

底泥土の固化改良における礫分含有量の影響

北 島 明 福 島 伸 二 ^{*1}

概 要

砕・転圧盛土工法^{1), 2)}では、底泥土、あるいはこれに掘削発生土を加えた混合泥土などの固化改良土を築堤土とするが、固化強度に及ぼす粒度の影響は細・粗粒分分離モデルを用いて細粒分含有率 F_c により考慮している。しかし、実施工での底泥土や混合泥土の粒度変動は粗粒側へ、すなわち礫分含有量が増加する粒度変化をしている場合が多い。このことは、粒度変動のある底泥土や混合泥土の固化強度に及ぼす粒度の影響を F_c だけで考慮することが難しく、礫分含有量の影響も考慮する必要性も考えられる。そこで、粒径 2mm を超える礫分含有率 F_g が初期固化強度に及ぼす影響を調べるために、 F_c をほぼ一定にして F_g を変化した混合泥土の固化改良土の一軸圧縮試験を実施した。また、施工中の大原ダムで生じた混合泥土の粒度変動と w - F_c モデルで管理した強度の関係を調べ、 w - F_c モデルの適用性の実地調査結果を報告する。

Effect of gravel content on the strength of muddy soil mixed with cement

Abstract

The crushed and compacted embankment method is applied to the construction of soil embankments from muddy and excavated soil. In this method, strength of the cement-mixed mud soil is controlled by the particle size of the fine particle content. However, in real-world implementation, there are a lot of cases where effect of an increase in the gravel content has to be considered. So we conducted a series of strength tests in order to examine the effect of not only fine particle content but also gravel content.

This report details verification of a new method to optimally control particle sizes using data obtained from the "Oh-hara dam" construction site.

キーワード：底泥土、粒度、粗粒分含有率、強度制御

*1 建設本部 土木エンジニアリングセンター

§1. はじめに

砕・転圧盛土工法^{1), 2)}では、底泥土、あるいはこれに掘削発生土を加えた混合泥土などの固化改良土を築堤土とするが、固化強度に及ぼす粒度の影響は細・粗粒分分離モデルを用いて細粒分含有率 F_c により考慮している。しかし、実施工での底泥土や混合泥土の粒度変動は粗粒側へ、すなわち礫分含有量が増加する粒度変化をしている場合が多い。このことは、粒度変動のある底泥土や混合泥土の固化強度に及ぼす粒度の影響を F_c だけで考慮することが難しく、礫分含有量の影響も考慮する必要性も考えられる。そこで、粒径 2mm を超える礫分含有率 F_g が初期固化強度に及ぼす影響を調べるために、 F_c をほぼ一定にして F_g を変化させた混合泥土の固化改良土の一軸圧縮試験を実施した。また、施工中の大原ダムで生じた混合泥土の粒度変動と w - F_c モデルで管理した強度の関係を調べ、 w - F_c モデルの適用性の実地調査結果を報告する。

§2. 底泥土の細・粗粒分分離モデル

底泥土の粒度は池内の滞筋に沿った上・下流方向の堆積位置で異なるものの、堤体付近の下流域の底泥土ほど細粒分を多く含み、上流域の底泥土ほど粗粒分を多く含み堤体付近の底泥土に物理化学的性質に影響を及ぼさない粗粒分が加わっただけとして扱えることがわかっている。上流域の底泥土は、図 1 に示す土粒分と水分の模式図(細・粗粒分分離モデル、以下 w - F_c モデルという)のように、土粒子質量を $75\mu\text{m}$ 以下の質量とこれを超える粗粒分質量とに分けて扱うと、堤体に近い細粒分を最も多く含む底泥土を基本底泥土(w_0 、 F_{c0})に粗粒分が加わっただけなので、粗粒分に含まれる水分を含めた全水分質量による全体の全体含水比 w_t と底泥土のうちの粗粒分を除いた基本底泥土状態での含水比 w (以降これを換算含水比として w_t と区別する)の関係は

