

L1 地震動に対するため池の耐震性・安全性の評価

長岡技術科学大学 ○尾崎 祥太郎

長岡技術科学大学 正会員 杉本 光隆

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 杉山 洋介

1. はじめに

平成 23 年の東日本大震災による影響で、多数の農業用ため池が決壊し、人命を含む甚大な被害が生じた。ここで、ため池の総合減災を行う必要が見直され、耐震性調査やハザードマップ作成のニーズが高まっている。

本報告では、A 県に位置するため池（以下、A 池と称する）の堤体における地震時安全性を評価する目的で、L1 地震動に対する耐震性照査を実施した。

2. 検討方法

地盤調査結果および試験結果により得られたデータに基づき、液状化検討および安定計算を実施し、ため池堤体の耐震性を評価した。

業務全体のフローを図-1 に示す。本業務では、L1 地震動に対する安全性照査を「土地改良事業設計指針 ため池整備」¹⁾(以下、設計指針とする)に準じて実施した。

3. 検討条件

3.1 照査方法

堤体の安定性の評価は、Kh 法による円弧すべり解析および液状化判定により実施した。液状化が発生すると判断された箇所については、液状化発生時の過剰間隙水圧を考慮した Δu 法によって検討を実施した。なお、Kh 法と Δu 法の許容安全率はそれぞれ 1.2, 1.0 とした。

3.2 浸潤線の設定

A 池については、堤体内に遮水性のある刃金土が確認されないため均一型とした。また、堤体内の浸潤線は、図-2 に示す均一フィルダムの図解法により設定した。浸潤線の入力条件を表-1 に示す。

堤体内の浸潤線を図-3 に示す。浸潤線は、「土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」・技術書(フィルダム編)」²⁾に従い、山口の方法(下流側法面勾配 $\alpha < 30^\circ$)により設定した。

