

老朽ため池における底泥土を用いた 堤体改修法とその適用事例

北島明¹・福島伸二²・谷茂³・廣田修⁴・西本浩司⁵

¹ 正会員 工修 (株)フジタ 技術センター (〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1)

² フェロー会員 工博 (株)フジタ 土木本部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2)

³ 正会員 工博 独立行政法人 農業工学研究所 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-2)

⁴ (株)フジタ 土木本部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2)

⁵ 工修 (株)フジタ 土木本部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2)

ため池は築造年代が古く、老朽化により堤体の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強度や遮水性に適した築堤土が入手や、ため池内に堆積した底泥土の土捨て場の確保が困難になってきたため、計画的な改修が難しい状況にある。

そこで、筆者らは底泥土を有効活用して老朽化ため池の堤体改修を可能とする砕・転圧盛土工法を開発してきた。この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、築堤土のための土取り場や底泥土の土捨て処分場が不要となることなど効率的かつ経済的な堤体改修が可能である。ここでは、本工法の設計・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。

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

我が国には築造年代の古いため池が多数あるが、その内の大部分の堤体が波浪侵食による断面不足や漏水等により危険な状態にあり早急な堤体補強や漏水防止等の改修が必要な状況にある。しかしながら、最近では近傍で堤体改修に必要な強度や遮水性を有する築堤土が入手しにくくなっており、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の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、これらは高含水比で超軟弱土なためなんらかの土質改良処理を実施しなければ運搬も困難である上、近年底泥土の土捨て場を確保することが難しくなっている。

筆者らは、この厄介な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することで土質改良を施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^{1), 2), 3)}。この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、築堤土のための土取り場や底泥土の土捨て処分場が不要なことなど効率的かつ経済的な堤体改修が可能である。また、土取り場

や土捨て場を確保するための自然破壊や土砂搬出・搬入のためのダンプ運搬に伴う騒音、振動、排気ガス、渋滞などの近隣への環境負荷が少ないなど環境面でも優れている。

ここでは、この工法の設計・施工法の概要と、これを適用して改修を実施した4つのため池の事例を紹介するものである。

2. 砕・転圧盛土工法の概要

砕・転圧盛土工法は、図-1に概念的に示すように、池内に堆積した底泥土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も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ゾーン盛土や貯水容量の拡大のための嵩上げ盛土の築堤を行うものである。その築堤土は底泥土に固化材を加えて一定期間 t_s だけ固化させた固化処理土を、ある規定の最大粒径 D_{max} で解砕してから通常の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。本工法では固化材を加えて単に固化させた状態のも

