

砕・転圧盛土工法の設計・施工法について

誌名	農業工学研究所技報
ISSN	09153314
著者名	谷,茂 福島,伸二 北島,明 酒巻,克之
発行元	農林水産省農業工学研究所
巻/号	202号
掲載ページ	p. 141-182
発行年月	2004年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



砕・転圧盛土工法の設計・施工法について

谷 茂*・福島伸二**・北島 明**・酒巻克之***

目 次	
緒言	141
設計	142
1. 用語・記号の定義	142
2. 砕・転圧盛土工法の特徴	142
3. 事前調査・試験	147
4. 目標強度の設定	148
5. 配合設計のための室内配合試験	153
6. 試験施工	162
施工	164
1. 本施工の方法	164
2. 工事管理	175
3. 施工上の注意事項	179
結語	180
参考文献	181
資料（関連文献一覧）	181

緒 言

老朽ため池は築造年代が古く、堤体破損や漏水の補修、大規模地震の発生が想定される地域での耐震補強など、早急な改修が必要なものも多い。このようなため池堤体の改修には、強度や遮水性に優れた築堤土が必要であるが、最近ではこの築堤土の入手が困難になってきており、改修や補強が計画どおりに進まない事例が増えてきている。一方、このような老朽ため池には、底泥土が厚く堆積している例が多く、貯水容量の減少や水質の悪化など、ため池機能の阻害や低下の原因になっている。一部では機能回復のための対策として底泥土の浚渫除去が行われているが、底泥土は一般に粘土・シルト分を多く含み含水比が高い軟弱土なため、捨土するにもそのままの状態では運搬することさえも容易ではない。また、最近ではその捨て場所の確保も環境面あるいは経済性から難しくなっている。

しかしFig. 1に概念的に示すように、ため池に堆積した底泥土を固化処理して、そのため池の堤体の漏水対策として傾斜遮水ゾーン（前刃金工）、あるいは堤体補強のための押え・腹付け盛土等を築造するための築堤土として利用できれば、底泥土の処分、築堤土の採取が不要になる効果がある。併せて底泥土の除去処分と堤体の改修・補強を同時に行うことが可能である。

本研究は官民連携新技術研究開発事業として、独立行政法人農業工学研究所と「ため池改修工事の効率化」新技術

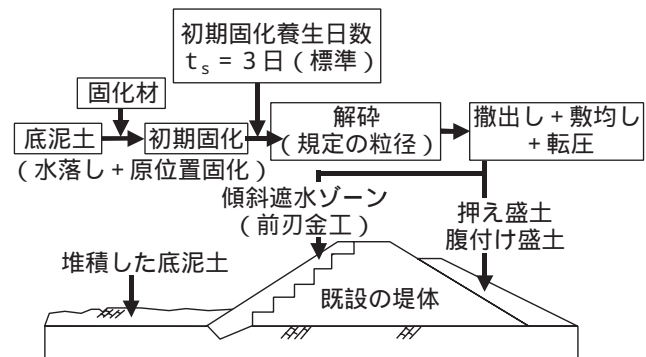


Fig. 1 固化処理したため池底泥土の築堤土への活用
Application of cement-stabilized muddy soil to embankment soil

研究開発組合が行ったものである。その内容は固化処理した底泥土の基本的な強度・変形特性を室内土質試験により調べ(福島, 2000), またこの室内試験結果を確認するための現場実証試験を実施レベルで実施し(福島, 2001), ため池内に堆積した底泥土を固化処理し、堤体改修の築堤土として有効活用する『砕・転圧盛土工法』として開発したものである。

なお、砕・転圧盛土工法は、特許第3241339号「ため池の底泥を用いた盛土材の作製方法およびため池の堤体の補修、補強方法ならびに破砕機」(特許権者: 独立行政法人農業工学研究所, 株式会社フジタ, 太平洋セメント株式会社)として認定された特許工法である。

本工法の設計・施工法は、これらの成果及び施工実績から、固化処理した底泥土の砕・転圧盛土工法によるため池堤体の改修あるいは補強工事を行うための設計・施工法の参考として示すものである。

*造構部上席研究官

** (株)フジタ, *** 太平洋セメント(株)

平成16年1月5日 受理

キーワード: ため池, 底泥土, 改修, リサイクル

設 計

1 用語・記号の定義

a 底泥土

固化処理の対象となるため池内に堆積した底泥土をいい、ほとんどシルト・粘土分からなる高含水比で超軟弱な状態にある粘性土である。

Table 1 底泥土に関する記号
Symbols for muddy soil

記号	解 説	単 位
W_s	底泥土の乾燥質量	t, kg
s	土粒子部分の密度	t/m^3 g/cm ³
V_s	土粒子分の容積(= W_s/s)	m^3
W_w	底泥土に含まれる水の質量	t, kg
w	水の密度	$1t/m^3$ 1g/cm ³
V_w	底泥土中に水が占める容積(= W_w/w)	m^3
w	底泥土の含水比(= $(W_w/W_s) \times 100$)	%
w_0	w_0 : 配合試験時の基準となる含水比	
W	底泥土の質量(= W_s+W_w)	kg

b 固化材

固化処理に使用する普通セメント、セメント系等の固化材で、添加方法は粉体方式とスラリー方式に分けられる。

Table 2 固化材に関する記号
Symbols for stabilizer

記号	解 説	単 位
c	固化材の密度	t/m^3 g/cm ³
W_c	対象土量 $V=1m^3$ あたりに添加する固化材の乾燥質量	kg/m ³
W_c	対象土量 $V(m^3)$ に必要な固化材の乾燥質量 (= $W_c \cdot V$)	kg
W_{cw}	スラリー添加の場合の固化材に加える水質量	kg
w/c	スラリー添加の場合の固化材に加えた水質量 W_{cw} と固化材乾燥質量 W_c の比(W_{cw}/W_c)で、水・固化材比(粉体添加の場合には $w/c=0$)	
W_{SL}	スラリー状の全固化材質量 (= $W_c+W_{cw}=W_c \cdot [1+(w/c)]$)	kg
V_{SL}	固化材全容積 (= $V_c+V_{cw}=W_c \cdot [1/c+(w/c)/w]$)	m^3
V_c	固化材全容積 V に占める固化材部分の容積 (= W_c/c)	m^3
SL	固化材スラリーの密度 $SL=W_{SL}/V_{SL}=[1+(w/c)]/[1/c+(w/c)/w]$	t/m^3 g/m ³

c 固化処理土

初期固化土：底泥土に、その含水比に応じて決められた量の固化材を添加して、均一になるように混合して改良しただけの固化処理土。

解 碎 土：規定の初期養生日数 t_s を経過した初期固化土を、規定の最大粒径 D_{max} になるように解砕した固化処理土。

砕・転圧土：解砕土を、通常土と同じように、均一に混ぜるように撒き出し、さらに一定層厚に敷均してから転圧した状態の固化処理土。

Table 3 固化処理土に関する記号
Symbols for stabilized soil

記号	解 説	単 位
t_s	初期固化養生日数といい、底泥土に固化材を添加・混合した初期固化状態における期間で、ここでは $t_s=3$ 日を標準としている	日
$(q_u)_{IS}$	ある初期固化日数 $t=t_s$ における初期固化土の一軸圧縮強さ	kN/m ²
$(q_u)_{IS10}$	$(q_u)_{IS10}$: $t=t_s=10$ 日目の初期固化土の強度	
	解砕・転圧後の養生日数をいい、初期固化養生日数 t_s を経過した初期固化土を解砕・転圧してからの養生日数(したがって砕・転圧土の初期固化時からの全養生日数は $t=t_s+t_{CC}$ になる)	日
t_{CC}		
$(q_u)_{CC}$	ある初期固化日数 t_s と解砕後養生日数 t_{CC} における砕・転圧土の一軸圧縮強さ($t=t_s+t_{CC}$)	kN/m ²
$(q_u)_{CC7}$	$(q_u)_{CC7}$: $t_{CC}=7$ 日目の砕・転圧土の強度	
t_{CC}	ある初期固化日数 t_s で解砕した後の養生日数 t_{CC} における砕・転圧土の密度($t=t_s+t_{CC}$)	t/m^3 g/cm ³

d その他

Table 4 その他の記号
Symbols for other items

記号	解 説
FL	現場混合土の強度 $(q_u)_{Field}$ と室内混合土の強度 $(q_u)_{Laboratory}$ の比(現場/室内強度比)で、実施工で底泥土を固化処理した場合と室内混合条件との相違を補正するためのもの
DW	乾・湿繰返し履歴による強度低下比
R	養生日数 $t=t_s+t_{CC}=28$ 日における砕・転圧土の強度 $(q_u)_{CC}$ と初期固化土の強度 $(q_u)_{IS}$ の比で、初期固化土を解砕・転圧したことによる強度低下の割合を表す Rの値は t_s により異なり、例えば標準の $t_s=3$ 日でのRの値は R_3 のように表示する

2 砕・転圧盛土工法の特徴

a 固化処理土の築堤土への適用上の問題とその対策
本工法は、ため池に堆積した底泥土を、そのため池堤体部の改修あるいは補強工事の築堤土として有効活用するものである。

具体的には、セメント系あるいは石灰系の固化材を添加・混合して固化処理した底泥土を、ある一定時間 t_s だけ固化させる。この固化させるための日数は初期固化養生日数 t_s といい、この状態を初期固化土(Initial Stabilized Soil)という。次に規定の最大粒径 D_{max} になるように解

砕，通常土と同様に撒出し・敷均し，転圧して堤体を築造するものである。この初期固化土を砕いて転圧した状態を砕・転圧土 (Crushed and Compacted Soil) という。

1) 砕・転圧土の応力～ひずみ特性

これまで固化処理土は，固化材添加量の加減により強度を簡単に制御できる反面，破壊ひずみが通常土より小さく，通常土からなる既設堤体との間に極端な剛性差が生じてなじみが悪いいため，堤体のような重要な土構造物の築堤土として適用できなかった。そこで本工法では，一定期間 t_s だけ初期固化させた底泥土を，規定の最大粒径 D_{max} で粗粒から細粒まで広範囲の粒径成分をもつように解砕し，ただちに通常土と同様に一定層厚に撒出し・敷均して転圧することで，変形性の問題（強度は大きいに変形に対して脆い性質）を改善した。砕・転圧後の再固化時の強度・変形特性が，通常土に近くなることを利用したものである。

例えば，Fig. 2 は，同一配合・養生条件での初期固化土 ($t = t_s = 10$ 日) と砕・転圧土 ($t = t_s + t_{CC} = 3 + 7 = 10$ 日) の，等方圧密・非排水三軸圧縮試験 ($\sigma_3 = 98\text{kN/m}^2$) による応力～ひずみ関係の比較を示している。初期固化土の応力は小さいひずみでピークに達した後に低下を示すが，砕・転圧土ではこのような挙動がなく通常土に近い応力～ひずみ曲線となっている²⁾。つまり改修した堤体が，砕・転圧土と通常土からなる，強度の異なる堤体土から構成されていても，ともにひずみ硬化型の応力～ひずみ曲線となっていれば，堤体への変形集中が逐次的に形成されずすべり面上で発揮されるせん断強度 σ_{slip} は，Fig. 3 に概念的に示すように，単純に加算された

$$\sigma_{slip} = \sigma_{CC} (\text{砕・転圧土部}) + \sigma_s (\text{既設堤体部})$$

になるものと考えられる。このため砕・転圧土により傾斜遮水ゾーン等を既設堤体に接して築堤しても，新設・既設堤体間に極端な剛性の相違は生じにくくなる。

2) 解砕・転圧までの初期固化養生日数の影響

砕・転圧土を築堤土として用いる際に重要なことは，砕・転圧土の強度が初期固化土を解砕・転圧するまでの初期固化養生期間 t_s や解砕時の最大粒径の影響を受けることである。こうした特性は，例えばFig. 4 に示す初期固化土の強度 $(q_u)_s \sim t_s$ 関係と $t_s = 1, 3, 5$ 日と変えた砕・転圧土の強度 $(q_u)_{CC} \sim t (= t_s + t_{CC})$ 関係を比較した一例によりよくわかる。この図で左半分を黒塗りにした記号は，各 t_s における初期固化土を解砕・転圧した直後 $t_{CC} = 0$ 日目の強度 $(q_u)_{CC0}$ を示すが，この値は築堤面を走る転圧機械等のトラフィカビリティを確保できるものでなくてはならない。この図から，砕・転圧土の強度は初期固化土の強度より低下するが，その程度は t_s により異なり， t_s が長いほど砕・転圧後の強度低下が著しくなることがわかる。このため，砕・転圧土の強度を考えるとときにはこの t_s の影響を考慮しなければならないが，本工法では，初期

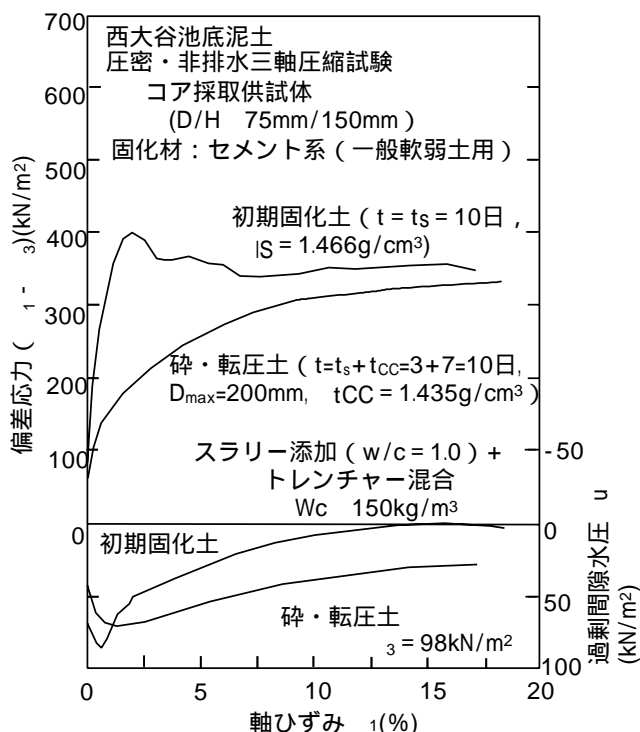


Fig. 2 固化処理した底泥土における初期固化土と砕・転圧土の応力～ひずみ関係の比較 (等方圧密・非排水三軸圧縮試験： $\sigma_3 = 98\text{kN/m}^2$)
Comparison of stress and strain relations of initial stabilized soil and crushed and compacted soil (isotropically consolidated and undrained triaxial compression test： $\sigma_3 = 98\text{kN/m}^2$)

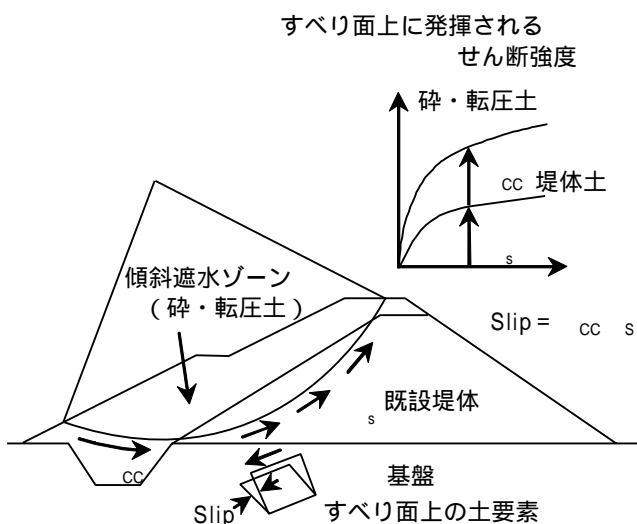


Fig. 3 砕・転圧土からなる傾斜遮水ゾーンと既設堤体部を通るすべり面上で発揮される強度
Mobilized strength along slip surfaces in sloping core zone constructed by stabilized soil embankment and existing embankment

固化から砕・転圧による強度低下比を $t = 28$ 日における両者の強度比

$$R = (q_u)_{cc} / (q_u)_{is} \quad (t = t_s + t_{cc} = 28日) \quad (1)$$

を定義して行う。

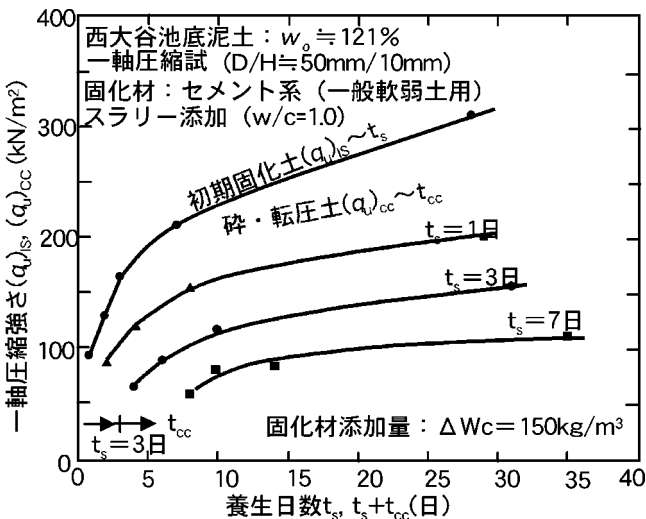


Fig. 4 初期固化土の強度 $(q_u)_{is} \sim t_s$ 関係と砕・転圧土の強度 $(q_u)_{cc} \sim t (= t_s + t_{cc})$ 関係の比較
Comparison of strength $(q_u)_{is}$ of initial stabilized soil and strength $(q_u)_{cc}$ of crushed and compacted soil

Fig. 4のような試験を $75 \mu m$ 以下細粒分含有率 $F_{C(-75 \mu m)}$ が $10 \sim 95\%$ にある各種の底泥土について実施し、この R と t_s の関係求めたのがFig. 5である。強度低下は底泥土によらず $t_s = 3$ 日付近までの低下が著しい。また $F_{C(-75 \mu m)}$ の少ない底泥土ほど小さい値になってい

る。このことから以下のことがわかる。

t_s が短い場合には、砕・転圧による強度低下が少なく、固化材添加量を節約でき固化効率は良いが、 $(q_u)_{cc0}$ が小さくトラフィカビリティーが確保しにくいなど築堤時の施工性に問題がある。一方、 t_s を長くした場合には、 $(q_u)_{cc0}$ が大きく施工性に優れるが、砕・転圧による強度低下が著しく固化材添加量 W_c を多くしなければならず固化効率が悪くなる。そこで、初期固化養生日数は施工性や固化効率を考慮して、強度低下傾向が少なくなり、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。この $t_s = 3$ 日目の値 R_3 は、底泥土により異なり $R_3 = 0.3 \sim 0.5$ の範囲にあるが、一般に $F_{C(-75 \mu m)} > 80\%$ では $R_3 = 0.5$ である。

3) 砕・転圧土の強度・遮水性に及ぼす解砕粒径の影響

現場実証試験において初期固化させた底泥土を、メッシュ間隔の異なるバケット式解砕機により解砕した D_{max} の異なる解砕土の粒度分布を求めた一例をFig. 6に示す。砕・転圧土でも通常土と同様に、大粒径から小粒径までの各粒子が連続的に分布していることが必要で、これらが均一に混合されよう撒き出し、転圧して再固化すると、隙間がなく遮水性に優れ、かつ所要の強度を有する堤体が築造できる。このような D_{max} の異なる解砕土の築堤面から採取したコア供試体 ($t = t_s + t_{cc} = 3 + 7 = 10$ 日)の一軸圧縮試験による強度比 $(q_u)_{cc7} / (q_u)_{cc7}^{200}$ と D_{max} の関係を、また三軸セルを用いた透水試験(変水位型)による $c = 50 kN/m^2$ (堤高10m程度の堤体における傾斜遮水ゾーン内の応力レベルとして想定)における透水係数比 (k_{TC})

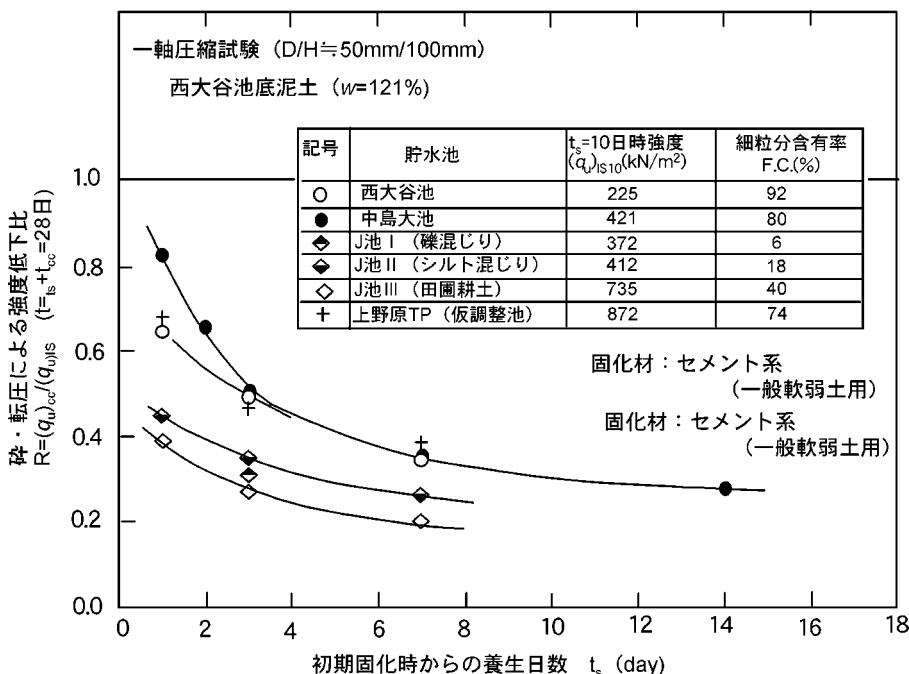


Fig. 5 固化処理した各種底泥土の解砕・転圧による強度低下比 $R \sim$ 初期固化養生日数 t_s 関係
Characteristics of strength reduction of various stabilized muddy soils by crush and compaction

$50 / (k_{TC})_{50}^{200}$ と D_{max} の関係をそれぞれ Fig. 7 に示す ($(q_u)_{CC7}^{200}$ と $(k_{TC})_{50}^{200}$ は $D_{max} = 200\text{mm}$ での値)。この図から、砕・転圧土の強度と透水係数は D_{max} が大きいほど大きくなるため、堤体の安定性のみを確保したい場合には大粒径で解砕し、傾斜遮水ゾーンやブランケットのように遮水性が必要な場合には細粒径で解砕する必要性がわかる。

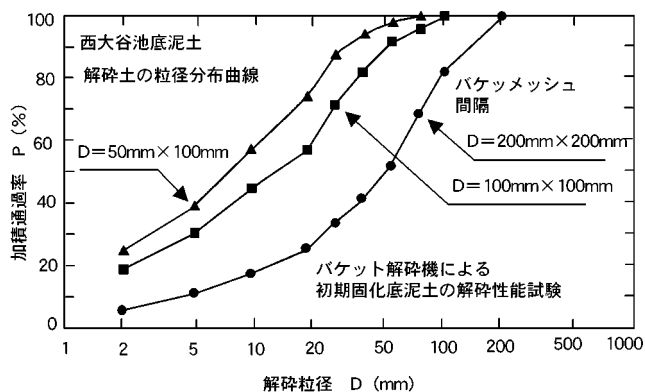


Fig. 6 最大粒径 D_{max} の異なる解砕土の粒度分布曲線
Gradation curves of crushed cement-stabilized soil with various maximum particle size

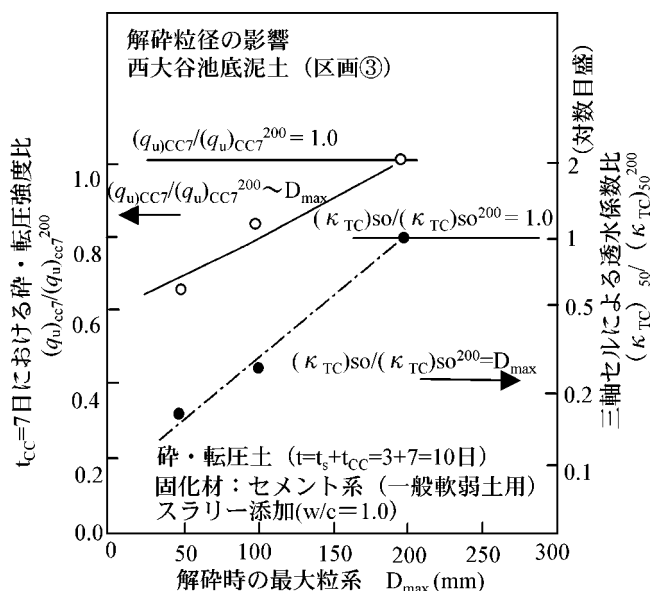


Fig. 7 最大粒径 D_{max} が解砕土の強度と透水係数に及ぼす影響
Effect of maximum particle size on strength and permeability of crushed and compacted stabilized soil

b 砕・転圧盛土工法の特徴

これまで底泥土だけでなく湖沼や河川のヘドロ、あるいは建設発生土のような高含水比の超軟弱土を固化処理した後に、既設河川堤防のスーパー堤防化の背面盛土や仮設道路等の盛土に使用された事例がある。しかしこの場合には、底泥土除去のハンドリングを向上させるために、固化させてから掘削するまでの養生期間、掘削してから盛土するまでの放置期間を指定せずに盛土していたもので、掘削・盛土による強度や変形性の変化について特別な管理なしに、

単なる埋戻し土として使用していたものである。これは高含水比の超軟弱土の処分が主目的であり、ここで対象にしたため池の堤体のような重要な土構造物の築堤土への適用を想定したものではない。

以上から、この砕・転圧盛土工法による堤体築造法が、一般の土質改良工法や通常土による築堤工法と異なっている点は次のとおりである。

砕・転圧土の強度は、固化処理土をある程度まで初期固化させるための養生日数 t_s を設定し、初期固化状態からの解砕・転圧による強度低下量を考慮すること。解砕するときの最大粒径 D_{max} の大きさを築堤土の用途に応じて規定すること。初期固化土状態での強度管理あるいは砕・転圧土状態での強度・遮水性管理など、厳密な品質管理を必要とすること。

