

泥岩のスレーキングによる強度低下とウレタン改良に関する基礎的研究

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○岡野 法之 中根 利貴 正会員 嶋本 敬介
 正会員 水谷 真基 正会員 野城 一栄
 (株) ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 石田 良二

1. はじめに

山岳トンネルでは、経年による劣化や地圧の作用等によってトンネルに変形が生じることで内空断面が縮小する場合があります。対策の一つとしてロックボルト補強工法が適用されている。筆者らは新たなロックボルト補強工法として、地山改良型ロックボルト工法を開発し、実トンネルにおいて実用化に向けた試験施工等によりその性能を確認した¹⁾。本工法では、経年劣化したトンネル近傍の地山をウレタン注入により改良する。注入により、岩の亀裂にウレタンが浸透し、地山の物性や耐スレーキング性能が向上することを期待しているが、今回、その効果を確認すべく、泥岩コアを用いた一軸圧縮試験と、ウレタンで改良した泥岩材料の一軸圧縮試験を実施したので結果について報告する。

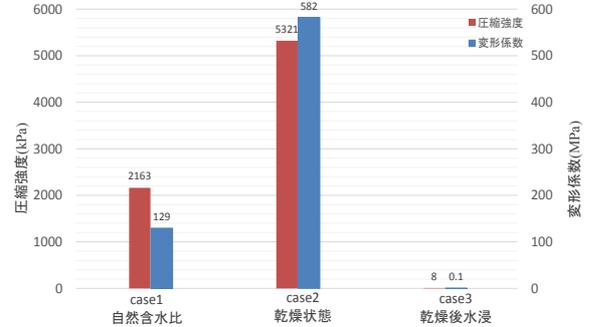


図-1 泥岩コアの一軸圧縮試験結果 (平均)

2. 含水状態に着目した泥岩の一軸圧縮試験

(1)試験方法

一軸圧縮試験に使用する地山材料は、トンネル掘削時の切羽より採取した塊状泥岩である。また、膨張性粘土鉱物のスメクタイトを含んでおり、スレーキング指数は「4」である。これを用いて、直径 5cm×高さ 10cm の供試体を作製した。自然含水比の状態 (Case1)、乾燥させた状態 (Case2)、乾燥後に浸水させた状態 (Case3) の3つのケースで各ケース3本ずつの計9本に対し、一軸圧縮試験を行った。ここで Case2 と Case3 は、24 時間以上風乾燥させた後、40±5℃で 48 時間以上の炉乾燥を行った。Case3 は、乾燥後に 24 時間の浸水を行った。ここで、浸水時の吸水で崩壊するのを防止するためにろ紙を巻き、その上からプラスチック製のフィルムシートを巻いて、輪ゴムで固定した。

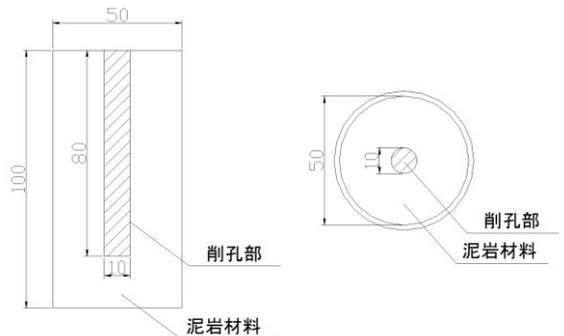


図-2 供試体作成 概略図

(2)試験結果

一軸圧縮試験の結果を図-1 に示す。Case1 と Case2 で比較すると、乾燥させることで強度が約 2.5 倍、変形係数が約 4.5 倍まで上昇しているが、乾燥後に水浸させた Case3 を見ると、Case2 で得られていた強度、変形係数共にほぼ 0 まで低下していることが分かった。



図-3 ウレタン注入状況

3. 泥岩のウレタン改良体の一軸圧縮試験

(1)試験方法

2 で用いた泥岩をウレタン改良した供試体を用いて、一軸圧縮試験を行った。コアを直径 5cm×高さ 10cm に整形後、図-2 に示すようにウレタンを注入するための穴を削孔し、供試体を 3 本作製した。その後、24 時間以上風乾

乾燥させて、40±5℃で48時間以上の炉乾燥した後、一軸圧縮試験を行った。試験手順は、以下の通りである。

- ① 供試体に亀裂を発生する目的で、供試体が破壊されるまで載荷しその後除荷する。なお、この過程を3回繰り返す。
- ② 供試体を直径5cm×高さ10cm程度の鋼製モールドで固定し、削孔した箇所へウレタンを注入する。養生期間は24時間とする。
- ③ 24時間経過後、再度、一軸圧縮試験を実施し、ピーク荷重を確認しその後除荷する。

