

参考資料

12. ため池盛土斜面の簡易な強度調査方法  
(原位置せん断試験)

(1) 簡易な強度調査法 (原位置せん断試験) の必要性

ため池堤体の安定計算に必要な強度定数、内部摩擦角 ( $\phi$ ) と粘着力 ( $c$ ) は外観調査で調べることは不可能であり、通常はボーリングによって不攪乱試料を採取して、室内三軸圧縮試験によって求める。したがって、調査には、比較的大きなコストがかかるのが現状である。

本調査方法は、ため池の現地で室内三軸圧縮試験と同様なせん断試験を行う方法であり、短期間かつ低コストに強度定数 ( $c$ ,  $\phi$ ) を調べることができる。この方法により、ボーリング・室内三軸圧縮試験と比較して、堤体強度の調査コストを約1/2に縮減できる。また、この調査法は、豪雨の場合だけでなく、耐震診断にも有効である。

(2) 調査方法の概要

a. 自動式スウェーデンサウンディング試験機による調査方法

はじめに、自動式スウェーデンサウンディング試験機 (空圧式) による換算  $N$  値の測定を行い、次に、換算  $N$  値の測定孔に、特殊せん断刃付きバルーンを挿入して、「孔内回転せん断」を行う。

ボーリング+室内三軸圧縮試験と自動式スウェーデンサウンディング試験機による孔内回転せん断試験の調査・試験方法を参表-12.1に示す。

	ボーリング+室内三軸圧縮試験	自動式スウェーデンサウンディング試験機 (空圧式) による孔内回転せん断試験
適用地盤	玉石や礫を除くあらゆる地盤に適用可能	玉石や礫を除くあらゆる地盤に適用可能
$N$ 値測定適用深度	一般の地盤調査では、基本的に深度に制限はない	砂礫地盤でも貫入可能深さは20m程度であり、粘性土であればそれ以上である 砂礫地盤では測定精度の限界はロッドの周面摩擦により深度15m程度と考えてよい
機械搬入	普及度が高いが、アクセスの悪いため池では、モノレール等の間接費が大きくなる場合がある	ボーリングよりも機械が軽量 (約70kg) であり、モノレールが必要ない
斜面での作業性	強固な作業台が必要	簡易な傾斜台を用いて設置が可能 傾斜測定も可能
強度測定	不攪乱試料を採取し、室内三軸圧縮試験により求める 礫混じり粘性土の堤体では不攪乱試料の採取が困難な場合が多い	原位置の孔内回転せん断試験により求める $N$ 値4以下で深度4~6mまでのすべり面に適用可 礫混じり粘性土の堤体でも試験は可能であるが、測定精度が落ちる場合がある

参表-12.1 調査・試験方法の比較

b. 自動式スウェーデンサウンディング試験機による調査状況等

参写真-12.1に自動式スウェーデンサウンディング試験機による調査状況写真を示す。また、参写真-12.2にため池堤体への試験機の搬入状況写真を示す。



参写真-12.1 調査状況

左：天端での調査 右：堤体斜面での調査



参写真-12.2 試験機搬入状況

左：下流斜面への搬入状況 右：積雪時の搬入状況

c. 調査手順

(a)試験機の搬入

自動式スウェーデンサウンディング試験機（空圧式）は試験機側面に車輪を取り付けることで、人力で転がして搬入することができる。

調査位置まで距離がある場合や坂道が多い場合は、クローラを用いて搬入が可能であり、積雪時は車輪の代わりにソリによる搬入もできる。

試験機及び制御装置等の調査機材全体は、ため池現場付近まで軽運搬車等で搬送が可能である。

(b)試験機の設置

試験機を傾いた状態で設置した場合、ロッドが鉛直に地盤へ貫入しなくなり、換算N値測定及び孔内回転せん断試験結果の精度が大きく低下するため、レーザー墨出し機等で試験機フレームの鉛直性を確認しながら、アンカーで試験機を地盤に固定し、貫入に対する反力のための重り 120kg（20kg×6 個）を試験機に取り付ける。

