

ため池レベル1耐震性能照査業務における簡易的な堤体土の土質定数と安全率の傾向把握

基礎地盤コンサルタンツ(株) ○ 福本 祐太, 久賀 真一, 戸田 陸斗

1. はじめに

近年、多くのため池が老朽化により漏水、侵食等の危険箇所が発生し、大雨や地震を契機に決壊するリスクがあり、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、9箇所の農業用ため池において、所定の耐震性能を有しているかを、照査するために必要な土質調査およびレベル1耐震性能照査を実施した事例を基に、各ため池堤体の土質定数とすべり安全率を比較し、傾向の把握を行った。

2. 土質調査およびL1耐震性能照査結果

本調査では、9箇所の農業用ため池(A~I)を対象に、土質調査(機械ボーリング、現場透水試験、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を実施している。円弧すべり解析については、上流側と下流側においてそれぞれ、FWL(常時満水位)、HWL(設計洪水水位)、水位急降下の3ケース実施している。今回は、下流側のHWLのケースに着目し比較検討を行った。

(1) 各ため池の土質定数

表-1に各ため池における堤体盛土の土質定数を示す。A・E・F・Hため池の土質は、砂質粘土・砂質シルトであり、B・C・D・G・Iため池では、細粒分を含む砂質土であった。「土地改良事業設計指針ため池整備」¹⁾による堤体材料としての物性値の目安によると、① $\rho_s \geq 2.6(\text{g/cm}^3)$ (2.6以下であれば有機質を含む可能性があるため)、②0.075mmの細粒分を10~15%程度以上保有している、③透水係数 $k \leq 5.0 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ とある。今回の調査では、土粒子密度と細粒分含有率に関しては、いずれのため池の堤体材料でも、物性値の目安を満たす結果であった。一方、透水係数についてはA・B・Eため池で物性値の目安に満たない結果であった。

表-1 各ため池の土質定数

ため池	N値	土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	透水係数 k (m/s)	粘着力 c (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	細粒分含有率 FC (%)
A	8	2.705	6.15×10^{-6}	0.0	38.0	51.5
B	2	2.698	6.87×10^{-6}	2.7	35.2	31.8
C	2	2.664	2.88×10^{-7}	0.7	31.8	43.8
D	4	2.687	3.73×10^{-7}	2.3	33.3	48.3
E	3	2.750	1.78×10^{-6}	1.0	35.1	92.3
F	3	2.750	1.27×10^{-7}	1.3	33.6	67.7
G	7	2.701	5.39×10^{-8}	1.3	36.2	39.8
H	2	2.685	4.87×10^{-8}	3.4	34.6	65.0
I	7	2.728	3.33×10^{-7}	0.3	35.0	34.5

(2) 各ため池のすべり安全率

今回、堤体の安定計算は、「土地改良事業設計指針ため池整備」¹⁾に従い、図-1に示すH26年農地管理課長通知²⁾での条件①・②で解析を実施している。また、堤体の安定計算のケースについては下流側HWLに着目した。基

準の安全率は「土地改良事業設計指針ため池整備」¹⁾に従い、 $F_s \geq 1.2$ としている。表-2に各ため池の円弧すべり解析結果(下流側HWL)を示す。A・C・E・F・G・Hため池では基準の最小安全率 $F_s 1.2$ を上回り、すべり破壊の危険性がない結果となった。一方、B・E・Iため池では基準の最小安全率 $F_s 1.2$ を下回り、すべり破壊の危険性がある結果となった。

2 解析方法
 実際起こりうる滑りを考慮し、①及び②の設定条件により解析を行うこととする(別添「参考図」参照)。
 ①円弧すべりを、堤頂をとり堤体内で収まるように設定する
 ②円弧すべりを、堤体下面より1m、法尻より1mの範囲内に収まるように設定する

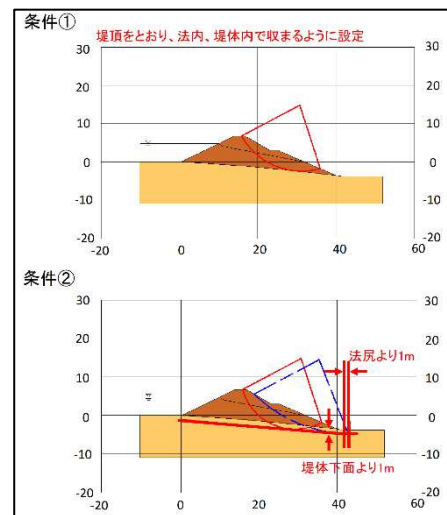


図-1 農地管理課長通知での条件に加筆²⁾

表-2 各ため池のすべり安全率(下流側HWL)

