

7年間暴露した瑞浪泥岩の 細粒化特性と沈下挙動

板橋一雄¹・和田英孝²・佐藤 健³・岩田 賢⁴

¹正会員 工博 名城大学教授 理工学部土木工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

²正会員 工修 基礎地盤コンサルタンツ(株) (〒263-0001 千葉市稲毛区長沼原町51)

³正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

⁴正会員 工修 中央開発(株)鹿児島支店 (〒890-0052 鹿児島市上之園町14-30)

軟岩は自然の乾湿繰返しによって細粒化することがよく知られている。しかしながら、長期間の自然条件下での暴露試験による細粒化特性や沈下挙動はほとんど明らかにされていない。また、長期間の暴露試験結果と室内スレーキング試験結果との対応関係もさほど明らかにはされていない。そこで、瑞浪泥岩を用いた7年間の暴露試験と乾湿繰返し回数最大100サイクルまでの室内スレーキング試験を実施し、両試験における細粒化特性と沈下挙動との対応関係を調査した。その結果、細粒化と沈下の長期間の進行が明らかになった。また、圧縮ひずみと粒子破碎指標の関係から、暴露年数と室内スレーキング回数との対応関係のあることが認められた。

Key Words : grain size distributions, settlement, in-situ exposure test, slaking test, soft rock negative binomial distribution

1. まえがき

軟岩などのスレーキング性材料による道路盛土や宅地造成地において、建設後の数年にわたって、長期の沈下現象が生じ、種々の問題が発生している。こうした現象を捉えるために、著者らは、軟岩の暴露試験によって生じる細粒化やそれに伴う沈下挙動の研究を継続的に行ってきた。特に、5種類の軟岩供試体を用いた暴露試験を通じて、以下に示す主な結論を得ている^{1)・2)}。

- (1) 暴露日数の経過とともに50%径の低下や2mm通過率の増加に一定の傾向が認められる。
- (2) 暴露試験後の残留率分布が負の二項分布によって表現でき、そのパラメータ r 、 m が一定の傾向で変化する。多くの場合、パラメータ r は減少、 m は増加する。
- (3) 試料の種類や暴露条件が異なるにもかかわらず、負の二項分布パラメータ ($r \sim \log m$) の間には、一定の関係が認められる。
- (4) スレーキングを生じ易い軟岩では、暴露試験による細粒化の程度とそれに伴う圧縮沈下の程度はともに高い。
- (5) 暴露試験に伴う細粒化の生じ易さは、液性限界・

塑性限界の大きさ、ならびに、モンモリロナイト含有の有無に対応している。

ただし、これらの結論は、最長56日から218日間の暴露試験を通じて得られたもので、さらに長期間の暴露試験に伴う細粒化特性や沈下挙動に興味を持たれる。しかしながら、沈下挙動を計測しながら、数年を越えた長期の暴露試験を実施した例は非常に少ないのが現状である。

今回、乾湿繰返し回数が最大100サイクル(200日)までの室内スレーキング試験を実施した瑞浪泥岩³⁾を用いて、7年間の暴露試験が終了し結果が得られた。そこで、高サイクルの室内スレーキング試験結果と7年間の暴露試験結果との比較ならびに長期間の暴露供試体の細粒化特性と沈下挙動との関係を明らかにしたので、報告する。

2. 軟岩の長期暴露試験に関する従来の研究

軟岩の暴露試験の実施例は少なく、片岡ら⁴⁾、望月ら^{5)・6)}、矢萩ら⁷⁾、佐藤ら⁸⁾、永津ら^{9)・10)}の研究があるのみである。なかでも、軟岩供試体の長期間の暴露試験を実施し、その細粒化特性あるいは沈下挙動を明らかにした研究事例はまったくない。

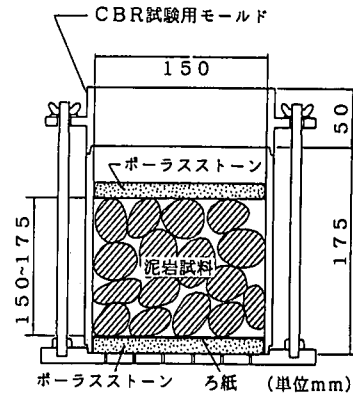
片岡ら⁴⁾は、CH級の頁岩を用いた暴露試験を実施している。水中暴露と気中暴露それぞれ一供試体を30日間放置しており、その間の粒度変化を示している。

望月ら^{5)・6)}は、3地点の和泉層群(白亜紀)から採取した頁岩を用い、それぞれ6供試体を作成し、最長59日間の暴露試験を実施している。ただし、供試体は粒径150~100mmの岩塊4個を木枠に入れたものであり、実験では粒度の経時変化のみに着目している。

矢萩ら⁷⁾は、中世代名護累層の綠色片岩(以下では、名護片岩と示す)を用い、約6年半に及ぶ長期間で大規模な暴露試験を実施している。暴露試験では、粒度調整した片岩材料で築造した盛土の暴露(盛土暴露試験と呼んでいる)、各粒径毎の粒子の暴露、3~8kgの岩塊の暴露を行っている。そして、盛土暴露試験では、ほぼ半年~1年間隔で表層試料の粒度分布を求め、Marsalの破碎率が低下する経時変化を示している。また、暴露供試体の初期粒度は、最小粒径2mm、最大粒径101.6mmと幅広くも一因となつて、暴露に伴う粒度変化は大きくなつてはならず、6年半経過した後でもMarsalの破碎率は13.6%に留まっている。

