

温度・湿度条件による堆積岩トンネルの不安定化のプロセス

(財) 電力中央研究所 正会員 ○澤田昌孝 正会員 岡田哲実
 (財) 電力中央研究所 中田英二 釧路コールマイン (株) 市原義久
 University College London 正会員 奈良禎太

1. はじめに

重要地下構造物の建設が検討される中で、それらが堆積岩中に建設される場合には、長期におよぶ操業期間中の岩盤のクリープ変形等によるゆるみの進行が懸念される。また、堆積岩の中には、水分状態の違いにより強度特性が大きく異なり、顕著なスレーキング特性を示すものがある。これらの岩石の特性は室内試験では把握されているものの、トンネルの長期的な安定性に及ぼす影響については、必ずしも十分な評価手法が確立されていない。評価手法を確立するためには、トンネルの不安定化の事例を検討することが重要と考え、堆積岩トンネルの長期的な変形・不安定化現象について現地での観察・計測を行い、観察された不安定化現象のメカニズムについて検討した。

2. トンネル不安定化の観察

鉱山には、供用を終えてメンテナンスされなくなったトンネルが多数存在し、土木のトンネルと比較して、トンネルの不安定化を容易に観察できる。そこで、釧路炭鉱の海底下 225m (水深 15m) の古第三紀堆積岩 (砂岩優勢) 中に長さ 40m の計測用のトンネルを設け、その一部区間において支保の鋼枠を撤去すること (曳き枠) により、トンネルの変形・不安定化を加速させる試験を実施した。計測トンネルでは、坑壁の不安定化が観察され (図 1)、光ファイバひずみ計測や 3D レーザー変位計を用いた計測により、その挙動を検出・定量化した。

計測トンネルの掘削後、曳き枠以外にはトンネル周辺の応力を大きく変化させるイベントはなかったが、トンネル内が相対的に高温・高湿となる時期 (7~9 月、図 2) にトンネル壁面岩盤のブロック化・崩落が観察された。崩落に伴い、トンネルの断面形状が変化していく様子を計測したところ、崩落岩盤ブロックの最大長さは 1m 程度であった。

3. 水分条件による力学特性の変化

釧路炭鉱の岩石の強度は、岩石中に存在するスメクタイトの特性により、飽和度・水質の影響を受け、飽和状態では自然含水状態よりも強度が著しく低下し、スレーキング特性も顕著である。さらに、海水で飽和したときよりも、蒸留水で飽和したときの方が、強度低下が著しいという特性がある (図 3)。また、温度・相対湿度を制御して実施された亀裂進展試験 (ダブルトーション法) では、高湿条件 (20℃, 85~90%) において低湿条件 (20℃, 20~30%) と比較して亀裂の進展速度が著しく大きくなる¹⁾。この結果から Evans & Johnson²⁾に基づき、引張強度と

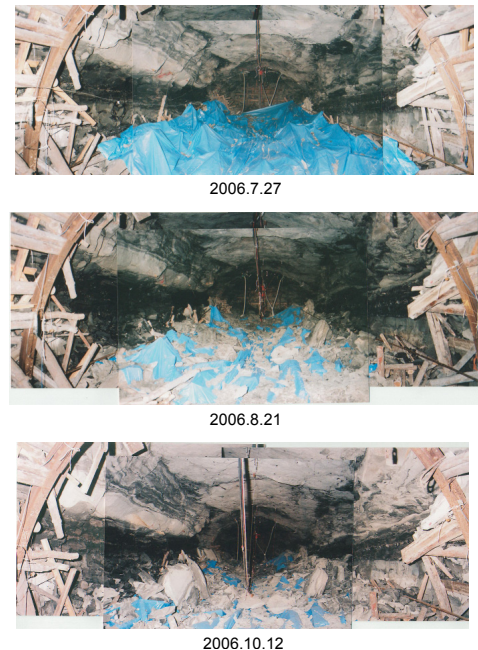


図 1 トンネル不安定化の進行

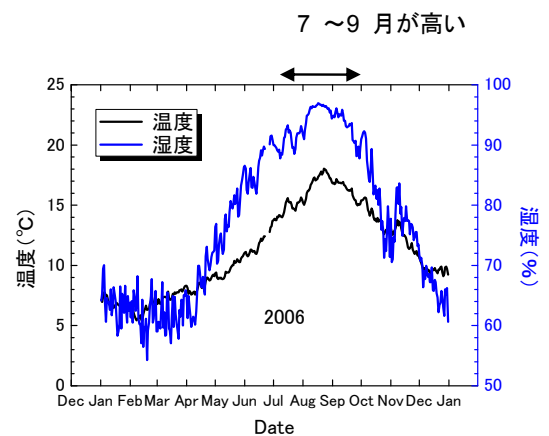


図 2 温度・湿度の年変動

キーワード 堆積岩, トンネル, 相対湿度, 有限要素法, スレーキング

連絡先 〒270-0021 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財) 電力中央研究所 地球工学研究所 TEL 04-7182-1181

ひずみ速度の関係を求めると、図4のようになる。図3に示した引張強度を求めた圧裂引張試験でのひずみ速度は 10^{-5} /s程度であり、このときの引張強度は図4より高温条件で約2MPa、低温条件で約3MPaである。計測トンネルが高温(90%以上)となるのは6~9月の4ヶ月間であり、これと同等の期間での高温条件の引張強度(ひずみ速度 10^{-9} /s程度)を読み取ると、約1.4MPaであり、ひずみ速度 10^{-5} /sの高温条件の約70%、低温条件での引張強度の50%以下まで低減すると評価できる。

