

土砂地山トンネルにおけるロックボルト効果に関する実験的研究

独立行政法人 土木研究所 正会員 ○森本 智, 真下英人, 日下 敦, 角湯克典

1. はじめに

一般に土砂地山トンネルの掘削においては支保パターン DIII を採用することが多いが、ロックボルト等の支保工の作用効果は必ずしも明確になっていない。特に、天端部については、これまでの経験によればロックボルトに圧縮の軸力が発生するケースが多く、打設が省略されることが多い。本稿では、土砂地山トンネルにおいて、ロックボルトの打設範囲、長さ、打設間隔がトンネルに作用する荷重に与える影響を明らかにすることを目的として実施した模型実験の結果を報告する。

2. 実験の概要

図-1 に実験装置の概要を示す。トンネル模型は外径  $D=200\text{mm}$  で、内寸幅  $1,200\text{mm} \times$  奥行き  $450\text{mm}$  の土槽の底面中央に設置してある。トンネル模型周辺には厚さ  $0.2\text{mm}$  のテフロン製シートが 25 枚重ねられており、このシートを 1 枚ずつ引き抜くことでトンネル掘削を模擬した。表-1 に実験ケースを示す。実験は標準砂および珪砂を使用し、ロックボルトの長さ、打設間隔などを変化させ、トンネル模型に作用する荷重に与える影響を把握することを目的に実施した。

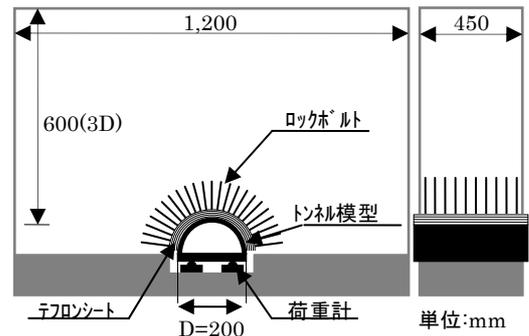


図-1 実験装置の概要

表-1 実験ケース

打設範囲	地山材料			
	標準砂		珪砂	
	無対策		無対策	
	ボルト長 L(mm)	打設間隔 $\alpha(^{\circ})$	ボルト長 L(mm)	打設間隔 $\alpha(^{\circ})$
天端	300	7.5	150	7.5
側壁	80	7.5	—	—
側壁	80	15	—	—
側壁	300	7.5	—	—

模擬地山は、ロックボルトを固定治具によりあらかじめ所定の位置に設置した状態で、気乾状態の地山材料を土被り 3D 高さになるまで自由落下方式により作製した。なお、固定治具はある程度地山を作成しロックボルトが地山に自立した段階で撤去した。トンネルに作用する荷重は、シートを 1 枚ずつ引き抜いた各段階においてトンネル模型下部に設置した荷重計により計測を行った。奥行き方向についてはロックボルトを  $40\text{mm}$  ピッチで 10 断面の打設を行った。また、無対策においてシートの引抜きによる地山の挙動を把握するため、深さ方向に一定間隔で色砂を配置し、地山の変位領域について観察を行った。

3. 実験結果

(i) 無対策の場合

図-2 に無対策におけるトンネル模型に作用する荷重の初期荷重 (シートを引抜く前の作用荷重) に対する割合と、変位量 (掘削を模擬するために引抜いたシートの厚さ) の関係について示す。まず標準砂の場合、荷重比は変位量が  $0.2\text{mm}$  で  $0.6$  程度まで大きく減少し、さらに変位を増すと荷重比は徐々に低下し最終的には  $0.4$  程度となった。

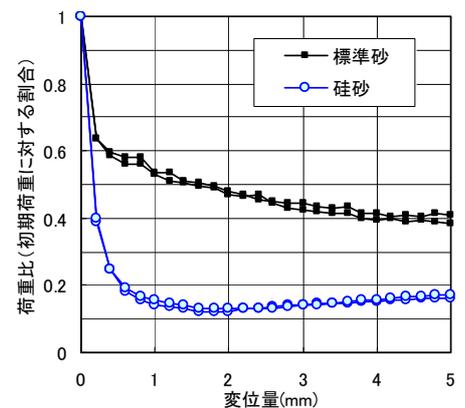


図-2 荷重比と変位量(無対策)

次に珪砂の場合、荷重比は変位量が  $0.2\text{mm}$  で  $0.4$  程度まで大きく減少し、さらに変位を増すと  $1\text{mm}$  程度まで減少するが、その後はほぼ一定の値となり最終的には  $0.2$  程度となった。図-3 に無対策における色砂の移動量を読み取った変位量等高線 ( $1\text{mm}$  ピッチ) を示す。最終変位量と同じく  $5\text{mm}$  変位した領域 (以下、「共下がり領域」という) は、標準砂の場合、肩部から天端上方  $250\text{mm}$

キーワード：土砂地山, ロックボルト, 打設範囲, 打設長さ, 打設間隔  
連絡先：〒305-8516 つくば市南原 1-6(独)土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) TEL 029-879-6791

程度の領域に形成される。一方、珪砂の場合、肩部から天端上方 50mm 程度の領域に形成されることが確認できた。これより、珪砂は標準砂と比べ共下がり領域が小さく、また、変位しない領域（自立しようとする領域）も大きいことから、トンネル模型に作用する荷重が小さくなったと考えられる。

