

研究成果報告書（平成 16～18 年度）

研究課題名	「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」の開発
研究開発組合	株式会社フジタ・太平洋セメント株式会社

1. 研究目的

堤高 15m～30m 程度までのフィルダムは均一型が多く、そのほとんどは戦前の築造のため老朽化が進んでいる。このため堤体の断面変形や漏水により、その安定性が損なわれている例が多く、早急な堤体補強が必要とされている*1。ところが最近では、堤体補強に必要な品質（強度、遮水性、変形性）を満足する築堤土をダム周辺で入手することが困難であったり、入手できても土取りによる自然破壊や運搬に伴う大気汚染・交通障害などが発生し、事業実施上大きな制約となっている。一方このようなダム湖内には様々な性質の土砂や泥土が堆積し、貯水容量の低下や水質悪化の原因となっているが、環境保全上からこれらの土砂等の廃棄が難しくなっている。

平成 9～11 年度の新技术研究開発事業「ため池改修工事の効率化」では、提高 15m 程度までのため池を対象として、このような課題に対応した「砕・転圧盛土工法」*2 を開発し、これまで着実に施工実績を得ている。しかしながら今後さらに重要性が増すフィルダム改修への適用に対しては、上流域では砂礫、下流域では泥土のような粒径の異なる堆積土を有効利用する、さらには堤体強度のゾーニング、ダム設計基準に定められた規格の確保など、解決すべき課題が多い。

そこで本研究では、ダム設計基準と整合し、ダム湖内の堆積土や掘削土など、改修事業で発生する様々な粒径の異なる発生土を、各種の固化処理技術を適用して築堤材として有効活用し、堆積土砂の除去と堤体補強が同時に達成できる築堤技術を開発する。

*1 改修が必要なフィルダム・ため池は全国で約 2 万箇所あると言われている。この内提高 15m を超える均一型フィルダムは、農業用貯水池だけでも全国で約 1400 箇所あり、8 割が戦前までの築造となっている。

*2 砕・転圧盛土工法は、平成 9～11 年度の官民連携新技术研究開発事業「ため池改修工事の効率化」で開発し、これまで 12 工事での施工実績がある。本工法は、図 - 1 に概念的に示すように、ため池やフィルダムの堤体改修と池内の底泥土の除去処分を同時に達成するために、底泥土をセメント系固化材により土質改良して所要の強度と遮水性を有する築堤土に製造して堤体の補強

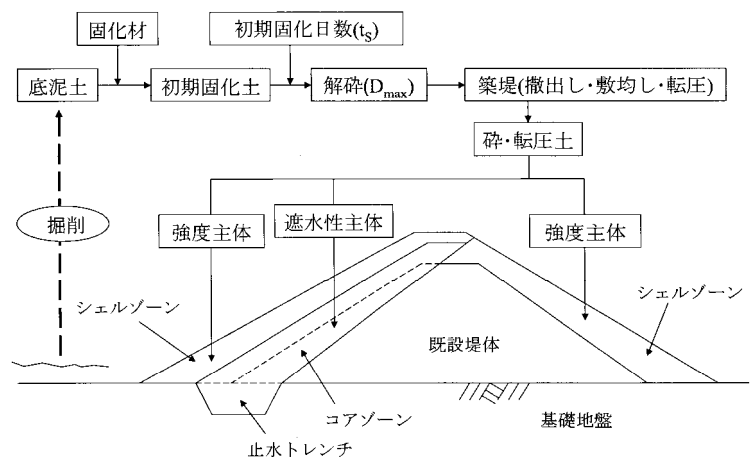


図 - 1 砕・転圧盛土工法 の概念図

や漏水防止のための築堤を行うものである。この築堤は一定期間 t_s だけ固化させた底泥土（これを初期固化土という）を規定の最大粒径 D_{max} で解砕して、さらにこれを通常の築堤土と同様に均一に撒出し、一定層厚に敷均してから転圧して1層毎に行う（これを砕・転圧土という）。平成15年度地盤工学会技術開発賞。

2. 研究内容

当研究開発課題では、15m超のフィルダム堤体をダム湖内に堆積した泥土砂を固化処理技術の活用により築堤土を製造し、許容範囲内で急勾配法面あるいは既設堤体に近い法面勾配で補強できる技術を開発する。これにより土砂の搬出入がない、土工量が少ない、新規の事業用地が必要ない、工期短縮など、経済性と環境保全に優れ、効率的な事業推進を図ることができる。