ため池	H26年農地管理課長通知 条件① (円弧すべりは、堤頂をとり堤体内で収まるように設定)	H26年農地管理課長通知 条件② (円弧すべりは、堤体下面より1m、法尻より1mの範囲内に収まるよう設定)
	安全率 F_s	
Aため池	1.080	1.654
Bため池	0.588	0.906
Cため池	1.256	1.714
Dため池	1.146	1.067
Eため池	1.255	1.255
Fため池	0.532	1.208
Gため池	1.337	1.830
Hため池	1.351	1.351
Iため池	0.676	1.061

: $F_s < 1.20$

3. 土質定数と安全率の傾向

ここでは、各ため池盛土の土質定数と最小安全率を比較し、傾向の把握を行った。今回、円弧の形状については農地管理課長通知の条件①に着目した。

(1) 土粒子密度

図-2に土粒子密度と安全率を示す。本調査におけるため池盛土の土粒子密度は、いずれのため池でも $2.6(\text{g/cm}^3) \sim 2.8(\text{g/cm}^3)$ の範囲にあり、これは、一般的な砂質土または沖積粘土の値³⁾である。また、値にもそれほどの差異が確認できなかったことから、今回の調査結果から、土粒子密度と安全率の傾向を確認することはできなかった。

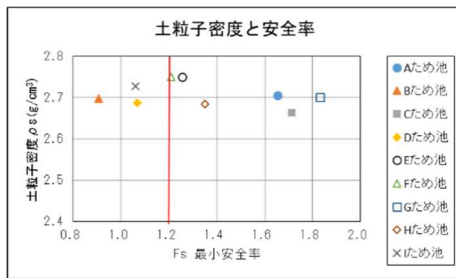


図-2 土粒子密度と安全率

(2) 透水係数

図-3に透水係数と安全率を示す。本調査結果では、いずれのため池でも一般的に低い～非常に低い透水係数の範囲にある⁴⁾。B・D・I・F・Hため池に着目すると、透水係数が低くなるにつれ、安全率が高くなる傾向にある。ただし、Aため池のように、透水係数が大きくても安全率が高いケースがあるため、この限りではない。

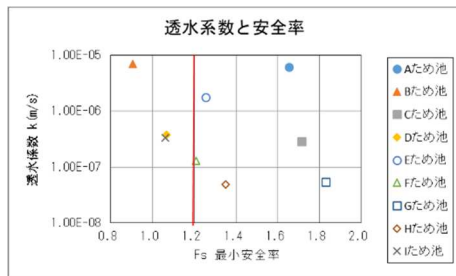


図-3 透水係数と安全率

(3) 粘着力

図-4に粘着力と安全率を示す。本調査結果では、いずれのため池でも、低い粘着力を示す土質(砂質粘土・砂質シルト・砂質土)であることから、粘着力と安全率の傾向は確認できなかった。

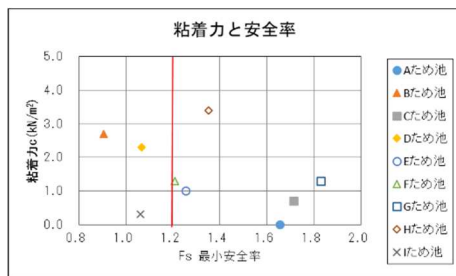


図-4 粘着力と安全率

(4) 内部摩擦角

図-5に内部摩擦角と安全率を示す。本調査結果の中では、内部摩擦角と最小安全率の傾向にばらつきがみられたため、内部摩擦角と安全率の傾向を把握することはできなかった。

