

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

板橋一雄¹・佐藤 健²・和田英孝³・岩田 賢⁴

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

²正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 (〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

³正会員 工修 基礎地盤コンサルタンツ (株) (〒102 東京都千代田区九段北1-11-5)

⁴正会員 工修 中央開発 (株) (〒814-01 福岡市城南区鳥飼6-3-27)

軟岩は、室内や自然の乾湿繰り返しによって細粒化することが知られている。また、軟岩を用いた盛土への雨水の浸入に伴う長期沈下や供試体の水浸沈下挙動も知られている。しかしながら、軟岩の細粒化の程度と沈下挙動との対応関係はさほど明確には示されていない。そこで、本研究では、軟岩供試体の沈下挙動に主眼を置き、その物理的性質との関係、細粒化特性との関係を明確にすることを目的とした。そのために、4種類の軟岩を採取し、沈下量を測定する暴露試験ならびに室内スレーキング試験を実施した。その結果、種々の細粒化指標ならびに液性・塑性限界、モンモリロナイトの有無などと圧縮沈下量との対応関係を明確にすることができた。

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

1. まえがき

最近では、堅固な岩石材料が入手困難になってきたことや軟岩の掘削の有効利用などの理由により、自然条件の下で細粒化が生じる軟岩でも盛土材料として利用するようになってきた^{1)・2)}。しかし、こうした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、種々の問題の発生していることが報告されている^{3)~5)}。さらに、原位置での水浸沈下試験^{6)・7)}、室内での大型盛土模型実験⁸⁾、締固め用モールド供試体などの水浸沈下挙動あるいは乾湿繰返し挙動^{9)~22)}などに関する研究報告が多数なされている。

また、試料の物理的性質と細粒化特性との関係を示した研究も数多くあり^{23)~34)}、液性・塑性限界の値やモンモリロナイト含有量などの関係が種々指摘されている。

しかしながら、同一の軟岩試料を用いて、室内スレーキング試験と暴露試験を実施し、その沈下挙動と細粒化特性との関係を明確にした研究はほとんどない。さらに、軟岩の物理的性質と細粒化し易さの程度ならびに沈下挙動の三者の相互関係を明確にした研究はさほど見あたらない。著者らは、現在までに数種類の軟岩を用いて、室内スレーキング試験や暴露試験を実施し、その細粒化特性の表現方法や両

試験結果の比較手法について研究を進めてきている^{35)~38)}。本研究では、軟岩供試体の沈下挙動に主眼を置き、物理的性質との関係や室内スレーキング試験ならびに暴露試験によって生じる細粒化との関係を明確にすることを目的とした。

2. 軟岩盛土ならびに砕屑軟岩供試体の水浸沈下挙動と細粒化に関する従来の研究

(1) 軟岩盛土の水浸沈下挙動と細粒化

三笠、望月らの研究グループ^{3)・5)~7)}は、軟岩を用いた宅地造成地の長期沈下の原因が盛土の締固め不足と雨水の浸入による材料の劣化であることを示している。また、原位置での特殊な水浸沈下試験法を開発し、水浸に伴い沈下が急激に進行することを明らかにしている。

島、今川ら^{4)・9)}は、ぜい弱岩を用いた道路盛土の圧縮沈下の実態を調査し、沈下量が大きく長期にわたること、沈下量の大きな箇所は地下水、湧水、地表水などの供給の豊富などであることを指摘している。さらに、耐スレーキング性や破碎性を評価するための室内試験方法と評価分類図ならびに施工管理基準を提案し、スレーキングし易い軟岩でも、施工上の対応により圧縮沈下量を小さくすることができることを示している。

表-1 採取した軟岩の物理的性質と鉱物判定結果

泥岩名	受乞泥岩	穂積泥岩	布土泥岩	日進泥岩
採取地点	北海道勇払郡	富山県永見市	愛知県香春市	愛知県日進市
地層名	新第三紀中新世中期受乞層	新第三紀鮮新世初期穂積泥岩層	新第三紀鮮新世初期常滑層群布土層	新第三紀鮮新世初期瀬戸層群日進砂層
自然含水比 (%)	21.80	30.10	26.68	32.55
土粒子密度 (g/cm ³)	2.483	2.647	2.688	2.671
液性限界 (%)	70.98	82.64	43.63	45.86
塑性限界 (%)	44.28	37.88	30.33	27.87
塑性指数	26.70	44.78	13.30	18.29
孔隙密度 (g/cm ³)	-	1.881	1.985	1.880
孔隙比	-	0.818	0.688	0.851
飽和度 (%)	-	80.38	87.72	95.18
鉱物組成 (%)				
石英	25~35	55~65	80~90	80~90
長石	20~30	5~15	10~20	5~15
クリストパライト	-	5~15	-	-
トリゴマイト	-	5~15	-	-
モンモリロナイト	10~20	5~15	-	-
雲母粘土鉱物	-	5 未測	5 未測	5 未測
緑泥石	-	5 未測	-	5 未測
沸石	30~40	-	-	-

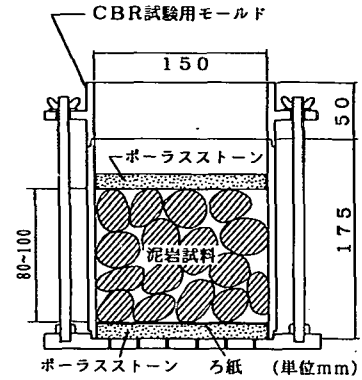


図-2 実験供試体

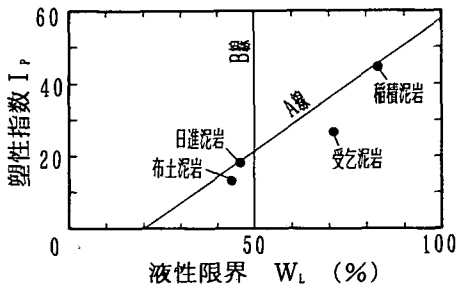


図-1 採取した軟岩の塑性図

野田ら⁸⁾は、神戸層群から採取した泥岩の大型模型盛土の水浸実験を実施し、時間遅れを伴った水浸沈下の生じることを示している。

上述した研究では、現場から採取した軟岩の室内劣化試験（水浸試験、大型圧密試験、乾湿繰り返し試験など）を実施し、室内供試体の細粒化特性を明確にしているものもあるが、試料の物理的性質との関係や原位置での細粒化状況はさほど明確に示されていない。

