

琉球大学学術リポジトリ

カンジン地下ダムの連続壁体の工学的性状

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): 地下ダム, 連続壁体, 原位置土攪拌工法, ソイルセメント, 遮水性, 圧縮強度 キーワード (En): Underground dam, Continuous underground wall, Soil mixing wall method, Soil cement, Water interception, Compressive strength 作成者: 宮城, 調勝, 小宮, 康明, 神谷, 嘉明, Miyagi, Norikatsu, Komiya, Yasuaki, Kamiya, Yoshiaki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3626

カンジン地下ダムの連続壁体の工学的性状

宮城 調勝* ・小宮 康明* ・神谷 嘉明**

Norikatsu MIYAGI, Yasuaki KOMIYA and Yoshiaki KAMIYA:
Engineering properties of continuous underground wall of
Kanjin underground dam

キーワード：地下ダム、連続壁体、原位置土攪拌工法、ソイルセメント、
遮水性、圧縮強度

Key words : Underground dam, Continuous underground wall, Soil
mixing wall method, Soil cement, Water interception,
Compressive strength

Summary

The continuous underground wall of Kanjin underground dam is carrying out the construction by using SMW method (soil mixing wall method) in Kumejima Island. On many boring core samples collected from the continuous underground wall, wet density, dry density, water content, permeability and compressive strength were measured, and it was clarified on the engineering properties. As the result, the high value was almost shown from each construction management value in both of compressive strength and permeability. However, the property of the continuous underground wall was very heterogeneous, and greatly fluctuating in the depth direction. It was guessed that this causes were material separation and contamination of the groundwater which mainly occurs under construction of soil cement by SMW method.

結 言

地下ダムとは、地表のダムが地表水を堰き止めて水を貯留するのと同様、地下水の流れを堰き止めて水位を上げ、地下に水を貯留するダムである。地下ダムは、昭和52年に沖縄県宮古島において世界で初めてといわれる皆福地下ダム¹⁾の試験的施工に始まり、現在、沖縄県内には既設の地下ダム5箇所と施工中の地下ダム3箇所が存在している。備えるべきダムの地質条件が厳しい地下ダムであるが、沖縄県内に比較的集中しているのは、沖縄地方の地質構造に特徴がある。すなわち、地下ダムが建設されているところには第三紀島尻層泥岩を基盤として、その上部に第四紀琉球石灰岩があり、空隙率の大きい石灰岩層が滞水層の役目を果たし、下層の不透水性の泥岩層は底盤及び周辺からの漏水を防ぐ地質構造を

* 琉球大学農学部生産環境学科

** 沖縄県農林水産部

なしている。

ここに報告するカンジン地下ダムは久米島において建設中の世界で初めての一部地表湛水型地下ダムであり、その不透水性基盤は凝灰角礫岩、凝灰岩、安山岩などである²⁾。これらの点は既設の地下ダムと異なっているが、地下ダムに必要な地下連続壁体（以下、連壁という）の工事は既設の地下ダムと同様、原位置土攪拌工法によって行われている。原位置土攪拌工法とは、三軸オーガーで所定の深さまで削孔した後、中央のオーガーの先端から空気を噴射しながら両側のオーガーの先端からセメントミルクを注入しつつ、オーガーを回転させながら昇降を繰り返し、原位置土とセメントミルクを攪拌してソイルセメントを築造する工法である¹⁾。

カンジン地下ダムの施工管理においては、連壁工事の進捗にそって20mに1本の割合でボーリングによるコアを採取し、コアの透水試験と圧縮試験を行い、透水係数と圧縮強度がそれぞれの施工管理値を満足していることの確認をしている。著者らはその試験に立ち会う機会を得た。

本報告は平成8年度～平成12年度にかけて施工されたカンジン地下ダムの連壁の物理性、遮水性、強度などについて検討したものである。

試料および試験方法

1. 試料

カンジン地下ダムの連壁に用いられているセメントミルクの配合は既に先行している他地区の地下ダム工事例¹⁾に準じ、表-1に示すとおりである。試料は連壁の延長20m毎に採取した直径が約7cmのボーリングコアである。コアの長さは、連壁の深さによって異なるが、一連のコアの中で特に遮水性、圧縮強度に問題がありそうな部分を目視により判別し、1mの長さに切断して試験室に搬入した。試験室までは遠距離であり、輸送中の乾燥を防ぐため試料は水浸状態とした。それから試料をコアカッターによって切断し、試料の上、中、下の3箇所から長さが約14cmの供試体を作製した。なお、コア試料は施工後28日を経過したものであり、硬化時の収縮が終了していることを確認している³⁾。

