

# 改良土の高度利用化技術の開発

## — 既設フィルダムの効率的改修：砕・転圧盛土工法 —

（株）フジタ技術センター土木研究部上級主席研究員 北島 明

### 1. はじめに

築造後50年以上経過した農業用フィルダムの多くは老朽化が進み、堤体の安定性不足や漏水等により早急な改修が必要とされている。また、集中豪雨の多発、離農による管理体制の粗放化等により、改修事業は年々増加する傾向にある。しかし、ダム近傍での強度と遮水性を有する良質な築堤土の入手や、貯水量低下や水質悪化の原因となるダム底に堆積した土砂（以下、底泥土と称する）などの除去処分地の確保が困難なため、改修が計画的に進まない状況が多数見受けられる。

こうした背景から、筆者らはため池（堤高が15m以下）を対象に池内に堆積した底泥土を固化処理して築堤土に有効活用できる砕・転圧盛土工法を開発し<sup>1-4)</sup>、数箇所のため池の改修に適用してきた<sup>5-7)</sup>。本工法は堤体改修と底泥土の除去処分を同時に達成できること、所要の強度と遮水性を有する築堤土を人工的に製造できるので急勾配法面での改修ができることなどの利点を有している。前述の改修を必要としているフィルダムは堤高が30m以下の比較的小規模なものが大部分であり、ため池と同じように均一型かあるいはこれに近い堤体構造をしており、ため池で採用される改修法がそのまま適用できるものと考えられる。

### 2. 従来の堤体改修法の問題点

改修を必要とする堤体の状態は、①堤体からの漏水、②堤体のクラックおよび変形、③断面変形による耐震性低下、④堤体の余裕高不足の4つに分けられる。このようなフィルダムを改修する場合、従来では図-1に示すように近傍で入手可能な築堤土により腹付け盛土を行っており、一般的な築堤土が有する強度レベルを想定すると、改修後の堤体断面は既設堤体よりもかなりゆるい勾配にする必

要がある。したがって、改修には新たに大量の築堤土を必要とするだけでなく貯水容量の減少を招いてしまい、加えて下流側に新たな用地が必要になってくる。下流側に新たな用地が確保できない場合には、堤体軸を上流側に大きく移動させることになり、更なる貯水容量の減少や土工量の増加につながる。

一方、改修には所要の強度や遮水性を有する築堤土をダム近傍で入手しなければならないが、最近では土取り場としての林地開発が環境保全上規制されているなど築堤土の入手が困難になりつつある。また、貯水容量の低下の原因となる底泥土や堤体基礎部の掘削時に発生する軟弱

で高含水比の土砂を廃棄するための処分地も確保しなければならない。仮に、このような土取り場や処分地が確保できたとしても、大量の土砂のダンプ運搬が交通障害を引き起こしてしまうなど近隣住民の反対により工事が中断するケースも考えられる。

こうした背景を踏まえると、このようなフィルダムを経済的に改修するためには一般的な築堤土よりも強度的に優れた築堤土を使用して急勾配法面での改修を実施することにより、築堤土量、貯水容量の減少や下流側での用地確保を最小限に抑えることが必要である。

