

大型土槽による泥岩盛土の水浸・乾燥繰り返し沈下実験

(株) アイコ	正会員	中村吉男
(財) 東海技術センター	正会員	○小島淳一
岐阜大学	正会員	佐藤 健
愛知工業大学	正会員	大根義男

1. はじめに

泥岩による大規模宅地造成が計画され、スレーキングに伴う長期沈下を防止する目的で、直径50cm、高さ40cmの大型土槽を用いた水浸・乾燥の繰り返し負荷を与える沈下実験を行った。計測項目は表面沈下量、土中温度、試験後の粒度である。直径20cm、高さ20cmモールドを用いた水浸沈下実験も行っており、大型土槽の結果と比較することによって、沈下に及ぼす盛土材料の初期粒度の影響を調べた。

スレーキングが沈下に及ぼす影響は、水浸と乾燥の規則的な繰り返しによる沈下を計測して、考察した。

当該盛土は、平成7年3月に完成しており、盛土施工期間も含めると約2年間の沈下計測の結果も得られているので、降雨と盛土沈下との関係も調べた。

2. 軟岩盛土の沈下に関する従来研究

造成盛土では水浸沈下がしばしば問題になる。水浸の原因として、排水不良による地山からの地下水浸入、地表からの雨水浸透などが考えられ、盛り立て当初不飽和状態であった盛土が、水浸を受け、サクシオン解放によるコラプス現象が発生するとともに、岩塊のスレーキングによる細粒化も生じて、沈下が発生するものと考えられている。

水浸沈下に対して、野田、西¹⁾は大型圧縮試験機の試作に基づく室内実験結果よりその量を予測する方法を提案している。沈下計算の要領は簡単で、盛土を薄層に分割し、沈下を計算する層より上の薄層の自重が載荷重になるものと考えて、室内大型圧縮試験結果から別途求めておいた荷重-歪関係を用いて沈下を計算する方法である。水浸による沈下も同様に、水浸沈下試験結果を用いて計算する。考えて

いる薄層がどの段階で水浸状態になるのか逐次追跡して計算することが上載荷重による沈下と違う点で、浸透解析も必要になる。

竹田ら²⁾は、直径20cmの大型圧密試験機を用いて、水浸沈下の実験を行っている。彼らの実験結果によれば、水浸時の乾燥密度がある値よりも大きければ、水浸時の沈下は無視し得る大きさに抑制できることがわかっている。

望月ら³⁾は、室内の乾湿繰り返しの試験を風化促進試験と位置づけて、暴露試験での降雨回数(2mm以上/日)と室内での乾湿繰り返し回数が指数関数的な関係で関係付けられることを示した。スレーキング率を介して、室内の乾湿の繰り返しによる細粒化のスピードが実際の時間スケールとどのように対応するかを考察した興味ある研究である。降雨量を2mm/日以上としたのは、泥岩表面が十分濡れることを考慮して決められた。

3. 水浸・乾燥繰り返しの沈下実験

3.1 大型試験装置

試験装置を図-1に示した。装置は圧縮リング、載荷装置、測定装置からなり、圧縮リングは直径50cm、高さ40cmの鋼製モールドを使用した。試料高さは30cmである。鋼製モールドの側面は浸水、排水の繰り返しが行えるように直径2mmの細孔をもうけた。また、試料全体が乾燥可能なようにモールドにヒーターリボンを取り付けた。この構造で、48時間乾燥を行うことにより絶乾状態になることを予備実験で確認している。

Laboratory Test for Settlement due to Drying Wetting Repetitions of Mudstone: by Y. Nakamura(AICO), J. Kojima(T. T. C.), T. Sato(Gifu Univ.) and Y. Ohne(A. I. T.)

