

ため池堤体の調査ボーリング

株式会社日さく ○岡野和也, 伊藤健二, 岡部顕

1. はじめに

本業務は、農業用ため池の堤体構造と、基礎地盤の地質状況等を把握することを目的として実施された。内容としては、機械ボーリング(φ66mm)3地点延21.4m、標準貫入試験延21回、サンプリング10回であった。

本業務のサンプリングはφ100mmを要求されたため、φ140mmの大型サンプラーを使用したため、業務実績としてこれを報告する。

2. 地形地質概説

本業務地近傍の地形地質について述べる。

(1) 地形概説

本業務のため池は、愛知県南部に位置する渥美半島の先端部にあたり、南は遠州灘、西は伊勢湾、北は三河湾に面している。半島部は西南西方向に伸びた約24km、幅約7kmの形状をしており、半島先端部が伊良湖岬と呼ばれる。(図-1)

渥美半島は、東西方向に連続する山地が骨格となり、その山地間を埋めるように台地や低地が広がる。山地の多くは標高200~300m程度である。山地と台地の境界部は扇状地や崖錐からなる緩斜面の地形がみられ、調査地は扇状地上に位置する。



図-1 周辺の地形¹⁾

(2) 地質概説

本業務のため池は、山地と台地の境界部にあり、第四系が分布する。第四系は、扇状地堆積物と低位段丘堆積物が分布する。扇状地堆積物は、山地から供給された角~亜角礫によって主に構成される。低位段丘堆積物は、調査地近傍の野田台地のほか、赤羽根台地、土田台地、八王子台地の縁辺部に分布する。岩相は、おもに垂円~亜角礫によって構成される。(図-2)

野田台地における低位段丘堆積物は野田層と言われ、腐食質な泥層からなり、複数の火山灰層を挟む。野田層の下位には、中位段丘堆積物である福江層が分布する。

福江層は、炭質物や貝殻片を含む陸成及び海成の泥岩である。

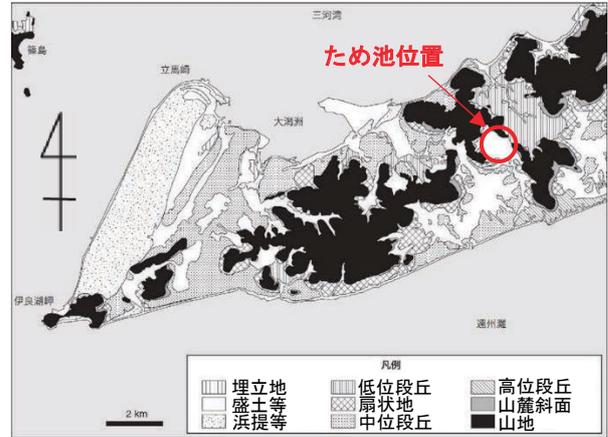


図-2 周辺の地質¹⁾

3. 調査方法

本業務の調査方法について、概要を述べる。

(1) 機械ボーリングと標準貫入試験

調査位置は、堤体内側、堤体内縁部、堤体外縁部で実施した。

(2) サンプリング

調査対象の堤体を構成する土層において、乱れの少ない試料を採取する目的で実施した。試料採取方法については、ロータリー式三重管サンプラー(トリプルサンプリング)とした。

ロータリー式三重管サンプラーは、外側の回転するアウターチューブで土を切削しながら、内側の回転しないサンプリングチューブを地盤に押し込み、土試料を採取する構造となっている。(図-3)

ライナーは JIS K 6714「硬質塩化ビニル管」に規定する、呼び径100または

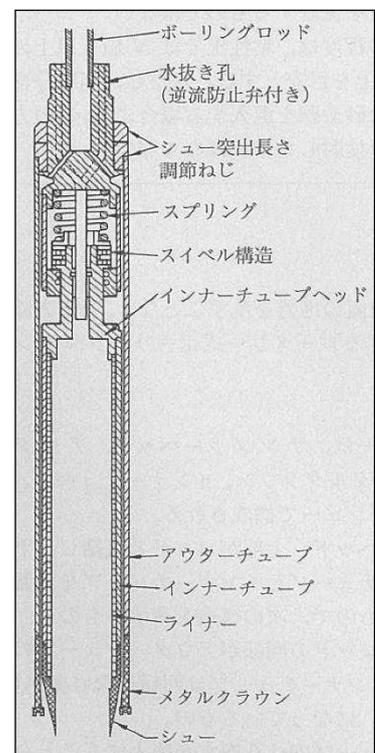


図-3 ロータリー式三重管サンプラー²⁾

それと同等の形状を有するアクリル樹脂性のものを使用した。



写真-1 ロータリー式三重管サンプラー

4. 調査結果

(1) 機械ボーリングと標準貫入試験

調査ボーリング3点のうち、最も深い孔の結果を図-4に示す。

掘進長は16.0m、孔内水位は5.0mで確認した。

N値は、上部層のシルト質砂礫で4~11、中部層の砂礫層で17~38、有機質粘土と砂質シルト~粘土で1~4であった。

深度6~9mに、旧表土と思われる有機質粘土層を確認した。

(2) サンプルング

調査ボーリング3点で実施したサンプルングは、表-1のとおりである。

孔番号 No.1は、堤体部を対象にサンプルングを実施した。埋設物の関係で、採取量は0.25m 程度となった。

孔番号 No.2は、当初堤体部および自然地盤部でサンプルングを予定したが、旧表土と思われる粘土層が確認されたため追加採取した。堤体部および自然地盤部では採取量0.7~1.0m と順調であったが、旧表土の粘土層では採取量0.15m となった(試料番号2'-5)。粘性の高い緻密な粘土であったことから、ライナー内に

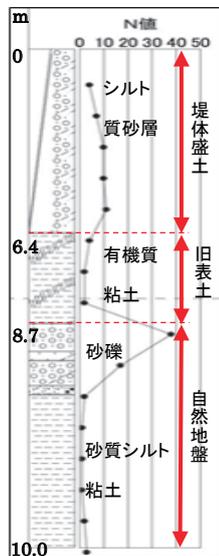


図-4 No.2 簡易柱状図

試料を保持しきれず抜け落ちたものと考えられる。採取深度直下で再度採取を試みたものの、掘進1.0m に対して採取量はゼロだった。

孔番号 No.3は、堤体部を対象にサンプルングを実施した。非常に緩いシルト部では、サンプラー引上げ時に抜け落ちてしまい、うまく採取できないケースがあった(試料番号3'-3)。

表-1 サンプルング深度

試料番号	採取深度 (m)	想定される地層
No.1 1'-1	0.60 ~ 0.85	盛土(礫混じりシルト)
No.2 2'-1	1.00 ~ 1.70	盛土(シルト質砂礫)
	2'-2 2.00 ~ 2.70	
	2'-3 3.00 ~ 3.80	
	2'-4 4.00 ~ 4.50	
	2'-5 6.50 ~ 6.65	有機質粘土
	2'-6 8.80 ~ 9.80	砂礫
No.3 3'-1	0.80 ~ 1.40	シルト混じり砂礫
	3'-2 1.40 ~ 2.00	
	3'-3 2.00 ~ 2.30	