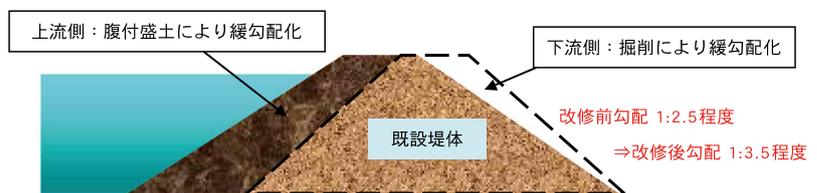


図-1 従来工法による堤体改修の概念図

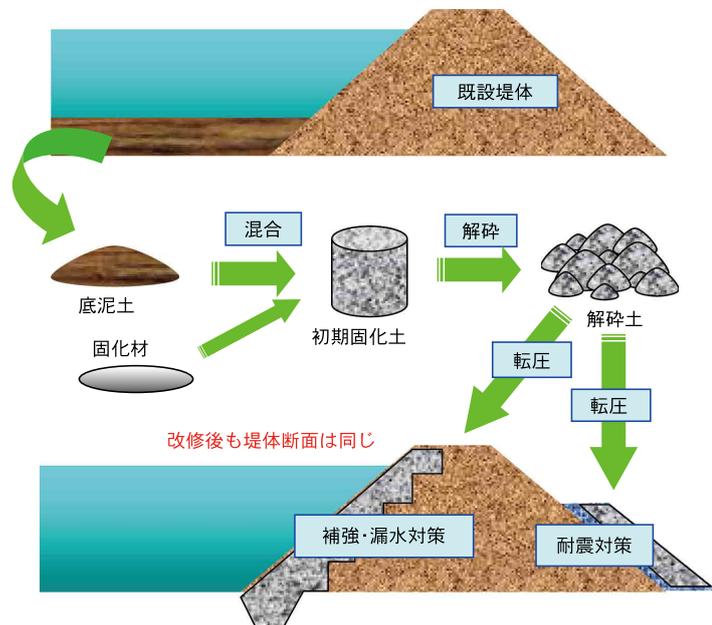


図-2 砕・転圧盛土工法の概念図

### 3. 砕・転圧盛土工法の概要

砕・転圧盛土工法は図-2に概念的に示すように、池内に堆積した底泥土や工事によって発生する軟弱で高含水比の土砂にセメント系固化材を加えて堤体安定に必要な強度と貯水に必要な遮水性を持つ築堤土を人工的に製造して、堤体補強や漏水防止のための傾斜遮水ゾーンや貯水容量の拡大のための嵩上げ盛土を行うものである。その築堤土は底泥土や底泥土に場内で発生した土砂を混合した混合泥土に固化材を加えて一定期間だけ固化させた固化処理土を、ある規定の最大粒径で解砕してから一般的な築堤土と同様に一定の層厚で撒出し・敷均してから転圧するものである。本工法では底泥土や混合泥土に固化材を加えて単に固化させた状態のものを初期固化土、初期固化土を一定期間の養生後に掘削して砕いた状態のものを解砕土、解砕土を転圧したものを砕・転圧土と称する。

単に底泥土に固化材を混合しただけの改良土（ここでいう初期固化土）は、固化材添加量の加減により強度は容易に制御できるが、一般的な築堤土に比較して韌性に乏しくクラックが生じやすいため、

堤体などの重要土構造物には使用できなかった。一方、砕・転圧土は大粒径材料から小粒径材料までが適度に混在した解砕土を転圧して築造するので、一般的な築堤土に近い粒度組成を示す。よって、クラックが生じにくく既設堤体とも密着性が良いので築堤土として使用できるものである。図-3に同一配合・養生期間の初期固化土と砕・転圧土、および一般的な築堤土の三軸圧縮試験による応力～ひずみ曲線の概念図を示すが、初期固化土の強度は小さいひずみで最大値に達した後にクラックが生じて低下するが、砕・転圧土では一般的な築堤土に近い挙動を示し、クラックは生じないことがわかる。

### 4. 大原ダム堤体改修工事の概要

大原ダムはダム便覧<sup>8)</sup>によると灌漑用として1953年に築造された中央コア型フィルダムで、築造後50年以上が経過しており堤体の小段から下層部が侵食により断面不足になっていること、堤頂部付近からの局所的な漏水により浸潤面が高くなっていること、さらに堤体上流側のランダムゾーンにおいて液状化の可能

性があり地震時の安定性が確保されていないことから耐震補強を行うことになった。しかしながら、大原ダム近傍で確保可能な築堤土では現実的な法面勾配で耐震補強を行うことが難しいことや、工事によって発生する既設堤体からの掘削土やダム湖内に堆積した底泥土の処分地が確保できないなどの理由から、底泥土と掘削土を有効利用できる砕・転圧盛土工法を採用することになった。