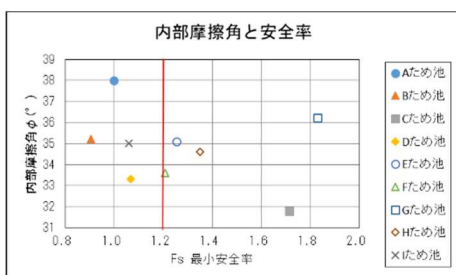


図-5 内部摩擦角と安全率

(5) 細粒分含有率

図-6に細粒分含有率と安全率を示す。細粒分含有率が50%以上であるA・E・F・Hため池では、Fs1.2を上回っている。一方で、細粒分含有率が50%以下であるB・D・Iため池では、Fs1.2を下回っている。これより、細粒分含有率が高いと安全側の傾向を示すと示唆される。

また、C・Gため池は、細粒分含有率が50%以下であるが、Fs1.2を上回っている。Cため池については、表-3に示すように堤体の法勾配が最も緩やかであることに起因していると考えられる。また、Gため池はN値が7と、他のため池より比較的大きいN値であることに起因していると考えられる。これより、細粒分含有率が低くてもN値が高ければ安全側の傾向を示すことが示唆された。一方、Iため池は、法勾配も緩やかであり、N値も高いにも拘らず、Fs1.2を下回っている。また、F・Hため池は法勾配が急であり、N値が低いにも拘らず、Fs1.2を上回っている。これより、すべり破壊において細粒分含有率の与える影響が大きいことが示唆される。

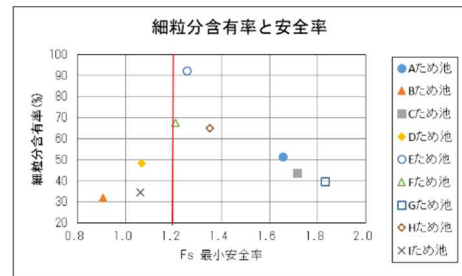


図-6 細粒分含有率と安全率

表-3 法勾配と安全率と土質定数

	ため池名								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
法勾配	2.2	1.5	2.6	1.7	2.3	1.7	2.2	1.2	2.0
最小安全率	1.654	0.906	1.714	1.067	1.255	1.208	1.830	1.351	1.061
細粒分含有率(%)	51.5	31.8	43.8	48.3	92.3	67.7	39.8	65	34.5
N値	8	2	2	4	3	3	7	2	7

:Fs<1.20

4. まとめ

本論文のまとめを以下に示す。

- ・細粒分含有率が高いと、すべり結果が安全側の傾向を示すことが示唆される。
- ・細粒分含有率が低くてもN値が高ければ、安全側の傾向を示すことが示唆される。
- ・すべり破壊において、細粒分含有率の与える影響は大きいことが示唆される。

《引用・参考文献》

- (社)農業農村工学会；土地改良事業設計指針「ため池整備」,2015年5月
- 農地管理課長通知 震災対策農業水利施設整備事業(耐震性調査)における留意事項について,2014年10月
- 地盤材料試験の方法と解説,2020年12月,公益社団法人地盤工学会, p118
- 地盤材料試験の方法と解説,2020年12月,公益社団法人地盤工学会, p468

旧河道部の河川事業における地質リスク

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○関口 達也, 星野 笑美子, 赤坂 幸洋
新潟県上越地域振興局 齋藤 雅弘, 樋口 航

1. はじめに

本報告の対象河川は川幅が狭く蛇行しており、現在、安全に流下させるため、河川改修を計画・実施している。対象河川のある区間で河道掘削に伴い法面変状が発生した。そのため、法面変状の原因究明および対策工検討のための事後調査を実施した。本報告では、変状箇所の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. 地形地質概要

対象河川は、新潟県上越市の高田平野を流れる関川の支流である飯田川である。対象地周辺の空中写真を図-1に示す。対象地は沖積面であり、氾濫平野が広がり、旧河道に位置する。対象地の沖積層は層厚50m程度分布しており、粘性土・砂・礫の互層からなり、粘性土層が厚く堆積している。また、粘性土層の N 値は小さく、軟弱な地層を形成している。