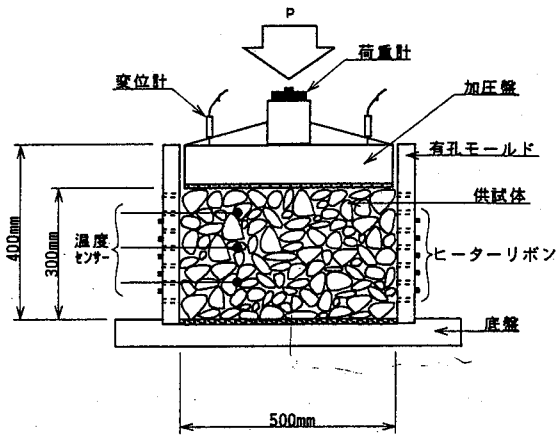


図-1 大型試験装置

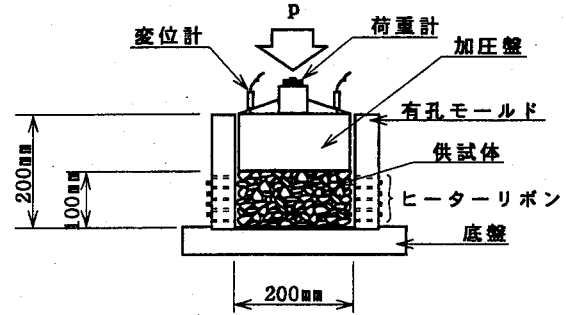


図-2 中型試験装置

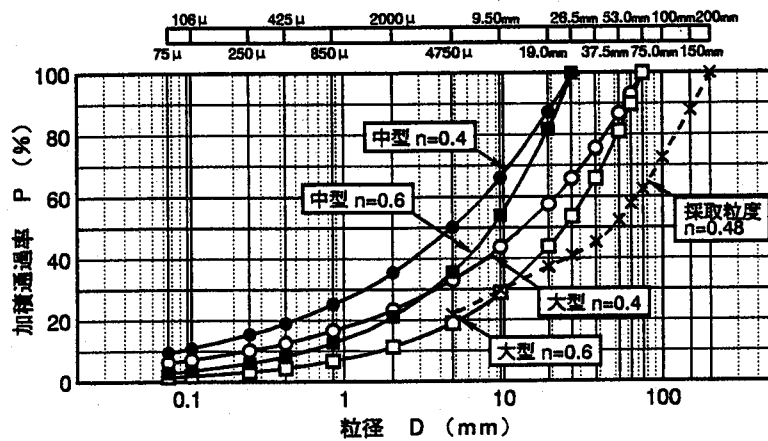


図-3 粒度組成図

表-1 コンステンス試験結果

区分	自然含水比 ω_n (%)	液性限界 ω_L (%)	塑性限界 ω_P (%)	塑性指数 I_P	備考
瑞浪泥岩	24.8	64.5	18.6	45.9	$G_s=2.580$

3.2 中型試験装置

試験装置を図-2に示した。圧縮リングは直径20cm, 高さ20cmの鋼製モールドを使用した。試料高さは10cmとした。

大型、中型とも載荷装置は油圧式で、恒圧自動制御機構を取り入れ、恒圧の鉛直載荷が長時間継続して行えるようにした。

3.3 試料の物理的性質・初期粒度

当該現場でのリッピング直後の粒度組成及び沈下実験の初期粒度組成を図-3に示した。また、粉末試料に

対するコンステンス試験結果を表-1に示した。地質的には新第三紀中新世と判定され、通称瑞浪泥岩と呼ばれているものである。リッピング直後の粒径は、その後の転圧による破碎でかなり細粒化し、 ω_L 指数^{*注1)}も0.3~0.4に低下することが指摘されている⁴⁾。大型圧縮試験に用いる供試体の最大粒径は $D_{max}=75.0$ mm, 中型では $D_{max}=26.5$ mmにした。

供試体作成時の締固めの目安は、E値によって行った。初期粒度の目安である ω_L 指数0.4に対してE値^{*注2)}を85%, ω_L 指数0.6に対して90%の供試体を、大型、中型用にそれぞれ作成した。