表-1 セメントミルクの配合表

混合材料	水	普通ポルトランドセメント	膨張剤	増粘材	ベントナイト	W/C
質量%	45.8	45.8	7.7	0.4	0.3	100

2. 試験方法

透水試験は三軸圧縮試験装置を利用して行った。まず、供試体の寸法と質量を正確に計測した後、供試体を三軸セルにセットした。供試体のなかには側面の仕上がりが悪いものがあるので、側面の凹凸が特に大きいものは粘質土で凹部を充填した後、ゴムスリーブを装着した。次に側圧を3.5kgf/cm²に調整し、透水圧を2.0kgf/cm²としてビューレットから下部加压板を通して供試体に通水し、上部加压板を経て排水させる方法によって変水位透水試験を行った⁴⁾。

ゴムスリーブと供試体の間からの漏水については、図-1に示すように透水圧が2kgf/cm²のもとで側

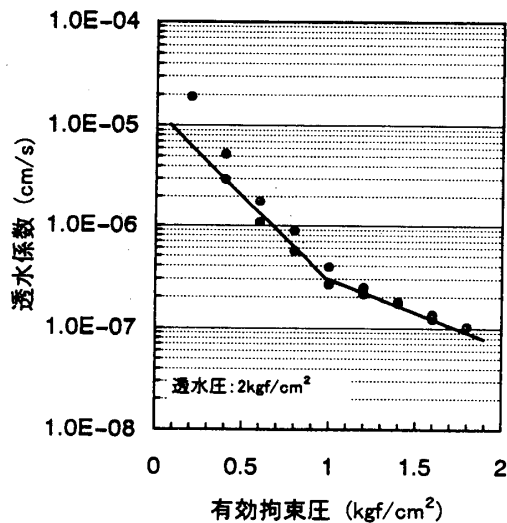


図-1 種々の有効拘束圧下での透水係数の測定例

圧をいろいろと変えて行った透水試験の例では側圧と透水圧の差である有効拘束圧が 1 kgf/cm^2 付近のところに透水係数の変曲点がみられるので、この程度の有効拘束圧によって漏水を防止できるようなところが、安全側をみて有効拘束圧を 1.5 kgf/cm^2 に設定した。また、透水圧を 2.0 kgf/cm^2 とした理由は、地下ダムの完成後、連壁によって堰上げられた地下水面から、連壁下流側の常時地下水面（平均海水面）までの高さがおおよそ 20 m であることを考慮して設定している。

透水試験では透水量をある程度確保するため、透水時間は3時間以上とし、透水係数が小さいほど測定時間を長くした。透水試験終了後の供試体は両端面の平行度を上げるためキャッピングを施し、容量5トンの圧縮試験機を用いて 1 mm/min の圧縮速度で一軸圧縮強度を測定した。それから炉乾燥して含水比を測定した。

結果および考察

1. 連壁の物理性

図-2と図-3はそれぞれ連壁から採取した供試体の湿潤密度と乾燥密度を含水比との関係で示したものである。また、図-2には粒子密度を 2.5 g/cm^3 、 2.7 g/cm^3 、 2.9 g/cm^3 と仮定したときのそれぞれの完全飽和状態の湿潤密度と含水比の関係を示し、図-3には粒子密度を 2.7 g/cm^3 として飽和度を100%、90%、80%と仮定したときのそれぞれの乾燥密度と含水比の関係を示している。

表-1に示すような配合のセメントミルクを容器に詰めて28日間水中養生したときの湿潤密度、乾燥密度、含水比はそれぞれ 1.7 g/cm^3 、 1.1 g/cm^3 、51%程度である³⁾。しかしながら、図からわかるように連壁の湿潤密度は $1.4 \sim 2.1 \text{ g/cm}^3$ 、乾燥密度は $0.6 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 、含水比は20~120%の範囲にそれぞれ大きくばらついている。このように同一条件で配合し、施工したにも係わらず連壁の物理性は大きく変動しているのが確認される。

このような湿潤密度は粒子密度が 2.7 g/cm^3 の関係曲線に沿って、乾燥密度は飽和度が100%の関係曲線に沿って、それぞれ分布するものが多いが、中にはこれらの関係曲線からはずれているものもみられる。したがって、これらのばらつきは含水比の変化に起因するといえるが、粒子密度や飽和度の変化の影響も受けているように思われる。

