mm}$) を所定の長さに切断して半円筒形のトンネル模型に 120 度にわたって貼り付けた。また、鏡ボルト工の模型については、文献 1) を参考にステンレス管 ($\phi 10\text{mm}$ 、肉厚 $t=0.3\text{mm}$ 、延長 $\ell=625\text{mm}$) にサンドペーパー #80 を巻き付けたものを使用した。

模型実験におけるトンネル掘削は、半円筒形のトンネル模型の先端部にある切羽板をスクリージャッキにて引抜くことで再現し、その際の切羽板に作用する荷重、地表面沈下、切羽前方地山の鉛直土圧、先受け工、鏡ボルト工のひずみを計測することにより作用効果の検討を行った。表-1 に実験ケース、図-2 に先受け、鏡ボルトの配置例を示す。

表-1 実験ケース

Case.No.	土被り	先受け	鏡ボルト
①	1D	無し	無し
②		無し	6本
③		無し	11本
④		10cm	無し
⑤		15cm	無し
⑥		15cm	6本
⑦		15cm	11本

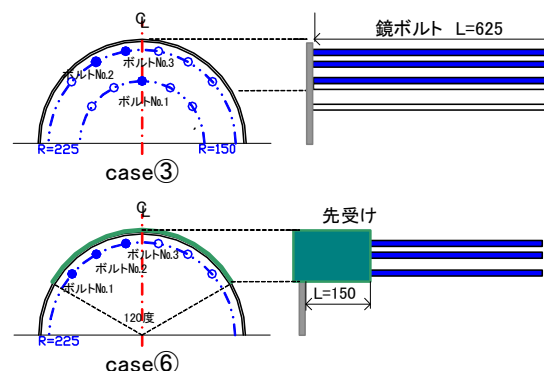


図-2 先受け工、鏡ボルト工の配置例

キーワード 山岳トンネル, 鏡ボルト工, 先受け工, 模型実験

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 (社)フジタ 技術センター TEL 046-250-7095

3. 実験結果

切羽引抜量と切羽板に作用する荷重の関係を図-3 に示す。これより、切羽荷重はいずれのケースも切羽引抜きに伴い減少する。ここで、引抜量が $\delta=1\text{mm}$ 、 2mm において無対策の切羽荷重を 1 とした時の各ケースの比率を整理した結果を図-4 に示す。これより、引抜量が $\delta=1\text{mm}$ と 2mm との差はほとんどなく、切羽に作用する荷重は、無対策が最大で、次に先受け 10cm、15cm、鏡ボルト 6 本、併用 6 本、鏡ボルト 11 本、併用 11 本の順で小さくなるのがわかる。

図-5 に切羽引抜き量 $\delta=1.0\text{mm}$ でのトンネル縦断方向の地表面沈下量を示す。これより、地表面沈下については併用 11 本が最も小さく、次に併用 6 本、先受け 15cm が続き、それ以外についてはほぼ無対策と同程度の結果となった。これより、地表面沈下が問題となるような場合には、残長は切羽高さとの比が 0.6 ($=15/25$) 以上となる先受け工が効果的であり、さらに鏡ボルトを 11 本併用することにより地表面沈下を抑制する効果が高まると考えられる。

図-6 に切羽引抜き量 $\delta=1.0\text{mm}$ での鏡ボルト No.2 の軸ひずみの分布を示す。これより、鏡ボルトの軸ひずみは、切羽側で大きく奥側で小さくなる傾向にある。また、先受けを併用することで全体的なひずみ量も小さく抑制でき併用 6 本と併用 11 本とでは発生する軸ひずみがほぼ同じであった。

図-7 に切羽引抜き量 $\delta=1.0\text{mm}$ での鏡ボルト No.2 の曲げひずみの分布を示す。これより、鏡ボルト単独では、切羽面から前方地山へ 150~200mm の付近で最も大きく、それより奥側にいくに従い小さくなる傾向にある。先受けを併用することでこの局所的な曲げひずみを小さくすることが可能である。

