

様式 1

研究成果報告書

研究課題名	砕・転圧盛土工法を応用したフィルダム堤体嵩上げ技術の開発
研究開発組合代表者	マルフジエンジニアリング株式会社

1. 研究目的

築造年代の古いフィルダムの多くは老朽化して堤体の耐震補強や貯水容量拡大のための堤体嵩上げが求められている事例が多い。しかしながら、従来のフィルダムの堤体嵩上げ法では所要の強度あるいは遮水性を有する築堤土が大量に必要となり、これをダムサイト近傍で確保するには大規模な土取り場が必要になるなど、経済面だけでなく環境面でも問題となっている。以上のことから、既設フィルダムの経済的かつ効率的な堤体嵩上げ技術の開発が急務となっている。

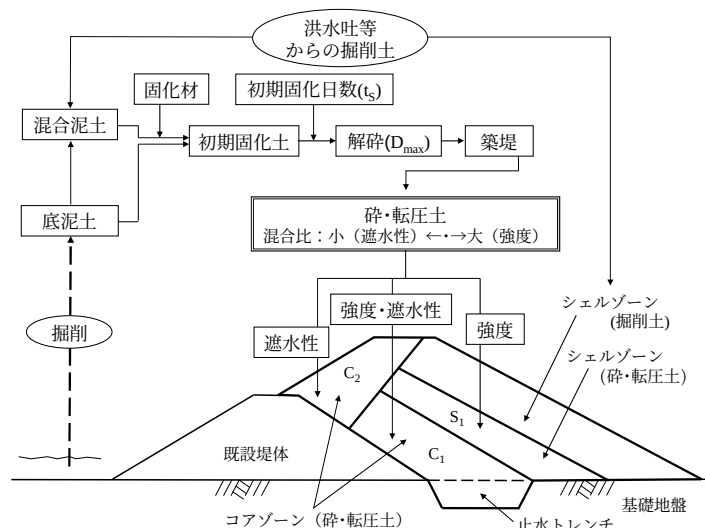


図1 砕・転圧盛土工法による堤体嵩上げの概念図

そこで、本研究課題では、砕・転圧盛土工法*1を応用して、貯水容量の増加を可能とするフィルダムの堤体嵩上げを経済的に、かつ効率的に達成できる技術の研究開発を目指したものである。砕・転圧盛土工法による堤体嵩上げ技術は、**図1**に概念的に示すように池内の底泥土土や掘削土を組み合わせる使用して、外部から調達し難い遮水性に優れたコア材を池内に堆積した底泥土の活用により製造してコアゾーンの築造に主に用い、かつ洪水吐部などからの掘削発生土も組合せてシェルゾーンを築造するものである。

*1 砕・転圧盛土工法は、官民連携新技術研究開発事業により、平成 9～11 年度には「ため池改修工事の効率化」としてため池堤体改修技術、平成 16～18 年度には「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」としてフィルダム堤体改修技術として開発されたもので、これまで 10 件（工事数では 15 件）の施工実績がある。

2. 研究内容

砕・転圧盛土工法による嵩上げ堤体は、強度と遮水性に優れた砕・転圧土の特性を生かして、堤体軸の移動を最小限にするために嵩上げ規模に関係なく腹付け型にして嵩上げのための築堤土量と用地を最小にすることを目指したもので、主に以下の事項を研究内容とする。

- 1) 砕・転圧土による嵩上げ堤体と既設堤体からなる複合構造堤体に適したゾーニングパターンの提案とその設計法を確立する。
- 2) 砕・転圧盛土工法の原料土には池内に堆積した底泥土だけでなく、底泥土に洪水吐移設に伴う掘削や嵩上げ堤体の基礎掘削により発生する掘削土を加えた混合泥土を使用することを想定している。したがって、混合泥土は砕・転圧土に要求される強度や遮水性に応じて混合割合を種々変えるので粒度が大きく変化することから、粒度が大きく変化する混合泥土の固化処理時の強度管理法を確立する。
- 3) 堤体嵩上げのような大規模施工に対応できるような施工システムの確立と施工の効率化を図る。

