

供用中のトンネル変状予測のための岩石試験の提案

応用地質（株） 正会員 ○奥井 裕三，正会員 國村 省吾
非会員 吉田 敬，非会員 越谷 碧衣
非会員 池田 慧生
（株）高速道路総合技術研究所 正会員 小林 大助

1. はじめに

供用中の山岳トンネルでは、盤ぶくれと呼ばれる路面隆起現象が発生し進行する場合があります。トンネルの維持管理上で問題となっている。盤ぶくれは、地山の吸水膨張だけでなく路盤下の強度低下が複合的に作用して発生し、その進行性には水の影響が関係していると考えられている。そこで、掘削による応力解放を考慮し、かつ試験中の岩石の強度を把握できる吸水膨張試験を考案した。この試験の有効性を確認するため、盤ぶくれ発生箇所のうち隆起の程度が異なる箇所の岩石試料を用いて試験を実施した。その結果、拘束圧除荷（掘削による応力解放）に伴う吸水膨張と一軸圧縮強さの関係が求まった。これを数値解析等で用いることで定量的な変状予測が可能になると考えられる。

2. 盤ぶくれ対策検討時の課題

供用中の山岳トンネルで発生している盤ぶくれ現象に対して適切な対策工を設計するためには今後の挙動予測が重要であり、その手法としては数年にわたる測量等の計測結果から変位の傾向を近似式で推定する方法が多く用いられている。しかしながら、挙動予測に用いられる近似式は様々あり、採用する近似式によって収束する値が異なるため、対策工の設計に大きく影響することが課題である。また、変位傾向を把握するための測量等の計測期間の長さや既往資料の有無など、情報量の違いによっても挙動予測の収束値にバラツキが生じるため、近似式に依らずに将来の変位量を一意に予測できる手法が必要である。

3. 岩石の拘束圧を考慮した吸水膨張と強度変化に関する試験方法の概要

岩石の吸水膨張現象を把握する一般的な試験方法としては、JGS2121 がある。この試験は、非拘束条件での試験で、トンネル掘削中の膨張性の判定の目安を得るために用いられることが多い。今回提案する吸水膨張試験は、トンネル掘削といったような応力解放の影響下でかつ吸水した場合の吸水膨張量を把握する試験として提案されている ISRM の Suggested Method[1]の part4 を改良した方法である。この方法は、有効土被り圧の段階除荷過程における吸水膨張量を求める試験であるが、改良点としては各除荷段階毎に針貫入試験を実施し、推定値ではあるが強度も同時に把握できるようにした。試験装置の外観は図1に示すように圧密試験機を改良したものである。試験方法は、図2に示す通り拘束圧を供試体上下方向に作用させ（拘束圧は、土被り圧が推奨。図中の「→1」）、その後、拘束圧を維持しながら浸水させる（図中の「→2，↑3」）。次に任意の拘束圧まで減圧し（図中の「←4」）、拘束圧を維持する（図中の「↑5」）。これを繰り返し、非拘束となるまで実施する。さらに、加圧板には針貫入用の孔を設け（図3）、図2の曲線セグメント「↑3」から各段階で針貫入を実施し、換算値ではあるが、強度が把握できる。



図1 試験装置

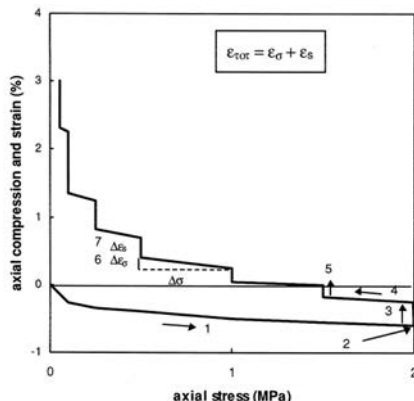


図2 载荷除荷サイクルの概念図[1]



図3 加圧板

なるまで実施する。さらに、加圧板には針貫入用の孔を設け（図3）、図2の曲線セグメント「↑3」から各段階で針貫入を実施し、換算値ではあるが、強度が把握できる。

キーワード 盤ぶくれ，山岳トンネル，地山の強度低下，吸水膨張試験，吸水膨張ひずみ

連絡先 〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町 2-61-5 応用地質株式会社 TEL 048-652-4956

4. 盤ぶくれが発生したトンネルへの適用

試験に使用した地山試料は、完成後数年を経て盤ぶくれが発生したと考えられる A トンネル・B トンネルである。それぞれ隆起の程度が顕著な箇所と隆起の程度が小さい箇所で、盤ぶくれ対策工事でのインバート部掘削中に深度 2m 付近の岩石ブロックを採取した。どの試料も岩種は砂質泥岩で、各種要領では盤ぶくれが懸念される岩種に分類されている。試料の力学特性として、針貫入試験による表面強度を測定したところ、A トンネルの試料はどちらの試料も一軸圧縮強さの推定値は 3~4MPa 程度と隆起の程度の違いによって試験前の強度に差は見られなかった。B トンネルの試料は隆起の程度が小さい箇所の試料で 16MPa 程度と、隆起の程度が顕著な箇所の試料（換算一軸圧縮強さ 4MPa）に対して約 4 倍の強度を示した。さらに、浸水崩壊度は A トンネルの試料は D, B トンネルの試料は B を示した。これらの試料を用いて非拘束条件（JGS2121）及び拘束条件での吸水膨張率試験を実施した（表 1, 図 4）。