佐藤ら⁸⁾は、岐阜県瑞浪市から採取した通称瑞浪泥岩を用い、バットに岩塊を載せ、岐阜大学の屋上に設置する暴露試験を実施し、3カ月、1年、4年3ヵ月後の粒度を求めている。また、種々の条件下の室内スレーキング試験を実施しており、各種の粒子破碎指標に基づいて、暴露試験との対応関係を示している。この試験では、岩塊をバットに載せているため、直接降雨や日光にさらされ、乾湿変化が大きく、粒度変化が大きく生じている。しかし、実験の性質上、沈下挙動は測定されていない。なお、以下では、この泥岩を瑞浪泥岩②と示すこととする。

永津ら^{9)・10)}は、ロックフィルダム用岩石材料の劣化を評価するためには、原位置での環境条件を把握することが必要であるとして、原位置での岩石温度、降雨量、日射量などの測定を行っている。さらに、それらの測定値をモデル化し、凍結・融解の繰返し回数、乾湿の繰返し回数、乾燥時間に基づいて劣化環境モデルを提案している。また、スレーキングに伴う細粒化の程度を損失重量百分率で定義し、室内劣化促進試験と現地暴露試験の結果を比較している。



図一 暴露試験用の供試体

3. 試験試料と暴露試験方法

(1) 試験試料

今回の実験に用いた試料は、新第三紀中新世に岐阜県東濃地方に広く堆積した瑞浪泥岩(以下では、この泥岩を瑞浪泥岩①と示す)である。瑞浪泥岩の採取現場は厚さ50cm程度の表土に覆われており、ほとんど風化を受けていない健全な状態であった。人力では掘削不可能であり、大型掘削機によって破碎し、試料とした。現場は沢の近くであり、採取した試料の自然含水比は25.2%、乳鉢・乳棒ですりつぶした土粒子の密度は2.56g/cm³、液性限界・塑性限界はそれぞれ57.6%、32.0%であった。採取した試料を自然含水比のままJIS規格ふるいでふるい分け、初期粒度31.5~37.5mmの粒子を選定した。

なお、この初期粒度を選定した理由は、細粒化を明確に捉えるために初期粒度を均一にしたいこと、室内スレーキング試験に関する多くの研究者が採用している最大粒径が38mm程度であることを考慮したためである。また、同じこの試料を用いて、30供試体を作製し、1サイクルから最大100サイクルまでの室内スレーキング試験が実施してある。その試験条件は、常温水浸24時間~110℃の炉乾燥24時間を1サイクル(2日間)としており、その詳細については、文献3)に示してある。

また、室内試験条件(炉乾燥温度、乾燥・湿潤時間など)によって、結果の異なることが予想されるが、ここでは、最もよく用いられている日本道路公団の試験条件を標準と考え、上記の試験条件を採用している。

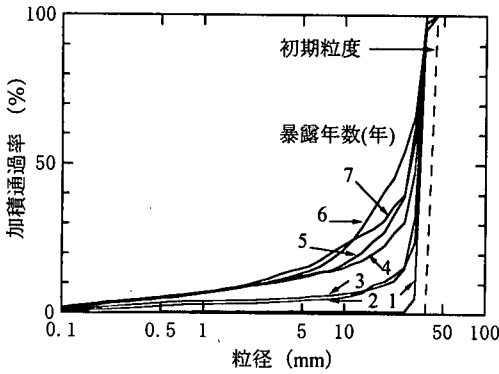


図-2 7年間暴露した試料の粒径加積曲線

(2) 暴露試験方法

暴露試験では、ある程度の厚さの自然地盤を想定すること、供試体への降雨の自然給排水が容易になることを考慮して、容器としてCBR試験用モールド（内径150mm、高さ175mm、カラー高さ50mm）を用いた。なお、試料の細粒化によって容器から試料が流出しないように、モールド底部にポーラスストーンとろ紙を敷いた。

そして、泥岩の小塊約60個を5~6層、供試体高さ約150~175mm程度になるように、手で敷き詰めた。さらに、上部ポーラスストーンを載せ、実験供試体（図-1）とし、供試体の初期質量と高さを測定した。なお、岩石径が大きいため、初期の供試体でも上部ポーラスストーンは水平にはならないので、モールド外周上の等間隔の3点において、上部ポーラスストーンの深さを測り、供試体高さを計算した。また、暴露後の供試体についても、同様に高さを計算した。このような供試体を10体作製したが、初期の湿潤密度は、 $0.854 \sim 0.984 \text{g/cm}^3$ となった。粒度が粗い割には、湿潤密度が狭い範囲に入っており、同程度の供試体が作製できたものと思われる。

作製した10体の供試体は、上部ポーラスストーンを外した状態で、直射日光や降雨が当たる場所（名城大学校内）に並べて放置した。そして、1年毎に1供試体を実験室内に搬入し、供試体質量、高さを測定後、供試体全体の粒度を測定した。粒度試験では、JIS規格ふるいすべてを用いて、ロータップ型振とう機で一律15分間のふるい分けを行った。

なお、試験結果の解析方法は前報など^{1)~3)}に示したものと同様の方法を用いた。

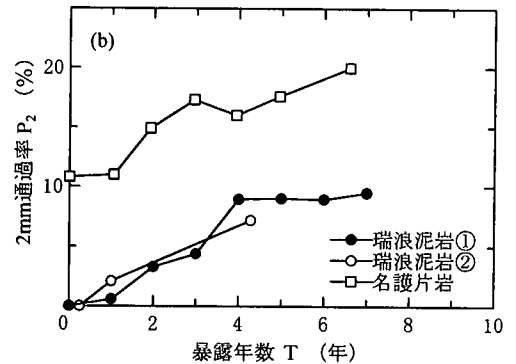
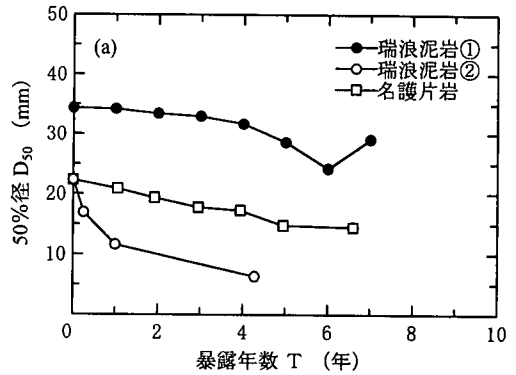