3. 目標とする成果

3. 1 目標とする成果

- 1) 従来工法による堤体嵩上げの事例を調査し、堤体嵩上げに伴う技術的課題を探る。
- 2) 砕・転圧盛土工法による嵩上げ堤体と、既設堤体からなる複合構造堤体に適し、かつ土工量を少なくできるゾーニングパターンとその設計法を提案する。
- 3) 池内に堆積した底泥土だけでなく、底泥土に嵩上げに伴う掘削土を加えた混合泥土を使用することを想定しているため、粒度が大きく変化する混合泥土の固化処理時の強度管理法を確立する。
- 4) 堤体嵩上げに適した大量・急速施工に対応した低コストかつ効率的な施工機械システムの開発を行う（現行機の2倍程度の施工能力の初期固化機の開発、多機能固化材の適用性）。

3. 2 従来技術との比較

従来技術による堤体嵩上げは嵩上げ堤体の勾配を築堤土の強度に応じて法面勾配を変える必要があり、強度面で優れない築堤土では勾配を緩くして安定性を確保することになり嵩上げに大量の築堤土を必要となる場合が多い。従来技術では、コアゾーンには遮水性に優れた築堤土をダムサイト外に求め、シェルゾーンには強度に優れた築堤土として洪水吐の移設に伴う掘削土などを用い、不足する場合にはダムサイト外に求めることをしていた。しかし、最近では所要の強度や遮水性に優れた築堤土をダムサイト外に必要量確保することが難しくなっており、計画的に嵩上げ事業をすすめるにくくなっている。本研究課題では、強度と遮水性に優れた砕・転圧土の特性を生かして、堤体軸の移動を最小限にするために嵩上げ規模に関係なく腹付け型にして嵩上げのための築堤土量を少なくして用地を最小にすることを目指したものである。

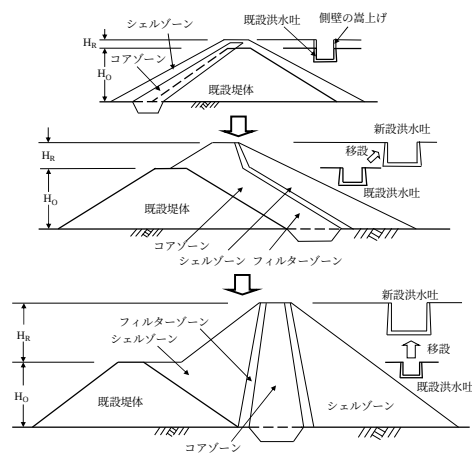


図2 従来技術での嵩上げの関係

4. 研究成果

4. 1 研究成果概要

1) 従来技術による堤体嵩上げでは、築堤土の強度面からの制約から嵩上げ規模により嵩上げ堤体のゾーニングパターンが大きく異なり、嵩上げ規模が大きいほど大量の築堤土を必要とする問題があった（図2）。これに対して、砕・転圧盛土工法による嵩上げ堤体では、強度と遮水性の両方に優れた固化処理した底泥土や混合泥土からなる砕・転圧土を用いることで図3に概念的に示すように嵩上げ規模に関係なく同形式でのゾーニングとして築堤土を大幅に削減できるようにした（おおよそ30%削減）。適用範囲は対象とする既設堤体の堤高Hを30m未満とし、嵩上げ堤体の堤高 H_R をHと同程度までとする（ $H_R < H$ ）。