試験結果から、非拘束条件（JGS）で得られた吸水膨張率は隆起の程度の異なる試料で 0.14~0.34%と差が小さい。一方、今回提案の方法では、拘束条件で得られた吸水膨張率は隆起の程度の異なる試料で 1%以上の差が見られた。さらに、得られた吸水膨張率は隆起の程度によって正の値と負の値を示し明確な差がある結果となった。

供試体浸水後の針貫入による強度把握では、A トンネルではどちらの試料も強度低下が見られた。B トンネルでは隆起の程度が顕著な箇所の試料では強度低下が見られたが、隆起の程度が小さい箇所の試料では見られなかった。これは浸水崩壊度の違いによる可能性がある。

5. まとめ

供用中のトンネルで発生している盤ぶくれの定量的な予測を目指して、拘束圧の除荷過程における吸水膨張と強度の両方を同時に把握できる岩石試験を提案、実施した。その結果、次の結果が得られた。

- ・隆起の程度が顕著な箇所は、拘束圧の除荷過程で吸水膨張ひずみと地山の強度低下の両方が発生し、隆起の程度が小さい箇所では強度が吸水除荷とともに低下する場合としない場合があったが、吸水膨張ひずみはどちらも発生しなかった。
- ・吸水膨張率は隆起の程度によって明確な差を示した。
- ・吸水時のひずみ及び換算一軸圧縮強さと拘束圧の関係が求まった。

これらの関係を数値解析等で用いることで、近似式に依らず定量的な変状予測が可能になると考えられる。但し、地山の強度低下については拘束圧の除荷（掘削による応力解放）だけでなく浸水の影響を受けて強度低下している可能性がある。今後は同じ試料条件のもと、浸水させずに拘束条件での試験を実施し、膨張率及び拘束圧除荷過程での強度の挙動について把握する等さらに研究を進める予定である。

参考文献

- [1] ISRM Commission on Swelling Rock: Comments and recommendation on design and analysis procedures for structures in argillaceous swelling rock, Pergamon Press, Oxford, 1994.

表 1 試験結果

トンネル	Aトンネル		Bトンネル	
隆起の程度	顕著	小さい	顕著	小さい
岩種	砂質泥岩	砂質泥岩	砂質泥岩	砂質泥岩
隆起量(mm)	74.8	34.0	108.7	24.7
浸水崩壊度	D	D	B	B
吸水膨張率(%)JGS	0.51	0.17	0.07	-0.07
隆起の程度による差(%)	0.34		0.14	
吸水膨張率(%)ISRM	0.94	-0.26	1.04	-0.08
隆起の程度による差(%)	1.20		1.11	
強度低下の有無	有	有	有	無

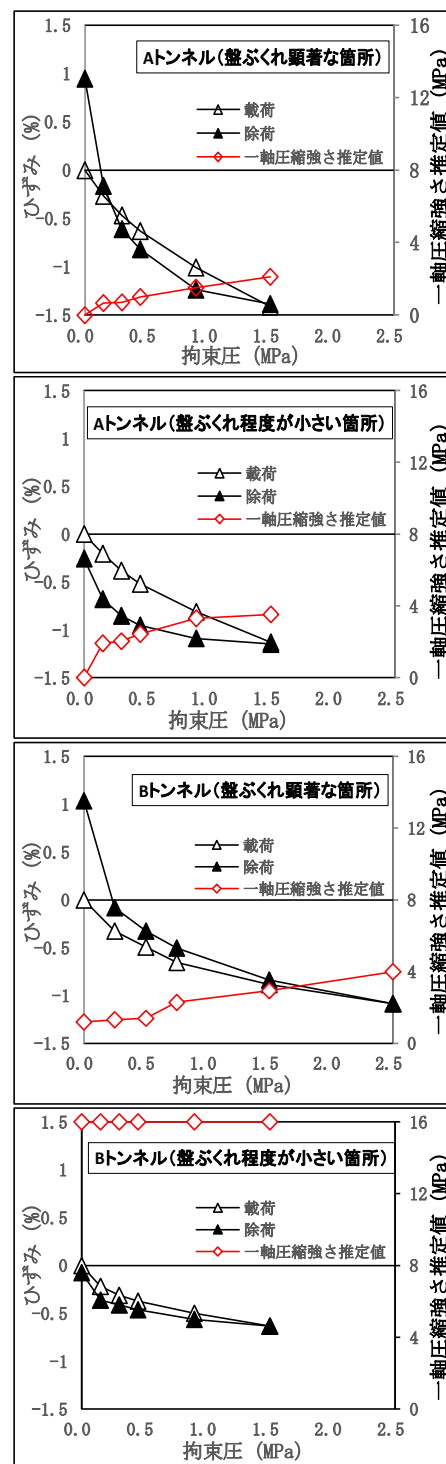


図 4 ひずみ及び換算一軸圧縮強さと拘束圧の関係(拘束条件)