

(72) 軟岩類の水分に対する耐久性

— 乾湿の繰返しによる強度特性の変化 —

九州大学工学部

○ 一ノ瀬 政 友

”

正会員 松 井 紀久男

Water-Durability of Soft Rocks — Variation in the Mechanical Properties of the Rocks Exposed to Alternate Dry and Wet Conditions —

Masatomo ICHINOSE ; Faculty of Engineering, Kyushu Univ.

Kikuo MATSUI ; Faculty of Engineering, Kyushu Univ.

abstract

It is great importance to understand and know of the relationship the mechanical properties of coal measure rocks and water content in maintaining of mine roadways and utilizing mine waste rocks as packing and backfilling materials.

In the paper, variation in the mechanical properties of mine waste rocks exposed to alternate dry and wet conditions is investigated by laboratory tests. The results show that slaking rocks exhibit remarkable decrease in the mechanical properties after a few times of repetition of dry and wet condition and non-slaking rocks exhibit little.

1. 緒 言

我が国の炭鉱における坑道維持や掘進ズリ(硬)の有効利用を図るためには、夾炭層岩石^{*}の力学的諸特性と水分との関係を把握し、その水分に対する耐久性を評価する必要がある。既に筆者らは既報^{1)、2)}において、水分の影響を考慮した強度試験やスレーキング試験などから、水分に対する耐久性の評価、検討を試みたが、いくつかの問題点が残されていた。そのひとつは、水分履歴による強度の変化という点である。すなわち、現在までに夾炭層岩石や数種の岩石に対して得た結果は、乾燥状態と種々の含水状態を与えた供試体に対するものであり、何回もの乾燥、湿潤という条件を与えた後のデータではない。一方、夾炭層岩石は1回の湿潤条件を与えた場合でも、その強度は大きく低下するものが多く^{2)、3)}、また乾湿の繰返し条件を与えるスレーキング試験の結果^{2)、4)}を併せて考えると、乾湿を繰返せば、単に1～2回の乾燥や湿潤を与えた場合には強度の顕著な変化が認められなかった岩石についても、かなりの変化が現れる可能性が示唆される。

以上のような観点から本報では、強度に及ぼす水分履歴の影響を把握するために、岩石に乾燥と湿潤という条件を繰返し与え、この各過程での強度特性(一軸圧縮強度、引張強度、ヤング率)の変化などについて得た結果を報告する。

*) :我が国の古第三紀夾炭層岩石、特に炭層近傍の上下盤は、頁岩や砂質頁岩が多く、またその力学的性質は水分の影響を受け易く、軟岩と呼ばれる岩石類に似た挙動を示す。

2. 試 験 方 法

上述の目的のためには、各乾湿過程においての強度試験値を得る必要があるため、所定回数の乾湿の履歴を与えた供試体を準備せねばならない。また、これら供試体は乾湿の履歴を受ける前は同一の強度特性を持

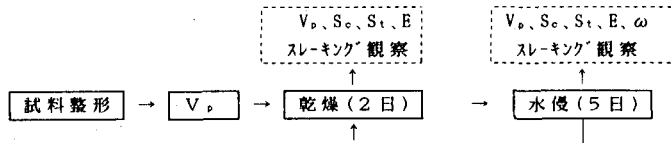
っていることが必要である。これらの点を考慮して、試験の方法は第1図に示すような手順とした。