*注1) ω_L 指数：粒度表現の一種で、 $P=(D/D_{max})^n$ で粒度を近似したときの指数n

*注2) E値： $E=(\text{締固め乾燥密度}/\text{軟岩礫粒子の乾燥密度}) \times 100(\%)$

表-2 載荷過程

	圧縮過程 (kPa)				水浸過程	
	第1段階	第2段階	第3段階	第4段階	長期水浸	乾燥水浸
No. 1	78.4				78.4	78.4
No. 2	78.4	156.8			156.8	156.8
No. 3	78.4	156.8	313.6		313.6	313.6
No. 4	78.4	156.8	313.6	627.2	627.2	627.2

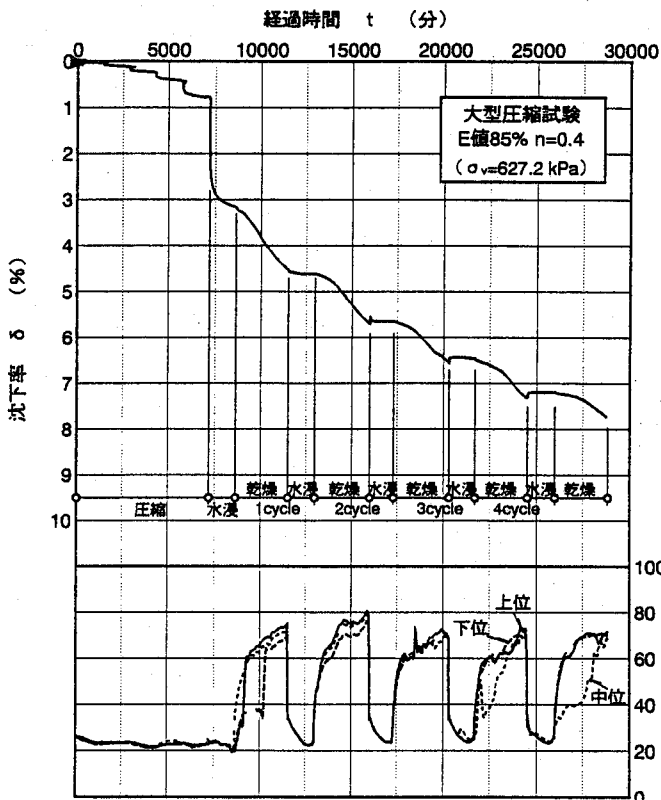


図-4 沈下率の経時変化 (大型)

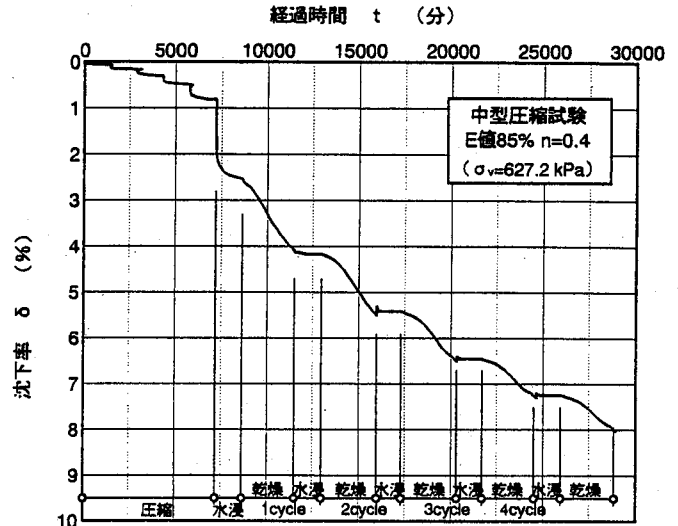


図-5 沈下率の経時変化 (中型)

3.4 実験の結果

(1) 方法

載荷荷重は78.4, 156.8, 313.6, 627.2 (kPa) の4段階とし、表-2に示すようなNo.1~4までの4通りの載荷段階を負荷した後に、水浸・乾燥の繰り返しの実験を行った。