大原ダムの改修計画では、既設堤体や基礎地盤の掘削による発生土が約43,000m<sup>3</sup>と見込まれており、この掘削発生土は高含水比で軟弱なため場外搬出をしても有効利用は困難と予想されていた。一方で堤体補強のための築堤土量は約64,000m<sup>3</sup>と計画されており、不足分約21,000m<sup>3</sup>を底泥土で補った混合泥土を用いた砕・転圧盛土工法を採用することにより、掘削発生土の全量を有効利用するように計画した。このような工夫をすることで、掘削土の場外処分をなくすだけでなく、底泥土の含水比を低下させることで固化材量の節約ができることなど、環境面だけでなく経済面にもメリットが生まれた。

### 5. 大原ダム堤体の耐震補強設計

大原ダムの堤体改修計画では図-4に示すように貯水量が減少しないようにするため堤体標準断面を改修前と同様とし、堤体補強のためのランダムゾーンⅠ・Ⅱを砕・転圧土により既設堤体に腹付け盛土として築造し、漏水のあった堤頂部の5mと、コアゾーンだけをさらに3m掘削除去して、砕・転圧土によりランダムゾーンⅡの一部とコアゾーンⅢとして再築造することにした。

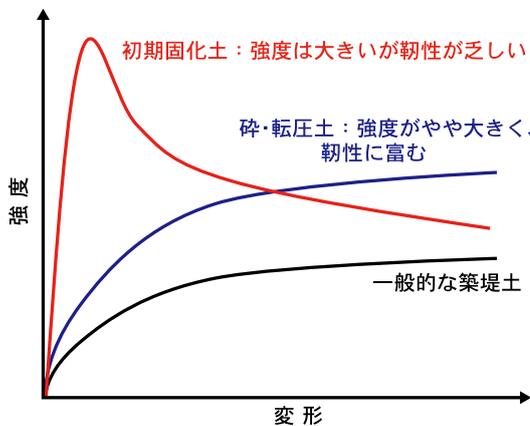


図-3 一般的な築堤土、初期固化土、砕転圧土の変形～強度関係

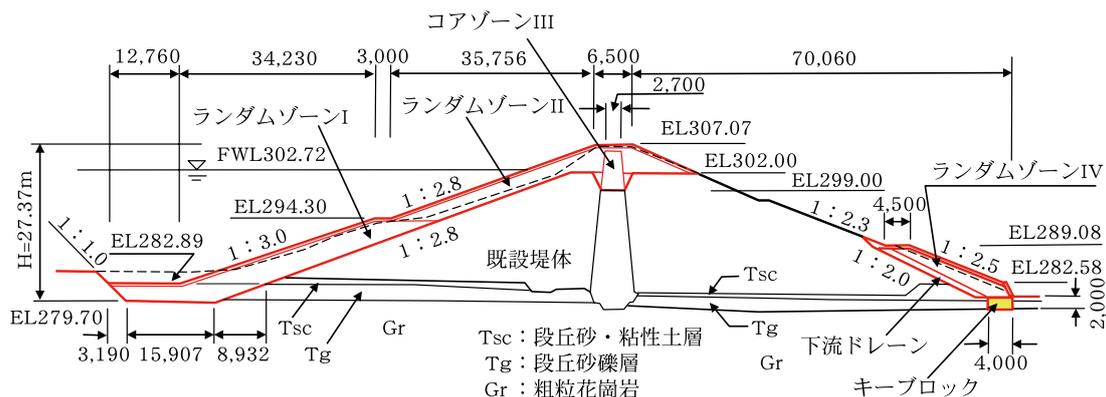


図-4 大原ダム改修計画の標準断面

堤体上流側のランダムゾーンは小段面を境に砕・転圧土の強度レベルを変え、堤体の安定性評価時の仮想すべり面が通過する下層の砕・転圧土（ゾーンⅠ）の目標強度を粘着力 $c = 150\text{kN/m}^2$ に、堤体の安定性に影響を及ぼさない上層（ゾーンⅡ）の目標強度を砕・転圧土の施工上必要な最低強度レベルの $c = 55\text{kN/m}^2$ に設定した。

堤体下流側は、法先部にせん断抵抗を付加させて堤体の安定性を確保するために砕・転圧土によるランダムゾーンⅣを押し盛土として築造し、さらに浸潤面を低下させるために既設堤体部との間にフィルターを配置した。ランダムゾーンⅣを含む堤体下流側の安定計算によると局所的なすべり面が生じ、地震時の安全率が基準値を確保できなかったため、基礎にセメント改良したキープロックを設けて、全体的なすべり面に変えることにより基準値を確保した。