（技術的に解決すべき問題点）

貯水池や流入河川の規模が大きいダム湖内に堆積した底泥土などの土砂は、堆積位置により粒度が変化その粒径が広範囲にわたる。したがって、堆積土砂を所要の強度や遮水性を満足するように築堤土（固化処理土）を製造するには、含水比や粒度の影響を考慮しなければならない。個別研究テーマ：(a)・(b)・(c)・(f)

堤高の大きいフィルダムでは堤高の低いため池とは異なり、築堤土である固化処理土の目標強度を高く設定する必要から、堤体補強部と既設堤体の間で極端な剛性差を生じやすくなるため、この影響を軽減できる合理的な堤体ゾーニングが要求される。

個別研究テーマ：(d)

安定計算上のすべり面深さが深く、一般のため池改修などで実施されている内部摩擦角を無視した地盤改良法的な設計法では不経済になるため、内部摩擦角も考慮したフィルダム基準に準拠した設計法の確立が必要である。→個別研究テーマ：(d)

既設フィルダムの補強は早急に工事を完成させて供用再開することが求められるので、規模に関わりなく低コストかつ効率的な施工システムを確立しなければならない。

→個別研究テーマ：(e)

個別研究テーマ	研究ツール	実施年度
(a)既設ダム湖内の底泥土の特性調査	現地調査	平成16年度
(b)底泥土の固化処理強度に及ぼす含水比と粒度分布の影響調査	室内配合試験	平成16年度
(c)含水比と粒度分布が変化する底泥土の固化処理強度管理法の確立	試験結果の分析	平成17年度
(d)フィルダム基準に準拠した堤体設計法の確立		
(e)高堤体に適した施工システムの開発	ため池での施工実績の分析	平成17年度
(f)成果(c)・(d)の適用性	現場実証試験	平成18年度

3 . 研究成果

3 . 1 底泥土の含水比と粒度の影響を考慮した固化処理法の確立 (課題)

(1) 老朽化したフィルダムの貯水池内に堆積した底泥土の堆積特性の現地調査 個別研究テーマ : (a)
池内の底泥土の堆積特性に関する現地調査は孫沢ダム (宮城県) 谷田大池 (静岡県) 西大谷ダム (静岡県) の 3 箇所のフィルダムにおいて実施した。また、比較のために、改修工事中の北谷池、奈良池、西光寺池などのため池においても実施した。孫沢ダムでの調査状況を以下に示す。



写真 - 1 貯水中の底泥土の採取 (潜水採取)



写真 - 2 澇筋に沿った底泥土の堆積状況

【底泥土の含水比と粒度の取扱法の提案】

上記、孫沢ダムなどの現地調査結果から、池内に堆積した底泥土は、池内の下流池から上流域に向かって粗粒分が増加するが、固化特性に深く関係する物理化学的特性はほぼ一定である。したがって、池上流域の粗粒分を多く含む底泥土は、図 - 2 に概念的に示すように、堤体付近の下流域に堆積した細粒分を最も多く含む底泥土（以降この状態の底泥土を基本底泥土とする）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うことが可能である。

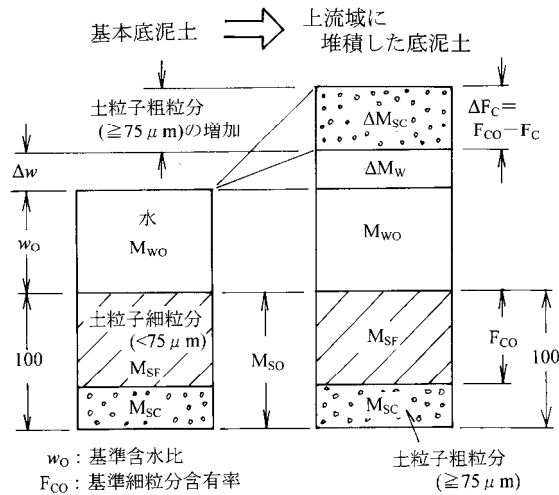


図 - 2 底泥土の土粒子分と水分の模式図

(2) 底泥土の固化処理強度に及ぼす含水比と粒度の影響に関する室内配合試験 個別研究テーマ:(b)

底泥土の固化処理強度に及ぼす含水比と粒度の影響を調べるために一軸圧縮試験による体系的な室内試験を実施し、含水比と粒度が底泥土の固化処理強度に及ぼす影響について以下の結論が得られた。