すなわち、①採取した岩石ブロックから供試体を作製し、風乾後、全供試体の縦波弾性波速度 V_p を計測して試料別の平均 V_p を求め、これに対して $\pm 5\%$ 以内の V_p の供試体のみを以後の試験供試体とする。②供試体を 105°C で2日間炉乾した後、試験に必要な個数を取り出して V_p を計測し、一軸圧縮試験および線載荷圧裂引張試験を行い、一軸圧縮強度 S_c 、圧裂引張強度 S_t 、ヤング率 E_{50} (50%強度の接線ヤング率)を求める。これをD1過程の結果とする。③残りの全供試体を水中に5日間放置した後、その含水率 ω を求め、試験に必要な個数を取り出してその V_p 、 S_c 、 S_t 、 E_{50} を求める。これをW1過程の結果とする。④残った供試体について以後、②、③の手順を繰返してD2、W2、 $\dots$ Dn、Wn過程の各試験値を得る。なお、各過程での試験供試体個数は2~5個とした。乾湿の繰返し回数nは準備できた供試体の個数によるが、少ないもので5回、多いもので14回である。また、各乾湿過程においてスレーキングの観察を行い、スレーキングが生じた供試体は取り除いた。なおこの場合、スレーキングは単に2片以上に自壊したものとしている。この他にISRMの指針による耐スレーキング性試験⁵⁾を行い、耐スレーキング性指数 Id_2 を求めた。

試験に供した岩石試料は第1表に示すようである。古第三紀の夾炭層岩石の他、比較のために数種の岩石を試料に加えた。

3. 試験の結果および検討

第2図に一軸圧縮強度 S_c の各乾湿過程における試験値の2例を示す。図中の⑤はス

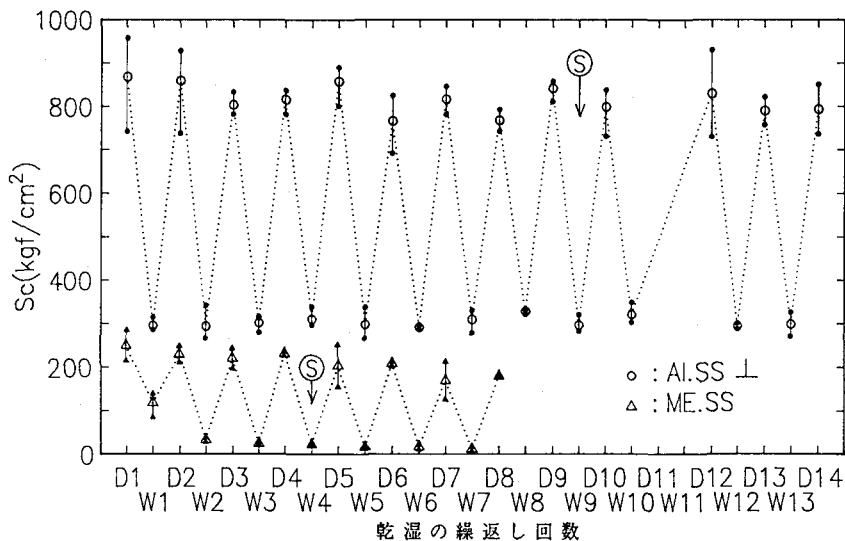


第1図 試験・計測の手順

第1表 供試岩石およびその Id_2

採取地	岩種	試料記号	ϕ (%)	Id_2 (%)	備考
T 炭 鉱	砂質頁岩	T18F.SSh	7.8	91.5	⊥
I 炭 鉱	頁岩	I4R(3).Sh	3.1	98.6	⊥
"	頁岩	I4F(3).Sh	3.8	96.0	⊥
"	頁岩	I18KF(5).Sh	6.0	55.0	⊥
福岡市姪浜	砂岩	ME.SS	22.2	--	
佐世保相浦	砂岩	AI.SS	11.2	98.4	⊥,
天 草	砂岩	AM.SS(Y)	11.8	--	⊥,
"	砂岩	AM.SS(W)	11.0	99.3	⊥,
菱刈 鉱山	凝灰岩	H1.T(V)	20.4	97.6	角礫
"	凝灰岩	H1.T(G)	29.0	97.5	角礫
"	頁岩	HI.Sh	5.9	98.1	
福島県茨野	凝灰岩	OG.T	39.4	92.2	

