

# 琉球大学学術リポジトリ

## 長年月を経たダム堤体盛土の力学特性に及ぼす年代効果の影響

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-13 キーワード (Ja): 年代効果, 締固め土, 圧密特性, せん断強度 キーワード (En): aging effects, compacted soil, consolidation properties, shear strength 作成者: 小宮, 康明, 新城, 俊也, 宮城, 調勝, Komiya, Yasuaki, Shinjo, Toshiya, Miyagi, Norikatsu メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/3573">http://hdl.handle.net/20.500.12000/3573</a>

# 長年月を経たダム堤体盛土の力学特性に及ぼす年代効果の影響

小宮康明\*, 新城俊也, 宮城調勝

琉球大学農学部生産環境学科

## Aging Effects on Mechanical Properties of Compacted Soil which Constitutes Earth Dam Passed through Long Period

Yasuaki KOMIYA\*, Toshiya SHINJO and Norikatsu MIYAGI

*Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture,  
University of the Ryukyus*

**Abstract:** This study was conducted to investigate the aging effects on mechanical properties of compacted soil. The consolidation and shear strength parameters were measured on the undisturbed soil sample collected from 7.8m depth in Ginoza earth dam passed through 43 years and its compacted soil. Volumetric compressibility, consolidation yield stress, shear strength of the dam soil were bigger than those of its compacted soil, and the elastic deformation region of dam soil was wider than that of its compacted soil and the generation rate of pore water pressure tended to be low with the passage of the time. It seemed that these differences were caused by the aging effects.

キーワード：年代効果，締固め土，圧密特性，せん断強度

Key words: aging effects, compacted soil, consolidation properties, shear strength

### 緒言

土の圧密特性や剪断特性が長年月の間に変化する現象<sup>1-2)</sup>は年代効果と呼ばれている。年代効果は時間の経過とともに二次圧密やセメンテーションが徐々に進行して土の骨組構造が変化するためとされ<sup>1-3)</sup>，高温圧密によって促進されることが知られている<sup>4)</sup>。しかし，その発現メカニズムはよく分かっておらず，締固め土における年代効果についての報告は少ない<sup>3)</sup>。著者らは築堤から43年が経過した宜野座ダムの改修工事に係わり，堤体から不攪乱試料をサンプリングする機会を得た。本研究は宜野座ダムの堤体盛土とその締固め土の力学特性を比較しながら，締固め土における年代効果について検討したものである。

### 試料

#### 1. 宜野座ダムの概要

宜野座ダムは沖縄本島北部の宜野座村に在し，昭和29年～33年に米国陸軍工兵隊の管理の下で琉球政府経済局開拓課によって建設されたかんがい用ダムである。このダムは，堤高14.9m，堤頂長245m，総貯水量600千m<sup>3</sup>の諸元をもつ均一型フィルダムである<sup>5)</sup>。昭和34年4月17日付けの地元新聞には，1954年11月より延べ7万人が山をぬって長い道路を拓き，

ブルドーザーやグレーダーを何台も動員して造られたことが記されている。しかし，建設当時の設計や施工に関する図面等は存在しておらず，ダムの堤体構造の詳細は明らかでない。

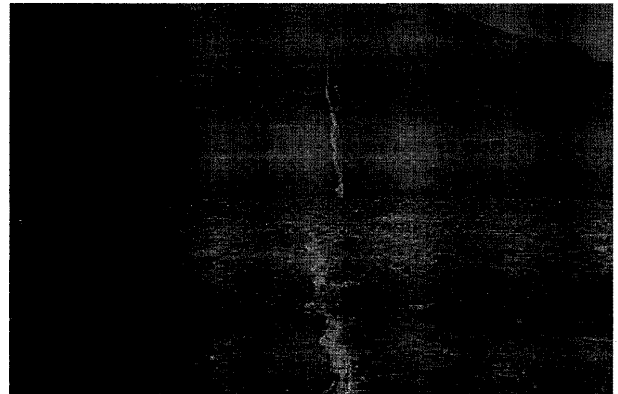


図1. 宜野座ダムの横断面図。

図1は，宜野座ダムの底樋改修工事に際して，底樋付近の堤体を堤頂下7.5mの深さまで開削したときの状況である。堤体は直送方式で盛り立てが行われたようで，堤体断面は赤色系土と黄色系土が互層をなしている。これより，堤体は沖縄本島北部の山腹に広く分布する国頭マージで築造され，赤色系の名護層（千枚岩・粘土質）の風化残積土と黄色系の嘉