$$w = (F_{c0}/F_c) \cdot w_t \quad (1)$$

で与えられる。そして、含水比と粒度が変化する底泥土 w 、 F_c を固化処理時の強度は基本底泥土の基準とした w_0 と F_{c0} と差を考慮してそれぞれ

$$(q_u)_{IS10}(F_{c0}, w) = a \cdot (w/w_0)^b \quad (2)$$

$$(q_u)_{IS10}(F_c, w_0) = c \cdot (F_c/F_{c0})^d \quad (3)$$

で表せる²⁾。ここで、 a は基本底泥土の $w=w_0$ における強度 $a=(q_u)_{IS10}(F_{c0}, w_0)$ 、 c は底泥土(F_c, w)の $F_c=F_{c0}$ における強度 $c=(q_u)_{IS10}(F_c, w)$ 、 b は底泥土の種類によらず $b \approx -1.37$ 、 d は底泥土により決まる係数である。

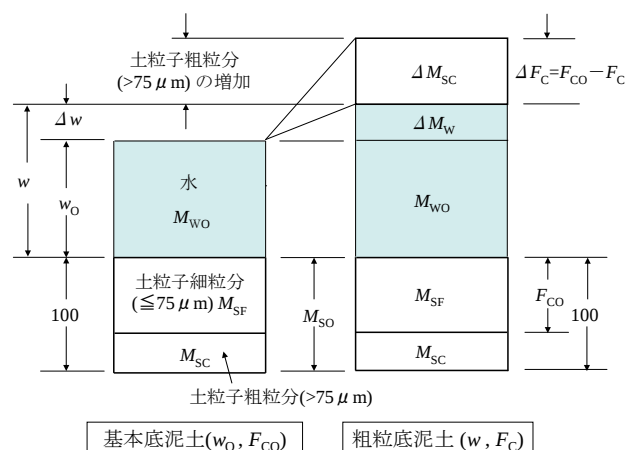


図 1 細・粗粒分分離モデル (w - F_c モデル)

§3. 初期固化土の強度に及ぼす含水比と粒度の影響

試料は大原ダム堤体改修工事で使用された底泥土と既設堤体からの掘削土を体積混合比 $n_v=1.50$ で合わせた混合泥土を基本底泥土($w_0=42.3\%$ 、 $F_c=34.2\%$)とし、粒度を変えるために $n_v=1.00$ と 2.00 の混合泥土を準備した。図 2 には $n_v=1.00$ 、 1.50 、 2.00 の混合泥土の粒度曲線を示す。混合泥土の固化強度に及ぼす含水比の影響を調べるために、基本底泥土の含水比を $w_0=42.3\%$ と、これより乾燥側の $w=35.0\%$ と湿潤側の $w=50.0\%$ に含水比調整して固化材添加量を $\Delta M_c=75, 100, 150, 200\text{kg/m}^3$ と変えた初期固化土の一軸圧縮試験を実施した。図 3 は試験から得られた混合泥土の固化強度(q_u)_{IS10}(固化材添加後 $t=10$ 日目の強度)と w の関係を示す。図中の曲線は式(2)による近似曲線を示す。図から、(q_u)_{IS10} $\sim w$ 関係は(q_u)_{IS10} に及ぼす w の影響をうまく近似できることがわかる。