ϕ : 空隙率、 Id_2 : 耐スレーキング性指数、
⊥及び||: 各々層理面に垂直及び平行方向に載荷する方向に供試体作製



第2図 各乾湿過程の一軸圧縮強度

第2表 スレーキングの状態 (T18F.SSh試料)

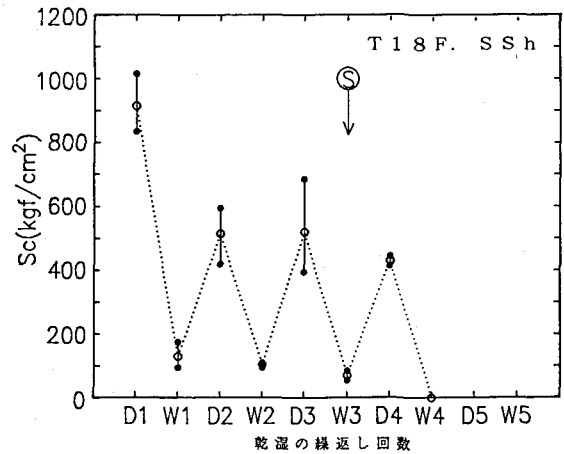
乾湿過程	D1	W1	D2	W2	D3	W3	D4	W4	D5	W5
供試体個数	31	27	24	21	18	15	12	8	4	0
スレーキング個数	0	0	0	0	0	1	2	2	4	
試験個数	4	3	3	3	3	2	2	2	0	

3. 試験の結果および検討

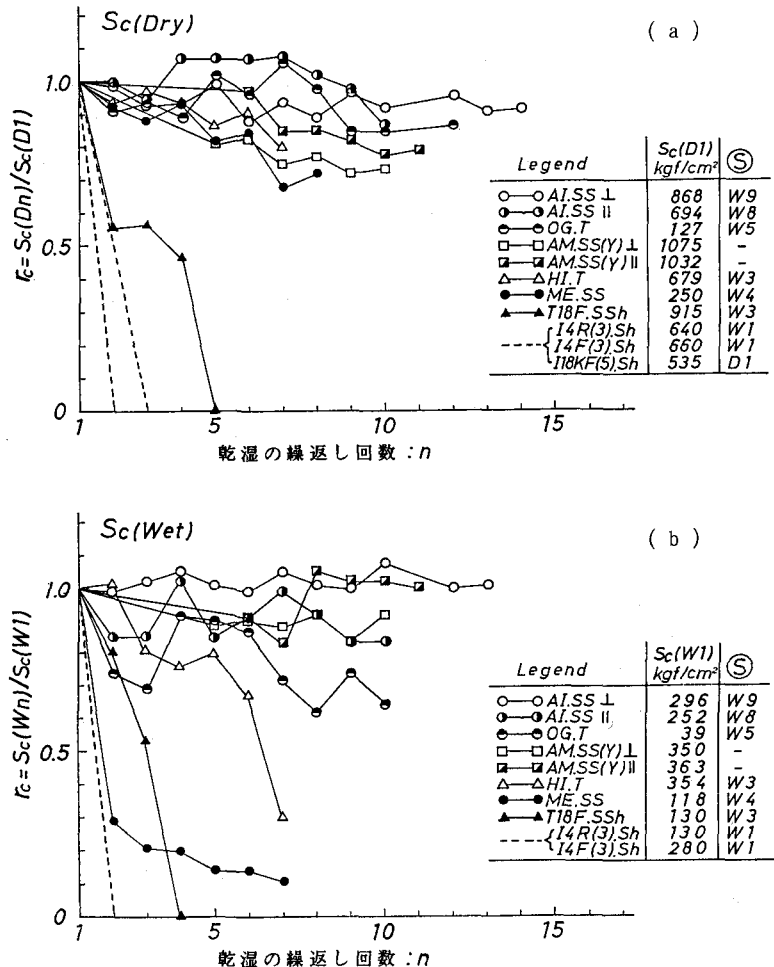
第2図に一軸圧縮強度 S_c の各乾湿過程における試験値の2例を示す。図中の⑤はス