4. 強度低下と不安定化領域

亀裂進展速度の上昇により、引張強度だけでなく、せん断強度も低下していると考えられる。上記の引張強度の低下の程度は図3における自然含水状態からNaCl水で飽和した場合の低下にはほぼ整合する。そこで、坑内が高温条件で数ヶ月経過した場合の強度曲線が、NaCl水で飽和した場合の強度曲線に一致すると仮定し、有限要素法解析により不安定化領域の検討を行った。解析は2次元平面ひずみモデルで行い、岩盤を線形弾性体であると仮定した。図5に解析から得られた計測トンネル周辺での局所安全率の分布を示す。図5下に示した局所安全率1.5以下の領域は、図5上と比較して最大1.0m程度の深部まで到達しており、計測トンネルで観察された崩落岩盤ブロックの規模と一致する。通常、局所安全率1.0以下を破壊と評価するが、強度曲線は岩石試験から得られたものを用いており、岩盤は節理等の割れ目の影響のため岩石よりも強度が小さいと考えられる。

5. おわりに

以上のように、坑外との換気に伴う温度・湿度の変化により、掘削後は安定したトンネル壁面が、長期的に不安定化する可能性がある。特にスメクタイトを含む堆積岩の場合は、含水による強度特性の変化に注意を払い、吹付工を速やかに実施するなど温度・湿度変化の影響を抑える必要がある。この処理が不十分であると、作業中に坑壁が不安定化し、作業員に危険が及び、ゆるみ領域が進展する可能性がある。

参考文献

1) Nara, Y., Fujii, Y., Ichihara, Y., Sawada, M., Tomita, S. and Kaneko, K.: Effects of the relative humidity on the crack growth in rock, *Proc. 70th EAGE Conference & Exhibition*, 3416, Rome, Italy, 2008. 2) Evans, A. G. and Johnson, H.: The fracture stress and its dependence on slow crack growth, *J. Mater. Sci.*, Vol.10, pp.214-222, 1975.

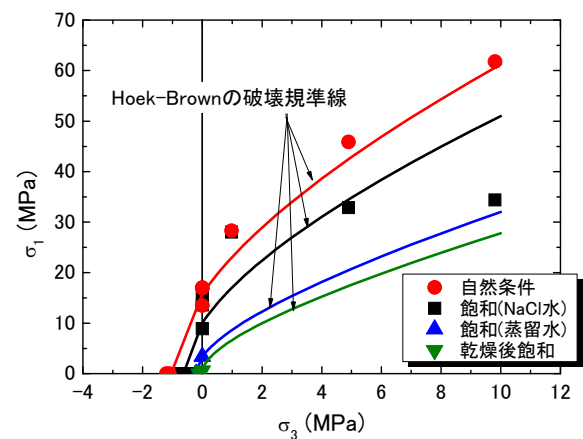


図3 岩石の強度

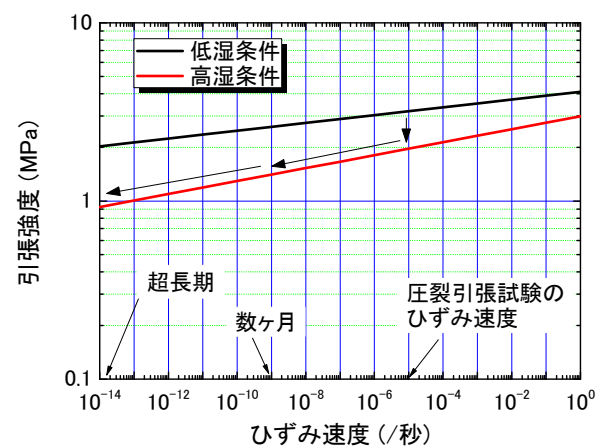


図4 引張強度の長期的な変化

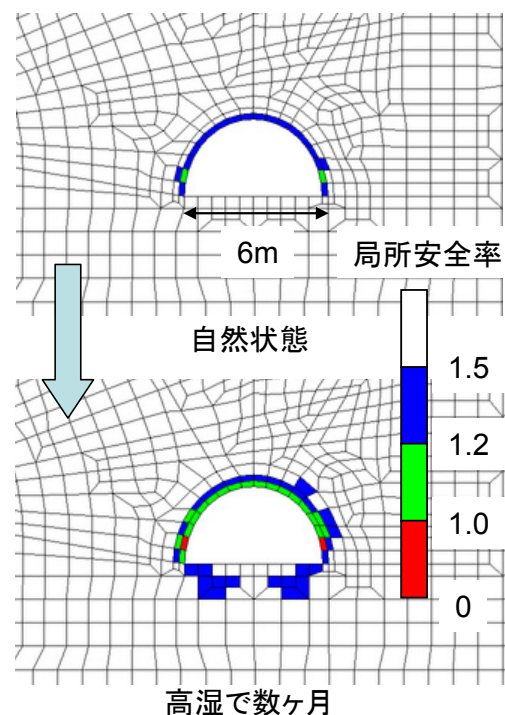


図5 局所安全率の変化 (FEM 解析)