

# 固化処理底泥土を用いた老朽化ため池の堤体改修法とその適用事例

福島伸二・谷 茂・北島 明

筆者らは、老朽化ため池を対象に池内に堆積した底泥土の除去処分と堤体改修を同時に行うために、底泥土を固化処理して築堤土として有効活用できる砕・転圧盛土工法を開発してきた。ここでは、この工法における目標強度の設定法、これを現場で達成するための固化材添加量の決定法と、施工手順の概要を説明するとともに、この工法を適用したため池の改修事例を報告する。

キーワード：老朽化ため池、底泥土、固化処理、築堤土、堤体補強、漏水防止

## 1. はじめに

ため池は築造年代が古く、堤体が老朽化による断面不足や漏水等により早急な改修が必要なものが多いが、最近では池近傍で改修に必要な遮水性や強度に適した築堤土が入手しにくく、計画的な改修が難しい状況にある。一方、ため池内には貯水容量低下や水質悪化の原因になる底泥土が厚く堆積してその除去処分が必要とされているが、その土捨て場が最近なくなってきた。

そこで、筆者らは、底泥土を土捨て処分することなく、セメント系固化材により固化処理して築堤土として有効活用できる砕・転圧盛土工法を開発してきた<sup>1),2),3)</sup>。この工法は築堤土のための土取り場や掘削発生土の土捨て場が不要で、自然破壊や土砂搬出入に伴う交通問題がないなど、環境面で優れている。ここではこの工法の設計・施工法の概要と、これを適用したため池の改修事例を紹介するものである。

## 2. 砕・転圧盛土工法の設計・施工法

### (1) 工法の概要

砕・転圧盛土工法は、図-1に概念的に示すように、池内の底泥土を所要の強度と遮水性をもつようにセメント系固化材により一定期間  $t_s$  だけ固化させた初期固化土を規定の最大粒径  $D_{max}$  で解砕し、さらに通常の築堤土と同様に一定の層厚で撤出して築堤土を製造し、敷均してから転圧して（これを砕・転圧土という）、堤体補強や漏水防止のための築堤を行うものである。

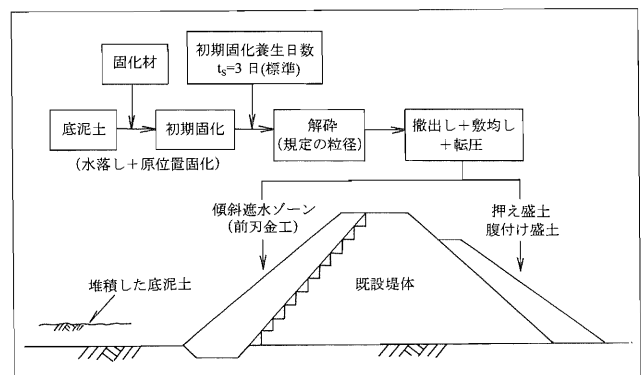


図-1 砕・転圧盛土工法の概念図

砕・転圧土の養生期間は初期固化期間  $t_s$  と解砕・転圧後の期間  $t_{CC}$  を合わせた  $t = t_s + t_{CC}$  になるが、 $t_s$  は解砕・転圧後の再固化強度に、また  $D_{max}$  は遮水性と強度の両方に影響する。

このため、砕・転圧土により所要の強度と遮水性を有する堤体を築造するには、 $t_s$  や  $D_{max}$  の管理が必要であり、この点が一般の土質改良工と異なる点である。

従来、単に固化しただけの底泥土（ここでいう初期固化土）は、強度を固化材添加量  $\Delta W_c$  の加減により容易に確保できるが、通常の築堤土と比較して破壊ひずみが小さく既設堤体との間に極端な剛性差が生じるため堤体には使用できなかった。本工法では、この問題を初期固化させた底泥土を解砕・転圧して築堤すると通常の築堤土に近いひずみ硬化型の応力-ひずみ特性になる性質を利用して既設堤体との密着性（なじみ）を良くしたものである。

例えば、同一配合での  $t = t_s = 10$  日目の初期固化土と、 $t = t_s + t_{CC} = 3 + 7 = 10$  日目の砕・転圧土の圧密・非排水三軸圧縮試験による応力-ひずみ曲線の比較を