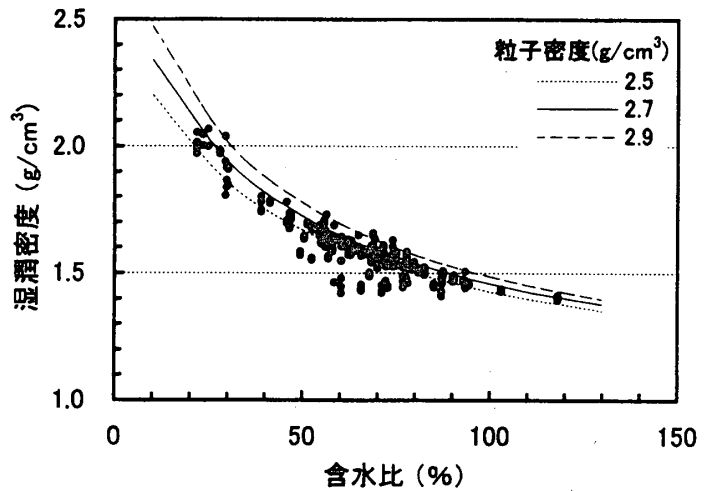


図-2 湿潤密度と含水比の関係

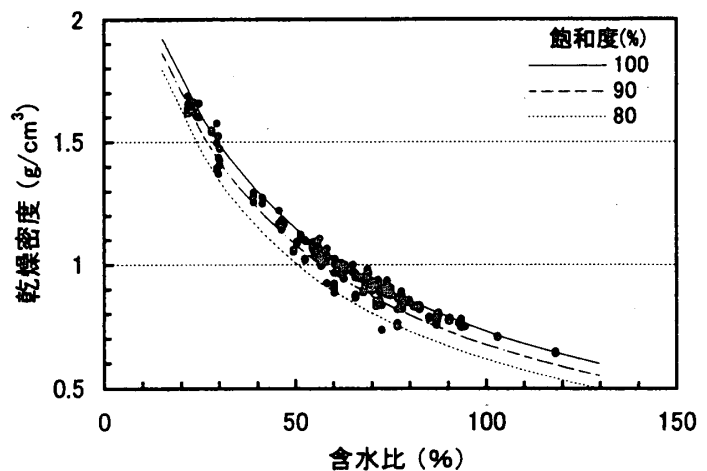


図-3 乾燥密度と含水比の関係

原位置土攪拌工法による連壁の施工では、三軸オーガーによって滞水層である琉球石灰岩層のみならず、連壁の根入れ深さが1mに達するまで基盤を削孔する。そのため、琉球石灰岩層内の石灰岩や流入粘土のスライムだけでなく、基盤を構成する凝灰角礫岩、凝灰岩、安山岩などのスライムも生じる。これらにセメントミルクを注入しながら攪拌するのでスライムはソイルセメントとなる。しかしながら、表-1に示すような配合のセメントミルクに礫を入れて攪拌混合した場合には礫の材料分離が発生するので³⁾、このようなソイルセメントでは硬化する前にその中の密度が大きく粒径の大きい礫は沈降し、材料の分離が起こるのである。また、地下水面下では地下水も混入したソイルセメントとなり、その水セメント比 W/C は注入時のセメントミルクより増大するので、おそらく地下水が豊富な場所ほど材料分離が顕著になるであろう。このような現象は削孔状態によっても発生の仕方が異なり、材料分離の程度は一定せず、仕上がった連壁の性質は均一でなく部分的に異なると思われる。

したがって、このような連壁の物理性の変動は主に石灰岩などのスライムに注入液であるセメントミルクや地下水がさまざまな割合で混入した後に材料分離が発生したことが原因と考えられる。

図-4は乾燥密度の深度方向分布を示したものである。深度の浅い部分は乾燥密度が小さく、深度の深い部分ほど乾燥密度が大きい傾向にある。材料分離によって沈降する礫の大部分は、空隙率が大きく乾燥密度の小さい石灰岩質礫であるが、セメントミルクの密度よりは大きいので、礫は沈降し、礫を多く含む供試体の乾燥密度は大きくなる。したがって、乾燥密度の大きい供試体は、前述したように、ソイルセメントが硬化する前に材料分離を起こし、礫の混入割合が大きくなったことに起因すると考えられる。一方、乾燥密度の小さい供試体は地下水の混入によってソイルセメントの w/c が大きくなり含水比が大きくなっただけでなく、攪拌効果を上げるため空気を噴射しながらセメントミルクを攪拌するため、ソイルセメント内に気泡が混入したことも原因していると考えられる。