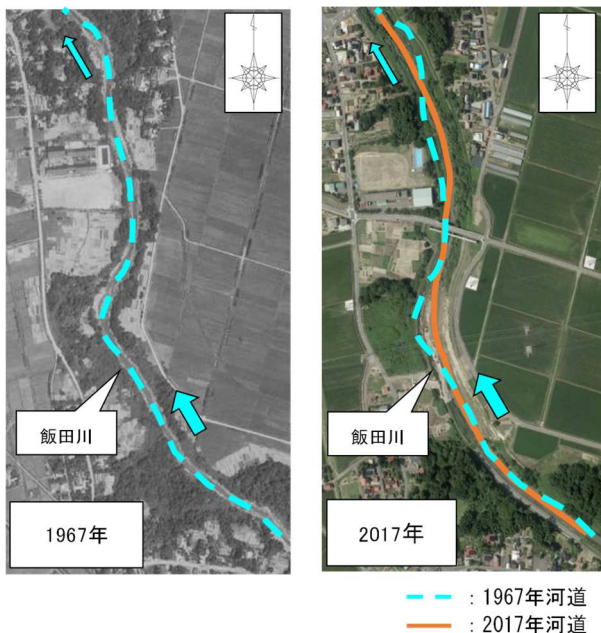


図-1 対象地周辺の空中写真
(左が1967年撮影, 右が2017年撮影)¹⁾

3. 事後調査に至った経緯

飯田川では、現在、安全に流下させるため、河道掘削を伴う河川改修を計画・実施している。対象地では、過去に地質調査を実施しており、地質調査結果に基づいて施工計画が立てられている。変状過程の模式図を図-2および図-3に示す。掘削した直後の断面のイメージ図(図-2)から、時間の経過とともに、沈下・はらみ出し等の

変状(図-3)をしているところが延長40m程度でみられた。変状箇所は、 N 値=0~2程度の軟弱な粘性土層($Ac1$)が分布して、小段に沈下が発生し、法面がはらみ出していることから、軟弱地盤で生じる円弧すべりが変状の主因であると想定し、変状原因を明らかにするため、事後調査を実施した。

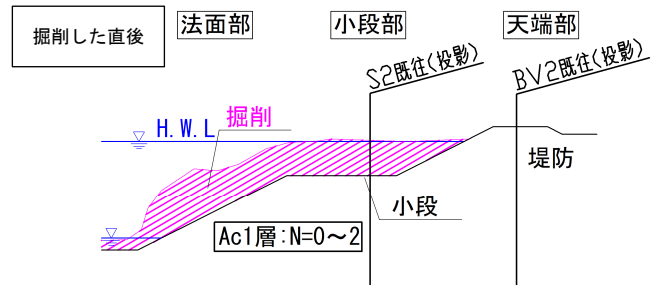


図-2 掘削した直後の断面のイメージ図

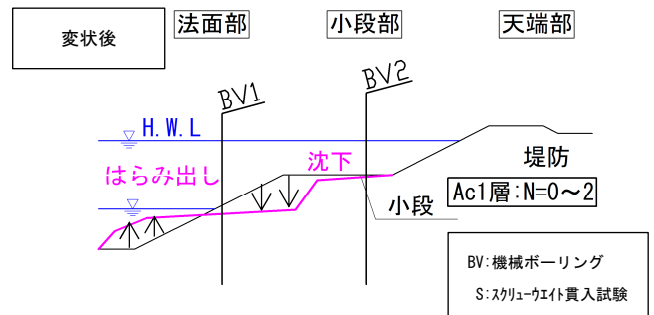


図-3 変状後の断面のイメージ図

4. 調査結果

事後調査では土質調査(機械ボーリング, サウンディング, 室内土質試験)を実施した。

(1) 地層について

機械ボーリングおよびスクリューウェイト貫入試験の結果より地層判別を行った。

既往調査結果の推定地層縦断面図を図-4に、事後調査結果の推定地層縦断面図を図-5に示す。既往調査結果の推定地層縦断面図では、図-4のように主に粘性土層($Ac1$ 層および $Ac2$ 層)が主体で、両層の境に砂質土層(As 層)または礫質土層(Ag 層)が分布する地層構成となっている。一方、事後調査では、図-5のように砂質土層(As 層)は粘性土層($Ac2$ 層)の挟み層として上流側にみられる程度で、下流に向かって出現しないまたは不連続であることが判明した。既往調査の推定地層横断面図を図-6に、事後調査の推定地層横断面図を図-7に示す。事後調査結果では、横断方向では砂質土層(As 層)または礫質土層(Ag 層)が出現しないことが判明した。