図-3 50%径、2mm通過率と暴露年数との関係

4. 瑞浪泥岩の長期間の細粒化特性

(1) 長期の暴露試験に伴う細粒化特性

一般に、泥岩のスレーキングに伴う細粒化を大別すると、直ちに泥土化するものとブロック状に分解するものとなるが、ここで扱った瑞浪泥岩は、その中間的な傾向を示している。本研究では、泥岩の細粒化に伴う沈下挙動を明らかにするために、ある程度の厚さの实地盤を想定してモールド供試体を採用したが、その中の細粒化の状況を見ると、最も乾燥・湿潤の激しい上面から細粒化が始まり、深部に進展していることがわかった。したがって、モールド内で均質な細粒化が生じているわけではないが、供試体全体の試料を用いて粒度試験を実施した。

図-2には、7年間の暴露試験後の粒度変化を粒径加積曲線の形で示してある。個々の供試体に含まれる泥岩粒子の細粒化のし易さの相違が現われ、暴露年数の順序で粒径加積曲線が順序よく細粒側に移動しているわけではないが、全体的な傾向を見ると、暴露年数の経過とともに粒子破碎の進行している様

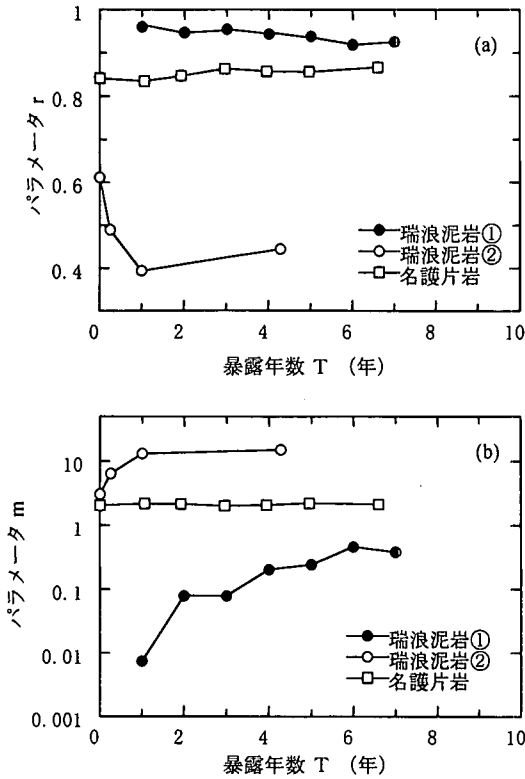


図-4 負の二項分布パラメータと暴露年数との関係

子をうかがうことができる。

こうした細粒化の程度を数値的に捉えるため、種々の方法が提案されているが、ここでは、細粒化の平均値を表わす50%径と耐スレーキング指数として提案されている2mm通過率を取り上げた。これらの値と暴露年数との関係を図-3に示した。なお、これらの図には、矢萩らの名護片岩の結果⁷⁾ならびに佐藤らの瑞浪泥岩②の結果⁹⁾も併せて示してある。

これらの図より、暴露年数の経過とともに50%径の低下、2mm通過率の増加の傾向が明らかになる。名護片岩の場合には、50%径の減少、2mm以下の細粒分の増加を見ても、細粒化の程度は比較的小さい。また、両者の増加傾向や減少傾向は、暴露年数に対してほぼ直線的であり、今後もその傾向が続くことがうかがえる。瑞浪泥岩②の場合には、バット上での暴露試験であるため、50%径の減少は最も大きく、23mmから6mmまで減少している。また、2mm通過率は0から7%までほぼ直線的に増加している。ただし、50%径の減少勾配が水平に近くなることから、50%径の値はある一定値に漸近することがうかがえる。

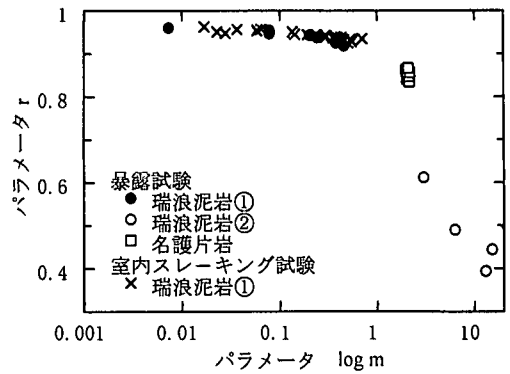


図-5 負の二項分布パラメータの間の関係

一方、瑞浪泥岩①の場合には、4年経過するまで、ほとんど減少しなかった50%径が、その後減少を始め6年暴露供試体では24mmまで低下している。ただし、7年暴露供試体では、5年暴露供試体とほぼ同じ値を示しており、今後の傾向に興味を持たれる。

また、2mm通過率の増加は、4年暴露供試体まで直線的に10%程度まで増加しているが、その後の3供試体ともほぼ一定値を示しており、細粒分は今後増加しないことがうかがえる。

以上の結果より、瑞浪泥岩①、②については、50%径は今後わずかに減少するが、2mm通過率はほぼ変化しないことが予測される。

著者らは、残留率分布に負の二項分布を当てはめ、そのパラメータ r 、 m の変化によって細粒化を評価してきた。そこでこのパラメータ r 、 m と暴露年数との関係を図-4に、両パラメータの関係を図-5に示してある。なお、パラメータ m の値は大きな幅を示すために対数目盛で示してある。