[含水比の影響]

粗粒分量を変えた底泥土の一軸圧縮強さ $(q_u)_{IS10}$ に及ぼす含水比の影響は含水比 w を基本底泥土の $w=w_0$ により正規化した w/w_0 に関する指数関数

$$(q_u)_{IS10} = a \cdot (w/w_0)^b \quad (b = -1.37) \quad (1)$$

によりほぼ近似できる (a は $w=w_0$ での強度)。

[粒度の影響]

粒度が強度に及ぼす影響は粗粒分量の細粒分含有率 F_c を基本底泥土 $F_c=F_{c0}$ により正規化した F_c/F_{c0} に関する指数関数

$$(q_u)_{IS10} = c \cdot (F_c/F_{c0})^d \quad (2)$$

により近似できる。ここで、c は固化材添加量 ΔM_c により決まる基本底泥土 (w_0, F_{c0}) の強度 $(q_u)_{IS10}$, d は ΔM_c によらない一定な係数である。

(3) 底泥土の含水比と粒度の影響を考慮した固化処理強度管理法の確立 個別研究テーマ:(c)

池内で粒度 F_C と含水比 w が変化する底泥土を固化処理して所要の強度 $(q_u)_{IS}^*$ の固化処理土を製造するための強度管理法を確立した。この方法は、粗粒分の多い底泥土 (F_C, w) を目標強度に固化させるために必要な ΔM_C を F_C と w の影響を式(1)と式(2)の指数関数により考慮して、配合試験における基本底泥土 (F_{CO}, w_0) に変換して決定するものである。その概念図を図 - 3 に示す。

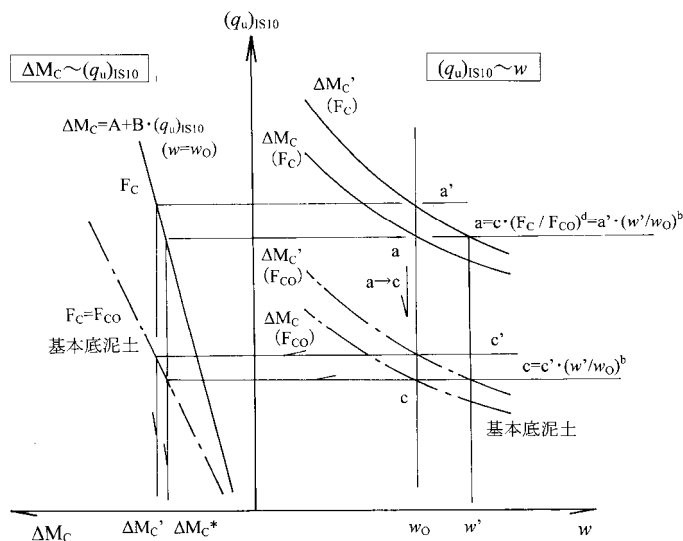


図 - 3 $(q_u)_{IS10} \sim w \sim M_C$ 関係の概念図

3.2 砕・転圧盛土工法に適した堤体ゾーニングの検討 (課題)

(1) 新設・既設堤体間に極端な強度差が生じない堤体ゾーニング法の検討 個別研究テーマ:(d)

広範囲な粒度をもつ底泥土を築堤土に使用するには、図 - 4 に概念的に示すように、細粒分を多く含む底泥土は主に遮水機能を果たす遮水ゾーン部に、粗粒分を多く含む底泥土は堤体の安定化機能を果たすシェルゾーン部に使用するというように、粒度により使い分けるものとする。

