

Ⅵ-1 締固めた岩石材料の沈下挙動に及ぼす乾湿繰返しの影響

北海道開発局 開発土木研究所 正員 小野寺 康 浩
 同 正員 秀 島 好 昭
 同 武 岡 康 夫
 同 松 岡 宗太郎

1. はじめに

ロックフィルダム等の岩石材料で築造される土構造物の沈下や変形問題を考える場合、締固めた状態（岩石の集合体）での沈下・変形特性を把握することが必要となるが、室内試験により粗粒材料の沈下特性を調べた研究例は少ない。軟岩は一般には乾湿繰返しを受けるとスレーキング等により細片に碎けるため、盛土を行った場合には粒子破碎やスレーキングを原因として比較的大きな沈下を生じる例もある。しかし、軟岩は拘束圧を受けている状態では風化・細粒化の進行が抑制され、スレーキングや粒子破碎に伴う物理的・力学的性質の変化が小さい場合もみられる^{1, 2)}。

岩石やその集合体である粗粒材料に関する室内試験は^{3, 4)}、これまでもいくつか提案されているが、拘束応力等の実際の盛土環境を考慮した試験はいまのところ確立されていない。筆者らは、岩石材料に対して拘束応力を負荷した状態で乾燥・湿潤の繰返し作用を与え、沈下量や乾湿履歴後の材料の物理・力学的性質を調査する試験法の開発をすすめている²⁾。

本論では、締固めた岩石材料を対象に大型圧密風化試験を行い、沈下挙動に及ぼす乾湿繰返しの影響を検討した。

2. 試料

実験試料には、一軸圧縮強度140kgf/cm²程度の比較的軟質な砂岩を用いた。試験粒度は図-1に示すように、最大粒径53mmの粒度分布に調整した。表-1に大型試験における試料の合成比重と合成吸水率を示した。

3. 試験方法

(1) 大型圧密風化試験

大型圧密風化試験は、締固めた試料に拘束応力を負荷した状態で乾燥・湿潤の繰返しを与え、沈下量や劣化促進後の物理・力学的性質を調べるものである。

表-1 合成比重・吸水率

表乾比重 G _a	真 比 重 G _g	絶乾比重 G _b	吸 水 率 Q (%)
2.34	2.73	2.14	10.2

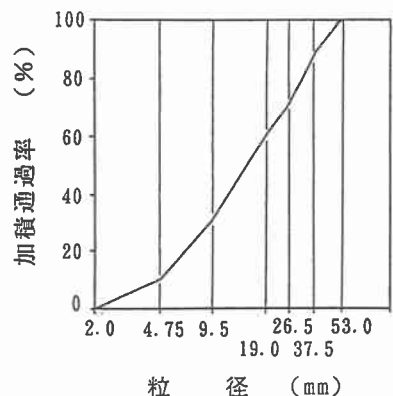


図-1 試験粒度

Influence on the settlement of coarse-grained materials due to dry-wet-cycles ;
 by Y. Onodera, Y. Hideshima, Y. Takeoka, and S. Matsuoka

図-2に試験モールドを示す。このモールドは、供試体寸法が直径300mm、高さ400mmで最大粒径約60mmまでの粗粒材料に適用でき、ベロフラムシリンダと加圧盤を介して試料に圧縮空気によって拘束圧を恒常的に与えるしくみになっている。

試験は、供試体作成後、拘束圧を負荷した状態で、乾燥過程は表乾状態になるまで恒温室（60℃）で乾燥し、湿潤過程では24時間の水浸飽和を行うものである。試験のフローを図-3に示した。今回の試験では10サイクルの乾湿繰返しを行った。各サイクルでは沈下量と含水比の計測を行い、試験後には試料の粒度分布、比重、吸水率等の物理的性質の変化を調べた。

この試験では、フィルダム築堤内の岩石が落水時でも絶乾状態には成り得ないこと¹⁾、そして、一般の岩石試験で用いる乾燥温度 110℃では軟岩は急激な高温乾燥によりスレーキングが増長されること及び野外での温度環境を考慮のうえ、試料は60℃で表乾状態まで乾燥することとした。