\*Corresponding author (E-mail: komiyasu@agr.u-ryukyu.ac.jp)

陽層(砂質)の風化残積土が入り混じって締固められたと推定される。

## 2. 試料の採取方法

堤体盛土からの討料採取はダム横断面のほぼ中央の堤頂下7.5mの深さのところで行った。まず、図2に示すように表面の乱された土をバックホーで50cmほど除去した。それから、20cm×20cm×20cmのブロック試料が4個取れるようにブロックの位置を決め、ブロック部の周囲の土を少しずつバックホーで削除し、所要の大きさに近づいたら、カッターを用いて手で丁寧に凸部に整形した。さらに、図3に示すように用意しておいた木枠(内寸:20×20×20cm)を凸部にかぶせ、凸部をスコップで慎重に掘り出して整形した後、板で蓋をして密封した。また、ブロック試料の周囲の掘削土も締固め試験用試料として採取した。これらの試料は含水比が変化しないようにビニール袋に入れて実験室に保存した。



図2. 試料採取場所.

## 3. 試料の工学的性質

堤体盛土試料の工学的性質を表1に示す。試料は礫分0.8%、砂分29.6%、シルト分20.6%、粘土分49.0%で構成される粘性土であり、日本統一土質分類では粘土に分類される。採取した試料の自然含水比は20~23%で飽和度は82~91%であった。別の機会に行われた堤体の調査ボーリングでは、7.5m付近の自然含水比は24.6~26%、乾燥密度は1.62~1.65 g/cm<sup>3</sup>で飽和度100%を示している<sup>5)</sup>。したがって、試料は、堤体が7.5mの深さまで開削された後に、地表面から乾燥が進行し、含水比が低下して不飽和状態となったと思われる。

表1. 工学的性質.

自然含水比 (%)	24.6~26.0	
湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.03~2.05	
乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.62~1.65	
飽和度 (%)	99.7~100.5	
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.71	
粒度組成 (%)	礫分	0.8
	砂分	29.6
	シルト分	20.6
	粘土分	49.0
液性限界 (%)	50.3	
塑性限界 (%)	22.4	



図3. 不攪乱試料の採取状況.

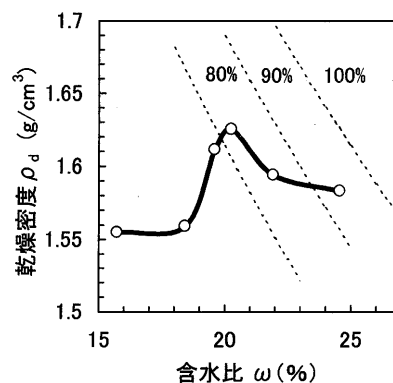


図4. 締固めの曲線.

この試料をJIS A1210・A-c法(湿潤法・非繰返し法)によって締固めたときの締固め曲線を図4に示す。最適含水比は20.3%であり、堤体盛土の含水比よりやや乾燥側である。最大乾燥密度は1.63g/cm<sup>3</sup>である。これは堤体盛土の乾燥密度にはほぼ等しい。この試料の最大有効土かぶり圧は、浸潤面が形成される前に堤体が飽和したと仮定すると、土かぶり厚さ8.0mと単位体積重量2.04g/cm<sup>3</sup>から、1.6kgf/cm<sup>2</sup>程度となる。これは圧密降伏応力(図5参照)よりもかなり小さい。このことから、堤体盛土はブルドーザー等による転圧作業によって最大乾燥密度付近まで締固められた後、自重による沈下や貯水に伴う吸水膨張をあまり生じることなく飽和化し、定圧状態のもとで43年間にわたって年代効果を受けていることが推察される。

