夾炭層岩石のスレーキング特性*

——夾炭層岩石の力学的諸特性に及ぼす水分の影響(第3報)——

一ノ瀬政友¹ 内野健一² 松井紀久男³

[UDC 622.834/622.333]

Slaking of Coal Measure Rocks

—— Effect of water on mechanical properties of coal measure rocks (3rd Report) ——

by Masatomo ICHINOSE¹, Kenichi UCHINO² and Kikuo MATSUI³

Coal measure rocks in Japan tend to deteriorate their mechanical properties by the presence of water. Most rocks around roadways and workings in the coal mines are liable to be exposed to water from the strata and other sources. Therefore, knowledge of the effect of water on the mechanical properties of coal measure rocks is of great significance for strata control in coal mining operations such as the maintenance of roadway and the face support and for the utilization of these rocks as back filling materials.

In the present paper durability of coal measure rocks for water is investigated by means of three different kinds of slaking tests. The practical applicability of these tests to coal measure rocks is discussed and the contributory factors to slaking and their correlation with other properties such as uniaxial compressive strength and montmorillonite content are also investigated.

[1 ~ 3. Faculty of Engineering, Kyushu University. 1. Research Assoc., Dr. 2. Prof., Dr. 3. Assoc. Prof., Dr.]

1. 緒 言

自然状態で地中に存在しているときは、かなりの固結力を示す岩石が、掘削などによって大気中に暴露されることによって、その含有水分や温度が変化するなどの環境変化を受けると固結力を失って、あるいは組織が破壊して崩壊し、粒状化、泥状化することがある。この現象はスレーキング^{a)}と呼ばれている。岩石のスレーキング現象に関する調査は、岩石と水分との関係を論ずる場合に、岩石の水分に対する耐久性を調べるという意味で、工学的に重要である。既に第1報¹⁾において述べたように、本研究で対象とした夾炭層岩石である頁岩の大部分には、強度試験用の供試体を湿式で作製中に、あるいはその含水率を水中や高湿度下で調整している期間中に、崩壊を起こす現象が生じた。この現象は一種のスレーキングとみなすことができる。

実際の炭鉱現場における坑道周辺の岩盤や切羽の上下盤は、掘削後湧水や排水溝(特に素掘の溝)からの水に、また空気(通気)の湿分変化にさらされ続ける。従って、このような環境条件によってスレーキング現象が生じると、坑道の崩壊・断面収縮、切羽の上下盤の崩壊・軟化をもたらす、地圧制御上大きな問題を引き起こすことになる。

また、現在保安上の重要な問題となっている坑内火災対策として、坑道の不燃化、難燃化が挙げられている。この対策のひとつに、坑道支保柱と地山の当たり付けのために可燃物である成木などを用いず、西ドイツや英国に見られるように、支保柱裏に金網などを張り、裏込材料として岩石を用いる工法がある。このような方式を採用するとすれば、用いる岩石は、現状では主に経済的な理由からその炭鉱で必然的に発生する掘進硬(研)を利用せざるを得ず、とすれば裏込材料岩石は水分に対する耐久性をもつことが必要となる。すなわち、これらの岩石もまた高い湿度の通気や湧水にさらされることになる。従って、もしこの間にこの材料がスレーキングを起こして細粒化、粉化すれば金網から漏れ落ち、支保材としての役割を失うに至る。

以上のような理由から、坑道や切羽の維持対策や炭層周辺の岩石の有効利用を図る上でも、夾炭層岩石の水分に対する強さ、すなわち、水分に対してどの程度の耐久性を持つかという意味で、スレーキング性の把握・評価は重要である。

2. 試験方法、試験装置および供試岩石

スレーキングに関する試験は種々の試験法が提案されているが、いずれもスレーキング現象の程度を表す指標(Index)を求めるものであり、供試体に対して乾湿を多数回繰り返す方法、および試験の迅速性を考慮して供試体を単に水中に放置する、いわゆる

a) 浸水崩壊度や浸水崩壊性という言葉も使用されているが、本文ではスレーキングと呼ぶことにする。

* 1988年4月27日受付 12月3日受理 昭和56年11月日本鉱業会九州支部秋季例会、昭和61年6月同春季例会および昭和62年12月岩の力学連合会第7回岩の力学国内シンポジウムにて発表
1. 正会員 工博 九州大学助手 工学部資源工学科
2. 正会員 工博 九州大学教授 工学部資源工学科
3. 正会員 工博 九州大学助教授 工学部資源工学科