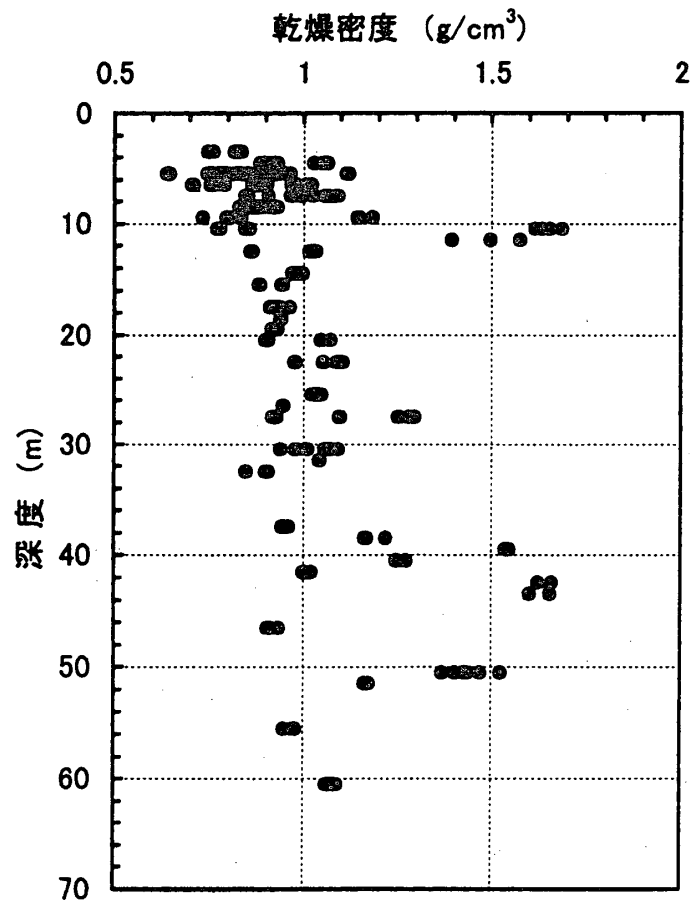


図-4 乾燥密度の深度方向分布

2. 連壁の遮水性

図-5には、連壁から採取した供試体の透水係数の深度方向分布を示している。透水係数は深さによって変化しているのが分かる。深さが10m以浅では、透水係数のバラツキが大きく、 $10^{-9} \sim 10^{-5} \text{ cm/s}$ のオーダーで分布し、透水係数の施工管理値である $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ より大きく、品質基準を満足しない供試体も出現している。一方、深さが10m以深では、深くなるにつれて透水係数は $10^{-9} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$ のオー