5. まとめ

調査結果を取りまとめ、断面図と合わせて図-5に示す。

基礎地盤部は、更新世の粘土と砂礫の互層である(No.2 深度8.8m 以深)。この層は、扇状地堆積物と、腐食質な泥層で構成される野田層及び福江層に相当する。自然地盤部の上位には、有機質粘土が分布し、層厚約3m、N値2~4を示す。堤体はシルト質砂礫から構成され、N値4~19を示す(No.1深度0~1.4m、No.2深度0~8.8m、No.3深度0~4m)。

《引用・参考文献》

- 伊良湖岬地域の地質 p2 (独)産業技術総合研究所より一部加筆
- 地盤工学会(2005).地盤調査-基本と手引- p246 (社)地盤工学会

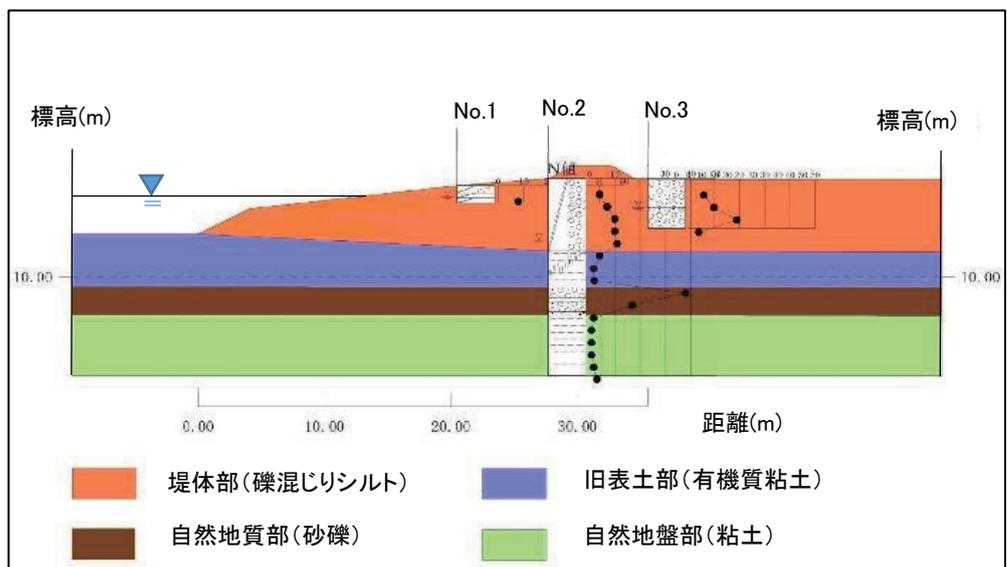


図-5 堤体断面図

ため池堤体を構成する土質に関する考察

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○宮地 恵一朗, 栃尾 健, 八百山 孝, 伊藤 恵輔

1. はじめに

日本全国にため池は約 16 万箇所存在し、そのうち約 70%のため池は江戸時代以前に築造されたものとされている。近年、大規模地震や集中豪雨等によりため池が決壊する等の被害が生じたことが問題視され、全国的に防災のための点検や調査が進められている。本報告は築年数が古く老朽化が懸念される佐賀県内の 6 ため池を対象にレベル 1 地震動に対する耐震性照査を実施した事例を基に、堤体構造が均一型のため池堤体を構成する土質およびその性質について、考察した結果を紹介する。

2. 調査結果

本調査では佐賀県内の山地に位置する 6 ため池(A~F)を対象に、土質調査(機械ボーリング、透水試験、室内土質試験等)を実施し、レベル 1 地震動に対する安定性の照査(浸透流解析、円弧すべり解析、液状化判定)を実施した。

本調査で対象としたため池は築造年不明とされており、古くに築造されたものと推定される。

また、表-1に示す通り調査対象ため池の堤高は最も低いもので5.0m、最も高いもので14.7m である。いずれのため池も堤体構造は遮水性ゾーン(刃金土)を設けておらず、堤体が均一の土質で構成されている均一型に該当する(図-1、2参照)。

ため池堤体の材料はすべり破壊や浸透破壊が生じないために、適切な水密性と強度を有している必要があるとされている。今回は堤体材料の水密性に着目し考察を行った。

表-1 調査対象ため池

	堤高	堤長	堤体構造
ため池A	9.3m	162.0m	均一型
ため池B	13.3m	145.0m	
ため池C	7.7m	215.0m	
ため池D	5.0m	221.0m	
ため池E	14.7m	189.0m	
ため池F	7.5m	109.0m	

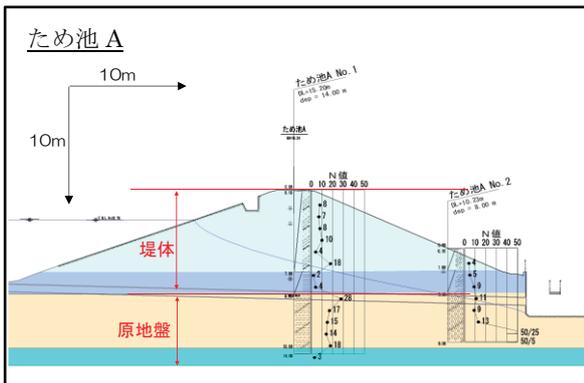


図-1 ため池 A の土質断面図(任意縮尺)

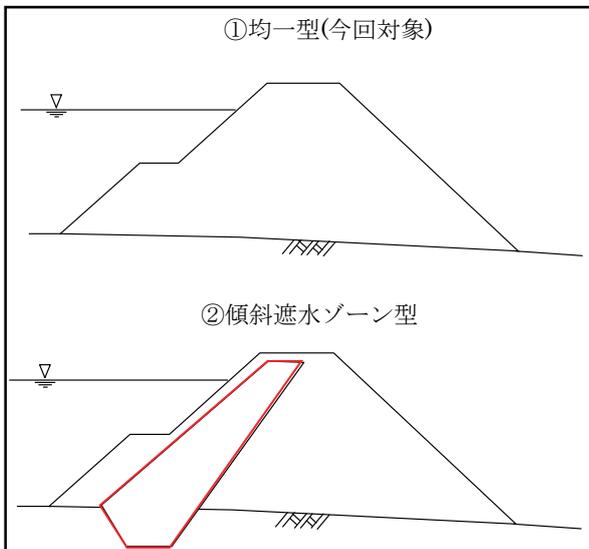


図-2 ため池の堤体構造¹⁾

(1) 透水試験結果について

本調査で実施した現場透水試験および室内透水試験より得られた透水係数を図-3に示す。

調査対象の 6 ため池の堤体材料の透水係数 k は $10^{-8} \sim 10^{-5}(\text{m}/\text{sec})$ の範囲であった。この値は「ため池指針」¹⁾の区分によると図-3のように「遮水性材料～半透水性材料」