したがって、この砕・転圧盛土工法による老朽ため池の底泥土を活用した堤体改修法の特徴として以下のことが挙げられる。

ため池の既設堤体の漏水対策工としての傾斜遮水ゾーン、堤体補強工としての腹付け・押え盛土、あるいは貯水容量拡大のための高上げ盛土を築造するときに、新旧堤体間の剛性に極端な相違が生じないように、ある程度固化させた固化処理土を解砕してから転圧することで、固化処理土特有の高剛性で破壊ひずみが小さい材料特性を改良した堤体築造法である。

この時、初期固化土をある程度固化させるための初期固化養生日数 t_s と、砕・転圧による初期固化土からの強度低下を考慮して設定すること、解砕するときの最大粒径 D_{max} を規定するなど、厳密な施工管理を必要とする堤体築造法である。

老朽ため池に堆積した底泥土を除去処分せずに有効活用して、その池の堤体の改修あるいは補強に必要な築堤土を現地調達できる工法である。

c 砕・転圧盛土工法の全体工程

砕・転圧盛土工法における全体工程は、事前の調査・試験 目標強度の設定 配合設計のための室内配合試験 試験施工 本施工から構成される。砕・転圧土盛土工法の全体工程のフローチャートを Fig. 8 示す。

d 砕・転圧盛土工法の施工手順

固化処理した底泥土を堤体築堤土とする砕・転圧盛土工法の施工手順概要のフローチャートを Fig. 9 に示すが、底泥土を初期固化させるまでの工程は大きく分けて二つの方法がある。

1) 原位置固化処理法

この方法はため池の落水後、底泥土を原位置でそのまま自走式混合機で初期固化するもので、底泥土層厚がほぼ一定で、地下水位が低く池底からの地下水の浸透がなければ、経済的で効率的な初期固化が可能な方法である。

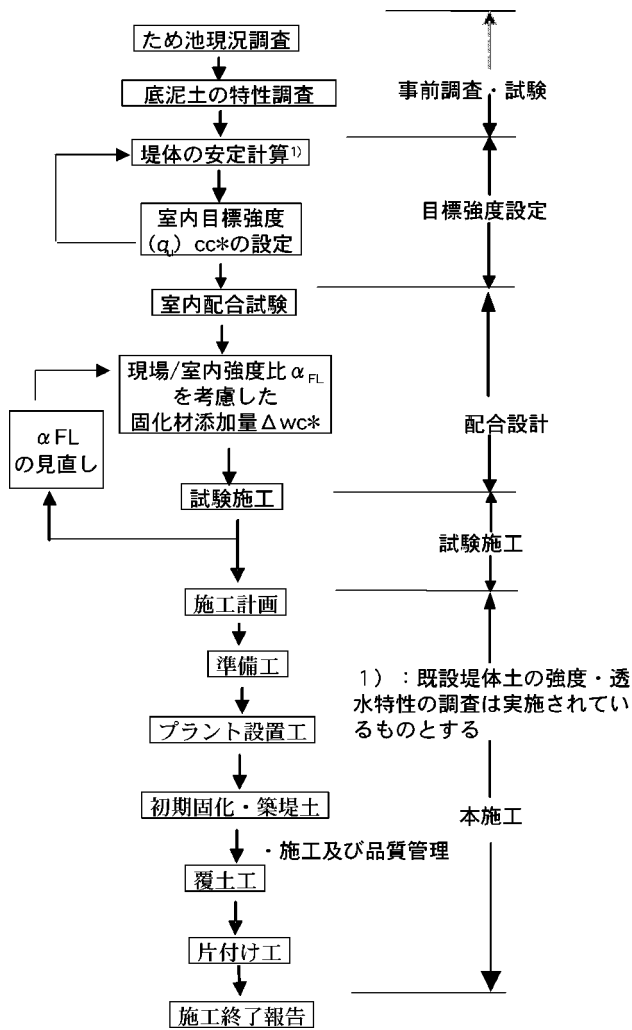


Fig. 8 全体工程のフローチャート
Flow diagram of construction process

2) 搬出固化処理方法

この方法は、落水後の池敷から搬出した底泥土を固化処理ピット内で固化材と混合しそのまま初期固化をさせる方法（ピット内混合固化法）と、貯水したまま池内から浚渫した底泥土をプラント内で混合しその処理土を固化養生ピットに移して初期固化させる方法（プラント混合・ピット固化法）がある。これらの方法は、ともに固化処理ピットを使用するので、施工量に見合ったピット用地を確保することが必要である。

2) - 1 ピット内混合固化法

落水後の池内から搬出した底泥土（貯水状態で浚渫後に余水処理をした底泥土の場合もある）を、別途設けた固化処理ピットに搬入して、そこで原位置固化処理法と同様に自走式混合機で固化材を添加・混合して初期固化させる方法である。この方法は、落水後でも池敷でそのまま原位置混合が困難な場合に採用されるもので、底泥土層厚が一定ではなく頻りに変化したり、地下水が池底から大量に浸出するなど原位置固化処理法が効率的に行えない場合や、計画盛土量に底泥土単体では不足するため場内発生土と合わ

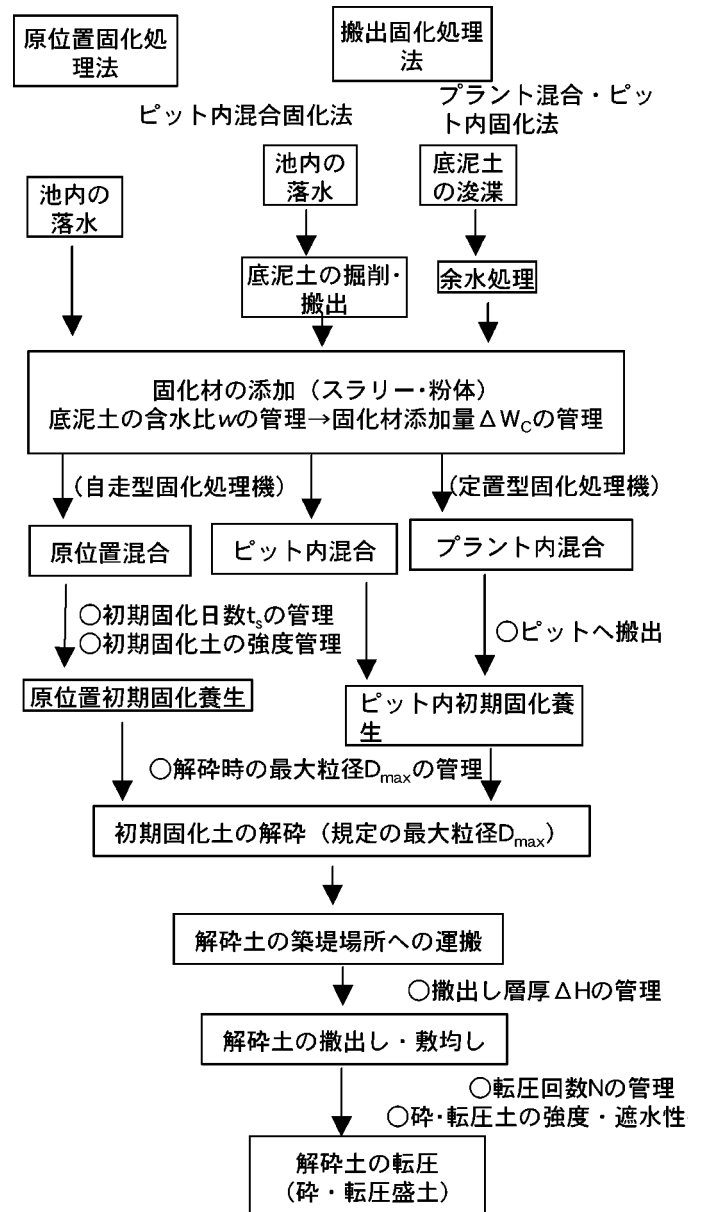


Fig. 9 砕・転圧盛土工法における施工手順
Construction process in crushed and compacted soil embankment method

せた混合泥土として固化処理する場合に適している。

2) - 2 プラント混合・ピット固化法

貯水したままの状態浚渫した底泥土を、中間処理池で余水処理をしてから、固化処理プラント内で固化材を添加・混合し、さらに固化処理ピット内に移して固化させる方法である。この方法は、混合プラントを必要とする分、コストを要するが、ため池の落水が不可能な場合に適しており、混合の均一性が高く品質一定の築堤土を準備できるところに特徴がある。

e 本設計・施工法の対象について

本設計・施工法は、砕・転圧盛土工法により、ため池内に堆積した底泥土に固化材を添加・混合した固化処理土を、そのため池あるいは他のため池の堤体の改修あるいは補強のための築堤土として使用する場合を対象としてい

る。

(ため池改修への適用)

砕・転圧盛土工法は、ため池内に堆積した底泥土に固化材を添加・混合し、ある程度まで固化させた段階で規定の最大粒径で解砕し、通常土と同様に築堤する。これまで堤体のような重要な土構造物の築堤土として使用できなかった、固化処理土の変形性を通常土に近くし、既設堤体とのなじみをよくして使用できるようにしたものである。

本設計・施工法は、この工法により固化処理した底泥土を築堤土に活用して、老朽ため池の堤体の改修あるいは補強をする場合を対象としている。

(高堤体への適用にあたって)

後述するように、堤高が $H = 10\text{m}$ 未満のため池では砕・転圧土の目標強度 $(q_u)_{\lambda c}^*$ は築堤時の施工機械のトラフィカビリティを確保するために必要な強度となる。これに対して、堤高が $H = 10\text{m}$ を越えるような場合の $(q_u)_{\lambda c}^*$ は堤体が所定の安全率を満足して安定であるために必要な強度 $(q_u)_{\lambda c \text{Stability}}$ となり、これは安定計算により求められる。

このような安定計算により決まる $(q_u)_{\lambda c}^*$ ($= (q_u)_{\text{CCStability}}$)は通常の築堤土に比較して大きいため、既設堤体部と砕・転圧土により新設した傾斜遮水ゾーン部との間で強度の相違が著しくなり、既設・新設堤体部間の密着性にとって好ましくないことが考えられる。このような場合には、既設・新設堤体間の強度の相違の影響を少なくするため傾斜遮水ゾーンを高さ毎に分割して、 $(q_u)_{\lambda c}^*$ を変えることが合理的と思われる。例えば、地震時に生じる堤体変位が大きい部分となる上層ほど強度差を小さくできるようにトラフィカビリティに必要な強度 $(q_u)_{\lambda c}^{**}$ とし、堤体変位が小さい下層部ほど大きな $(q_u)_{\lambda c}^{**}$ とするなど、いわゆる強度ゾーニングを行う。このような下層部ほど高強度の砕・転圧土で盛立てる強度ゾーニングは、安定計算におけるすべり面が通過する傾斜遮水ゾーンの下層部ほど幅広になるので、堤体の安定性を確保するには効果的である。

しかし、目標強度が高くなると、初期固化土を解砕・転圧しても、解砕粒子が潰れずに残ってしまい水みちになりやすいことがあるので、

- ・解砕時の最大粒径 D_{max} を小さくする、
- ・撒出し層厚 H を薄くする、
- ・転圧力の大きい転圧機械を使用する、

などの対策が必要である。また、初期固化土そのものを高強度にしない方法として、施工機械のトラフィカビリティが確保出来ているのであれば、初期固化養生日数を標準の $t_s = 3$ 日にこだわらずに、短くして $t_s = 2$ 日を採用することも検討する。この方法は $t_s = 2$ 日とすることで、初期固化強度の発現を小さく抑えること、転圧時に解砕粒子が潰れやすくすることができるので、同じ砕・転圧時に強度を確保するための固化材添加量 W_c も少なくてすむなど

の利点もある。

いずれにせよ、このような砕・転圧盛土工法を高堤体へ適用するには、

- (1) 高強度砕・転圧土が対象となり、砕・転圧土で築造した堤体は、既設堤体と比較すると剛性がかなり高くなるため、既設堤体との密着性を検討する、
 - (2) 堤体安定性は合理的に行う必要があり、砕・転圧土の内部摩擦角を無視せずに、通常土と同様の (c, \quad) による強度パラメータを用いて評価する、
- など、十分な配慮が必要となる。

(盛土・地盤造成への適用)

本設計・施工法は、この工法により固化処理した底泥土を築堤土に活用して、老朽ため池の堤体の改修あるいは補強をする場合を対象としている。しかしながら、固化処理土を通常土と同程度レベルまでの変形性を要求される盛土、あるいは地盤の造成に使用する場合などにも本設計・施工法を適用できる。

3 事前調査・試験

a 一般事項

配合設計及び本施工に先立ち、ため池の現況調査、固化処理対象となる底泥土の特性を調査する必要がある。

底泥土の固化処理の配合設計及び施工計画を立案するためには、事前にため池の現況調査、固化処理対象となる池内に堆積した底泥土の特性の調査を実施する。また底泥土に動植物等の腐食物が多い場合には、除去の方法を事前に検討して施行方法に反映させる。また、腐植分が多い場合や含水比が極端に高いなど特殊な底泥土の場合には試験施工を行い、固化処理特性に関する十分な資料を準備し、効率的な固化処理ができるような配合設計及び施工計画を立案することが望ましい。

b ため池の現況調査

ため池調査は、砕・転圧盛土工法によりため池の改修あるいは補強対策の詳細設計に必要な情報を得るために行う。

調査は以下の事項について実施するものとする。

- (1) ため池の築堤当初の調査・設計資料、施工記録等の収集
- (2) 既設堤体の現況調査(堤体形状・堤体内の土質構成、基礎地盤の状況)
- (3) 既設堤体を構成する築堤土の土質力学特性調査
- (4) 底泥土の堆積状況(堆積土量、堆積層厚など)
- (5) ため池の使用状況
- (6) ため池までの交通状況
 - (施工機械、プラント、固化材等の搬入が可能か、道路の拡幅・補強の必要があるかなど)
- (7) ため池近隣の環境
 - 施工規模(底泥土量や堤体体積など)、池敷内の広さ・

池近隣の状況(工事用道路の確保など)等を考慮して底泥土の固化処理のための効率的な施工法を計画する。

c 底泥土の特性調査

固化処理対象である底泥土の特性調査では、配合設計に必要な底泥土の物理・粒度特性を把握するために、ため池から採取した底泥土の物理試験、粒度試験を実施する必要がある。以下に試験項目について述べる。

1) 土質試験

ため池内に堆積した底泥土は、一般に含水比が非常に高く、粘土・シルト分からなる細粒分を大量に含む軟弱土である。また場合によっては固化処理を阻害する有機物を多く含むこともある。このため底泥土の物理・粒度特性を調べるための試験として以下の土質試験があげられる。

- (1) 土の含水比試験 (JGS0121)
- (2) 土粒子の密度試験 (JGS 0111)
- (3) 土の液性・塑性試験 (JGS 0141)
- (4) 土の粒度試験 (JGS 0131)

その他必要に応じて土中の有機物に関する試験として以下のものがある。

- (5) 土の腐植含有量試験 (JGS 0232)
- (6) 土の強熱減量試験 (JGS 0221)
- (7) 土の有機物含有量試験 (JGS 0231)

これらの試験から、底泥土の

物理特性(自然含水比 w_n , 比重 s_s , 液性限界 w_L , 塑性限界 w_p)

粒度特性(最大粒径 D_{max} , 75 μm 以下細粒分含有率FC(-75 μm)など)

土中の有機物に関する特性

(含有量によって固化材による固化に阻害を及ぼす場合がある)

を把握する。

2) 底泥土の含水比・粒度

底泥土の含水比、粒度特性は、固化処理による発現強度に直接的に関係するため特に重要である。つまり、同じ底泥土であれば初期含水状態が低いほど少ない固化材添加量でより大きな固化強度が得られ、また粒度も砂や礫分等の粗粒分の多い底泥土では粗粒分が骨材の役割をするので大きな固化強度が得られる。したがって室内配合試験における底泥土の含水比管理は、

- (1) 池内を落水した状態にして、そのまま原位置で底泥土を固化処理する場合、
- (2) 池内を落水した状態にしてから、底泥土を掘削搬出して固化処理ピット内で固化処理する場合、
- (3) 池内を落水せずに、底泥土を浚渫搬出して固化処理ピット内やプラントにより固化処理する場合、

で大きく異なるので、本施工時に近い状態での含水比で行うことが重要である。

また底泥土の粒度は、粒径の大きい粒子から流入部に近

い上流側から堆積してゆくことや、水深の相違による底泥土粒子の沈降特性が異なるので、池内の場所で大きく異なっている。このため効率的な固化処理を行うには、試料の採取を池内の数箇所から行い、その粒径の変動程度を調べ、変動が大きい場合には底泥土の種類を複数に分類しなければならない。この時の試料採取位置は、Fig.10に示すように、池の旧河道に沿って上・中・下流位置、あるいは底泥土が最も厚く堆積している最深部等が適当と考えられる。

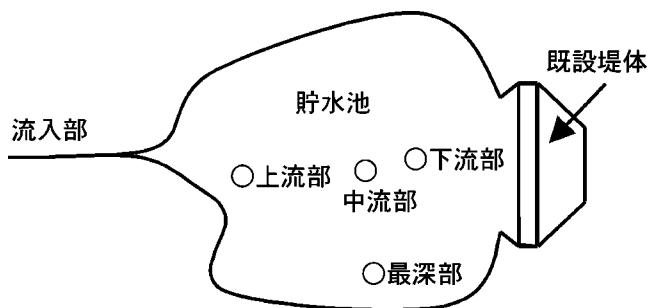


Fig.10 底泥土の池内での採取位置例
Recommendation on sampling location of muddy soil in reservoir

4 目標強度の設定

a 一般事項

設計に用いる固化処理した底泥土の目標強度は、一軸圧縮試験を基本とした室内配合試験を実施して決定する。固化処理した底泥土の強度は養生日数 t とともに増加してゆき、目標強度を設定する養生日数は初期固化土で $t = t_s = 10$ 日目、砕・転圧土では解砕・転圧後の経過日数 t_{cc} と初期固化養生日数 t_s を加えた日数 $t = t_s + t_{cc} = 10$ 日目を標準としている。

砕・転圧盛土工法における固化処理した底泥土の目標強度は、室内配合試験を実施して決定するが、この試験は通常の土質改良工法の場合と同様に一軸圧縮試験を基本として実施するものとする。固化処理した底泥土の強度は養生日数 $t = 3 \sim 7$ 日までが急激に増加してゆき、 $t = 10$ 日目を過ぎるあたりから増加傾向がゆるやかになっていくように養生日数 t とともに増加してゆく傾向を示す。特に、高含水比土に適したセメント系固化材(一般軟弱土用)を用いた場合にこの傾向が強い。

そこで、砕・転圧盛土工法における目標強度は、この養生日数による強度発現傾向を考慮して、強度増加傾向がゆるやかになりはじめる $t = 10$ 日目において設定するものとする。つまり、 $t = 10$ 日目以降の強度増加分は、

・配合試験を簡単な一軸圧縮試験により実施していること、
・堤体設計にとって重要な強度パラメータと一軸圧縮強さの関係性を単純に $q_u = 2 \cdot c$ としていること、など単純化した不確定部分を補うため

の安全側の余裕としている。すなわち、目標強度の設定日は、初期固化土で $t = t_s = 10$ 日目、砕・転圧土では解砕・転圧後の経過日数 t_{CC} に初期固化日数 t_s を加えた $t = t_s + t_{CC} = 10$ 日目とする。

b 固化処理土の目標強度の表示

砕・転圧盛土工法における目標強度は一軸圧縮強さによる。すなわち初期固化土では $(q_u)_s$ により、砕・転圧土では $(q_u)_{\lambda C}$ により表示する。

砕・転圧土盛土工法における固化処理底泥土の強度は、通常の土質改良法と同様に、一軸圧縮強さで表示する。しかし、安定計算で求まる堤体安定に必要な強度は強度パラメータ (c, ϕ) により表示されるので、これと目標強度として与えられる一軸圧縮強さとの関係を設定しておかなければならない。

土地改良事業設計指針「ため池整備」(農水省, 2000)によると、堤高15m未満のため池における傾斜遮水ゾーンはその厚さが薄く、土質のいかに問わず施工中に発生した過剰間隙水圧のほとんどが完成後に消散していることを考慮して、堤体の安定計算には有効応力表示の強度パラメータ (c', ϕ') が必要となってくる。

一方、固化処理した底泥土からなる砕・転圧土は、もともと内部摩擦角 ϕ が小さいことや、ため池のように小規模な堤体では ϕ' の効果が相対的に小さいことを考えて、 ϕ' を無視して $(\phi' = 0)$ 、粘着力 c' のみで考えることができる。したがって、粘着力 c' と一軸圧縮強さ q_u の関係は初期固化土と砕・転圧土でそれぞれ

$$(q_u)_s = 2 \cdot (c')_s, (q_u)_{\lambda C} = 2 \cdot (c')_{\lambda C} \quad (2)$$

とおける。ただし、堤高が10mを超える規模の大きな堤体が対象となる場合には、砕・転圧土の強度パラメータは内部摩擦角を無視することなく、三軸圧縮試験により有効応力表示の (c', ϕ') を厳密に適用することが望ましい。

c 目標強度決定の基本的な考え方

砕・転圧盛土工法による堤体改修あるいは堤体補強の設計は、既設の堤体と砕・転圧土による新設堤体を含む堤体全体が、所定の安全率 FS^* を満足して安定であること、また、そのために必要な新設堤体部の砕・転圧土の目標強度 $c_{Stability}$ を逆算することが基本である。ただし、 FS^* を満足する目標強度 $c_{Stability}$ では、築堤中の施工機械のトラフィカビリティが確保できない場合には、目標強度はトラフィカビリティ確保に必要な強度 $(q_u)_{CCTrafficability}$ により決めることになる。

通常土からなる築堤土により築造する堤体の安定性の検討では、その築堤土が有する強度パラメータ (c, ϕ) を用いた安定計算により目標としている安全率 FS^* が満足されるように堤体断面を決定する。これに対して、砕・転圧盛土工法では、あらかじめ砕・転圧土による堤体改修断面を決定し、既設部と砕・転圧土による新設部を合わせた

堤体全体が所定の安全率 FS^* を満足して安定であるように、新設堤体部の砕・転圧土に必要な強度を逆算する。同時に、砕・転圧土による築堤では築堤面での施工機械のトラフィカビリティが確保されなければならない。すなわち、砕・転圧土の目標強度は、

(1) 既設堤体を改修あるいは補強のために砕・転圧土により築造した堤体部を含む堤体全体が所定の安全率 FS^* を満足して安定であるために必要な砕・転圧土により築造した堤体部に必要な強度 $c_{Stability} (= (q_u)_{\lambda CStability} / 2)$

(2) 施工中の築堤面での施工機械のトラフィカビリティを確保するために必要な強度 $(q_u)_{CCTrafficability}$ の両面から検討され、それらのうち大きい方を

$$(q_u)_{\lambda C}^* = [(q_u)_{\lambda CStability}, (q_u)_{\lambda CTrafficability}]_{max} \quad (3)$$

のように目標強度とする。室内目標強度を設定するための手順をFig.11のフローチャートに示す。

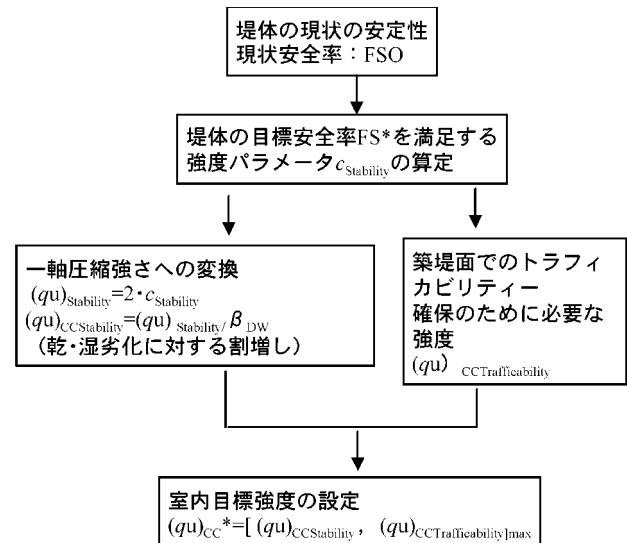


Fig.11 室内目標強度の設定のためのフローチャート
Flow diagram to determine design strength

d 目標強度の設定

1) 堤体盛土の現状安全率の算定

砕・転圧盛土工法は、固化処理した底泥土により既設の堤体へ、堤体の漏水防止のための傾斜遮水ゾーンや、堤体の安定性向上のための腹付け盛土、押え盛土、あるいは貯水容量の増加のための嵩上げ盛土などを築造するものである。したがってまず既設の堤体の現状における安全性を確認するために、安定計算を実施して現状安全率 F_{SO} を算定することになる。

堤体盛土の断面構成は、築造当初の設計図書を入手して調べるとともに、基礎地盤の地盤構成の把握や堤体断面構成の確認は、ボーリング等の土質調査により行う。また堤体や基礎地盤の設計数値(強度パラメータ (c, ϕ) 、密度 t 、遮水性(透水系数 k)など)は原則として堤体や基礎

地盤から不攪乱試料を採取し，三軸圧縮試験，透水試験等を実施して求める。

この安定計算における諸条件は，土地改良事業設計指針「ため池整備」等にしたがって実施するものとする。

2) 堤体安定に必要な強度

既設の堤体に砕・転圧盛土工法による

- (1) 漏水対策のための傾斜遮水ゾーン (前刃金工)
- (2) 安定性を高めるための腹付け・押え盛土 (補強盛土工)
- (3) 貯水容量増大のための高上げ盛土

