

トンネルの変形に影響を及ぼす岩石の劣化と吸水膨張特性に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○川越健, 正会員 嶋本敬介
(株)ジェイアール総研エンジニアリング 石田良二

1. 目的

トンネルの変状には地形、地質、トンネル構造、施工状況など多くの要因が関係している。筆者らは泥質岩地山を主な対象として、地山中の割れ目の多寡と岩石の吸水膨張特性が地山の塑性圧によるトンネルの変形に関係することを示してきた^{1), 2)}。しかし、完成後に遅れてトンネルが変形する理由については十分に分かっていない。仲野³⁾は、新生代の泥岩を主な掘削対象としたトンネルの変形事例から乱した泥岩の吸水性が大きければ押し出し性地圧(塑性圧)はより大きくトンネルに作用することを示している。また、村山ほか⁴⁾は軟岩の吸水膨張時には土粒子間の間隙に保持される毛管水のポテンシャルが重要な役割を果たすことを述べている。これらのことから、完成後に地山の塑性化が進むとトンネル周辺地山の割れ目が伸展したりして、割れ目の分布密度が増加し、地下水のポテンシャル分布の変化にともない岩石の含水比が増加して吸水膨張が生じやすくなる可能性が考えられる。ここでは泥質岩を対象として、岩石の劣化の程度と吸水膨張特性および含水状態の相違を明らかにすることを目的に岩石試験を行った結果と得られた知見について報告する。

2. 岩石試験

川越他⁵⁾では、新第三紀泥質岩が分布する地域に建設されたトンネルにおいて、完成後の盤ぶくれ量と最大吸水膨張応力がおおむね正の相関にある事例を示している(図1)。また、同様の地質が連続する区間では割れ目の多寡がトンネルの変形と関係すること⁵⁾、割れ目が多く分布する地山から採取した岩石は塊状を呈する地山から採取した岩石に比べて吸水膨張応力、吸水膨張率ともに大きいことを示している²⁾。これらの結果を踏まえ、ここでは、吸水膨張試験時に試料への載荷荷重を変えて試料への歪みを与え、その際の岩石の最大吸水膨張応力や最大膨張率と含水比の関係に着目した検討を行った。

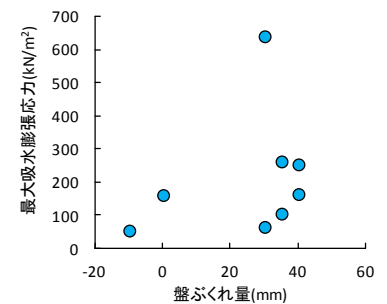


図1 最大吸水膨張応力と盤ぶくれ量の関係⁴⁾

2.1 試料

岩石試料は新第三紀の泥質岩、酸性凝灰岩および古第三紀の泥質岩を用いた。いずれの試料も掘削中のトンネル切羽などからブロックサンプリングにより採取し、採取後直ちに養生して試験室で成形を行った。また、試料は割れ目が多く分布する層(以下、「割れ目部」と呼ぶ)と塊状を呈する層(以下、「塊状部」と呼ぶ)から採取した。

2.2 試験方法

吸水膨張試験は JGS2121-1998「岩石の吸水膨張試験方法」に準拠し、1) 基準の荷重(以下、「無載荷」と呼ぶ。), 2) 基準の荷重+10kN/m²(コンクリート厚さ400mm相当。以下、「10kN/m²載荷」と呼ぶ。), 3) 無載荷時の最大

吸水膨張応力に相当する荷重(以下、「最大荷重載荷」と呼ぶ。), の3通りの荷重で最大吸水膨張応力、最大吸水膨張率を測定した。試験期間は過去の試験実績を参考に10日程度とした。また、併せて一軸圧縮強さ試験、スメクタイト含有量の測定、陽イオン交換容量試験(CEC)を行った。今回の試料においては、図2に示すように一軸圧縮強さと最大吸水膨張応力(無載荷)との間には負の相関が認められる。また、スメクタイト含有量、CECの値と最大吸水膨張応力、最大吸水膨張率の間には明瞭な関係は認められなかった。

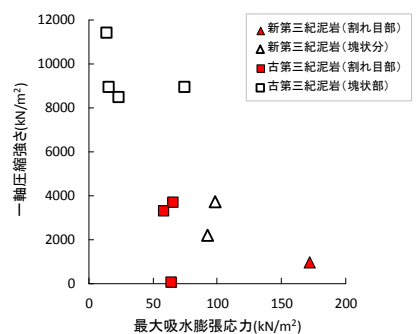


図2 最大吸水膨張応力(無載荷)と一軸圧縮強さの関係⁴⁾

キーワード トンネル変形, 軟岩, 吸水膨張特性, 劣化, 含水比

連絡先 〒183-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL:042-573-7265

2.3 試験結果

載荷荷重と吸水膨張試験の結果を岩種ごとに図3に示す。多くの試料では載荷荷重が大きいと発現する吸水膨張応力、試料の変形を示す膨張率とも小さくなる。次に、吸水膨張応力と吸水膨張率の関係を図4に示す。膨張応力が大きい試料では膨張率も大きい傾向にあること、載荷荷重を大きくすると、膨張応力、膨張率ともに小さくなる傾向が認められる。

荷重ごとの含水比の増加分を図5に示す。いずれの荷重でも含水比の増加分が多い試料は吸水膨張応力が大きい傾向が認められる。また、荷重が大きいくほど、その傾向は明瞭となる。しかし、含水比の変化はあまり認められなかった。