(2) 沈下量 (全体)

沈下率の経時変化を、図-4, 5に示した。いずれも、No.4の載荷過程の結果で、図-4は大型試験、図-5は中型試験の結果である。最初の39.2~627.2kPaまでは通常の圧密試験と同じ要領で24時間載荷した。水浸・乾燥の繰り返しは最後の載荷重 (図-4, 5の場合は627.2kPa) を負荷したままで行った。

第一回目の水浸で顕著な沈下が計測されている。一回目の乾燥に続く2回目からの水浸では、一回目と異なり膨張現象が観測される。こうした現象は、大型、中型いずれの場合も、乾湿の繰り返し中に負荷する載荷重が小さい場合も認められた。以下の整理では、第1回目の水浸を水浸沈下として、それ以降の、乾湿繰り返し中の湿潤行為による吸水膨張現象と区別して考えることにした。他の多くの室内実験結果も、乾湿繰り返し中の供試体の挙動は、ほとんどの場合、吸水膨張、乾燥収縮現象として発現されている。

(3) 水浸沈下

水浸沈下量を上載荷重ごとに整理した結果が図-6である。図-6には大型、中型の結果をまとめて示してある。クレーン指数に関係なく、上載荷重が大きくなるほど沈下量が大きくなる傾向が読み取れる。大型、中型で沈下量にそれほど大きな差はなく、粒度による影響は少ないこともわかる。しかしながら、

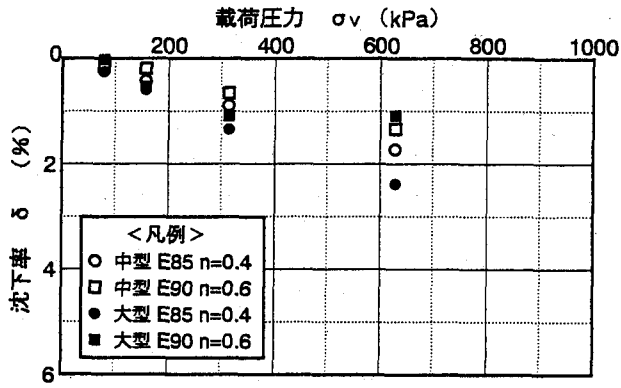


図-6 載荷圧力と水浸沈下率の関係

上載荷重が大きくなると、粒度よりもE値の影響が顕著になってくる。クォット指数の大きな材料でも締固めエネルギーが大きくなれば、締固めエネルギーが小さい供試体よりも水浸沈下を小さくできる傾向が顕著に現れる。

供試体の作成は静的な締固めである。クォット指数が大きくても目標締固め度が高いため、供試体作成時に材料の細粒化が発生し、結果的に水浸に強い、より密実な土粒子構造が形成された可能性も考えられた。いずれにしても、より高い締固めエネルギーで転圧した方が水浸による沈下は小さくできることがわかった。なお、クォット指数0.6に対するE値90%の締固めは、D値に換算すると約95%、クォット指数0.4に対するE値85%はD値約89%に対応していることを確認している。

(4)スレーキングによる沈下

第一回目の乾燥・水浸を1サイクルとして、乾湿による沈下率の増加を図-7(a), (b), 8(a), (b)に示した。沈下率と乾湿繰り返しのサイクル数の対数がきわめて良好な直線関係を示すことがわかる。初期粒度による影響は小さく、大型、中型でそれほど大きな差はみられない。締固め密度の高い試料ほど、乾湿繰り返しの沈下は少ないこともわかる。

乾燥による沈下の経時変化を図-9に示した。温度変化の結果も併せて示したが、供試体温度が急激に上昇するのに呼応して、沈下が発生している様子がよくわかる。このような急激な温度上昇が通常の盛土内で発生するか少し問題も残る。しかしながら、ロックフィルダムのリップラップ材などはかなり過酷な温度環境下にあることがわかっている。