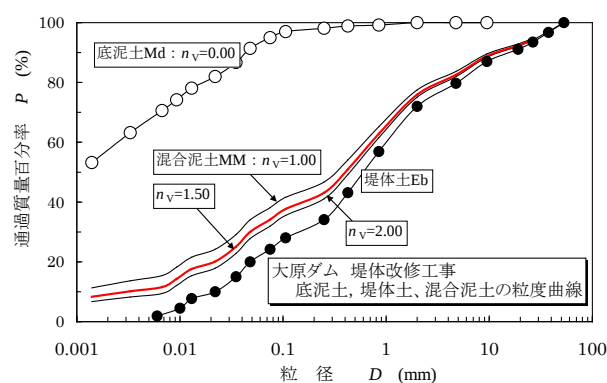
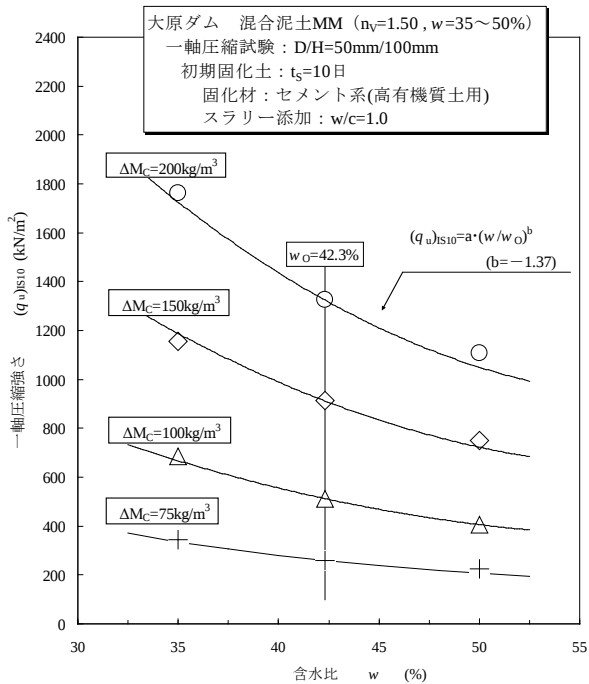
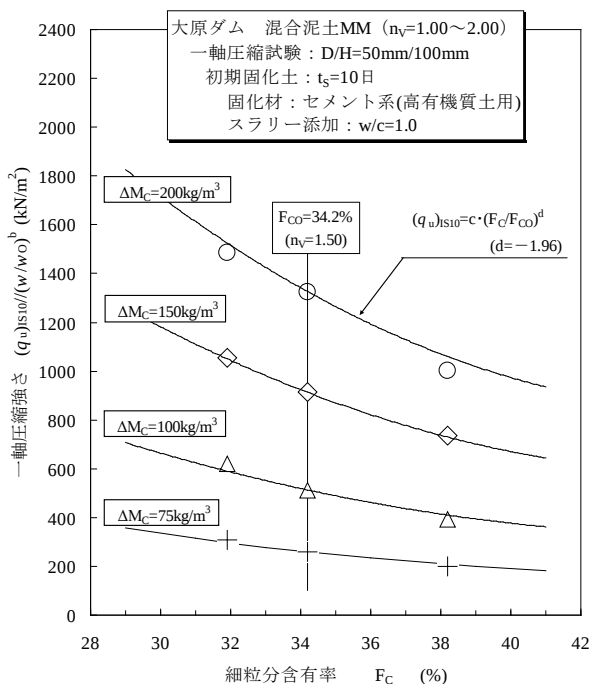


図 2 混合比 n_v を変えた混合泥土の粒度曲線

図3 混合泥土($n_v=1.50$)の $(q_u)_{IS10} \sim w$ 関係

$n_v=V_{EB}/V_{Md}$	w_T (%)	F_C (%)	$w=(F_{CO}/F_C) \cdot w_T$ (%)
1.00	52.8	38.2	131.3
1.50	42.3 (= w_0)	34.2 (= F_{CO})	117.5
2.00	36.8	31.7	110.3

図4 混合泥土($n_v=1.00\sim2.00$)の $(q_u)_{IS10} \sim F_C$ 関係図4には、 $n_v=1.00, 1.50, 2.00$ の混合泥土の、 $n_v=1.50$ の

底泥土($w_0=42.3\%$, $F_{CO}=34.2\%$)を基本底泥土として w の影響を除くために式(2)の含水比項(w/w_0)^bで正規化した強度 $(q_u)_{IS10}/(w/w_0)^b$ と F_C の関係を示す。図上の表には基本底泥土に対する n_v の異なる混合泥土における w_T と F_C 、式(1)により算定した w をそれぞれ示す。 $w-F_C$ モデルによると、 w 一定の条件では、 $(q_u)_{IS10}$ と F_C の関係は指数関数式(2)により近似できることがわかっている²⁾。図4の曲線は $d=-1.96$ とした関係であり、式(2)が含水比の影響を取り除いた $(q_u)_{IS10}/(w/w_0)^b \sim F_C$ 関係をうまく近似できることがわかる。