(2) 碎屑軟岩供試体の水浸沈下挙動と細粒化

大型の圧密供試体あるいはCBR試験用モールド供試体を用いた室内での載荷・水浸試験では、載荷重による圧縮沈下が落ち着いた後に供試体を水浸すると、沈下量が急激に増加する結果が示されている^{3), 8), 11), 13)~22)}。また、浸水後の粒度変化を示し、沈下の原因が浸水に伴う粒子のぜい弱化・細粒化であることも示されている^{14), 15), 18), 20)~22)}。

さらに、締固め供試体の室内での乾湿繰り返し試験では、乾湿に伴い収縮・膨張を繰り返し、圧縮ひずみが徐々に増加すること^{10), 12), 16), 17)}、その原因が粒子破碎であること^{10), 12), 16)}も示されて

いる。しかし、これらの研究では、軟岩の物理的性質との関係や細粒化の程度が明確には示されていない。

(3) 軟岩の細粒化と物理的性質との関係

軟岩のスレーキング発生メカニズムについては、Terzaghi や仲野²³⁾が示している。また、スレーキングの発生に関係する要因に関しては、モンモリロナイト含有量が関係すること^{25), 29), 30), 34)}、その吸着カチオンの種類により崩壊形式が異なること³⁴⁾、和泉層群の泥岩についてはモンモリロナイトが主原因ではないこと²⁶⁾、飽和度（含水比）の低下によってスレーキングが発生し易いこと^{26), 31), 33)}、間隙率（内部構造）が影響すること²⁹⁾、液性限界との相関があること³²⁾、さらには、スレーキングに伴い液性指数が増加すること^{24), 27)}、土粒子比重、強熱減量、pH、細粒分含有率、液性・塑性限界が変化しないこと²⁸⁾など、広範囲の軟岩試料について、種々の指摘がなされている。

3. 試料の物理的性質と試験方法

(1) 試料の物理的性質と供試体作製

本研究で用いた軟岩の採取地点、地層名、物理的性質と鉱物判定結果（X線回折、粉末法）を表-1にまとめて示してある。また、塑性図を図-1に示してある。液性限界ならびに塑性指数の大きい順は、穂積泥岩・受乞泥岩・日進泥岩・布土泥岩となっている。また、膨潤性粘土鉱物であるモンモリロナイトの含有が認められる泥岩は、 w_L 、 I_p ともに大きな穂積泥岩と受乞泥岩であり、その他の二つの泥岩には含まれていない。ここで扱う4種類の泥岩の堆

積年代は新第三紀中新世中期から鮮新世前期のものである。これらの泥岩の湿潤密度、自然含水比、飽和度の範囲は、それぞれ、 $1.88 \sim 1.97 \text{g/cm}^3$ 、 $22 \sim 33\%$ 、 $88 \sim 95\%$ となっており、ほぼ同程度の値を示している。ただし、最も堆積年代が古く、自然含水比の低い受乞泥岩には潜在的な亀裂が多くあり、供試体の成形が困難であったため、試料の湿潤密度は測定できなかった。

室内スレーキング試験と暴露試験では、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。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き、粒径31.5～37.5mmの泥岩小塊約30個を3～4層、供試体高さ約80～100mm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-2）とし、供試体初期高さ、初期質量を測定した。各泥岩試料に対して、16～26体（総計76体）の供試体を作製し、室内スレーキング試験ならびに暴露試験に使用した。なお、モールドにポーラスストーンとろ紙を敷いた状態での透水係数は489mm/時であった。

(2) 室内スレーキング試験と暴露試験の方法

室内スレーキング試験の条件は、日本道路公団で採用されている 110°C の炉乾燥24時間～水浸24時間を1サイクルとして採用し、1～8あるいは10サイクルまで実施した。ただし、各サイクルの炉乾燥終了後の正確な粒度分布を求めることを目的として、水浸～炉乾燥の順とした。各炉乾燥・水浸終了後に供試体の質量と高さを測定し、各時点の供試体密度、累積沈下量、圧縮ひずみ、含水比、間隙比、飽和度などを計算し、各サイクル毎のこれらの変化を明らかにした。なお、質量は感量0.1gの電子台ばかりを、高さは最小目盛り0.05mmのノギスを用い、その時に置いた上部ポーラスストーンの深さをカラー上端から3箇所測定して計算した。また、半サイクル前の質量を炉乾燥質量とし、水浸時の質量はそれに水分のみが増加したと仮定して、含水比、飽和度などを計算した。

暴露試験では、供試体の上部ポーラスストーンを外した状態で、日光や降雨が直接当たる場所（名城大学内）に放置して実施した。暴露日数は、各泥岩によって異なるが、最短3日、最長336日となっている。また、各泥岩の入手時期が異なるため、暴露開始時期は平成5年7月から平成6年9月の間となっており、泥岩の種類によって被った気象条件は異なっている。

受乞泥岩と布土泥岩の暴露供試体は、毎日1回午

前10時に実験室内に静かに搬入し、室内スレーキング試験供試体と同様、その質量と高さを測定した。したがって、各時点の供試体密度、累積沈下量、圧縮ひずみ、含水比、間隙比、飽和度などが計算でき、暴露日数との関係を明らかにできる。ただし、各供試体の初期含水比は同一であり、降雨による質量増加分は水分量の増加であると仮定して、含水比や飽和度などを計算した。

また、稲積泥岩と日進泥岩の暴露供試体については、CBR試験用モールドにダイヤルゲージ（目盛り1/100mm）を設置し、自然条件の変化に伴う精密な高さ変化量を測定した。ただし、この場合には、供試体を移動することができないため、その質量は測定できず、供試体密度や含水比などは計算できないことになる。