簡易スレーキング試験法と呼ばれる方法に大別される²⁾。

本研究では簡易スレーキング試験法³⁾、数回の乾湿を与えるためにJISに規定されている骨材の安定性試験法^{4)b)}の手法を利用した方法、およびISRM(International Society for Rock Mechanics)により提案されたSlake-Durability Index Testの指針⁵⁾(本文では以下ISRM指針と略す)による方法の3種の手法を採用し、夾炭層岩石のスレーキング特性を求め、また、これらの手法の夾炭層岩石への適用性を比較検討した。なお、これらのスレーキング試験に供した岩石試料のほとんどは、第1報¹⁾で用いた試料と同じであるが、さらに三池鉱業所四山鉱の上層上下盤の試料(砂岩が主である)を加えている。

2・1 簡易スレーキング試験法

この方法は岩石試料を水中に放置し、時間経過に伴う形状の変化を形状変化の模式図と比較して観察するものである。本研究における観察基準は、吉中らの観察基準³⁾を参考にし、夾炭層岩石の特徴^{c)}を加味して、下記のような5段階のスレーキング指数(以下S.I.と略す)を定義した。

- S.I.0: 変化しない。またはほとんど変化を認め得ない。
 - S.I.1: 亀裂が入る。または表面から砂状の粒が脱離する。
 - S.I.2: 亀裂が開き、鱗片状態に剥離、または粒状化するが、泥状化はしない。
 - S.I.3: さらに鱗片状に剥離、または粒状化して、部分的に泥状化する。
 - S.I.4: 完全に鱗片状、粒状化し、かなりの部分が泥状化する。
- また、観察時間は1, 2, 4, 8, 24, 48および72時間を基本とし、一部についてはさらに長時間にわたり観察を続けた。試験用試料は、整形可能なものは一辺5 cm程度の立方体状とし、整形が困難なものは5~8 cmの塊状に砕いてその角や稜を落とし、50℃で乾燥させたものである。

2・2 骨材の安定性試験法に準じた方法

骨材の安定性試験法は、岩石試料を硫酸ナトリウム液中に浸す操作と乾燥する操作を繰り返し、繰り返す毎に試料が3片以上に碎けるか否かを観察し、3片以上に碎けたものを試験前の量から差し引くものである⁴⁾。本研究では、岩石試料の量の関係からこの方法の規定の一部を変更した。その変更点は、試験試料個数50個を10個とし、かつその1個約100 gを50 gとしたこと、および硫酸ナトリウム飽和溶液は用いず^{d)}蒸留水としたことである。

本法による損失重量百分率は次式で定義されている。

$$L_n = \left(1 - \frac{W_n}{W_0}\right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 L_n : 岩石試料の損失重量百分率(%), ただし n は乾湿の繰返し回数

W_0 : 試験前の試料重量(g)=10個の合計値

W_n : n 回の乾湿繰返し後、3片以上に碎けたものを除いた後の試料重量(g)

2・3 ISRM指針による試験法

この方法の基本原理は、岩石試料に乾湿を与えるごとに2 mmの網でふるい、この網に残る量を計量するものである⁵⁾。ISRM指針に従って試作した試験装置の概略を図1に示す。試料かん(ドラム)①の供試体を入れる部分は直径140 mm, 長さ100 mm

b) 浸液減量試験とも呼ばれている。

c) 頁岩の場合はオニオン状に剥離し、粒状とはならず扁平な形の細片状態となるものが多い。

d) この方法は元来、岩石中の水分が凍結を受けて体積を増すのと類似の条件を与えるために、岩石空隙中に硫酸ナトリウムの結晶を生じさせて、凍結による分解作用を知るためのものである。本試験では単に乾湿による崩壊を目的としているので蒸留水を使用した。