を築造した時の，新設堤体部の砕・転圧土の強度パラメータ $c_{Stability}$ は，既設堤体と新設堤体部を含めた堤体全体の安定計算により，目標とする安全率 FS^* を満足するような値 $c_{Stability}$ を逆算により決める。そして得られた強度パラメータ $c_{Stability}$ から，堤体安定に必要な砕・転圧土の一軸圧縮強さ

$$(q_u)_{Stability} = 2 \cdot c_{Stability} \quad (4)$$

を算定することになる。

傾斜遮水ゾーン等の新設堤体の構造や形状の設計は，既設堤体を含めた堤体全体やそのため池の用途等に配慮して，これまでの通常土による改修・補強事例，あるいは上記の土地改良事業設計指針「ため池整備」³⁾等を参考に，適切に行う。そして，既設堤体と固化処理底泥土で造成する新設堤体を含めた堤体全体の安定計算を実施し，目標とする安全率 FS^* を満足する新設堤体部に必要な砕・転圧土の強度パラメータ $c_{Stability}$ を算定する。安定計算は，Fig.12概念的に示すように，砕・転圧土の内部摩擦角を $\Phi = 0$ にして粘着力 c をパラメトリックに変えて行って安全率 FS と粘着力 c の関係を求め，目標安全率 FS^* に相当する粘着力 $c_{Stability}$ を求める。そして得られた強度パラメータ $c_{Stability}$ から，堤体安定に必要な砕・転圧土の強度

$$(q_u)_{Stability} = 2 \cdot c_{Stability} \quad (5)$$

を算定する。

3) 乾・湿繰返しによる強度劣化への強度割増し

堤体安定に必要な砕・転圧土の強度 $(q_u)_{CCStability}$ は，堤体の安定計算から得られた FS^* を満足する強度 $(q_u)_{Stability}$ を，その堤体が受ける乾・湿繰返しの影響による強度劣化を考慮した割増しを行う必要がある。

$$(q_u)_{CCStability} = (1 / DW) \cdot (q_u)_{Stability} \quad (6)$$

である。

堤体安定性 (安定計算) に必要な強度 $(q_u)_{Stability}$ は，乾・湿繰返しによる影響を考慮して割増しを行う。最終的な堤体表面の覆土の有無にも影響されるが，日照や降雨等による乾燥状態と湿潤状態の繰返し履歴による強度劣化があり，これを考慮した強度の割増しを行う。乾・湿繰返し

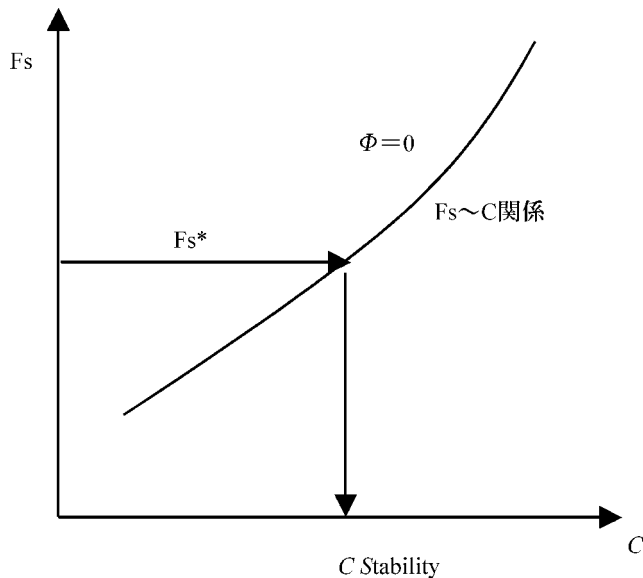


Fig.12 目標安全率を確保するための粘着力 $c_{Stability}$ Cohesion $c_{Stability}$ to secure safety factor of embankment

履歴を加えた時の固化処理土 (砕・転圧土) の強度低下を調べた室内試験によると，乾・湿繰返し履歴を受けた砕・転圧土の強度劣化は，乾・湿繰返し履歴のない場合に比較するとせいぜい2割程度であることが確認されているので，強度低下比は $DW = 0.8$ とおける。したがって堤体安定に必要な砕・転圧土の強度は，この影響に対する強度割増しをした

$$(q_u)_{CCStability} = (1 / DW) \cdot (q_u)_{Stability} \quad (7)$$

とする。

また寒冷地では凍結融解による強度劣化の影響も考慮する必要があるが，これはその地域の凍結深さを考慮した対応が望まれる。

4) トラフィカビリティー確保に必要な強度

ため池のような小規模ダムは堤高が低く堤体安定に必要な強度はそれほど大きくはないため，堤体安定に必要な強度 $(q_u)_{CCStability}$ が，堤体施工中の施工機械のトラフィカビリティーに必要な強度 $(q_u)_{CTrafficability}$ より小さい場合が多い。この場合には目標強度はトラフィカビリティーにより決めることになることが多い。

ため池は堤高の低い小規模なものが多く，堤体安定に必要な強度はそれほど大きくはない。そのため，堤体安定に必要な強度 $(q_u)_{CCStability}$ は，堤体施工中の施工機械のトラフィカビリティーに必要な強度 $(q_u)_{CTrafficability}$ より小さく

$$(q_u)_{CCStability} < (q_u)_{CTrafficability} \quad (8)$$

の場合が多い。この場合に築堤に使用する固化処理底泥土の目標強度は，築堤面での施工機械の走行に必要なトラフィカビリティーにより決めなければならない。

施工中の堤体面での施工機械のトラフィカビリティに必要な強度 $(q_u)_{\lambda_{\text{trafficability}}}$ は、土地改良事業設計指針「ため池」に示されている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の目安となるコーン指数

$$q_c = 490 \text{ kN/m}^2 \quad (9)$$

から決定するものとする。なお、この値は「道路土工 - 施

Table 5 建設機械の走行に必要なコーン指数
(道路土工 施工指針に加筆)

Cone index required of trafficability of construction vehicles (correct to earth work manual for road construction(JH))

建設機械の種類	コーン指数 q_c (MN/m ²)	建設機械の 接地圧 (kN/m ²)
超湿地ブルドーザ	0.2以上	15~23
湿地ブルドーザ	0.3 "	22~43
普通ブルドーザ (15t級程度)	0.5 "	50~60
普通ブルドーザ (21t級程度)	0.7 "	60~100
スクレープドーザ	0.6 " (超湿地 型は4以上)	41~56(27)
被けん引式スクレー パ(小形)	0.7 "	130~140
自走式スクレーパ (小形)	1.0 "	400~450
ダンプトラック	1.2 "	350~550

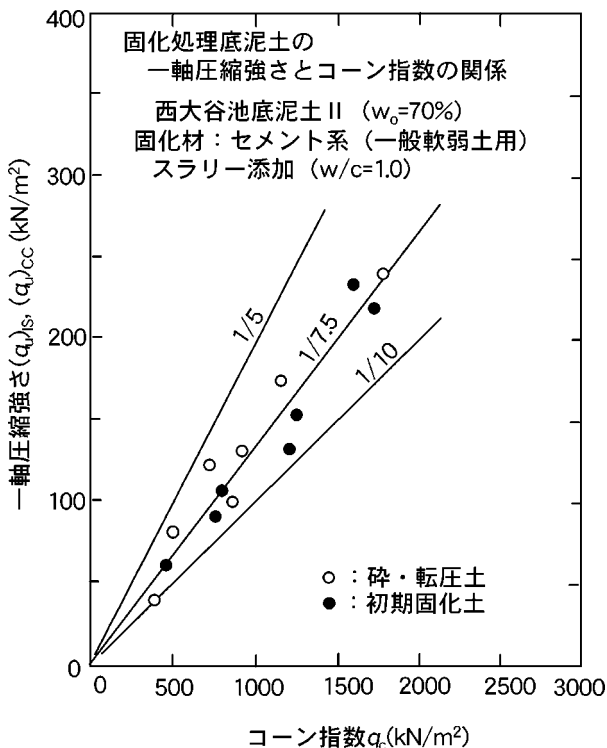


Fig.13 固化处理土の一軸圧縮強さ q_u とコーン指数 q_c の関係

Relationship between unconfined compressive strength q_u and cone index q_c in stabilized muddy soil

工指針」(日本道路協会, 1986)の建設機械の走行に必要なコーン指数 q_c (Table 5) によると15t級普通ブルドーザに相当している。このトラフィカビリティ強度の目安となるコーン指数 q_c と一軸圧縮強さ q_u の関係は普通沖積粘土や洪積粘土では変換式

$$q_u = q_c / (5 \sim 10) \quad (10)$$

が提案されている。各種の底泥土を固化処理した時の $q_u \sim q_c$ 関係をFig.13に示すが、試験データは上述の変換式の範囲にありこれらの平均値に相当する

$$(q_u)_{\lambda_{\text{trafficability}}} = q_c / 7.5 \quad (11)$$

で近似できる。これから算定される $(q_u)_{\lambda_{\text{trafficability}}}$ は、初期固化土を解砕・転圧した直後の $t_{CC} = 0$ 日目の強度 $(q_u)_{CC0}$ に相当するので、

$$(q_u)_{CC0} = (q_u)_{\lambda_{\text{trafficability}}} = 65 \text{ kN/m}^2 \quad (12)$$

となる。この $(q_u)_{CC0}$ は、養生日数 t_{CC} とともに固化が進み目標強度設定日の $t_{CC} = 7$ 日目に発揮される砕・転圧土の強度 $(q_u)_{CC7}$ に変換したものが $(q_u)_{CC\text{Trafficability}}$ になる。この $(q_u)_{CC7}$ と $(q_u)_{CC0}$ の関係は、各種の底泥土について W_c や w を変えて実施した配合試験から求めた $(q_u)_{CC7} \sim (q_u)_{CC0}$ 関係を直線近似したFig.14からわかるように、底泥土の種類によらず同じような関係となるので、 $(q_u)_{CC\text{Trafficability}}$ はおよそ

$$(q_u)_{CC\text{Trafficability}} = (q_u)_{CC7} = 120 \sim 140 \text{ kN/m}^2 \quad (13)$$

で与えられる。

室内目標強度

室内目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ は、堤体安定性(安定計算)による強度 $((q_u)_{CC\text{Stability}}$ と施工機械のトラフィカビリティによる強度 $(q_u)_{CC\text{Trafficability}}$ を比較して

$$(q_u)_{CC}^* = [(q_u)_{CC\text{Stability}}, (q_u)_{CC\text{Trafficability}}]_{\text{max}}$$

で決定する。この砕・転圧土状態での目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ は初期固化土の解砕・転圧による強度低下比 R を考慮することで初期固化土状態での目標強度 $(q_u)_s^*$ に

$$(q_u)_s^* = (q_u)_{CC}^* / R$$

のように変換できる。

砕・転圧土状態での目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ は、初期固化状態での強度 $(q_u)_s$ と初期固化土を $t = t_s$ 日目に解砕・転圧したときの強度 $(q_u)_{CC}$ との比で定義した強度低下比 R ($t = t_s + t_{CC} = 28$ 日目における値とする)

$$(q_u)_s = (q_u)_{CC} / R \quad (15)$$

を用いて初期固化状態での強度 $(q_u)_s^*$ に変換できる。初期固化土を解砕するまでの養生日数 t_s は、砕・転圧土の用

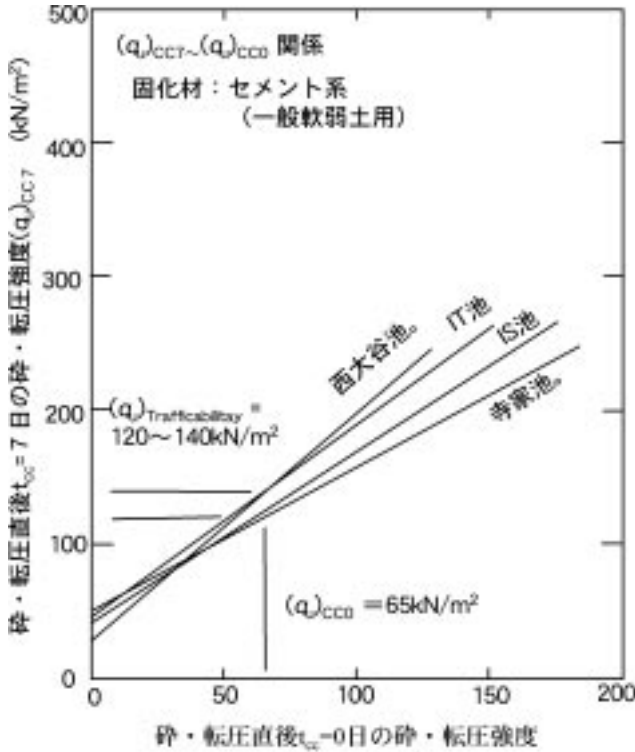


Fig.14 砕・転圧土の解砕・転圧直後 $t_{CC}=0$ 日目の強度 $(q_u)_{CC0}$ と解砕・転圧後 $t_{CC}=7$ 日目の強度 $(q_u)_{CC7}$ の関係
Relationship between unconfined compressive strength $(q_u)_{CC0}$ and $(q_u)_{CC7}$ in stabilized muddy soil

途や目標強度の大きさにより、 $t_s = 1$ 日～5日の範囲から選択するが、通常のため池改修工事では $t_s = 3$ 日(この時の強度低下比を $R = R_3$ とおく)を標準としている。この R_3 は配合試験を実施して決定しなければならないが、細粒分含有率 $FC(-75\mu m)$ の異なる各種底泥土の試験から得られたFig.15に示す試験データから概略値を推定することも可能である。75 μm 以下の細粒分含有率 $FC(-75\mu m)$ が80%以上含まれる通常底泥土では

$$R_3 \approx 0.5$$

であることがわかる。したがって、この場合には

$$(q_u)_s^* = (q_u)_{CC}^* / R_3 \quad (2 \cdot (q_u)_{CC}^*) \quad (16)$$

となる。

e 遮水性と沈下を考慮した遮水性基準値と目標強度の設定

1) 砕・転圧土の遮水性に対する基準値と強度, 解砕粒径

砕・転圧土を遮水性材料として適用するには, 遮水性基準値

(1) 現場透水係数で $k = 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$

(2) 室内透水係数で $k = 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$

を確保し, かつ堤体の安定性あるいはトラフィカビリティーを確保できる強度を満足している必要がある。

砕・転圧土を遮水用築堤土として用いる場合には, 堤体

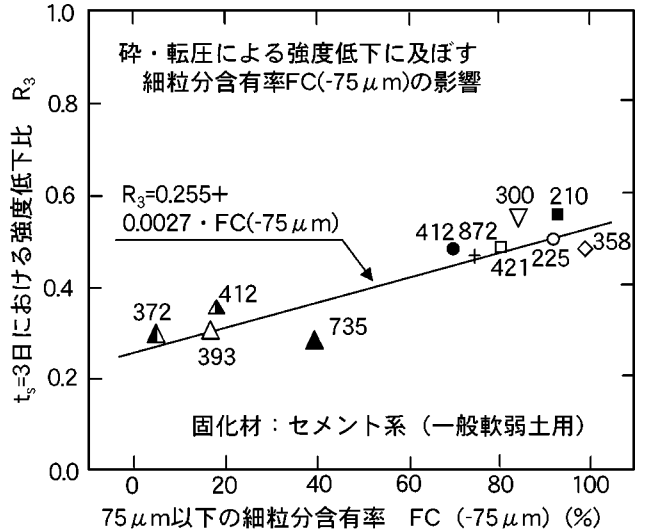


Fig.15 各種底泥土の $t_s = 3$ 日における強度低下比 R_3 と細粒分含有率 $FC(-75\mu m)$ の関係
Relationship between strength reduction ratio R_3 and fine fraction content $FC(-75\mu m)$ of various muddy soils

の遮水性のみ確保したい場合と, 遮水性ととも堤体の安定性も同時に確保したい場合が考えられる。前者は安定性に関係なく遮水性だけが問題の場合であるが, この場合でも築堤時の施工機械のトラフィカビリティーは確保する必要があるため, ある程度の強度を必要とする(一軸圧縮強さで $(q_u)_{CC0} = 65 \text{ kN/m}^2$ (3.6))。また後者では堤体の安定性と遮水性と両方を同時に満足させるために, 初期固化土を解砕するときの粒径に注意が必要となる。一般的には解砕粒径と強度あるいは遮水性の関係はTable 6のようになるが, 遮水性を確保できる範囲で最も粗粒状態で解砕するとともに, 粗い粒子と細かい粒子を適度に含むように解砕する必要がある。

Table 6 解砕粒径と安定性・遮水性の関係
Relationship between maximum particle size and soil properties

	解砕時の粒径範囲	
	細粒	粗粒
安定性	小	大
遮水性	大	小

このような関係は一義的にきまるのではなく, 底泥土の粒径の大きさ, 粒度分布に依存することになる。一般的には細粒分の多い, 75 μm 以下の細粒分含有率 $FC(-75\mu m) = 60\%$ 以上の通常底泥土の遮水性は, 解砕時の最大粒径 D_{max} に関係なく上述の基準値はほぼ確保できるので, 粗粒状態で解砕できる。一方, 細粒分が少ない底泥土($FC(-75\mu m) < 60\%$)では, 少ない固化材添加量で強度を確保しやすいが遮水性は解砕時の最大粒径 D_{max} に依存するため, 細粒状態で解砕しなければならない。このあたりの解砕粒径と遮水性・強度の関係は, 対象となる底

泥土の実大レベルの解砕粒径での確認が可能な試験施工により調べることが望ましい。

2) 砕・転圧土の沈下に対する目標強度

砕・転圧土により築造した堤体が過大な沈下を生じないために、目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ は、堤体の最大土被り圧 $V_{max} (= \gamma_{tCC} \cdot g \cdot Z_{max})$ を下回ることがないように

$$(q_u)_{CC}^* \geq \gamma_{tCC} \cdot g \cdot Z_{max} \quad (17)$$

で設定することになる。

砕・転圧土により堤体を築造してゆくと、堤体内の土の要素が受ける土被り圧により圧縮沈下するが、この沈下により堤体の安定や遮水性に有害な影響があってはならない。特に砕・転圧土は、固化処理土であるから、過大な沈下は固結構造の破壊に関連していることに注意しなければならない。

これまでの砕・転圧土の圧縮沈下試験によれば、沈下が急増する時の鉛直応力を降伏応力 v_Y とすると、 v_Y はほぼ一軸圧縮強さ $(q_u)_{CC}$ に比例関係

$$v_Y = (1.0 \sim 2.0) \times (q_u)_{CC}$$

にある¹⁾。そこでFig.16に示すように、目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ が盛立てによる最大土被り圧 $V_{max} (= \gamma_{tCC} \cdot g \cdot Z_{max})$ より大きければ、固結構造の破壊を伴うような過大な沈下は生じないので、過大な沈下を防止するための目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ は、

$$(q_u)_{CC}^* \geq V_{max} (= \gamma_{tCC} \cdot g \cdot Z_{max}) \quad (18)$$

として設定するものとする。

堤高が大きい堤体では、目標強度を最大土被り圧 $V_{max} (= \gamma_{tCC} \cdot g \cdot Z_{max})$ に合わせて堤体全体を同一に設定すると、土被りの浅い堤体上層部では砕・転圧土の強度 $(q_u)_{CC}^*$ が堤体安定に必要な強度 $(q_u)_{CCStability}$ 以上になる部分ができ、砕・転圧土による新設堤体部と既設堤体とのなじみが悪くなる恐れが生じる。このため堤高が10mを越える堤体の場合には、Fig.17に概念的に示すように、土被り圧 v が堤体安定に必要な強度 $(q_u)_{CCStability}$ より小さくなる堤体上層部 ($v < (q_u)_{CCStability}$) と、土被り圧 v が $(q_u)_{CCStability}$ より大きくなる下層部 ($v > (q_u)_{CCStability}$) とで配合を変えるなどの工夫をすることが必要である。

堤体上層部での目標強度：

$$(q_u)_{CC}^* = (q_u)_{CCStability} \quad (v < (q_u)_{CCStability}) \quad (19)$$

堤体下層部での目標強度：

$$(q_u)_{CC}^* \geq V_{max} \quad (v > (q_u)_{CCStability}) \quad (20)$$

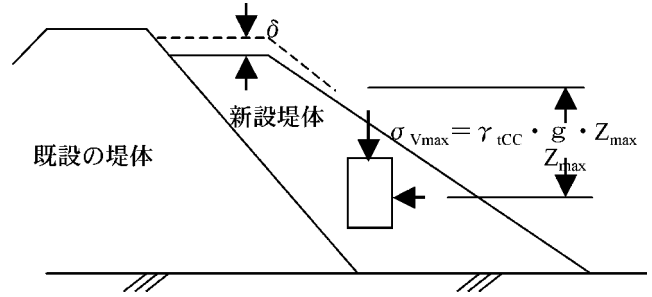


Fig.16 圧密降伏応力に対する目標強度
Design strength determined by consolidation yield stress

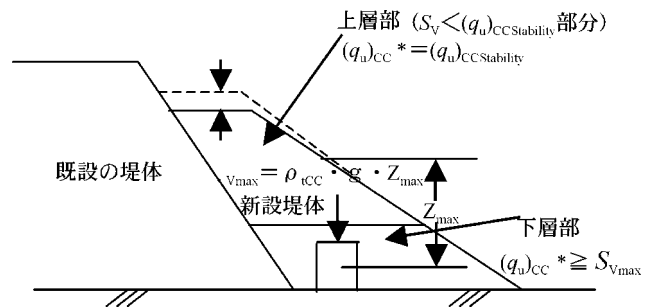


Fig.17 堤体位置による目標強度の設定を変える場合
Changing of design strength according to elevation of embankment

5 配合設計のための室内配合試験

a 一般事項

底泥土を固化処理するための配合設計は、所要の強度と遮水性を有する砕・転圧土により堤体を築造できるように、底泥土の物理特性を考慮する。室内配合試験をもとに、使用する固化材の種類、初期固化土の解砕までの初期固化養生日数 $t = t_S$ 、固化材添加量 WC を決定する。また必要に応じて試験施工を実施することになる。

1) 配合試験

室内配合試験は、原則として地盤工学会基準である

一軸圧縮試験 (JGS 0511)

安定処理土の締固めをしない供試体作製 (JGS 0821)

に準じて行う。

2) 配合試験で考慮すべき事項

- 一般に、底泥土を固化処理した時の強度は、その含水比 w により大きく変化し、同じ固化材添加量 WC であれば含水比 w が低い方がより高い強度になる。しかし底泥土の種類が違っていると、Fig.18に示すように固化材添加量 WC が同じでも含水比 w が低い方が高強度となる訳ではなく、底泥土の物理・化学的性質に強く依存していることがわかる。このため、合理的な目標強度を確保するための配合設計には室内配合試験の実施が不可欠であり、その場合には、
- (1) 底泥土の性状 (物理・化学的特性, 含水状態, 粒度特性等)
- (2) 固化材の種類 (セメント系, 石灰系, 普通セメント,

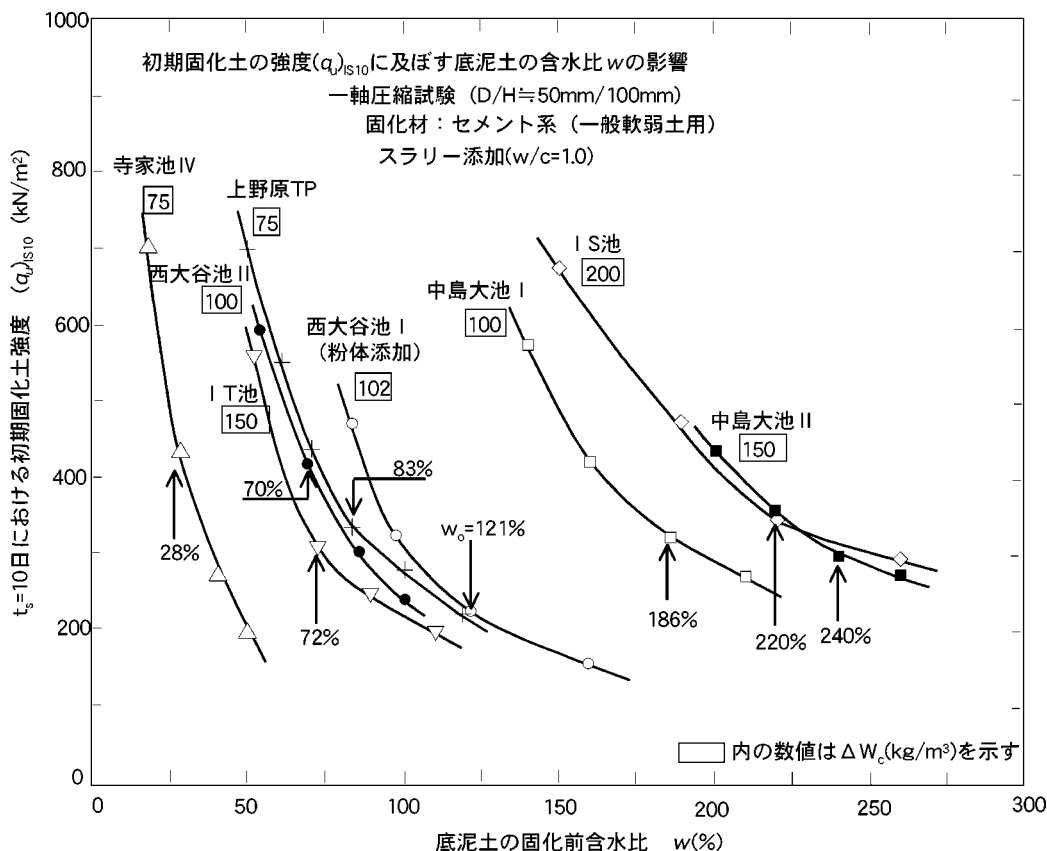


Fig.18 各種底泥土による強度 $(q_u)_{IS10}$ と含水比 w の関係
 Relationship between unconfined compressive strength $(q_u)_{IS10}$ and water content w in various muddy soil

その他)

- (3) 底泥土への固化材の添加方法 (スラリー添加, 粉体添加)
- (4) 水・固化材比 (スラリー混合の場合)
- (5) 固化材の攪拌・混合方法
- (6) 養生条件 (地下水位, 土による被覆度合い, 植生の有無等の環境)