## 実験方法

堤体盛土の不攪乱試料およびその攪乱したものを最適含水比状態でJIS A1210・A-c法(湿潤法・非繰返し法)によって締固めた試料から、それぞれ三軸圧縮試験用(直径50mm、高さ100mm)と圧密試験用(直径60mm、高さ20mm)の供試体を切り出した。いずれの供試体も飽和度は90%以下であったので、供試体の飽和を確保するため、三軸用供試体は周囲にろ紙を巻き付けて2つ割りの塩ビ製パイプ(内径52mm、高さ100mm)に入れ、圧密用供試体は圧密リングに入れ、それぞれ両端をろ紙と有孔塩ビ板で塞いで変形を拘束し(三軸供試体では少しの膨張変形は可)、真空ポンプで徐々

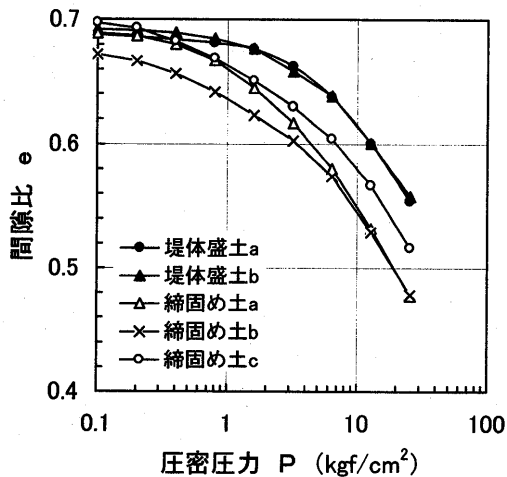


図5. e-log P 曲線.

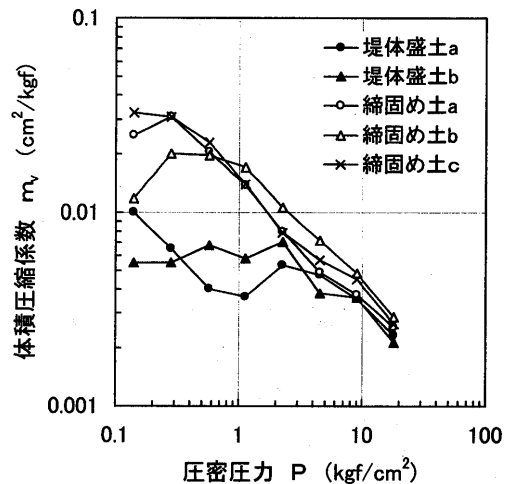


図6. log mv-log P 曲線.

に脱気しながら吸水飽和させた。

三軸圧縮試験は非圧密非排水条件 (UU 試験) と圧密非排水条件 (CU 試験) で行い、ひずみ速度はそれぞれ 1%/min と 0.05%/min で行った。CU 試験では圧密段階からバックプレッシャーを 1kgf/cm<sup>2</sup> 作用させ、供試体の周囲に短冊状のろ紙を巻きつけ、側方排水条件で 24 時間圧密を行った。圧縮荷重と間隙水圧はそれぞれロードセルと間隙水圧計を用いて検出した。

圧密試験は JIS A1217 に準じ最大圧密圧力 25.6kgf/cm<sup>2</sup> まで行った。

### 実験結果と考察

#### 1. 圧密特性に及ぼす年代効果の影響

堤体盛土とその締固め土の間隙比  $e$  と圧密圧力  $P$  の関係 (e-log  $P$  曲線) と体積圧縮係数  $m_v$  と圧密圧力  $P$  の関係 (log  $m_v$ -log  $P$  曲線) を図 5 と図 6 に示す。図から分かるように両試料の初期の間隙比はほぼ等しいが、両試料の e-log  $P$  曲線は異なっている。すなわち、圧密圧力が小さいところの過圧密領域では堤体盛土の方が締固め土より体積圧縮係数  $m_v$  が小さく、圧密量が小さい。今回の圧密圧力 25.6kgf/cm<sup>2</sup> までの圧密では、e-log  $P$  曲線に直線部分が明瞭に現れず、圧縮指数  $C_c$  や圧密降伏応力  $P_y$  を求めることが難しい。そこで、最終の圧密段階は正規圧密状態にあると仮定して、その段階の e-log  $P$  曲線を直線と仮定すれば、 $C_c$  は堤体盛土で 0.15、締固め土で 0.17 となり、両者の差はほとんどみられない。一方、 $P_y$  は堤体盛土で 6.2kgf/cm<sup>2</sup>、締固め土で 5.3 kgf/cm<sup>2</sup> となり、後者の値は他の標準締固め土で得られた圧密降伏応力<sup>6)</sup> におおよそ等しい。