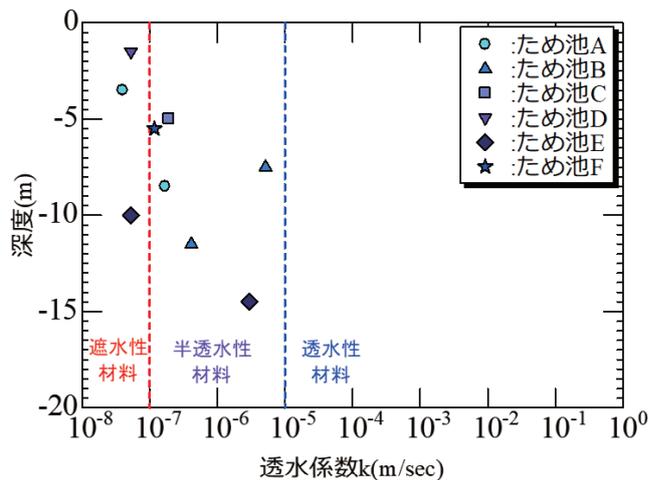


図-3 透水係数の深度分布図

透水係数	10^{-11}	10^{-9}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-3}	10^0
透水性	実質上不透水	非常に低い	低い	中位	高い	
対応する土の種類	粘土性 (C)	微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土 (SF)(S-P)(M)		砂及び礫 (GW)(GP) (SW)(SP) (G-F)	清浄なれき (GW)(GP)	

図-4 透水係数の一般値²⁾

に該当する。均一型ため池は堤体の全断面で遮水するため、半透水材料のようなやや透水性の高い材料が使われていると推測される。

また、今回得られた透水試験 k の値を図-4に示す一般的な値と比較すると、堤体材料の透水係数は「微細砂、シルト、砂～粘土混合土」に相当する値であるとわかる。しかし A～F ため池では「礫あるいは砂混じり粘性土」あるいは「砂質粘土」のような粘性土主体の堤体材料が使用されていると確認しており、比較的透水係数の高い粘性土がため池堤体に使われているといえる。

(2) 粒度試験結果について

ため池の堤体材料の粒度範囲と水密性の関係の一般的な目安¹⁾と、調査対象ため池堤体の粒度試験結果を比較した(図-5 参照)。

図-5 より、ため池 A～F の堤体材料は遮水性ゾーンの粒度範囲と比較すると、細粒分を多く含み粒径加積曲線は透水性が低い(水を通しにくい)傾向に位置することがわかる。ため池 A～F の粒度分布は遮水性の高い材料に該当するが、実際の透水係数が、粒度に対して高い値を示していることがわかる。

このことから古くに築造されたため池は、築造当時の施工で十分に締固めがされていないことや、堤体内部が長い期間浸透流の影響を受け、土粒子が排出されて侵食されることなどによって、間隙の多い状態になったために、粒度に対して十分な透水係数が発揮されていないと考えられる。また、このような古くに築造されたため池堤体においては粒度から透水係数を推定する方法は適さないと考えられる。

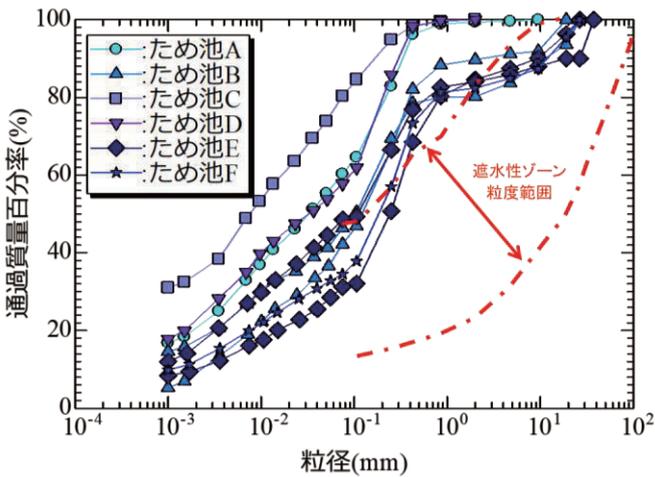


図-5 ため池堤体の粒径加積曲線

3. 浸透流解析結果

本調査で得られた透水係数をはじめとする物性値を用い、ため池堤体内部の浸透流解析をおこなった。対象6ため池のうち、代表として D, F ため池の浸透流解析結果を図-6に示す。

6ため池いずれも図-6のように浸潤線は堤体内上流側にて弧を描く様に低下し、その後直線的に緩やかに

下流側に向かって下降する傾向がみられる。また、ため池 B, F と比べて、ため池 A, C～E は堤体上流側で浸潤線が大きく低下している。この現象は、ため池 B, F は堤体直下の原地盤に透水係数 $k=10^{-8} \sim 10^{-7}$ (m/sec) 程度の比較的透水係数の低い粘性土層が堆積しているのに対し、その他4ため池では原地盤に $k=10^{-6} \sim 10^{-5}$ (m/sec) の比較的透水係数が高い礫質土層が分布している影響によるものだと考えられる。したがって、今回対象ため池の様に堤体材料が図-3に示す「半透水性～遮水性材料」程度の透水性を有し、原地盤に透水性の高い層が堆積する場合には、堤体内部の浸潤線は原地盤の透水性の高い層の影響を受け低下すると考えられる。

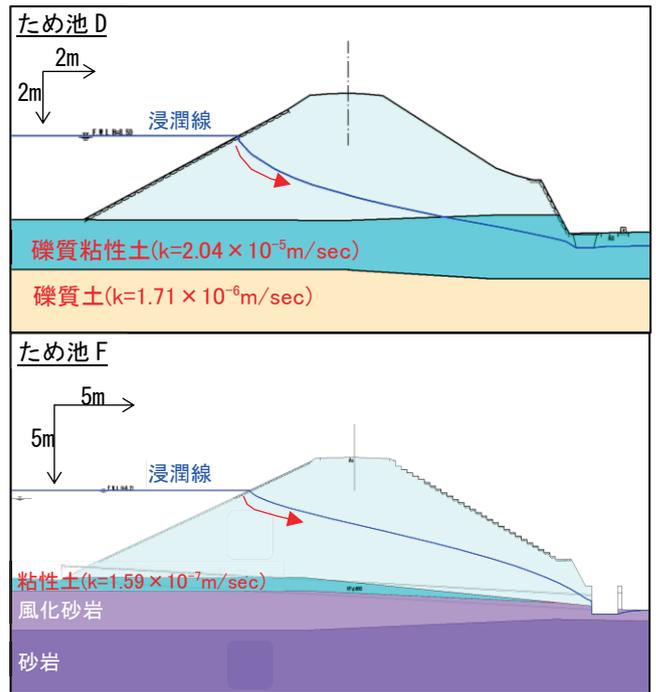


図-6 浸透流解析結果(任意縮尺)