3. 考察

今回の吸水膨張試験の結果からは、最大吸水膨張応力と最大吸水膨張率は主に載荷荷重に支配されていると考えられる。今回の試料はいずれも難透水性の岩種であることから、吸水膨張試験の実施期間では十分に岩石内部まで水が浸透しなかったことが考えられる。

4. おわりに

実際のトンネル周辺環境ではトンネル内空側は大気圧開放されていることから、地下水は時間とともに覆工背面地山から浸潤すると考えられる。今後は、より実際の環境を模擬した岩石試験方法を検討し、完成後に地山の変状が発生するメカニズムを解明していくことが必要である。

参考文献

- 1) 小林寛明, 井浦智実, 上野光, 渡辺和之, 嶋本敬介, 伊藤直樹: 山岳トンネルの盤ぶくれとその対策に関する基礎的研究, 土木学会論文集 F1 特集号, Vol.71, No. 3, pp. I_80-I_93, 2015.
- 2) 川越健, 嶋本敬介, 野城一栄: 泥質岩中の割れ目の密集部がトンネルの変状に与える影響の検討, 第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.295-300, 2016.
- 3) 仲野良紀: 膨張性地山の実態, トンネルと地下, Vol.10, No.6, pp.15-25, 1975.
- 4) 村山朔郎, 関口秀雄, 鳥井原誠, 沢田守生: 軟岩の吸水膨張に関する一考察, 京大防災研究所年報, 第17号 B, pp.391-401, 1974.
- 5) 川越健, 太田岳洋, 赤澤正彦, 上野光, 石田良二: 泥質岩を掘削対象としたトンネルの変状と岩石の吸水膨張特性, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, III-106, 2015.

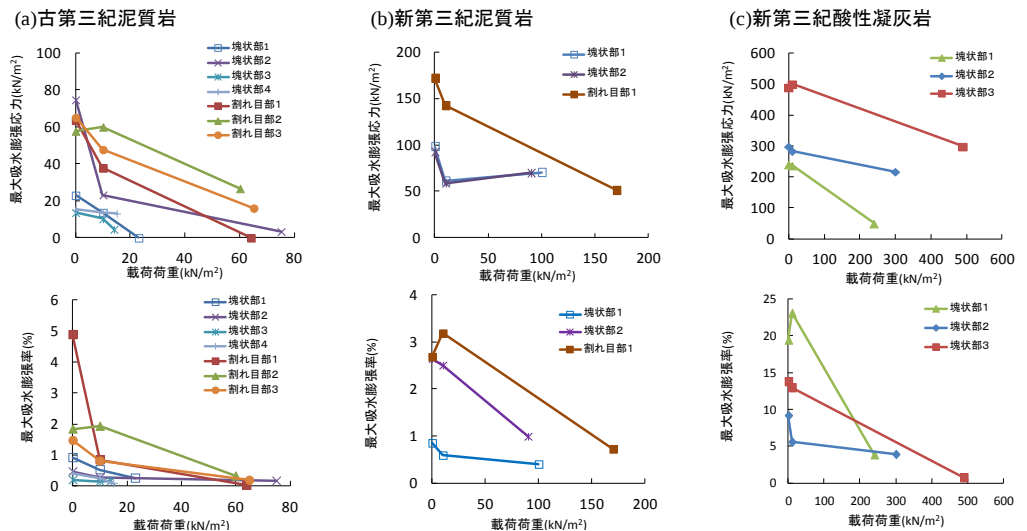


図3 載荷荷重と吸水膨張試験結果

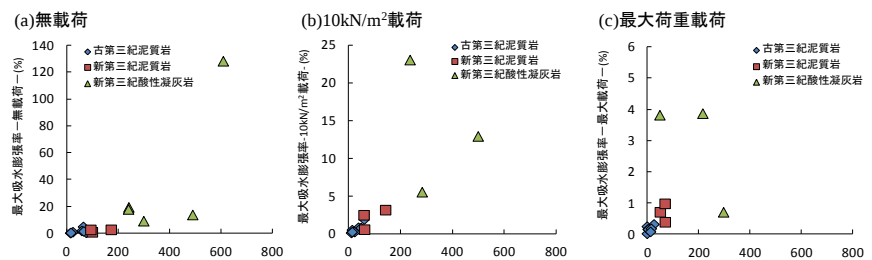


図4 載荷荷重ごとの吸水膨張応力と吸水膨張率の関係

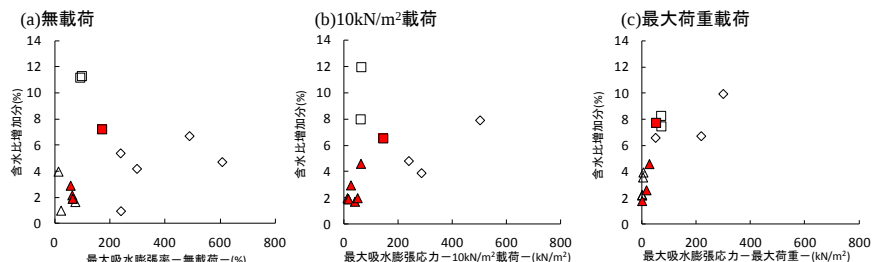


図5 載荷荷重ごとの吸水膨張応力試験時の含水比の増加