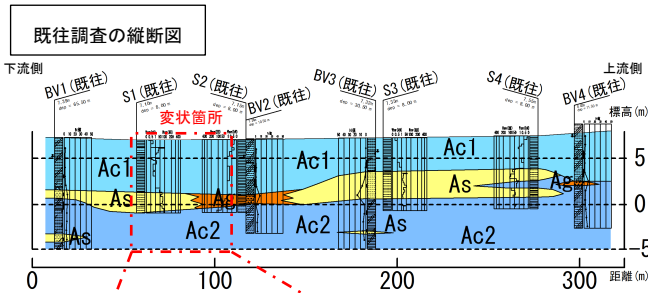


図-4 既往推定地層縦断面図(既往調査)

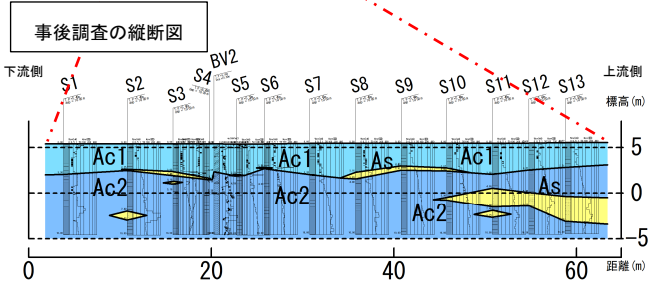


図-5 推定地層縦断面図(事後調査)

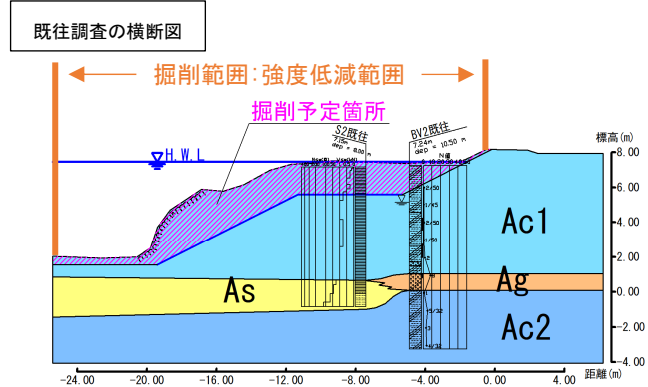


図-6 推定地層横断面図(既往調査)

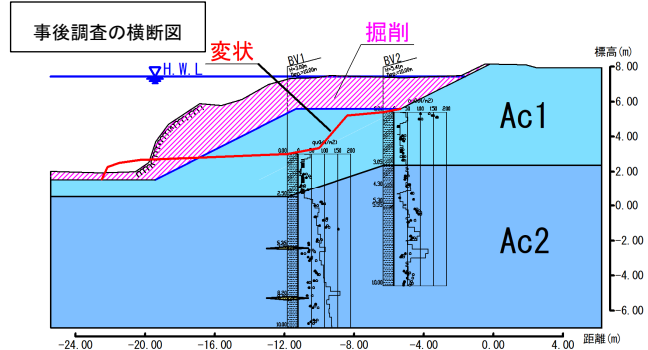


図-7 推定地層横断面図(事後調査)

BV:機械ボーリング
S:スクリューゲイト貫入試験

(2) 室内土質試験結果

物理特性・強度特性の把握を目的として実施した。粒径加積曲線を図-8に、一軸圧縮試験より求めた粘着力($q_u/2$)の深度分布図を図-9に示す。粒径加積曲線よりAc1層およびAc2層共に粒度にばらつきがみられ、Ac1層はAc2層よりシルト分がやや多い傾向にあることがわかる。一軸圧縮試験より求めた粘着力($q_u/2$)の深度分布図より、Ac1層の粘着力およびAc2層の粘着力は同一深度でばらついており、Ac2層は既往調査結果と概ね同程度であったが、Ac1層は既往調査結果より2割程小さい値であった。