4. まとめ

古くに築造され、老朽化が懸念されるため池について以下のような特徴の確認および考察を行った。

特徴1: 堤体粘性土は一般的な粘性土と比べ高い透水係数を示す。

特徴2: 堤体材料の粒度分布は遮水性の高い堤体材料と同様の傾向を示す。

以上より、

考察1: 堤体は経年劣化や締固め不足により間隙が多い状態になっているものと考えられる。

考察2: 堤体材料が $k=10^{-8} \sim 10^{-5}$ (m/sec) 程度の透水性を有する場合、堤体内の浸潤線は原地盤の透水性の高い層の影響を強く受けるものと考えられる。

《引用・参考文献》

- 1) 農業農村工学会:土地改良事業設計指針「ため池整備」, p18～41, 2015.5.
- 2) 地盤工学会編:地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版], p.468, 2020.12.

ため池耐震性能照査に関する解析条件の設定事例

川崎地質株式会社 ○中川翔太, 太田史朗, 住武人

1. はじめに

本報告は、防災重点ため池である宮城県の農業用ため池に対してレベル2の安定性検討を行うために、地質調査、地盤定数の設定、地震動の作成を行った事例である。

2. 概要

(1) ため池概要

当該ため池は、築堤年度は不明であるが、平成初期に腹付けの築堤工事(砂質土(Bs1)層)が行われている均一型形式、堤高約13mの大型のため池である。既往ボーリングにより、各盛土層で三軸圧縮試験が行われており、レベル1の安定解析が実施されている。

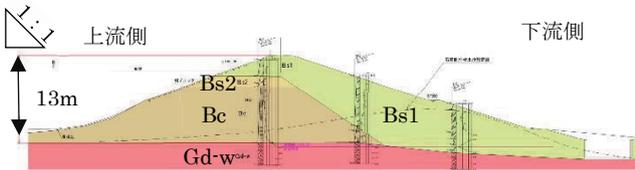


図-1 既往調査における断面図(凡例は図-3を参照)

(2) 調査前の課題

既往業務によるレベル1の安定計算結果が、安全率Fs<1.0以下(常時満水位条件で上流Fs=0.86)となっているが、既往地震による履歴では変状が確認されておらず、実現象と解析結果に乖離がみられる。また、レベル2地震動に使用する波形が決定していないため、作成する必要がある。

3. 解析に使用する断面図及び地盤定数の精査

(1) 既往文献調査

既往文献調査により、平成初期の腹付け築堤工事の履歴が確認された。Bs1層が腹付け層であるが、図-1の断面図と施工断面図が異なる形状となっていたため、施工断面図の土層構成を反映した断面となるように見直した。

(2) 調査結果の反映

レベル2耐震性能照査(安定解析)に必要な強度特性、液化化特性、変形特性把握のためのサンプリングを目的としたボーリング調査を各層で実施し、併せて地層構成を見直した。粘性土(Bc)層は、上部と下部でN値の傾向が異なり下部の方が大きいため、上部(Bc1層)、下部(Bc2層)に分けて地盤定数を設定した。

また、既往の三軸試験結果と今回実施した三軸試験結果でモールの重ね合わせを行い、破壊包絡線を見直す

ことで適切な地盤定数を設定した。

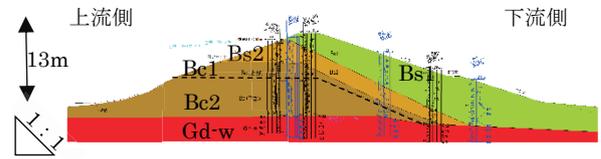


図-2 見直し後の断面図(凡例は図-3を参照)

(3) 地震履歴を考慮した検討

気象庁の震度データベースより確認した当該ため池付近における近年の大規模地震時の地震履歴(最大計測震度)を表-1に示す。

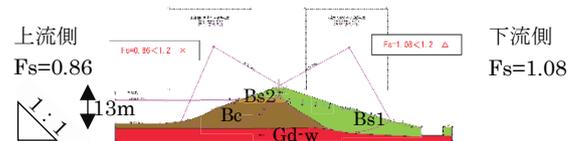
表-1 地震履歴と最大計測震度

西暦	和暦	時間	震央地名	観測所		
				最大計測震度	最大加速度 (gal)	設計水平震度 (換算Kh)
2005/08/16	H17.08.16	11:46	宮城県沖	5弱	181.4	0.19
2011/03/11	H23.03.11	14:46	三陸沖	6弱	426	0.25
2011/04/07	H23.04.07	23:32	宮城県沖	5弱	285.4	0.22

土木学会が定義するレベル1地震動は、供用中に1~2回発生する確率を有する地震動であり、当該地の既往の地震履歴では、震度5弱の地震が相当する。当該地震では、これまでに大きな変状やすべり破壊が発生していないことから、少なくともレベル1地震時のすべり安全率は、1.0以上は有するものと考えた。

(4) レベル1地震動に対する安定性検討結果

既存の断面及び地盤定数(図-3)では、上流側の解析において、安全率Fsが1.0を下回っているが、本業務で設定しなおした断面及び地盤定数(図-4)では、Fsが1.0以上となることを確認した。地震履歴と堤体の現状から、より実現象を反映した妥当な断面となっていると判断した。



地層区分	土層名	設計N値	粘着力 C' (kN/m ²)	内部摩擦角 φ' (度)	単位体積重量 γt (kN/m ³)
堆積土	-	-	-	-	16
Bs1	盛土・砂質土 盛土・礫混り砂質土	9	0.0	37.2	17.9
Bs2	盛土・礫混り砂質土	3	47.1	6.7	19.3
Bc	盛土・粘性土	4	9.0	22.0	18.3
Gd-w	風化花崗閃緑岩	208	87	41	21

図-3 既往の地盤定数とレベル1安定計算結果

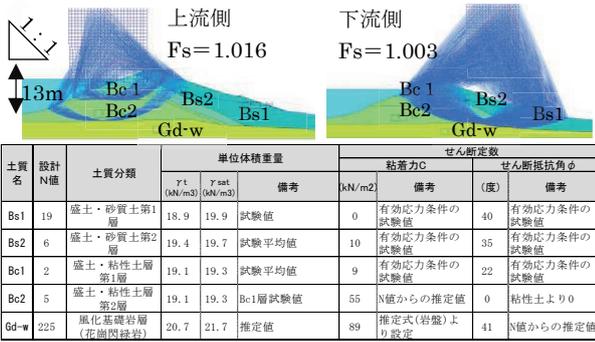


図-4 見直し後の地盤定数とレベル1安定計算結果

4. レベル2耐震性能照査に使用する地震動の作成

(1) 入力地震動の設定

土地改良事業設計指針「ため池整備」¹⁾に記載の通りタイプI(プレート境界型)とタイプII(内陸直下型)を想定した2種類の波形を設定した。設定方法は、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」²⁾(以下、指針(案))に準じたほか、近傍の地震動観測所における地震波を考慮して、地震波を設定した。図-5に検討フローを示す。