質量や高さの変化を測定し、所定のサイクル数や暴露日数が終了した後、供試体内のすべての試料を用いて粒度試験を実施した。粒度試験では、JISふるい（最大ふるい目125mm、最小ふるい目 $3.2\mu\text{m}$ の49個のふるい）すべてを用いてふるい分け、粒径加積曲線を得た。ふるい分けはロータップ型振とう機で一律15分間行った。

4. 室内スレーキング試験による供試体の状態変化と細粒化

(1) 供試体の圧縮ひずみと含水比の変化

図-3(a)、(b)には、各泥岩の代表的な供試体について、圧縮ひずみならびに含水比とサイクル数との関係を示している。室内スレーキング試験の供試体は、毎回の水浸・炉乾燥のたびに、体積膨張・収縮と質量増加・減少を繰り返し、図示した圧縮ひずみや含水比の繰り返し変化を受けている。さらに、式(1)の回帰式を考え、圧縮ひずみとサイクル数との関係が明確な6サイクル以上の繰り返しを実施した結果を用いて、乾燥側、水浸側のデータをそれぞれ一組とした回帰分析を行った。その結果、図-4を得た。なお、図では乾燥側と水浸側をハッチングで、結んで表示してある。

$$\log \epsilon = a + b \times \log S_c \quad (1)$$

ここに、 ϵ は圧縮ひずみ(%)、 S_c は乾湿のサイクル数(回)、 a 、 b は定数を示す。なお、回帰式の形式については、望月ら¹⁷⁾が示した式も用いたが、式(1)の方が相関係数0.90以上の高い相関性を示す場合が多かった。

乾湿のサイクル数の増加に伴って圧縮ひずみの平均的傾向は、稲積泥岩と受乞泥岩の場合には、ほぼ直線的に増加し、10サイクルで約20%と高い圧縮ひずみを示している。一方、布土泥岩と日進泥岩

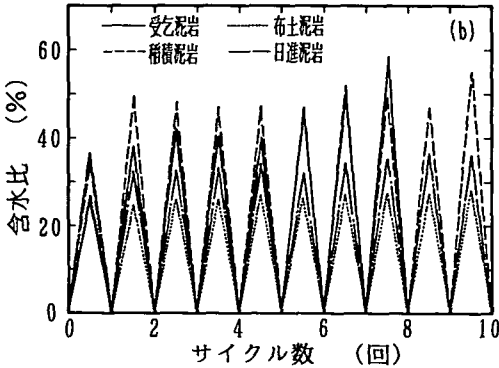
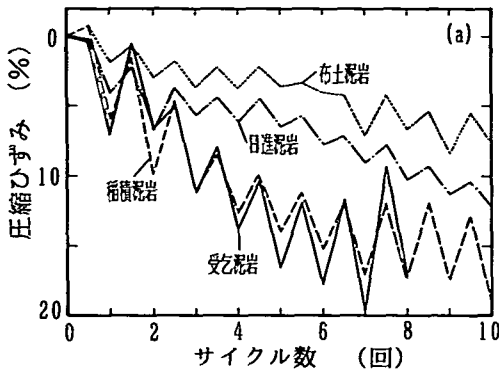


図-3 室内スレーキング試験における
圧縮ひずみと含水比の変化

の場合には、1～2サイクルの乾湿初期には、2～5%ほどの圧縮ひずみを示すが、その後の増加傾向は低い。10サイクル経過しても、布土泥岩で約5%、日進泥岩で約9%と、前者の2つの泥岩と比べて低い圧縮ひずみしか示していない。

この圧縮ひずみの大きさの順序は、液性限界や塑性指数の大きさの順序とほぼ同一になっていることは興味深い。

含水比について見ると、受乞泥岩と稲積泥岩の場合には、数サイクルまで急増し、その後増加割合が減少するか、ほぼ一定値を示している。一方、布土泥岩と日進泥岩では、初期含水比からほとんど変化していない。これも、4試料の液性限界や塑性指数の大小区分と対応している。なお、供試体密度、間隙比や飽和度などの状態量の変化は、圧縮ひずみや含水比に対応した変化を示している。

上述した現象は、湿潤・乾燥に伴う個々の泥岩粒子の吸水膨張・乾燥収縮のみでは説明が付けられない。後述する泥岩粒子の細粒化に伴って、粒子で形成された骨格構造自体の変化が原因となって、非可逆で大きな変形量を生じることになる。この点は、文献10),12),16),17)の指摘と同様である。

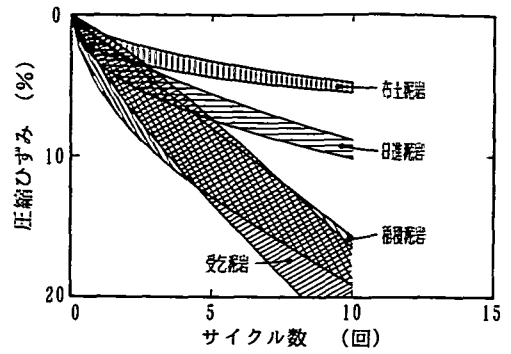


図-4 室内スレーキング試験による
圧縮ひずみの増加傾向

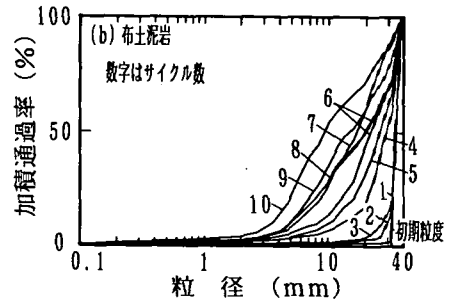
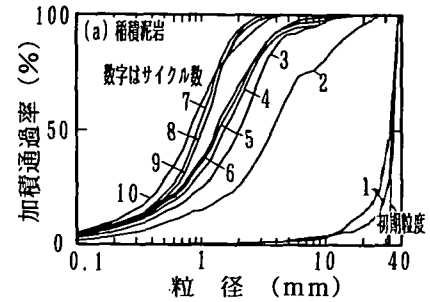