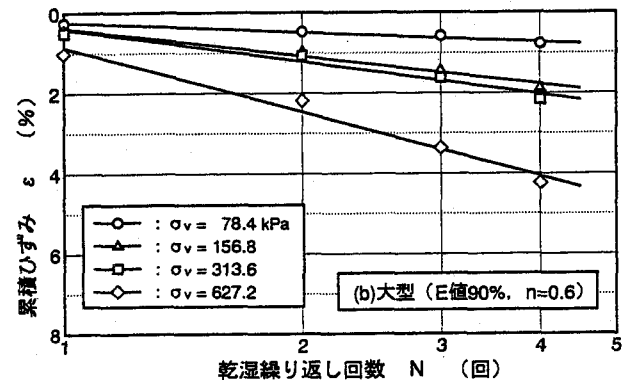
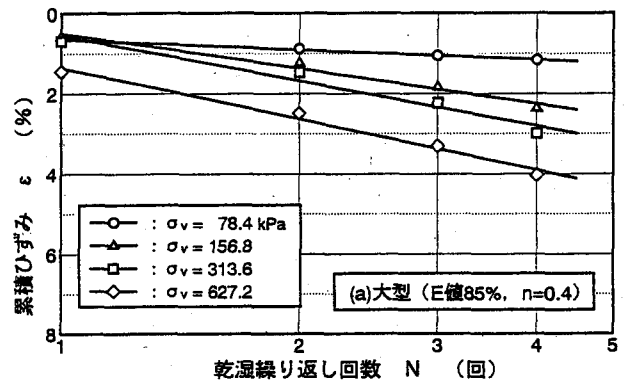


図-7(a), (b) 乾湿繰り返し回数と沈下率の関係 (大型)

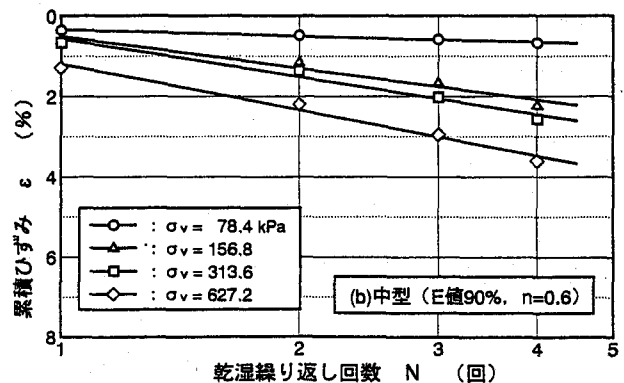
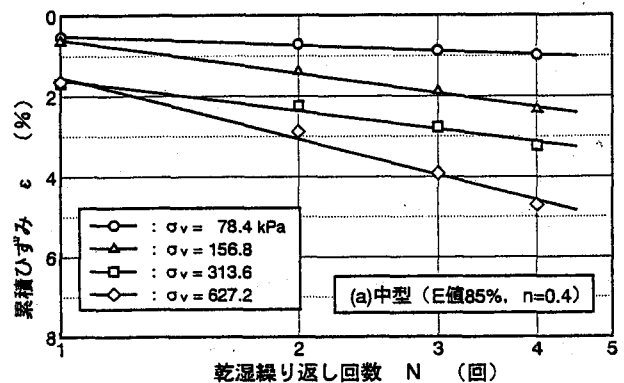


図-8(a), (b) 乾湿繰り返し回数と沈下率の関係 (中型)