等を考慮しなければならない。

3) 三軸圧縮試験

堤体の安定計算により得られる所定の安全率 FS^* を満足して安定であるために必要な築堤土の強度は強度パラメータ (c, ϕ) により与えられる。しかし強度パラメータを直接求められる三軸圧縮試験は, 手間と費用がかかり, 固化材の種類や添加量 W_c , 養生日数 t , 底泥土の含水比 w 等の各種条件を変えた大量の強度試験を実施しなければならない配合試験には不向きである。そのために室内配合試験は試験が簡単な一軸圧縮試験の実施を基本とする。

しかし, 一軸圧縮試験は無拘束状態で圧縮破壊をさせた時の強度を求めるため, 堤体内の土要素のようにある拘束圧下に置かれた土の強度特性を正確に求められないことに注意しておく必要がある。したがって規模が大きい堤体を対象とする場合や, 固化処理土の強度や変形特性を正確に知りたい場合には三軸圧縮試験を実施することが望まし

い。

b 室内配合試験のフローチャート

砕・転圧盛土工法における底泥土の固化処理土は, Fig.19に示すフローチャートにしたがって室内配合試験を実施し, 現場で目標強度を確保できる固化材添加量を決定することになる。

室内配合試験は底泥土を固化処理した時の一軸圧縮強さ $(q_u)_{IS}$ あるいは $(q_u)_{CC}$ に及ぼす固化材添加量 W_c , 養生日数 t_S (あるいは t_{CC}), 含水比 w 等の影響を調べるために実施する。

c 試料採取

池内に堆積した底泥土から, 室内配合試験の実施に十分な足りる量を採取する必要がある。堆積している底泥土の粒度や含水状態は池内の場所, つまり堤体に近い水深の大きい箇所や, 堤体から離れた上流側の水深の小さい箇所により大きく異なる場合があるので, 試料採取は池の数箇所から行うことが原則である。この場合には底泥土を一種類に限定せずに, 含水比や粒度により複数種類に分ける必要があるが (底泥土毎に配合を設定することになる), 分類した底泥土の堆積土量が少ない場合にはあえて細かく分類しない。

また, 落水していない貯水中の池から試料を採取するには, ボート上からエックマンバージ等の採取器を用いて採

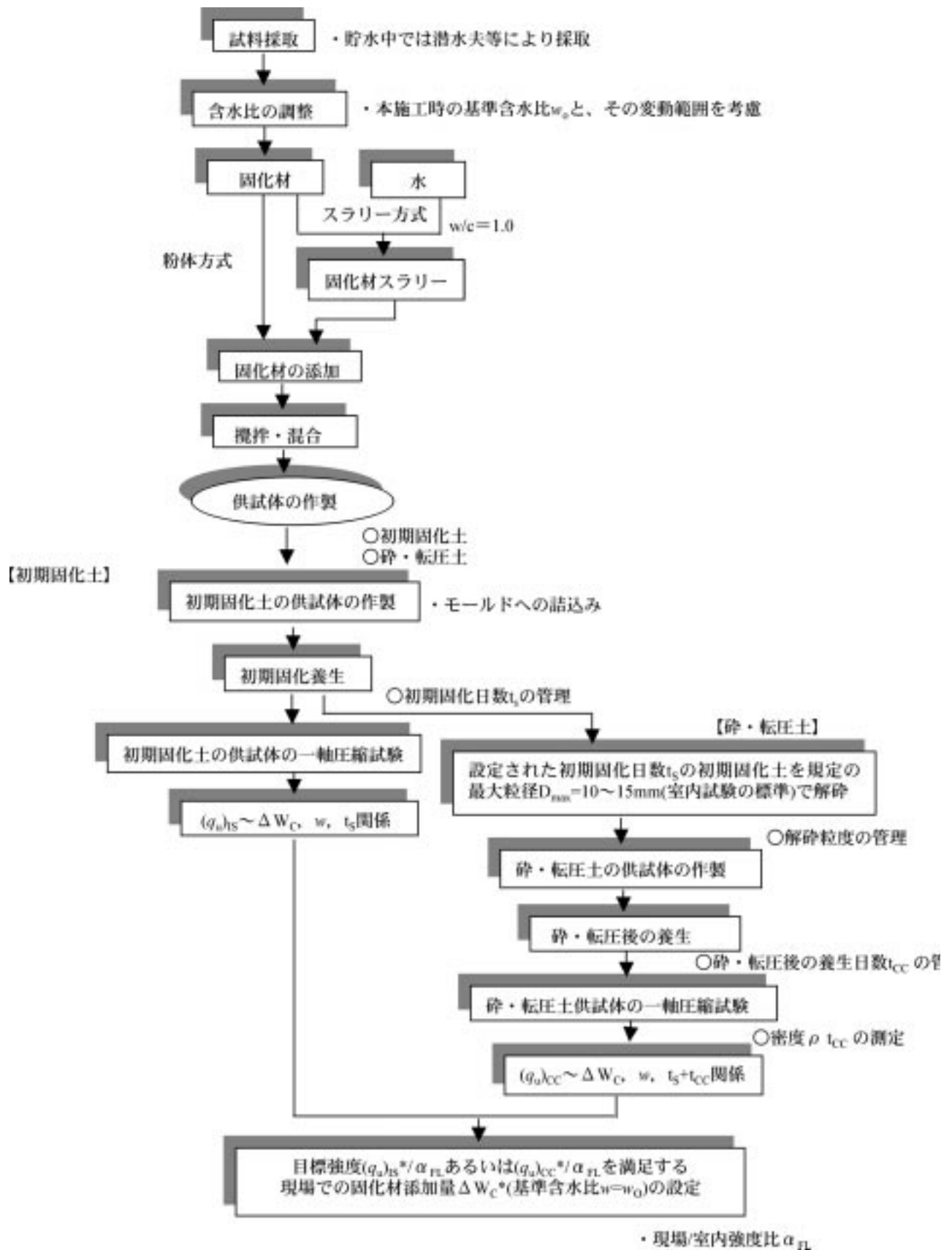


Fig.19 室内配合試験のフローチャート（固化処理土の準備，初期固化土と砕・転圧土の供試体の作製と試験の実施）
Flow diagram of laboratory test for mixing design (preparation of cement-stabilized soil)

取する方法、潜水夫により直接採取する方法がある。前者は経済的な方法であるが、必要量確保するのに時間がかかる、池底の状況がわからないなどの問題がある。これに対して、潜水夫による方法は高価であるが、池底の底泥土の堆積状況を知ることができる、希望する箇所から必要量を採取できる利点がある。

d 底泥土の含水調整

室内配合試験は、現場で想定される底泥土の含水比範囲内で基準となる含水比状態 $w = w_0$ を決め、これを中心に実施工時に予想される含水比の変動幅をカバーするような範囲内で含水調整した底泥土について実施することになる。

底泥土はもともと高含水比の軟弱土であるが、含水状態により固化処理強度は大きく変化し、一般に所定の強度を確保するには含水比が高いほど固化材量は増加する。したがって、より合理的な配合設計のためには、室内配合試験における底泥土の含水状態 w は実際に施工する時の含水条件に近いことが必要である。例えば、落水した状態で原位置固化処理をする場合、あるいは底泥土を浚渫等により搬出しプラントやピット内で固化処理する場合に分けられるが、これらの固化処理法によっても固化処理する時の含水状態は異なる。しかし、この現場での含水状態を推定することは難しいため、まず配合試験は現場でありうる底泥土の含水比範囲内で基準となる含水比状態 $w = w_0$ を決める。そしてこれを中心に実施工時に予想される含水比の変動幅をカバーするような範囲内で含水調整した底泥土 (w_0) を中心に、最低でも低い方へ1段階以上 ($w^- < w_0$)、高い方へ1段階以上 ($w^+ > w_0$) 変化させた3段階以上の含水比について実施するものとする。

e 固化材

1) 固化材の選択

底泥土の性状(物理・化学的特性、含水状態、粒度特性等)により効率的な固化処理に適した固化材があるので、室内配合試験では施工現場で入手可能な数種類の固化材を選択して、事前の室内配合試験により最適な固化材を決めることになる。

固化材にはセメント系、石灰系、セメント・石灰系、普通セメントなど、固化対象である底泥土の性状(物理・化学的特性、含水状態、粒度特性等)により適切な固化材がある。室内配合試験では施工現場で入手可能な数種類の固化材を選択して、本施工で使用する固化材を決める。

この固化材の選定では、底泥土のような高含水比粘性土に適していること、本工法が $t_s = 3$ 日間程度の初期固化養生後に解砕しなければならないことから初期に大きな強度発現が必要なこと、また既設の堤体との極端な剛性の相違が少ないようにするために長期的に必要以上の強度増加がないことが必要である。これまでの経験では、セメント系固化材(一般軟弱土用)が、養生初期に大きな強度発現特

性を示すこと、またセメントメーカー各社が商品名は異なるもののほぼ同様な品質の製品を供給し全国どこでも入手可能なことなどを考慮すると、最も適しているように考えられる。

2) 固化材の添加量の表示

室内配合試験における底泥土への固化材添加量 W_C は本施工で想定される値をカバーするように3~4段階を設定することになる。

配合試験時の底泥土に添加する固化材添加量 W_C は、底泥土 1m^3 当りの質量 (kg/m^3) で表示するものとし、底泥土の物理特性や粒度特性を考慮して、本施工で想定される添加量をカバーできるように3~4段階、例えば

$$W_C = 50, 100, 150, 200\text{kg}/\text{m}^3$$

のように設定する。この W_C は底泥土の種類により異なり、高含水比であるほど、あるいは粘土分が多いほど増加させる。室内試験で使用する底泥土に対する固化材添加量の計量は、底泥土の原位置堆積状態の湿潤密度 ρ_t が必要である。この ρ_t がわからない場合にはFig.20に示すヘドロ口や泥土の湿潤密度 ρ_t ~ 自然含水比 w 関係⁴⁾ から推定する。あるいは、以下に示す底泥土の湿潤質量 W に対する固化材添加量 W_C で表示される固化材添加率 C_W

$$C_W = (W_C/W) \times 100 (\%) \quad (21)$$

により添加量を設定して、室内配合試験を実施する。そして本施工時に原位置堆積時の湿潤密度 ρ_t を測定し、固化材添加率 C_W で設定した固化材添加量を底泥土の単位体積当たりの固化材添加量 W_C

$$W_C = \rho_t \cdot (C_W/100) \quad (22)$$

に変換する。

3) 固化材の添加方法

室内配合試験における底泥土への固化材の添加方法は、本施工時に計画されている方法(粉体方式又はスラリー方式か)を採用することになる。

1) 固化材の添加方法

底泥土への固化材の添加方法は、粉体状態のまま直設添加する粉体方式と、スラリー状態で添加するスラリー方式がある。

砕・転圧盛土工法は所要の強度と遮水性を有する均一な堤体を築造することを目指したものであるため、均一性の高い混合が可能なスラリー方式(その時の水・固化材比は $w/c = 1.0$ を標準とする)で添加する。ただし粉体方式は、加水しないで固化材のみを添加するため底泥土の含水比を高めないで経済的な固化処理が可能で、工事規模が小さい場合や近くに民家がなく粉塵被害を及ぼす可能性のない場合には適用を検討する。

(1) 粉体方式

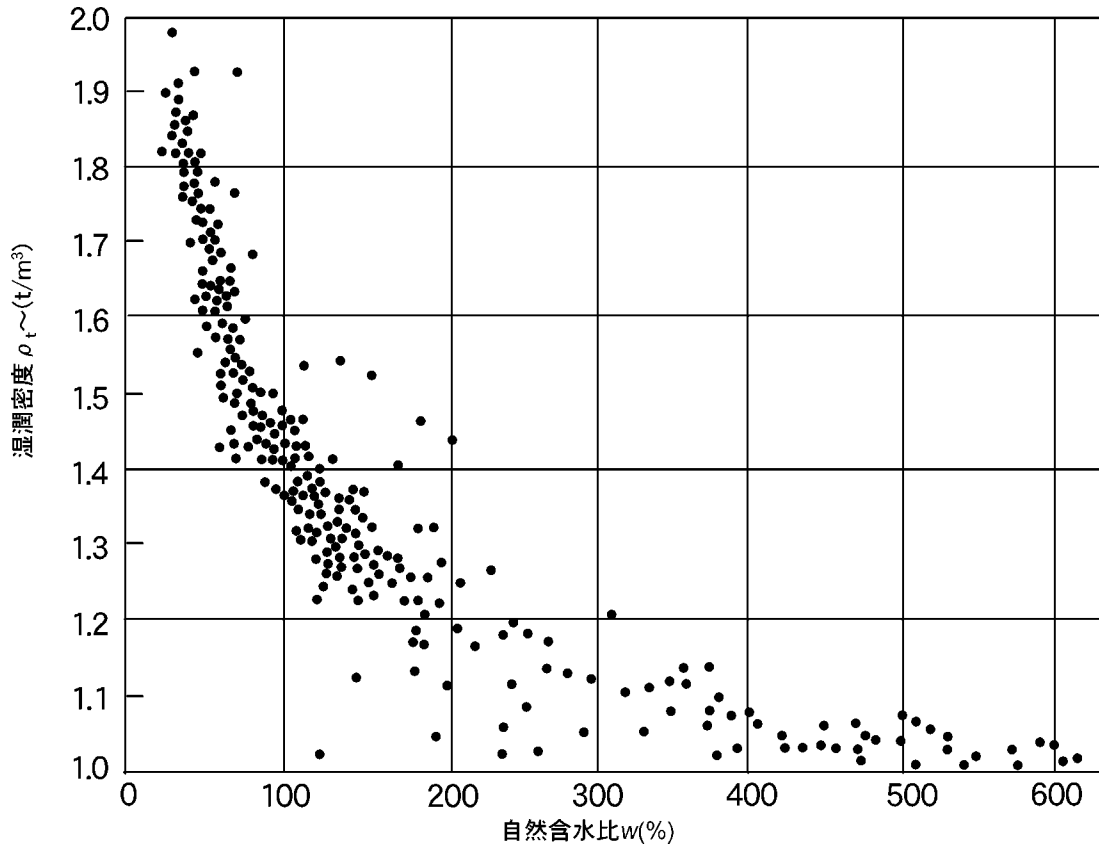


Fig.20 湿潤密度 ρ_t ~ 自然含水比 w の関係(セメント協会, 1994)
Relationship between of wet density ρ_t and water content w in muddy soil

フレコンや空気圧送などにより直接固化材を添加する方法であるが、混合の効率や均一性はスラリー方式に劣るため、後述する現場・室内強度比 f_L を小さい値とするなどの対策が必要である。

(2) スラリー方式

固化材にある一定の割合で水を加えてスラリー状態にして底泥土に添加するもので、加水量の表示は水と固化材の質量比である水・固化材比 w/c により表示する。この方式は、加水分だけ固化材と底泥土を含めた全体の含水比を高めるが、取扱いが容易で、混合の効率や均一性が高いこと、粉塵が発生しないなど粉体方式より優れている。

2) スラリー混合方式の場合の密度管理

固化材をスラリー状態で添加する場合には所定の水・固化材比 w/c に相当する水を固化材に加え、スラリー化した固化材を準備する。なお、この使用する混合水は、原則として、施工現場で使用する水を用いる。そして準備したスラリーの密度は以下の式で算定される所要値を満足すること ($\pm 2\%$ 以内であること) を確認する。

スラリー密度： ρ_{SL}

スラリー密度 ρ_{SL} は固化材密度 ρ_c と水・固化材比 w/c から算定できる。つまり、

$$\text{スラリー質量：} W_{SL} = W_C + W_{CW} = W_C \cdot [1 + (w/c)] \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{スラリー容積：} V_{SL} &= V_C + V_{CW} \\ &= W_C / \rho_c + W_{CW} / \rho_w \\ &= W_C \cdot [1 / \rho_c + (w/c) / \rho_w] \end{aligned} \quad (24)$$

より下のように得られる。

$$\rho_{SL} = W_{SL} / V_{SL} = [1 + (w/c)] / [1 / \rho_c + (w/c) / \rho_w] \quad (25)$$

f 底泥土と固化材の混合・攪拌処理土の準備

室内配合試験に使用する固化処理底泥土の供試体は、室内試験用の混合機械(小型ミキサー)を用いて、底泥土と固化材を1分間程度混合・攪拌して準備した処理土により作製する。

室内配合試験に使用する固化処理底泥土の供試体を作製するために、底泥土と固化材を混合・攪拌した処理土を準備する。この処理土の準備は原則として「安定処理土の締固めをしない供試体作製」(JGS T821) に準じて行う。小型ミキサーによる混合・攪拌時間は、混合時間による混合程度の差をなくするため1分間以上とする。また、混合機械である小型ミキサーの混合形式や機種を指定してないのは、室内で使用する混合機械は混合形式や機種によらず1

分間程度の時間を費やして混合すれば、一様な混合が可能であることからである。

g 固化処理土供試体の作製

1) 初期固化土供試体の作製

一軸圧縮試験に使用する初期固化土の供試体は、供試体寸法に対応した寸法をもつモールド内に気泡や空洞が残らないように一様に詰めて作製する。

供試体の作製は地盤工学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体作製」(JGS 0821)に準じて行う。供試体の寸法は実施する試験の種類により異なるので、供試体作製はその寸法に応じた大きさのモールドを使用する。室内配合試験の基本的な試験である一軸圧縮試験は、一般的に底泥土がシルト・粘土分を多く含み最大粒径が小さいので、直径(内径)D高さHの比がD/H=50mm/100mmを標準とする。そして初期固化土の供試体は、この二割りモールド内にまだ固化しない処理土を詰め、室内で所定時間(初期固化状態での養生日数を t_s とおく)養生して固化させる。なお、処理土をモールド内に詰める時には供試体内部に気泡が残らないようにモールドで床を叩くようにするとよい。

(供試体寸法に関する注意)

改修予定のため池の条件によっては、底泥土だけでは築堤土量に不足するなどのため、底泥土に堤体の段切りや傾斜遮水ゾーンの止水トレンチの掘削により発生する土砂、あるいは貯水容量を確保するために池敷を掘削して発生する土砂等を混合して使用することも考えられる。この場合、底泥土に混合する掘削発生土の粒径が大きい場合には標準の供試体寸法D/H=50mm/100mmよりも大きなものを使用しなければならない。

2) 砕・転圧土供試体の作製

砕・転圧土の供試体は、所定の初期固化養生日数 $t = t_s$ を経過した初期固化土を最大粒径が $D_{max} = 10 \sim 15$ mm程度になるようにストレートエッジ等により解砕してから、供試体作製モールド内で2層に分けて、突固めランマーにより所定の締固めエネルギーになるように突き固めて作製する。

(初期固化土の解砕粒径 D_{max})

初期固化土を解砕した時の最大粒径 D_{max} の大きさは、解砕土を転圧した時の強度や遮水性に影響を及ぼす。したがって、供試体を作製するときの解砕粒径は本施工に近い大きさが望ましいが、実際の解砕粒径に合わせた供試体を作製しようとすると非現実的な大型試験が必要となってしまう。そこで室内配合試験では室内試験に適した粒径範囲で解砕した初期固化土の粒子で供試体を作製し、一種のインデックス試験として室内配合試験を実施するものとする。そして、室内試験用供試体の強度と本施工における現場強度の相違は、後述する現場/室内強度比 F_L により補正するものとする。

砕・転圧土の一軸圧縮試験の供試体寸法は、初期固化土と同じ直径・高さ比D/H=50mm/100mmを標準とし、解砕時の最大粒径 D_{max} はこの供試体寸法でも試験可能な大きさとして $D_{max} = 10 \sim 15$ mm程度とする。なお、初期固化土の解砕方法はデータのバラツキなど試験結果に大きな影響を及ぼすので、慎重に行なわなければならない。

砕・転圧土の供試体の作製は地盤工学会基準「安定処理土の突固めによる供試体作製」(JGS T811)に準じて行うが、詳細な方法は以下に示す。

初期固化土の供試体と同寸法の供試体を複数本作製できるように、やや大型のモールド内に、例えばD/H=100mm/200mmのモールド内に、まだ固化しない処理土を詰め(中に気泡が残らないようにする)、室内で所定期間 $t = t_s$ だけ養生した初期固化土を準備する。

この初期固化土を、モールドから取り出して、ストレートエッジで最大粒径 $D_{max} = 10 \sim 15$ mm程度の塊状になるように砕く。

砕いた初期固化土をD/H=50mm/100mmのモールド内でL=2層に分けて、標準締固め試験(JGS 0711)の突固め方法のA法と同じ締固めエネルギー $EC = 551 \text{ kJ/m}^3$ になるように、各層について質量 $W = 1.525 \text{ kg}$ のランマー(落下高さ $H = 20 \text{ cm}$)により突き固め、所定期間 t_{cc} だけ室内で養生する(t_{cc} は初期固化土を砕いて転圧してから試験実施までの養生期間)。したがって、砕・転圧土の初期固化状態から試験までの全養生日数 t は

$$t = t_s + t_{cc} \quad (26)$$

となる。

h 一軸圧縮試験

砕・転圧盛土工法における室内配合試験として、一軸圧縮試験を行なう。一軸圧縮試験は、室内配合試験のうちの基本的部分を構成するものであり、対象とする底泥土を固化処理するために適した固化材の選定や、初期固化土や砕・転圧土の養生日数 t による強度増加特性と、固化材添加量 W_c 、初期養生日数 t_s の影響、初期固化土の砕・転圧することによる強度低下特性、これらに及ぼす底泥土の含水比 w の影響を調べるために実施する必要がある。

この試験では、固化処理土の一軸圧縮強さに及ぼす固化材添加量 W_c 、養生日数 t 、含水比 w などの影響要因をすべて網羅するような試験計画を立案すると、膨大な試験が必要となる。そのため可能な限り効率的に試験をすることを心がけるべきである。

(室内試験と現場との相違について)

(1) 室内試験での砕・転圧土供試体は、室内で固化材の混合や養生も決められた条件で行われるため、現場の

施工された砕・転圧土よりも均一性が高く、強度や遮水性のパラツキは少ない。

(2) 室内試験での供試体は、供試体作製時の転圧エネルギーが現場施工時の転圧エネルギーに比較して大きくやや過転圧傾向があるため、現場で解砕した砕・転圧土の強度よりやや過小の強度となるようである。

1) 初期固化土の試験

この試験は、その底泥土の基本的な固化処理特性を知るため、使用する固化材の種類を決定するためと、初期固化土の強度 $(q_u)_s$ に及ぼす固化材添加量 W_C 、初期養生日数 t_s の関係

$$(q_u)_s = (q_u)_s(W_C, w, t_s) \quad (27)$$

を知るために実施するものである。

試験条件は以下のように設定する。

(1) 固化材添加量：3～4種類

底泥土の種類や含水比にもよるが、例えば $W_C = 50, 100, 150, 200\text{kg/m}^3$

(2) 養生日数：4程度（例えば $t_s = 1, 3, 10, 28$ 日）

(3) 固化材の種類：2～3種（本施工で入手可能ものの中から選択）

(4) 含水比：基準含水比 w_0 を中心に3種類以上

変動幅が大きい場合には含水比と一軸圧縮強さの関係を求めやすいように3水準以上が望ましい。またその底泥土が現場でありうる含水比を基準含水比 $w = w_0$ として、それを中心にした変動範囲内で選択するが、範囲幅が少ない場合には平均値あるいは最も土量の多い底泥土の値とする。

(5) 底泥土：分類された底泥土数

試験は以下のように大きく二つに分けて実施するものとする。

1) - 1 固化材の種類を決定するための試験

この試験は初期固化土についてのみ実施する。まず本施工で使用する固化材の種類を決定するために、複数に分類される底泥土でも、最も土量の多い底泥土、あるいは固化しにくい状態の底泥土（細粒分が最も多いものあるいは含水比が高いものなど）を選択し、その基準含水比 w_0 を固定して、各固化材の固化材添加量 W_C を変えた試験を実施する。そして、各固化材の初期固化強度と養生日数の関係から、砕・転圧盛土工法に適した強度増加特性かつ効率的な固化処理ができる固化材を選択する。

1) - 2 初期固化土の強度に及ぼす各種要因に関する試験

上記の試験で選択した固化材を用いて、対象とする底泥土の初期固化土の一軸圧縮強さ $(q_u)_s$ に及ぼす固化材添加量 W_C 、含水比 w 、養生日数 $t = t_s$ を変えた試験を実施し、これらの影響を調べる。

2) 砕・転圧土の試験

この試験は固化処理土を砕・転圧土として使用する場合の強度 $(q_u)_{CC}$ と固化材添加量 W_C 、解砕・転圧までの初期固化養生日数 t_s 、解砕・転圧後の養生日数 t_{CC} の影響

$$(q_u)_{CC} = (q_u)_{CC}(W_C, t_s, t_{CC}) \quad (28)$$

を調べるために実施するものである。

試験条件は以下のように設定する。

(1) 固化材添加量 W_C ：3～4種類（初期固化土の試験に対応させる）

(2) 初期固化養生日数 t_s ：例えば $t_s = 1, 3, 5$ 日など
砕・転圧土の強度は初期固化養生日数 t_s に関係するが、通常は $t_s = 3$ 日目までの強度低下が大きいとそれ以降は緩やかであること、本施工で取りうる初期固化養生日数 t_s はせいぜい5日程度までであるからことから、上記の日数を標準として設定する。

(3) 解砕・転圧後の養生日数： $t_{CC} = 0, 1, 3, 7, 28$ 日

(4) 固化材の種類：初期固化土の試験により決めた本施工で使用予定の固化材

(5) 含水比：初期固化土に準じる

(6) 底泥土：原則として代表的底泥土についてのみ必要に応じて採取位置により粒度や含水比が大きく相違し、複数に分類しなければならない場合の底泥土についても試験を実施する。

i 目標強度を達成するための固化材添加量の決定

室内配合試験から得られた一軸圧縮強さ $(q_u)_s, (q_u)_{CC}$ ~ 固化材添加量 W_C の関係から、室内混合と現場混合の条件の相違を補正するための

$$\text{現場/室内強度比： } F_L \quad (29)$$

を考慮して、目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ あるいは $(q_u)_s^*$ を確保できる現場固化材添加量 W_C^* と底泥土含水比 w の関係を求めることになる。