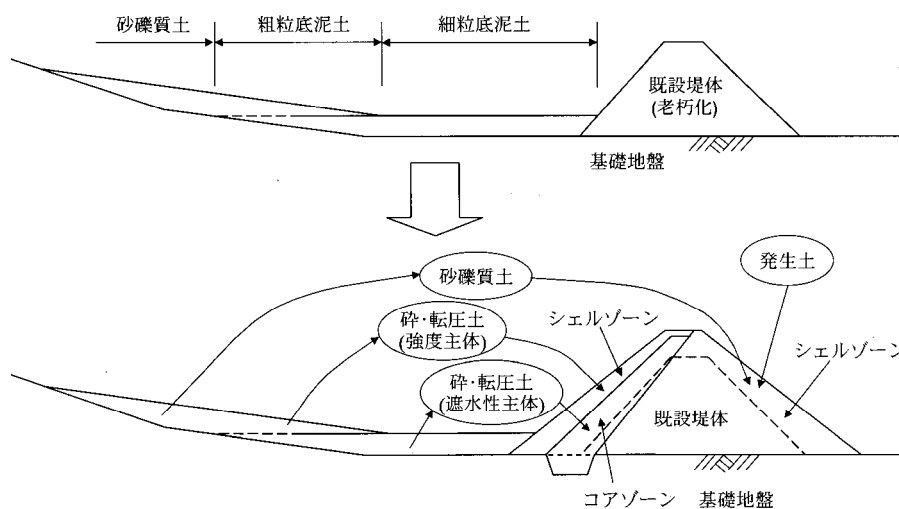


図 - 4 堆積土砂の粒径と築堤土の種類

(2) 堤体規模に応じた堤体ゾーニング法を検討 個別研究テーマ:(d)

【堤体規模に応じたゾーニングの基本的考え方】

堤体ゾーニングは補強堤体部と既設堤体部との間に極端な強度差が生じないように堤体規模によりゾーニングパターンを変える。堤体規模が堤高 $H=15 \sim 20\text{m}$ 程度では、図 - 5 に概念的に示すように、堤体安定に必要な強度も高くなく遮水性を満足しつつ強度も確保できるので水平ゾーニングにし、強度は高さ方向に変える。

また、堤体規模が堤高 $H=20\text{m} \sim$ では、図 - 6 に概念的に示すように、堤体安定に必要な強度が高く、遮水性を満足しつつ強度を確保することは難しくなるので、遮水機能をもつコアゾーンと堤体安定の役目をするシェルゾーンのように傾斜ゾーニングし、既設堤体からシェルゾーンまで強度が急変しないようにする。

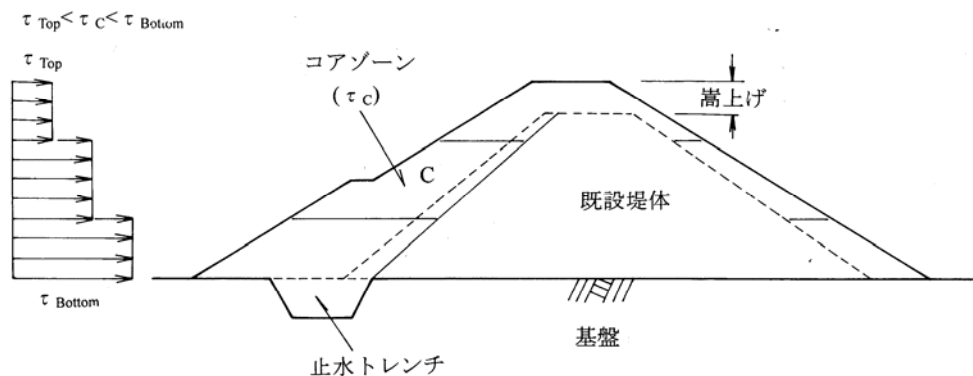


図 - 5 水平ゾーニング($H=15 \sim 20\text{m}$)

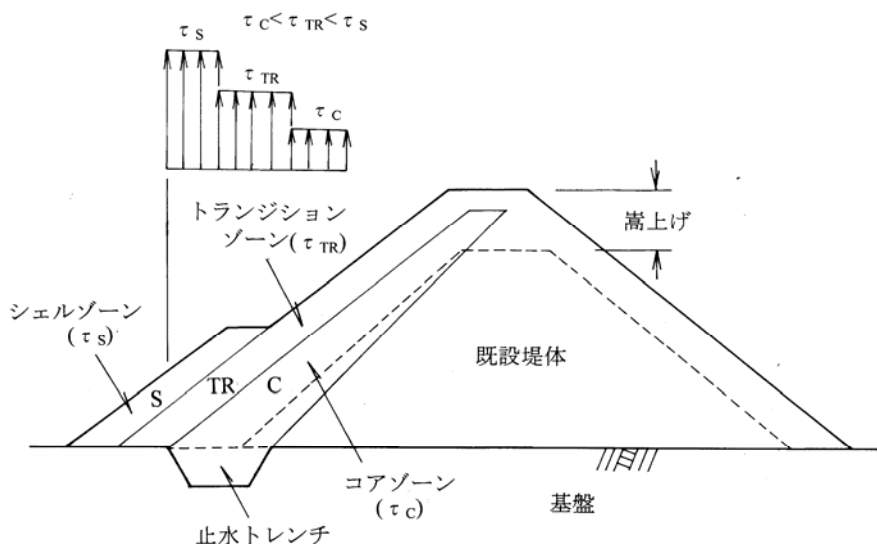


図 - 6 傾斜ゾーニング ($H>20\text{m}$)