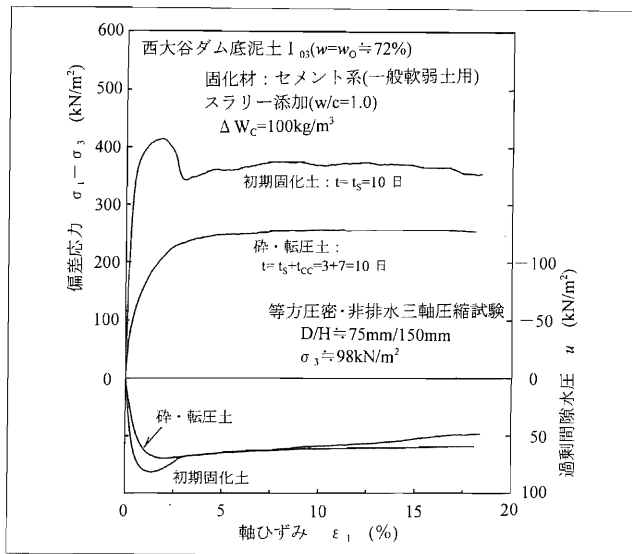


図-2 初期固化土と砕・転圧土の応力-ひずみ曲線の比較

図-2に示すが、初期固化土の応力は小さいひずみで最大値に達した後に低下し、ひずみ軟化型のクラックが生じやすい性質を示すが、砕・転圧土ではこれがなく通常の築堤土に近いひずみ硬化型になっている。

次に、図-3には初期固化土の一軸圧縮強さ  $(q_u)_{is}-t(=t_s)$  関係と、 $t_s=1, 3, 5, 7$  日の砕・転圧土の一軸圧縮強さ  $(q_u)_{cc}-t(=t_s+t_{cc})$  関係の比較例を示す。

図中の左半分黒塗りの記号は初期固化土を解砕・転圧した直後  $t_{cc}=0$  日の強度  $(q_u)_{cc0}$  であり、これは築堤面上の施工機械のトラフィカビリティーに関係し、短い  $t_s$  ほど低くなる。

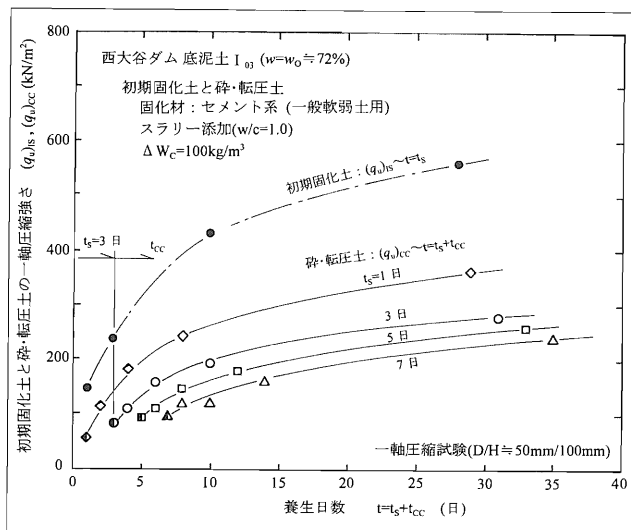


図-3 砕・転圧土の強度に及ぼす初期固化日数の影響

この図から、砕・転圧土は解砕・転圧後でも再固化するが、強度は初期固化状態よりも低く、かつ  $t_s$  により影響を受け、短い  $t_s$  ほど高い値を示すことがわかる。このため、砕・転圧土により所定の強度を有する堤体を築造するには適切な  $t_s$  を選択しなければなら

らない。短い  $t_s$  では解砕・転圧による強度低下が少なく固化効率は良いが、 $(q_u)_{cc0}$  が低くトラフィカビリティーが不足し施工性に問題がある。一方、長い  $t_s$  では  $(q_u)_{cc0}$  が高く施工性は良いが、砕・転圧による強度低下が著しく、強度確保のためにより多くの  $\Delta W_c$  を必要とし固化効率が悪い。そこで、施工性や固化効率を考え、強度低下傾向が鈍くなり、かつある程度のトラフィカビリティーが期待できる  $t_s=3$  日を標準としている。