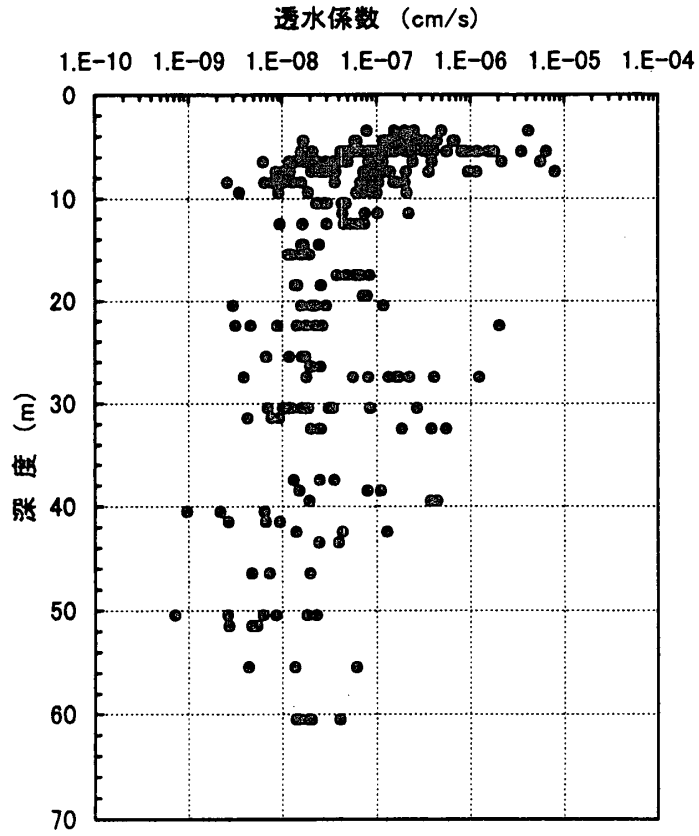


図-5 透水係数の深度方向分布

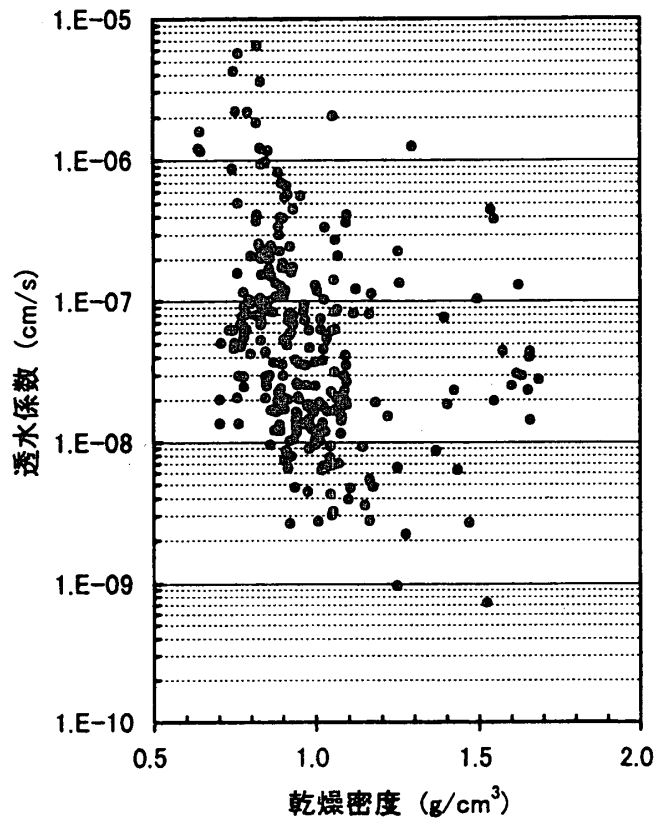


図-6 透水係数と乾燥密度の関係

ダーに落ち着く傾向にある。全体的にみれば、透水係数は品質基準を満たし、連壁の遮水性は確保されているが、ばらつきが大きいことが分かる。図-6は透水係数と乾燥密度の関係である。施工管理値より大きい透水係数は乾燥密度の小さい領域に分布し、それより小さい透水係数は乾燥密度の大きいところに分布しており、連壁の遮水性の変動は施工中の材料分離や地下水の混入によるものと考えられる。

3. 連壁の圧縮強度

連壁の圧縮強度の深度方向分布を図-7に示す。同一条件による施工にもかかわらず、その圧縮強度は5~100kgf/cm²の幅広い範囲に分布し、計画時に想定した圧縮強度10~15kgf/cm²とは大きくかけ離れた値となっている。また、深さが浅いところで圧縮強度は低強度を示す傾向を示し、施工管理値の10kgf/cm²より小さい供試体も出現している。

図-8は圧縮強度と乾燥密度の関係を示している。おおよそではあるが、乾燥密度が1.3g/cm³以下では圧縮強度は乾燥密度が大きいほど大きい傾向にある。しかし、1.3g/cm³以上のところでは、ばらつきが大きく、圧縮強度は必ずしも乾燥密度の増加に伴って増加するような傾向はみられない。このことは、前述したように、施工時にソイルセメントのレキ率や水セメント比に変化が生じ圧縮強度が複雑に変化したことを示唆している。

連壁の圧縮強度は地震時を想定して、地盤と剛性を同じくすることが望ましいが、琉球石灰岩の力学性は著しく変化に富むため、琉球石灰岩そのものの剛性に一致させることは困難である。また琉球石灰岩は空洞が場所によってよく発達しており、空洞処理の仕方によって、その中を通る連壁の剛性も他の地点とは大きく変化するものと思われる。したがって幅広い地震時の震幅に対応できることを想定して、連壁の遮水性の許容できる範囲内で低圧縮強度として10~15kgf/cm²が計画されているが、実際には決してそうはなっていないことが分かる。

