

拘束圧を考慮した吸水膨張試験による盤ぶくれの予測方法

応用地質株式会社 正会員 ○奥井 裕三
 応用地質株式会社 正会員 國村 省吾
 公立大学法人 首都大学東京 正会員 西村 和夫
 公立大学法人 首都大学東京 正会員 砂金 伸治

1. 概要

山岳トンネルでしばしば遭遇する膨張性地山や供用中に顕在化する盤ぶくれなどの変状については、変形が発生した後の変位計測結果などを活用した再現解析による対策工の設計が行われることが多い。このように現時点では、対症療法的な手法がとられることが多いが、変形などの最終的な状態を予め予測できれば迅速かつ適切な対策工の適用が可能となる。本研究では、拘束圧を考慮した吸水膨張試験に着目し、拘束圧の除荷時の吸水膨張量を把握することで、盤ぶくれなどの変位を予測できる可能性を示す。

2. 拘束圧を考慮した吸水膨張試験

膨張性地山の判定や盤ぶくれの発生の有無を把握する岩石試験の一つに吸水膨張試験（以下、膨潤試験）がある。国内の膨潤試験の基準としては、JGS2121 がある。この試験は無圧条件下において吸水した時の膨潤ひずみを計測するものである。しかし、トンネル掘削の過程を考えると、地山深部に三軸状態で拘束された部分が掘削による応力解放（除荷）の影響を受け、膨張しているといえることができる。この過程を室内岩石試験で再現することができれば、盤ぶくれなどの変位の程度を試験結果より簡便に精度よく予測できると考えられる。

このような室内岩石試験の一つに図 1 に示すような拘束圧の除荷過程に応じた膨潤ひずみを測定する ISRM1999-SM[1]がある。図 2 は、盤ぶくれが発生したトンネルから採取した岩石試料における試験結果である。図では 1.8MPa 以上の拘束圧のもとでは、水を加えても膨潤ひずみは発生せず、1.8MPa 以下になると拘束圧に対応した膨潤ひずみが発生している。

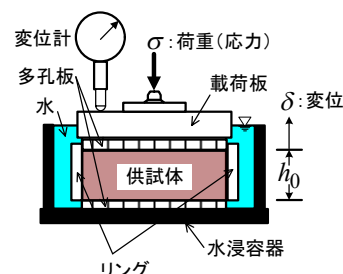


図 1 膨潤試験 (ISRM1999) の概念

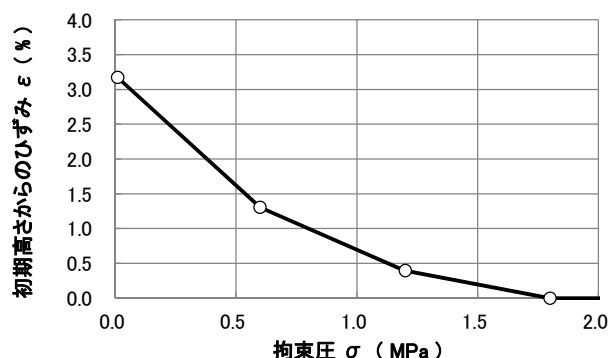


図 2 膨潤試験 (ISRM1999) の結果の例

3. 膨潤ひずみ-拘束圧関係を用いた数値解析

図 2 の関係は、図 3 および次式のような簡単な式で表すことが提案されている[2]。

$$\varepsilon_c^q = k \cdot \log \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_c^q} \right)$$

すなわち、トンネル掘削後のトンネル周辺の応力状態のうち、 σ_c を平均応力として、平均応力が σ_c^q 未満になると σ_c に対応した ε_c^q を発生させる。