初期粒度の幅が広く、細粒化があまり生じない名護片岩では両パラメータともほぼ一定値を示している。また、細粒化の最も激しい瑞浪泥岩②では、1年経過までは r が大きく減少し、 m が大きく増加する傾向を示している。ただし、4年3ヶ月後の試料では、 r 、 m ともにほぼ一定値を示しており、ほぼ細粒化が終了し、今後細粒化が進行しないことが予測できる。

一方、瑞浪泥岩①では、 r がほぼ一定の割合で減少を示しているが、その量はわずかとなっている。また、 m は暴露初期に大きな増加を示しているが、ある一定値に収束する傾向を示している。

前述したような、暴露年数に伴う r と m の変化によって、 $r \sim \log m$ 図に特異な関係が描かれることになる。瑞浪泥岩①と②で大きくプロットが異なるの

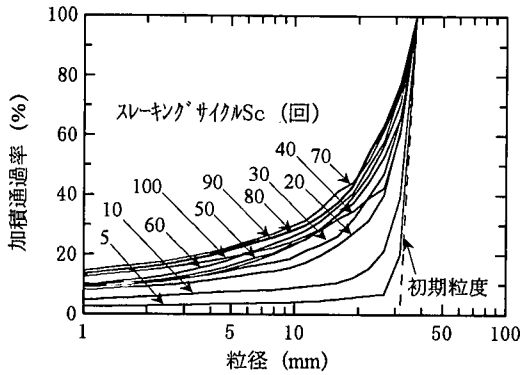


図-6 室内スレーキング試験試料の粒径加積曲線

は、暴露に伴う細粒化の状態が異なるためである。前述したように、モールド供試体ではその上面で最も乾燥・湿潤条件が厳しいため、そこから細粒化が始まり、深部へ進展していく。一方、パット上の試料はモールド供試体の上面の乾燥・湿潤条件に相当するため、試料全体として評価すると、細粒化はパット上の暴露の方が激しく生じることとなる。

また、瑞泥岩①では、室内スレーキング試験結果と暴露試験結果が同様の位置にプロットされており、負の二項分布パラメータは、両者の試験結果を比較する際に重要な指標となる可能性のあることがわかる。

(2) 長期の室内スレーキング試験に伴う細粒化特性

図-6には、乾湿繰り返し回数が最大100サイクルまで行った室内スレーキング試験の30供試体のうちの代表的な粒径加積曲線を示してある。暴露試験の場合と同様、スレーキングサイクル数の順序で細粒側に順序良く移動しているわけではないが、細粒化していく様子がわかる。瑞泥岩①は、100サイクルの乾湿繰り返しを受けても、依然として初期最大粒径の粒子が残っており、完全に泥土化し顕著なスレーキングを生じるような軟岩ではないことがわかる。ただし、細粒分は徐々に増加する様子がうかがえる。

暴露試験の結果と同様、粒子破碎指標として50%径と2mm通過率を取り上げ、スレーキングサイクル数との関係で図-7に示した。

スレーキングサイクル数 Sc が10回程度までは、ほとんどばらつきも見られず、わずかな50%径の減少と7%程度の2mm通過率の増加が認められる。また、 $Sc=20$ 回までは、2mm通過率は同率のほぼ直線的な増加を示し、50%径は急激な減少を示している。その

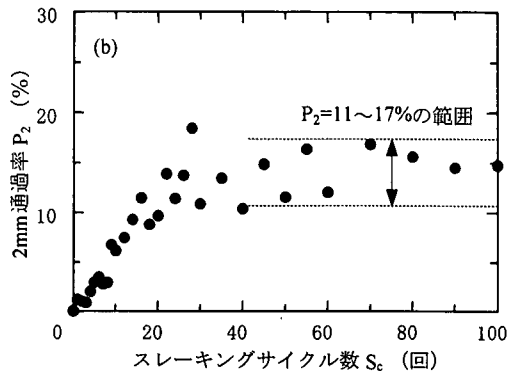
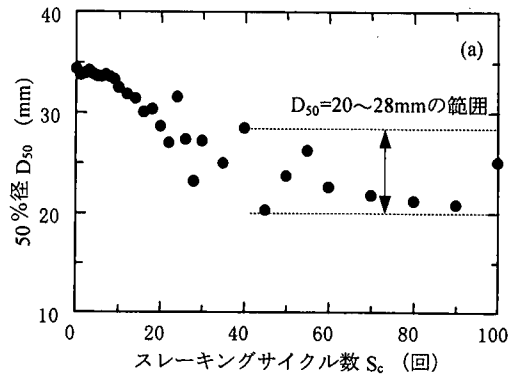


図-7 50%径、2mm通過率とスレーキングサイクル数との関係

後は両データともに大きなばらつきを示しているが、大略の傾向を見ると、 $Sc=40$ 回程度まで50%径の減少と2mm通過率の増加が認められる。しかし、 $Sc=40$ 回以降は、50%径、2mm通過率ともにスレーキング初期と較べると大きなばらつきは認められるが、ある範囲の一定値を示しており、これ以上の細粒化が進行しない様子をうかがうことができる。

図-8には、負の二項分布パラメータ r 、 m とスレーキングサイクル数との関係を示した。スレーキング初期のパラメータ r には多少大きな変動はあるが、両パラメータともにスレーキングサイクル数と明瞭な関係が認められる。

パラメータ r は50%径の減少と同じような傾向を示し、初期の大きな減少の後、 $Sc=40$ 回以降では、 $r=0.925\sim0.938$ の間のほぼ一定値を保っている。一方、パラメータ m は2mm通過率に類似した傾向を示している。すなわち、 $Sc=40$ 回程度までは急激な増加を示しているが、その後は、 $m=0.431\sim0.715$ の間のほぼ一定値を示している。これらのパラメータか