斜面に設置する場合は、架台を設置し水平を確認してから試験機を設置する。

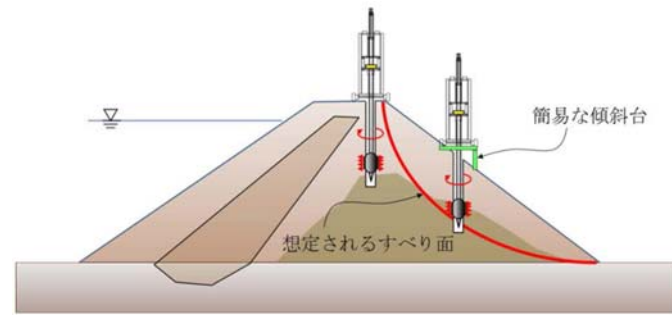
(c)換算  $N$  値の測定

ロッド先端にドリルビット（又はスクリーポイント）を取り付け、ロッドの鉛直性を水平機やレーザー墨出し機等で確認しながら、ドリルロッドを地盤表面に慎重に貫入する。

地表面から 30cm 以内でドリルビットが礫等に当たった場合は、貫入を止め、礫を取り除いてから再貫入を行うか、設置場所を変えて試験をやり直す。

(d)堤体の強度分布の推定・孔内回転せん断試験位置の決定

換算  $N$  値の結果を評価し、堤体内の弱部の有無、想定すべり面の深度も考慮して、孔内回転せん断試験を行う深度を決定する。排水せん断強度  $c_d$ 、 $\phi_d$  を求める場合は、堤体内水位の深度を想定し、水位よりも上で試験を行う。非排水せん断強度  $c_u$ 、 $\phi_u$  を求める場合は、堤体内水位の深度を推定し、水位よりも下で試験を行う。すべり面深度と異なる位置に弱部がある場合は、弱部の深度でも孔内回転せん断試験を行う必要がある。



参図-12.1 孔内回転せん断試験の試験位置

(e)孔内回転せん断試験のための孔の整形

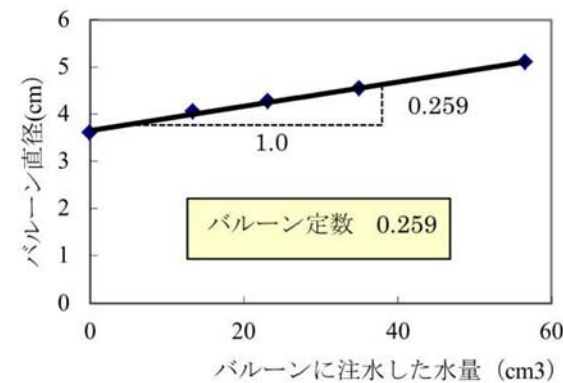
孔内回転せん断試験の精度を向上させるため、直径 40mm のコーンによりドリルビットで削孔した孔壁の整形を行う。

(f)孔内回転せん断試験の準備（せん断刃付きバルーンの飽和）

回転トルクからせん断応力を求める際に、せん断刃付きバルーンの直径で補正する必要がある。このため、バルーン内部を水で飽和し、地上に設置したビューレットでバルーンに注水する水量を測定することにより、バルーンの直径を求める。

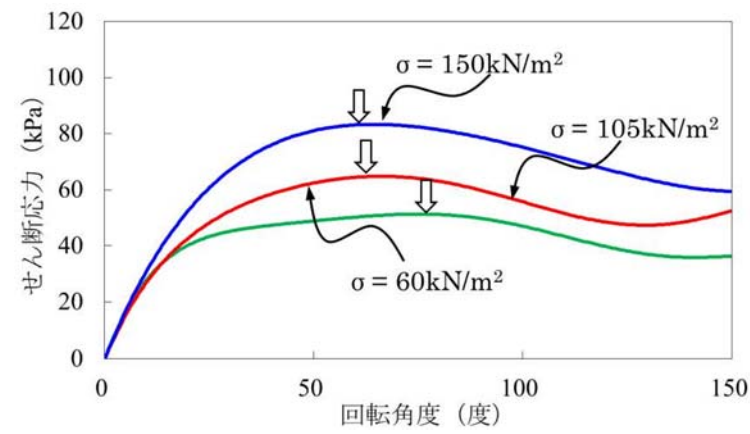
バルーンに注入した水の量からバルーンの直径を求めるためには、参図-12.2 のように予めバルーン定数（バルーンに注水した水量からバルーン直径を求めるための係数）を定めておく必要がある。

また、バルーンに掛ける内圧を段階的に上昇させ、そのときのバルーンの直径の増大量を求めることにより、孔内水平載荷試験と同様に、堤体土の降伏応力や変形係数を求めることができる。