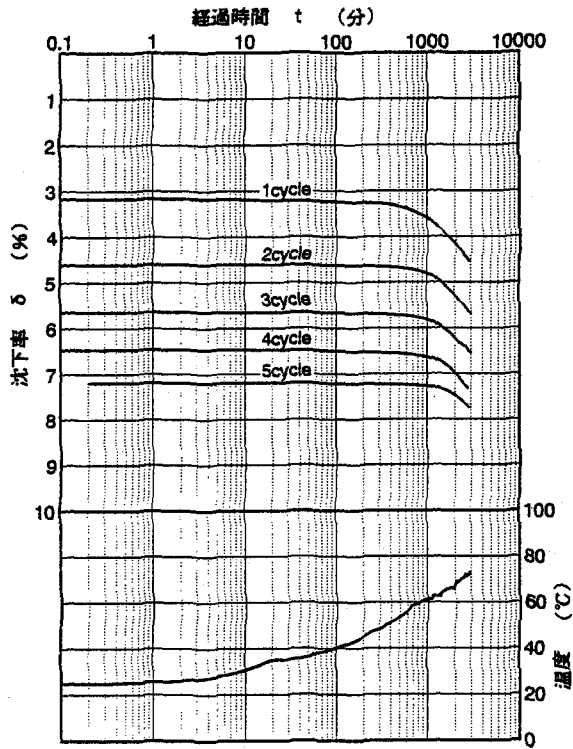


図-9 乾燥による沈下の経時変化

(5)初期粒度と試験後の粒度

一連の試験後の粒度変化を図-10, 11に示した。大型、中型試験ともに試験後はかなり細粒化していることがわかる。試験後のグレイズ指数は、大型の場合 $n=0.4$ から $n=0.22$, $n=0.6$ から $n=0.34$ に、中型の場合 $n=0.4$ から 0.23 , $n=0.6$ から $n=0.35$ に変化している。最大粒径にかかわらずほとんど同じ細粒化のし方である。

4. 現場計測結果

当該盛土は岐阜県瑞浪市に施工されたもので、平成4年12月から盛土開始、平成7年3月に盛立て完了している。盛土の沈下計測も4ヶ所で、クロスラム式沈下計によって行っている。現在も計測中で、結果の解析と検討を行っている最中であり、今までの計測結果と当地区での降雨の関係を整理した結果が図-12である。図-12の横軸は沈下の計測インターバル間での総降雨量で、縦軸が沈下量である。計測期間中の降雨量に大小あるが、沈下量は降雨量とは無関係に変化することがわかる。十分な転圧による盛土では、降雨浸透による水浸沈下は、ほとんど無視できる量であると考えられる。むしろ、沢筋での埋め立ての際の排水施設の良否が、盛土内への浸水に重要な影響を

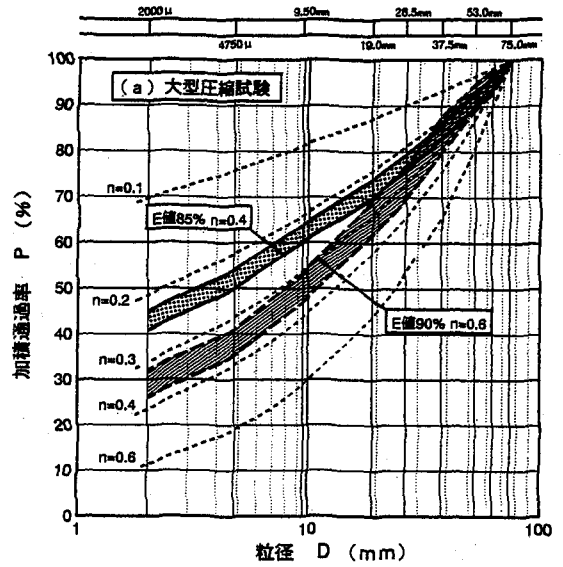


図-10 試験後の粒度組成 (大型)