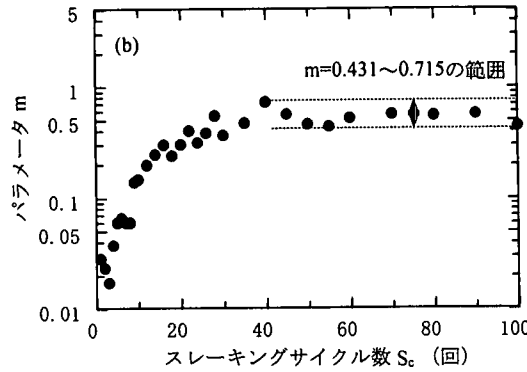
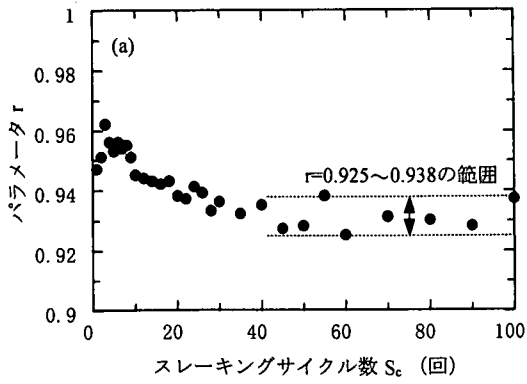


図-8 負の二項分布パラメータとスレーキングサイクル数との関係

らも、 $Sc = 40$ 回程度以降は、細粒化の進行が止まっていることが指摘できる。

以上のように、瑞浪泥岩①の室内スレーキング試験の結果からは、40サイクル程度から細粒化の進行の止まることがわかったが、こうした細粒化の止まる限界のサイクル数が、その他の軟岩にも認められるのか、またその限界値の現われる原因などについては、今後の研究課題としたい。

ただし、この室内スレーキング試験の40サイクルという限界値が暴露試験の何年に対応するのかについては、両試験の細粒化特性と沈下挙動との関係に着目して、後述する。

5. 細粒化に伴う瑞浪泥岩の沈下挙動

(1) 長期の暴露試験に伴う沈下挙動

図-9には、圧縮ひずみと暴露年数の関係を示している(4年暴露供試体の圧縮ひずみは欠測)。な

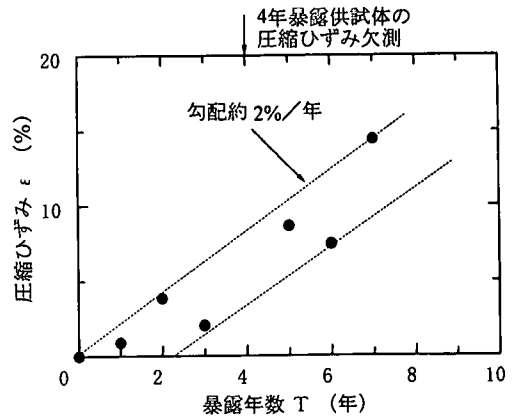


図-9 暴露供試体の圧縮ひずみと暴露年数との関係

お、ここでは供試体には外荷重は加えていないので、この圧縮ひずみは自重による沈下を意味しており、その暴露年数までの供試体の沈下量と初期の高さとの割合を示している。

圧縮ひずみと暴露年数の関係は、前述した粒子破碎指標より、データがばらついている。これは、供試体内の個々の泥岩粒子の細粒化特性の相違などによって現れたのであろうと想像できる。

しかしながら、大局的に見れば、圧縮ひずみの上限の関係はほぼ直線であり、年間約2%の勾配となっている。また、圧縮ひずみの下限の関係は、3年暴露供試体までは年間約0.67%となっているが、それ以降では上限の関係とほぼ平行になっており、この軟岩の7年暴露供試体までの沈下割合は年間約2%とよいと考えられる。

なお、ここでの供試体の初期状態は、粒径約35mmの均一粒度であり、最も緩く詰まった供試体と考えられる。さらに、この供試体の暴露条件は地盤の表層部分を代表すると考えられる。したがって、同じ材料を用いた実際の盛土や締固め地盤などでは、粒度の幅が広く、さらには締固め密度も高くなると思われるので、これほど大きな沈下は生じないと考えられる。

(2) 長期の室内スレーキング試験に伴う沈下挙動

図-10には、室内スレーキング試験による供試体の圧縮ひずみとスレーキングサイクル数との関係を示した。この試験でも供試体には外荷重は加えていないので、圧縮ひずみは自重による沈下を意味して

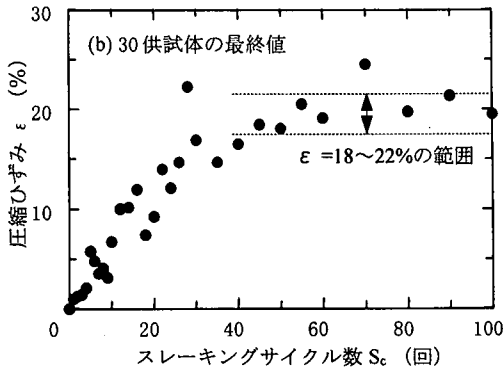
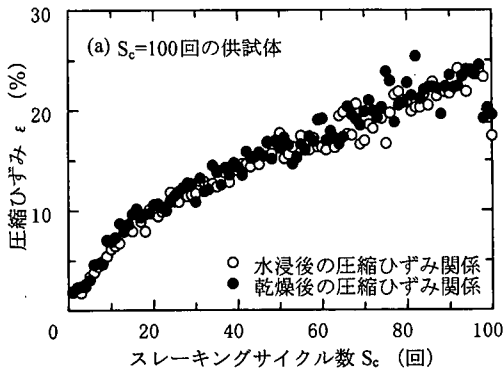