レーキングが発生した最初の過程を示している（以下同）。まず顕著なことは、乾燥時と湿潤時の差異であり、いずれの過程においても、湿潤により S_c は大きく低下し、乾燥により再び増加するという現象が見られる。また、この図の試料例で言えば、AI.SS $\perp$ は乾湿を繰返してもほとんど変化が見られないが、ME.SSは徐々に低下していく傾向が見られる。第3図には、低下の度合いが顕著であったT18F.SSh試料の例を示す。図に見られるように、 S_c の低下状態が明瞭に現れている。また、この供試体のスレーキングについて見れば、第2表に示すようにW3過程でスレーキングが発生し始め、D5過程までに残りの全供試体にスレーキングを生じている。第4図(a)、(b)は乾湿の繰返しによる S_c の変化状態を示している。すなわち、乾燥過程はD1、湿潤過程はW1の S_c を各々基準にとり、各過程の S_c との比 $r_c = S_c(Dn) / S_c(D1)$ および $S_c(Wn) / S_c(W1)$ を求めたものである。この図から明かなように、頁岩は全てD2過程までにスレーキングを生じて急速に強度を失い、砂質頁岩も大きく低下してしまう。砂岩や凝灰岩は、ばらつきは認められるが、乾燥、湿潤過程に拘らず、全体的には低下していく傾向が現れている。スレーキングが発生した供試体は除いていることを考え併せると、スレーキングが発生した試料については、その平均的な強度という意味ではさらに低下していると考えることができよう。また、この低下の状態は、乾湿を与える前の強度（ここではD1過程の強度）よりも岩種に関係することが注目される。