室内配合試験から得られた一軸圧縮強さ $(q_u)_s, (q_u)_{CC}$ ~ 固化材添加量 W_C の関係から、現場で目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ あるいは $(q_u)_s^*$ を達成するための現場固化材添加量 W_C^* を求めるには、現場/室内強度比 F_L を考慮しなければならない。これは実施工で底泥土を固化処理した場合と室内で固化処理した条件との相違である。つまり実施工での底泥土と固化材の攪拌混合機械と室内試験での小型ミキサーの攪拌性能による混合程度の相違、養生条件の相違による強度差、原位置土の土質や含水比のパラツキによる強度変動を補正するための、現場での強度 $(q_u)_{Field}$ と室内試験で使用した供試体の強度 $(q_u)_{Laboratory}$ の比

$$\text{現場/室内強度比： } F_L = (q_u)_{Field} / (q_u)_{Laboratory} \quad (30)$$

である。砕・転圧盛土工法で考えると、室内配合試験で設定した室内目標強度 $(q_u)_{\lambda C}^*$ あるいは $(q_u)_{s}^*$ が $(q_u)_{\text{Laboratory}}$ に相当し、これを現場で確保するために固化材添加量を割り増すための係数である (割増し係数はこの係数の逆数 $1/\alpha_{FL}$ である)。一般的な α_{FL} の一例をTable7⁴⁾に示す。これより、目標強度 $(q_u)_{IS}^*$ あるいは $(q_u)_{CC}^*$ を現場で達成するための配合強度は

$$(q_u)_{s}^* / \alpha_{FL} \text{ あるいは } (q_u)_{\lambda C}^* / \alpha_{FL} \quad (31)$$

になる。

Table 7 現場/室内強度比 α_{FL} の一例⁴⁾
Example of field and laboratory strength ratio α_{FL}

固化材の添加方式	改良の対象	施工機械	(現場 / 室内) 強さ比
粉体	軟弱土*	スタビライザ バックホウ	0.5 ~ 0.8 0.3 ~ 0.7
	ヘドロ 高含水有機質土	クラムシェル バックホウ	0.2 ~ 0.5
スラリー	軟弱土*	スタビライザ バックホウ	0.5 ~ 0.8 0.4 ~ 0.7
	ヘドロ 高含水有機質土	処理船	0.5 ~ 0.8
		泥上作業車 クラムシェル・ バックホウ	0.3 ~ 0.7 0.3 ~ 0.6

注) * 締固めを行う場合も含む。

なお、自走式固化処理機として均一な固化材混合が可能なトレンチャー式攪拌混合機を使用する場合には $1/\alpha_{FL}$ 1.5 (現場実証試験による実績 2)) であるから、この場合には

$$(q_u)_{s}^* / \alpha_{FL} = 1.5 \cdot (q_u)_{s}^* \quad (32)$$

となる。通常底泥土 (FC ($< 75 \mu m$) $> 80\%$) であれば $R3 = 0.5$ となるから、

$$(q_u)_{s}^* / \alpha_{FL} = 3.0 \cdot (q_u)_{\lambda C}^* \quad (33)$$

となる。したがって、目標強度を確保するため W_C^* は室内配合試験から得られた $t_s = 10$ 日目の $(q_u)_{IS10} \sim W_C$ 関係 (基準含水比 $w = w_0$) から、Fig.21に概念的に示すように求められる。底泥土の含水比 w を変えた関係から、各 w における W_C^* を求めて、 $W_C^* \sim w$ 関係が求められる。

j その他の試験

1) 解砕・転圧による変形性改良程度の確認試験

室内配合試験で設定された配合条件 ($t = t_s, w = w_0, W_C$) で、初期固化土を砕・転圧したことによる変形性の改良程度 (通常土とのなじみ) の確認や強度パラメータ (c, ϕ) の把握を三軸圧縮試験により行う必要がある。

本施工時の固化材の添加量などの配合条件が決定されたならば、この条件で固化処理した底泥土からなる砕・転圧土の三軸圧縮試験により、初期固化土を解砕・転圧したこ

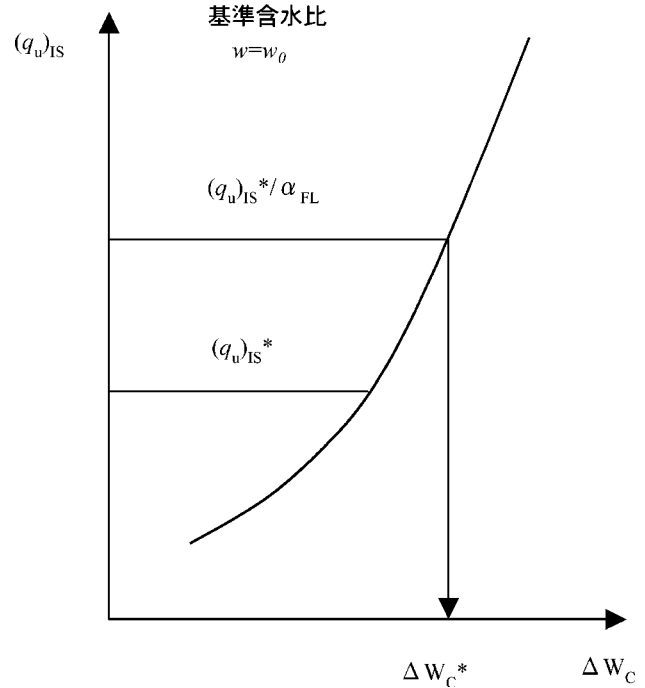


Fig.21 現場/室内強度比 α_{FL} による現場固化材添加量 W_C^*
Relationship between α_{FL} and W_C^*

とによる応力~ひずみ曲線の変化を確認する。同時に砕・転圧土の強度パラメータとして全応力表示の (c_{cu}, ϕ_{cu}) あるいは有効応力表示の (c', ϕ') を求めて、一軸圧縮強さとの関係も確認する。

$$c(\phi) = (q_u)_{\lambda C} \quad (34)$$

なお、三軸圧縮試験の試験条件は、一般に砕・転圧土の透水性が低いこと、内部摩擦角が小さいことを考慮して等方圧密・非排水条件で行う。なお、せん断中の過剰間隙水圧の変化は有効応力表示の強度パラメータを求めるために必要なので必ず測定する。

2) 砕・転圧土の遮水性確認試験

砕・転圧土を遮水用築堤土 (コア土あるいは刃金土) として使用する場合には、所要の遮水性基準値を満足していることを透水試験により確認する必要がある。

2) - 1 解砕粒径と強度・遮水性との一般的な関係

砕・転圧土を遮水用築堤土 (コア土あるいは刃金土) として使用する場合には、一軸圧縮試験の場合と同様な方法で供試体を作製し、透水試験を実施してその遮水性を確認しなければならない。

解砕粒径と強度・遮水特性との一般的な関係はTable8 のようになるが、室内試験レベルでは解砕粒径による遮水性や強度の相違を正確に調べられないので、試験施工により所要の遮水性が得られる解砕粒径を確認することが望ましい。

Table 8 解砕粒径と強度・遮水性の関係

Relationship between maximum particle size and soil properties

固化処理の目的	細粒 50mm以下	解砕粒径 100mm	粗粒 200mm
堤体安定化（強度）	小	強度	大
遮水性（透水性）	高	遮水性	低

2) - 2 透水試験について

堤体内の土要素の透水性を正確に調べるには、堤体内での盛立てに伴って土被り圧が増加してゆく応力状態を供試体に再現することができる透水試験の実施が望ましい。このような透水試験方法として、供試体をゴムスリーブで包み拘束圧下での透水係数を求めることが可能な三軸セルを使用した透水試験（以下、三軸透水試験という）がある。

地盤工学会で基準化されている通常の透水試験（JGS 0311）は、透水円筒内に供試体を納めた方式である。しかし、この方式の試験は、固化処理土の供試体が固化とともに若干であるが収縮することもあり、供試体とリングの間に空隙（水みち）が生じやすく、正確な透水係数を求め難い問題がある。そのため、砕・転圧盛土工法での遮水性の確認試験は原則として三軸セルを用いた透水試験を実施するものとする。

2) - 3 三軸セルを用いた透水試験方法

この試験は、Fig.22に概念的に示すように、通常の三軸圧縮試験と同様に土被り圧に相当する等方圧力 σ_c （軸応力 σ_a =側方応力 σ_r ）のもとで供試体の圧密を終了させた後に透水試験を実施するもので、透水性の拘束圧依存性を調べることができる。供試体上・下端面には、供試体断面内を水が一様に流れるように、フィルターとしてポーラスストーンを設置する。そして透水試験は2本のビュレット（A, B）を使用して行うが、水はビュレットAから供試体の下端から上向きに上端へ、そしてビュレットBに流す。

この時の透水係数は両方のビュレットの断面積が同じ（ $a = a_A = a_B$ ）であれば次式から算定される。

$$k = 2.303 \cdot H \cdot a \cdot \log_{10}(H_1/H_2) / 2 \cdot A_s \cdot (t_1 - t_2) \tag{35}$$

ここで H_1 は透水開始時 $t = t_1$ の水頭差（ $H_1 = h_A - h_B$ ）、 H_2 は透水終了時 $t = t_2$ の水頭差（ $H_2 = H_1 - 2 \cdot h$ ）、そして h はビュレットAにおける透水中の水位低下あるいはビュレットBにおける透水中の水位上昇である（ H 、 A_s はそれぞれ供試体の高さ、断面積）。透水試験は、三軸試験の場合と同様に炭酸ガス・脱気水を流した後に背圧 $\sigma_{BP} = 100 \text{ kN/m}^2$ を作用させて、等方圧密応力を

$$\sigma_c = 10 \quad 20 \quad 50 \quad 100 \quad 200 \quad 400 \text{ kN/m}^2$$

と段階的に増加させ、各圧密応力レベルで過剰間隙水圧 u の消散を確認後に実施する。

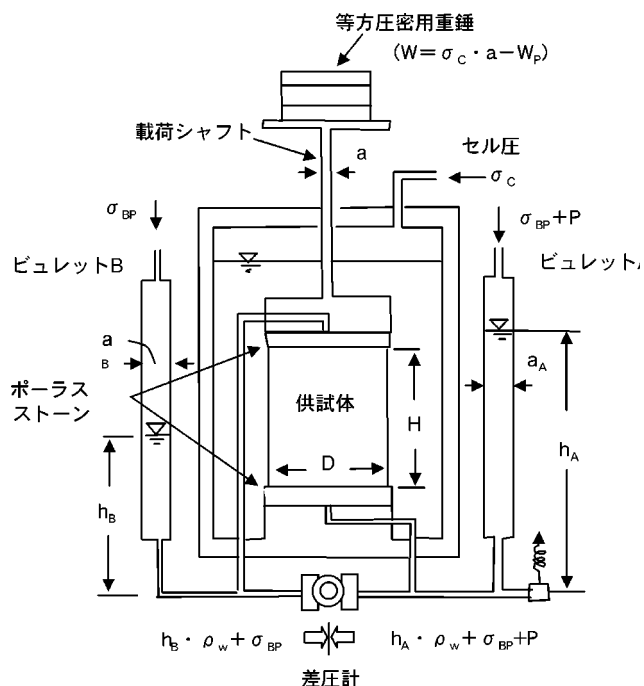


Fig.22 三軸セルを用いた透水試験（変水型）の概念図
Permeability test using triaxial cell (falling head type)



Photo 1 三軸セルを用いた透水試験機の例（F-TP75Mk. 型）

Example of permeability test using triaxial cell (F-TP75Mk.)

3) 砕・転圧土の沈下特性試験

砕・転圧土で造成した堤体の沈下特性は圧縮沈下試験により調べ、目標強度とする $(q_u)_{CC}^*$ が、沈下が急増する降伏応力 v_y より大きく、かつ計画されている堤体の最大土被り圧 $v_{max} (= t_{CC} \cdot g \cdot Z_{max})$ より大きいことを確認することが望ましい。

砕・転圧土により堤体を築造してゆくと、堤体はその自重により沈下する。この時の堤体の沈下特性は地盤工学会基準「土の圧密試験」(JGS 0411) に準じた圧縮沈下試験により調べる。また、設定された目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ が、沈下が急に増加する降伏応力 v_y より大きく、これから築造する堤体で推定される最大土被り圧 $v_{max} (= t_{CC} \cdot g \cdot Z_{max})$ より大きいこと

$$(q_u)_{CC}^* > t_{CC} \cdot g \cdot Z_{max}$$

を確認する。

4) 六価クロム溶出試験

室内配合試験時に固化処理した底泥土について、六価クロム溶出試験を実施し、六価クロムは環境基準値以下にあることを確認する必要がある。

セメント及びセメント系固化材を使用した改良土等により、条件によっては六価クロムが土壌環境基準を超える濃度で溶出する恐れがあることから、当時の建設省は平成12年3月24日付で、建設省技調発第48号(以下通達48号という)「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」、及び建設省技調発第49号(通達49号という)「同運用について」を通達した。これらの通達は、通達49号に記載されている「セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領(案)」により溶出試験を実施・運用するよう明記したものである。この実施要領(案)においては、施工前の配合設計時の室内配合試験段階で環境庁告示46号溶出試験を実施し、六価クロムが環境基準値0.05mg/l以下にあることを確認しなければならない。

また、実施要領(案)は施工中についても溶出試験の実施を規定しており、改良土5000m³以上の工事の場合で改良土1000m³に一回程度、環境庁告示46号溶出試験、通達49号に記載されているタンクリーチング試験を実施するものとしている。しかし、その後の溶出試験の整理により、火山灰質粘性土に普通ポルトランドセメントやセメント系固化材を添加した場合に基準値を超過するケースが見られるが(高炉セメントB種では超過した例はない)、その他の土質では基準値を超過する例はほとんど見られなかったことから、平成13年4月に通達の一部が緩和され、施工後の溶出試験は実施しなくてもよいことになった。

k 標準的な室内配合試験の構成

砕・転圧盛土工法によりため池の底泥土を築堤土に適用

するための標準的な室内配合試験の構成をTable 9に示す。

6 試験施工

a 一般事項

試験施工は、本施工に先立ち、配合設計において設定した初期固化日数 $t = t_s$ 、初期固化土の解砕・転圧による強度低下比R、固化材添加量 W_C^* により、所定の目標強度 $(q_u)_{IS}^*$ 、 $(q_u)_{IS}^*$ を現場において確保できること、現場/室内強度比 F_L の妥当性、選択した施工機械の性能・施工性の確認、転圧機械の機種選定・転圧仕様(撤出し層厚と転圧回数N)を決める必要がある場合に実施することになる。試験施工のフローチャートをFig.23に示す。

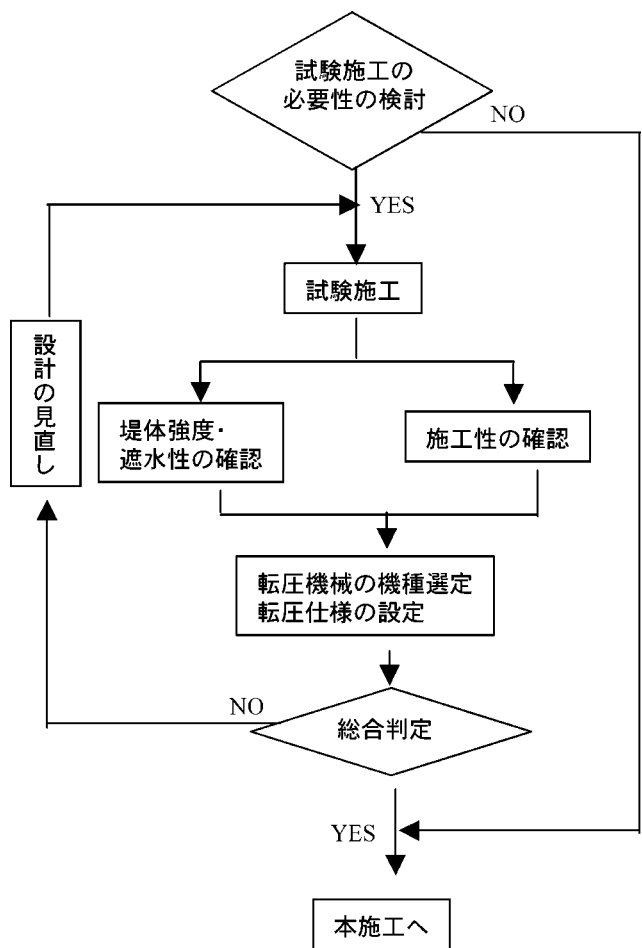


Fig.23 試験施工のフローチャート
Flow chart of test embankment

b 試験施工の実施必要性の検討

底泥土の特性、施工規模、類似した底泥土での施工実績の有無、施工性確認の重要性等を考慮して、試験施工の必要性を検討する必要がある。

試験施工を実施する条件として以下のことが考えられる。

Table 9 標準的な室内配合試験の構成
Typical kinds of laboratory test for mixing design

試験項目	試験仕様	試験数	備考
1) 試料採取	・ 代表的な試料の採取 (約0.1m ³)	1式	
2) 物理試験	・ 含水比試験(JIS A1203) ・ 密度試験(JIS A1202) ・ 粒度試験(JIS A1204) ・ 液・塑性限界試験(JIS A1205)	各1式	
3) 固化材選定のための初期 固化土の一軸圧縮試験	・ JIS A1216 ・ D/H=50mm/100mmを標準 ・ 固化材は2種類程度 ・ 材齢t _s =1,3,10,28日	8供試体	供試体作製費用 を含む(初期固 化)
4) 初期固化土の一軸圧縮試 験	・ JIS A1216 ・ D/H=50mm/100mmを標準 ・ 3含水比×3添加量 ・ 材齢t _s =1,3,10,28日	36供試体	供試体作製費用 を含む供試体作 製費用を含む (初期固化)
5) 砕・転圧土の強度特性把握 のための一軸圧縮試験	・ JIS A1216 ・ D/H=50mm/100mmを標準 ・ 基準含水比×基準添加量 ・ 初期固化材齢t _s =1,3,5日 ・ 砕・転圧材齢t _{CC} =0,1,3,7,28日	15供試体	供試体作製費用 を含む(初期固 化+砕・転圧)
6) 砕・転圧土の一軸圧縮試験	・ JIS A1216 ・ D/H=50mm/100mmを標準 ・ 3基準含水比×1添加量 ・ 初期固化材齢t _s =3日 ・ 砕・転圧材齢t _{CC} =0,1,3,7,28日	45供試体	供試体作製費用 を含む(初期固 化+砕・転圧)
7) 初期固化土の三軸圧縮試 験	・ JGS 0523 ・ D/H=50mm/100mmを標準 ・ 基準含水比×基準添加量 ・ 初期固化材齢t _s =10日	1式	供試体作製費用 を含む(初期固 化)
8) 砕・転圧土の三軸圧縮試験	・ JGS 0523 ・ D/H=50mm/100mmを標準 ・ 基準含水比×3添加量 ・ 初期固化材齢t _s =3日 ・ 砕・転圧材齢t _{CC} =7日 ・ $\sigma_3=49,98,196\text{kN/m}^2$	3式	供試体作製費用 を含む(初期固 化+砕・転圧)
9) 砕・転圧土の三軸透水試験	・ 三軸試験装置を用いた変水位透水試験に準じて実施 ・ D/H=60mm/60mmを標準 ・ 基準含水比×3添加量 ・ 初期固化材齢t _s =3日 ・ 砕・転圧材齢t _{CC} =7日 ・ $\sigma_c=10,20,49,98,196\text{kN/m}^2$	3供試体	供試体作製費用 を含む(初期固 化+砕・転圧)
10) 砕・転圧土の圧密試験	・ JIS A1217に準じて実施 ・ D/H=60mm/60mmを標準 ・ 基準含水比×3添加量 ・ 初期固化材齢t _s =3日 ・ 砕・転圧材齢t _{CC} =7日	3供試体	供試体作製費用 を含む(初期固 化+砕・転圧)
11) 六価クロム溶出試験	・ 環境庁告示第46号溶出試験 ・ タンクリーチング試験	各1式	砕・転圧土

- (1) 底泥土が粘土・シルト分のような細粒分が多く、かつ高塑性で水分を含みやすい性質を有しており、含水比が極端に高いなど、効果的な固化処理が困難なことが予想される場合
- (2) 採用した固化材混合機械の施工実績が少なく、配合設計で設定した現場/室内強度比 f_L の妥当性を確認する必要がある場合
- (3) 本施工時の施工性（施工機械の性能や効率）の良否を確認する必要がある場合
- (4) 解砕土を築堤する時の締固め機械の機種選定、施工機械のトラフィカビリティーを確認する必要がある場合
- (5) 築堤土を転圧する時の仕様（撒出し層厚 H 、転圧回数 N ）を確認する必要がある場合

c 試験施工の実施

室内配合試験により設定された初期固化養生日数 t_s 、固化材添加量 W_C^* により、本施工で計画されている施工機械と施工方法を用いて、初期固化土を解砕する時の最大粒径 D_{max} 、転圧の仕様（転圧機種、撒出し厚、転圧回数 N 等）を変えて試験盛土を築造することになる。

試験施工の規模は本施工の規模や目的により一概には決まれないが、本施工に必要な情報が得られる規模で行う。

施工機械の選定について以下に述べる。砕・転圧盛土工法における初期固化土工、解砕工、築堤工の各工程での施工機械の標準的な組合せは、

- (1) 初期固化土工：トレンチャー式攪拌混合機など
- (2) 解砕工：バケット式解砕機
- (3) 築堤工

撒出し：バックホウ

敷均し：ブルドーザ

転圧：タンピングローラー、振動ローラー、ロードローラー、ブルドーザ（トラフィカビリティーが確保し難い場合に有利）

である。しかしながら、貯水池側での傾斜遮水ゾーンの築造は施工スペースが狭い場合が多い。このような場合には、転圧仕様等を確認した上で、築堤部に配置する施工機械は可能な限り小型にする、兼用するなどの工夫が必要になってくる。

d 初期固化土と砕・転圧土（試験盛土）の強度や遮水性の確認

試験施工では以下の項目について調査し、各種仕様を決定することになる。

1) 初期固化土

室内配合試験により設定された配合条件（初期固化養生日数 t_s 、固化材添加量 W_C^* など）により、初期固化された地盤の強度やその変動範囲を現場強度試験、あるいはそこから採取したコア供試体の室内強度試験を実施して調べる。

2) 砕・転圧土（試験盛土）

築造された試験盛土の転圧条件の異なる各区画での強度を確認するために、各区画において現場強度試験、あるいはそこから採取したコア供試体の室内強度試験を実施して、各転圧条件と盛土強度の関係を調べる。また、遮水性が要求される場合には、試験盛土の各転圧条件毎の区画上で現場透水試験、あるいは各区画から採取したコア供試体の室内透水試験により、各転圧条件と盛土の透水係数の関係を調べる。

なお、各種試験やコア供試体の採取は施工管理試験に準じて実施するものとする。そしてこれらの試験結果から、所要の強度や遮水性の達成に適した転圧条件を、経済性や施工性を考慮して決定する。

e 各工程での施工性の確認

試験施工では、初期固化土工、解砕工、運土状況、築堤工の各工程での施工バランス、施工機械の走行状況などから、施工性が計画通りであること、施工計画の妥当性を確認する必要がある。

主に以下の項目について確認する。

- (1) 初期固化工での固化材の添加・混合状況
- (2) 解砕工でのバケット式解砕機による掘削・解砕・積込み状況
- (3) 初期固化ヤードから築堤箇所までの解砕土の運土状況
- (4) 築堤工での解砕土の撒出し・敷均し・転圧状況（特にクロラダンプなどの運土機械、バックホウ、ブルドーザ、転圧機械のトラフィカビリティーの確認が重要）
- (5) その他

施 工

1 本施工の方法

a 一般事項

砕・転圧盛土工法は、ため池の堤体の漏水対策としての傾斜遮水ゾーン（前刃金工）、堤体補強のための腹付け・押え盛土、あるいは貯水容量増大のための嵩上げ盛土などを築造するものである。底泥土を固化材により固化処理し、所定の初期固化養生日数 t_s だけ放置してある程度固化させた後、規定の最大粒径 D_{max} になるように解砕してから、直ちに通常土と同様に撒出し・敷均し、転圧する。

b 本施工のフローチャート

本施工における各作業はFig.24に示すフローチャートに従って行う。

c 施工計画

砕・転圧盛土工法における老朽ため池改修の施工計画は、工期内に設計条件を満足する漏水対策工、押え・腹付け盛土、あるいは嵩上げ盛土等の築造を、安全に、かつ経

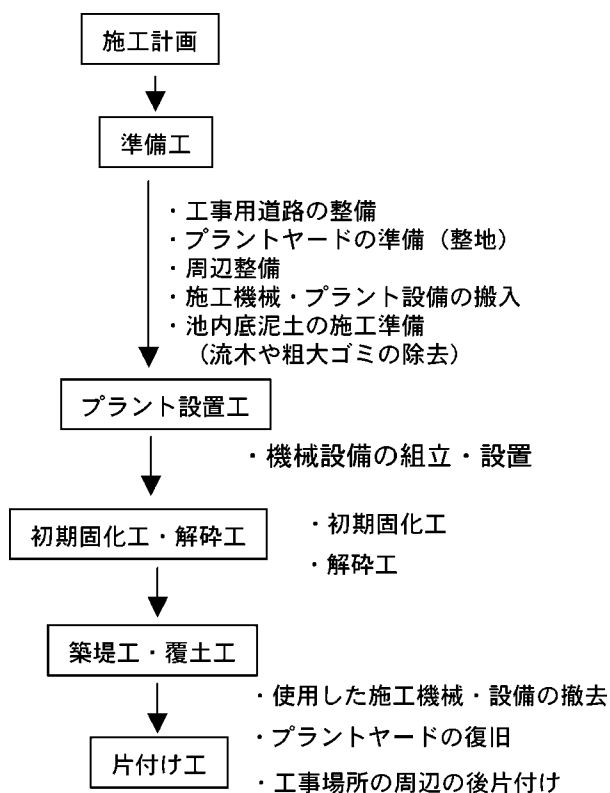


Fig.24 本施工の工程フローチャート
Flow chart of construction process

済的に効率よく行うためのものである。

その施工計画書は、事前の調査・設計図書により計画された堤体盛土の築造を安全かつ効率的に確実に施工でき、施工機械の選定にあたっては、底泥土の固化処理量、固化処理時の目標強度を確保できるもの、及び施工箇所の状態や周辺環境を良く調査し、円滑な施工が行えるように適切な対策を施したもので、かつ作業の安全性等についても十分検討したものである必要がある。