§4. 礫分を加えた混合泥土とその固化改良

礫分を増加させた試料は、混合泥土試料に既設堤体土を乾燥させてから2mmフルイでフルイ分けして残った礫分のみを図5に示すように、ある一定の割合で追加して礫分含有率 F_G を $F_G=24.6, 30.3\%$ になるように粒度調整した礫分追加試料I、IIを準備した。試料は w が一定値になるように w_T を含水調整してある。礫分追加試料は F_C が一定になるように準備したものであるが、同一の目標強度に初期固化するための固化材添加量 ΔM_c は同じとなる。ただし、粒度曲線は2mm以上の礫分を加えると細粒分含有率 F_C は若干変化してしまうため、これらの F_C の変化が強度に及ぼす影響は $w-F_C$ モデルにより評価して ΔM_c の補正

$\Delta M_c=42+0.119 \cdot (q_u)_{IS10} \cdot (w/w_0)^{-b} \cdot (F_C/F_{CO})^{-d}$ により行った。

混合泥土	w_T (%)	F_C (%)	$w=w_T \cdot (F_{CO}/F_C)$ (%)	F_G (%)
基本混合泥土	42.3	34.2 (= F_{CO})	42.3 (= w_0)	24.1
混合泥土試料	45.8	37.0	42.3	17.8
礫分追加試料I	41.9	33.9	42.3	24.6
礫分追加試料II	38.7	31.3	42.3	30.3

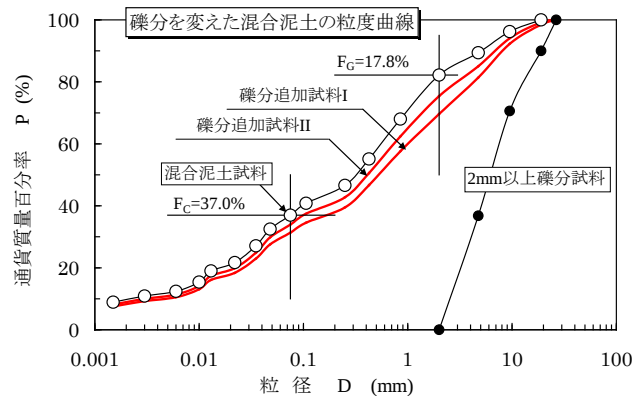


図5 礫分を変えた混合泥土の粒度曲線

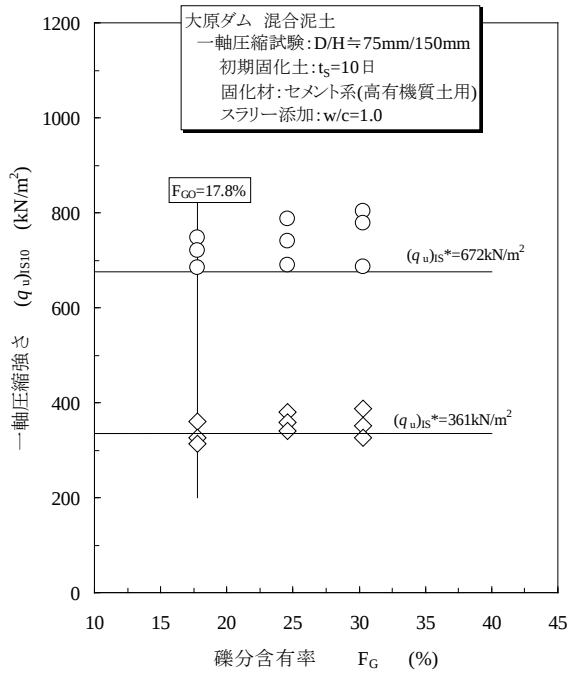
図 6 礫含有分を変えた混合泥土の $(q_u)_{IS10} \sim F_G$ 関係

図 6 には F_G を変えた混合泥土を同一の目標強度になるように F_C の影響を考慮して ΔM_C を補正して初期固化したときの強度 $(q_u)_{IS10}$ と F_G の関係を示す。図から、 F_G に関係なく $(q_u)_{IS10}^*$ に近い $(q_u)_{IS10}$ となっており、混合泥土の初期固化強度は F_G に関係なく F_C だけで決まることわかる。

§5. 大原ダムの原料土の粒度変化

大原ダム堤体改修工事³⁾では堤体補強のための固化改良土量約 64,000m³ に対して工事に伴う掘削発生土が約 43,000m³ と見込まれたことから、掘削発生土の場外処分を無くすために底泥土に体積比で 1:1.50 の割合で加え合わせた混合泥土として用い、その固化改良の強度管理には w - F_C モデルを採用した。