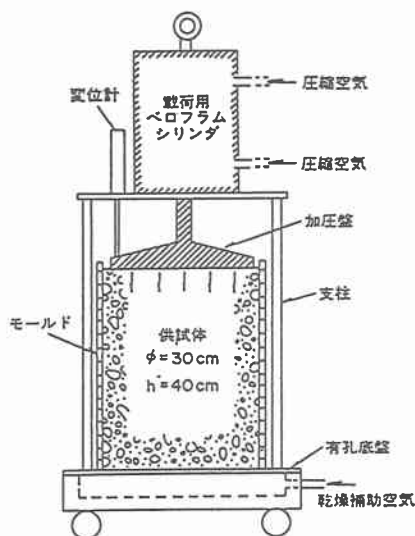


図-2 大型圧密試験モールド

(2) 試験条件

供試体は、中位に締固めた状態（締固めエネルギー $E_c = 60\%$ (JIS法)）と、密に締固めた状態（ $E_c = 150\%$ ）の2通りの締固め密度について作成した。供試体作成では、試料の含水比を合成吸水率に調整し、4層に分けてランマーを用いて締固めを行った。

拘束圧の条件は、各締固め密度とも、 $\sigma_c = 0.5$ 、 2.0 、 3.5 kgf/cm^2 の3通りとした。

4. 結果及び考察

図-4、5に試験結果の一例として、 $E_c = 60\%$ 及び $E_c = 150\%$ の乾湿10サイクルにおける沈下量と含水比の変化を示した。

1サイクルに要した日数は、 $E_c = 60\%$ のケースで約10日、 $E_c = 150\%$ では約7日であった。含水比の変化は、 $E_c = 60\%$ 、 150% とも違いはみられなかった。沈下量は、拘束圧を負荷した時点から拘束圧が大きいものほど大きく現れており、10サイクル後における最終沈下量も $\sigma_c = 0.5$ 、 2.0 、 3.5 kgf/cm^2 の順に大きく、この傾向は $E_c = 60\%$ 、 150% ともに同様であった。また、全体的に沈下量は、

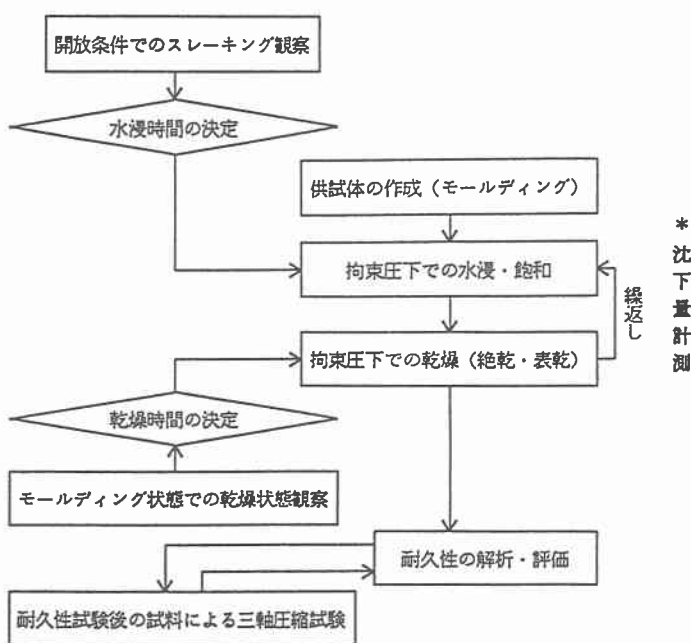
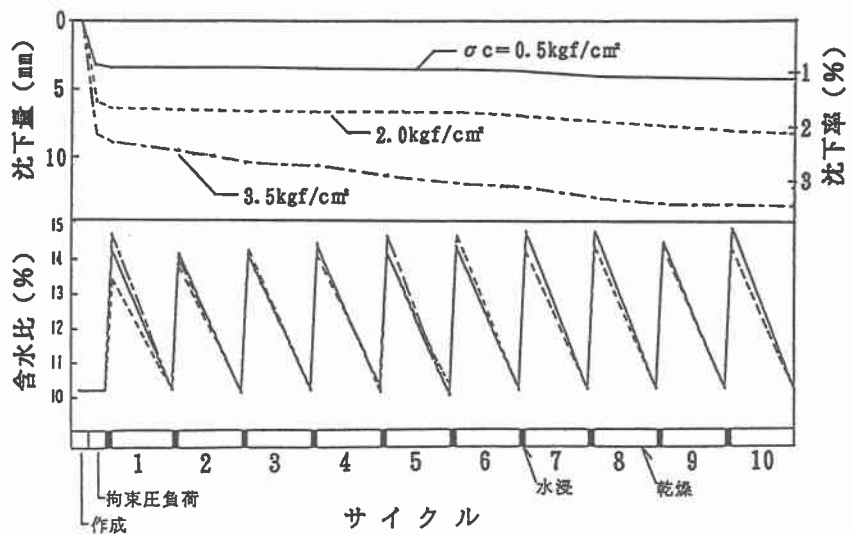