3.3 大ダム基準に準拠した堤体設計法の確率（課題）

(1) 固化処理底泥土の応力レベルを考慮した強度パラメータの導入法 個別研究テーマ：(d)

【バイリニア型破壊基準の採用】

固化処理土の強度特性を体系的な三軸圧縮試験を実施して、図 - 7 に概念的に示すような、強度特性に及ぼす応力レベルの影響をうまく考慮できるバイリニア型破壊基準を適用した方法を確立した。

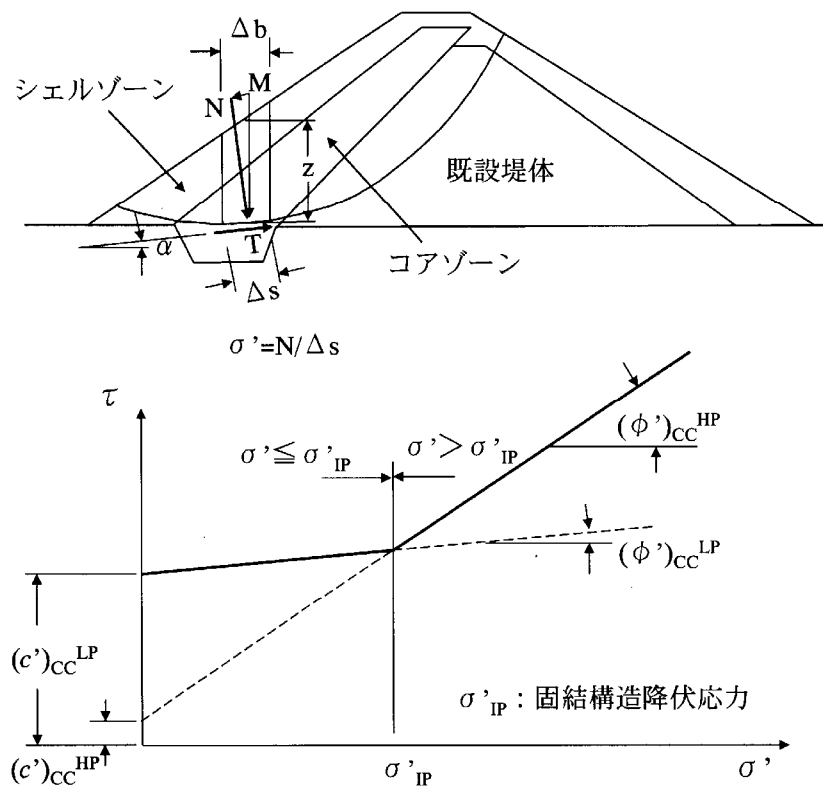


図 - 7 バイリニア型の破壊規準による強度パラメータの導入

(2) 砕・転圧土の強度パラメータの安定計算への適用 個別研究テーマ：(d)

砕・転圧盛土工法はもともと堤高の小さいため池を対象として開発されたため、堤体安定に必要な固化処理底泥土の強度として内部摩擦角 ϕ' を無視して粘着力 c' だけを考慮した強度パラメータを使用していることや、 c' と一軸圧縮強さ q_u の関係を土質力学的根拠にあいまいな

$$c' = q_u / 2 \quad (3)$$

としているなど、フィルダムのような堤高の大きい堤体に適用するには土質力学的に不合理な面があった。そこで、図 - 8 に概念的に示すような、堤体安定に必要な固化処理底泥土の強度として三軸圧縮試験による (c', ϕ') を使用する新しい設計法を提案した。