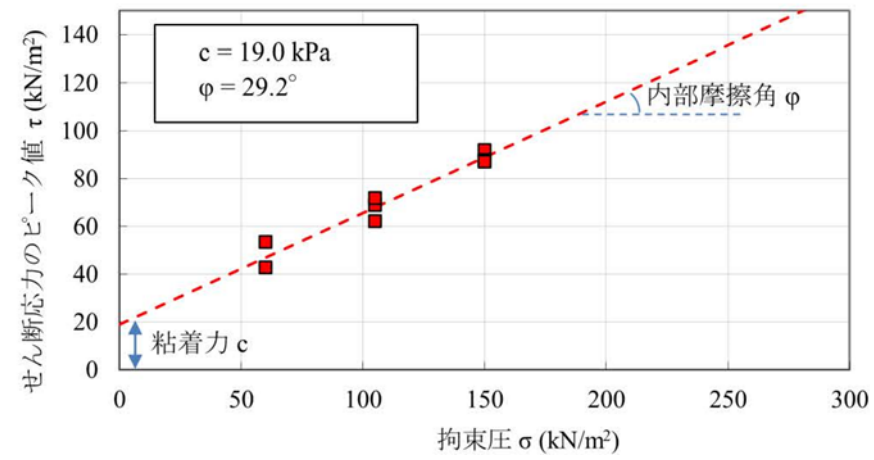


参図-12.2 バルーン定数

改 定	現 行	備 考
<p>(g)孔内回転せん断試験</p> <p>試験機に、飽和したせん断刃付きバルーンとトルク計を設置し、整形した孔内に所定の深度までバルーンを挿入する。バルーンに段階的に水圧を掛け、ビューレットの水位変化を記録し、バルーンの直径を求め、ビューレットの水位変化が止まったら、回転速度が 1/12rpm 以下となるように設定し、回転せん断を開始する。</p> <p>回転せん断中のトルク及びビューレットの水位を記録し、トルク値から孔壁に作用するせん断応力を算定する。</p> <p>同様の試験を、15～20cm ずつ深度を変化させ 3 回以上実施する。</p> <p>バルーン内圧から孔壁に作用する拘束圧を求め、せん断応力のピーク値をプロットすることにより、試験深度でのせん断強度 <math>c</math>、<math>\phi</math> を算定できる。</p> <p>(h)孔内回転せん断試験結果の整理</p> <p>孔内回転せん断試験で計測されるデータは、バルーン圧力 <math>P</math> とビューレットの水位変化 <math>h</math>、回転トルク <math>T</math> であり、これらのデータは、データ収録機で自動計測される。</p> <p>計測データを基に、以下の算定方法により強度定数を求める。</p> <p>バルーンに水圧を掛ける前のビューレットの読みを <math>h_0</math>、所定の圧力を掛けた後の読みを <math>h_1</math> とすると、ビューレットの水位変化量 <math>h</math> は次式で算定する。</p> $h = h_1 - h_0$ <p>ここに、<math>h</math> : ビューレットの水位変化量  <math>h_0</math> : 加圧前のビューレットの読み  <math>h_1</math> : 加圧後のビューレットの読み</p> <p>このときのバルーン定数を <math>a</math>、<math>b</math> (これらの値はバルーンに添付されている) とすると、バルーン直径 <math>2r</math> は次式で算定する。</p> $2r = a \cdot h + b$ <p>ここに、<math>2r</math> : バルーン直径  <math>a</math>、<math>b</math> : バルーン定数</p> <p>次に、孔壁にかかる拘束圧 <math>\sigma</math> は、バルーンの圧力 <math>P</math> とバルーン膨張係数 <math>K</math> (この値はバルーンに添付されている) から次式で算定する。</p> $\sigma = K \cdot P$ <p>ここに、<math>P</math> : バルーン圧力  <math>K</math> : バルーン膨張係数</p> <p>回転せん断時の孔壁に作用するせん断応力 <math>\tau</math> は、回転トルクから次式により求める。</p> $\tau = \frac{T}{2\pi r^2 l}$ <p>ここに、<math>\tau</math> : 孔壁に作用するせん断応力  <math>T</math> : 回転トルク  <math>l</math> : せん断刃長さ</p> <p>回転せん断中の回転角度に対して、<math>\tau</math> をプロットすると参図-13.3 が得られ、<math>\tau</math> のピーク値を求め、<math>\sigma</math> に対してプロットすると参図-12.4 が得られる。3 回のデータの近似曲線を求め、切片と勾配を算定することにより、強度定数 <math>c</math>、<math>\phi</math> が求められる。</p>		



参図-12.3 拘束圧が異なる孔内回転せん断試験結果



参図-12.4 せん断強度算定結果

本試験の詳細及び、自動式スウェーデンサウンディング試験機による攪乱試料の採取方法、透水係数の推定については「ため池等の盛土斜面の簡易な強度調査方法（原位置孔内回転せん断試験）：（独）農研機構農村工学研究所」を参考にされたい。