(2) 目標強度の設定と固化材添加量の決定

初期固化土あるいは砕・転圧土の強度は一般の土質改良工での取扱い<sup>4)</sup> になって一軸圧縮強さ  $q_u$  で表示し、強度パラメータは内部摩擦角  $\phi$  を無視して、粘着力  $c$  だけを考慮し、 $q_u$  との関係を

$$c = q_u / 2 \tag{1}$$

とおく。

一般にセメント系固化材により固化処理した底泥土の強度は養生日数  $t$  とともに発現するが、その傾向は  $t=10$  日以降急に低下する<sup>1)</sup>。そこで、目標強度  $(q_u)_{cc}^*$  は強度発現が急減する  $t=10$  日目、つまり初期固化土では固化材の添加後  $t=t_s=10$  日目の強度  $(q_u)_{is}^*=(q_u)_{is10}$ 、砕・転圧土では  $t_s$  を標準の3日とすれば、砕・転圧後  $t_{cc}=7$  日目の強度  $(q_u)_{cc7}^*=(q_u)_{cc7}$  ( $t=t_s+t_{cc}=3+7=10$  日) により設定する<sup>3)</sup>。

$(q_u)_{cc}^*$  は、安定計算により求まる堤体全体が所定の安全率を満足して安定するのに必要な砕・転圧土部の粘着力  $c_{Stability}$  を変換した  $(q_u)_{ccStability}(=2c_{Stability})$  と、築堤時に施工機械のトラフィカビリティーに必要な強度に関連した  $(q_u)_{ccTrafficability}$  と比較して大きい方を採用する。

堤高  $H=10$  m 未満の堤体では、 $(q_u)_{ccStability}$  が  $(q_u)_{ccTrafficability}$  より小さく  $(q_u)_{cc}^*=(q_u)_{ccTrafficability}$  となることが多く、これは以下のように求められる。

砕・転圧土の築堤時における施工機械のトラフィカビリティーに必要な強度は、解砕した初期固化土を転圧する時の強度、すなわち  $t_{cc}=0$  日目の強度  $(q_u)_{cc0}$  である。 $(q_u)_{cc0}$  はため池の堤体基礎地盤で要求される機械施工が可能な支持力(コーン指数  $q_c=490$  kN/m<sup>2</sup> が目安)<sup>5)</sup> を満足しなければならないとすると、 $q_u-q_c$  変換式 ( $q_u=q_c/7.5$ )<sup>3)</sup> より  $(q_u)_{cc0}=65$  kN/m<sup>2</sup> となる。

したがって、 $(q_u)_{cc}^*$  は築堤時の  $(q_u)_{cc0}$  から再固化が進み  $(q_u)_{cc}^*$  の設定日である  $t_{cc}=7$  日目までに発揮される  $(q_u)_{cc7}$  となるので、配合試験による  $(q_u)_{cc7}-(q_u)_{cc0}$  関係から決定される。

$(q_u)_{CC}^*$  は初期固化状態での強度  $(q_u)_{IS}^*$  で表示すると、配合試験から求まる初期固化土を砕・転圧したことによる強度低下比  $R_3$  (標準の  $t_s=3$  日での  $R$  の値)<sup>3)</sup> より

$$(q_u)_{IS}^* = (q_u)_{CC}^* / R_3 \quad (2)$$

となる。

現場での  $\Delta W_C$  は、この  $(q_u)_{IS}^*$  に現場/室内強度比  $\alpha_{FL}=1/1.5$  (トレンチャー式攪拌混合機でスラリー添加を行った場合の実績<sup>2)</sup>) を考慮した室内配合強度  $(q_u)_{IS}^* / \alpha_{FL}$  に対して決める。配合試験は底泥土の実施工で想定される含水比  $w=w_0$  を基準に実施するが、底泥土の  $w$  は堆積場所などで一定ではない。このため、実施工での  $\Delta W_C$  は底泥土の固化前含水比  $w$  を測定し、 $w_0$  との差に応じて  $w=w_0$  における値を加減しなければならない。