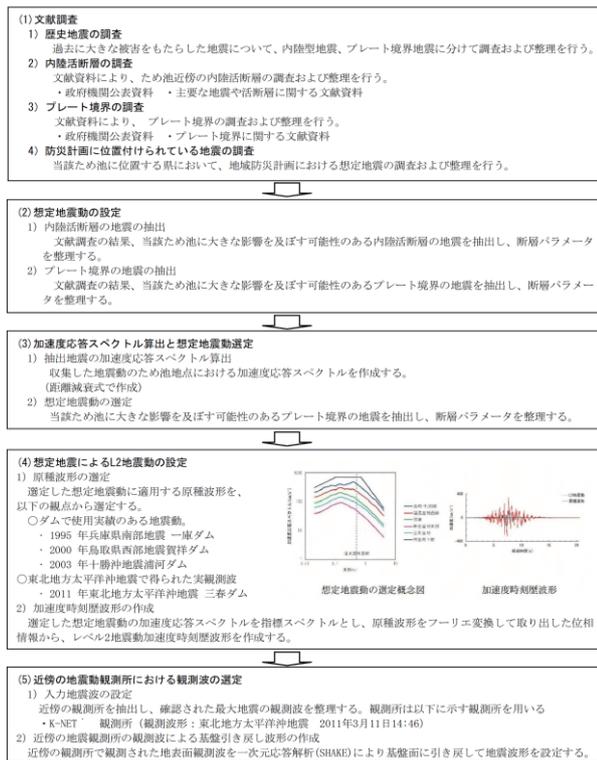


図-5 地震動の設定フロー

(2) 指針(案)に準じた地震波の作成

以下に示す①～④を行い、地震波を作成した。

- ①：文献調査から当該ため池に大きな影響を及ぼす可能性のある地震を抽出し、抽出地震の加速度応答スペクトルを作成した。加速度応答スペクトルの作成は、国土技術政策総合研究所によるダムの距離減衰式³⁾を用いた。
- ②：想定地震動は作成した加速度スペクトルから、ため

池の固有周期に着目して選定した。ため池の堤体高さ、S波速度Vsより、固有周期TGを算出し、ため池の固有周期周辺の加速度応答スペクトルが大きい地震動を以下に選定した。

【タイプI】東北地方太平洋沖地震(最短)

【タイプII】福島盆地西縁断層帯(等価)

③：レベル2地震動の設定で原種波形の選定を行った。選定した想定地震動に適用する原種波形を、A.ダムで使用実績のある地震動、B.東北地方太平洋沖地震で得られた実観測波を使用した。

【タイプI】A.2003年十勝沖地震 浦河ダム

B.2011年東北地方太平洋沖地震 三春ダム

【タイプII】A.1995年兵庫県南部地震 一庫ダム

A.2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム

④：選定した想定地震動と原種波形から以下の手順で加速度時刻歴波形を作成した。

- 1. 原種波形をフーリエ変換し、位相情報を取り出した。
- 2. 目標スペクトルと1の位相情報を用い、作成した波形の応答スペクトルと目標とする応答スペクトルが所定の一致度を満たすまで、繰り返し修正を行った。

(3) 近傍の地震動観測所における観測波の作成

現地条件に則した地震波を照査に使用するため、調査地に近傍であるK-NETの地表面の観測波を用いて一次元応答解析(SHAKE)を行い、基盤面に引き戻した地震波を作成した。

(4) レベル2地震動に対する安定性検討結果

結論として、近傍の地震動観測所から作成した地震波を使用し解析した結果が、最も変位量が大きい結果となった。

5 まとめ

解析モデルや地盤定数を検討する場合は、実現象と乖離のないよう、築堤履歴、地震履歴等を考慮すると良い。

地震動は、指針(案)に準じ作成したものと、近傍観測所の最大観測波から作成したものを併用し検討することで、安全側の照査が可能である。

《引用・参考文献》

- 1) 農林水産省農村振興局整備部監修, 公益社団法人農業農村工学会発行: 土地改良事業設計指針「ため池整備」, p.128, 2015.5.
- 2) 国土交通省河川局: 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説, p.6, 2005.3.
- 3) 国土砂防技術総合研究所 河川研究部 ダム研究室: 大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料参考資料1 指針(案)・同解説の補足説明資料, p.34, 2005.3.

開削調査結果を踏まえた浸透に対する堤防の安全性の確認

応用地質株式会社 ○高橋 耀介, 倉田 大輔

1. 堤防開削時の調査とは

河川堤防は長い歴史の中で嵩上げや拡幅を繰り返されて現在の姿となっており、土層構造が複雑であるという特徴がある。浸透に対する堤防の安全性を評価する上で、土層構造を把握することは非常に重要である。このため、樋門等の河川構造物の新設・撤去の際には堤防開削調査が行われる。堤防開削時の調査の目的は、築堤土の土層構造を把握することで、健全度の把握や堤防の質的検討等に資することである。

通常、河川堤防の土層構造は、複数箇所ボーリング調査より推定するが、それぞれ1次元的に把握した土層構成に基づくものである。対して、堤防開削時の調査では、堤防の断面を目視による観察することで、築堤土の土層構造を面的（2次元的）に把握することができる。

2. 堤防開削時の調査方法

(1) 調査手順

堤防開削時の調査は、事前調査、開削時調査の順に行われる。以下に調査の概要を示す。

【事前調査】

事前調査とは、堤防を開削する工事の前に、堤防に発生している変状を外観調査することである。例えば、工事の目的が樋管の撤去である場合、樋管周辺の抜け上がりやクラックを外観調査することが多い。

【開削時調査】

開削時調査とは、堤防を開削した後に、堤防の断面を調査することである。堤防の断面は、重機による掘削で乱れている。そのため、堤防の断面に鋤簾等を使用し、人力にて整形を行った後に、スケッチや写真撮影、試料採取を実施する。

また、工事の目的が、河川堤防に埋設された構造物（樋管等）の撤去である場合は、構造物の観察を実施する。

(2) 堤防断面観察時の留意点

河川堤防は、繰り返し嵩上げや拡幅が行われており、断面が大きな堤防であるほど築堤履歴が複雑である。また、同一時期の堤体材料も一様ではないと考えられる。そのため、現場での断面観察のみでは正確な築堤履歴の評価は困難な場合がある。