図-5 室内スレーキング試験による粒徑加積曲線の移動 (稲積泥岩, 布土泥岩の場合)

(2) 細粒化特性

室内スレーキング試験において、質量や高さ変化を測定し、所定のサイクル数を終了した供試体の粒度を測定した。図-5には、最も細粒化の激しい稲積泥岩と、粒度変化の少ない布土泥岩の粒徑加積曲線を示した。これらの結果を、文献36)に示した方法により整理した。50%径、2mm通過率、負の二項分布パラメータ r 、 m とサイクル数との関係を図-6に示してある。なお、図中の実線は提案したそれぞれの回帰曲線を示している³⁶⁾。

2mm通過率の増加量ならびに負の二項分布パラメータの変化からみると、細粒化し易さの順序は、稲積泥岩・受乞泥岩・日進泥岩・布土泥岩の順とな

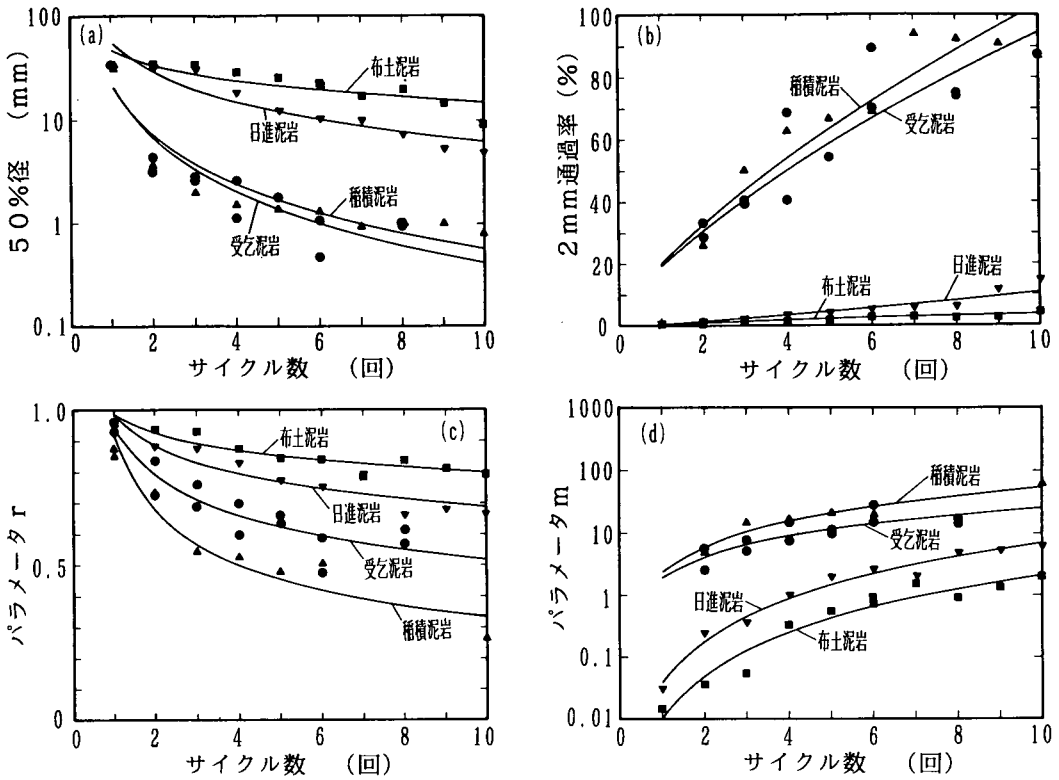


図-6 室内スレーキング試験による粒子破碎指標の変化

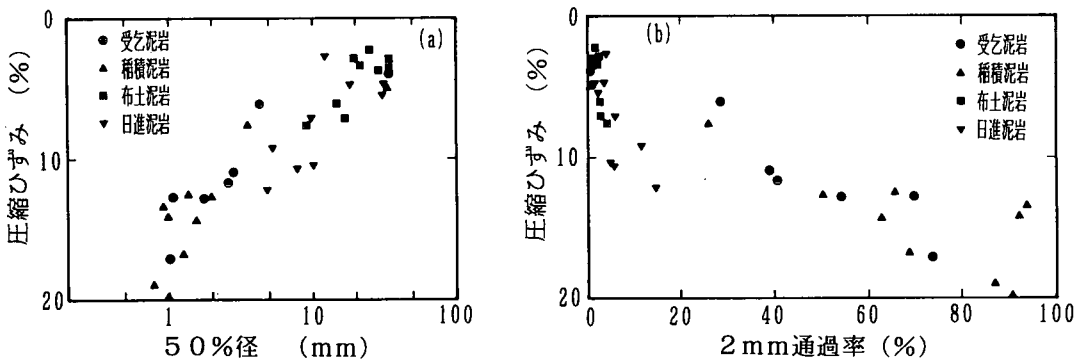


図-7 供試体の圧縮ひずみと粒子破碎指標との関係

っている。また、50%径の変化は、稲積泥岩と受乞泥岩で順序は逆転しているものの、ほぼ同様の細粒化を示し、日進泥岩・布土泥岩ではその低下程度は低くなっている。

供試体や試験の条件を同一にした室内スレーキング試験の以上の結果より、圧縮ひずみ、2mm通過率、負の二項分布パラメータ r 、 m の大きさ（あるいは小ささ）の順序はすべて、稲積泥岩・受乞泥岩・日進泥岩・布土泥岩の順となっている。したが

って、ここで扱った4種類の泥岩について、これが乾湿繰返しに伴う細粒化し易さの順序を表しているものと考えられる。この順序は液性限界、塑性指数の大きさの順序にも一致している。また、モンモリロナイトを含有している稲積泥岩と受乞泥岩では、細粒化が激しく、圧縮ひずみや含水比変化などが大きく現れ、モンモリロナイトを含まない残りの二つの泥岩では、その程度が低くなっている。