### (3) 施工手順

本工法の施工手順は、底泥土の初期固化、初期固化土の解砕、解砕土の築堤の各工程からなる。

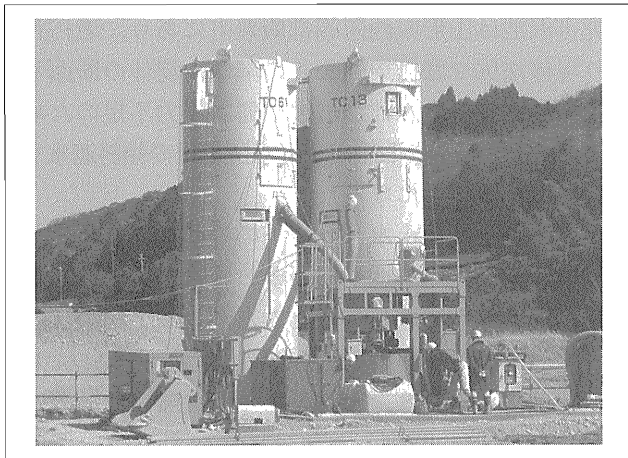
初期固化工程は固化材を写真—1 に示すスラリーブ

ラントにより水、固化材比  $w/c=1.0$  のスラリーにして、底泥土に添加、混合して一定期間固化させるものであるが、これは深さ方向に均一に混合できる写真—2 に示すようなトレンチャー型攪拌混合機などを使用する。

解砕工程は一定期間  $t_s$  だけ養生した初期固化土を



写真—3 押土板を装着したスケルトンバケット



写真—1 スラリープラント



写真—4 バケット式解砕機による解砕状況

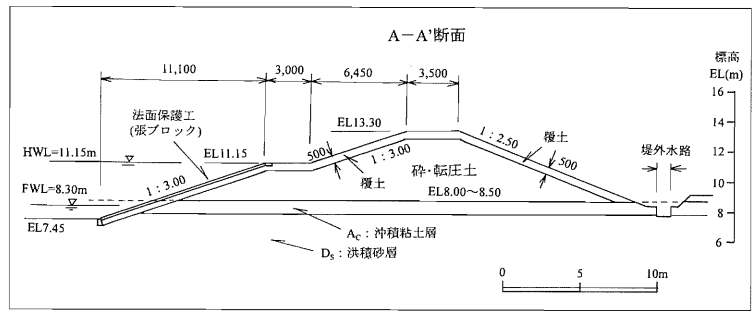


写真—2 トレンチャーによる初期固化状況



写真—5 振動ローラによる転圧状況

規定の  $D_{max}$  で解砕するもので、写真—3 に示すような最大力約 200 kN の押土板を装着したスケルトンバケット（ベースマシンは 0.7 m<sup>3</sup> 級バックホウ）により掘削した初期固化土を、写真—4 に示すように押土プレートでスケルトンから押出して解砕と積込みを行うものである。この時の  $D_{max}$  はスケルトンの格子間隔を変えて制御する。



図—4 寺家池堤体の改修後の標準断面

築堤工程は、解砕土を粗粒から細粒子までの解砕土粒子が均一に混合されるようにバックホウで撒出し、ブルドーザで一定層厚に敷均してから写真—5 に示すような振動ローラ等により転圧するものである。なお、法面表層部には、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、法面垂直方向に既設堤体からの掘削土を用いて層厚 30~50 cm で覆うものとする。

### 3. 適用事例

本章では砕・転圧盛土工法を適用して改修した老朽ため池堤体の事例を 4 件紹介する。表—1 にそれらの堤体諸元をまとめて示す。

表—1 砕・転圧盛土工法を適用した事例の堤体仕様

堤体仕様	寺家池	虎吉沢池	皿池	北谷池	
堤体型式	均一型	傾斜ゾーン型	傾斜ゾーン型	傾斜ゾーン型	
堤高 (m)	5.3/4.5	8.4/7.0	10.6/9.4	14.0/12.0	
堤長 (m)	400/90	70/65.5	120/112	116/116	
堤体積 (万 m <sup>3</sup> )	3.30/0.70	1.38/1.37	2.29/1.30	3.60/2.55	
貯水量 (万 m <sup>3</sup> )	14.0/2.0	0.31/0.31	1.29/1.29	15.0/15.0	
砕・転圧土築堤量 (万 m <sup>3</sup> )	3.2	0.4	0.9	1.5	
法面勾配	上流側	3.0/約 2.0	2.0/1.5	2.1/2.0	2.1/平均 1.6
	下流側	2.5/約 1.8	2.0/1.8	2.1/1.8	