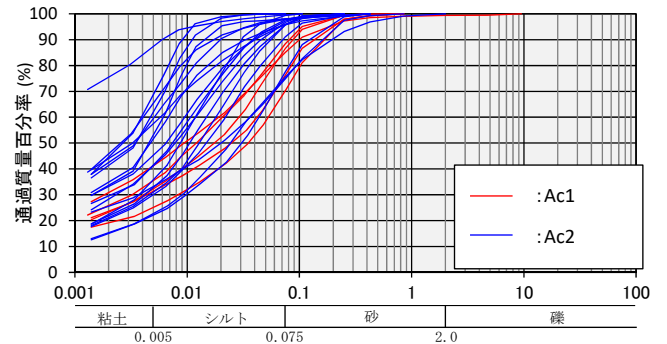


図-8 粒径加積曲線

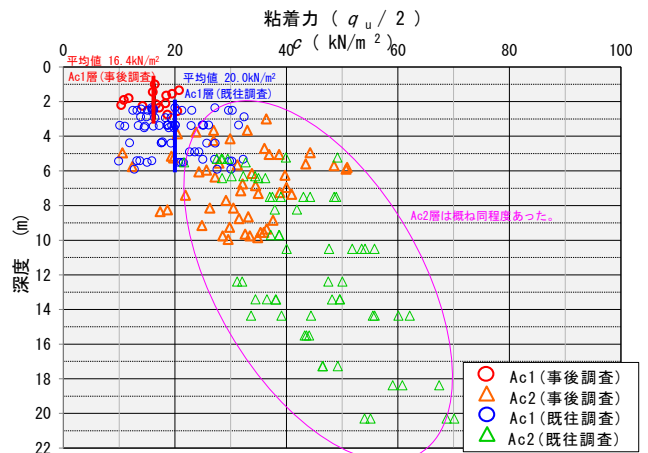


図-9 一軸圧縮試験より求めた粘着力($q_u/2$)の深度分布図

5. 変状原因について

既往調査設計では、河道掘削範囲において応力解放に伴う粘性土の強度低減を考慮して、掘削法面の安定性を確保していた。事後調査より砂質土層および礫質土層が確認されず、設計で見込んでいた強度よりも小さかったため、変状が生じたと推測する。

6. おわりに

河川の氾濫や流路変化の影響を直接的に受けて堆積した地層は、土の性状が極めて複雑であり軟弱である。対象地は旧河道に位置して、不均質な土質であり、地層判別および強度設定が難しい地質である。本変状箇所の復旧としては、事後調査結果より判明した地層構成と強度定数を用いて、法尻部に袋詰め玉石を設置することとなった。今後継続する河道掘削を伴う河川改修でも、不均質な地盤では正確に地層構成を把握し、適切な土質定数の設定を行うことで地質リスクを回避できると考える。

《引用・参考文献》

- 国土交通省:「国土地理院」, 地図・空中写真閲覧サービス. <https://mapapps.gsi.go.jp/>(確認日:2022.6.7.)

災害環境による災害発生リスクの抽出・評価

～地形災害検索システムの再構築～

国際航業株式会社 ○小宮賢祐, 鈴木隆介, 向山栄
秋山泰久, 丹野正浩

1. はじめに

自然災害から人命や財産を守るためには、任意地点において発生しうる自然災害を予測した上で、防災対策を検討することが望ましい。

鈴木¹⁾は災害事例を論拠とし、任意地点の災害環境(＝地形条件)において、各種の自然災害が発生した場合にどの程度の被害をもたらすかを系統的に検索する地形災害検索システム(以下、EADaS という)を考案し、自動的に自然災害リスクの評価を行うことを可能とした。

しかし、EADaS によるリスク評価は、災害環境特定の難易度が高く、また時間を要するため、1地点の災害リスク評価に非常に労力を要するという課題がある。

そこで今回は、リスク評価精度の低下に配慮しながら、災害環境の特定に関する部分の簡易化を行い、EADaS 簡易版として再構築を行った。

2. EADaS による自然災害リスク評価方法

(1) 自然災害リスク値の算出方法

自然災害リスクの評価は、その自然災害の素因的危険度と対象地点における各自然災害の発生頻度とを掛け合わせることで算出する。

$$A \text{ 地点における自然災害 } B \text{ のリスク} \\ = B \text{ の素因的危険度} \times A \text{ 地点における } B \text{ の発生頻度}$$