砕・転圧盛土工法における老朽ため池堤体の漏水対策用の遮水ゾーン、堤体補強用の押え・腹付け盛土、あるいは貯水容量増大のための高上げ盛土の設計は、入念な施工と十分な品質管理を行うことを基本にしている。これらが適切に行われなない場合には、堤体の品質が当初想定したものより劣悪となり、ひいては改修後の堤体全体の安定性や貯水機能に問題が生じることになる。したがって、安全かつ確実に施工が行われ、設計目標を満足するためには、施工に先立ち事前調査を基本とした施工計画書を作成する必要がある。

施工計画書は、主に以下の事項について十分な検討をして作成する。

- ・工事概要（工事件名，工事場所，施工者，工事目的，工事期間）
- ・対象とするため池の堤体の概要
- ・堤体の主要断面における地盤構成

- ・工事内容（ため池の概要，底泥土量，堤体の改修・補強計画など）
- ・施工方法（初期固化法，固化材添加方法，底泥土の掘削，既設堤体部の掘削，堤体法先部の床掘りと左右袖掘り，築堤方法など）
- ・施工機械（固化材プラント，攪拌混合機械，解砕機など）
- ・施工程表
- ・仮設備とその配置
- ・室内配合試験（室内配合試験計画，目標設計強度），（事前に実施されている場合は添付する）
- ・施工管理（管理項目，管理方法など）
- ・品質管理（管理項目，管理方法など）
- ・管理組織図（各種の作業に従事する主たる人員の組織表など）
- ・安全管理
- ・環境保全対策

d 準備工

本施工に先立ち、近隣の交通事情・環境、アクセス道路、計画地内の地形等を考慮して、各種の準備工事を実施することになる。

準備工としては

- ・施工の拠点になる現場事務所の設営
- ・工事用車両等の駐車場の整地
- ・工事用道路の整備
- ・プラントヤードの整地
- ・プラント機械・設備の搬入
- ・プラントの組立て・稼働検査
- ・施工現場周辺整備
- ・池内底泥土の施工準備（溝切り等の余水処理，流木・粗大ゴミ・転石等の除去）
- ・出水対策工（仮調整池，排水設備の設置等）

e プラント設置工

1) プラント設備・機械

固化処理プラントの設備・機械は、現場の状況，施工規模，工期，採用した施工法や施工効率，経済性等を考慮して選択する必要がある。

砕・転圧盛土工法に使用する固化処理プラント設備・機械は、一般の地盤改良工事で使用するものと共通なものが多いが、現場の状況（搬入経路や広さ），施工規模，工期，採用した施工法，施工効率や経済性に依りて選択する。Table10に標準的なプラント設備・機械の例を一覧表にして示す。

2) 固化処理プラントの設置（スラリー添加方式）

Fig.25とPhoto 2 に使用する標準的な固化処理プラントの機械・設備の配置例を示す。

f 施工班の編成

各施工班の構成は、施工規模，現場の状況，使用する施

Table 10 標準的なプラント設備・機械例の一覧表
List of plant facility and machines in typical slurry plant

プラント区分	機械・設備	機種	性能	寸法・重量など
サイロ	固化材サイロ		30t 15kw	寸法：φ2.6m×3.2m (一日分の固化材を貯蔵) 質量：約6t
固化材スラリープラント	固化材計量・供給機	TMP-1500	20m ³ /hr 23.2kw	寸法：L×W×H=2.9m×2.0m×2.45m 質量：3.1t
	水計量・供給機			
	ミキサー(1.5m ³)			
	アジテータ(3.0m ³)			
プラント付属設備	グラウトポンプ	TS-203MTK-2	最大 370 /min. 最大吐出圧 15bar 15kw	寸法：L×W×H=2.0m×1.25m×1.1m 質量：1.8t
	流量計	MPF-001	0~600ℓ /min. 0.20kW	寸法：L×W×H=0.60m×0.4m×1.0m 質量：0.1t
	圧送ホース			口径：1.5 インチ×100~150m
	水槽		10m ³	寸法：L×W×H=5.0m×2.0m×1.2m (必要量:5m ³ /hr)
	水中ポンプ		2~4 インチ	混練水供給用
	発電機	NES125SK	125kw	寸法：L×W×H=3.3m×1.14m×1.75m 質量：2.68t
	集塵機			寸法：L×W×H=0.6m×1.2m×1.5m 質量：1.2t
固化処理機	トレンチャー式攪拌混合機など	F-Mk. I	最大攪拌深さ 3m 攪拌範囲 1m×1m 最大 45m ³ /hr	ベースマシン：山積み 1.4m ³ バックホウ (質量 30.7t) 攪拌翼部 (質量 3.9t)
	光波測距儀			固化処理深さの管理
その他	水槽		20m ³ クラス	寸法：L×W×H=5m×2m×2m
	pH中和処理機		6m ³ /hr	
	分電盤			
	高圧洗浄機 (ハイウオッシャー)		3.7kw	寸法：L×W×H=1.2m×0.7m×0.8m

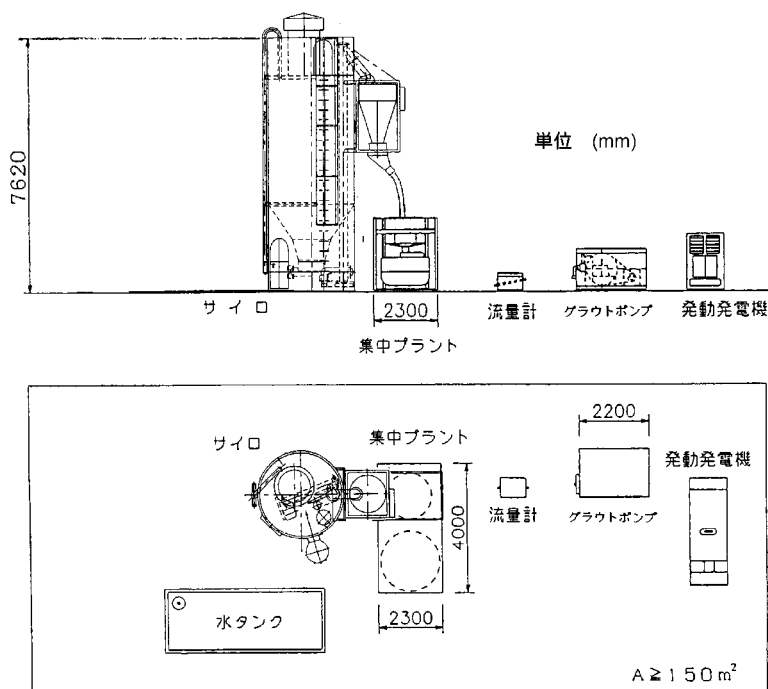


Fig.25 標準的な固化処理プラントの施工機械・設備の配置例
Example of facility and machines in typical slurry plant



Photo 2 設置された固化材スラリープラントの例
Example of facility and machines in typical slurry plant

トレンチャー式攪拌混合機等により攪拌・混合するものである。底泥土の層厚が場所により変化する場合や地下水の湧出がある場合は考慮の必要がある。



Photo 3 トレンチャー式攪拌混合機による原位置初期固化状況の例
Example of in-situ initial stabilization by trencher-type mixing machine

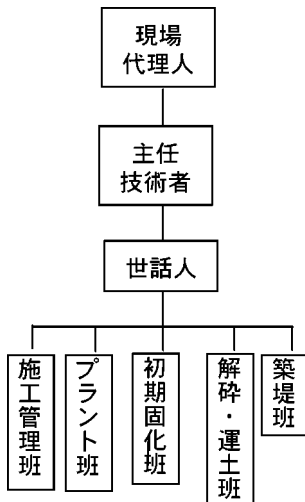


Fig.26 施工作业班の編成
Example of formation in construction staff

工機械や作業員等を考慮して効率的に編成する必要がある。

標準的なため池堤体の砕・転圧盛土工法による改修あるいは補強工事における施工作业班の編成例をFig.26に示す。

j 初期固化・堤体築造のフローチャート

本施工では、室内配合試験により設定された配合条件・施工計画、試験施工結果による転圧等の条件にしたがって、砕・転圧盛土工法による均一な堤体を築造する。

底泥土に固化材を添加して攪拌・混合して固化処理する方法は、Fig.27に示すような流れで行う原位置固化処理法と、Fig.28に示すような流れで行う搬出固化処理法の2つに大別される。

1) 原位置固化処理

この固化処理法は、池の水落としをした後の底泥土に原位置で、スラリー状態あるいは粉体状態の固化材を添加して、

2) 搬出固化処理法

底泥を浚渫することを原則とし、浚渫時に混入する水および浚渫したものを搬送するために加えた水の余水処理を組み合わせる。

(1) 固化処理プラントで固化材を強制混合してピット内で養生する場合

(2) 固化処理ピット内で原位置固化処理法と同様の方法で固化処理する場合があります。これらは混合の均一性に優れ、かつ混合効率も高い。前者はプラント設備や別途養生ピットなど設備が大掛りになるので、施工規模に応じて採用するとよい。

3) 初期固化工程での余水処理

初期固化工程では、現場の状況、固化処理土量、周辺の環境等、また施工性や経済性を考慮して固化処理法を選択するが、どちらの方法でも余水処理を行って、ある程度底泥土の含水比を低下させておくことを基本とする。例えば原位置固化処理法では池内の水を落して天日乾燥あるいは溝切りなどにより、また搬出固化処理法では浚渫した底泥土を中間処理池で余水処理をして、底泥土の含水比を低下させる。これは、大量の固化材を添加すれば超高含水比の底泥土でも目標強度を確保できるが、含水比が高い底泥土ほどそのバラツキが大きく、固化強度の管理や施工が複雑になるのを避けるためである。

h 固化処理

1) 固化材

本施工で使用する固化材は室内配合試験により、対象とする底泥土の初期固化に適したものを選択し、搬入時にサンプリング検査をして異常が無いことを確認する。またス

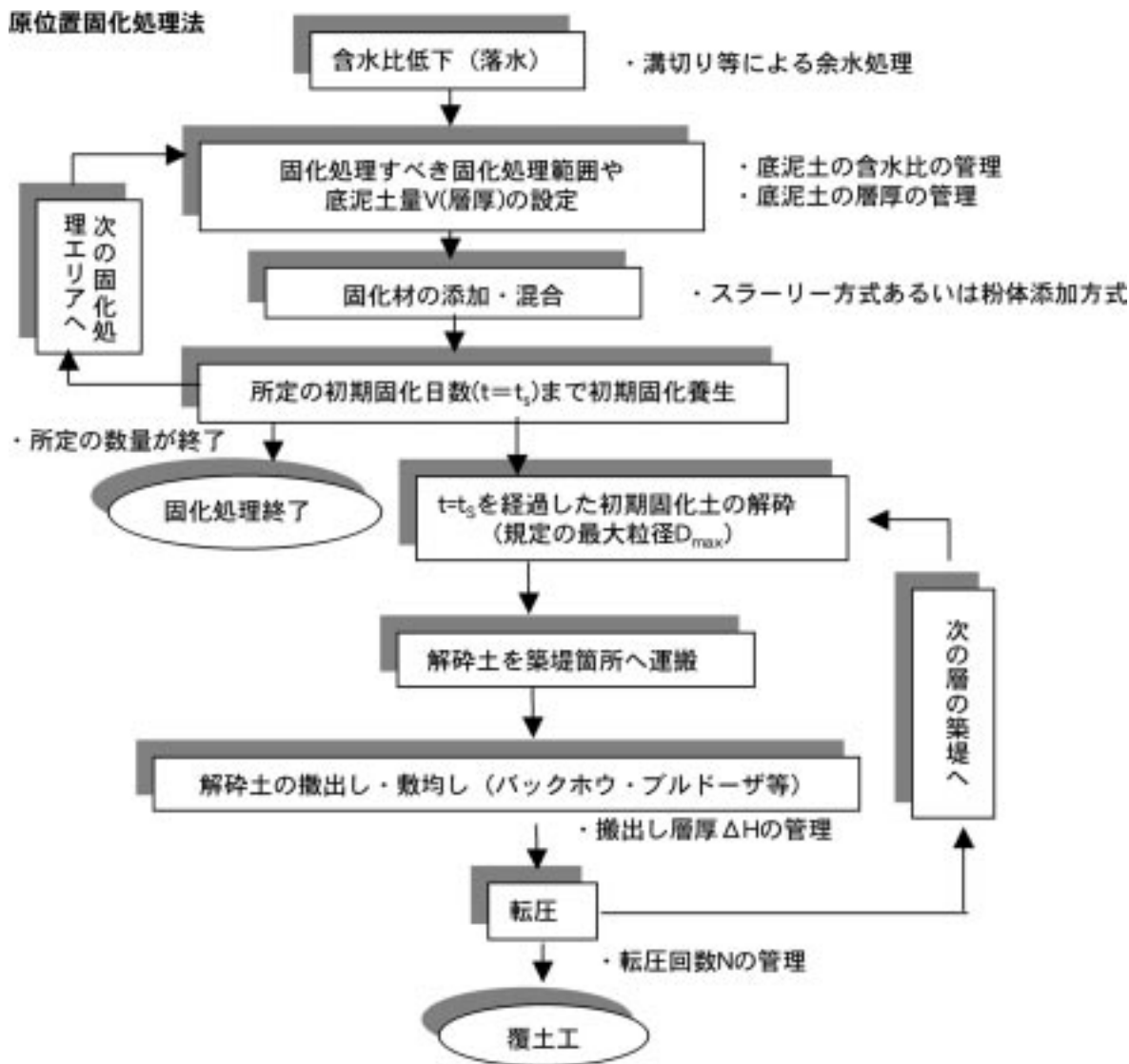


Fig.27 固化処理・堤体築造のフローチャート (原位置固化処理法)
Flowchart of stabilization and embankment (in-situ stabilization method)

ラリー方式で添加する場合には固化材スラリーが所定の密度にあることを確認する必要がある。

固化材スラリーについては、以下のことを確認する。

- (1) 固化材と水の混合による固化材スラリーの混合時間は1分間以上とし、固化材の異常凝結等が無いことを確認する。
- (2) スラリー密度は、水・固化材比w/cの管理のために、午前・午後にマッドバランスにより測定するが、その測定値は基準値の±1%以内とする。
- (3) アジテータは常に回転させておけるが、機械の故障等により1時間以上放置せざるを得ない場合にはその固化材スラリーは廃棄処分しなければならない。

2) 固化処理機械

固化処理機は、自走式か定置式かに関係なく、所要の強度を有し、均一性の高い底泥土の初期固化土を製造でき、

築堤に必要な量を堤体築造に合わせて効率的に提供できるものであることが必要である。

本設計・施工指針では標準的な自走式固化処理機として、Fig.29に示すような、攪拌翼部を上・下方向に移動しながらスラリー化した固化材を噴射して攪拌混合できるトレンチャー式攪拌混合機を採用している。理由は実証試験において、この機械が底泥土の固化処理を深さ方向あるいは平面的にも均一に、かつ経済的・効率的に混合するのに適しているためである。

ただし軟弱土用の機械であるため、池底にやや硬い地盤がある場合や粗粒の岩砕等を含む底泥土の場合に、攪拌効率が低下したり、攪拌翼が破損しやすいことがあり、この点に留意する。

搬出固化処理法

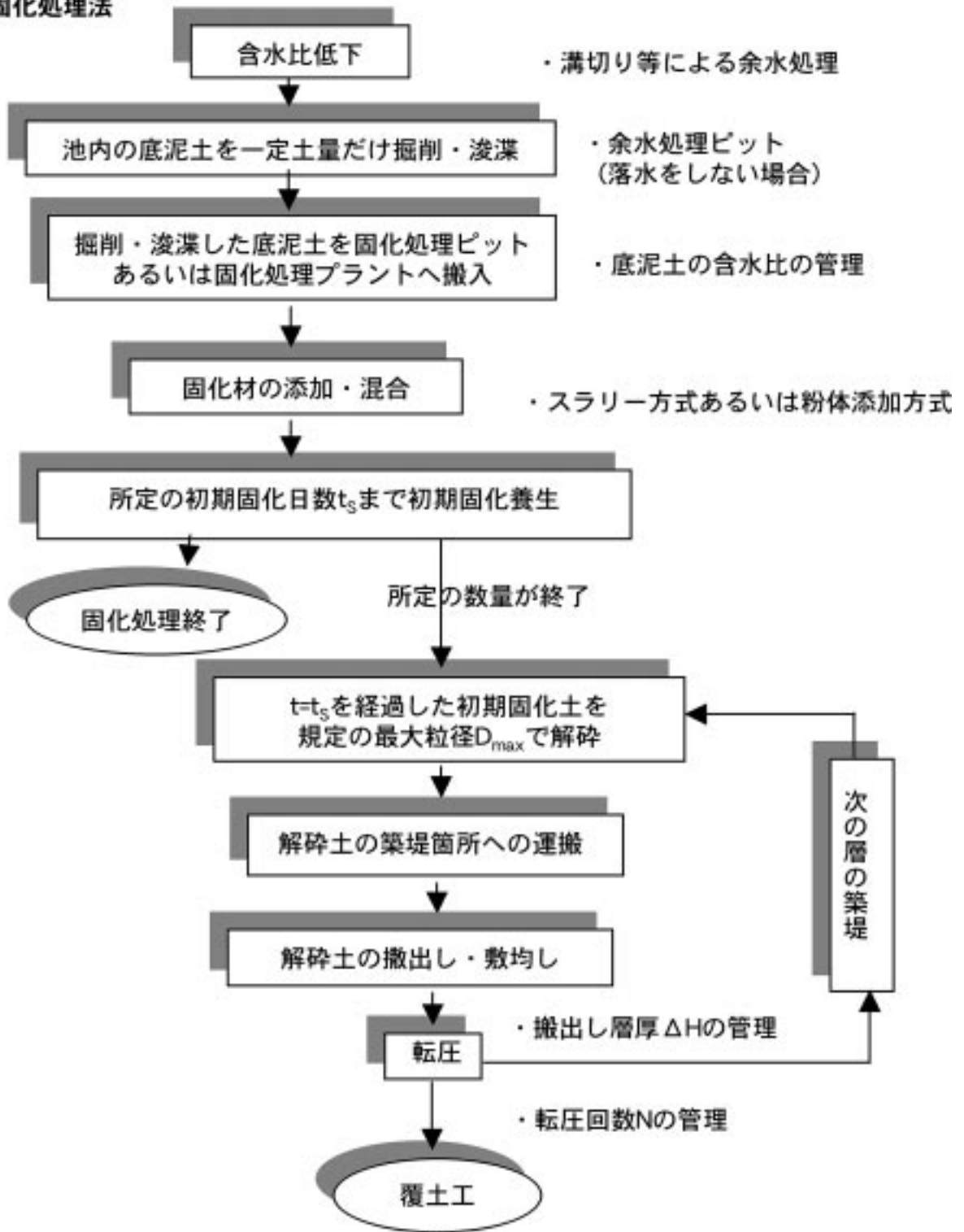
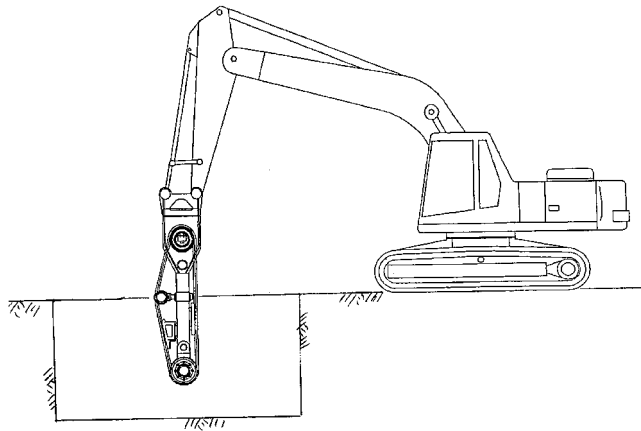
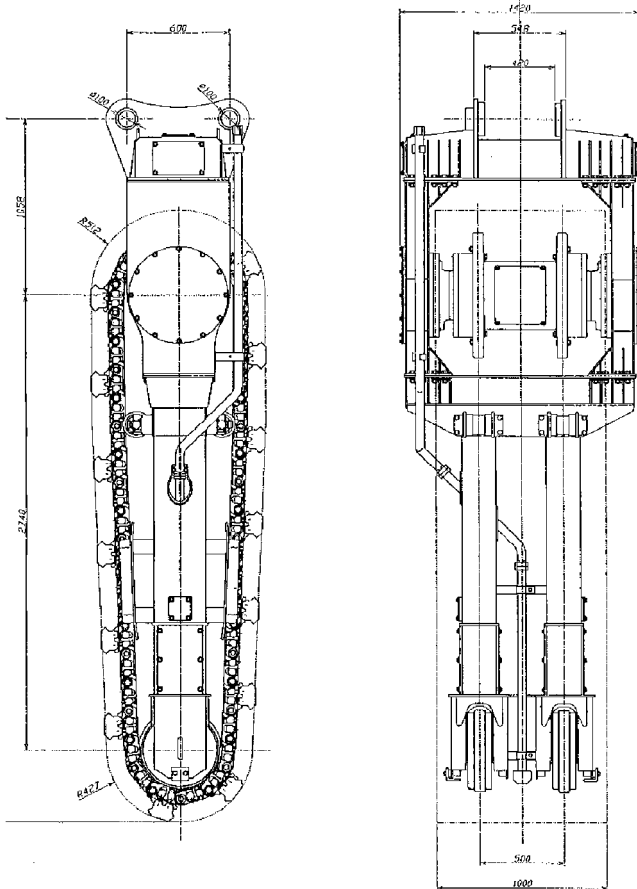


Fig.28 固化処理・堤体築造のフローチャート (搬出固化処理法)
Flowchart of stabilization and embankment (take-out stabilization method)



トレンチャーによる攪拌混合の概念
Mixing concept in trencher-type mixing



トレンチャーの攪拌翼部 (F - Mk. : 最大改良深さ 3 m)
Mixing wing of trencher-type mixing machine (mixing depth of 3 meters)

Fig.29 トレンチャー式攪拌混合機の攪拌翼の例
Example of mixing wing in trencher-type mixing machine

3) 底泥土への固化材の添加と固化処理法

固化材の添加はスラリー方式と粉体方式があるが、どちらを選択するかは使用する固化処理機の種類や、工事規模、施工性などを考慮して決定する。そして底泥土と固化材の混合は均一に、かつ所要の目標強度を確保する必要がある。

3) - 1 原位置固化処理法

池内の水を落とし、原位置で固化処理する場合で、固化材の添加方式と固化処理機械の組み合わせを以下に示す。

・フレコン+バックホウバケット (粉体散布方式)

固化材を地表面にフレコン等により散布後、固化処理機としてバックホウを使用してバケットにより混合する方式で、小規模な工事には経済的に有利な方法であるが、混合の均一性には十分な留意を必要とする。(Fig.30)

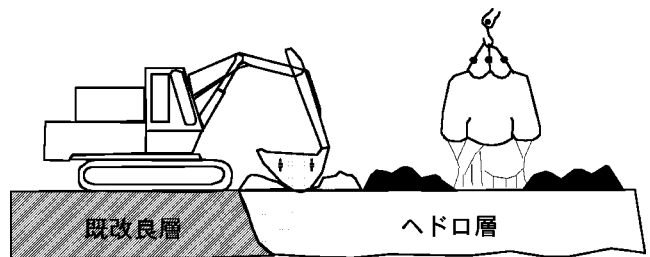


Fig.30 フレコン+バックホウによる固化材混合 (粉体散布方式)

Mixing of cement stabilizer by back-hoe with flexible container (powder spreader type)

・表面散布+トレンチャー (粉体散布方式)

上記のバケット混合による混合の均一性を高めるために、固化処理機としてトレンチャー式攪拌混合機を使用したものである。

・スラリー圧送供給プラント+トレンチャー (スラリー連続供給方式)

グラウトポンプにより固化材スラリーを固化処理機であるトレンチャー式攪拌混合機まで圧送供給して攪拌混合装置の先端から土中に連続的に吐出して、固化処理する方式である (Fig.31)

3) - 2 搬出固化処理方法

池内の水を落した状態で底泥土を掘削し、別途設けた固化処理ピット内に搬入し、原位置固化処理法と同様な方法で固化材を添加・混合する場合の他、あるいは貯水したままの状態、底泥土を浚渫して中間処理池で余水処理をしてから固化処理プラントで固化材を添加・混合したものを別途固化処理ピット内に移して固化させる方式がある。