## 6. 工事の手順

### (1) 仮設・準備工事

仮設工事は、先ず右岸側からダム湖内に連絡する管理用道路を築造した後、工

事用道路や初期固化ピットヤードの造成、プラントヤードの整地とプラント設置を行った。初期固化ピットは混合泥土に正確な固化材スラリー量を添加し効率的な攪拌・混合するために造成するもので、1日当たりの施工量に合わせて奥行き $5.5\text{m} \times$ 長さ $30\text{m} \times$ 深さ $2.3\text{m}$ を基本としている。写真-1に設置したスラリープラントの状況を示す。

### (2) 砕・転圧盛土工法の施工工程

#### ①初期固化工程

初期固化工程は混合泥土の準備、混合泥土を目標強度に改良するために必要な固化材添加量の算定、攪拌・混合機により固化材スラリーを添加・混合して初期固化させる工程である。

混合泥土は固化ピット内に底泥土、掘削土の順で所定の層厚比になるようにそれぞれを投入して準備した。混合泥土の含水比は施工時期や採取位置によって変化し、初期固化土の強度に大きな影響を及ぼす。そこで、目標強度を満たす初期固化土の含水比と固化材添加量の関係を事前配合試験から求めておき、含水比が変化しても固化材添加量を加減すること

により、常に目標強度を満足する初期固化土を作製した。写真-2に新たに開発した攪拌混合機による初期固化工程の状況を示す。

#### ②解砕工程

解砕工程は初期固化ピット内で所定の養生期間固化させた初期固化土をバケット式解砕機により解砕しながら不整地運搬車に積込みを行うものである。

写真-3に初期固化土のバケット式解砕機による掘削・解砕・積込み状況を示す。

#### ③築堤工程

築堤工程は運搬されてきた解砕土をバックホウで一層毎に撒出し、ブルドーザで一定層厚に敷均しをしてから、写真-4に示すように、振動ローラにより規定の回数を転圧して砕・転圧土ゾーンⅠ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅳを築堤する工程である。転圧回数は試験施工を実施して目標とする強度と遮水性を満足する回数として決定した。なお、法面表層部は、植栽や砕・転圧土の乾・湿繰返しによる劣化や高アルカリ水溶出の防止のために、既設堤体の掘削土で覆っている。



写真-1 スラリープラントの全景



写真-2 攪拌混合機 (DAM機) による初期固化工程



写真-3 バケット式解砕機による解砕工程



写真-4 振動ローラによる築堤工程



写真－５ 改修を終えた大原ダム全景

### (3) 施工中の品質管理試験

砕・転圧盛土工法では現地調達する底泥土や掘削土を原料とするため、その含水比や粒度は調達場所や時期により異なる。このような材料を使って良質で均一な築堤土を製造するため、施工中の品質管理に関しては従来工法よりも頻度や要求性能が高い。砕・転圧盛土工法の品質管理試験は、目標とする強度と遮水性を満足していることを確認するために実施し、毎日実施する日常品質管理試験と一定築堤土量毎（約1,500m<sup>3</sup>あるいは約5,000m<sup>3</sup>）に実施する定期品質管理試験からなっている。

#### ① 日常品質管理試験（毎日実施）

##### 1) 強度管理

砕・転圧盛土地盤の一軸圧縮強さを推定するための球体落下試験により実施する。

鉄球を所定の高さから築堤面に自由落下させた際にできる凹みの直径と一軸圧縮強さの関係を予め求めておき、「球体を落下させて直径を測る」という、より簡易な試験から地盤の強度を推定する管理試験。

##### 2) 遮水性管理

砕・転圧盛土地盤の遮水性を間接的に確認するための密度試験により実施する。

要求される遮水性を満足する地盤密度のしきい値を予め求めておき、「コア・カッター（鋼製のパイプ）を転圧直後の砕・転圧盛土地盤に打ち込み採取した試料（以下、不攪乱供試体と称する）の重さを量る」という、より簡易な試験から地盤の遮水性を確認する試験。