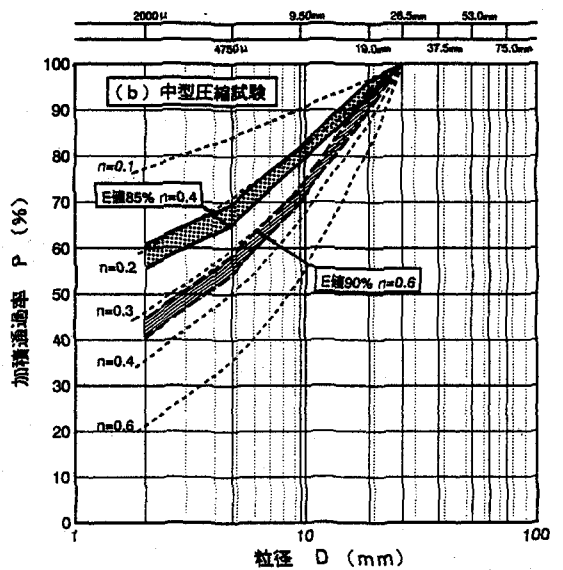


図-11 試験後の粒度組成 (中型)

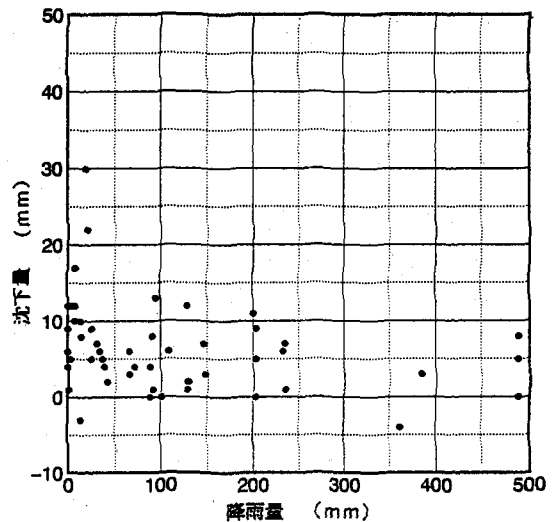


図-12 降雨量と沈下量の関係 (現場計測)

及ぼすものと判断され、盛土施工による地下水流動状態の変化を的確に予想することが、実際の工事では大切である。

5. 結論

室内の実験結果より、

- 1) どの段階かを特定することはできないが、水浸と乾燥の繰り返しを負荷することにより泥岩塊が細粒化する、
 - 2) 水浸・乾燥繰り返し回数の増加によって沈下量が増加する。1回目の水浸によって大型・中型とも沈下傾向を示すが、その後の乾燥・湿潤過程では、乾燥収縮・吸水膨張現象が観測された、
 - 3) 1回目の水浸沈下量は、上載荷重の大きいほど大きくなるが、大型・中型試験で確認された、
 - 4) モールドの大きさに関係なく、沈下率（上載荷重による沈下と1回目の水浸沈下量を除外）と繰り返し回数が片対数紙上で良好な直線関係を示す。実験での乾湿の繰り返しの効果が実地盤での乾湿の時間スケールに対応させることができれば、スレキングによる細粒化の沈下が推定できそうである、
- 以上のことがわかった。

また、実際の盛土での沈下計測によれば、

- 5) 沈下量はきわめて小さく、降雨量との関係は認められなかった。実際の盛土では、排水施設の敷設によって降雨が地盤内に浸透することはきわめて少ないことが予想され、むしろ、地山からの湧水による影響が大きいことを指摘した。

参考文献

- 1) 野田 耕・西 勝(1988): 軟岩盛土の水浸沈下に関する研究, 「土木学会論文集」, Vol. 391/VI-8, pp. 77~86.
- 2) 竹田敏彦・佐藤 巖・杉山太宏・赤石 勝(1992): スレ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.
- 3) 望月秋利・片岡昌裕・坂口 理・寺下雅裕(1994): 暴露試験と乾湿繰り返し試験による頁岩の風化速度の検討, 「土質工学会論文報告集」, Vol. 34, No. 4, pp. 109~119.
- 4) 大根義男(1986): 盛立材料としての岩塊の諸問題, 「土と基礎」, Vol. 32, No. 7, pp. 3~8.