①試料かん(ドラム) ②水槽 ③モーター(速度可変)
④モーターのコントローラ ⑤ベルト ⑥回転積算計
(on, off 出力付) ⑦回転計のピックアップ部

図1 ISRM指針による試験装置

の円筒となっており、この側面は9 mesh(2 mm)のステンレス網である。なお、秤量感度はISRM指針では0.5 gとしているが、正確を期すため0.1 gとした。試験の手順を簡単に述べると以下のようである。

- i) 試料かんに1個40~60 gで球状に整形した試料を10個入れ、105℃で2~6時間乾燥した後冷却して重量を測定する(W_0)。
- ii) これを水槽にセットして10分間で200回転させる。この後水槽から取り出し、105℃で恒量になるまで乾燥し、冷却して重量を測定する(W_1)。
- iii) ii)の操作を繰り返して $W_2, W_3, \dots$ を測定する。

本法による耐スレーキング性指数は次式で定義されている。

$$Id_n = \frac{(W_n - D)}{(W_0 - D)} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 Id_n : 耐スレーキング性指数(%), ただし n は乾湿の繰返し回数

W_0 : 試験前の(供試体+試料かん)の重量(g)

W_n : 乾湿を n 回繰返し後の(供試体+試料かん)の重量(g)

D : 試料かんのみの重量(g)

ISRM指針によれば乾湿2回繰返しのときをもって耐スレーキング指数 Id_2 を計算し、かつこの指数が10%以下の場合には、乾湿1回繰返しのときの指数を付加表示することになっている。ただし、本研究ではこの乾湿の繰返し回数の影響をさらに詳しく検討するため、5~6回の繰返しを行ない、この指数の変化も求めた。

3. 試験の結果および試験法の検討

前章で述べた3つの試験法によって得られた結果の代表例を表1に示すようである。以下、各々の試験法による結果と試験法自体の問題について検討する。

3・1 簡易スレーキング試験法

この試験によれば、頁岩(砂質頁岩を含む)のスレーキング状態の特徴は、以下に述べるようにおおそ3つに分類できる。すなわち、i) 粒化、細片化して泥状に至るもの、ii) 粒化、泥状化というよりは、オニオン状に剥離するもの、iii) かなりの部分は泥状化しても一部分がある程度の大きさで残る状態、いわゆる玉じゃり風なものが泥状化したものの中に存在するような状態のもの、である。このうちii)の状態を示すものが最も多く見られたが、iii)のような現象は泥岩や固結力の弱い砂岩などでは認められない現象であり、頁岩のひとつの特徴とみなすことができよう。

表1には試験経過時間1, 2, 4, 24および48時間のときに観察したS.I.値を掲げた。各試料の試験個数は3~7個であり、表中の値はこれらの平均した値である。ただし、S.I.2~3のように表示したものは、S.I.2とS.I.3が同数個の場合である。また、図2に池島鉱業所および高島鉱業所の頁岩試料の、図3に三池鉱業