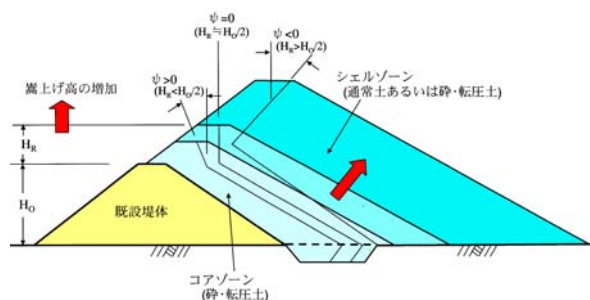


図3 砕・転圧土による嵩上げ

2) 粒度が大きく変化する混合泥土の固化処理時の強度管理法の確立

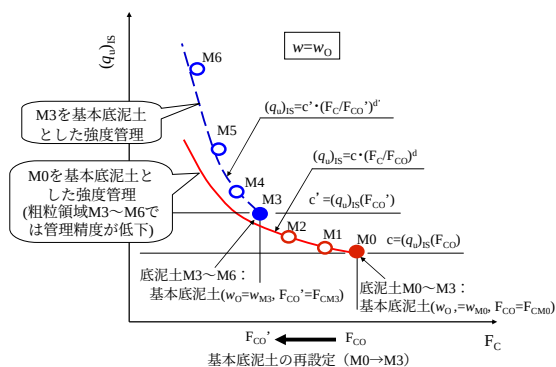


図4 修正細・粗粒分離モデルによる強度管理

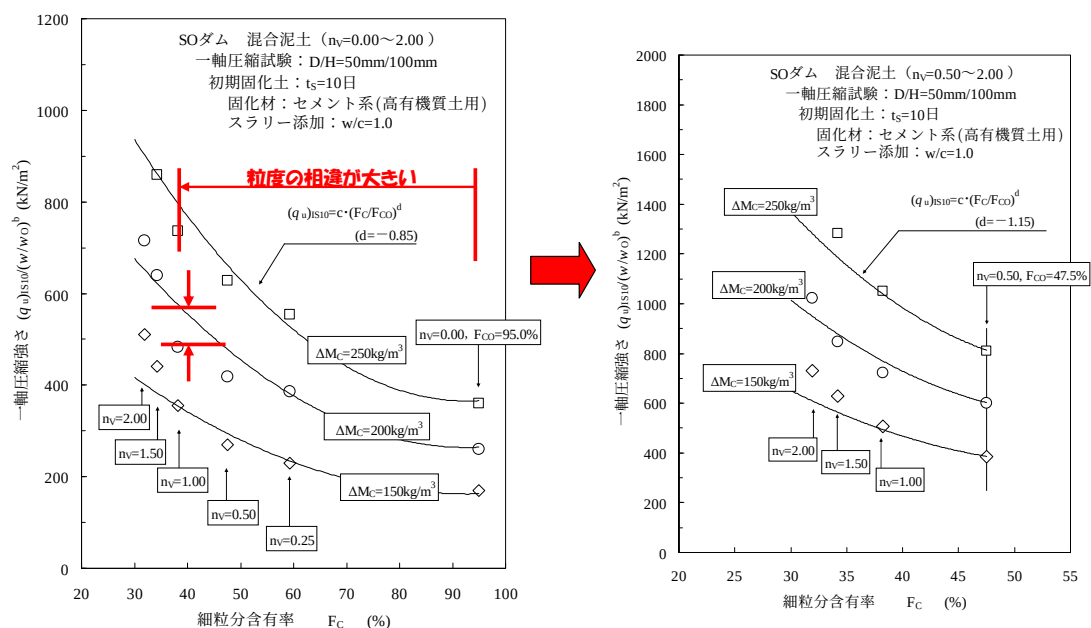


図5 $F_c=95\sim30\%$ の範囲で2段階に適用した細・粗粒分分離モデル



写真1 新型初期固化機

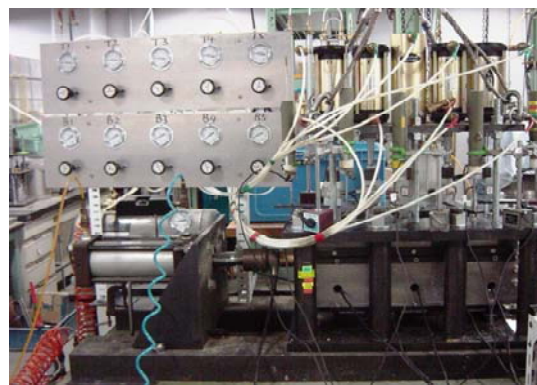


写真2 分割載荷型一面せん断試験機

粒度変動幅が大きい混合泥土の粒度範囲を細粒から粗粒に向かって2～3段階に区分して、各段階で基本底泥土を設定する修正細・粗粒分分離モデル法による強度管理法(図4・図5)の適用性を実証試験により確認した。粒度範囲の区分は基本粒度 F_{CO} に対して $F_c=0.5 \cdot F_{CO}$ を目安とする。