4. 解析結果

数値解析としては、典型的な空洞条件として、馬蹄形の

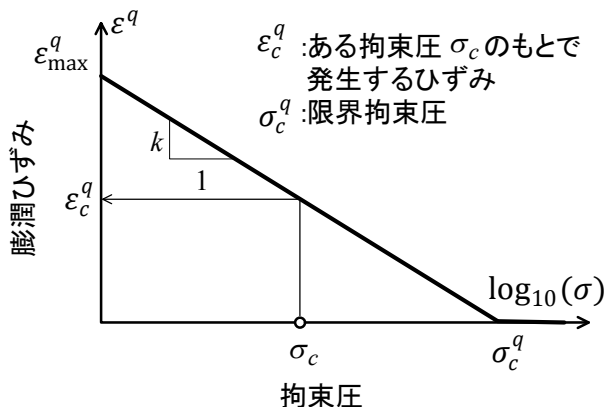


図 3 膨潤ひずみ-拘束圧関係の概念

キーワード 山岳トンネル, 膨張性地山, 盤ぶくれ, 応力解放, 膨潤, 数値解析

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 TEL048-652-4956

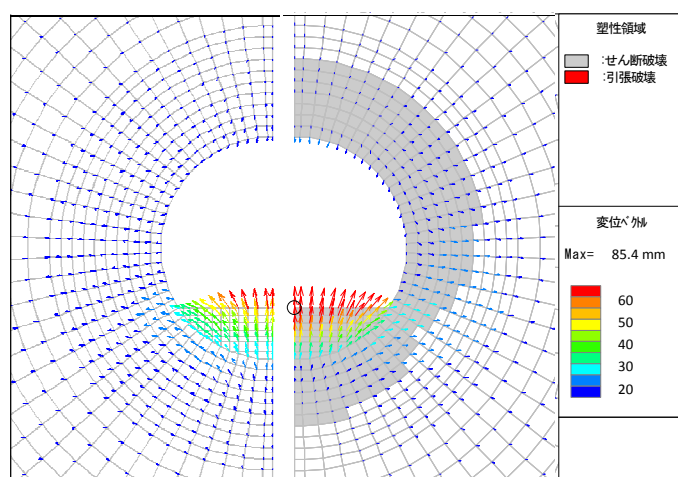
場合を示す。地山条件は、解析解との比較も考慮して、円形空洞に対して、解析解と数値解の比較が行われている問題[3]を参考に、変形係数 6778MPa, ポアソン比 0.21, 粘着力 3.45MPa, 内部摩擦角 30° で素掘り掘削とし、初期応力は鉛直、水平とも-30MPaを与えた。また、膨潤ひずみ $\varepsilon_{\max}^q$ は、膨張性判定の目安の閾値である $\varepsilon_{\max}^q = 2.0\%$ とした。

図 4 にトンネル掘削後の平均応力の減少割合を示す。図 4(a)に示す弾性体では、底盤下が除荷領域、

側壁背面が負荷領域となっている。図 4(b)に示す弾塑性体では、トンネル周囲の塑性領域が除荷領域となっているが、底盤下については図 4(a)に示す弾性体の場合より領域自体が小さく、さらに除荷領域の直下に負荷領域が発生している。平均応力の減少割合は、図 4(a)で最大約 36%, 図 4(b)最大約 17%である。

次に、図 4 の状態に対して図 3 に示した膨潤ひずみ-拘束圧関係を適用した結果を図 5, 図 6 に示す。図 5(a), 図 5(b)とも、平らな形状の底盤下の方が、アーチから側壁に比べて平均応力の減少割合が大きいことから、盤ぶくれの変位が大きくなっており、実際のトンネルで発生している変状状況と類似している。

図 6 に示す底盤下に発生する膨潤ひずみを見ると、弾性体で最大 1.2%, 弾塑性体で最大 1.7%のひずみが発生している。



(a) 弾性体 (b) 弾塑性体

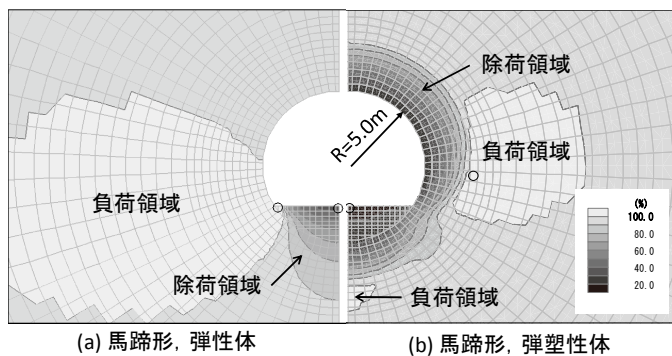
図 5 トンネル周辺に発生する変位ベクトル

5. 考察

馬蹄形のように底盤下の平均応力の減少割合が大きい空洞形状に対して、実際の道路トンネルなどで見られる盤ぶくれ現象と類似の変形が発生する結果となった。したがって、本手法は、盤ぶくれ現象の一つのメカニズムを反映したものとする。また、発生する膨潤ひずみは、与えた膨潤ひずみ $\varepsilon_{\max}^q = 2.0\%$ と平均応力の減少割合よりそれぞれ計算される、 $0.02 \times (1.00 - 0.36) \div 1.3\%$, $0.02 \times (1.00 - 0.17) \div 1.7\%$ に近い値であり、岩石自体が吸水膨張する場合において、膨潤試験結果から盤ぶくれの発生量がある程度予測できると考えられる。

<参考文献>

- [1] Madsen, F.T.: Suggested Methods for laboratory testing of swelling rocks, Int. journal of Rock Mech. and Mining Sci., Vol.36, pp.291-306, 1999.
- [2] 奥井裕三, 西村和夫: 岩石の吸水膨張と強度低下を考慮した山岳トンネルの変状再現モデル, 土木学会論文誌 F1(トンネル工学), Vol.74, No.1, pp.40-51, 2018.
- [3] ITASCA:FLAC3D manual, Verification Problems.



(a) 馬蹄形, 弾性体 (b) 馬蹄形, 弾塑性体

図 4 掘削による空洞周辺の平均応力の変化

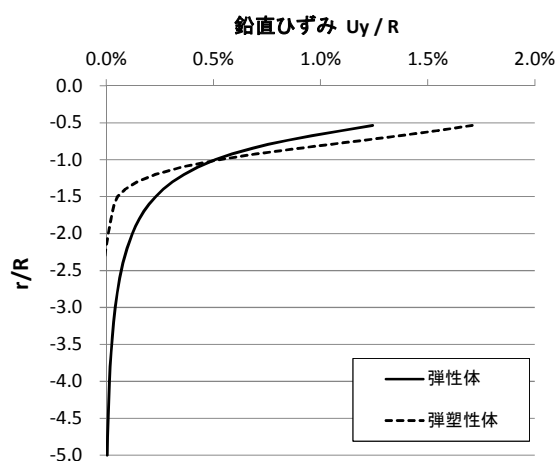


図 6 底盤下に発生する膨潤ひずみ