図-10 室内スレーキング供試体の圧縮ひずみとスレーキングサイクル数との関係

おり、そのスレーキングサイクルまでの供試体沈下量と初期の高さとの割合を示している。同図(a)には、1つの供試体の水浸後と乾燥後の圧縮ひずみの変化を示している。30供試体ともほぼ同様の傾向を示したので、ここには、最大の100サイクルまで実施した供試体の例を示してある。

室内スレーキング試験では、一般に、水浸に伴う膨張と乾燥に伴う収縮が生じる。多くの場合、乾燥による収縮量の方が大きいので、これが繰り返されると、図に示すように圧縮ひずみの増加を招くことになる。その増加傾向を見ると、スレーキング初期から $Sc=20$ 回程度まではほぼ直線的な増加を示し増加勾配が一定値となっている。しかし、それ以降は増加勾配は徐々に低減し、 $Sc=80$ 回以降では、大きなばらつきは認められるが、圧縮ひずみはほぼ一定値を示している。

一方、同図(b)には、室内スレーキング試験に用いた30供試体すべての最終の圧縮ひずみを示してある。

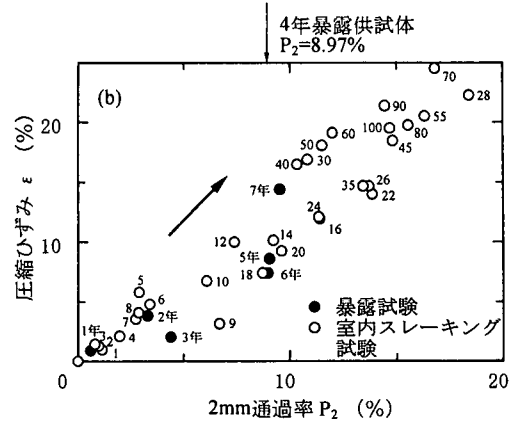
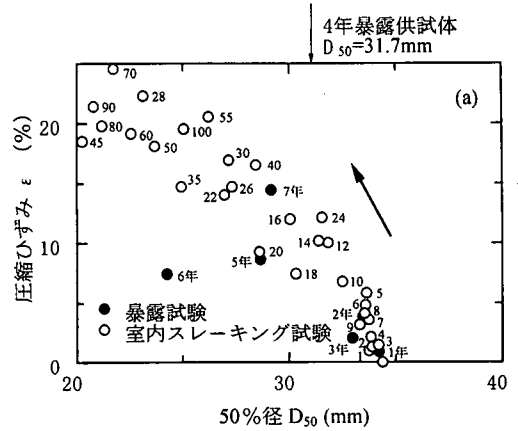


図-11 供試体の圧縮ひずみと50%径、2mm通過率との関係

2例(28と70サイクル)の供試体を除けば、ほぼ狭い範囲に入る関係を読み取ることができる。すなわち、スレーキング初期から $Sc=40$ 回程度までは、圧縮ひずみの急激な増加が認められ、その増加勾配は徐々に低減している。 Sc が40回を越えると、圧縮ひずみは18~22%の範囲の一定値をとっている。

この圧縮ひずみがほぼ一定値となる限界のスレーキングサイクル数は、種々の粒子破碎指標が一定値を示す値と一致している。これは、スレーキング性材料の圧縮ひずみ(沈下)の増加の原因がその細粒化であることを示唆している。

(3) 沈下挙動と細粒化との関係

そこで、沈下挙動と細粒化との対応関係をより明確にするために、暴露試験と室内スレーキング試験

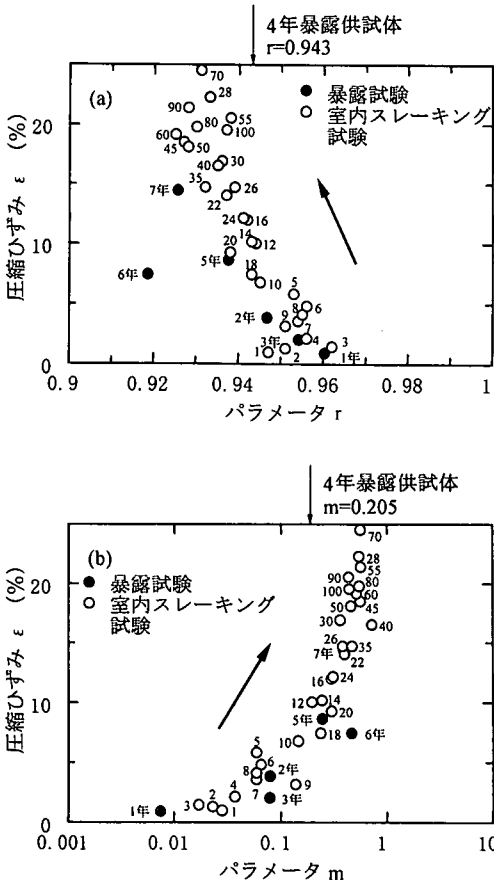


図-12 供試体の圧縮ひずみと負の二項分布パラメータとの関係

の両者の結果を用いて、圧縮ひずみと粒子破碎指標との関係を図-11ならびに図-12に示した。なお、図中の数値は各供試体の暴露年数あるいはスレーキングサイクル数を表している。また、4年暴露供試体では、圧縮量を欠測してしまったので、粒子破碎指標の位置のみが示してある。