なお、手順②におけるウレタンの注入量は、孔の体積(直径1cm×高さ8cm)と同じ量、すなわち発泡倍率を1倍として注射器で図-3のように注入した。ウレタン注入前後の供試体の状況を図-4に示す。図より、ウレタンが亀裂に浸透していることが確認出来る。

(2)試験結果

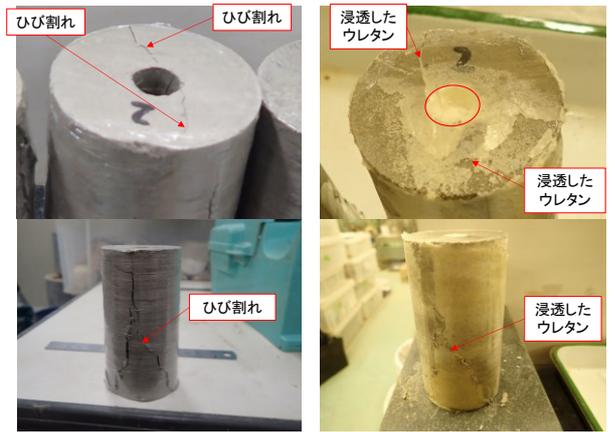
一軸圧縮試験の載荷時における応力-ひずみの関係を原点を揃えて図-5に示す。一例として、供試体No.1のデータを示している。載荷3回目と載荷1回目を比較すると、供試体を破壊するまで載荷を行っているため、圧縮応力は載荷を繰り返す度に低下したのに対し、ウレタン改良後に行った載荷4回目では、一軸圧縮強さが載荷3回目と比較すると回復していることが分かった。また、圧縮応力はピークを超えても、荷重が脆性的な低下ではなく、延性的な低下が見られた。以上から亀裂のある泥岩にウレタン注入をすることにより、亀裂を一体化させ、強度を回復させることが出来ることを確認した。3本の供試体の一軸圧縮強さを図-6に示す。一軸圧縮強さには個体差があるものの、これによると、全ての供試体において載荷1回目と比較して載荷3回目時の一軸圧縮強さは大きく低下しているが、その供試体にウレタンを注入し、載荷した結果、一軸圧縮強さが3割ほど回復することが確認された。

4. まとめ

試験結果より、スレーキングしやすい岩石は、自然含水比の湿潤状態から乾燥すると強度が向上するが、その後、湿潤状態となると強度低下が進行することがわかった。これより、トンネル掘削時においても掘削後、空気に接触し乾燥すると一時的に地山の安定性は向上するが、その後、支保や覆工により覆われることで再び湿潤状態となり、強度低下が進行出来る可能性も考えられる。今回の結果を実務にあてはめるとすれば、掘削時の地山の乾燥を防ぐことにより、完成後の塑性圧軽減に寄与する可能性も考えられる。ウレタンにより改良した泥岩の一軸圧縮試験では、ウレタン改良によって亀裂を一体化させ、強度を回復させることが出来ることを確認した。また、ウレタンを注入してから再び載荷すると脆性的な破壊を防いでいることが分かった。

<参考文献>

1)森瀬ら:地山改良型ロックボルト補強工の試験施工,第52回地盤工学研究発表会, 0686,pp.1369-1370,2017



(a) 載荷3回目後 (b) 載荷4回目前
注入前 注入後

図-4 ウレタン注入前後の状況

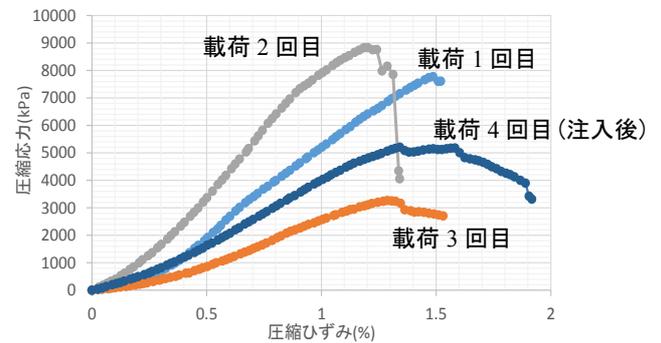


図-5 一軸圧縮試験結果(供試体No.1)

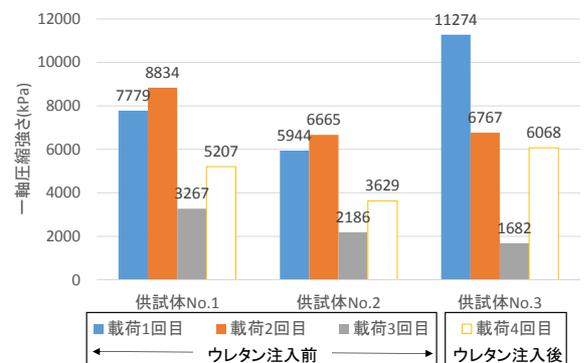


図-6 一軸圧縮強さ