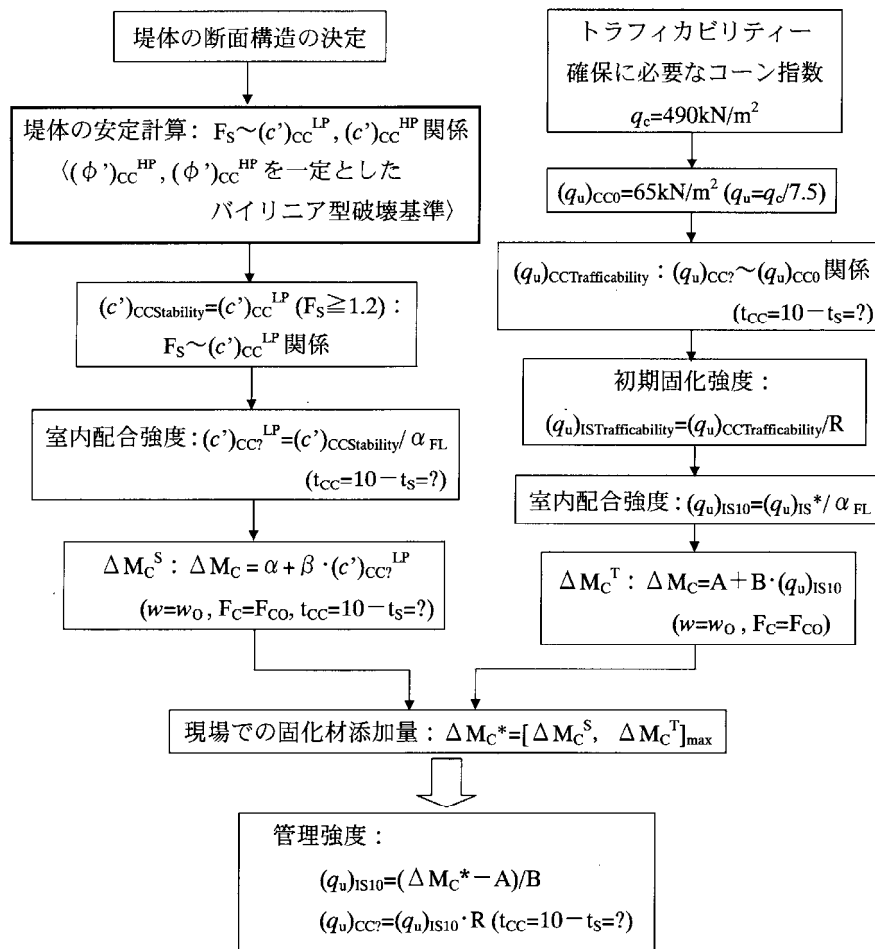


図 - 8 フィルダムにおける設計法

3.4 ダムのような大規模工事に適した施工システムの確立 (課題)

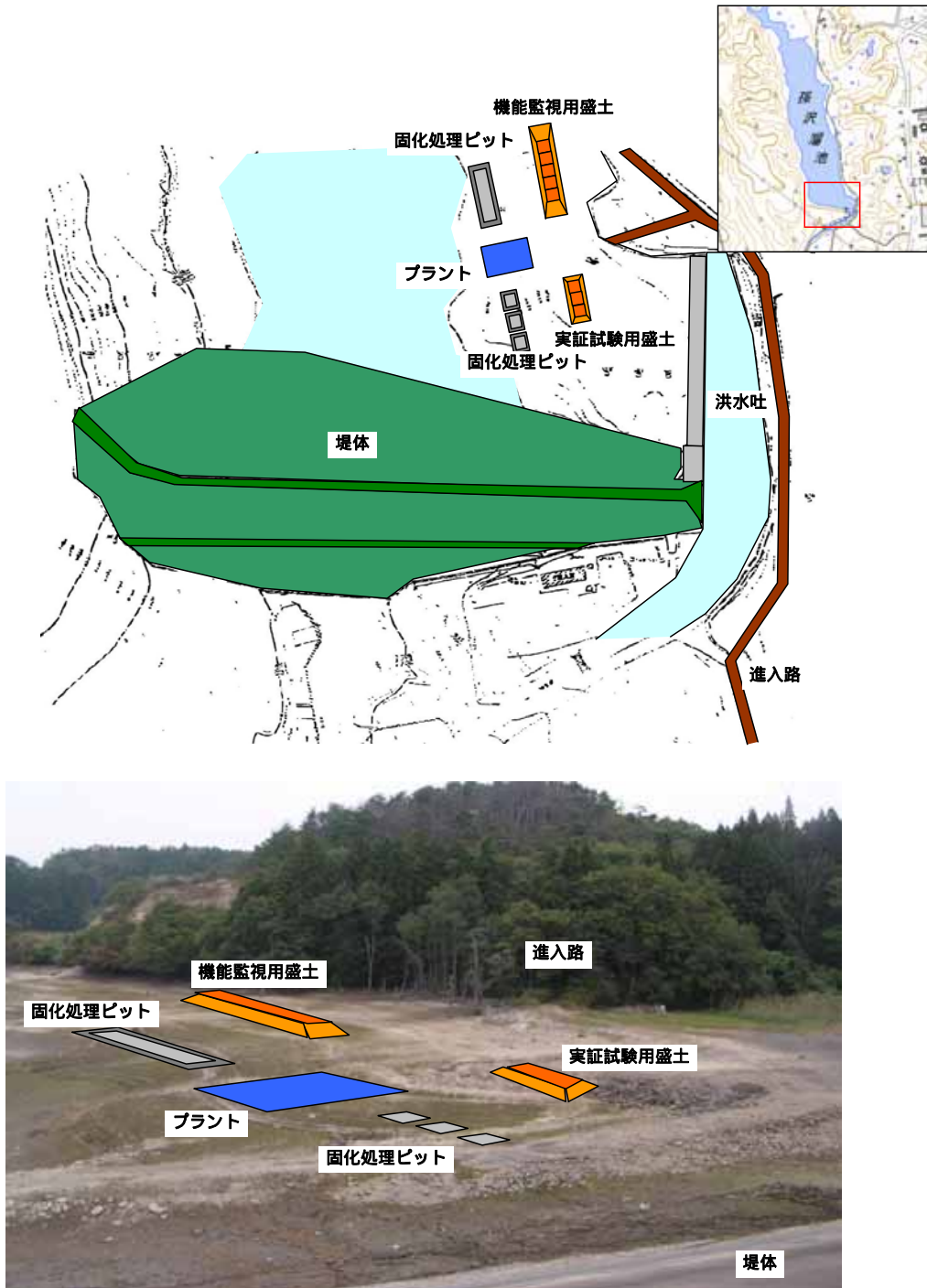
(1) ダムに適した施工システムの確立 個別研究テーマ:(e)