底泥土 Md は既設堤体に近い細粒分を最も多く含むものを基本底泥土としており、上流域に向かって粗粒分が増加してゆく。図 7 には工事中に使用した堤体に近い基本底泥土 Md から掘削採取した上流域までの最も粗粒分の多い底泥土 Md-c の範囲を示している。既設堤体土 Eb は配合試験で使用したものに比較して、粗粒化 Eb-c だけでなく細粒化 Eb-f へも変化し、その範囲を図 8 に示す。底泥土と既設堤体土を合わせた混合泥土 Md+Eb の粒度は以上のそれぞれの粒度に応じて変化する。最も細粒の混合泥土は基本底泥土 Md と細粒既設堤体土 Eb-f の組み合わせで、図 9 に示す混合泥土 Md+Eb-f である。最も粗粒の混合泥土は上流域の粗粒底泥土 Md-c と粗粒既設堤体土 Eb-c の組み合わせで、図 10 に示す混合泥土 Md-c+Eb-c である。

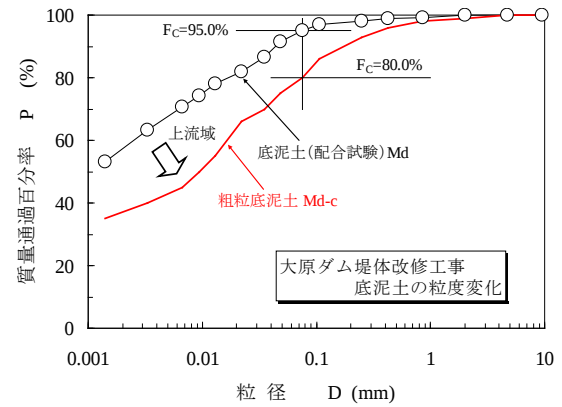
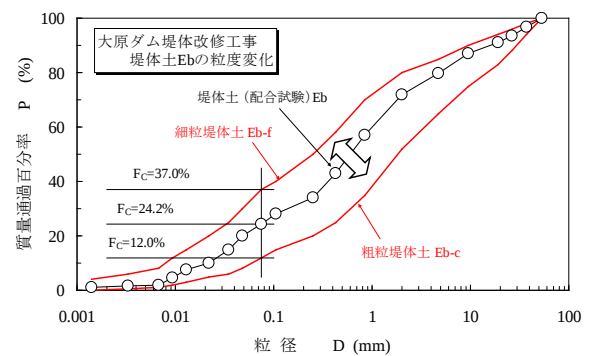
図 7 底泥土の粒度変化
(上流域に向かって粗粒分が増加)

図 8 既設堤体土の細・粗粒化の粒度変化

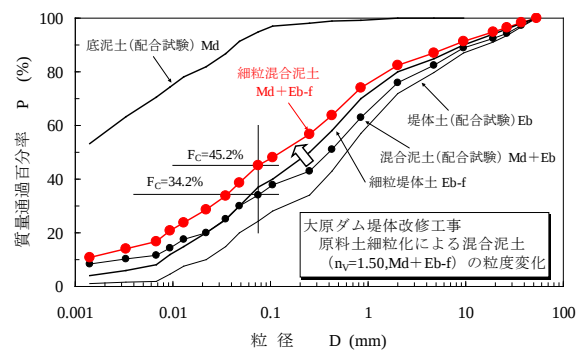


図 9 混合泥土の細粒化への粒度変化 (Md-f+Eb-f)

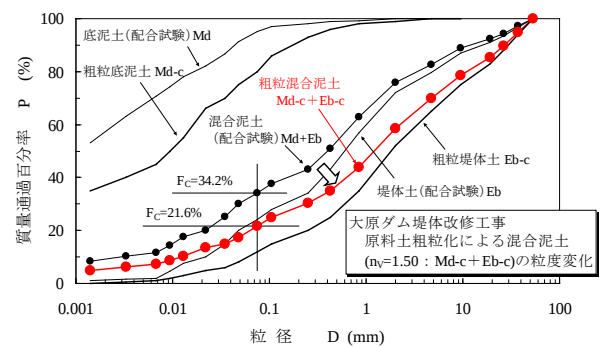


図 10 混合泥土の粗粒化への粒度変化 (Md-c+Eb-c)