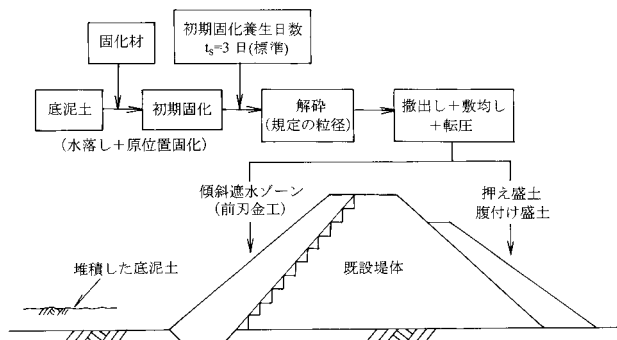


図-1 碎・転圧盛土工法の概念図

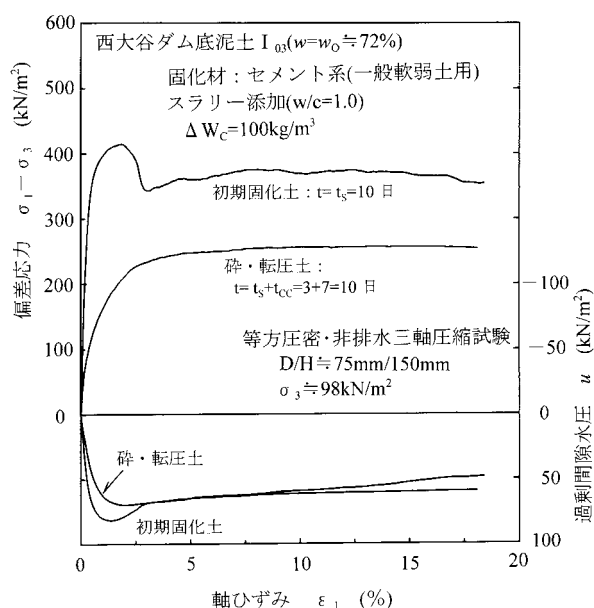


図-2 初期固化土と碎・転圧土の応力～ひずみ曲線の比較

のを初期化土，初期化土を解砕・転圧したものを碎・転圧土と称する。また，碎・転圧土の養生期間は，底泥土に固化材を加えてからの養生期間を初期固化期間 t_s とすると，この 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。 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，碎・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 ΔW_c の加減により容易に確保できるが，通常の築堤土に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

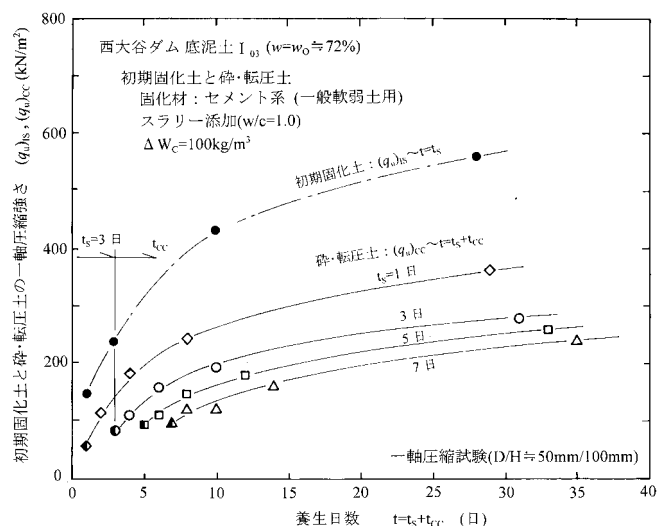


図-3 碎・転圧土の強度に及ぼす初期固化日数の影響

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， $t=t_s+t_{cc}=3+7=10$ 日目の碎・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，碎・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 $(q_u)_{0s} \sim t=t_s$ 関係と， $t_s=1, 3, 5$ 日の碎・転圧土の一軸圧縮強さ $(q_u)_{cc} \sim t (=t_s+t_{cc})$ 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に関係し，短い t_s ほど低くなる。この図から，碎・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，碎・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，碎・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 ΔW_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が期待できる $t_s=3$ 日を標準としている。

3. 砕・転圧盛土工法の設計法

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⁴⁾にならって一軸圧縮強さ q_u で表示し、強度パラメータは粘着力 c だけを考慮し（内部摩擦角 ϕ は無視）、 q_u との関係を

$$c=q_u/2 \quad (1)$$

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¹⁾．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 $t_s=3$ 日として砕・転圧後 $t_{CC}=7$ 日目の強度 $(q_u)_{CC}^*=(q_u)_{CC7}$ ($t=t_s+t_{CC}=3+7=10$ 日) により設定する³⁾．

$(q_u)_{CC}^*$ 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 $(q_u)_{CCStability}$ ($=2 \cdot c_{Stability}$) 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 $H=10\text{m}$ 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 $q_c=490\text{kN/m}^2$ が目安）⁵⁾ を満足しなければならないとすると、 $q_u \sim q_c$ 関係式 ($q_u=q_c/7.5$)³⁾ より $(q_u)_{CC0}=65\text{kN/m}^2$ 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 $(q_u)_{CC7} \sim (q_u)_{CC0}$ 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）³⁾ より

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

となる．

現場での ΔW_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²⁾）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



写真-1 トレンチャーによる初期固化状況



写真-2 トレンチャーによる初期固化状況

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 ΔW_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．

4. 砕・転圧盛土工法の施工法

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に示すプラントにより水・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、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規定の D_{max} で解砕するもので、最大力約 200kN 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 0.7m^3



写真-3 バケット式解砕機による解砕状況



写真-4 振動ローラによる解砕状況

級バックホウ) により掘削した初期固化土を、写真-3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} はスケルトン間隔を変えて制御する。

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-4に示すように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 30～50cm で覆うものとする。

