

III-197 軟岩の劣化を模擬する試験装置の開発と1つの実験例

電力中央研究所 正会員 千木良 雅弘
 電力中央研究所 曾根 賢治
 電力中央研究所 志田原 巧

1. はじめに

岩石とくに軟岩は、化学的風化によって短期間に著しく劣化する場合があるため、その長期強度を考える場合には単に応力と変形という見方だけでなく、このことを考慮することが必要である。筆者らは、できるだけ実地山に近い条件で岩石の劣化を模擬するために新しい装置を開発し、実験を進めている。ここでは、その実験結果の1例として、岩石の劣化に及ぼす溶存酸素の効果および鉱物学的に見たその原因について報告する。溶存酸素の効果は従来ほとんど注目されていない。

2. 試験装置、試料、および実験条件

試験装置は、12ヶの試料を水中で1軸圧縮できるような水槽と、水質測定槽、水質調整槽、温度調整槽、油圧ユニット、およびコントロールパネルからなる（図-1）。試験槽中の水は、水質測定槽、水質調整槽、および温度調整槽を巡環しており、pH、DO、水温は一定に保たれる。圧縮荷重は12ヶの試料すべて同じであり、油圧ユニットにより制御される。この装置は、岩石の劣化に及ぼす要因（応力、pH、溶存酸素）の評価に用いることができる。また、本装置は応力をかけた状態で湿潤乾燥を繰り返すことの可能な装置と対応するものである。

実験に供した試料は、新潟県の新第三系能生谷層の暗灰色砂質泥岩である。地表から約10mの位置で採取後、50cm×100cmの円柱に整形し、水中に約2ヶ月放置した。この際水面はビニールでおおい、試料と空気との接触をできるだけ避けた。試料の構成鉱物は、X線分析および光学顕微鏡観察によれば、石英、長石、スメクタイト、イライト、クロライト、および黄鉄鉱である。黄鉄鉱は、径数 μm ～数10 μm のランボーイタル黄鉄鉱（FRPと略記する）であり、鏡下ではかなりの量を認めることができるが、X線分析ではわずかに認められるのみである。これらの構成鉱物の中では、高酸素濃度下で不安定かつ反応速度が大きいと考えられるのはFRPである。

実験は、低圧（圧縮応力5 kgf/cm^2 ）、中性（pH=7）、高酸素濃度（DO=13.5 mg/l 、水道水は約10 mg/l ）下で水温15 $^{\circ}\text{C}$ で行った。実験の流れは図-2に示すように、最初12ヶの試料を加圧し、時間の経過に従って順次1ヶずつ試料を取り出し、1軸圧縮試験、弾性波速度測定（ V_p 、 V_s ）、圧裂試験、湿潤密度測定、乾燥密度測定、光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡（SEM）による観察を行った。試料の直径方向の V_p は加圧した状態で水中で経時的に測定した。

3. 岩石の物性変化

測定した岩石の物性値を図-3に示す。加圧下で経時的に測定された V_p は時間の経過とともに明確に減少している。すなわち、初期には2.1 km/sec であったものが、7日後には1.85 km/sec となり、20日以後は1.75 km/sec でほぼ一定となっている。取出時の試料長軸方向の V_p は測定方法が異なるためこれらよりも約100 m/sec 低い値となっているが、同様の傾向を示している。

V_s は、初期には550 m/sec 程度であり、17日までに400 m/sec 程度

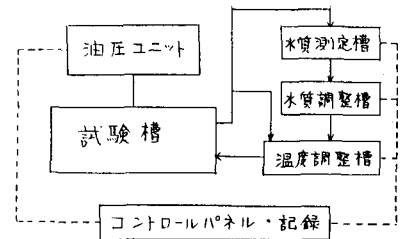


図-1 試験装置の概要

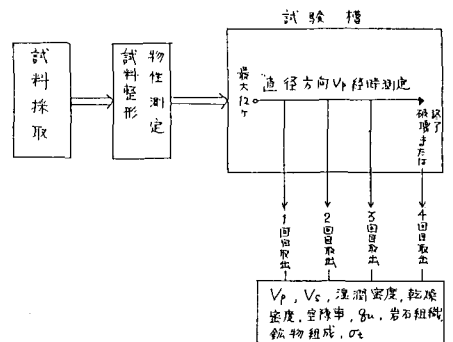


図-2 実験の流れ

まで一旦減少し、その後やや増加し34日以降は一定となっている。ただしいずれの値も初期の値より小さい。

g_u は、新鮮なものは約 30 kgf/cm^2 であり、時間の経過につれて減少傾向を示すが、これについては試料数が少ないため、現在追加実験を行っているところである。その他についても同様である。