4) 新型初期固化機の開発

堤体嵩上げに適した大量・急速施工に対応した新型初期固化機を開発し(写真1)、実証試験で $500\text{m}^3/\text{日}$ の能力があり、従来機と同等の均一な固化ができることを確認した。

4. 2 実験施設における概要、結果、課題等

1)既設堤体と砕・転圧土と掘削土等による堤体を嵩上げた複合構造堤体は堤体嵩上げに伴う極端な応力・変形集中が現れないので、一様な堤体で採用される円弧すべり面による安定解析法がそのまま適用できることがわかった。

2)砕・転圧土と、既設堤体あるいは掘削土等による新設堤体からなる複合構造堤体のせん断挙動を再現した分割載荷型一面せん断試験機(写真2、図6)を実施して調べた。砕・転圧土と通常締固め土の割合を変えた一連の試験から、複合構造土内のすべり面上で発揮される強度は各土部分で発揮される強度成分の合計の強度となること、すなわち強度特性が異なる

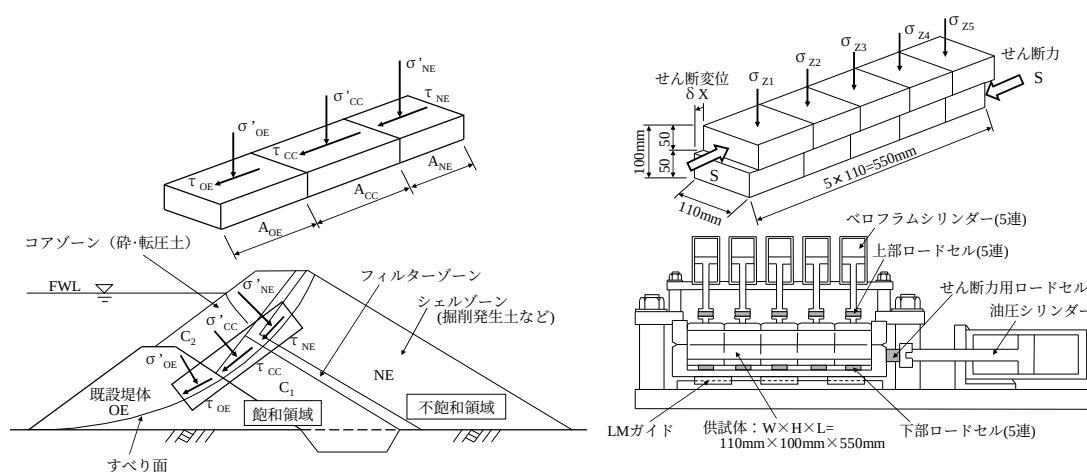


図6 砕・転圧土による堤体嵩上げの再現



図7 大原ダムにおける実証試験

複合構造堤体の円弧すべり面法ではすべり抵抗力としてすべり面上の各土部分で発揮される強度成分をそのまま合算することで評価できることがわかった。

2) 粒度が大きく変化する混合泥土の固化処理時の強度管理法として、細粒域から2～3段階の粒度範囲に分けて各範囲で基本底泥土を設定する修正細・粗粒分分離モデルによる方法を提案した。