5. 適用事例

本章では砕・転圧盛土工法を適用して固化処理した底泥土を築堤土として有効活用して、老朽ため池の堤体改

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^3)	3.30/0.70	1.38/1.37	2.29/1.30	3.60/2.55
貯水量 (万 m^3)	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^3)	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
	下流側	2.5/約1.8	2.0/1.8	2.1/平均1.6 平均1.8/平均1.5

(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)

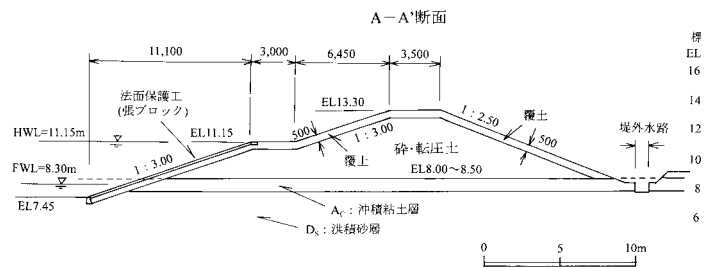


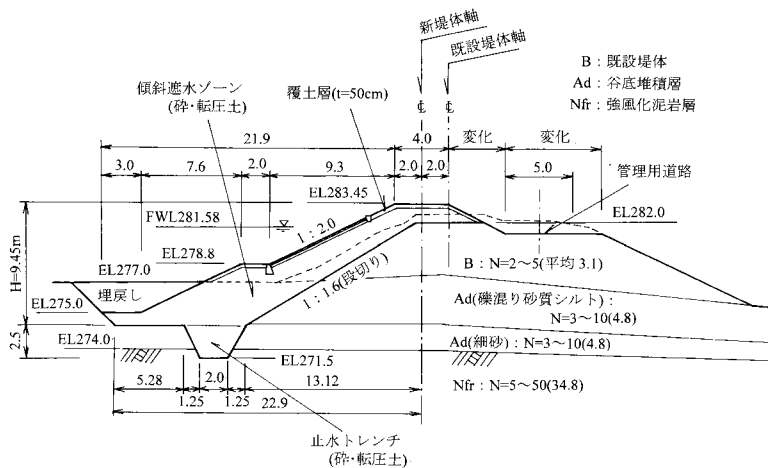
図-4 寺家池堤体の改修後の標準断面

修(補強と漏水防止)を実施した事例4件を紹介するが、表-1にそれらの堤体仕様をまとめて示す。

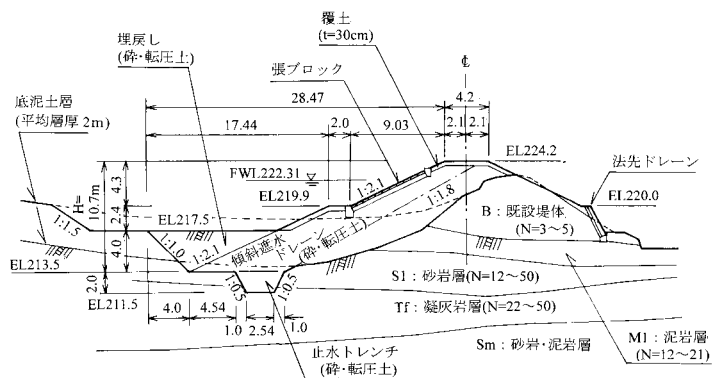
(1) 寺家池の池拡張工事

寺家池は三重県鈴鹿市にあり、貯水量を灌漑用約 20,000 m^3 に洪水調節用 120,000 m^3 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^3)し、主堤体を旧堤体より約 30m 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。寺家池では、近傍で旧池内の底泥土の処分地が見つからなかったこと、強度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の採用が決められた。

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、寺家池に堆積していた底泥土は約 10,000 m^3 で築堤に必要な計画土量約 32,000 m^3 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比は均一型堤体の遮水性基準値 $k_{lab} \leq 1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ (室内試験)を満足すること、場外処分しにくい底泥土の全量を使い切れるように決めた。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 $(q_u)_{CC}$ Trafficabilityとした。