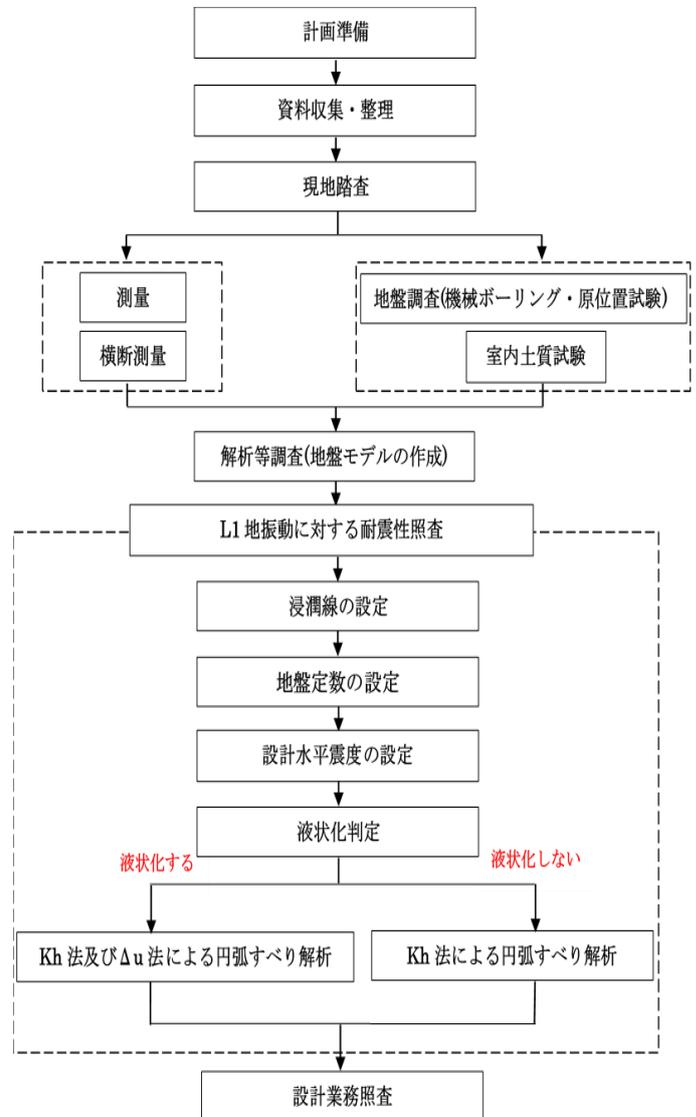


図-1 業務全体のフロー

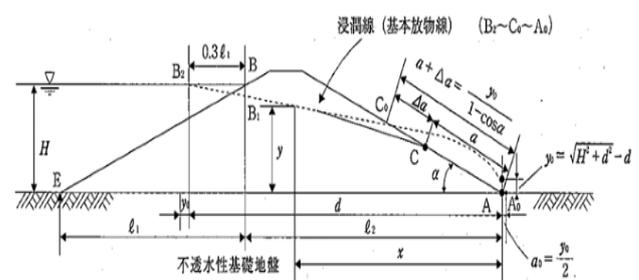


図-2 均一フィルダムの図解法

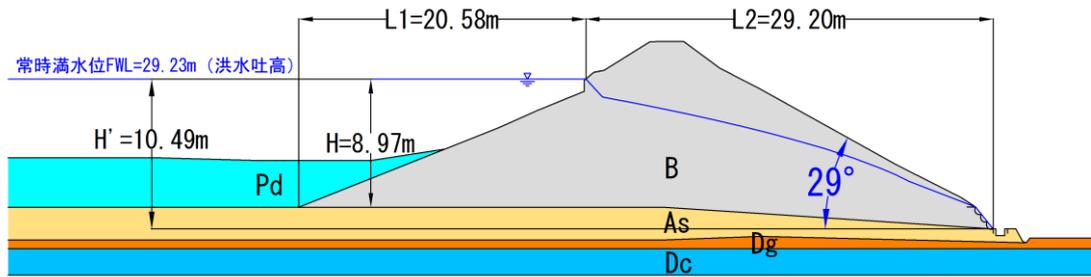


図-3 堤体内の浸潤線

表-1 浸潤線の入力条件

項目	数値
堤体下流斜面傾斜角	α 29 °
貯水深	H' 10.49 (m)
点EB間の水平距離	l_1 20.58 (m)
点AB間の水平距離	l_2 29.20 (m)
点AB ₂ 間の水平距離 ($d=l_2+0.3l_1$)	d 35.37 (m)

※図面からの読取値

表-2 地盤調査結果

記号	地層名	No.1	No.2	データ 個数	平均値	設計 N値
B	堤体盛土 (粘性土)	13	9	20	5.7	5.7
		10	9			
		5	8			
		5	9			
		1	8			
		1	7			
		3	6			
		0	8			
		4				
		0				
		6				
As	沖積砂質土	13	20	4	14.5	14.5
Dg	洪積礫質土	94	31	3	70.9	50.0
			88			
Dc	洪積粘性土	214		2	144.6	50.0
		75				

表-3 地盤定数の設定値

地層	地層名	土質	設計 N値	湿潤単位 体積重量 (kN/m^3)	強度定数	
					粘着力 (kN/m^2)	内部摩擦角 (°)
B	堤体盛土	粘性土	5.7	18.0	47.6	0
As	沖積砂質土	砂質土	14.5	17.0	0	33.2
Dg	洪積礫質土	礫質土	50.0	20.0	0	44.5

表-4 湿潤単位体積重量一般値

地盤	土質	湿潤単位体積重量 (kN/m^3)	
		ゆるいもの	密なもの
自然地盤	砂及び砂礫	18	20
	砂質土	17	19
	粘性土	14	18
盛土	砂及び砂礫	20	
	砂質土	19	
	粘性土	18	

表-5 湿潤単位体積重量の設定

記号	地層名	設計N値	設定方法	湿潤単位 体積重量 $\gamma_t(kN/m^3)$
B	堤体盛土	5.7	一般値 (盛土/粘性土)	18.0
As	沖積砂質土	14.5	一般値 (自然地盤/砂質土/ゆるいもの)	17.0
Dg	洪積礫質土	50.0	一般値 (自然地盤/砂及び砂礫/密なもの)	20.0
Dc	洪積粘性土	50.0	一般値 (自然地盤/粘性土/密なもの)	18.0

3.3 地盤定数の設定

耐震性照査をするため、表-2の地盤調査結果から表-3に示す地盤定数を設定した。湿潤単位体積重量は表-4、表-5を、強度定数(c, ϕ)は以下の推定式を用いた。

$$c = 8.35N \text{ (粘性土)} \quad (1)$$

$$\phi = \sqrt{12N} + 20 \text{ (砂質土)} \quad (2)$$

c: 粘着力(kN/m^2)

ϕ : 内部摩擦角(°)