次に、圧裂引張強度 S_t の試験値の2例を第5図に示し、



第3図 各乾湿過程の一軸圧縮強度

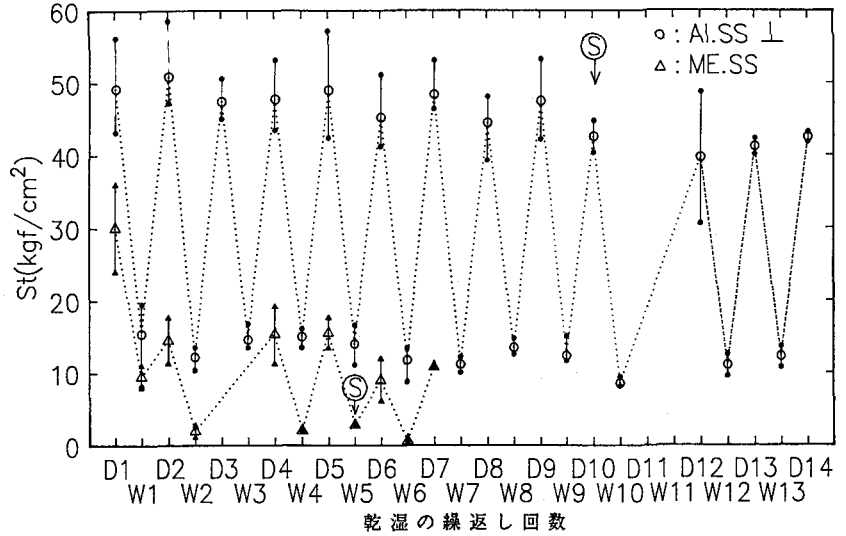


第4図 乾湿の繰返しによる一軸圧縮強度の変化

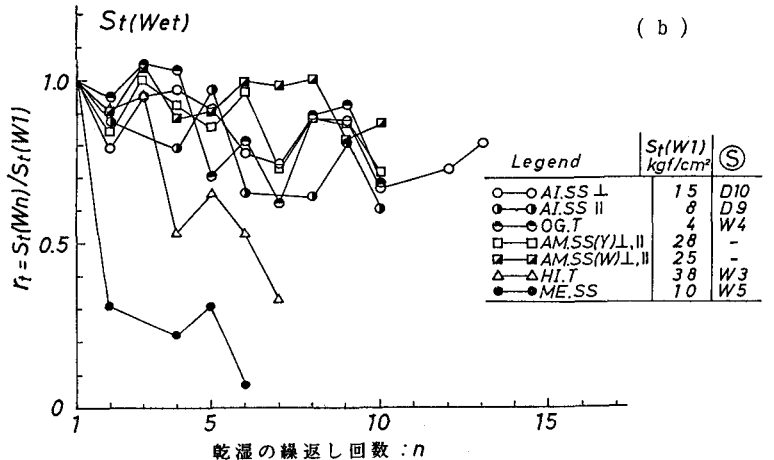
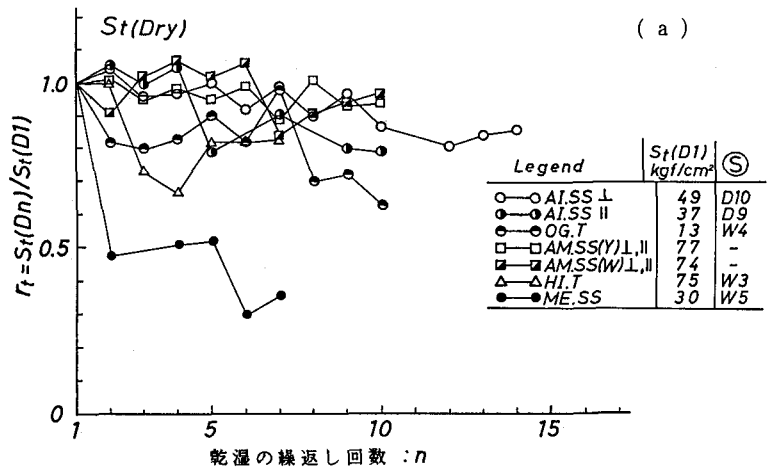
第6図(a)、(b)には一軸圧縮強度の場合と同じく、 $r_t = S_t(Dn) / S_t(D1)$ および $S_t(Wn) / S_t(W1)$ で表した比を示している。 S_t も S_c とほぼ同じ現象が見られるが、その低下の状態は S_c よりも多少大きい傾向が見られる。したがって、脆性度は高くなっているとも言えよう。また、ヤング率 E_{ss} についても S_c 、 S_t とほぼ同様である。

以上の試験結果によると、乾湿を繰返し与えれば S_c 、 S_t 、 E_{ss} いずれも、試料あるいは岩種によって大きな差はあるが、低下する、あるいは低下する傾向が現れる。特に頁岩や砂質頁岩は、最初の強度は比較的大きいにも拘らず、ただ1回もしくは数回の乾湿の繰返しでスレーキングが発生するとともに、強度が大きく低下する。また最初の強度が弱い砂岩についても同様な現象が見られる。

ここで、スレーキングと各力学試験値の変化状態を対比してみると、頁岩や砂質頁岩のように、スレーキングが少ない乾湿回数で生じる試料は低下の状態が明確であり、砂岩のAI. SSやAM. SS試料のように、10回程度の乾湿回数ではスレーキングがほとんど見られない試料はそれが不明確である。このことは、乾湿を繰返すことにより供試体に微細



第5図 各乾湿過程の圧裂引張強度



第6図 乾湿の繰返しによる圧裂引張強度の変化

なクラックが生じ、これがスレーキングの発生や強度の低下を起こす要因となっていることを示唆している。第3表には代表的試料の含水率 ω の乾湿の繰返しによる変化を示しているが、僅かであるが ω が増加している。これは試料内部の空隙量の増加を現していると思われ、微細なクラックの発生や増加によるものと考えられる。同様な意味で、水銀圧入法(圧入圧1~2000 atm)によって、乾湿条件を与える前の試料と10回程度の乾湿を与えた後の試料の細