図-11には、粒子破碎指標として、横軸に (a) 50%径と (b) 2mm通過率がとって示してある。6年暴露供試体の50%径が大きく低下し、全体のプロットから外れているが、これを除けば、50%径も2mm通過率もともにすべてのデータが比較的狭い範囲の関係を描いている。圧縮ひずみの増加と50%径の低下ならびに2mm通過率の増加との対応関係が明らかに認められる。このことから、この瑞浪泥岩①の圧縮ひずみの増加は、細粒化に伴って生じると考えてよいで

あろう。

さらに、重要なことは、それらの関係が暴露試験供試体と室内スレーキング試験供試体の両者でほぼ同様になっていることである。すなわち、このことは24時間110℃炉乾燥という厳しい乾燥条件の室内スレーキング試験は、ある程度自然の暴露条件と対応がとれていることを示すものであり、室内スレーキング試験の試験条件の妥当性を裏付けるものと考えられる。

この瑞浪泥岩①について暴露年数 T とスレーキングサイクル数 Sc との対応関係を見ると、表-1が得られる。この表の数値は、図上において、暴露供試体のデータの近くに位置する室内スレーキング供試体のサイクル数を示したものであり、50%径ならびに2mm通過率に基づく場合の両者で、ほぼ同様のサイクル数が得られている。

図-12には、粒子破碎指標として、負の二項分布パラメータ r 、 m をとり圧縮ひずみとの関係が示してある。図-11と同様、6年暴露供試体のデータを除けば、両パラメータとも狭い範囲の関係を示しており、圧縮ひずみの増加とパラメータ r の減少ならびにパラメータ m の増加との対応関係が明らかに認められる。したがって、このことから、負の二項分布パラメータは、50%径や2mm通過率と同様、スレーキングに伴う細粒化を適切に表現できるものと解釈することができる。

また、暴露試験結果と室内スレーキング試験結果が同様の傾向を示しており、これらのパラメータに基づいた場合の暴露年数 T とスレーキングサイクル数 Sc との対応関係も表-1に加えて示してある。

この表より、多少の値の変動はあるが、どの粒子破碎指標に基づいても、ほぼ同様の(暴露年数～スレーキングサイクル数)関係を読み取ることができる。そこで、値に大きな幅が認められるが、暴露年数とスレーキングサイクル数との関係を図-13に示した。この図より、どの粒子破碎指標に基づいても、暴露年数 T (年)とスレーキングサイクル数 Sc (回)との間に一定の関係のあることがわかる。暴露初期から5年経過までは、ほぼ直線的な関係が認められている。その下限の関係式は $T=0.25Sc$ となっており、また、上限の値もほぼ平行な関係を描いている。このことから、暴露初期においては、細粒化特性と沈下挙動の両面から見ても、暴露年数とスレーキングサイクル数との直線的な対応関係のよいことがわかる。例えば、室内試験における $Sc=10$ 回の供試体は、 $T=2.5\sim 4$ 年後の暴露供試体の状態を表わすこ

表-1 圧縮ひずみと粒子破碎指標に基づいた
暴露年数Tとスレーキングサイクル数Scとの対応

暴露年数 T (年)	対応するスレーキングサイクル数 Sc (回)			
	50%径に基 づく場合	2mm通過率 に基づく場合	パラメータr に基づく場合	パラメータm に基づく場合
1	1~3	1~3	3	3
2	6~8	6~8	9	6~8
3	4~9	(6~9)	4~9	7~9
4	(10~16)	(10~12)	(10~16)	(10~16)
5	18~20	12~14	18~20	18~20
6	—	18~20	—	18~20
7	22~40	30~40	22~35	22~35

— は暴露供試体の粒子破碎指標が図上で外れている場合
() は前後の関係からの予測値

とになる。

ただし、7年暴露供試体に対応するスレーキングサイクル数に最も大きな幅が認められ、下限の直線関係から外れて、より大きなスレーキングサイクル数を示している。このことは、室内スレーキング試験において、 $Sc=40$ 回に近づくにつれて、種々の粒子破碎指標も圧縮ひずみもある限界値に近づき、ほとんど変化しなくなることが原因と考えられる。

また、暴露試験においても、特に、2mm通過率やパラメータrの変化量が少なくなる傾向が見えることから、今後の暴露年数の経過に伴う圧縮ひずみもある値に収束する可能性があり、図-13の関係には、最終的に、図上である一定の領域内にプロットされることが予測される。

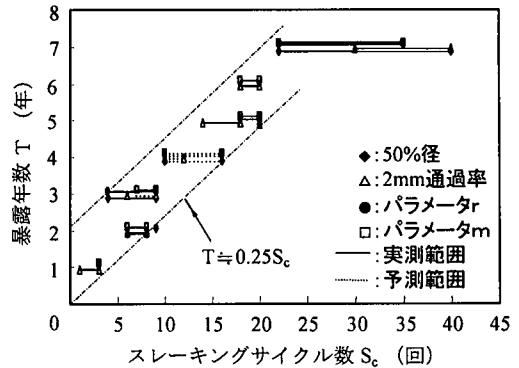


図-13 暴露年数とスレーキングサイクル数との関係

mは増加傾向を示した。

- (3) 7年の暴露年数の経過とともに、供試体の圧縮ひずみが増加する傾向が明らかになった。
- (4) 高サイクルの室内スレーキング試験では、スレーキング初期には、50%径とパラメータrの減少、2mm通過率とパラメータmの増加が認められた。しかし、サイクル数が40回程度を越えると、どの粒子破碎指標もほぼ一定値を示し、細粒化の進行の止まることが確認できた。
- (5) 高サイクルの室内スレーキング試験では、サイクル数40回程度までは供試体の圧縮ひずみが増加傾向を示すが、それ以降は圧縮ひずみが増加しないことがわかった。なお、このサイクル数から細粒化も進行しておらず、スレーキング性材料の沈下の原因が粒子破碎であることが確認できた。
- (6) 長期の暴露試験ならびに高サイクルの室内スレーキング試験の結果を、圧縮ひずみ～種々の粒子破碎指標の関係で整理した結果、暴露年数と室内