3) - 3 その他

・固化処理の区割り

固化処理は、1日に施工可能な土量分毎に区画割りして、連続的に固化処理できる範囲で行うことを原則とする。

・固化材の添加・混合時の注意

底泥土内に含まれる転石や流木等の粗大な異物は、固化材の攪拌混合時や初期固化時に機械の損傷や解砕能率低

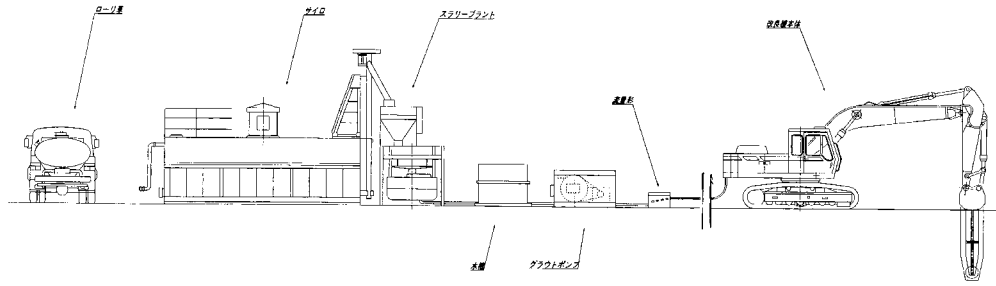


Fig.31 スラリープラント+トレンチャー式攪拌混合機 (スラリー連続供給方式)
Mixing of cement stabilizer by trencher with slurry plant (slurry type)

下の原因になる。予め除去するか、固化処理土が攪拌混合直後のまだ固化しないで流動状態にある内にスケルトンバケット等によりすくい取っておく。

I 初期固化土の解砕とその解砕土の運搬

固化材を添加して攪拌・混合後に所定の養生日数 $t = t_s$ まで、ある程度固化させた初期固化土を、解砕機により規定の最大粒径 D_{max} で解砕し、直ちに築堤箇所まで運搬する。

1) 解砕機について

解砕機は初期固化土を規定の最大粒径 D_{max} で解砕でき、かつ施工現場で要求する施工量、品質を有する解砕土を供給できる能力を備えているものとする。Fig.32とPhoto 4に $0.7 \sim 1.2m^3$ クラスのバックホウをベースマシンとするスケルトンバケットタイプの解砕機の例を示す。これは解砕時の最大粒径 D_{max} を規定するための格子付きバケットと、これにより掘削された初期固化土を押切るための押土プレートとを装着しているもので、初期固化土を掘削・解砕・積み込みを連続的に行なえるものである。そして解砕土は

直ちにダンプトラック、特装運搬車(クローラダンプ)により築堤箇所まで運搬する。

2) 解砕時の最大粒径 D_{max} と撤出し層厚 H について

固化処理に所定の養生日数 t_{sc} を経過した初期固化土は、規定の最大粒径 D_{max} になるように解砕する。標準的な解砕時の最大粒径 D_{max} はTable11のように設定する。また堤体盛立て時の撤出し厚 H は通常土と同様に $H = 20 \sim 35cm$ 程度とする。

解砕時の最大粒径 D_{max} は大きい方が強度発現には効率的であるので、堤体の安定性向上のみが目的の場合には $D_{max} = 200mm$ 程度を標準とする。また、傾斜遮水ゾーンやブランケットのように遮水性が要求される場合には、細粒で解砕する方が転圧時に空隙が生じにくく遮水性を得やすことから、室内試験のデータを参考に $D_{max} = 50mm$ とした。また、堤体安定と遮水性の両方を同時に要求される築堤土に適用する場合には、これらの中間の $D_{max} = 100mm$ としている。

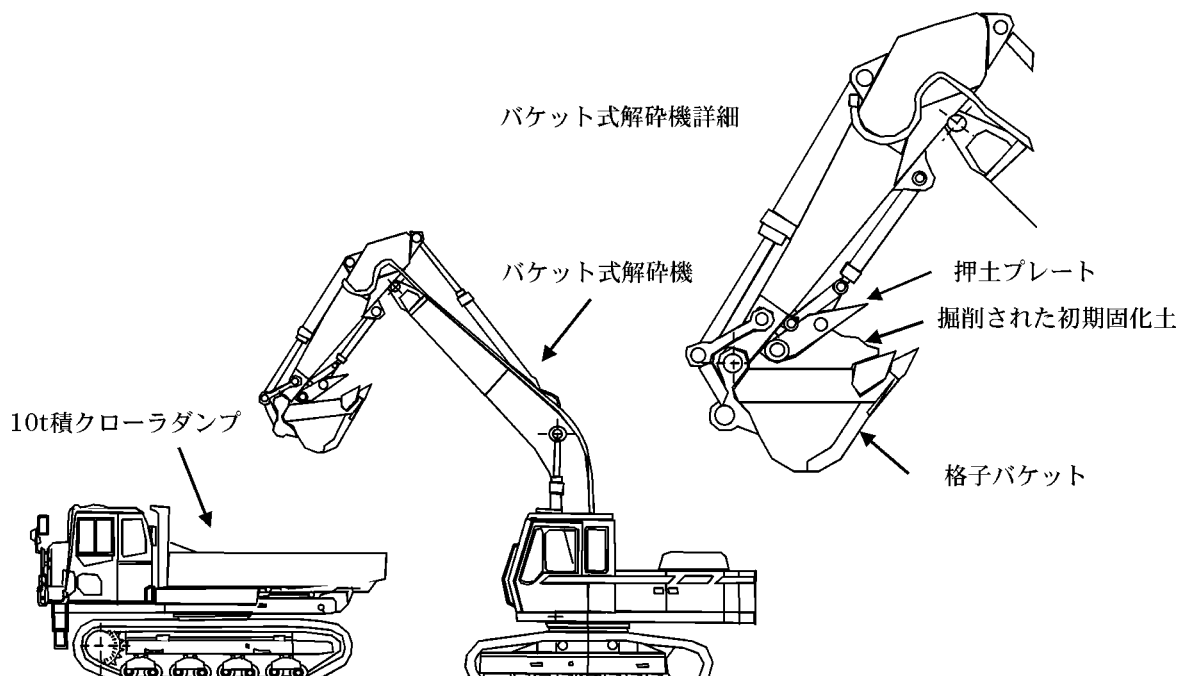


Fig.32 バケット式解砕機 (ベースマシンは $0.7m^3$ 級バックホウ)
Bucket-type crusher (base-machine is $0.7m^3$ class buck-hoe)



Photo 4 バケツ式解砕機
Bucket-type crusher

Table 11 解砕粒径の目安
Criterion of crushed diameter of stabilized soil

盛土の目的	最大粒径(解砕機のメッシュ間隔, mm)	備考
安定化(強度のみ)	200	・粗粒から細粒までの粒子が広く分布するように解砕する
安定化 + 遮水性	100	・粗粒部と細粒分を適度に含ませる ・トラフィカビリティーの確保に注意する ・空隙が残らないようにする
遮水性	50	・トラフィカビリティーの確保に注意する ・空隙が残らないようにする

3) 解砕土の例

格子間隔を200mm×200mm, 100mm×100mm, 50mm×100mmと変えたバケツ式解砕機により初期固化土を解砕した3種類の解砕土を, 約1ヶ月間室内に空乾状態で放置し固化させてからフルイ分け試験を行って求めた粒度曲線の例をFig.33に示す。これより, 格子間隔により最大粒径 D_{max} が異なり, 粗粒から細粒までの広い範囲の粒子が分布した, ほぼ平行な粒度をもつ解砕土ができていくことがわかる。

j 解砕土の築堤工

1) 築堤準備工

堤体築造の前に, 既設堤体の表土はぎ取り, 堤敷の処理, 既設堤体の段切り, 基盤面の計画深さまでの床掘り(傾斜遮水ゾーン築造の場合の止水トレンチの掘削など)や袖掘り等の築堤準備工事を行う必要がある。

・既設堤体の表土はぎ取り

既設堤体の表土はぎ取りは, 設計により特に規定がない

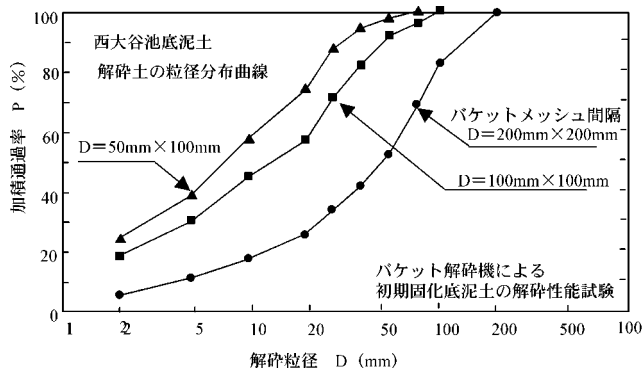


Fig.33 最大粒径 D_{max} を変えた解砕土の粒度曲線の例
Example of gradation curve of crushed soil with different maximum diameter

限り厚さ30cm以上とする。また, はぎ取り面に草や樹木の根が残る場合にはこれを除去する。

1) - 1 堤敷の処理

基盤面の掘削前に堤敷内に堆積している底泥土, 転石, 流木等, また風化土等の基礎として不適当なものは除去する。

1) - 2 既設堤体の段切り

既設堤体の段切りは最小高50cm程度を目安に行うが, この時段切り面には排水のための数%の横断勾配を付けるものとする。なお, 段切りは堤体との境界面の乾燥や風化, あるいは降雨による軟弱化を防止するために, 堤頂まで一度に行わず, 築堤高の出来形と並行して段階的に施工することが望ましい。

1) - 3 基盤面の床掘り・袖掘り

床掘りあるいは袖掘りは設計で定められた深さまで掘り下げる。ただし, 規定深さに達しても軟弱部が残ってしまう場合, あるいは規定深さに達する前に良質堅固な地盤が現れた場合にはこの限りではない。

(傾斜遮水ゾーン築造の場合の止水トレンチの掘削)

漏水対策として, 既設堤体の表土部に傾斜遮水ゾーンを築造する場合のように, 深い止水トレンチを掘削する場合には掘削深さも大きいため, 掘削面の崩壊が生じることのないように慎重に施工しなければならない。もし, 設計で規定された掘削勾配では安定が確保されないと判断される場合には何らかの対策を講じる。また地下水の浸透などにより掘削部が軟弱化しないように注意する。

1) - 4 掘削土の流用

掘削発生土は可能な限り流用するものとし, 事前に掘削による各種発生土の数量, 土質特性, 流用先を検討しておくことが望ましい。特に, 既設堤体の段切りによる発生土は覆土に適した材料である場合が多いので, 覆土への流用を第一に検討する。

なお, これらの掘削発生土は流用するまで仮置きしなければならないが, 仮置き中に降雨等による軟弱化や, 日照による乾燥を防止するためにブルーシートなどで覆って養

生するものとする。

2) 築堤工

堤体築造は築堤準備工事を済ませた後に、築堤箇所不整地運搬車やダンプトラック等の運搬機械で搬入した解砕土を、バックホウにより粗粒子と細粒子が均一に混ざり合うように撒出する。さらにブルドーザにより一定層厚(= 20 ~ 35cm)になるように敷均してから、通常土と同様に振動ローラ、ロードローラ、タンピングローラなどの転圧機械、あるいはトラフィカビリティーの確保しやすいブルドーザにより規定の回数だけ転圧して行く。この時、盛土地盤が所定の目標強度あるいは遮水性基準値を満足していることの確認を行う必要がある。

2) - 1 築堤時の留意点

- (1) 築堤箇所に運搬されてきた解砕土の撒出しはバックホウにより行う。この時、大粒径の解砕粒子と小粒径の解砕粒子が均一に混ざり合い、特に大きい粒径の解砕土だけが偏在しないように行わなければならない。
- (2) 撒き出された解砕土を所定の層厚 H になるようにブルドーザにより敷き均し、規定の転圧機械により規定回数Nだけ転圧する。
- (3) 解砕土の撒出し・敷均し、転圧は堤体軸に平行に行うことを原則とする。また、撒き出し、敷き均した解砕土はその日のうちに転圧しなければならない。
- (4) 解砕土の転圧程度が低いと、解砕粒子間の接触部がつぶれず、堤体内に空隙が残りやすく均一な強度が得にくい。特にこのような空隙は水みちになりやすいので所要の遮水性が得られない可能性がある。このため室内配合試験では作製した各供試体の密度を測定しておき、この密度を現場での管理目標値とする。
- (5) 地山や既設堤体との接触面は互いに密着し、均一化するように入念に転圧しなければならない。
- (6) 底樋等の構造物周りの狭隘な場所では規定の転圧機械による転圧ができないことから転圧不足になりやすい。ランマーなど狭隘部に適した転圧機械を使用し、その性能に応じて撒出し層厚 H を小さくするなどして入念に転圧する。
- (7) 築堤した面は次の築堤層とのなじみが良くなるように、バックホウのバケットの爪により掻起こし(レーキング)を行う。
- (8) 所定の幅の転圧が終了し、隣接する部分の転圧に移る時には転圧終了部分と重なるように(30 ~ 50cm)し、未転圧部分が残らないようにする。
- (9) 築堤面はやや池側に傾斜をつけて仕上げて降雨時に築堤面に雨水が残らずに排水されるように仕上げるものとする。
- (10) 転圧後の築堤面が降雨や氷雪・霜柱等により軟弱化してしまった場合、その部分は除去しなければならない。

2) - 2 転圧機械の選定

・普通ブルドーザによる転圧(トラフィカビリティーを確保しにくい場合)

解砕土を築堤場所へ運搬するためのクローラダンプなどの運搬車の走行、撒出しのためのバックホウ作業、敷均しと転圧のためのブルドーザの走行を可能にする程度のトラフィカビリティーは確保されねばならない。このためには一軸圧縮強さで $q_u = 50 \sim 100 \text{ kN/m}^2$ 程度が必要とされている。

砕・転圧盛土工法の理想的な転圧機械の条件としてはトラフィカビリティーが確保しやすいこと、解砕土の破碎・転圧性が高いことである。本設計・施工法では、施工機械のトラフィカビリティーにより設定する目標強度($q_u)_{CC}^*$ (= ($q_u)_{CC \text{Trafficability}}$) を15t級普通ブルドーザの走行性により決めているため、転圧は15t級ブルドーザの使用が基本となる。転圧幅による踏み残しがないよう留意する。

普通ブルドーザの入手が難しく、普通ブルドーザ以外ではトラフィカビリティーが確保しにくい場合には湿地ブルドーザの使用を検討する。ただし、この場合には、湿地ブルドーザは接地圧が低く転圧力が不足するので、撒出し層厚 H を普通ブルドーザの場合よりも小さくすること、必ず試験施工を実施すること、きめ細かい施工管理を実施することを条件とする。

またタンピングローラも理想的な転圧機械であるが、ため池工事に適した小型の機械は一部地域を除くと入手しにくい。

Table 12【ブルドーザ】の例
Example of available bulldozer

メーカー	型式	規格・公称質量	販売実績(全国・リース機)	備考
コマツ	D41E	普通 10.5t	40 台	
	D65E	普通 18.7t	100 台	

・転圧機械による転圧(トラフィカビリティーが確保される場合)

目標強度($q_u)_{CC}^*$ が、堤体安定に必要な強度により設定される場合(($q_u)_{CC}^* = (q_u)_{CC \text{Stability}}$), にはトラフィカビリティーは確保されるので普通の転圧機械の使用を検討する。

理想的な転圧機械であるタンピングローラが入手できる地域ではこれの使用を第一に検討すべきであるが、それ以外の地域では振動ローラの使用が効果的であろう。そこで、市場で稼働している機種を有するメーカーを対象に実施した市場調査(リース機として販売された台数調査)によると、転圧能力、牽引力、排ガス対策等の仕様

から評価して販売実績が多く、かつリース機として入手が比較的容易な機種としてTable13のものが推奨できる。

Table 13【振動ローラ(鉄輪+タイヤ)】の例
Example of available vibrating roller

メーカー	型式	規格公称質量	販売実績(全国・リース機)	備考
コマツ	JW100 WA-2	11.3t	45台	販売実績:160台
酒井重工業	SV510 D-1	11.0t	29台	SV510 シリーズは200台以上
日立建機	RA100 D-2	10.0t	28台	

k 覆土工

堤体築造後の法面や天端面の仕上げは場内発生土等により、所定の厚さで覆土し、必要に応じて植生等を施す。

1) 覆土厚

築造した堤体の法面あるいは上端面は、降雨による侵食や乾・湿繰返し環境による劣化を防止するために、場内発生土等により覆土を施す。必要に応じて植生を行うが、この場合には覆土は植生に適した土を選択する。

覆土の層厚 T_{CS} は堤体施工面の直交方向に30~50cm程度とするが、灌木類などを植栽する場合には根が深くまで張りやすいように厚く50cm程度、芝生のような草類では30cm程度を目安とする。また、張りブロック工を施す場合でもその下層には30cm層厚程度の覆土をするものとする。

2) 覆土の施工

覆土は、Fig.34に概念的に示すように、解砕土と同じ層厚 H で撒出し、規定の堤体断面より水平方向に50cm以上余盛りを行い、これを転圧後に切り取って除去することを原則とする。ただし法面勾配がゆるい場合には余盛り幅が大きくなりすぎることや、覆土のすべり落ちが少ないことから、砕・転圧部を築堤してから覆土だけを土羽打ちして仕上げてもよい。

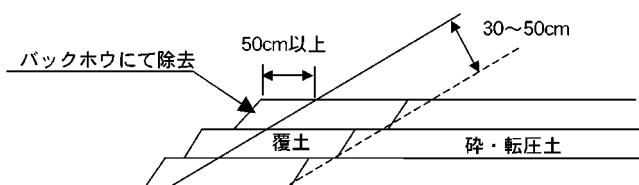


Fig.34 覆土の施工
Construction of protection layer

3) 覆土用土

覆土に使用する用土は、既設堤体を段切掘削するなどして発生する土が流用できるものと考えられる。これが不足する場合には場内から使用可能な土を探るか、購入しなければならない。覆土に適した用土は、表層すべり等の破壊、貯水の波浪侵食に対して安定であり、ある程度 (1×10^{-4} (cm/s) オーダー) の遮水性のあることが必要である。覆土は、砂分が多いと表層すべりや波浪侵食に弱く、また粘性土では高含水比のものは乾燥クラックが生じやすく、低含水比のものは団子状態になりやすく法面整形をしても隙間が残りやすい。したがって砂・シルト分を適度に含んだ粘性土が覆土用土に適している。また覆土に必要な強度の目安は以下のように求められる。法面方向の力のつりあいはFig.35に示すとおり

$$F_s = \frac{f}{W} = c/W \cdot \sin \quad (36)$$

$$W = t \cdot g \cdot T_{CS} \quad (37)$$

となるから、粘着力 c は次式

$$c = F_s \cdot W \cdot \sin = F_s \cdot t \cdot g \cdot T_{CS} \cdot \sin \quad (38)$$

で得られる。

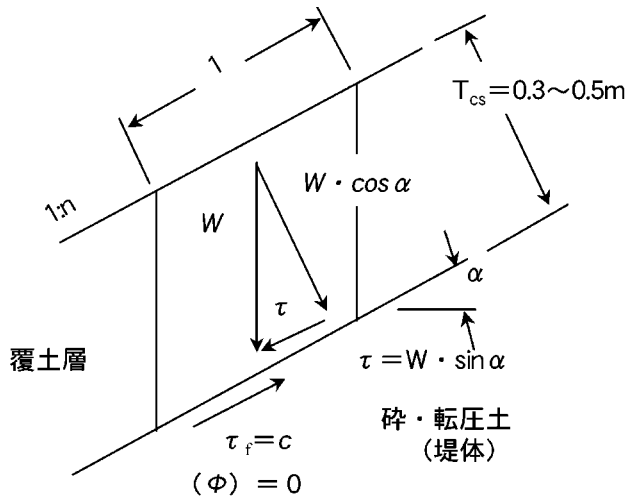


Fig.35 覆土に必要な粘着力
Cohesion required to protection layer soil

覆土の施工では、十分な転圧ができないことなど不確定なところが多いことや、法面からのずり落ちによるクラック発生等による目立った変形がないようにするために、やや大きめの安全率 $F_s = 5.0$ を採用する。覆土層厚 $T_{CS} = 30 \sim 50$ cm、覆土の湿潤密度を $t = 1.8t/m^3$ 程度とすると、必要な粘着力 c の目安値は法面勾配 $1 : n$ に応じてTable14のようになる。

Table 14 法面勾配と粘着力
Relationship between cohesion of protection layer
and slope of embankment

法面勾配 1 : n	粘着力 c (kN/m ²)
1 : 2.0	12 ~ 20
1 : 2.5	10 ~ 17
1 : 3.0	8 ~ 13

1 構造物周辺の施工

ため池の改修は堤体の改修と並行して底樋・斜樋等の取水施設、洪水吐工のような構造物の改修を行うことが多いが、構造物周辺の築堤は漏水の原因になりやすいので、慎重に仕上げる必要がある。

1) 構造物の基礎地盤の支持力

底樋や洪水吐のような構造物は堤体の上下流方向にまたがって築造されるが、その基礎地盤はこれらの構造物の沈下により堤体部との間に隙間が生じないように十分な支持力を有していることを確認しなければならない。例えば、底樋では基礎地盤の支持力 q_{BC} が所定の安全率 $F_s = 3.0$ を有して底樋の自重 q_{SW} とその上部に載る堤体による土被り圧 $t \cdot Z$ (Z : 土被り深さ)に耐えられること、つまり

$$F_s \cdot q_{BC} / q \quad (q = q_{SW} + t \cdot Z) \quad (39)$$

$$q_{BC} \geq 3 \cdot (q_{SW} + t \cdot Z)$$

であることが必要である。なお、基礎地盤の支持力 q_{BC} の確認は平板載荷試験、あるいは不攪乱状態でコア供試体が採取できる場合には一軸圧縮試験による一軸圧縮強さ q_u ($q_u > q_{BC}$ であることを確認する)により行う。

2) 構造物周辺からの漏水対策

これら構造物周辺は漏水が生じやすい箇所にあたるため、その周辺にはコンタクトクレイを貼り付けながら築堤しなければならない。コンタクトクレイの施工は、Fig.36に底樋の一例を示すように、砕・転圧土層の築堤とともに最低厚さが10cm以上になるように仕上げる。また堤体横断方向へは、少なくとも底樋や洪水吐に設けられた止水壁のある部分まで施工するものとする。なお、コンタクトクレイには礫分や有機物を含まない、構造物表面に密着し周辺築堤部の変形に追従できる適度な塑性と含水比を有する粘性土を使用する。

2 工事管理

工事管理は、計画された目標強度を有する初期固化土(初期固化養生日数 $t = t_s$)、これを規定の最大粒径 D_{max} で解砕した解砕土を、所要の強度や遮水性を有する堤体盛土として、その築造を安全に完了させることにある。

工事管理は、施工管理と品質管理から構成される。前者

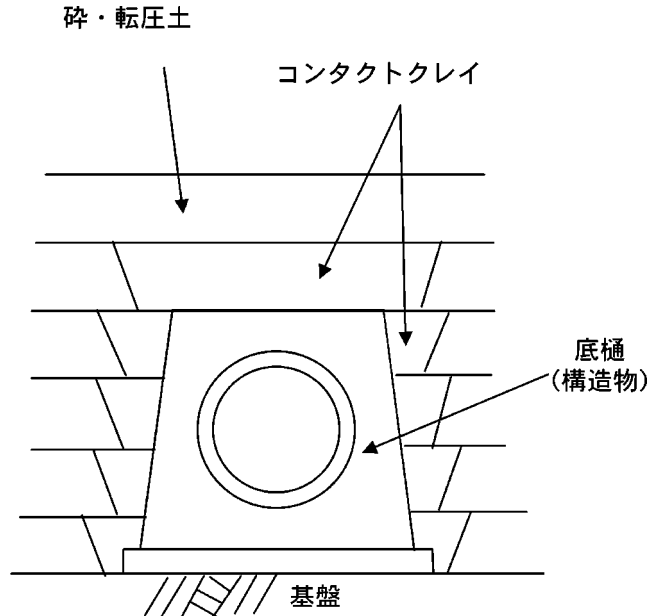


Fig.36 構造物周りのコンタクトクレイの施工
Construction of contact clay layer surrounding structure

は各工程が施工計画にしたがった方法で行われているかの施工状況の管理や、設計通りの材料が必要量使われているかの材料の管理を行うものである。また後者は出来上がった堤体の強度・遮水性が設計通りになっているかを確認するものである。

a 施工管理

施工が、配合試験により設定された配合条件(固化材添加量 W_C^* 、初期固化養生日数 t_s)で、計画された施工方法により初期固化し、規定の最大粒径 D_{max} の解砕土が、規定の転圧条件(転圧機種、撒出し厚、転圧回数 N)で盛り立てられていることを管理・検査する必要がある。

各施工工程における具体的な施工管理項目は以下のものがある。

1) 固化材に関する管理項目

- 固化材添加量: W_C (kg/m³)
- 固化材の全体使用量 (t)
- スラリーの密度: ρ_{SL} (g/cm³)
- スラリー圧送量: Q (l/min.)