また、図-7には、供試体の圧縮ひずみと細粒化

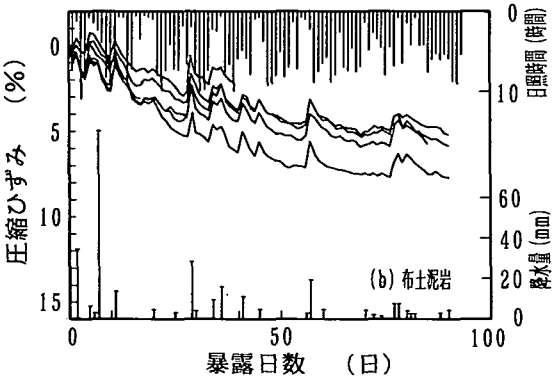
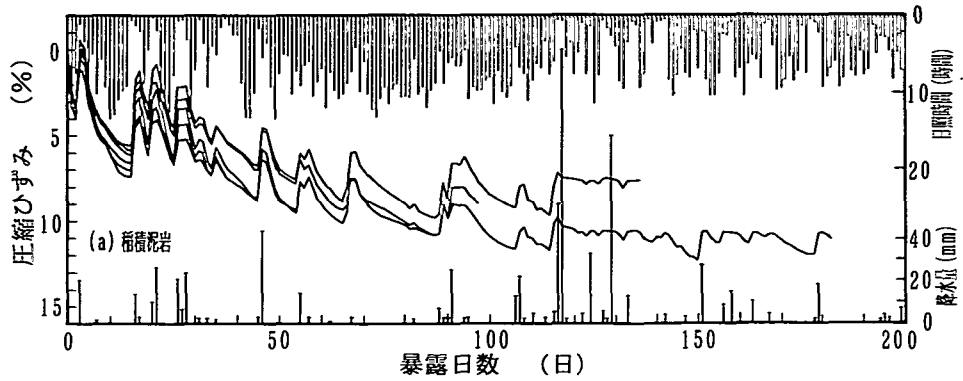


図-8 暴露試験における圧縮ひずみの経時変化
(稲積泥岩, 布土泥岩の場合)

後の50%径や2mm通過率との関係が示してある。泥岩ごとにプロットされる点の位置が異なり、ばらつきも大きい。全体的に見れば、圧縮ひずみの増加に伴い、50%径は減少し、2mm通過率は増加する傾向が伺える。

以上の事実より、堆積年代、自然含水比や湿潤密度がほぼ同程度の泥岩では、液性限界や塑性指数の大きな泥岩ほど細粒化の程度が高く、圧縮ひずみも大きいことが明らかになった。こうした結果は、文献(25,29,30,32,34)の指摘を支持するものとなっている。

5. 暴露試験による供試体の状態変化と細粒化

(1) 供試体の圧縮ひずみと含水比の変化

図-8には、ダイヤルゲージによって精密に沈下量を測定した稲積泥岩(初期の182日間)とノギスによる高さ測定を行った布土泥岩(初期の90日間)の圧縮ひずみの経時変化を示している。また、図-9には、受乞泥岩と布土泥岩の含水比の経時変化を示している。これらの図中には、日降水量

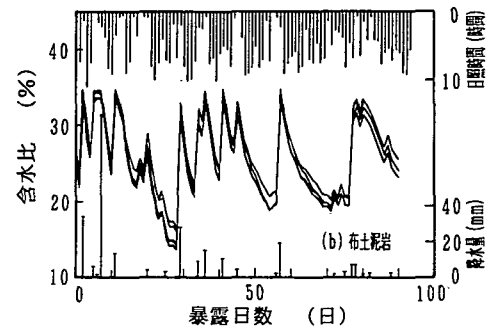
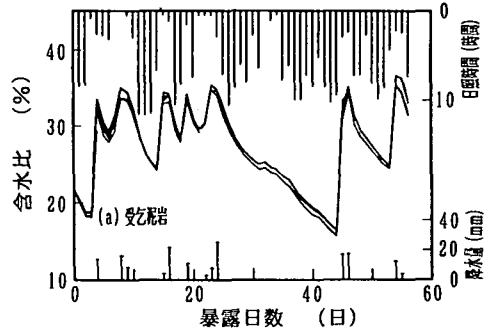


図-9 暴露試験における含水比の経時変化
(受乞泥岩, 布土泥岩の場合)

(mm)を下からの棒グラフ、日照時間(時間)を上からの棒グラフとして、併せて示してある。これらの気象情報は、暴露試験地から約4km離れた名古屋気象台の情報³⁹⁾を利用した。なお、供試体の質量・高さ測定は毎日午前10時に行っているため、両者の気象情報は前日の午前10時から当日の午前10時までの1時間毎の値を合計して求めた。なお、供試体質量、密度、間隙比、飽和度などの状態量は、図-9に対応した経時変化を示している。

これらの図より、降水量、日照時間と供試体の圧縮ひずみや含水比との相関関係が読みとれる。大局的に見れば、降雨によって含水比が上がり、急激な

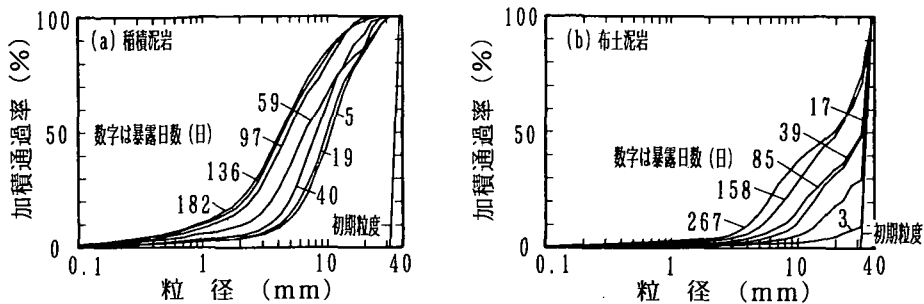


図-10 暴露試験による粒径加積曲線の移動
(稲積泥岩, 布土泥岩の場合)