図-3 大型圧密試験フロー

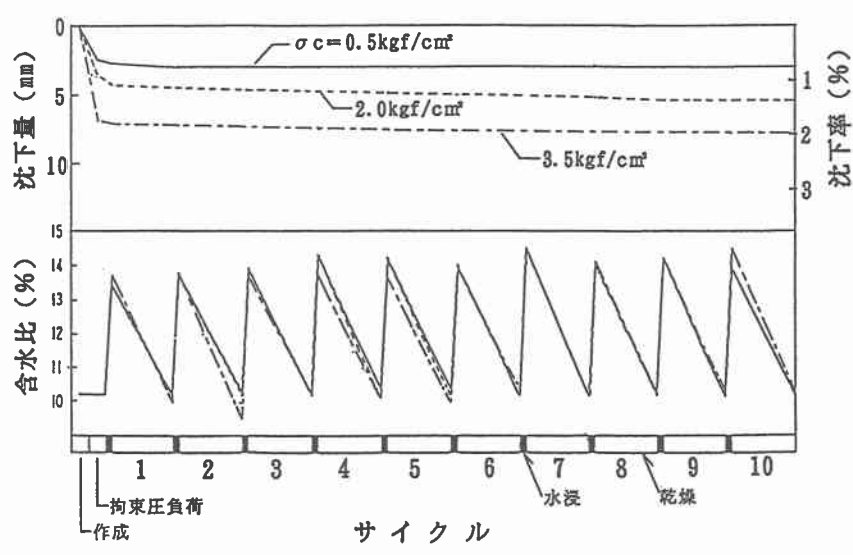
第1回目の水浸飽和で大きく変化し、その後の沈下量は小さいが、 $E_c = 60\%$ の $\sigma_c = 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ の供試体では、1回目の水浸飽和以降にも沈下量が微増している。

$E_c = 60\%$ は拘束圧によって10サイクルまでの沈下の傾向は異なり、 $\sigma_c = 0.5, 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ は6サイクルから沈下量は微増しはじめ、また、 $\sigma_c = 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ では8サイクルまで沈下が進んでいるが、その後の沈下量は小さい。一方、 $E_c = 150\%$ では拘束圧の違いによらず、1サイクルでほぼ沈下は落ち着いており、その後の沈下はわずかである。

10サイクル後の沈下率（沈下量／供試体高さ）は、 $\sigma_c = 0.5, 2.0, 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ の順に、 $E_c = 60\%$ は1.1%、2.1%、3.4%で、 $E_c = 150\%$ では0.8%、1.4%、2.0%であり、締固めエネルギーを増加した場合、長期的な沈下を抑制する効果がみられる。