#### ② 定期品質管理試験（一定築堤土量毎に実施）

##### 1) 強度管理

砕・転圧盛土地盤の強度を直接確認するための不攪乱供試体による一軸圧縮試験（1,500m<sup>3</sup>毎）と三軸圧縮試験（5,000m<sup>3</sup>毎）により実施する。

一軸圧縮試験：砕・転圧土の不攪乱供試体を所定の期間養生し、一軸圧縮試験を実施する。球体落下試験による推定値が妥当であるか、定期的に検証するための試験。

三軸圧縮試験：砕・転圧土の不攪乱供試体を所定の期間養生し、三軸圧縮試験を実施する。堤体の安定性を評価するための強度パラメータ（ $c'$ 、 $\phi'$ ）を直接確認するための試験。

##### 2) 遮水性管理

砕・転圧盛土地盤の遮水性を直接確認するため、1,500m<sup>3</sup>築堤毎に現場透水試験（立坑法）と不攪乱供試体による三軸透水試験により実施する。

現場透水試験：転圧直後の砕・転圧盛土地盤面に直径/深さ $\approx$ 100mm/200mmの孔を掘り、孔内を水で満たして一定時間にその水が地盤内に浸透していく量を測定することにより、地盤の透水係数を直接測定する試験。

三軸透水試験：砕・転圧土の不攪乱供試体について、三軸セル内で側圧を付加した状態で透水係数を測定する試験。土被りに応じて透水係数が低くなる地盤の透水特性を再現できる試験。

## 7. おわりに

砕・転圧盛土工法は農林水産省官民連携新技術研究開発事業の共同研究により、老朽化したため池やフィルダムの効率的な堤体改修を目指して開発されたもので、池内の底泥土を固化改良して築堤土として有効活用することにより、底泥土の除去処分と堤体改修を両立させたものである。砕・転圧盛土工法は底泥土を固化処理して遮水性を確保しつつ所要の強度を有する築堤土を人工的に製造できることから急勾配法面での堤体改修が可能で、貯水容量の減少もないなど経済的な改修が期待できる。

大原ダムの砕・転圧盛土工法では、池内の底泥土に既設堤体やコアトレンチ等からの掘削発生土を加えて混合泥土として使用したことにより、底泥土の除去処分だけでなく、工事に伴う掘削発生土の場外処分を無くしたことで経済面だけでなく環境面でも優れた効果が得られた。

#### 【参考文献】

- 1) 福島伸二、石黒和男、北島 明、池田康博、酒巻克之、谷 茂：固化処理したため池底泥土の盛土材への適用性の研究、土木学会論文集、No. 666/Ⅲ-53, pp.99-116, 2000.
- 2) 福島伸二、石黒和男、北島 明、谷 茂、池田康博、酒巻克之：固化処理したため池底泥土の堤体盛土材への適用性確認のための現場実証試験、土木学会論文集、No. 680/Ⅲ-55, pp.269-284, 2001.
- 3) 福島伸二、北島 明、谷 茂、石黒和男：固化処理した底泥土を砕・転圧した築堤土の目標強度設定・配合試験法と施工管理法の提案、土木学会論文集、No. 715/Ⅲ-60, pp.165-178, 2002.
- 4) 谷 茂、福島伸二、北島 明、酒巻克之：砕・転圧盛土工法設計・施工法について、農業工学研究所技報、第202号、pp.141-182, 2004.
- 5) 福島伸二、北島 明、谷 茂、石黒和男：固化処理した底泥土により築造した均一型堤体盛土の強度・遮水性特性、土木学会論文集、No. 750/Ⅲ-65, pp.205-221, 2003.
- 6) 福島伸二、北島 明、谷 茂、石黒和男：固化処理底泥土により築造した傾斜遮水ゾーンによる老朽ため池堤体の漏水対策事例、土木学会論文集、No. 764/Ⅲ-67, pp.341-357, 2004.
- 7) 福島伸二、谷 茂、北島 明：固化処理底泥土を用いた急勾配・高堤体ため池の補強法の事例研究、土木学会論文集、No. 771/Ⅲ-68, pp.289-308, 2004.
- 8) (一) 日本ダム協会ホームページ：ダム便覧2004、<http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html>