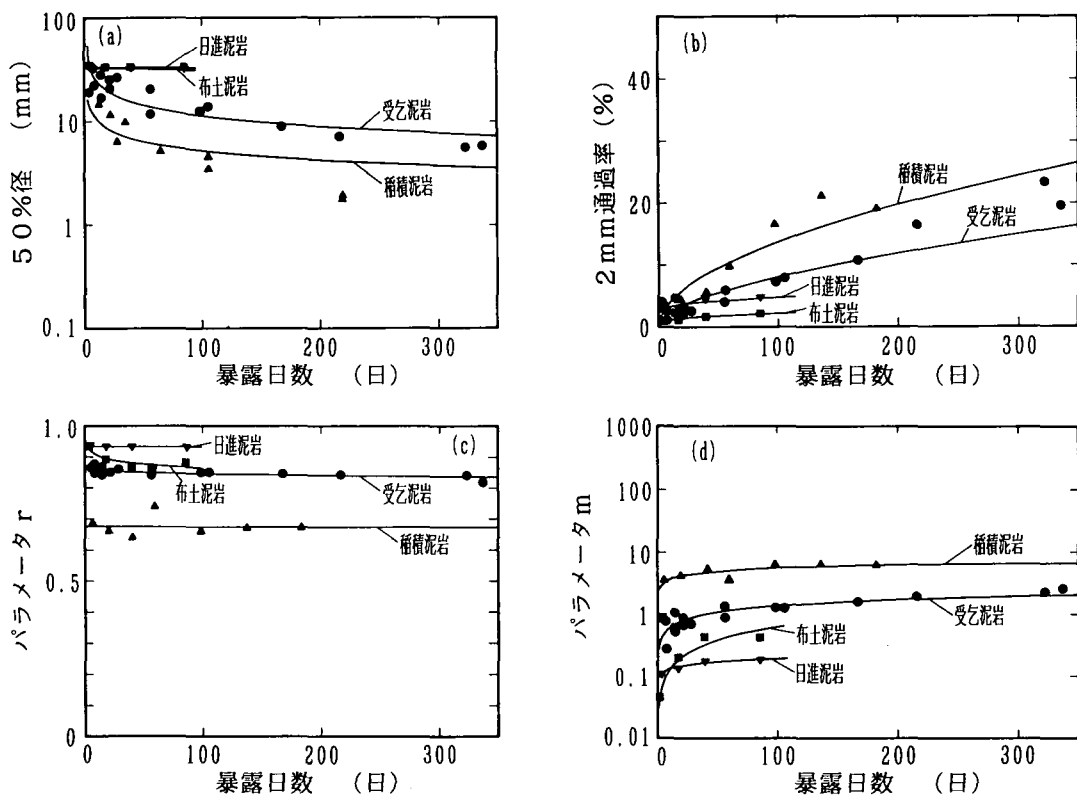


図-11 暴露試験による粒子破碎指標の変化

供試体質量の増加が生じる。また、体積が膨張することにより、圧縮ひずみが減少する。一方、降雨がなく日照時間が長くなると、含水比が低下し、圧縮ひずみの増加が認められる。こうした気象条件の変化に伴う挙動は、室内スレーキング試験の結果とよく対応している。

晴天が続くと、圧縮ひずみや含水比はある値に収束するような、下向きの指数関数的な関係を示して

いる。さらに、降水量 10mm 程度以上の降雨があれば、含水比はほぼ一定値まで回復を示している。また、20mm 以上の大きな降雨があっても、対応して含水比が大きくなるはなっていない。このような大降雨の場合には、その一部のみが泥岩粒子に取り込まれるだけで、容器の透水係数も高いため、残りの降雨は、粒子間の間隙を流下するのみであることがわかる。

晴天・雨天の繰り返しに伴い、圧縮ひずみの増減が繰り返されるとともに、徐々に、圧縮ひずみが増加している。これは、泥岩盛土に現れる長期沈下の現象に対応している。

暴露日数 50 日目の圧縮ひずみをみると、受乞泥岩では 8.1～12.4%，稻積泥岩では 6.9～8.7%，布土泥岩では 4.4～6.9%，日進泥岩では 3.7～5.4% となっている。各泥岩試料の受ける気象条件が異なること、沈下量の測定方法が二種類あることなどの試験条件の相違のため、単純な比較はできないが、室内スレーキング試験において圧縮ひずみが大きく現れる稻積泥岩と受乞泥岩では、暴露試験の圧縮ひずみも大きくなっている。逆に、布土泥岩と日進泥岩では、圧縮ひずみが小さくなっている。このことは、規則的に乾燥・湿潤を繰り返す室内スレーキング試験の厳しい試験条件（110℃ 24 時間の炉乾燥）でも、ある程度原位置の条件を反映していることを示唆するものと考えられる。

また、稻積泥岩についてみると、100 日経過後 182 日目までに、降水量 10mm 以上の降雨日が 11 回、その内 19mm 以上の降雨日が 7 回あり、9 回程度の乾湿繰り返しを受けているが、平均的な圧縮ひずみの顕著な増加は認められないことは興味深い。

(2) 細粒化特性

暴露試験において、質量、高さ変化あるいは高さ変化のみを測定し、所定の日数が経過した供試体の粒度を測定した。図-10には、室内スレーキング試験において、最も細粒化し易い稻積泥岩と細粒化しにくい布土泥岩の暴露試験後の粒径加積曲線を示した。暴露開始日が約 4 ヶ月異なっているが、暴露日数の経過とともに細粒化が進行していること、暴露試験においても細粒化し易さの程度が両泥岩で大きく異なることなどがわかる。

また、文献 37) と同様に、50% 径、2 mm 通過率、負の二項分布パラメータ r 、 m と暴露日数との関係を図-11に示した。なお、図中の実線は提案した回帰曲線を示している³⁷⁾。布土泥岩と日進泥岩以外は、暴露開始月日が異なっているので、各泥岩が受けた気象条件の変化は異なっているため、単純な比較はできないが、50% 径の低下量ならびに負の二項分布パラメータの変化からみると、細粒化のし易さの順序は、稻積泥岩・受乞泥岩・布土泥岩・日進泥岩の順となっている。2 mm 通過率に着目すると、布土泥岩と日進泥岩の順序のみが逆転している。