規模に応じた施工効率向上のために、大型機械用の固化処理ピットの区分寸法、深さ、平行長の検討を実施した。これらは、非灌漑期のワンシーズン(10月から翌年3月までの6ヶ月間)に約5万 m^3 の築堤を目指したものである。また、粒度が変化する底泥土の合理的な現場強度管理法を確立した。

これらの成果は「砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修の設計・施工指針、積算指針(案)」にまとめた。

3.5 現場実証試験計画（課題）

池内の堆積位置で粒度が大きく変化する底泥土を固化処理することを想定し、室内試験により確立した含水比と粒度の影響を考慮した強度管理法を実施工レベルで確認するために現場固化試験を実施する。試験場所は宮城県孫沢溜池（鳴瀬川土地改良区）である。



実証試験計画概略図

図 - 9 孫沢ダムにおける実証試験

3.6 現場実証試験の実施

実証試験の目的

砕・転圧盛土工法で、ため池など堤高の低い堤体を改修する場合、粒度分布の影響は考慮する必要がなかったが、底泥土の堆積範囲が広いフィルダムを改修する場合、その影響は大きいと考えられる。

そこで、堆積場所による粒度分布の影響と長期特性の調査のため、孫沢ダムの堆積土を用いた現場実証試験を行い、事業実施計画書の定めた以下の項目についての確認を行う。

【実証試験】

粒度の異なる底泥土の固化処理における強度管理法の確認

施工能力と歩掛の確認

新しい設計法の妥当性の確認

【機能監視】～原位置長期養生における機能評価～

室内試験

現場試験

試験フィールド孫沢溜池の概要

表1 孫沢溜池の概要

名称	孫沢溜池（まごさわためいけ）
左岸所在	宮城県加美郡加美町孫沢
位置	北緯38度36分 東経140度49分
河川	鳴瀬川水系田川
目的/型式	A/アース
堤高/堤頂長/堤体積	16.5m / 202.4m / 68千m ³
流域面積/湛水面積	10Km ² / 15ha
総貯水容量/有効貯水容量	857千m ³ / 753千m ³
ダム事業者	鳴瀬川土地改良区
本体施工者	宮城県直営
着手/竣工	/ 1937



堤体より池全景を望む（落水後）

実証試験の報告

【実証試験の実施期間】

平成 16 年 10 月 30 日 (月) ~ 11 月 9 日 (木)