参考文献

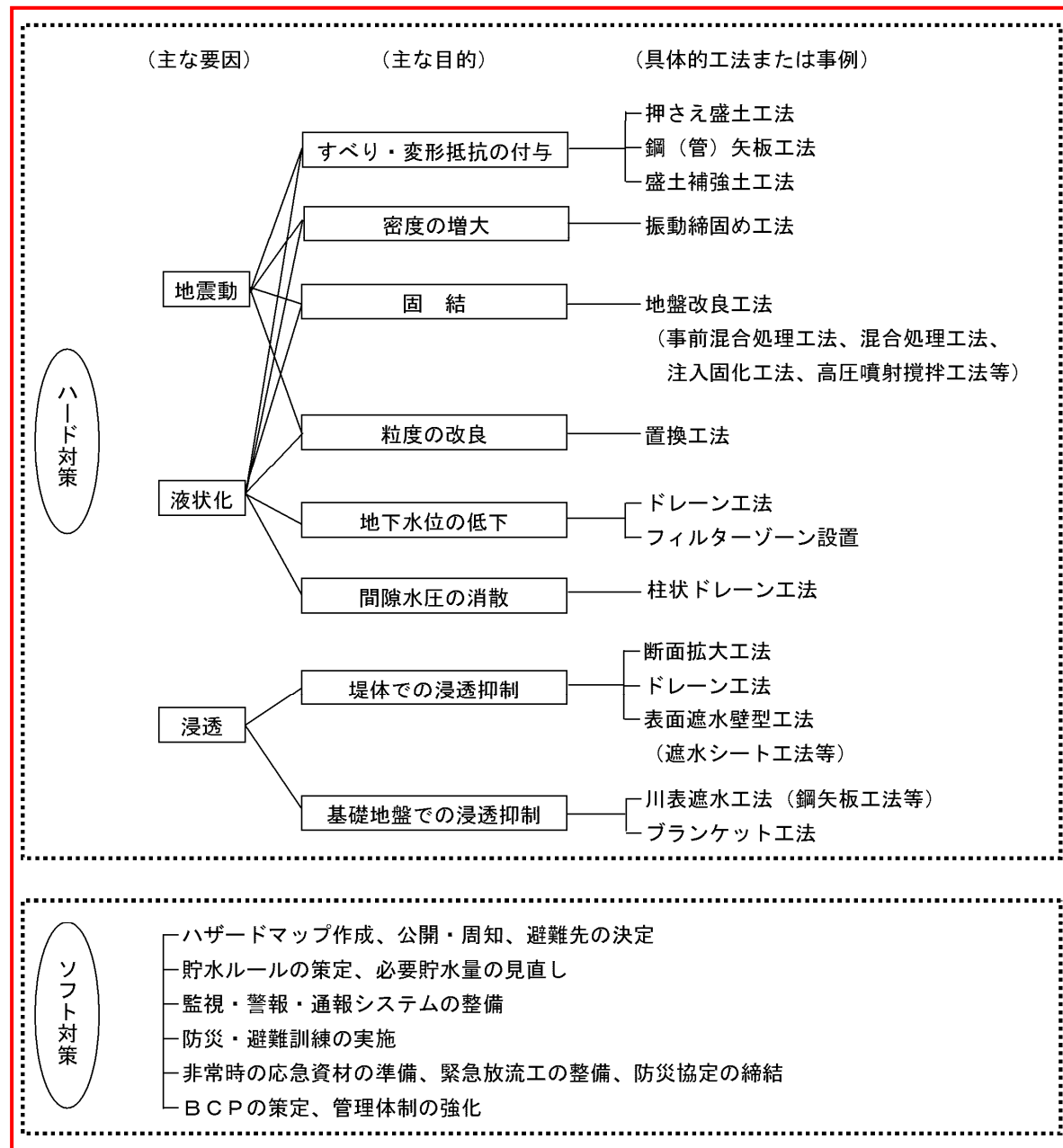
（独）農研機構農村工学研究所：ため池等の盛土斜面の簡易な強度調査方法（原位置孔内回転せん断試験）

URL : [http://www.naro.affrc.go.jp/nkk/introduction/files/d\\_sendan.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/nkk/introduction/files/d_sendan.pdf)