このように、各泥岩試料の受ける気象条件が異なっても、室内スレーキング試験において細粒化し易い泥岩では、暴露試験においても激しい細粒化を示

している。

特に、精密な沈下量測定を行った稻積泥岩では、約 100 日経過後からは、数回の大きな降雨があるにもかかわらず、粒度変化（図-10(a)）はほとんど示しておらず、その粒度変化の指標（図-11）もほぼ一定値を示している。これに対応して圧縮ひずみの増加がほとんど認められていない。このことは、供試体の継続的な圧縮ひずみ増加の原因が、粒子破砕であることを示唆している。こうした現象が現れたのは、試料の細粒化が供試体上部から生じ、上部に細粒な層が形成され、下層の乾湿繰り返し程度が低減させられたためと考えられる。

以上の供試体暴露試験の結果より、スレーキングが生じ易い泥岩を用いた盛土施工に当たっては、雨水や地下水の流出入に伴う乾湿繰り返しを避け、試料の細粒化によって生じる盛土の沈下を低減できることが指摘できる。

6. あとがき

本研究では、軟岩盛土や供試体の沈下挙動と細粒化特性、物理的性質との関係を明らかにするために、4 種類の泥岩の物理的性質を調査し、総計 76 体の供試体を用いた、暴露試験と室内スレーキング試験を実施した。

得られた結論を要約すると、以下のようになる。

- (1) 試験条件を同一にした室内スレーキング試験の結果より、圧縮ひずみ、2 mm 通過率、負の二項分布パラメータの大きさの順序は、すべて稻積泥岩・受乞泥岩・日進泥岩・布土泥岩となっている。これは 4 種類の泥岩の細粒化し易さの順序を表しており、液性限界や塑性指数の大きさ、モンモリロナイト含有の有無にも対応している。また、試料の細粒化が供試体の圧縮沈下の主原因であることが明らかとなった。
- (2) 各泥岩供試体を受ける気象条件や沈下量測定方法が異なるが、室内試験で細粒化し易い稻積泥岩と受乞泥岩では、暴露試験における細粒化の程度も圧縮ひずみの量も大きくなっている。残りの日進泥岩と布土泥岩では、細粒化の程度・圧縮ひずみともに小さくなっている。すなわち、室内スレーキング試験と暴露試験の結果が良く対応することが明らかとなった。
- (3) 供試体の体積、質量、密度、沈下量、圧縮ひずみ、含水比、間隙比、飽和度などは、室内試験での乾湿繰り返しや暴露試験での気象変化（降水量、日照時間）に敏感に反応し、一定の傾向での増減を示した。
- (4) ただし、精密な沈下量測定を行った稻積泥岩で

は、約100日経過後からは、数回の大きな降雨があるにもかかわらず、圧縮ひずみなどの増減は小さく、ほぼ一定値を示している。これに対応して、粒度変化もほとんど示しておらず、今回の試験における供試体の圧縮ひずみの発生が、粒子破砕に起因することを明らかにした。

スレーキングし易い軟岩を用いた盛土等の設計に当たっては、スレーキングに伴う圧縮沈下量や強度低下の将来予測が必要になる。原位置の自然環境条件の変化に応じた長期の暴露試験を実施すれば良いが、設計時にそうした情報が入手できる例は稀であろう。そこで、軟岩の岩種、岩級、鉱物組成、物理的性質、堆積年代、応力履歴、不均質性などの異なる種々の材料に対して、本論文に示した調査を行いまとめておけば、有効に利用できると考えている。この点に関しては、今後の研究課題としたい。

なお、試料採取に当たっては、北海道開発局の秀島好昭氏、東邦ガス㈱の丹羽知紀氏、不動建設㈱の中角功氏、㈱ガイアートクマガイの山本正樹氏の協力を得た。試料採取地点の地質については、名城大学地学教室牧野内猛助教授に伺った。鉱物判定は(財)東海技術センターで実施していただいた。また、実験・データ解析に当たっては、名城大学の学生諸君の協力を得た。記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 赤津武雄,神崎靖,高橋正久,岡部博,中崎英彦,上田貴夫: フィルダムへの泥岩の適用性に関する検討と実施例—地域振興整備公団・神下防災調節池堤体工事—,土と基礎,Vol.32,No.7,pp.15-20,1984.
- 2) 高薄和雄,宮林秀次,小島宗隆,小原潔:軟岩ずりを活用した大規模盛土の設計・施工,土と基礎,Vol.32, No.7,pp.53-59,1984.
- 3) 三笠正人,望月秋利,川本祥史:宅地沈下に関する一考察,第8回土質工学研究発表会,pp.399-402,1972.
- 4) 島博保,今川史郎:スレーキング材料(ぜい弱岩)の圧縮沈下と対応策,土と基礎,Vol.28,No.7,pp.45-52,1980.
- 5) 望月秋利,三笠正人,川本祥史:宅地造成地の水浸による沈下の検討例,土と基礎,Vol.33,No.4,pp.25-32,1985.
- 6) 望月秋利,松浦良治,金田逸朗:原位置における盛土の水浸沈下の測定法,第22回土質工学研究発表会,pp.1723-1724,1987.
- 7) 望月秋利,片岡昌裕,金田逸朗:原位置載荷・水浸沈下試験の施工管理への応用,土と基礎,Vol.37, No.7,pp.29-34,1989.
- 8) 野田耕,西 勝:軟岩盛土の水浸沈下に関する研究,土木学会論文集,第391号/VI-8,pp.77-86,1988.
- 9) 今川史郎,長坂勇二,後藤力:軟岩ずりをを用いた盛土の圧縮特性,第17回土質工学研究発表会,pp.589-592,1982.