図－4 $E_c = 60\%$ の乾湿サイクルでの沈下量と含水比



図－5 $E_c = 150\%$ の乾湿サイクルでの沈下量と含水比

以上のことから、締固めエネルギー（締固め密度）の相違により沈下挙動には違いがみられ、初期の締固めの状態によって岩石材料の乾湿繰返しによる沈下の傾向は異なり、密に締固めたもののほど沈下は少ないことが分かる。また、試験後の粒度分布等の測定結果では、 $E_c=60\%$ 、 150% の両方ともに試料の物理的性質の変化は小さく、締固めた岩石材料の沈下には拘束応力の相違による材料（集合体）としての組織構造の変化が現れるものと考えられる。

図-6には、10サイクル後の最終沈下量(S_{10})と1回目の水浸飽和及び各サイクル後の沈下量(S_i)の比を百分率で表示した。図から、沈下のは大半は初回の水浸飽和時点に発生しており、その割合は、 $E_c=150\%$ は最終沈下量の80～90%、 $E_c=60\%$ では65～80%で、高密度のものの方が大きくなっている。

すなわち、 $E_c=150\%$ のケースのように締固め密度が高い場合、乾湿繰返しに伴う沈下のは大部分は初回の飽和過程に発生し、その後は全沈下量の10数%程度しか沈下は進行しないこととなる。

この結果を、岩石材料よりなる土構造物の問題に投影すると、沈下を抑制するためには、高い締固めを行うことが重要とされる。例えば、ロックフィルダムの上流側シェル部のような飽和状態におかれるゾーンは、初期の湛水によって沈下が発生しても、密に締固めた場合には、その後の乾湿繰返しによる沈下は少ないと推察される。

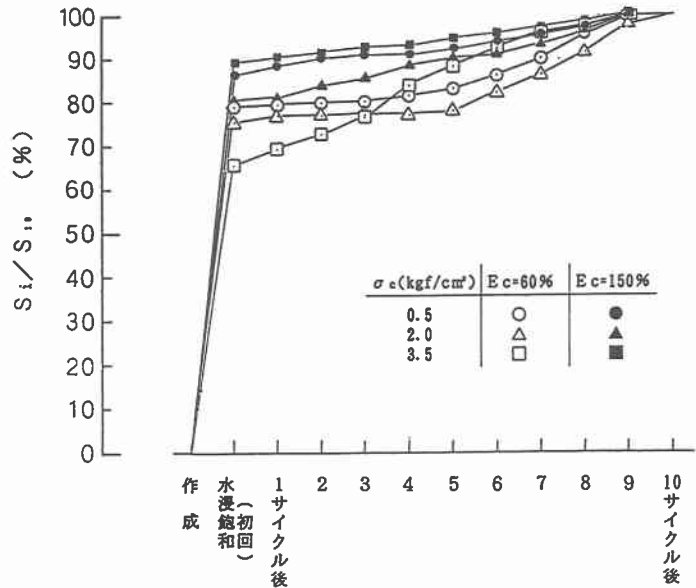


図-6 乾湿サイクルの各過程における沈下の割合

5. おわりに

大型圧密風化試験によって、拘束応力下における岩石材料の沈下挙動について検討した。その結果、
 (1) 岩石材料の乾湿繰返しによる沈下は、初期の締固めエネルギー（締固め密度）に強く影響を受ける。
 (2) 10サイクルの乾湿繰返しの過程のうち、初期の水浸飽和時に沈下のは大部分が発生する。
 こと等が明らかとなった。

岩石材料の沈下や変形を考えるうえでは、岩石集合体としての環境や特徴を考慮した条件でその挙動を調査することの重要性が示唆される。そして、軟岩のように乾湿繰返しによる細粒化が懸念される材料については、本論で示した試験の実施により、盛土材料として合理的な締固め管理基準等の検討が可能と考える。

【参考文献】

- 1) 糸島ら：フィルダムに用いる軟岩材料の拘束条件の相違による耐久特性、堆積軟岩による盛土の工学的問題に関するシンポジウム論文集、259～266。(1995)
- 2) 小野寺ら：拘束応力下における軟岩材料の乾湿繰返し試験について、土木学会第51回年次学術講演会講演要旨集、784～785。(1996)
- 3) 農水省林政司：土地改良事業計画設計基準設計ダム、144～158。(1981)
- 2) 日本道路公団：日本道路公団試験法(1992)