このように長年月にわたって応力を受けた堤体盛土の方が締固め土より  $m_v$  が小さく、 $P_y$  が大きいことは年代効果を受けた堆積土や締固め土にみられる傾向と一致しており<sup>3)</sup>、年代効果の影響によるものと思われる。しかしながら、圧密降伏応力がそれほど増大していないのは堤体盛土の密度が大きく、かつ過圧密応力状態におかれたため、二次圧密がそれほど進行しなかったためと考えられる。

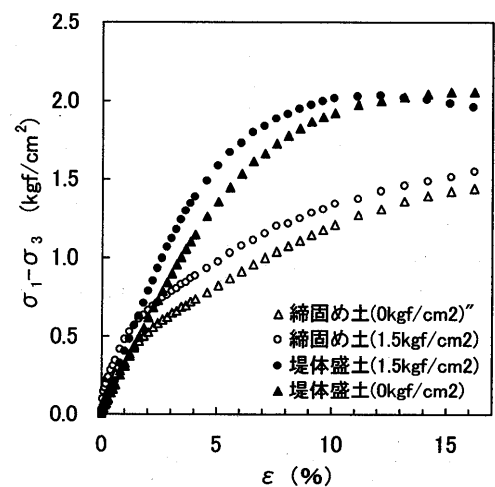


図7. 応力-ひずみ関係(UU試験).

#### 2. 剪断特性に及ぼす年代効果の影響

図 7 は堤体盛土とその締固め土の UU 試験による応力-ひずみ曲線を示したものである。堤体盛土と締固め土の含水比はそれぞれ 24.3~25.2% と 24.8~25.1% である。湿潤密度はそれぞれ 2.04~2.06g/cm<sup>3</sup> と 2.02~2.04g/cm<sup>3</sup> である。このように堤体盛土と締固め土の含水比や密度はほぼ等しく、いずれも飽和しているにもかかわらず、両者の応力-ひずみ曲線は大きく異なっている。すなわち、両者の初期直線部の勾配はそれほど違わないが、堤体盛土の方が直線部が長い。また、堤体盛土と締固め土の圧縮強度はそれぞれ、2.03~2.06kgf/cm<sup>2</sup> と 1.42~1.51kgf/cm<sup>2</sup> であり、堤体盛土の方が締固め土より約 40% 圧縮強度が大きい。これらは年代効果によって土の骨組み構造が強化されたためと思われる。

堤体盛土と締固め土の CU 試験の応力-ひずみ曲線を図 8 に示す。また、同図の軸差応力を圧密圧力で、また間隙水圧を軸差応力でそれぞれ除して無次元化して表示した応力-ひずみ曲線を図 9 に示す。堤体盛土では、圧密圧力が 0.5kgf/cm<sup>2</sup> ではピーク強度が現れて応力ひずみ曲線はひずみ硬化-軟化型を示し、それ以上の圧密圧力ではひずみ硬化型を示している。一方、締固め土の応力-ひずみ曲線はひずみ硬化型であり、同一圧密圧では堤体盛土より強度が小さく、間隙水圧の