図－5 虎吉沢池堤体の改修後の標準断面



図－6 皿池堤体の改修後の標準断面

(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、築年代不明で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、堤体の補強と漏水防止のための傾斜遮水ゾーンを築造することになった。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池近傍で入手できなかったことから本工法を採用することになった。図－5に改修後の堤体標準横断面を示す。

改修は、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等の構造物工事の終了後、ここで対象とした傾斜遮水ゾーンの築造工事を行った。傾斜遮水ゾーンは止水トレンチを掘削してから、既設堤体の段切り掘削をしながら一層毎に築造した。なお、 $(q_w)_{CC}^*$ は築堤面での施工機械のトラフィカビリティーに必要な強度 $(q_w)_{CCTrafficability}$ から決定した。

(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、底樋が亀裂・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の採用が決まった。

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、止水トレンチを掘削してから、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、 $(q_w)_{CC}^*$ は施工機械のトラフィカビリティーに必要な強度 $(q_w)_{CCTrafficability}$ から決定した。

(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り、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。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だった。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。

傾斜遮水ゾーンの法面は土地改良事業設計指針「ため池整備」⁵⁾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 $(q_w)_{CC}^*$ 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 $c_{Stability} (= (q_w)_{CCStability} / 2)$ を安定計算により決定した。この時の

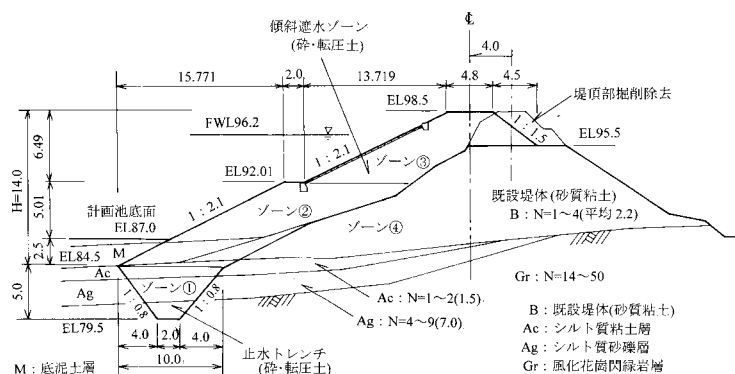


図-7 北谷池堤体の改修後の標準断面

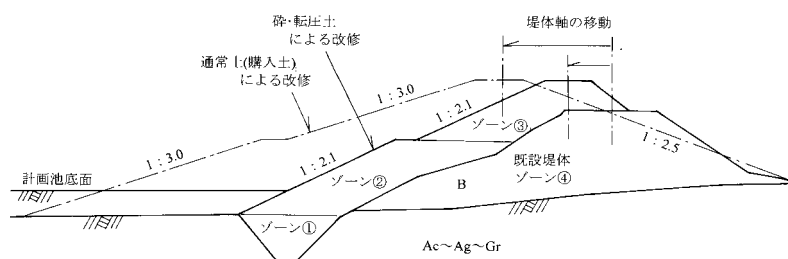


図-8 北谷池における工法採用の効果

$(q_{uCC})^*$ 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強度や変形性の相違が生じないように、傾斜遮水ゾーンの上・下層部の $(q_{uCC})^*$ を変えた強度ゾーニングを行った。つまり、地震時変形が小さく強度や変形性の相違による影響の少ない、かつ堤体安定にとって重要な小段下層部のゾーン②は $(q_{uCC})^*=(q_{uCC})_{Stability}$ の高強度ゾーンとし、地震時変形が大きく強度や変形性の相違の影響の大きい小段上層のゾーン③は施工機械のトラフィカビリティを確保する必要とされる強度 $(q_{uCC})^*=(q_{uCC})_{Trafficability}$ の低強度ゾーンとした。そして、止水トレンチのゾーン①は軟弱なAc層やAg層をすべり面が通らないようにできる強度を設定した。

なお、北谷池では、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。この時の土砂と底泥土の混合比は堤体に必要な遮水性基準値： $k_{lab} \leq 1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ を満足するように決定した。

5. 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を強度ゾーニングして隣接する既設堤体との間の極端な強度や変形性の相違が生じないようにできるので、ため池よりも堤高の大きいフィルダム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関係諸氏に謝意を表するものである。

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，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.