N: 設計N値

本検討で必要な地盤定数は、単位体積重量と強度定数(粘着力c, 内部摩擦角 ϕ)である。また、堤体盛土は粘性土であるが低塑性粘土のため液状化判定層とした。

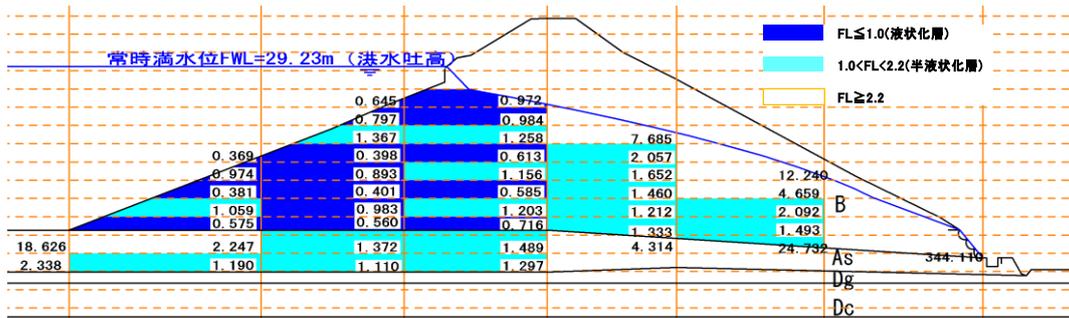


図-5 FL 分布図

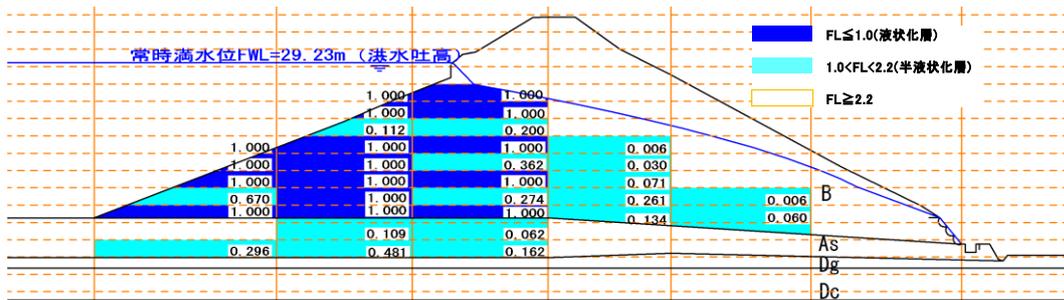


図-6 過剰間隙水圧比

表-6 地盤種別の判定方法³⁾

地盤種別	地盤の特性値TG(s)
I種地盤	$TG < 0.2$
II種地盤	$0.2 \leq TG < 0.6$
III種地盤	$0.6 \leq TG$

表-7 地盤種別の判定結果

地層	地層名	層厚 H(m)	S波速度 Vs(m/s)	H/Vs	地盤特性値 TG(s)	地盤種別
B	堤体盛土	11.6	178.6	0.065	0.307	II種地盤
As	沖積砂質土	2.3	195.1	0.012		

3.4 水平震度の設定

地盤種別の判定方法とその結果を表-6, 表-7 に示す。ここで、地盤の特性値 TG は、以下の式で求められる。

$$TG = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \quad (3)$$

TG : 地盤の特性値(s)

H_i : i 番目の地層の層厚(m)

v_{si} : i 番目の地層の平均 S 波速度(m/s)

表-7 より A 池は II 種地盤と判別され、設計指針に従い、水平震度を 0.15 と設定した。

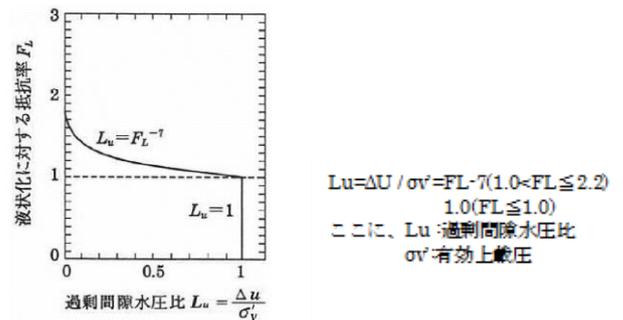


図-4 過剰間隙水圧比の設定

4. 液状化判定

4.1 判定方法

ため池堤体および基礎地盤において、液状化層の有無を確認するために FL 値法により液状化判定を実施した。FL 値法では液状化判定対象層を判別した後、地盤メッシュ図を作成し、各メッシュで液状化判定を実施した。