参考資料

### 13. 耐震対策工

ため池に適用可能な耐震対策工の一覧を参図-13.1に、ため池における主要な耐震対策工を参表-13.1に示す。



参図-13.1 耐震対策工の一覧

参考-13.1 ため池における主要な耐震対策工

改 定					現 行					備 考				
工 法 名	略 図 (例)	概 要	特 性	備 考	工 法 名	略 図 (例)	概 要	特 性	備 考	工 法 名	略 図 (例)	概 要	特 性	備 考
押しえ盛土		盛土の安定を図るために、法面先端の外側に置く低い盛土。	すべり破壊に対する対策工として、用材の制約を受けにくい場合では最も安価で確実性が高い工法である。	ため池における最も一般的な耐震対策工。										
地盤改良		盛土・地盤の強度・安定性を高めるために、地盤に人工的な改良を加える工法。	改良工法には、置換（部断再盛土）工法、混合処理工法、注入固化工法などがある。押しえ盛土と比較すると高価であり、用地の制約を受けると、押しえ盛土が適用できない場合がある。											
盛土補強土		盛土・地盤の強度・安定性を高めるために、土以外の補強材を土中に設置する工法。	補強材としては、帯鋼、鉄筋、ジオテキスタイルなどがある。押しえ盛土と比較すると高価であり、用地の制約を受けると、押しえ盛土が適用できない場合がある。なお、補強材に沿った水みちが発生しないよう注意する必要がある。											
ドレーン		堤体からの浸透水を、安全に堤外へ排水するための施設。	ドレーンには、下流法中央ドレーン、水平ドレーン、立上りドレーンなどがある。浸透路に對する対策工として、一般的な工法である。	3.3.4 (8) ドレーン参照										
全面改修		旧堤を掘削・除去した後、新たに盛り立てる工法。	現行基準に合致した仕様に改修できるとともに、対策工を組み合わせて適用できるため自由度が高く、確実性も高い。しかし、大規模な改修となり、工費も高い。											

改 定	現 行	備 考
<p>参図-13.1 に示す耐震対策工のうち、液状化防止対策に用いる主要な対策工法について、留意点を以下に示す。          なお、工法の採用に当たっては、適用性、効果、信頼性、施工性、経済性等を総合的に検討して決定する必要がある。</p> <p>置換工法・・・・・・・・・・液状化の可能性のある地盤や堤体盛土を、液状化しない材料（砕石や、セメント等の安定剤を混合攪拌した土砂等）で置換する。</p> <p>静的締固め工法・・・・・・・・・・ソイルモルタルや特殊石灰をボーリング孔やスパイラルケーシングにより圧入し、周辺地盤を締固める。施工例は多くない。</p> <p>ドレーン工法・・・・・・・・・・堤体下流側にドレーンを設置して浸透水排水を促進させて、地震時の過剰間隙水圧の消散を図る。有効な工法である。</p> <p>固結工法・・・・・・・・・・深層混合、高圧噴射攪拌、注入固化工法等により主にセメント系固化材を注入、又は攪拌して地盤を必要強度に固化するものであり、コストは一般に高いが、効果は大きい。既設構造物の対策に有効。</p> <p>鋼矢板、鋼管矢板工法・・・・・・・・・・鋼矢板、鋼管矢板で、必要範囲を囲い込むように打設すると効果が高い。鋼管杭の場合、過剰間隙水圧の消散を図ることができる。側方流動、変化に対しても効果が期待できる。既設構造物の対策に有効。</p> <p>その他、ジオグリッド敷設工法が有効な場合がある。</p>		



改 定	現 行	備 考
<div data-bbox="121 224 394 310" style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;"> <b>参考資料</b> </div> <h2 style="color: red; margin: 0;">14. ため池の簡易な耐震性能照査手法について</h2> <p>(1) レベル2地震動に対するため池の簡易な耐震性能照査手法の必要性  動的応答解析が必要となるレベル2地震動に対する耐震性能照査については、高度な技術、多くの時間と費用が必要となる。  このため、簡易な耐震性能照査手法が研究されてきており、その精度や適用性について、今後の研究の状況を注視する必要がある。</p> <p>(2) レベル2地震動に対する簡易な耐震性能照査手法  簡易な耐震性能照査手法としては、既存のため池においてサンプリングした試料を用いて実施した土質調査結果を基に砂質土、粘性土等の堤体土の種類ごとに標準的な強度低下特性を求めておくことで、個別のため池ごとには強度低下に関する試験を省略し、標準的な強度低下値を用いて塑性すべり解析を行う方法がある。  しかしながら、各地のため池で実施された土質調査結果によれば、同じ砂質土に分類されるものであっても、その強度低下特性は大きく乖離している部分も見受けられることから、現段階においては、土質ごとに一律の特性を与えることが難しい状況にある。  今後、さらなる試料の収集を行い、締固め密度や細粒分含有率などのパラメーターの設定等を含め、標準的な劣化特性を表すモデルの構築を測る必要がある。</p>		