表 1 代表的試料のスレーキング試験の結果, S.I., L_n , Id_2

試料略称名	岩種	S. I.						L_n (%)		Id_2 分類
		経過時間(時)					2~3 (月)	L_3	L_5	
T.G.O.R	Sh	0	1	1	2	3		91	100	
T.G.O.G	"	2	3	3-4	4	4		100	100	
T.G.O.F	"	1	2	3	4	4		100	100	
T.BA.R	"	1	1	2	3	3		91	100	
T.BA.F	"	1	1	2	3	3		89	100	
T.18.R	"	1	2	2	3	3		100	100	
T.18.F	"	1	2	3	3	3		100	100	
T.18.10	SSh	0	1	1	2	2	3	83	100	
T.18.15	"	0	0	0	1	1	3	80	91	
T.18.25	"	0	0	0	1	1	4	52	77	
A.JO.R(220L)1	"	0	0	0	0	0	1	12	20	
" 2	"	0	0	1	2	2	4	77	87	
" 3	"	0	0	0	1-2	2				93.8 中強
I.18.R(3)	Sh	0	1	1	2	3				
I.18.F(3)	"	1	1-2	2	3	3				
I.4.R(3)1	"	0	0	0	0-1	1				98.6 極強
" 2	"	0	0	0	0	0-1				99.2 極強
I.18 K.R(S) 1	"	0	0	0	0-1	1-2				93.7 中強
" 2	"	0	0	0	1	1-2				92.9 中強
I.18 K.F(5)	"	0	1	1-2	2	3				55.0 弱
I.18 K.R(5)	"	0	0	1	1	2				85.5 中強
N.HORO.Sh	"	0	0	0	0	0				99.1 極強
N.HO.R	"	0	1	2	2-3	3				40.6 弱
AI.SS	SS	0	0	0	0	0		0	12	
MA.SS	"	0	0	0	0	0				
ME.SS	"	0	0	0	0	1		11	21	
AR.SS	"	0	0	0	0	0		0	11	
Y.JO.R, SS(35) 2m	"	0	0	0	0	0				98.4 極強
" 9m	"	0	0	0	0	0				94.0 中強
" 18m	"	0	0	0	0	0				91.7 中強
Y.JO.F, SS(35) 8m	"	0	0	1	1	1				80.9 中
" 10m	"	1	1	1	2	2				92.8 中強
Y.JO.F(35) 13m	Sh	1	2	2	2	2				64.3 中
										70.1 中

*) SS: 砂岩, SSh: 砂質頁岩, Sh: 頁岩

所四山鉾の砂岩試料の経過時間48時間のときのS.I.値の頻度分布を示す。これらの図表から明らかなように、頁岩は水浸後数時間から2日程度でS.I.2-3となるものが多く、全体的にはスレーキング性が大きいと言えるであろう。一方、砂岩はS.I.0が多く、一部の例外はあるが、数日間程度の観察ではほとんど変化が認められない。

この試験において見出された試験手法上の問題点を挙げてみると、まずその観察期間がある。簡易試験という意味から、この試験の観察期間は最大数日間とされ、この期間でスレーキングの程度が評価できるとされているが²⁾³⁾⁶⁾、この程度の期間ではほとんど変化を示さないものでも、例えば、表1のT.18.15やT.18.25のように、数カ月間放置すると完全に粒状・泥状化するものがあり、その程度は数日間でスレーキングするものよりむしろ激しい。従って、この種類の岩石については、通常よく用いられるような圧縮試験などの強度試験値のみによっては、長期間にわたる強度特性を評価できないことになる。このことは相当長期間保持されねばならない坑道の維持対策や支保の設計、あるいは坑道裏込材料としての岩石選定に関して重要な意味を持っている。このように数日間の観察ではスレーキングの程度や速さについて、長期間におけるそれは適切に評価できない場合があり、この点から目的によっては観察期間をさらに長く取る必要があると判断される。

次に、スレーキングを起こした試料の崩壊片のサイズの問題がある。この方法では試料崩壊の状況、とくにそのサイズを観察によって見積もり、S.I.値を決定することになるが、この見積もり

図2 48時間後のS.I.値の頻度分布 (池島, 高島の頁岩試料)

図3 48時間後のS.I.値の頻度分布 (三池四山鉾の砂岩試料)

が困難な現象が見られた。この崩壊片のサイズを判定する手法として、観察のみによらず、スレーキングした後の崩壊片の粒度を測定する方法もある。そこで、一部の頁岩試料について簡易スレーキング試験を72時間行なった後で、9, 32および200 mesh (各々2, 0.5, 0.074 mm)のふるいにより湿式でふるい、その粒度分布の測定を試みた。この結果によれば、この粒度分布とS.I.値には明確な相関性を見出すことは困難であった。すなわち、粒度分布を調査した試料はいずれも72時間後のS.I.値は3ないし4であったが、粒度分布は2つに大別された。ひとつのグループは、普通の破碎結果に見られるように中間産物が多い分布を示したが、いまひとつのグループは、+9 meshと-200 meshが多い分布を示した。この後者に属するような現象は、前に述べたiii)の特徴に見られたように、試料の一部分がある程度の大きさで残るという特徴によるものと考えられる。細かく崩壊する方がスレーキングの程度が大きいという観点で見ると、この後者のような分布状態の場合は、サイズが大きいものも多いので、その程度の判断が難しい。