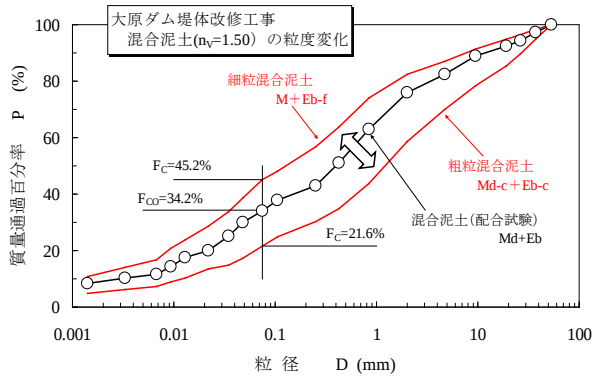


図 11 混合泥土の粗粒化への粒度変化 (Md-c+Eb-c)

最細粒混合泥土 Md+Eb-f と最粗粒混合泥土 Md-c+Eb-c は図 11 に示してあるが、これらの細粒分含有率 F_c は配合試験で基準とした混合泥土 Md+Eb の $F_c=34.2\%$ に比較して、細粒の混合泥土 Md+Eb-f で $F_c=45.2\%$ 、粗粒の混合泥土 Md-c+Eb-c で $F_c=21.6\%$ であった。実際には、粒度の変化には全体含水比 w_t の変化も伴うので、この粒度変化が直接強度に影響を及ぼすわけではないが、大きな変化幅と言える。

§6. 混合泥土の粒度変動が強度に及ぼす影響

混合泥土の初期固化強度に及ぼす粒度の影響は図 12 に示すように w - F_c モデルにより指数関数

$$(q_u)_{IS10} = c \cdot (F_c / F_{CO})^d$$

により近似できることがわかっていて²⁾。図 13 には初期固化土の一軸圧縮強さ $(q_u)_{IS10}$ ～ F_c 関係を示すが、大原ダムの施工中の混合泥土の全体含水比 w_t ²⁾ と粒度 F_c を測定し、換算含水比 $w (=w_t \cdot (F_{CO} / F_c))$ ²⁾ を考慮しており、 F_c が基準の $F_c = F_{CO} = 34.2\%$ に対して細粒側 ($F_c > F_{CO}$) に、あるいは粗粒側 ($F_c < F_{CO}$) に変化した場合の実際の $(q_u)_{IS10}$ の変化を示してある。図中の二本の水平な直線は目標強度範囲 $(q_u)_{IS}^* \sim (q_u)_{IS}^* / \alpha_{FL}$ を、曲線は実施工での w と F_c の影響を考慮して強度管理した結果である $(q_u)_{IS10} \sim F_c$ 関係の平均的な傾向を調べるための全データを指数曲線により近似した関係をそれぞれ示している。式中の係数 865 は $(q_u)_{IS10}$ の平均値である。図から、 w - F_c モデルは w と F_c による影響をうまく考慮した強度管理ができることがわかる。ただし、混合泥土の w と F_c の影響を考慮して強度管理をしても、基準値との差が大きくなるほど $(q_u)_{IS10}$ のバラツキが大きくなり、細粒側では $F_c / F_{CO} \geq 1.45$ 程度、あるいは粗粒側では $F_c / F_{CO} \leq 0.7$ 程度になると目標強度範囲を外れるようになることがわかる。すなわち、 w と F_c が $(q_u)_{IS10}$ に及ぼす影響は粗粒側ほど大きく、