4.2 判定結果

液状化判定で FL 値が 2.2 を下回った場合、図-4 の関係を用いて過剰間隙水圧比を設定した。算定した FL 分布図を図-5 に示す。図-5 より盛土および As 層は液状化判定対象層と判定されたため、盛土と As 層を対象に液状化による過剰間隙水圧の発生を考慮した。

表-8 堤体の円弧すべり検討結果

ケース	検討位置	kh法による検討結果			Δu法による検討結果		
		最小安全率	許容安全率	判定	最小安全率	許容安全率	判定
①	上流側	1.89	1.2	OK	2.00	1.0	OK
	下流側	1.72	1.2	OK	1.28	1.0	OK
②	上流側	0.95	1.2	NG	0.05	1.0	NG
	下流側	0.93	1.2	NG	0.71	1.0	NG

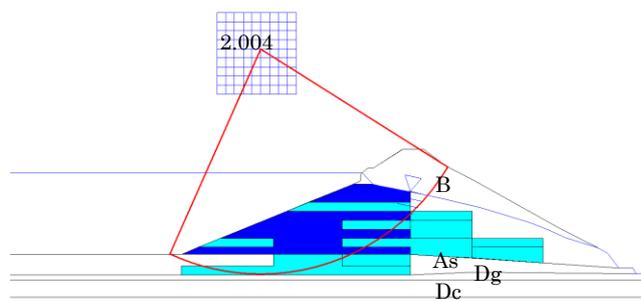


図-7 解析結果(ケース①, 粘性土)

表-9 強度定数比較

ケース	強度定数	
	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)
①	47.6	0
②	0	28.3

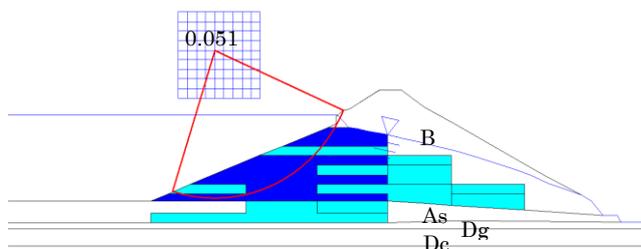


図-8 解析結果(ケース②, 砂質土)

盛土の上流側のほとんどで $FL \leq 1.0$ となり液状化が生じる可能性が高いとされた。下流側の広範囲と上流側の部分的に N 値が大きい箇所では、 $1.0 < FL < 2.2$ となった。

対象層と判定された箇所の過剰間隙水圧比を図-6に示す。ここで過剰間隙水圧比は、 FL 値を-7乗した値であり、 Δu 法で解析をする時に使用した。

5. 解析結果

堤体の円弧すべり検討結果を表-8に示す。ここでは、異なる解析結果と比較するため、以下の2ケースで検討した。

- ① 通常の場合(盛土の土質は粘性土)
- ② 盛土の強度定数を変更した場合(盛土の土質は砂質土)

なお、ケース②は強度定数のみを変更してケース①と同様の方法で解析した。また、用いた堤体盛土の強度定数を表-9に示す。

Kh法、 Δu 法のケース①、②の円弧すべり解析結果(上流側)をそれぞれ図-7、図-8に示す。

表-8より、ケース①では最小安全率が許容安全率を満たす結果となった。しかし、ケース②では最小安全率が許容安全率を下回る結果となった。

6. まとめ

本検討の結果、A池の堤体のL1地震動に対する耐震性は以下ようになった。

- ケース①: 所定の耐震性を有している
- ケース②: 所定の耐震性を確保できていない

ここで、表-9より、ケース①の粘着力は47.6kN/m²で、ケース②の粘着力と比べ非常に大きく、粘着力の大小が円弧すべりの安全性に大きく関係することがわかる。

また、柱状図の土質区分で堤体盛土部は粘性土と記載されていたため検討をケース①(粘性土)で実施したが、土質区分の判断によってケース②(砂質土)で実施する場合もあり、解析結果に大きな差が出ることが考えられる。一般値を使用して地盤定数を決定する場合には土質区分の判断が重要になる。

また、液状化判定では、 N 値の僅かな変動により液状化層かどうかは変化するため N 値の設定も重要である。

謝辞

長岡技術科学大学の実務訓練でお世話になった基礎地盤コンサルタンツ株式会社の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 農林水産省, 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 2012.5, p.261.
- 2) 農林水産省, 土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」・技術書「フィルダム編」, 2003.4, pp.60-62.
- 3) 日本道路協会, 道路橋示方書 V 耐震設計編, 2012.3, pp.16-33.