2) 初期固化工(固化材の添加・攪拌混合)に関する管理項目

- 攪拌混合機の性能確認
(攪拌幅・深さ、攪拌回転数、上下・左右移動速度など)
- 攪拌混合区画の幅と深さ
- 混合状況(目視による固化材の色むら管理など)

3) 初期固化土とその解砕・転圧に関する管理項目

- 解砕機の解砕性能
- 解砕時の最大粒径 D_{max} (mm)
- 解砕土の撒出し厚 H (cm)

転圧回数：N (回)

b 品質管理

築造された堤体が、所要の品質（強度や遮水性）が確保されていることを確認するために、初期固化土地盤、堤体盛土地盤（砕・転圧土）の品質管理試験を行う必要がある。

初期固化土と砕・転圧土（堤体）に関する品質管理項目は以下の通りである。

初期固化土の強度（現場強度・一軸圧縮試験）

砕・転圧盛土の強度（現場強度・一軸圧縮試験）

砕・転圧盛土の透水性（現場透水・室内透水試験）

締固め度：D（密度による遮水性確認試験）

現場には、これらの試験が行える装置を備えた現場試験室を設置するものとし、その規模は2間（3.6m）×3間（5.4m）を目安とする。試験室に設置すべき装置の一例をTable15に示す。また、Photo5にある工事で設置された試験室内の状況を示す。

1) 堤体の強度確認

砕・転圧土により築造した堤体が、所要の強度を確保していることを現場強度試験あるいは室内試験により確認する必要がある。

1) - 1 堤体強度の確認試験

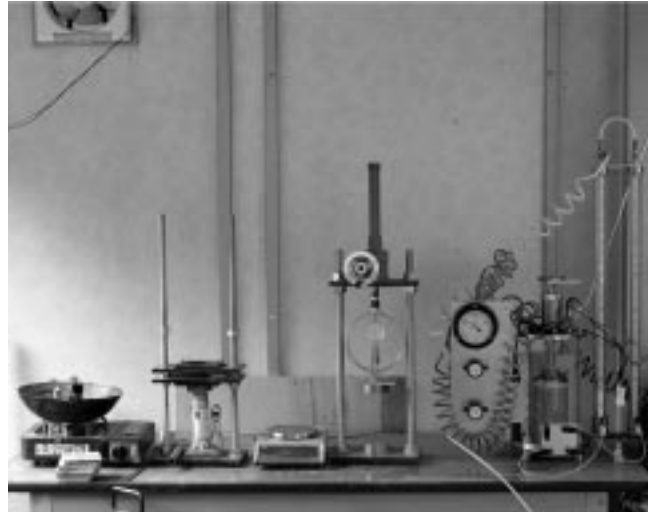


Photo 5 現場土質試験室の例
Example of construction site laboratory

通常土の締固め管理は、締固め試験による最大乾燥密度 d_{max} を用いた締固め度DC値による密度管理、つまり所定の密度が達成されていれば強度も確保されるという、間接的な強度管理法が行われる。これに対して、砕・転圧盛土工法における築堤土は、通常土のように締固められた高

Table 15 現場試験室に設置すべき装置の一例の一覧表
Example of construction site laboratory

試験項目	試験機及び物品	仕様	個数	備考
現場強度	球体落下試験	FW-26型	1式	球体質量 2.6kg
室内強度	一軸圧縮試験機	供試体寸法 D/H=75mm/150mm を標準とする	1式	簡便型
	三軸圧縮試験機		1式	消耗品も含む
	コア供試体採取器具		1式	
	コアサンプラー		20個	
遮水性 (現場)	現場透水試験機	マリオット管式	2式	
	オーガー	穿孔径φ100mm	1	透水孔掘削用
遮水性 (室内)	三軸透水試験	D/H=75mm/100mm を標準	1式	消耗品も含む
含水比	フライパン	径 300mm 程度の中華鍋	1個	
	ガスコンロ		1台	
	ガスボンベ		10本	
	ハカリ	最大 2000g 程度 (最小読み 0.1g)	1台	
	ボウル	径 200mm 程度	10個	
その他	コンプレッサー		1台	
	実験機	幅 700mm × 長さ 1800mm 程度	1	
	工具類		1式	
	各種試験部品の予備		1式	
	粒度試験用フルイ		1式	
	マッドバランス		1式	スラリー密度管理
	コーン貫入試験機		1式	
	真空発生機		1式	
	脱気水タンク		1式	
セル水タンク		1式		

密度化による強度増加ではなく、固化材による固結による強度発現であるため、密度管理法では目標強度が確保されていることの確認はできない。このため締固め管理は強度を直接求める強度管理法によるものとする。

堤体の管理は、堤体から不攪乱状態で採取したコア供試体の一軸圧縮試験を一定盛土量約1500m³を築堤毎に行うことを基本とし、また日常管理として施工エリアを面的に広く、多数位置で試験が簡単に実施できる現場強度試験により行う。

1) - 2 強度管理実施日について

砕・転圧盛土工法では固化処理土による堤体築造であり、Fig.37に概念的に示すように、堤体強度は養生日数tとともに増加していくため、強度管理を実施する養生日数を設定しなければならない。

(1) 初期固化土

解砕日の $t_s = 3$ 日目の強度 $(q_u)_{IS3}$ を測定し、予め室内配合試験により求められた $(q_u)_{IS10} \sim (q_u)_{IS3}$ 関係より目標強度の設定日である $t_s = 10$ 日目の強度 $(q_u)_{IS10}$ を推定し、これが目標値 $(q_u)_{IS}^*$ を満足していることを確認する。

(2) 砕・転圧土

解砕土を築堤した翌日の $t_{CC} = 1$ 日目の強度 $(q_u)_{CC1}$ を測定し、目標強度設定日である $t = 10$ 日目に相当する強度 $(q_u)_{CCX}$ （解砕・転圧日が $t_s = 3$ 日であれば $X = t_{CC} - t_s = 10 - 3 = 7$ 日目の強度 $(q_u)_{CC7}$ ）を予め室内配合試験により求められた $(q_u)_{CCX} \sim (q_u)_{CC1}$ 関係より推定して、これが目標値 $(q_u)_{CC}^*$ を満足していることを確認する。

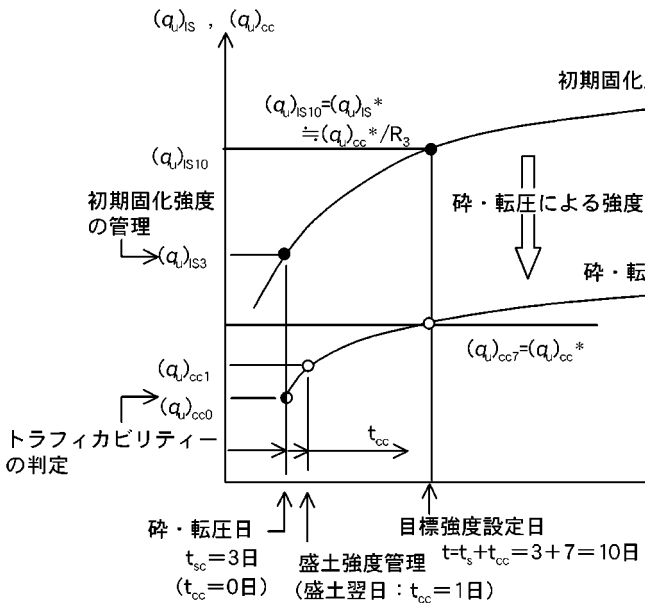


Fig.37 強度管理の基本的考え方

Basic principle of strength control under construction

1) - 3 室内強度試験（一軸圧縮試験・三軸圧縮試験）

(1) コア供試体の採取方法

室内強度試験に使用するコア供試体の採取は初期固化土地盤と砕・転圧土地盤では異なる。初期固化土地盤では固化材を添加・混合後のまだ固まらない間に、シンウォールパイプ（内径寸法D/H 75mm/150mm程度）を埋設しておき、翌日まで固化させてから掘り出す。また砕・転圧土地盤では、築堤面に薄肉のライナーサンプラー（内径寸法D/H = 75mm/150mm程度で不攪乱状態のコア供試体を採取できるものとする）を打ち込んでから掘り出す。

(2) コア供試体の養生

コア供試体はクーラーボックス内で乾燥しないように濡れタオルなどで包んで湿度を保った状態で養生する。

(3) 試験方法

採取してきたコア供試体の強度は、所定の養生日数に達したコア供試体について、土の一軸圧縮試験方法（JGS 0511）に準じて求める。しかし、試験結果を実施工に迅速にフィードバックするために、現場試験室での試験では、最大荷重 P_{max} を読み取るだけの簡便型の一軸圧縮試験でもよい。この場合には応力～ひずみ曲線が記録されないが、試験実施の記録として写真撮影を行う。

また、規模の大きい工事（堤高が10mを超え、築堤土量約10000m³以上の堤体が目安）では、築堤した砕・転圧土の堤体の変形性（応力～ひずみ曲線）や強度パラメータを調べるために三軸圧縮試験を実施する。

1) - 4 現場強度試験（球体落下試験）

盛土地盤の強度を現場で簡単に知ることができる現場強度試験は各種あるが、最も簡単な試験としてコーン貫入試験がある。しかし、砕・転圧盛土工法が対象とする初期固化土の強度はコーン貫入試験で試験可能な範囲より大きく、初期固化土及び砕・転圧土を同じ試験で管理するにはこの試験では難しい。

そこで、低～高強度までの広範囲な地盤の強度試験に適している球体落下試験を採用するものとする。この試験は、Fig.38に示すように、固化処理地盤面上に一定条件（球体重量・落下高さ）で球体を自由落下させた時に形成された凹みの直径Dを測定して、Dと地盤の一軸圧縮強さ q_u の関係から強度を簡単に知ることができるものである。Fig.38, Photo 6に示した装置（FW-26型）は球体の直径80mm、重量 $W = 2.6\text{kg}$ で、落下高さ $H = 45\text{cm}$ の形式である。

これにより求めた初期固化土強度 $(q_u)_{IS}$ あるいは砕・転圧土強度 $(q_u)_{CC}$ と球体落下により形成された凹みの直径D（cm表示）の逆数 $1/D$ の関係はFig.39に示すようにほぼ一本の直線で近似できる。このような関係を、予め室内配合試験や試験施工時の管理試験で求めておけば簡単に現場で地盤の一軸圧縮強さを推定できる。

$$(q_u)_{IS}, (q_u)_{CC} = A \cdot (1/D) + B \quad (A, B \text{は係数}) \quad (40)$$

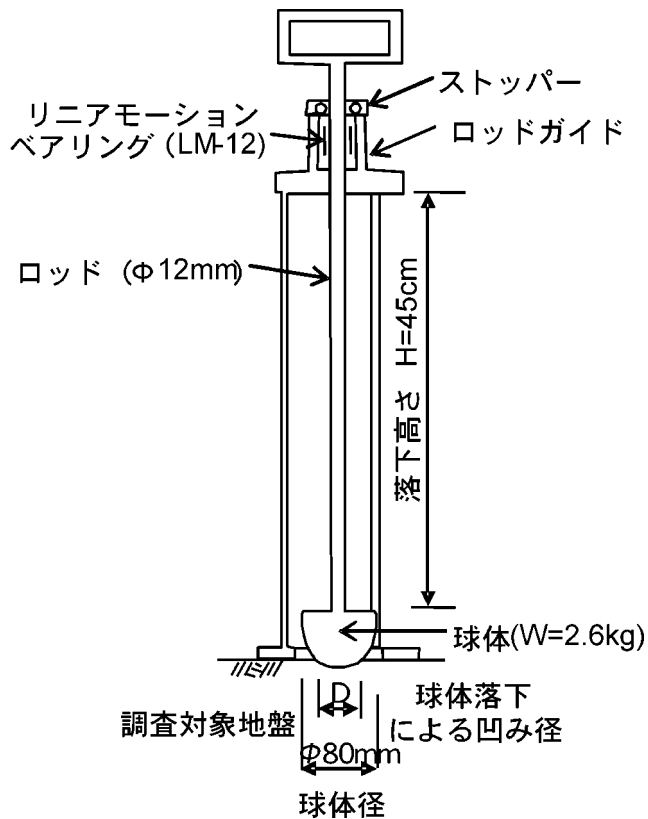


Fig.38 球体落下試験 (FW-26型)
Spherical weight falling test (type of FW-26)

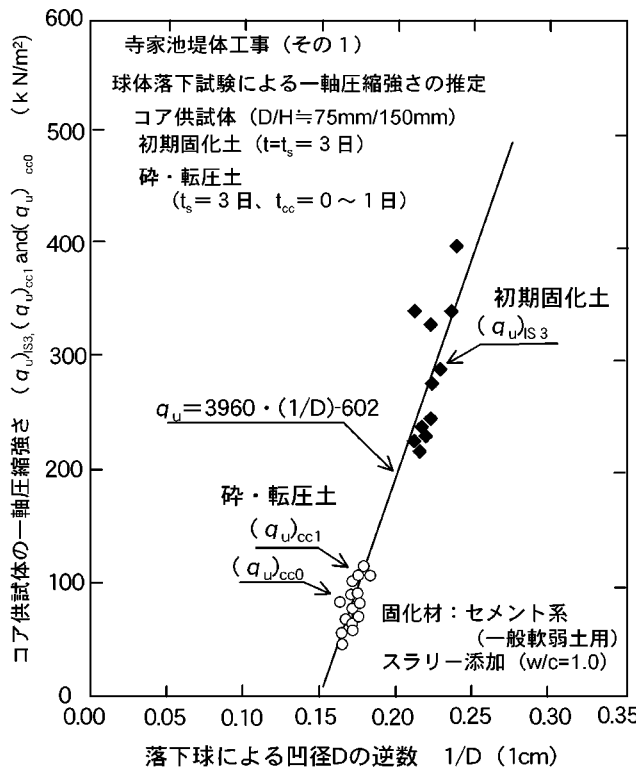


Fig.39 球体落下試験による強度の推定
Prediction of field unconfined compressive strength by spherical weight falling test



Photo 6 球体落下試験の状況
Operation of weight falling test

1) - 5 管理目標値

強度の管理目標値は、初期固化土と砕・転圧土のそれぞれについて以下のように設定する。

(1) 初期固化土

目標強度設定日である $t = 10$ 日目の強度 $(q_u)_{IS10}$ が目標強度 $(q_u)_{IS}^*$ 以上で、かつその $1/FL$ 倍以下でなければならない。

$$(q_u)_{IS}^* \leq (q_u)_{IS10} \leq (1/FL) \cdot (q_u)_{IS}^* \quad (41)$$

(2) 砕・転圧土

目標強度設定日である $t = t_sC + t_{CC} = 10$ 日目の強度、 $t_sC = 3$ 日であれば $(q_u)_{CC7}$ が目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ 以上で、かつその $1/FL$ 倍以下でなければならない。

$$(q_u)_{CC}^* \leq (q_u)_{CC7} \leq (1/FL) \cdot (q_u)_{CC}^* \quad (42)$$

ただし、堤高が低い堤体のように、目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ が施工機械のトラフィカビリティーにより決まる $(q_u)_{CC}^* = (q_u)_{CC} \text{Trafficability} (> (q_u)_{CC} \text{Stability})$ の場合には、管理強度 $(q_u)_{CC7}$ が目標強度 $(q_u)_{CC}^*$ に達していても、築堤可能なトラフィカビリティーが確保され、堤体安定に必要な強度 $(q_u)_{CC} \text{Stability}$ 以上であれば、つまり

$$(q_u)_{CCStability} < (q_u)_{CC7} \quad (q_u)_{CC^*} (= (q_u)_{CCTrafficability}) \quad (43)$$

であれば問題ないとする。

このような取扱いや、管理基準値に上限値も設けているのは、砕・転圧盛土工法による堤体部が、堤体安定に必要な強度を有し、かつ既設堤体部との密着性（なじみ）の良い堤体の築造を目的としているためである。つまり通常の土質改良工法のようにただ単に目標強度を満足していればよいわけではなく、堤体安定に必要な強度を越える砕・転圧土は既設堤体土との密着性を悪くする原因になるので、これを避けるためである。

2) 堤体の遮水性の確認

砕・転圧土により築造した堤体が、所要の遮水性を確保していることを現場透水試験あるいは室内透水試験により確認する必要がある。

遮水性確認試験は、築造された砕・転圧土による堤体が規定の遮水性を満足していることを確認するために行う。一定盛土量約1500m³毎に実施する現場透水試験による透水係数により直接判定することを基本とし、日常管理として実施する現場密度試験による締固め度D から間接的に判定するものである。

2) - 1 現場透水試験

堤体面にオーガーで直径10cm、深さ15cm程度の立坑を掘削し、そこでPhoto 7 に一例を示すようなマリオートサイフォンを用いた一定水位型現場透水試験（立坑法：JGS 1316に準じる）を実施し現場透水係数 k_{Field} を求める。



Photo 7 一定水位型現場透水試験器
Example of field permeability test apparatus

2) - 2 現場密度試験

堤体面からコアカッター法に採取した不攪乱コア供試体（内径寸法はD/H 75mm/100mm程度）から湿潤密度 t_{CC} を求め、予め室内配合試験で求められた湿潤密度 t_{CC}^* との比である締固め度

$$D = (t_{CC} / t_{CC}^*) \times 100 \quad (\%) \quad (44)$$

を管理するのである。これは、現場の t_{CC} が所定のレベルで満足されていれば転圧ムラにより水みちになる隙間がなく現場での遮水性が確保されるという考え方によるものである。これまでの室内試験や実績によると

$$D \geq 98\% \quad (45)$$

であれば遮水性は確保されることがわかっている。

ただしこの現場密度試験は、底泥土に掘削土を混合して固化処理する場合のように、礫などの粗粒分を含む場合には正確な密度測定が不可能なため実施できない場合がある。

2) - 3 室内透水試験

室内透水試験による堤体の遮水性の確認は、一定盛土量、約1500m³築堤毎に三軸セルを用いた透水試験を実施して行う。これに使用するコア供試体は一軸圧縮試験で使用するコア供試体の場合と同様の方法で堤体から採取するが、その寸法はD/H = 75mm/100mmとする。

3) 六価クロム溶出試験

固化処理の対象土が火山灰質粘性土である場合には、施工中に一定土量毎に「六価クロム溶出試験」を実施し、環境基準値0.05mg/lを超過していないことを確認する必要がある。

この溶出試験は改良土量が5000m³以上の工事を対象とし、その頻度は改良土1000m³に一回程度、環境庁告示46号溶出試験と通達49号に記載されているタンクリーチング試験をそれぞれ実施するものとしている。しかし、固化処理対象土が火山灰質粘性土以外の土ではこの試験は実施しなくてもよい。

4) 施工管理試験の実施頻度

管理試験の実施頻度の目安をTable16に示す。一定土量毎に実施する管理試験で1500m³に1回とするものは、約1週間に1回の実施となる。

1) 固化材混合状況などの検査

施工後の固化処理地盤では固化材混合状況やその他に異常が無いことを目視等により検査する必要がある。

盛土地盤を試掘するなどした掘削面や採取したコア試料について、固化材混合状況やその他異常がないことを目視により検査する。つまり初期固化土では気泡の有無や固化材の混合状況（均一性など）などを、砕・転圧土では解砕粒子間の転圧状況、空隙の有無などを確認する。なお、コア試料や掘削面において固化材混合状況が目視で確認しにくい場合にはフェノールフタレイン1%溶液などを用いる。

3 施工上の注意事項

豪雨、出水、その他天災に対しては平素から気象情報に十分注意を払い、常にこれに対処できる準備をしておく必

Table16 管理試験の実施頻度の目安
Frequency of quality control test

管理試験名	初期固化土	砕・転圧土	備考
底泥土の含水比試験	2回/日 (午前・午後)	—	フライバン法
スラリー密度試験	2回/日 (午前・午後)	—	マッドバランス法
現場強度試験	1回/日	1回/日	球体落下試験 (FW-26型)
現場密度試験	—	1回/日	コアカッター法
一軸圧縮試験	①1回/500m ³ ②1回/1000m ³ ③1回/1500m ³	①1回/500m ³ ②1回/1000m ³ ③1回/1500m ³	JIS 0511 に準じる (簡便型) ①5000m ³ 以下 ②10000m ³ 以下 ③10000m ³ 超
三軸圧縮試験 (CU)	—	1回/5000m ³	・ JIS 0523 に準じる ・ 不攪乱コア供試体
現場透水試験	—	①1回/500m ³ ②1回/1000m ³ ③1回/1500m ³	立坑法: JGS 1316 に準じる ①5000m ³ 以下 ②10000m ³ 以下 ③10000m ³ 超
三軸透水試験	—	①1回/500m ³ ②1回/1000m ³ ③1回/1500m ³	不攪乱コア供試体 ①5000m ³ 以下 ②10000m ³ 以下 ③10000m ³ 超
六価クロム溶出試験	—	1回/1000m ³	・ 火山灰質粘性土の場合で、かつ改良土量 5000m ³ 以上の工事が対象

要がある。また冬場の寒冷地での施工、夏場の暑中における対策も十分な配慮が必要である。

a 雨天時の対策

降雨が予想される場合は予め施工を中止し、既に盛られた面または施工中の盛土面については、雨水の盛土内への浸入を防止する対策をとらなければならない。河川堤防の土工事を規定した河川土工マニュアル⁶⁾では、日降雨量が5mm程度を施工中止の目安とし、10mmでは中止するものとしている。なお施工再開までの待ち時間は、築堤面の施工機械のトラフィカビリティが得られ、こね返しが生じなくなった時点とする。

b 寒冷地での施工

日平均気温が4℃以下になることが予想される場合には、固化材の管理に注意し、寒気対策、防風対策が必要である。またスラリー方式で固化材を添加する場合には使用する水の凍結防止などの品質管理が重要で、温度には十分注意し、必要であれば加熱して使用することも検討する。夜間には圧送ホース内の水は確実に抜き取っておく必要がある。また固化処理した底泥土の地表面にはむしろ等の断熱・保温効果のあるシート状材料により養生するのが良い。

c 暑中施工

日平均気温が25℃を越える時期の施工では、高温による固化材の品質低下を招かないよう、固化材の保管やプラ

ントの設置は風通しのよい場所を選定する。またスラリー方式で固化材を添加する場合には、スラリーの粘性が増大するので粘性のチェックも必要である。

d その他

固化処理にあたっては、池敷き外に濁水が出ることが考えられる場合など、濁水処理が必要な場合には濁水対策を行うことが必要である。

結語

老朽ため池は築造年代が古く、老朽化による漏水や大規模地震の発生が想定される地域での耐震補強など、早急な改修が必要なものも多い。このような老朽ため池には、底泥土が厚く堆積している例が多く、貯水容量の減少や水質の悪化などの原因になっている。機能回復のための対策として底泥土の浚渫除去も行われているが、底泥土は含水比が高いため、捨て場の確保も環境面等から難しくなっている。

本報告は官民連携新技術研究開発事業「ため池改修工事の効率化」で開発した、ため池内に堆積した底泥土を固化処理し、堤体改修の築堤土として有効活用する『砕・転圧盛土工法』の研究成果及び施工実績から、ため池堤体の改修あるいは補強工事を行うための設計・施工法について述べたものである。本工法がこのような課題を解決するため池

改修事業の効率化をもたらす一助となることを期待している。

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/ - 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.689/ - 55, pp.269 - 284, 2001 .
- 3) 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, 2000 .
- 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) (社)日本道路協会編: 道路土工 施工指針, (社)日本道路協会, 1986 .
- 6) 河川土工マニュアル検討委員会編: 河川土工マニュアル, (財)日本開発技術研究センター, 1993 .
- 7) 谷 茂: ため池底泥土を有効利用した新しいため池改修工法 - ため池底泥土の破碎・転圧工法 -, 農業土木学会誌, Vol.68, No.12, pp.90 - 91, 2000 .
- 8) 日経コンストラクション「汚泥のリサイクル動向記事」: 固化したヘドロを粉碎して改良, 日経コンストラクション12月8日号, p.65, 2000 .
- 9) パンフレット『固化処理した底泥土の砕・転圧盛土工法』: 「ため池改修工事の効率化」新技術研究開発組合[(株)フジタ・太平洋セメント(株)], 2000 .
- 10) (株)フジタ: 固化処理した底泥土による砕・転圧盛土工法 - ため池底泥土の堤体盛土材への有効利用 -, FUJITA TECHNICAL REPORT No.099, 2000 .
- 11) (株)フジタ: 老朽ため池における新しい堤体改修法 - 寺家池(三重県)における砕・転圧盛土工法の施工実施例 -, FUJITA TECHNICAL REPORT No.112, 2002 .
- 12) パンフレット『砕・転圧盛土工法による老朽ため池の改修 底泥土を築堤土へ有効活用』, 新技術研究開発組合 [(株)フジタ・太平洋セメント(株)], 2003 .
- 13) 谷 茂, 福島伸二, 北島 明, 酒巻克之: ため池底泥土を有効利用した砕・転圧土の力学特性, pp.255 - 260, 第5回環境地盤工学シンポジウム, 2003 .
- 14) 福島伸二, 谷 茂, 北島 明, 石黒和男, 酒巻克之: 老朽化ため池における底泥土を活用した環境負荷の少ない堤体改修工法の適用事例, pp.265 - 270, 第5回環境地盤工学シンポジウム, 2003 .

資料(砕・転圧盛土工法に関する文献一覧)

- 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/ - 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.689/ - 55, pp.269 - 284, 2001 .
- 3) 谷 茂, 福島伸二, 北島 明, 石黒和男, 池田康博, 酒巻克之: 固化処理したため池底泥土をため池の改修に用いる研究, 農業工学研究所報告, 第40号, pp.95 - 112, 2001 .
- 4) 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

Design and Construction Method to Repair Embankment by Crushed and Compacted Stabilized Muddy Soil in old small Earth Dam

TANI Shigeru, FUKUSHIMA Shinji, KITAJIMA Akira, SAKAMAKI Katsuyuki

It is said that many of old small earth dams are needed urgently to repair for damage and leakage, and to reinforce embankment in earthquake area. We need strong and impervious soil to repair such old small earth dams. However, it comes to difficult increasingly to promote repair construction because of the shortage of suitable material, recently.

On the other hand, there is much of muddy soil piling up in such old small earth dams. That causes to reduce their function of water storage and water quality. Sometimes, muddy soil in reservoir is dredged and removed to recover their function. However, in case to dispose of soil, it is not easy to transport in that condition, because of high water content and very soft clay soil. Recently, it comes to difficult even to secure space to dispose of soil, because of the protection of environment and economy.

Then, our research group "EFFICIENCY IN REPAIR OF OLD SMALL EARTH DAMS" have developed "Embankment Method by Crushed and Compacted Stabilized Muddy Soil" as new construction technology that constructs sloping core zone for leakage control or the counterweight embankment with stabilized muddy soil.

After stabilizing muddy soil with curing, crushing and banking, this material comes to be applicable to the embankment material, enough to have needed quality such as strength, impermeability and deformation. That makes it unnecessary to dispose of muddy soil and get new strong, impervious material for embankment. Now we can dredge and remove muddy soil, at the same time, repair and reinforce embankment. Therefore, it is expected to repair effectively the old dam embankment.

This tentative guideline shows construction method to repair or reinforce embankment by "Embankment Dam Method by Crushed and Compacted Stabilized Muddy Soil" from the results of study and construction, laboratory testing procedure for mixing design, determining method of design strength, quality control test under construction, and so on.

Keywords : Earth Dam, Muddy Soil, Repairment