4. 3 実証試験工事の概要、結果、課題等

現場実証試験は、滋賀県甲賀市にある大原ダム（堤体改修工事中）の池敷の一部を借用して現場試験を実施し（図7）、以下の結果を得た。

- ① 粒度が大きく変化する混合泥土の固化処理時の強度管理法として提案した修正細・粗粒分分離モデル法の適用性を3種類の粒度の混合泥土も用いた実証試験により確認した。
- ② 大規模施工に対応できる新型初期固化機（固化能力約500m³/日为目标）の固化性能（固化強度の均一性、攪拌速度の影響）を実地に確認し、実用化へ前進させた。
- ③ 多機能型固化材の固化特性は、一般軟弱土用に比較して、同一添加量ベースで約40%以上の強度増加が期待できることを確認した（30%程度の施工性向上に寄与）。

課題として以下の項目がある。①底泥土ベースの混合泥土による砕・転圧土の強度特性に関する実施工でのデータ蓄積が必要である（大原ダム、谷田大池のデータ収集を機能監視期間中に行う予定）。②高強度レベルの砕・転圧土の品質管理法の検討が必要である（大型球体落下試験の検討）。③新型初期固化機の実用化のためには攪拌翼の形状や耐久性に改良が必要なたため攪拌翼の形状や部材の変更が必要である（大原ダム工事で実用化を完了する計画）。

4. 4 普及活動状況等

1) 対外投稿論文（査読論文）

- 1) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明記, 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.
- 2) 谷 茂, 福島伸二: 老朽化フィルダムの堤体改修（補強・漏水防止・嵩上げ）の事例調査, ダム工学, Vol.17, No.1, pp.5-26, 2007.
- 3) 福島伸二, 谷 茂: 老朽化フィルダムの堤体嵩上げ時のゾーニングパターンの事例研究, 水と土, 第153号, pp.26-41, 2008.
- 4) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明, 五ノ井 淳: 固化処理底泥土によるフィルダムの堤体改修における設計法, 農業農村工学会論文集, No.256, pp.33-46, 2008.
- 5) 福島伸二, 谷 茂: 老朽化フィルダムの堤体改修における液状化対策問題, ダム工学（投稿中）.

2) シンポジウム・講習会等

- 1) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明, 西本浩司, 五ノ井 淳: フィルダムにおける固化処理した底泥土を築堤土に利用した堤体改修の設計法, 第54回地盤工学シンポジウム, 地盤工学会, 2009.
- 2) (財)日本ダム協会主催: 第65回ダム施工技術講習会「貯水池の底泥土を活用した堤体補強について, 福島伸二(株式会社フジタ)」, 平成21年7月16日(於: 都市センターホテル5F (14:10~15:30))

3) 今後の普及活動

- ・本技術の適用事例の対外発表等の情報発信を継続する。

5. 今後の課題

- 1) 本研究課題であるフィルダム堤体嵩上げへの砕・転圧盛土工法の適用を目指すとともに、小規模な堤体嵩上げに相当する堤体改修(補強・漏水防止)への適用普及も併せて行う。
- 2) 本研究課題の指針は実際の工事による経験を蓄積させながら、これまでに作成したフィルダム版砕・転圧土工法の設計・施工指針(案)に「堤体嵩上げ編」として追加して完成させる必要がある。

6. 試験研究機関（農工研、大学等）総括者による意見・評価等

項 目	評価結果	備 考
研究計画の効率性・妥当性	A	効率性・妥当性は十分にある
目標の達成度	A	当初の目標を達成している
研究成果の普及可能性	A	着実に普及しつつある
研究成果の出来栄	B	設計・施工方法の詳細についてさらに整備することが望ましい
総合コメント: 全体として着実に成果を上げており、普及が大きく期待される		

注) 評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

7. 研究総括者による自己評価

項 目	評価結果	備 考
研究計画の効率性・妥当性	A	砕・転圧盛土工法の適用拡大として効率性有
目標の達成度	A	重いテーマなので実施可能な課題から達成
研究成果の普及可能性	A	堤体補強の受注と共に普及させる
研究成果の出来栄	B	実績の積重ねにより完成させる
総合コメント: 砕・転圧盛土工法による堤体補強の実績を重ねながら研究を継続・発展させる		

注) 評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。