【実証試験参加者】

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 : 谷 防災研究調査役

太平洋セメント(株) : 酒巻、松山

(株)フジタ : 福島主席コン、北島、森部長、富来、古川、廣田、五ノ井

【実証試験期間中の来訪者】

成瀬川土地改良区 3名



写真左

試験ヤードの全景

写真左下

施工状況 (機能監視用盛土)

写真右下

品質確認試験 (現場透水)



4 . 普及活動

(1) 学会論文発表 (査読論文)

- 1) 谷 茂, 福島伸二, 北島 明: 固化処理底泥土を活用したフィルダム堤体改修方法, ダム工学, Vol.14, No.3, pp.177-188, 2004 .
- 2) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明: 固化処理底泥土からなる築堤土の非排水強度特性, 土木学会論文集, No.799/ -72, pp.13-24, 2005 .
- 3) 北島 明, 谷 茂, 福島伸二, 西本浩司: 固化処理底泥土を用いた老朽化フィルダム堤体の耐震補強に関する事例研究, ダム工学, pp.227-240, 2005.
- 4) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明, 西本浩司: 固化処理底泥土を用いた老朽化フィルダムの堤体補強における設計法の提案, ダム工学, Vol.16, No.1, pp.20-29, 2006.
- 5) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明, 西本浩司: 老朽化フィルダムの堤体改修に使用する固化処理底泥土を含水比と粒度を考慮した強度管理法, ダム工学, Vol.16, No.2, pp.82-93, 2006.
- 6) 谷 茂, 福島伸二: 固化処理底泥土による老朽化ため池堤体改修の新設計法の提案, 農業土木学会論文集, No.,243, pp.25-32, 2006.
- 7) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明, 西本浩司: フィルダムにおける固化処理底泥土を用いた堤体補強法とその設計法に関する事例研究, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.2, pp358-375, 2007.
- 8) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明: 固化処理底泥土の強度の及ぼす粒度・含水比の影響, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.2, pp.376-388. 2007.
- 9) 北島 明, 福島伸二, 谷 茂, 西本浩司: 老朽化フィルダムに堆積した底泥土の固化処理強度に及ぼす粒度の影響に関する調査研究, 土木学会論文集 (投稿中)
- 10) 北島 明, 福島伸二, 谷 茂, 五ノ井 淳, 酒巻克之: 含水比と粒度が変化する底泥土の固化処理字の強度管理法の適用性, 地盤工学ジャーナル (投稿中)
- 11) 福島伸二, 谷 茂: 固化処理底泥土を用いた老朽ため池堤体改修における堤体ゾーニングの事例研究, ダム工学 (投稿中)
- 12) 福島伸二, 谷 茂, 佐々木義浩, 砂糖健作: 菜切谷池堤体改修における砕・転圧盛土工法の設計・施工法, - 固化処理した底泥土による老朽ため池堤体の補強と漏水防止対策 -, 水と土 (投稿中)

[その他の投稿論文]

毎年開催される地盤工学会、農業土木学会、土木学会、ダム工学会の年次研究発表会のうち研究開発期間中 (平成 16 ~ 18 年度) に 10 数編を投稿している。

(2) 特許

築堤土の製造方法及びフィルダムの堤体改修方法 (特願 2006-70131)

(3) 設計・施工指針など

『砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修の設計・施工・積算指針』を作成。なお、ため池版の砕・転圧盛土工法の指針が発行されており、フィルダムの堤体改修にも参考になる。

『(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, - 砕・転圧盛土工法によるため池堤体改修 -, 積算指針 (案), 2006 .』

(4) 表彰など

投稿論文4)『福島伸二, 谷 茂, 北島 明, 西本浩司: 固化処理底泥土を用いた老朽化フィルダムの堤体補強における設計法の提案, ダム工学, Vol.16, No.1, pp.20-29, 2006.』は平成 18 年度ダム工学会論文賞を受賞(受賞式: 5月17日)



5 . 今後の課題

今後の課題として以下の項目があげられる。

本研究では堤体の補強や瀘水防止のような改修規模の小さい場合を想定したものであるが、今後は貯水容量を拡大させるための堤体嵩上げのような改修規模の大きい場合にも対応できるような研究開発が必要である。

砕・転圧盛土工法をフィルダム改修工法として普及させるための活動を積極的に行い、実工事への適用を図る。

作成したフィルダム版砕・転圧土工法の設計・施工指針（案）は、H19～20年に実施する機能監視調査、実際の工事による経験を蓄積させながら改訂を加え、完成版を仕上げる。