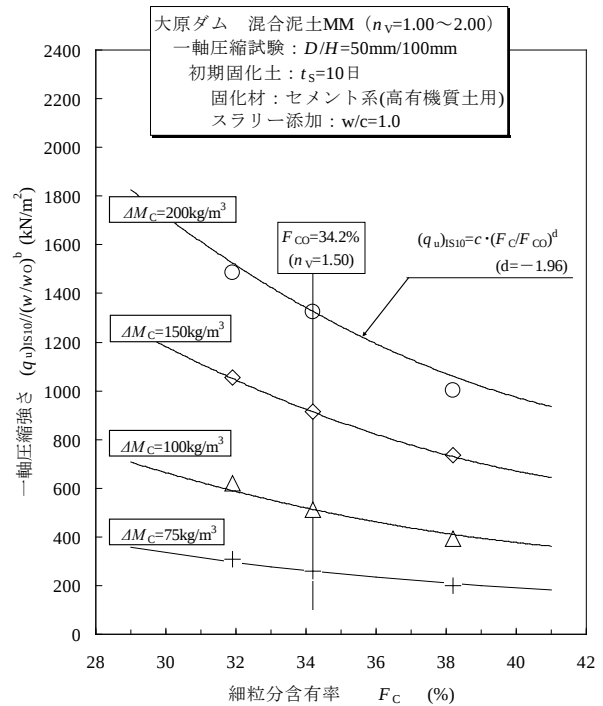
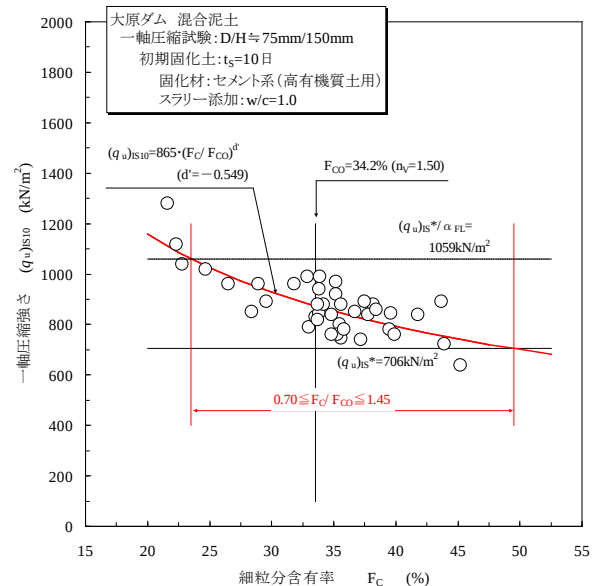
図 12 初期固化土の $(q_u)_{IS10} \sim F_c$ 関係

図 13 混合泥土の細・粗粒化が初期固化強度に及ぼす影響

w-Fc モデルによる強度管理が有効な範囲は

$$0.70 \leq F_c / F_{c0} \leq 1.45$$

としよう。F_cがこの範囲を超えて変化する場合には、基本底泥土をさらに粗粒側、あるいは細粒側に再設定する必要があると考えられる。

§7. あとがき

混合泥土の礫分含有量が初期固化強度に及ぼす影響を調べるために、F_cを一定にしてF_cを変化させた混合泥土の初期固化土の一軸圧縮試験を実施し、混合泥土の初期固化強度に及ぼす礫含有分の影響は少ないこと、すなわち固化強度の管理では粒度の影響はF_cの影響を考慮するだけで可能なことが確認できた。

また、大原ダムの混合泥土の粒度変動とそれが強度に及ぼす影響を実地に調べた結果、以下の結論が得られた。粒度が強度に及ぼす影響はw-Fcモデルにより管理できるものの、混合泥土の粒度変動の影響は粗粒側では強度が過大になりやすく、細粒側では強度が過小になりやすい傾向がある。w-Fcモデルによる強度管理の有効な範囲が目安になり、F_cがこの範囲を超えて変化する場合には、基本底泥土をさらに粗粒側、あるいは細粒側に再設定する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) (社)農業農村整備情報総合センター：ため池改修工事の効率化、一砕・転圧盛土工法によるため池堤体改修、設計・施工・積算指針(案)、2006.
- 2) (社)農業農村整備情報総合センター：砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修、一堆積土・発生土を有効利用したフィルダムのリニューアル技術、設計・施工・積算指針(案)、2009.
- 3) 福島伸二、谷 茂：老朽フィルダム堤体の固化処理底泥土を用いた耐震補強のためのゾーニング事例、第 45 回地盤工学研究発表会、pp.983-984、2010.



北島 明

ひとこと

砕・転圧盛土工法による本格的なフィルダムの改修事例を大原ダムで実施し、粒度補正の妥当性も確認できたので、砕転圧盛土工法の適用範囲を耐震護岸へシフトするとともに、大阪桐蔭の藤浪投手が縦縞に袖を通すことを心から祈りたいと思います。