孔径分布を求め、空隙率を算出すると、現在までに得られた数種の試料の結果では、乾湿を与える前に対して3~6%の増加が見られる。また、耐スレーキング性指数 I_{d2} は第1表に示すようであ

第3表 乾湿の繰返しによる含水率の変化

試料記号	含水率 ω (%)						
	乾 湿 繰 返 し 過 程						
	W1	W3	W5	W7	W9	W10	
ME. SS	10.87	11.02	11.25	11.22			
OG. T	23.22	23.98	24.10	24.28	24.27	24.40	
AI. SS II	3.82	3.90	3.98	4.05	4.08	4.07	
AI. SS $\perp$	3.77	3.83	3.87	3.91	3.93	3.93	(W13) 4.02
AM. SS (Y) $\perp$	3.18	3.25	3.27	3.25	3.26	3.29	
AM. SS (Y) II	3.07	3.09	3.18	3.19	3.21	3.22	(W11) 3.24
HJ. T (V)	9.67	9.76	9.80	9.85			

るが、この指数と強度の低下との関連性は悪い。すなわち、頁岩は砂岩とあまり変わらない指数値であるが、上述のように強度の低下は非常に大きい。この理由は、耐スレーキング性指数はスレーキングした岩片が2mmの網目を通過するか否かで定義される⁵⁾ため、頁岩類は自壊はしても2mm以下の岩片には容易にはならず、結果として自壊し難い砂岩と同程度の指数値をとるためであると考えられる。この問題に対しては、スレーキングによる細屑化現象の定量的検討が必要と思われる⁶⁾。

以上のことから、坑内火災対策の坑道裏込材としてのズリ(硬)の利用を考えると、既に報告した結果²⁾と同様に、頁岩類は不適と判断せざるを得ないが、坑道維持のためのフライアッシュ袖巻充填への骨材あるいは増量材としては、一部の頁岩を除けば利用できる可能性は十分にあり、ズリの処分方法のひとつとなり得られると思われる。しかし、炭鉱での坑道掘進によって必然的に発生するズリは頁岩類が多く、また強度の強い岩石を選別的に得ることも困難なため、これらズリを利用する場合には、十分な調査と選択が必要と考える。

4. 結 言

岩石供試体に乾燥と湿潤という条件を繰返し与えることにより、強度に及ぼす水分履歴の影響についての検討を行った。この結果によれば、10回程度の乾湿を与えてスレーキングが発生しない岩石は僅かな低下を認めるのみで、大きな変化は現れないと言える。しかし、1回から数回の乾湿でスレーキングが発生する岩石は明確な低下を示す。また、1~2回の乾湿条件を与えた試験では明瞭な強度変化を示さない岩石であっても、ある時点から急速に低下するものもあることに注意すべきである。これらの点から、岩石の水分に対する長期的な耐久性を把握、評価するためには、スレーキング試験などと併せた水分や温度履歴を考慮した強度試験値が必要と思われる。

一 参 考 文 献 一

- 1) 一ノ瀬・松井・内野: 日本鉱業会春季大会講演要旨集, pp. 377-378, (1988)
- 2) 一ノ瀬・松井: 土と基礎, Vol. 37, No. 4, pp. 43-47, (1989)
- 3) 一ノ瀬・内野・松井: 日本鉱業会誌, Vol. 104, No. 1207, pp. 561-566, (1988)
- 4) 一ノ瀬・内野・松井: 資源・素材学会誌, Vol. 105, No. 4, pp. 279-283, (1989)
- 5) 岩の力学連合会: ISRM指針, Vol. 1, pp. 21-25, (1982)
- 6) 山口・吉田・黒島・福田: 土木学会論文集, No. 406/III-11, pp. 17-26, (1989)