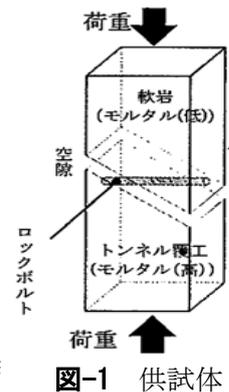


# 農業用水路トンネルに対するロックボルトの補強の効果

岡山大学大学院	非会員	○村上	棕
岡山大学大学院	正会員	柴田	俊文
日化エンジニアリング株式会社	非会員	田本	敏之
岡山大学大学院	正会員	西村	伸一
岡山大学大学院	正会員	珠玖	隆行

## 1. はじめに

農業用水路トンネルは、大正・昭和時代に施工されたものが数多く存在しており、老朽化が問題となっている。農業用水路トンネルのうち、断面積 $3\text{m}^2$ 未満の極小断面トンネルは、作業スペースを確保できないことを理由にロックボルトによる補強は実施されてこなかった<sup>1)</sup>。しかし近年、極小断面でのロックボルトによる補強技術が新たに開発され、施工事例も報告されるようになってきた。これら極小断面のトンネルは、鉄道・道路トンネルとは断面寸法が大きく異なることから、最適なロックボルトの本数や間隔に相違が出る可能性が高い。また、在来工法で施工されたトンネルに補強工法としてロックボルトを施工する場合、NATM工法で用いる場合とは地山/ロックボルトの相互挙動が異なることが予想される。本論文では、地山とロックボルトの挙動の把握、裏込注入工法との併用効果の検討を目的として載荷実験を行う。



## 2. 供試体の製作

本論文では、横×奥行き×高さが $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 200\text{mm}$ のモルタルを用いて載荷実験を行う。図-1に実験で使用する供試体の概略図を示す。モルタルは目標強度 $5\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の低強度モルタルと、目標強度 $20\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の高強度モルタルを使用<sup>2,3)</sup>し、地山および覆工を想定している。ここでそれぞれのモルタルの配合は、低強度のものが早強ポルトランドセメント、砂、水が $800\text{g}$ 、 $2,400\text{g}$ 、 $800\text{g}$ 、高強度のものが $1,400\text{g}$ 、 $2,040\text{g}$ 、 $630\text{g}$ とし、目標強度よりw/cはそれぞれ100、45%とした。裏込注入工法およびロックボルト工法はグラウト注入と直径 $5\text{mm}$ の鉄棒の挿入により表現する。また、不連続面を作製するため、供試体作製時にプラスチック製のスペーサーを型枠中央に配置し、その際に傾斜を設けて二分した。

## 3. 載荷実験の方法

作製した供試体に振動ドリルを用いて削孔し、ロックボルトを模擬した鉄棒を挿入して載荷実験を行う。ここでロックボルトの定着は、グラウトによって行われる。実験は、モルタル間の空隙・鉄棒の角度・2種のモルタルの組み合わせを変化させて実施し、測定したデータから作成した応力ひずみ曲線を比較する。なお、載荷装置は、全自動圧縮試験機(HI-ACTIS-2000)を用いている。また、ロックボルト配置前の裏込注入の効果を検討するため、図-1に示す供試体の空隙にグラウトを充填したものを準備し比較を行う。鉄棒は、不連続面に対して傾斜を設けた方法と不連続面に対して垂直に配置したものの二ケースを想定した。ここで、不連続面に対して垂直に鉄棒を配置するパターンは、円形のトンネル断面にロックボルトを配置した場合を想定している。また、不連続面に対して角度をつけて配置するパターンは、地山が有する不連続面をロックボルトが貫入する場合と、幌形や馬蹄形のトンネルのスプリングライン下部にロックボルトが配置されることを仮定している。

## 4. 結果および考察

図-2に角度を変化させ、鉄棒を不連続面に傾斜配置した場合の結果を示す。ここで、供試体の上下部にキーワード 農業用水路トンネル、ロックボルト、補強

強度モルタルと低強度モルタルを組み合わせさせたケースと、両方とも低強度モルタルを用いたケースについて実験を実施した。最大応力で比較すると、モルタルの組み合わせが同じ場合、不連続面の角度は30°より45°の方が高い値を示した。次にモルタル強度の組み合わせについて着目すると、鉄棒が平行に配置されている場合、低強度モルタル同士の方が高強度