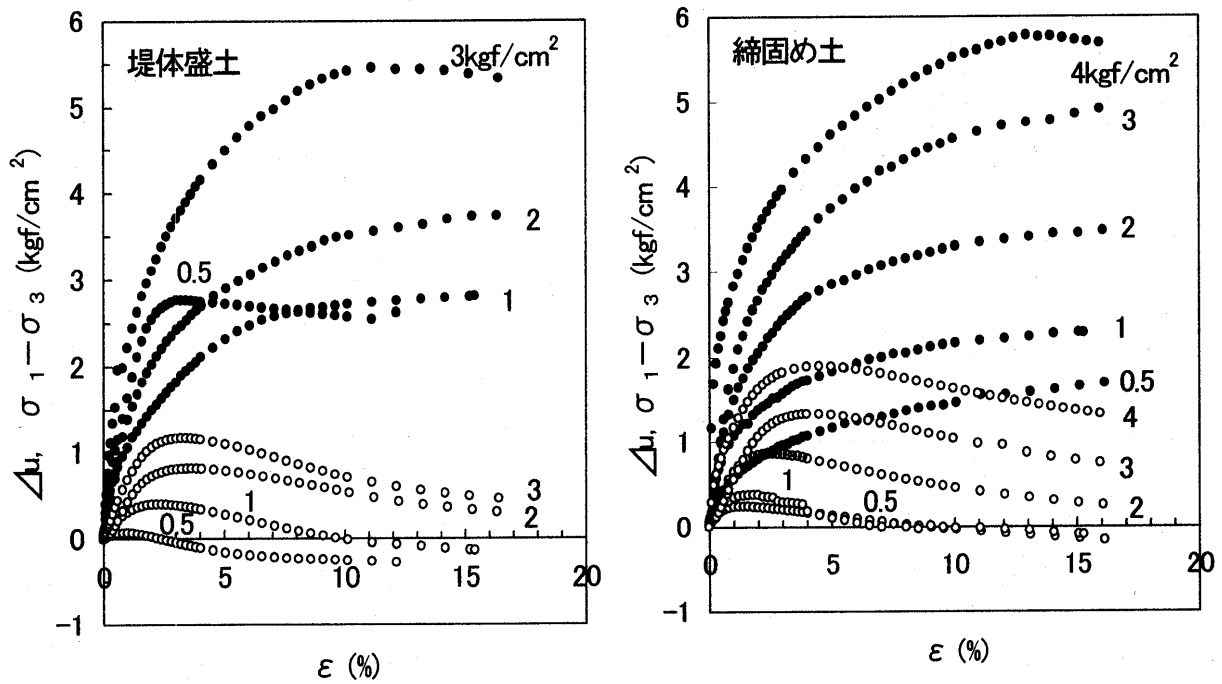


図8. 応力-ひずみ関係 (UU試験).

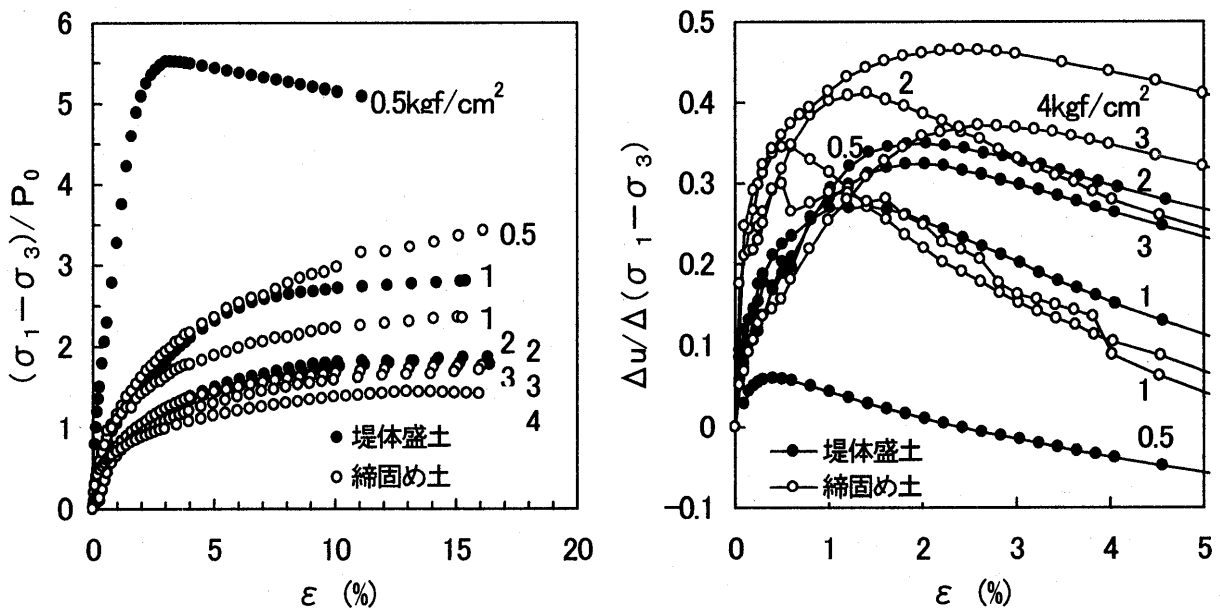


図9. 堤体盛土と締固め土の応力・間隙水圧-ひずみ関係の比較.