堤防断面観察を効果的に実施するためには、事前の資料調査により築堤履歴を推定することが必要である。これにより、築堤土の土質構造の特徴をとらえた断面観察を行うことができる。また、築堤履歴を推定しておくことで効果的に試料採取が計画できる。

事前の築堤履歴の把握には、下記に示す資料を収集整理することが有効である。

- ・過去の空中写真、横断測量で当該地の堤防の変遷を把握する。
- ・当該地の河川の治水史(改修計画等)を整理する。
- ・時代による築堤の仕方を理解する。

最近では、スケッチと合わせて、SfM(Structure from Motion)技術を使って、オルソ化写真(正射投影)を作成することで、築堤土の土層構造が分かりやすい成果を作成することができる。

3. 堤防開削時の調査結果

堤防開削時の調査結果の例を示す。

写真-1は、実際の開削調査の様子である。堤防断面に対して鉛直・水平方向に1m間隔で格子を設置して、図-2に示すように観察結果をスケッチに記録した。スケッチは実物の1/20スケールとした。写真-2は堤防の断面のオルソ写真であり、図-2は全体のスケッチから、土質ごとに着色したものである。この堤防開削時の調査結果の概要は、下記に示す。

- ・築堤当初は、粘性土(ローム)が主体であった。土層構造が、斜になっていること(写真-3参照)から、まきこぼしによる築堤をしていたと推定される。
- ・堤防の拡幅の際も、現在の計画高水位までは粘性土によって、まきこぼして築堤していたと推定される。
- ・築堤年代が比較的新しい箇所は、適切に締固めが行われていたと推定される。締固めやすい土質であり、硬質であった。

前述の「斜になっている」土層構造は、堤防開削時調査において、よく確認される。これは、昭和30年代以前の築堤の特徴である。当時は、築堤土をトロッコ等で運搬し、堤防の天端付近からまきこぼして築堤していた。そのため、この時代の築堤土の土層構造は、斜の構造になっていることが多い。当該地では、資料調査により斜の土層構造部分は昭和28年以前に築堤されたものと推定した。



写真-1 現場状況

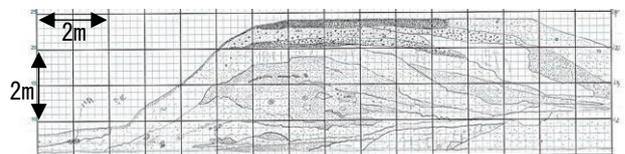


図-1 スケッチの一部

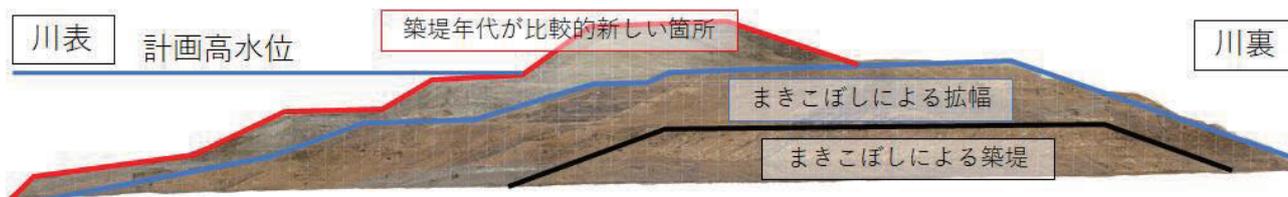


写真-2 開削断面のオルソ写真

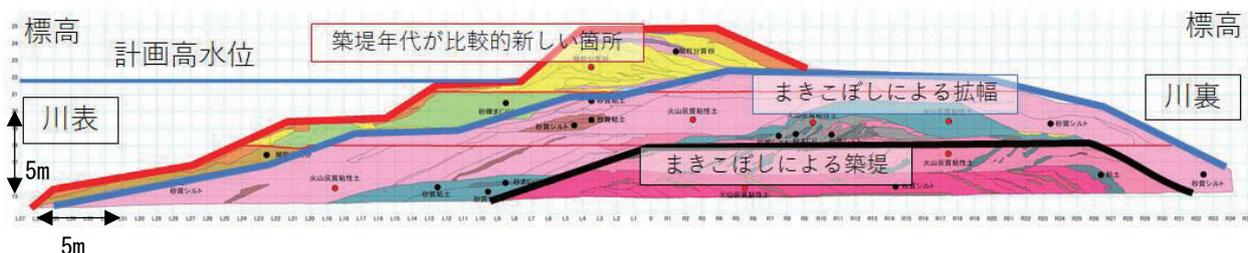


図-2 着色したスケッチ

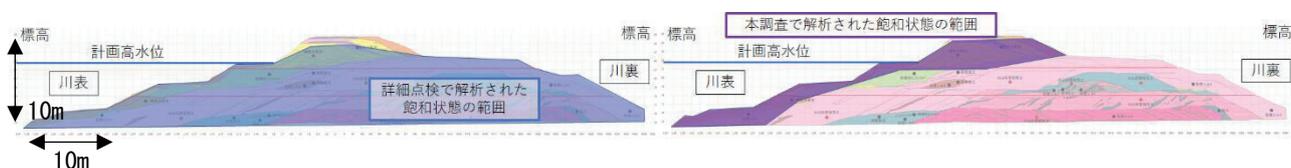


図-3 浸透流解析結果

このような土質分布を観察できることが、堤防の断面を面的に把握できる堤防開削時の調査の利点である。

4. 安全性の再確認

(1) 解析方針

堤防開削箇所を含む区間では、堤防の浸透に対する安全性の照査(以下、詳細点検と称す)が実施されている。詳細点検では、限られたボーリング調査に基づき推定した堤防モデルに対して、浸透流解析と安定解析によりすべりやパイピングの照査が行われる。

本調査で、築堤土の土質分布を詳細に把握し、土質ごとに乱れの少ない試料を採取し室内土質試験を実施した。この開削調査に基づいた堤防モデルに対して浸透流解析を行い、浸潤線の違いから安全性を確認した。

詳細点検と本調査の解析条件の概要を以下に示した。

- ・解析に使用したモデルは、粘性土を主体としていた。
- ・本調査のモデルでは、詳細点検の土質より、透水性の低い層を分布させた。

(2) 解析結果

図-3は、図-2に、「詳細点検」と「本調査結果」による浸透流解析を併記したものである。

図-3より、詳細点検における浸透流解析結果では、計画高水位の時に、堤防全体が飽和した状態であった。本調査結果における浸透流解析結果では、計画高水位の時においても、川表側の堤体の一部のみ飽和した状態であった。なお、計画高水位より標高が高い位置で飽和しているのは、降雨が影響している。これにより、当該地の河川堤防は、詳細点検での想定より河川水が浸透しにくい築堤土で構成されていることが判明した。そのため、河川水によるのり面すべりの安全性への影響は少ないと