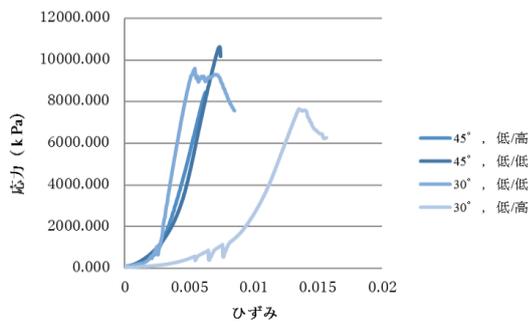


図-2 不連続面の角度の影響

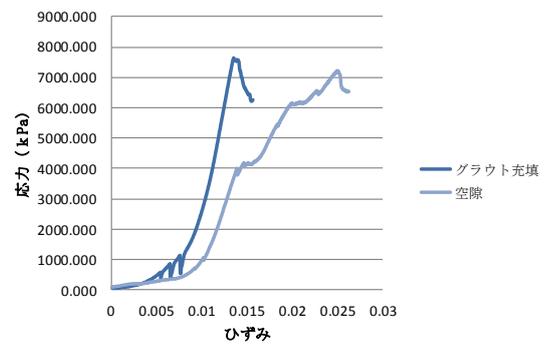


図-3 併用の効果

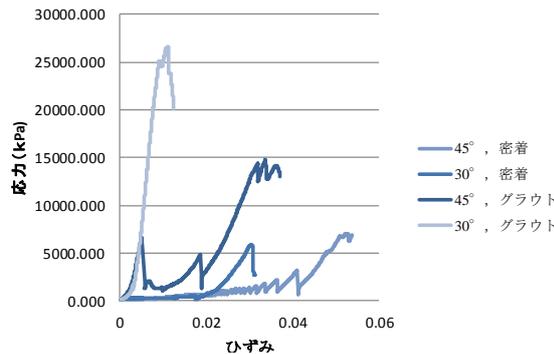


図-4 鉄棒を垂直に配置した実験の結果

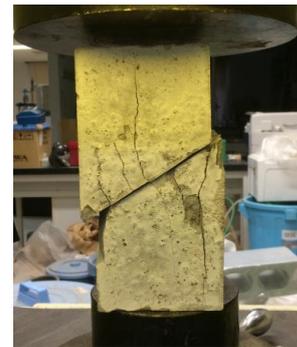


図-5 载荷実験の様子

モルタルと組み合わせた場合より、高い最大応力が得られた。これは、変位制御による実験のため、高強度モルタルに対してより大きな応力が作用し、全体の強度が下がったことが考えられる。次に、グラウトを用いた裏込注入工法と鉄棒を用いたロックボルト工法との併用効果を確認する実験を行った。図-3 に実験結果を示す。最大応力に大きな差異は確認できなかったが、同一応力においてはグラウトを充填した供試体の方が、ひずみに対しての強度が増しており、このことから併用の効果が認められる。図-4 に上下に高強度モルタルを配置し、かつ垂直に鉄棒を挿入した実験の結果を示す。グラウトで充填した方が角度に関わらず、高い最大応力と圧縮強度が得られた。ここで、図中の密着とはグラウトを充填させずに上下のモルタルが接した状態で行った実験結果を示している(図-5の実験状況を参照)。図-4より、グラウトを充填したものと比べ応力が緩やかに上昇する結果が得られた。グラウトを充填した場合は完全にモルタル同士が連続しているのに対し、密着した条件では僅かに隙間が空いており、ずれが大きくなっている。そのためモルタル自体には荷重が作用せず、鉄棒に直接载荷されたことにより、応力の上昇が遅れたものと考えられる。

## 5. おわりに

本論文では、ロックボルト工法と裏込注入工法との併用の効果を検討し、トンネル覆工と地山の境界部における角度の影響について载荷実験を実施して、その結果を比較した。供試体载荷実験を通して、補強箇所のトンネル覆工と地山の角度および地山強度の影響、ロックボルト工法と裏込注入工法の併用効果を示すことができた。

## 参考文献

- 1) 山地宏志, 中野陽一, 清水則一, ロックボルトによる極小断面水路トンネル補修の設計と施工法, 「建設施工と建設機械シンポジウム」 論文集, pp.23-28, 2009.
- 2) 伊藤正憲, 早川健司, 瀬野康弘, 鈴木祥三, トンネル覆工背面空洞充填用軽量モルタルの基本物性, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集, pp.322-323, 2001.
- 3) 野城一栄, 小島芳之, 宮林秀次, 西藤潤, 朝倉俊弘, 竹村次朗, 地質不良区間における新設山岳トンネル用地震対策工の適用性, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.4, pp.1062-1080, 2009.