(注意：14.0/12.0 などは改修後/改修前の値であることを示す)

#### (1) 寺家池の池拡張工事

寺家池は三重県鈴鹿市にあり、貯水量を灌漑用約 20,000 m<sup>3</sup> に洪水調節用 120,000 m<sup>3</sup> を付加するために旧池周辺を掘削拡張（掘削土量は約 110,000 m<sup>3</sup>）し、主堤体を旧堤体より約 30 m 下流に移し皿池状の堤体を新規に築造したものである。

改修後の堤体は標準断面を図—4 に示すが、基礎地盤に軟弱箇所があることや、掘削土を場内で使用して場外処分量を少なくするために均一型とした。この池では、旧池内の底泥土の処分地がないこと、遮水性に優れた築堤土を入手

できなかったことから本工法を採用した。

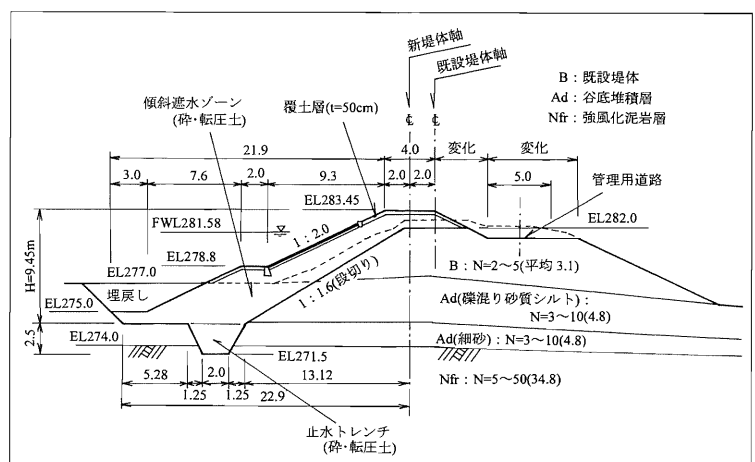
本工法は底泥土のみを固化処理して築堤土とすることを基本としているが、この池の底泥土が約 10,000 m<sup>3</sup> で全築堤土量の約 32,000 m<sup>3</sup> に不足したので、これに掘削土を加えて混合泥土として利用した。底泥土と掘削土の混合割合は均一型堤体として必要な遮水性基準値、 $k_{Lab} \leq 1 \times 10^{-5}$  cm/s（室内試験）を満足するように決めた。また、 $(q_u)_{CC}$  は堤高が小さく、勾配も緩いのでトラフィカビリティ確保に必要な強度  $(q_u)_{CCTrafficability}$  とした。

#### (2) 虎吉沢池の漏水対策工事

虎吉沢池は山形県西置賜郡飯豊町にあり、老朽化により堤体法尻や底樋周囲からの漏水、堤体の断面不足や余裕高不足、洪水吐の破損や通水能力不足のため、底樋と洪水吐の全面改築と、漏水防止用の傾斜遮水ゾーンを築造することになった。

この池の改修は止水トレンチの掘削により発生する大量の底泥土の処分地や、所要の強度と遮水性を有する築堤土が入手できなかったことから本工法を採用した。図—5 に改修後の堤体標準横断面を示す。

傾斜遮水ゾーンは、堤体のほぼ中央部において横断方向に V 字形に開削した部分に底樋を改築、さらに洪水吐の改築、止水トレンチを掘削してから、既設堤



図—5 虎吉沢池堤体の改修後の標準断面

体の段切り掘削をしながら一層毎に傾斜遮水ゾーンを築造した。なお、 $(q_u)_{CC}^*$  は施工機械のトラフィカビリティに必要な強度  $(q_u)_{CCTrafficability}$  から決めた。