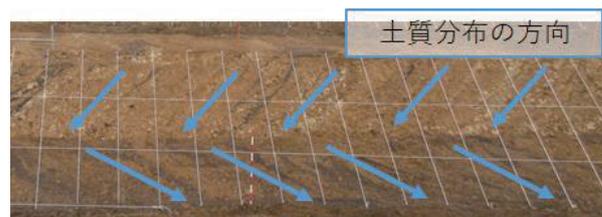


写真-3 斜になっている土層構造

判断できる。

5. まとめ

本論文のまとめを以下に示す。

- ・既往資料により築堤履歴を推定することで効果的な断面観察が行える。
- ・開削断面の土質分布状況から築堤方法が推定できる場合があり、築堤履歴を整理する上での重要な指標となる。
- ・本事例では、堤防開削時の調査により、河川水が浸透しづらい築堤土で構成されていることが確認されたが、限られたボーリング調査により推定された堤防モデルと開削調査により確認された堤防モデルは大きく異なる場合があるため、浸透に対する堤防の安全性照査にフィードバックすることが重要である。

《引用・参考文献》

- 1) 河川堤防開削時の調査マニュアル(平成23年 国土交通省 河川局治水課)
- 2) 河川堤防の構造検討の手引き(平成24年 財団法人 国土技術センター)

ダムにおける堆砂の土質特性に着目した利用検討事例

中央開発株式会社 ○小野 貴裕, 栗原 朋之, 西村 修一, 粕谷 剛, 山田 忠利

1. はじめに

近年、気候変動の影響による豪雨災害により各地で甚大な被害が発生していることから、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、その河川流域全体のあらゆる関係者が協働し、流域全体で被害を軽減させる治水対策「流域治水」への転換が進められており、各地のダムでは、洪水調節機能を最大限に発揮するために貯水容量確保(再生)が求められている。

今回対象とした既設ダムでは、令和元年東日本台風(台風19号)によってダム上流部に大量の土砂が流入、堆積しており、洪水調節機能を十分に発揮できない可能性があり、早急な堆砂除去が必要であった。除去された堆砂は既設道路盛土沿いに腹付け盛土として仮置きすることが計画された。本稿では、堆砂の工学的特性に着目した調査計画を立案し、仮置き盛土の安定性に関する検討を行った事例について紹介する。

2. 堆砂の利用検討に関する調査計画の立案

事前の現地確認の結果、河川の上流から下流に向かい礫質砂(A1)、細砂(A2)、細粒分質砂(A3)と粗粒なものから細粒なものに遷移しており、粒度特性に違いが認められた(図-1)。粒度特性を踏まえた調査計画を表-1に示す。粒度特性に応じて対象範囲を A1, A2, A3に区分し、オーガーボーリング及び室内土質・土壌分析試験によって、土質性状や物理特性、締固め特性、強度特性を把握するとともに、ポータブルコーン貫入試験を実施し、施工時のトラフィカビリティについて確認した。

3. 調査結果

(1) 堆砂の粒度特性

室内土質試験一覧表を表-2、粒径加積曲線を図-2に示す。試験の結果、礫質砂(A1)は礫分～砂分までをある程度幅広く含んでいるが(均等係数 $U_c=5$)、細砂(A2)はほぼ粒径が揃った砂($U_c=2$)で構成されていることが判明した。また、細粒分質砂(A3)は、A2と同様に砂分が主体であるが、細粒分を多く含んでいる。

(2) 堆砂の締固め特性

A2, 混合土①の締固め曲線を図-3に示す。いずれの試料も、自然含水比は最大乾燥密度 $\rho_{dmax} \times 90\%$ の範囲内にある。しかし、A2の締固め後の密度は、一般的な砂質土の値に対して小さな値を示しており、ゼロ空隙間隙曲線からも離れていることから、粒径が揃っているために十分に締固めることができていないことが分かる。そこで、締固め後の密度を上げ、

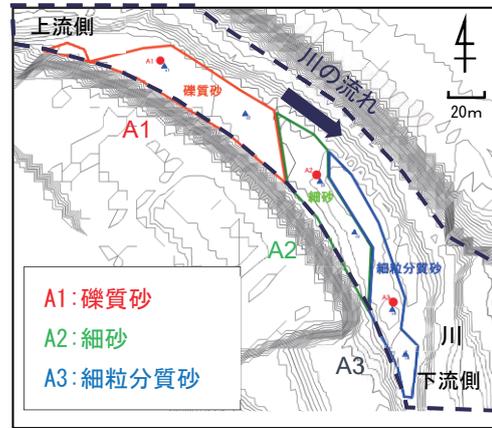


図-1 堆砂状況平面図

表-1 調査項目一覧

調査項目	目的	
オーガーボーリング	土質確認・試験試料採取	
ポータブルコーン貫入試験	トラフィカビリティの判定に用いられるコーン指数の確認	
室内土質試験	土粒子の密度試験	採取した試料の物理特性の把握
	土の含水比試験	
	土の粒度試験	
	突き固めによる土の締固め試験	採取した試料の締固め特性の把握
	締め固めた土のコーン貫入試験	建設発生土とする場合の土質区分の判定
三軸圧縮試験Ob	採取した試料の締固め後の強度特性の把握	
三軸圧縮試験Cd		

表-2 室内土質試験一覧表

試料番号	深さ	A1	A2	A3	追加提案 混合土① (A1 A2 A3)
		(1.00m)	(2.00m)	(2.00m)	(1.00m)
一般	土粒子密度	2.735	2.781	2.670	2.750
	自然含水比	5.4	11.1	36.7	14.5
	均等係数	5.22	2.2	-	-
粒度	礫分	41.9	0.0	0.0	14.2
	砂分	57.4	96.9	60.2	75.4
	細粒分含有率	0.7	3.1	39.8	10.4
分類	地盤材料の分類名	分級された礫質砂	分級された砂	細粒分質砂	細粒分質砂
	分類記号	(SPG)	(SP)	(SF)	(S-FG)
	締固め試験方法	A-b	A-b	A-c	A-b
締固め	最大乾燥密度	1.612	1.396	1.251	1.552
	最適含水比	11.9	24.9	35.8	21.1
せん断	試験条件	CD 三軸	CD 三軸	CU 三軸	CD 三軸
	全応力	4.4	0.9	34.4	2.5
	有効応力	35.4	30.3	15.3	34.6