発生量が多い傾向がみられる。しかし両者の差は圧密圧力の増加とともに小さくなる。

図10は堤体盛土と締固め土の有効応力経路を示したものである。いずれも過圧密土の特徴を示している<sup>7)</sup>。

この図から最大軸差応力を連ねる破壊包絡線を直線で近似して求めた強度定数は、堤体盛土では $\phi' = 26.7^\circ$ ,  $c' = 0.41 \text{ kgf/cm}^2$ , 締固め土では $\phi' = 29.7^\circ$ ,  $c' = 0.12 \text{ kgf/cm}^2$ である。有効粘着力は堤体盛土の方が約3倍大きく、内部摩擦角は締固め土の方が $3^\circ$ 大きくなっている。したがって、年代効果によって粘着力成分が増加したと思われるが、年代効果によって内部摩擦角が増加するデータも示されており<sup>3)</sup>, 強度定数に及ぼす年代効果の影響を明確にするにはさらに検討を要する。

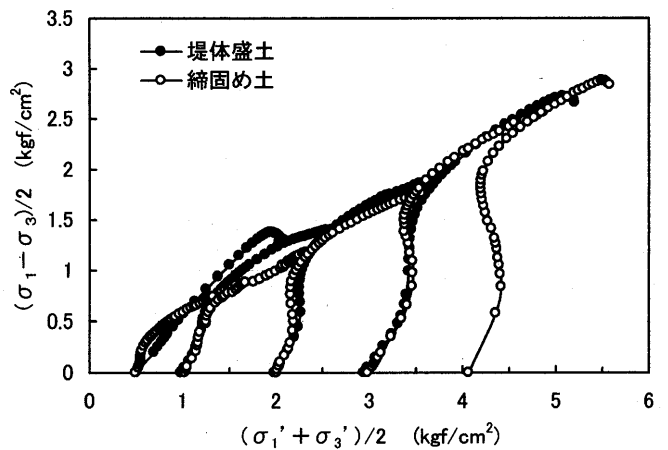


図10. 有効応力経路.

## 要 約

築堤から43年の年月を経た宜野座ダムの堤体盛土とその締固め土では力学性状が異なり、堤体盛土の方が締固め土よりも体積圧縮係数、圧密降伏応力、せん断強度等が大きく、弾性変形領域が広く、間隙水圧の発生量が低い傾向がみられた。このような差違は年代効果によると考えられる。

終わりに、試料採取においては沖縄県北部農林土木事務所にご協力を頂き、小那覇安通氏には宜野座ダムに関する資料を提供して頂いた。記してお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Leonards, G. A., and Ramiah, B. K. 1960. Time effects in the consolidation of clays, STP 254, ASTM, pp.116-130.
- 2) Bjerrum, L., and Lo, K. Y. 1963. Effect of aging on the shear-strength properties of a normally consolidated clay. *Geotechnique*, 13: 147-157.
- 3) Schmertmann, J. H. 1991. The Mechanical Aging of Soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117, (9):1288-1330.
- 4) 土田孝他. 1989. 高温再圧密による海成粘土の年代効果の再現. 港湾技術研究所報告, 28(1): 43-57.
- 5) 沖縄県農林水産部. 2000. 宜野座老朽ため池現地検討委員会資料.
- 6) 鶴飼, 花里, 榎戸. 1986. 締め固めた土の圧縮特性に関する基礎的検討. 土と基礎, 34(5): 31-36.
- 7) 鳥山暁司. 1998. 締固め土と正規圧密・過圧密土の剪断特性の比較, 島根大学生物資源科学研究報告, 3: 11-18.