4. 鉱物の組成・組織の変化

構成鉱物のうち、組成・組織に顕著な変化が現われたのはフランクイダル黄鉄鉱 (FRP) である。FRPは時間の経過とともに明瞭にその組成・組織を変化している (図-4, 5)。9日目 (図-4の1st)には試料の縁から内側に向かって1~2cmまでFRPの溶解が進んでいる。この時期のFRPはあまり組織を変えていないが、SEMにとりつけたエネルギー分散型分析装置での分析ではSが溶脱されている。Sが溶脱されているのはこの時期の試料と17日目 (2nd)の試料の中心部のみである。この時期は図-3に示したように V_p が急激に低下した時期にあたる。17日目 (2nd)にはFRPの新鮮部は試料中心部にわずかに残るのみとなり、試料の大部分で丸いホイチゴ状になる。この時期は V_s が最小の時期にあたる。34日目 (3rd)にはFRPの新鮮部は消滅しており、その表面も花弁の多い花のような形態になる。また、FRPの周囲にFeとSiとからなる沈殿物が生じ始めている。51日目 (4th)にはFRPの溶解は更に進んでおり、その表面は微小な凹凸に富むようになり、やはり周囲にFeとSiが沈殿している。

このように少なくとも V_p の減少傾向はFRPの溶解段階に対応しており、両者の間に何らかの関連があるものと考えられる。試料内のFRPは、その形態変化から判断して周囲の水から拡散した O_2 によって酸化され溶解したものと判断される。その際、FRPは O_2 に酸化されることによりその周辺を酸性にする性質を持つため、FRPのみでなく周囲の鉱物も性質を変化した可能性がある。

5. おわりに

新たに開発した試験装置を用いた実験例を示し、泥岩の劣化におけるフランクイダル黄鉄鉱の重要性を示した。

野外においては、フランクイダル黄鉄鉱を多く含有すると思われる黑色泥岩地帯に地すべりが多発することが知られている。今後、これらのこ

とも考慮して、実験条件または実験試料を変えて検討してゆく予定である。

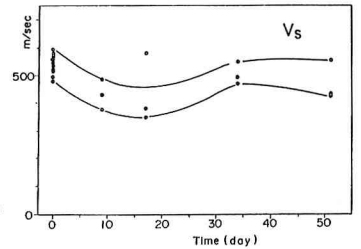
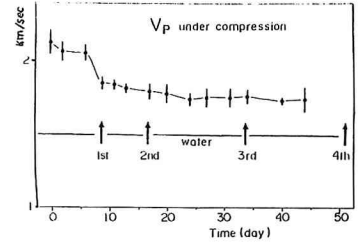


図-3 実験経過時間に伴う V_p (直径方向)と V_s の変化

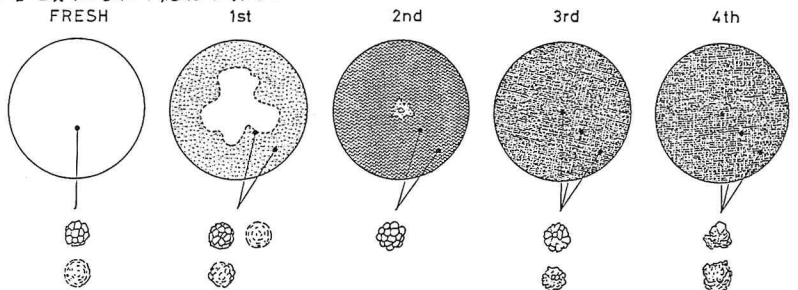


図-4 フランクイダル黄鉄鉱の組織の変化。1st~4thは試験槽からの取出し順序を示す。上：試験体の横断面、下：フランクイダル黄鉄鉱の模式図。1stのものゝ外側のフランクイダル黄鉄鉱の表面は硫黄を含まない。

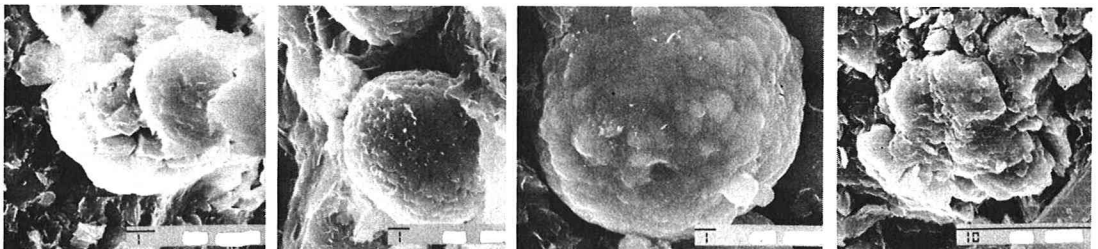


図-5 フランクイダル黄鉄鉱のSEM像。左から新鮮、1日目、2日目、4日目取出しの試料。スケールの単位は μm 。