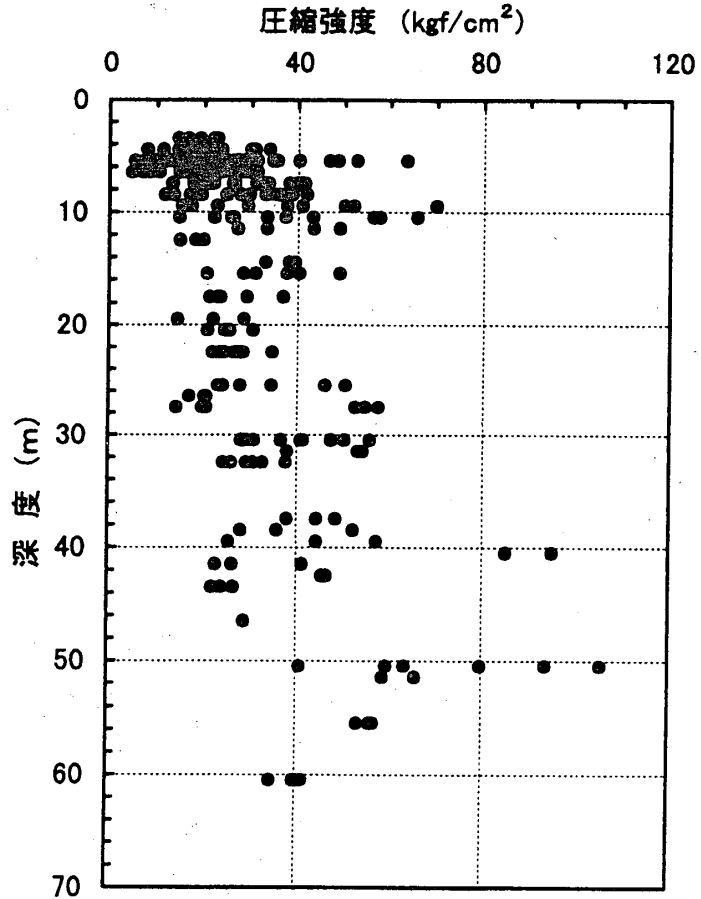


図-7 圧縮強度の深度方向分布

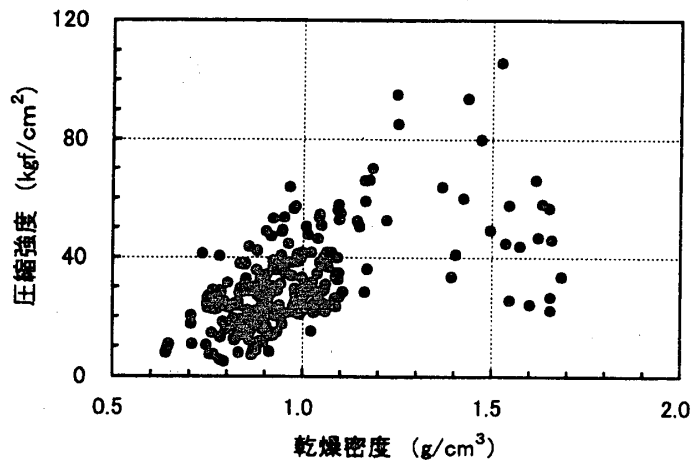


図-8 乾燥密度と圧縮強度の関係

摘 要

久米島で建設中のカンジン地下ダムの連壁から採取したボーリングコアについて、湿潤密度、乾燥密度、含水比、透水係数、圧縮強度などを測定し、連壁の工学的性状について調べた。透水係数と圧縮強度は施工管理基準をおおむね満足するものであった。しかしながら、連壁の性状は不均質であり、深さ方向に大きく変動していることが明らかになった。この主な原因は原位置土攪拌工法によるソイルセメントの施工中に生じる材料分離や地下水の混入であることが推察された。均質な連壁を施工するためには、いろいろな条件を満たす必要があるが、まず、材料分離を起さない配合としなければならない。実験によれば、材料分離を起ささないための W/C の値は60程度である³⁾。しかし、この W/C の値は施工機械にとってかなり厳しい条件であり、仮にこの条件で施工が可能としても、削孔中の地下水の出入りを制御することは困難である。したがって、現行の原位置土攪拌工法によって均質な連壁を施工するのは不可能である。また、ここでは論じていないが、この工法には幾つかの問題点もあげられる³⁾。これについては別の機会に報告したい。

引用文献

1. 緑資源公団九州支社編 2001：地下ダム工事誌、緑資源公団、pp. 2～206
2. 沖縄県南部農林土木事務所 1997：沖縄県農業用ダム設計施工検討会資料
3. 宮城調勝：地下ダムの連続壁体の問題点、未発表資料
4. Carpenter, G. W. and Stephenson, R. W. 1986：Permeability Testing in the Triaxial Cell, Geotechnical Testing Journal, No. 9, pp. 3～9