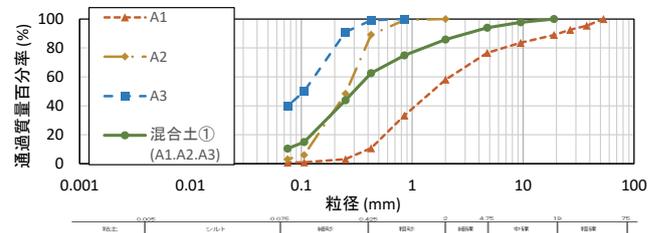


図-2 粒径加積曲線

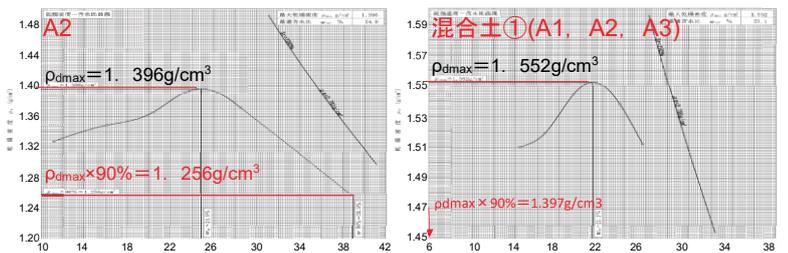


図-3 締固め曲線(A2, 混合土①)

強度や剛性を高めるため、各地点の材料を混合(1:1)して粒度特性の改善を行った。混合土の締め固め特性では、最大乾燥密度が混合前の材料に対して相対的に大きい値となり、改善効果が認められた。

4. 仮置き期間中の安定性に関する検討

(1) 検討事項

盛土の施工断面(解析断面)を図-4に示す。堆砂の道路盛土への利用は、図に示す通り、既設道路の腹付けとして貯水池内に施工し、運土計画により段階的な施工が計画されている。上記材料の盛土としての安定性の検討を行った。なお、安定検討は、既設道路盛土と一体となるため、道路土工 盛土工指針¹⁾に準拠し、施工段階を踏まえた検討を行った。

(2) 検討条件

土質定数は、材料堆砂調査結果に基づいて設定した。定数一覧を表-3に示す。また、当該盛土は仮置き土であることから、検討ケースは施工時とした。ただし、第4期の盛土では盛土立ち上げ完了後、相当の期間放置される予定であることから、参考として常時及びL1地震時の作用に対する検討も行った。

(3) 検討結果

盛土材料ごとの安定照査結果を表-4、図-5に示す。施工時及び常時については、全ての盛土材において許容安全率を満足する結果となった。しかし、L1地震時については、A2の盛土材のみ使用したケースで許容安全率を満足できない結果となった。一方、粒度特性の改善を行った混合土①を採用したケースでは、L1地震時に対しても許容安全率を満足することが確認でき、L1地震時に対応できる材料であることが確認できた。今回は、この結果を受け、盛土の安定性がより高い、混合土による盛土施工を提案した。

5. まとめ

本業務では、ダムの堆砂除去を目的とした調査計画及び道路盛土の安定性を検討し、粒度分布の改善を行うことでL1地震にも耐えうる盛土材となることを確認し、最適な利用方法を提案できたと考えている。

今後は、流域治水への対応としてダム内の堆砂除去を目的とした構造物調査や今回のような材料調査なども増えることが想定されるため、ダムごとの各種課題を抽出した上で、堆砂の運用方法を踏まえた調査項目の提案を行うことが重要と考える。

《引用・参考文献》

- 公益社団法人：日本道路協会，道路土工 盛土工指針，p109-125，H22.4，

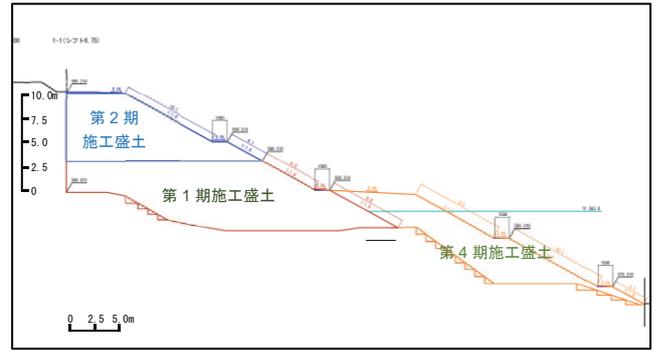


図-4 解析断面図

表-3 盛土の安定性照査に使用した定数(試験値)

盛土材	単位体積重量		せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 c(kN/m ²)
	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_t (kN/m ³)		
A1	18.8	15.4	35.0	4.0
A2	17.7	13.7	30.0	1.0
A3	16.7	15.1	33.0	2.0
B1	19.0	15.8	35.0	2.0
混合土①	18.5	15.7	34.0	2.0

表-4 各盛土材料に対する安定照査結果一覧

施工段階	作用	盛土材	最小安全率	許容安全率	判定
			F_{smin}	F_{sa}	
1期	施工時	A1	1.872	1.100	OK
		A2	1.115	1.100	OK
		A3	1.521	1.100	OK
		B1	1.671	1.100	OK
		混合土①	1.606	1.100	OK
2期	施工時	A1	1.700	1.100	OK
		A2	1.258	1.100	OK
		A3	1.465	1.100	OK
		B1	1.587	1.100	OK
		混合土①	1.529	1.100	OK
4期	施工時	A1	1.788	1.100	OK
		A2	1.258	1.100	OK
		A3	1.528	1.100	OK
		B1	1.621	1.100	OK
		混合土①	1.572	1.100	OK
	常時	A1	1.845	1.200	OK
		A2	1.261	1.200	OK
		A3	1.567	1.200	OK
		B1	1.661	1.200	OK
		混合土①	1.617	1.200	OK
	L1地震時	A1	1.299	1.000	OK
		A2	0.875	1.000	NG
		A3	1.030	1.000	OK
		B1	1.141	1.000	OK
		混合土①	1.096	1.000	OK

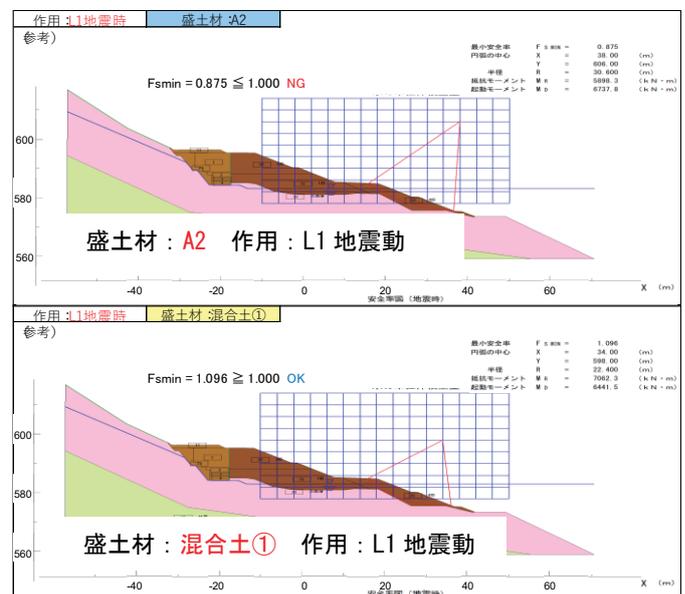


図-5 各盛土材料に対する安定照査結果(L1地震時)