- 10) 金丸正雄,中崎英彦,上田貴夫:ぜい弱岩盛土材のスレーキングによる沈下特性について,第17回土質工学研究発表会,pp.593-596,1982.
- 11) 望月秋利,本岡祐寿,片岡昌裕:締固めた硬質粘土の水浸による沈下特性,第22回土質工学研究発表会,pp.1719-1722,1987.
- 12) 佐藤巖,赤石勝,竹田敏彦,杉山太宏:泥岩のスレーキングと圧縮沈下特性,第23回土質工学研究発表会,pp.1137-1138,1988.
- 13) 佐藤巖,竹田敏彦,赤石勝:泥岩盛土材の圧縮沈下,第24回土質工学研究発表会,pp.1111-1112,1989.
- 14) 山口晴幸,豊田真,桜田良治,黒島一郎:碎屑泥岩の圧密沈下特性,土木学会第44回年次学術講演会,pp.400-401,1989.
- 15) 山口晴幸,黒島一郎,福田誠:スレーキングで破砕した軟岩の締固め特性,土木学会論文集,第418号/III-13,pp.75-84,1990.
- 16) 森洋一,高田義泰,山口晴幸:スレーキングで生じた泥岩の乾湿に伴う沈下特性,第25回土質工学研究発表会,pp.425-428,1990.
- 17) 望月秋利,寺下雅裕,木下哲生,吉村喜代一,片岡昌裕:軟岩の水浸沈下とその推定,土木学会第45回年次学術講演会,pp.476-477,1990.
- 18) 西 勝,前田英彦,津田真二:岩砕粗粒部の沈下性状と粒子破砕の関係について,第26回土質工学研究発表会,pp.1123-1124,1991.
- 19) 竹田敏彦,佐藤巖,杉山太宏,赤石勝:スレーキング性泥岩盛土材の圧縮沈下特性,第27回土質工学研究発表会,pp.1217-1218,1992.
- 20) 野川達也,今井五郎,ブラダン・テン:軟岩の浸水沈下特性,土木学会第47回年次学術講演会,pp.638-639,1992.
- 21) 西 勝,山縣正明,津田真二,松井繁之:軟岩盛土材料の劣化が締固め及び圧縮特性に及ぼす影響について,第28回土質工学研究発表会,pp.1379-1380,1993.
- 22) 野嶋浩一,今井五郎,ブラダン・テン:破砕泥岩の水浸沈下特性とその機構,土木学会第49回年次学術講演会,pp.652-653,1994.
- 23) 仲野良紀:由比地スベリ母岩(泥岩)の軟弱化と物性の変化について(その1),土と基礎,Vol.12, No.11,pp.27-33,1964.
- 24) Morgenstern, N.R and K.D.Eigenbrod : Classification of Argillaceous Soils and Rocks, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, pp.1137-1156,1974.
- 25) 中世古幸次郎,嘉門弘司,三木幸蔵,芳原和貴,田中隆夫:特殊な性状を持つ岩塊を用いた盛土地盤の沈下についての研究,土と基礎, Vol.23, No.3, pp.31-38, 1975.
- 26) 林田精郎:和泉層群(白亜紀)の硅化していない泥岩の風化についての二,三の研究,応用地質,第18巻3号,pp.37-42,1977.
- 27) 新城俊也,小宮康明:乾湿繰り返しによる島尻層泥岩のコンシステンシーの変化,第12回土質工学研究発表会,pp.109-112,1977.
- 28) 竹内孝光,岩竹喜久磨:泥岩の風化特性について,日本道路公団試験所報告,pp.37-47,1978.
- 29) 松倉公憲:頁岩および凝灰岩のスレーキングについて,第14回土質工学研究発表会,pp.1345-1348,1979.
- 30) 松倉公憲,谷津榮寿:頁岩および凝灰岩のスレーキングについて(II),第15回土質工学研究発表会,pp.1397-1400,1980.
- 31) 村沢 讓,小西 武:新第三紀泥岩におけるスレー

- キング特性と飽和度の関係について, 第 22 回土質工学研究発表会, pp.965-966,1987.
- 32) 三室俊昭, 伝田篤, 藤岡宏一郎: 軟岩のスレーキング試験に関する比較検討, 第 23 回土質工学研究発表会, pp.1135-1136,1988.
- 33) 山口晴幸, 森洋一, 黒島一郎, 福田誠: 第三紀泥岩の破砕性について, 第 25 回土質工学研究発表会, pp.1095-1098,1990.
- 34) 鷺沢栄紀, 石田良二, 神藤健一: スメクタイトを含む軟岩の劣化に関する研究, 第 25 回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.606-610,1993.
- 35) 佐藤健, 板橋一雄, 河邑真: 乾湿繰り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.
- 36) 板橋一雄, 佐藤健, 森富雄, 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.
- 37) 板橋一雄, 佐藤健, 森富雄, 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.
- 38) 板橋一雄, 佐藤健, 森富雄, 岩田賢: 軟岩の暴露試験と室内スレーキング試験による粒子破砕量の比較手法の提案, 土木学会論文集, No.535/III - 34, pp.115-126, 1996.
- 39) 名古屋地方気象台: 地上気象観測原簿 (平成 5 年 7 月~平成 6 年 11 月), 気象庁, 1983,1984.

(1996. 3. 11 受付)

SETTLEMENT AND DISINTEGRATION BEHAVIOR OF SOFT ROCK BY IN-SITU EXPOSURE AND LABORATORY SLAKING TESTS

Kazuo ITABASHI, Takeshi SATO, Hidetaka WADA and Masaru IWATA

It is well known that soft rocks are disintegrated by repetitions of drying and wetting, and the embankment using soft rocks sink due to submergence for a fairly long period. However the relationship between the degree of disintegration and settlement behavior of such soft rock is not clarified sufficiently. Then, the purpose of the present investigation is to make it clear the relation of settlement behavior of specimen, physical properties and disintegration properties of soft rock. In this study, it became clear that the relationships between some particle breakage indexes, liquid limit, plastic limit, content of montmorillonite and settlement behavior.