3・2 骨材の安定性試験法に準じた方法

この方法は、完全乾燥と水浸を繰り返す方法であるため、簡易スレーキング試験に比べれば過酷な条件を与える試験法である。この試験は、簡易スレーキング試験の観察期間の問題に対して、

より過酷な条件を与えることで、長期的な特性を短期間の試験によって予測、推定しようとして試みたものである。表1に L_n の値の例として、乾湿3回(L_3)および5回(L_5)の繰り返しのものを示した。この表に見られるように、ほとんどの頁岩類は高い L_n 値を示す。この試験の本来の目的である骨材としての岩石の適性を判定するという観点からすれば、ほとんどすべての試料は不適格である。ここで、この試験の L_n 値とS.I.値との対応性を見てみると、この表に見られるように、48時間後のS.I.値が3や4のものは L_5 は100%であり、同じく0や1のものは20%以下である。また、S.I.値が短い時間で3や4に達するものは L_3 でも100%となっている。すなわち、この両試験の結果には相関性を認めることができる。

前に、簡易スレーキング試験の問題点のひとつとして浸水期間(観察期間)を指摘したが、この点を L_n 値と比較してみると、例えば、A.JO.Rは数カ月後のS.I.値は1、 L_5 は20%であり、一方、前に特例として示したT.18.15やT.18.25のS.I.値は3ないし4、 L_5 は80~90%である。このような結果を見ると、この方法の方が簡易スレーキング試験によるよりは、長期間におけるスレーキングの程度をより適確に表すことができると思われる。しかし、実技上この方法の最大の欠点は、供試体が3片以上に砕けたかどうかを判定するのが難しいということである。例えば、供試体から小片程度のものが剥離、崩落する場合などに、これを砕けた1片と数えるかどうか、である。

以上に述べてきたように、この両試験を併用すれば単一の試験によるよりも、より確実にスレーキングの程度を表現することができると言えるが、いずれの試験法も岩石試験片の観察によるのが大きく、数量化の面で難点があること、また時間的な変化が表現しにくいこと、などの問題点が残る。

3.3 I SRM指針による試験法

この試験で得られた Id_2 の代表例は表1に示すようであるが、乾湿の繰り返しによる Id_n の変化を見た結果を図4に示す。なお、表1中の「分類」はGambleの分類⁷⁾に従ったものである。この図に見られるように乾湿を繰り返す毎に Id_n は低下するが、この様子は各試料により異なり次の3つのグループに大別される。すなわち、i)きわめてわずかししか低下しないもの、ii)緩慢ではあるが一定割合で低下するもの、iii)最初の数回の繰り返しで急速に低下するもの、である。ここで試験中の供試体の様子の観察と

この3つの分類とを比較してみると、i)の場合は供試体は崩壊せず、ただ表面の摩耗現象により小さな粒子が落ちていく状態が観察される。iii)の場合は急速に供試体が崩壊して細粒化する。このような両者の差を Id_2 の値で表せば、各々およそ95%以上、50%以下となり明確な区別が可能であるが、問題があるのはii)の場合であり、さらに2つのグループに分けられる。そのひとつは、供試体が崩壊はするが2mmの網を通過するほどには容易に小さくならないものであり、いまひとつはi)の状態がより激しいものである。これらは(2)式では同程度の数値が得られるため、この値のみではこのような現象の差を表現することが困難である。前述したように、簡易スレーキング試験における結果によれば、夾炭層の頁岩は鱗片状に割れても細粒化しない場合が多く観察され、これは今述べたii)のグループの前者のような状態に対応する。従って、この種類の岩石試料に対しては、この耐スレーキング性指数を用いる場合に注意を要する点である。そこで、このようなii)のグループの両者の区別をより明確にするため、網目を3.5 mesh (5.66 mm)に換えて試験を行なってみた。この結果によると、ii)の前者の Id_n は小さくなり、後者のそれはほとんど変化がなく、その差異を多少なりとも表現することができた。しかし、この網目が適当か否かはさらに検討しなければならない。