6. あとがき

本研究では、一種類の瑞浪泥岩を用いて、7年間の暴露試験を実施し、暴露供試体の細粒化特性と沈下挙動を明らかにした。また、細粒化指標として、50%径、2mm通過率、負の二項分布パラメータr、mを取り上げ、高サイクルの室内スレーキング試験結果との比較を行った。

ここに示した瑞浪泥岩供試体の暴露試験ならびに室内スレーキング試験の結果から得られた結論を要約すれば、以下ようになる。

- (1) 7年の暴露年数の経過に伴う50%径の低下と2mm通過率の増加が認められた。しかし、2mm通過率に関しては、4年経過後ほぼ一定値を示した。
- (2) 7年間の暴露供試体の細粒化に対しても、負の二項分布による評価は有効であり、rは減少傾向、

スレーキング回数との間に対応関係のあることがわかった。

(7)また、暴露試験結果と室内スレーキング試験結果の対応関係が見られることより、ここで採用した室内スレーキング試験の試験条件(常温水浸24時間・110°C炉乾燥24時間)が妥当であることがわかった。

なお、ここに示した結果は、全ての軟岩あるいは異なる試験条件の結果に当てはまるものではないと思われるが、こうしたデータが蓄積された場合には、より一般性のある結論が導き出せるものと考えている。また、試料採取に当たっては、(株)アイコの大山英治氏、中村吉男氏にお世話になった。さらに、実験・データ解析では名城大学の学生諸君の協力を得た。記して、謝意を表する。

付録 (負の二項分布パラメータの求め方)

残留率ヒストグラムに離散分布である負の二項分布を当てはめ、パラメータ r, m を求めるために、以下の操作を行なった。

最大粒径 D_{max} から対数軸上で等間隔に粒径をとり、式(1)によって、 n 番目の粒径 d_n を粒径番号 n として離散化する。

$$n \cdot \log(1/\lambda) = \log(d_n/D_{max}) \quad (1)$$

ここに、 $n=0, 1, 2, \dots$, $\lambda = \sqrt[4]{2}$ である。

粒径加積曲線から各粒径番号 n に対する残留率を読み取り、粒径番号に関する平均値 μ と分散 σ^2 を求めた。負の二項分布の理論に基づけば、これらの値 μ, σ^2 とパラメータ r, m との間には、式(2)の関係があるので、これらの二式を連立して解けば、対象とする残留率分布に最も適する負の二項分布

のパラメータが求められる。

$$\mu = \frac{m \cdot r}{1 - r}, \quad \sigma^2 = \frac{m \cdot r}{(1 - r)^2} \quad (2)$$

参考文献

- 1) 板橋一雄, 佐藤健, 森宮雄, 岩田賢: 軟岩の暴露試験と細粒化の表現法, 土木学会論文集, No.523 / III-32, pp.19-29, 1995.
- 2) 板橋一雄, 佐藤健, 和田英孝, 岩田賢: 暴露試験と室内スレーキング試験による軟岩供試体の沈下挙動と細粒化, 土木学会論文集, No.561 / III-38, pp.99-108, 1997.
- 3) 板橋一雄, 佐藤健, 森宮雄, 和田英孝: 軟岩の室内スレーキング試験に伴う細粒化の表現法, 土木学会論文集, No.505 / III-29, pp.181-190, 1994.
- 4) 片岡哲之, 池見元宣, 安田正幸, 栗城孝雄: ロック材料の風化促進による粒度変化, 第11回土質工学研究発表会, pp.917-920, 1976.
- 5) 望月秋利, 寺尾雅裕, 木下哲夫, 谷川和久, 片岡昌裕: 軟岩の風化とその評価, 土木学会第45回年次学術講演会第3部, pp.480-481, 1990.
- 6) 望月秋利, 片岡昌裕, 坂口理, 寺内雅裕: 暴露試験と乾湿繰返し試験による頁岩の風化速度の検討, 土質学会論文報告集, Vol.34, No.4, pp.109-119, 1994.
- 7) 矢萩賢仁, 豊田光雄, 中村昭: 岩石質材料の原位置暴露試験, 第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.611-615, 1993.
- 8) 佐藤健, 板橋一雄, 河邑眞: 乾湿繰返しによる泥岩の細粒化試験と結果の整理法, 土木学会論文集, No.487 / III-26, pp.69-77, 1994.
- 9) 永津忠治, 鶴田正治, 深池正樹: ロックフィルダム用岩石材料の劣化環境モデル化について, 土木学会第49回年次学術講演会第3部, pp.668-669, 1994.
- 10) 永津忠治, 鶴田正治, 深池正樹: ロックフィルダム用岩石材料の室内試験による耐久性評価について, 土木学会第49回年次学術講演会第3部, pp.670-671, 1994.

(2000. 3. 23 受付)

THE DISINTEGRATION AND SETTLEMENT BEHAVIOUR OF THE MIZUNAMI MUD ROCK BY IN-SITU EXPOSURE TEST

Kazuo ITABASHI, Hidetaka WADA, Takeshi SATO and Masaru IWATA

It is well known that soft rocks are disintegrated by repetitions of drying and wetting in nature. But, the disintegration and settlement behaviour of these materials are not known satisfactory. Also the relationship between the results of in-situ exposure tests and that of slaking tests in laboratory are not known. Then Mizunami mud rock is used to carried out in-situ exposure tests in 7 years and slaking tests in this study. The results of this study are as follows: (1) progress of the settlement and particle breakage are confirmed by both test results, (2) a unique relation is recognized between exposure periods and slaking cycles.