### (3) 皿池の漏水対策工事

皿池は兵庫県神戸市西区にあり、築年代不明で老朽化により堤体からの漏水や、底樋の亀裂・破損により危険な状態にあり早急な改修が必要とされていた。特に、池周辺が地すべり区域にあたり堤体からの漏水が付近の地すべりブロックに悪影響を及ぼしている可能性があったことから、底樋と洪水吐の改築、堤体の漏水防止のための傾斜遮水ゾーンを築造した。

図-6には改修後の堤体の標準横断面を示す。皿池では近くで所要の強度と遮水性を有する築堤土を入手できなかったこと、池内に大量に堆積した底泥土や止水トレンチ掘削により発生する底泥土の土捨て場を確保できなかったことから、これらを築堤土に利用できる本工法を採用した。

傾斜遮水ゾーンは堤体のほぼ中央部を横断方向にV字形に開削した部分に底樋を築造し、止水トレンチの掘削後に、既設堤体を段切り掘削しつつ固化処理した底泥土により一層毎に傾斜遮水ゾーンを築造した。なお、 $(q_u)_{CC}^*$  は施工機械のトラフィカビリティに必要な強度  $(q_u)_{CCTrafficability}$  から決めた。

### (4) 北谷池の堤体補強工事

北谷池は三重県松阪市にあり、堤体が老朽化による断面不足と法尻や底樋周囲からの漏水により安定性不足の状態にあったことから、底樋や洪水吐の改築とともに傾斜遮水ゾーンによる堤体の補強と漏水防止をすることになった。

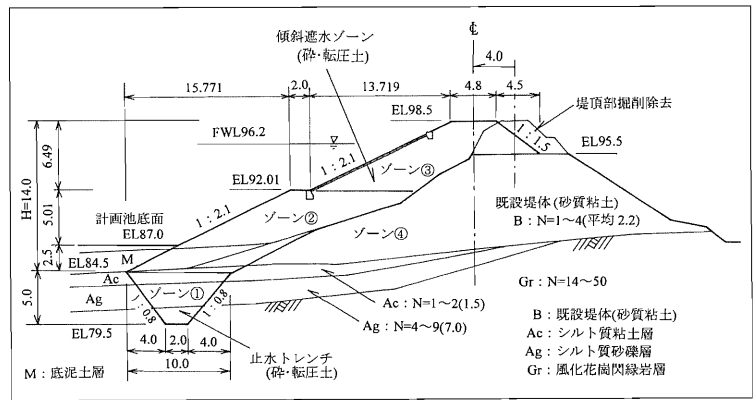


図-7 北谷堤体の改修後の標準断面

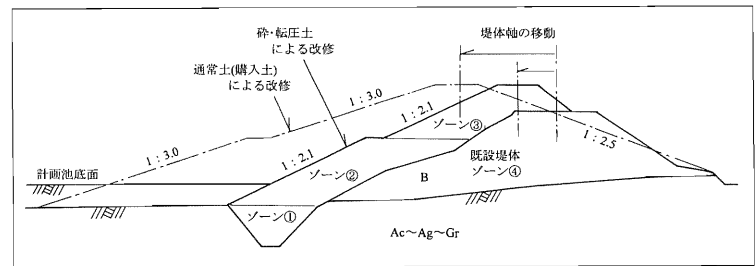


図-8 北谷池における工法採用の効果

改修後の堤体の標準断面を図-7に示すが、堤高は約14mとため池として規模の大きい堤体に属する。しかしながら、入手可能な購入土による改修では、法面勾配を図-8に示すように1:3.0以上に緩くする必要があり、大量の築堤土を必要とするだけでなく、貯水容量の大幅な減少を招くなど現実的な改修が不可能であった。そこで、急勾配堤体でも築堤可能な強度を有する築堤土を人工的に製造できる本工法を採用した。

上流側の堤体の法面は土地改良事業設計指針「ため池整備」<sup>9)</sup>で許容される最急勾配である1:2.1とし、この部分の砕・転圧土の $(q_u)_{CC}^*$ はこの勾配でも堤体全体が所定の安全率を満足して安定化できる強度 $c_{Stability} (= (q_u)_{CCStability} / 2)$ を安定計算により決定した。