(ii) 天端部におけるロックボルトの効果

図-4 に天端部に打設した場合の荷重比と変位量の関係を示す。標準砂の場合、共下がり領域は天端から 250mm 程度まで発達しており、それよりも短いボルト長さ  $L=150\text{mm}$  では無対策と同程度の荷重比となり荷重低減効果が得られなかった。一方、共下がり領域よりも長い  $L=300\text{mm}$  では初期段階では効果が得られないものの、変位量が 2mm 程度以降においては効果が得られることが確認された。また、珪砂の場合、共下がり領域は天端から 50mm 程度であり、それと同程度の  $L=80\text{mm}$  では初期段階から変位量が 3mm 程度までは効果が得られるものの、最終段階では無対策と同程度となった。一方、 $L=150\text{mm}$  では初期段階から最終状態まで効果が持続することが確認された。

(iii) 側壁部におけるロックボルトの効果

図-5 に側壁部に打設した場合の荷重比と変位量の関係を示す。まず、打設間隔が  $\alpha=7.5^\circ$  の場合、 $L=80\text{mm}$  でも  $L=300\text{mm}$  と同程度以上の十分な効果が得られた。これは、側壁部においては壁面近傍にすべり（変位する領域としない領域の境界）が発生し、このすべりと十分に交差する長さであれば、ロックボルトのせん断抵抗の効果が現れたためと考えられる。一方、ボルト長さ  $L=80\text{mm}$  で打設間隔を倍に広げた  $\alpha=15^\circ$  の場合、無対策より効果はあるものの、打設間隔が  $\alpha=7.5^\circ$  と比較すると効果は小さくなった。

4. まとめ

本実験の結果から、ロックボルトによる荷重低減効果を期待するには、共下がり領域外側の自立した領域に達するボルト長さが必要となることがわかった。特に、天端部においては地山材料の違いにより形成される共下がり領域の高さは異なり、その領域の把握が重要となる。一方、側壁部においては、すべりがトンネル壁面近傍に形成されるためボルト長さによる影響はほとんどないが、ロックボルトによる荷重低減効果を期待するには、打設間隔についてはある程度密にする必要があることがわかった。なお、本研究は極めて簡単なモデル実験を実施したものであり、実際の地山およびロックボルトの相似則を考慮していないため、定量的評価を行うには別な角度から更なる検討が必要である。

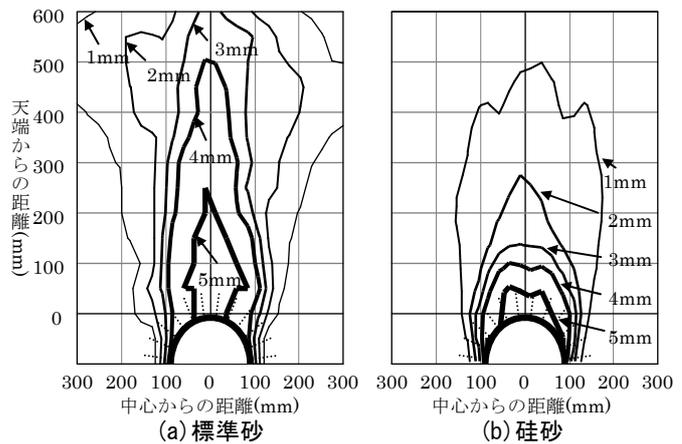


図-3 等変位コンター図(無対策)

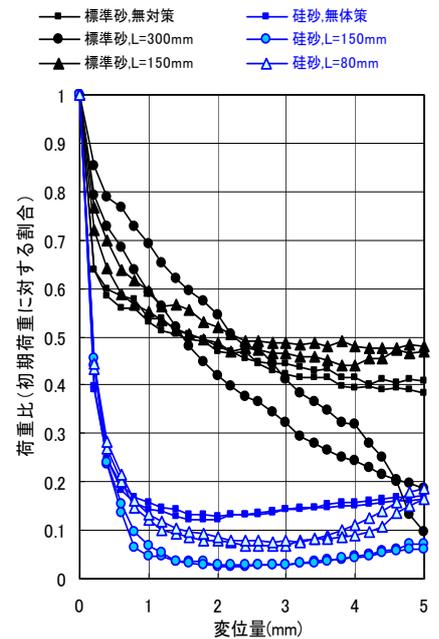


図-4 荷重比と変位量(天端)

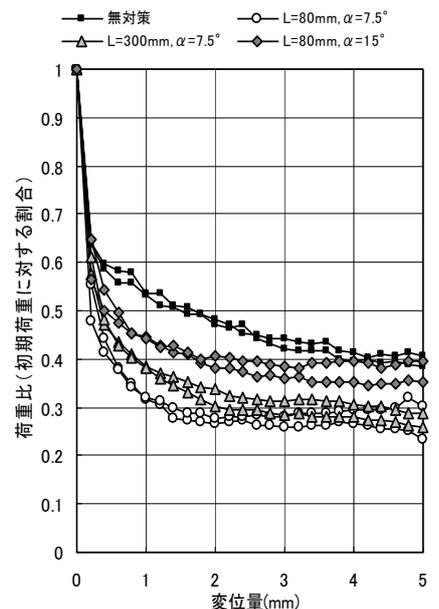


図-5 荷重比と変位量(側壁)