ここで、簡易スレーキング試験によって得られるS.I.値と、本試験で得られた Id_2 の対比を行なってみる。S.I.値として48時間後の値を考えてみると、表1に見られるように、 Id_2 が95%以上のものはS.I.値は0ないし1であり、 Id_2 が50%以下のものはS.I.値は3ないし4である。従って単にスレーキングの難易を表すという意味では両試験には相関性が認められる。しかし先に述べたように、ii)のグループの岩石においては、ある程度のサイズに割れるものがあるため、S.I.値ではより大きな数値と決定され易い。

ISRM指針による試験を試みた結果を検討してみると、以下のような問題点が挙げられる。まず第一に、試験用供試体を作製する場合の問題がある。すなわち、40~60gの球状に整形する時、岩石をカッター等で立方体状にカットし、またはハンマー等で塊状に砕いてその角や稜をグラインダやヤスリで落さねばならないが、この作業中に弱い部分は崩壊する可能性が大きい。実際には弱い頁岩類(簡易スレーキング試験で1日程度のS.I.値が2以上のもの)はほとんどその供試体を作製できず、試験に供し得なかつた。また供試体を作製し得たとしても、この供試体は岩石の強い部分となりがちであり、試料岩石全体を代表し得ないという恐れが残る。このことは特に不均質な岩石の場合には重要な問題であると思われる。

次に、供試体が崩壊を起こしても、そのサイズにより得られる耐スレーキング性指数はかなり異なる場合があるため、この指数のみでは崩壊の状態を表すには不十分のように思える。さらに、乾湿2回繰り返しの Id_2 のみでは不十分の場合があり、乾湿の繰り返しをもう少し増やした方がより正確な判断ができると考えられる。しかしこの方法は、スレーキングの程度を数量化し、またその試験を迅速化する点では確かに有効なひとつの方法であり、さらに、坑道裏込材料岩石を選定する場合については、他の2つの方法よりも選定上の信頼性はあるものと判断される。

図中の試料番号；試料略称名

1; AR.SS 2; O.T 3; I.4.R(3)1 4; I.4.R(3)2 5; I.18K.R (S)1
6; I.18K.R(S)2 7; A.JO.F(220L)2 8; N.HORO.Sh 9; N.HO.R
10; I.18K.R(F)5 11; I.18K.R(5) 12; Y.JO.F.SS(35)11m
13; Y.JO.F(35)13m 14; Y.JO.R.SS(35)18m

図4 乾湿の繰り返しによる耐スレーキング性指数の変化(砂岩；1, 12, 14, 砂質頁岩；7, 凝灰岩；2, 他は頁岩)

3・4 3種類の試験法についての比較, まとめ

3種類の法によりスレーキング性を観察・計測したが, 前述したようにいずれの方法も一長一短があり, どの方法が最良とは決定しがたい。しかし, 本研究に供した頁岩のような岩石に対しては, 骨材の安定性試験に準じた方法は, 前述した実技上の問題点から適用することが困難である。従って, 簡易スレーキング試験とISRM指針による試験を併用することが, より適確であると考えられる。また, ISRM指針による試験法では, 岩石の崩壊状態を調査するという観点に立てば, 用いる網目をもう少し大きくした方が良いと思われるが, 現在この点については実験, 検討を継続中である。