4. まとめ

未固結地山を想定した模型実験より、先受け工と鏡ボルト工の併用効果について以下の知見が得られた。

- ①切羽板に作用する荷重は、鏡ボルト工の方が先受け工より低減効果が高く、併用しても大きな低減効果はみられない。
- ②地表面沈下は、先受け工の方が鏡ボルト工より沈下抑制効果が高く、その際先受け工の残長は切羽高さとの比が 0.6 以上にする必要がある。
- ③鏡ボルトの軸ひずみは、先受け工を併用することで全体的に小さく抑制でき、曲げひずみについては局所的な曲げひずみを抑制することが可能である。

参考文献

- 1)高橋, 湯澤他: 未固結地山に対する鏡ボルトの作用メカニズムと効果に関する検討, 第 64 回土木学会年次学術講演会, VI-293, 2009

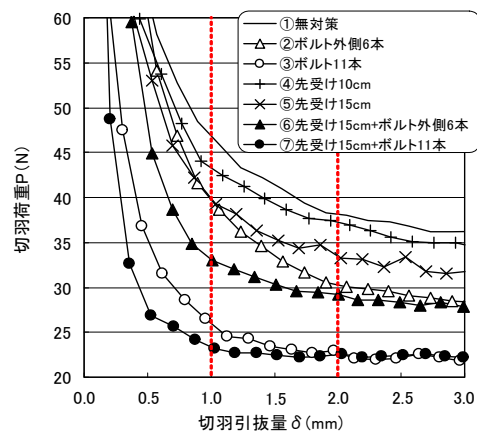


図-3 切羽引抜きに伴う切羽荷重

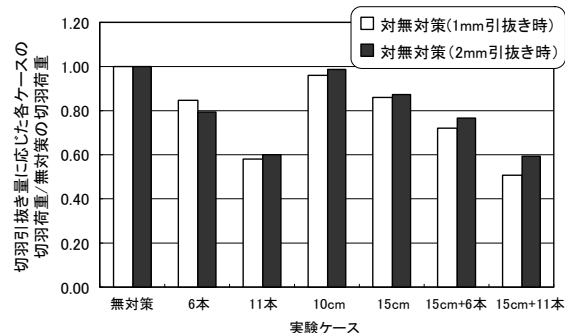


図-4 各ケースとの切羽荷重比 ($\delta=1,2\text{mm}$)

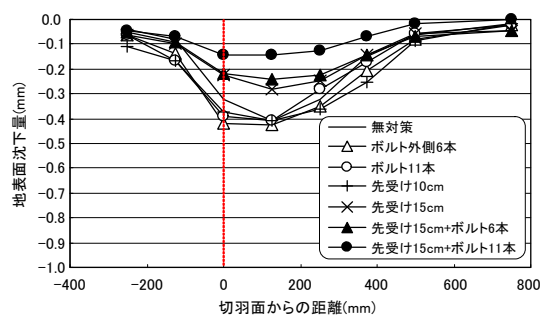


図-5 縦断方向の地表面沈下量 ($\delta=1.0\text{mm}$)

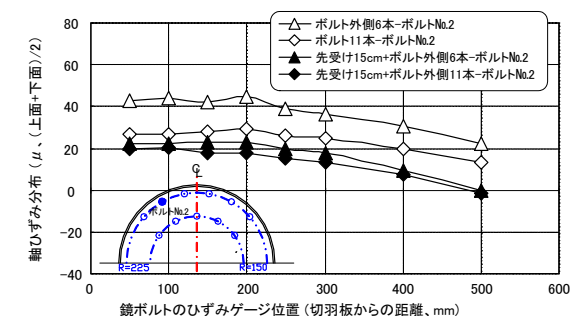


図-6 鏡ボルトNo.2の軸ひずみ ($\delta=1.0\text{mm}$)

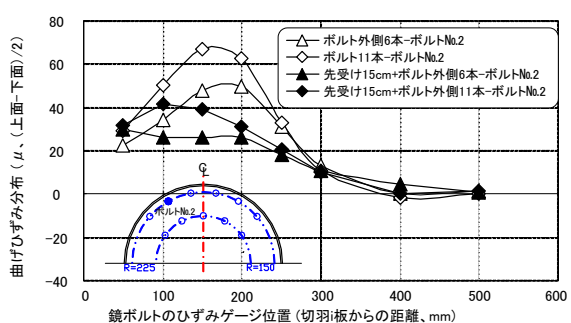


図-7 鏡ボルトNo.2の曲げひずみ ($\delta=1.0\text{mm}$)