この時の $(q_u)_{CC}^*$ は隣接する既設堤体部の強度よりも高くなるので、これとの間に極端な剛性差が生じないように、傾斜遮水ゾーンの上・下層部の $(q_u)_{CC}^*$ を変えた強度ゾーンングを行った。つまり、地震時変形が小さく剛性差による影響が少ない、かつ堤体安定にとって重要な小段下層部のゾーン②は $(q_u)_{CC}^* = (q_u)_{CCStability}$ の高強度ゾーンとし、地震時変形が大きく剛性差の影響が大きい小段上層部のゾーン③はトラフィカビリティに必要な強度 $(q_u)_{CC}^* = (q_u)_{CCTrafficability}$ の低強度ゾーンとした。

また、止水トレンチのゾーン①は軟弱なAc

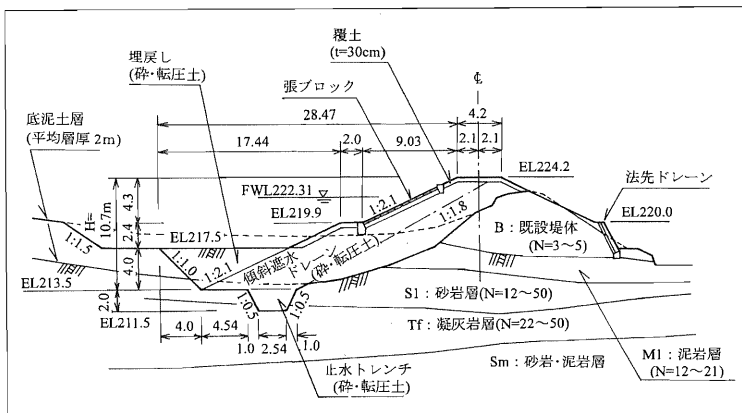


図-6 皿池堤体の改修後の標準断面

層や Ag 層をすべり面が通らないようにできる強度に設定した。なお、この池では、寺家池の事例と同様に、池内に堆積した底泥土のみでは計画盛土量に不足したため、底泥土に池敷等の掘削土を加えて混合泥土として利用した。このときの土砂と底泥土の混合比は堤体に必要とされる遮水性基準値、 $k_{Lab} \leq 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  を満足するように決めた。

#### 4. おわりに

砕・転圧盛土工法は、ため池内の底泥土を築堤土として有効活用して、底泥土の除去処分と堤体改修を同時に可能にした効率的で経済的な老朽ため池改修法であり、固化処理土ではあっても、砕・転圧土として利用することで通常の築堤土に類似したひずみ硬化型の応力-ひずみ曲線を持ち、隣接する既設堤体との密着性（なじみ）のよい堤体築造を可能にしたものである。

また、この工法は、北谷池の事例で紹介したように、堤体補強や漏水防止のために新設する堤体を強度ゾーンニングするなどの工夫をすることで隣接する既設堤体との間の極端な剛性差が生じないようにできるので、ため池（堤高  $H < 15 \text{ m}$ ）よりも堤高の大きいフィルダム（ $H \geq 15 \text{ m}$ ）の堤体改修にも適用できるものである。

最後に、本工法は農林水産省官民連携新技術研究開発事業により開発したことを記して、農林水産省農村振興局などの多数の関係者に謝意を表するものである。

J C M A

#### 《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) (社)セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第二版），技報堂出版，1994.
- 5) 農林水産省構造改善局建設部設計課：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業土木学会，p. 21，2000.

#### 【筆者紹介】

福島 伸二（ふくしま しんじ）  
株式会社フジタ  
土木本部  
土木技術統括部  
主席コンサルタント



谷 茂（たに しげる）  
独立行政法人農業工学研究所  
造構部  
首席研究官



北島 明（きたじま あきら）  
株式会社フジタ  
技術センター  
土木研究部  
主任研究員



現場技術者のための

## 建設機械整備用工具ハンドブック

- ・ 建設機械整備用工具約 180 点の用語解説と約 70 点の使い方を収録。
- ・ 建設機械の整備に携わる初心者から熟練者まで幅広い方々の参考書として好適。

■ A 5 判 120 頁

■ 定 価：会 員 1,050 円（消費税込），送料 420 円

非会員 1,260 円（消費税込），送料 420 円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289