4. 強度およびモンモリロナイト含有量との相関性

ここで3種のスレーキング試験から得られた名試験値, S.I. 値, L_n および Id_n と一軸圧縮強度との対応性の検討を行なってみる。表1に示した各スレーキング試験値と, 第1報¹⁾で示した一軸圧縮強度の S_{cd} (乾燥あるいは相対湿度14%(25℃)で養生), S_{cm} (相対湿度96%(25℃)で養生), S_{cw} (水中養生)の各測定値とを対比してみると, 明確な相関性を見出すことはできない。しかし, S.I. 値との比較で考えるとすると, 少なくとも48時間後のS.I. 値が2以下の試料の S_{cd} は全て500 kg/cm²以上であり, かつ S_{cm} も S_{cw} も200 kg/cm²程度以上であると言える。またこれら試料のほとんどは, その強度試験用の供試体の作製が湿式で可能なものに相当する。 Id_n との比較においても, Id_2 が95%以上であれば全く同様なことが言える。 Id_2 が80~95%程度のものは S_{cw} , 特に頁岩の場合の S_{cw} の計測に困難なものが生じてくる。すなわち, その養生中に亀裂の発生や一部分の崩落を生じ, 強度の測定が不可能なものがある。このように定性的であるが, スレーキング試験によっても, おおよそその強度の予測や含水による強度の低下状態の把握の一助に資することができる。

スレーキング性を岩石の水分に対する安定性という意味でとらえれば, 含まれている粘土鉱物とも密接に関係すると思われる。この意味から第1報¹⁾で得た等価モンモリロナイト量 W_{mo} との対比を試みた。この検討結果によれば, W_{mo} の量からスレーキングの程度を明確に, すなわちS.I.=2あるいは $Id_2=90\%$ などと言いつたことは難しい。しかし, 頁岩や砂質頁岩については, W_{mo} が約6%以上であれば, その多くがS.I.=2(48時間)以上となり, 以下であればS.I.=1(48時間)が多く, $W_{mo}=6\%$ 前後を境にスレーキングの程度が大きく変わる傾向が見られた。また岩種にかかわらず, W_{mo} が3%以下の試料については, スレーキングの発生がほとんど認められなかった。

5. 結 言

現在までほとんど得られていなかった夾炭層岩石の水分に対する耐久性を明らかにするために, 3種の方法でそのスレーキング性を試験した。また, この特性に影響を与える因子や相関性が認められる他の物性値などについて調査するとともに, 試験法についての比較検討, とくに夾炭層岩石への適用性の検討を行ない, 問題点や注意を要する点を明らかにした。

本研究で得た結果を要約すれば以下のようである。

i) 本研究で用いた夾炭層頁岩類は, その程度の差こそあれほとんどすべてがスレーキングを起こし, 水分に対する耐久性に劣ると言える。一方, 砂岩はスレーキングを起こさないものが多い。従って, 掘進硬(研)などを坑道裏込材料として用いる場合は, その選択に十分注意を払う必要がある。

ii) スレーキングの程度を評価する場合には, 時間的な面, すなわち試験・観察期間も重要であり, この時間依存性を把握できる計測法や期間を採用せねばならない。また, 岩石の種類によっては, ひとつの方法では適切に評価できない場合があり, 従ってこの種の岩石に対しては, 少なくとも2つの方法を併用するべきである。

iii) スレーキングの程度と等価モンモリロナイト量の間には, 明確な相関は得られないが, その含有率が6%程度を境にして, スレーキングの程度が大きく変化する傾向が見られ, また, 3%以下であればスレーキングの発生がほとんど認められない。

iv) スレーキングの調査は, 岩石の水分による強度特性の劣化を調べるための簡易な方法としても有効である。

なお, このスレーキング現象の発生要因や発生機構の検討については次報で報告する。

参 考 文 献

- 1) 一ノ瀬政友・内野健一・松井紀久男: 日鉱誌, 104 [1207], 561~566, (1988)
- 2) 例えば, 土木学会岩盤力学委員会第4分科会: 軟岩の調査・試験の指針, 41~44, (1980)
- 3) 吉中龍之進・小島圭二・田中荘一: 第12回岩の力学に関するシンポジウム講演概要, 36~40, (1979)
- 4) JIS-A 1122, (1976)
- 5) ISRM: Suggested Methods for Determining Swelling and Shrinkage-Durability Index Properties, (1972)
- 6) 木下重教・石島洋二・佐々木寿朗: 日鉱会春季大会講演要旨集, 289~290, (1981)
- 7) Franklin, J.A. and Chandra, R.: Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 9, 325~341, (1972)