(2) 自然災害の素因的危険度

Undro²⁾を参考に鈴木¹⁾は、10項目の評価項目を元に各自然災害の素因的危険度を点数付けしている。

具体には評価対象としている90種類の自然災害それぞれに表-1に示す10項目への重み付けを行い、重み付けの合計値を素因的危険度として扱っている。

表-1 自然災害の素因的危険度を規定する10評価項目

No	評価項目	No	評価項目
1	同じ場所での再現期間	6	予報の時間的余裕
2	発生予測の可能性	7	継続する時間
3	ハード対策の有効性	8	影響する範囲
4	発生原因の解明	9	復旧の難易度
5	襲来する速度	10	避難の難易度

(3) 自然災害の発生頻度

対象地点における自然災害の発生頻度は、対象地点の災害環境特性(地形条件)に制約されるとしている。

災害環境特性ごとの自然災害の発生頻度は、5段階に区分して評価点を与えている。例として、異なる5種類の災害環境特性の地点に対し豪雨が発生した場合の「河川水位の急上昇」の発生頻度を表-2に示す。

(3) 自然災害リスク評価方法

過去の災害発生事例より、各自然災害に閾値を設定し

ており、閾値を超えれば発生の可能性が高く、逆に閾値を下回れば、災害は軽微または発生しないであろうと判断している。

表-2 災害環境特性と災害発生頻度の関係性と例示

点数	内容	災害環境特性の例
3点	必ず発生	盆地尻の峡谷
2点	しばしば発生	扇状地の扇央
1点	例外的に発生	砂礫段丘面上の名残川
0点	絶対に発生しない	砂丘間凹地
-	無関係	活火山の火山域に位置

3. 災害環境(＝地形条件)の特定方法

災害環境を19種に大別し、その中分類(計230種)を質問事項とし、質問の回答の選択肢として数個の災害環境特性を設定(選択肢総計:1,483個)している(表-3)。

EADaS は1つの質問に回答すると、選択肢に応じ自動的に次の質問が決まるすごろく形式となっており、質問に回答することで災害環境特性が順次特定される(図-1)。

表-3 災害環境の分類表と質問数(Nq)および各質問で区分した災害環境特性(選択肢)

災害環境の大分類		災害環境の中分類		特性(=選択肢)
大分類	略号	質問	個数	選択肢総数
気象環境	W	W1～W2	2	40
海岸環境	C	C1～C14	14	99
河川環境	R	R1～R15	15	98
地形環境	L	L1	1	10
低地	P	P1～P25	25	133
段丘	T	T1～T41	41	217
丘陵・山地一般	Hg	Hg1～Hg13	13	68
斜面	Hs	Hs1～Hs12	12	79
河谷	Hv	Hv1～Hv16	16	77
集動地形	M	M1～M10	10	84
湖沼地形	K	K1～K8	8	55
地底地形	U	U1	1	7
人工地形	J	J1～J5	5	35
火山	V	V1～V25	25	158
変動地形	F	F1～F8	8	57
地質	G	G1～G20	20	163
植生	B	B1～B7	7	71
その他	X	X1～X5	5	32
合計	18		230	1483

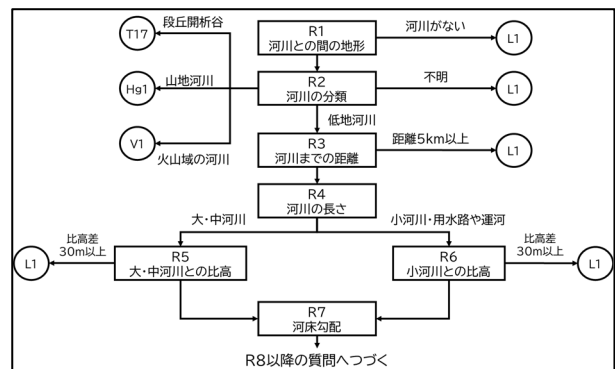


図-1 河川環境(R)の質問の流れ

4. EADaS の簡易化方法と簡易化結果

(1) 簡易化の実施方法

EADaS の考案者を交え、全13回の検討会を実施し230問に及ぶ質問を精査、必要に応じて簡易化の検討を実施した。以下に簡易化の方法を記す。

① 質問の削除

現地調査が必要な質問や、高度な地形判読技術を要する質問は簡易版では扱わないこととした。

② 質問の省略

回答難易度が高い質問に対し、回答を画一的に決めて質問の省略を行った。回答選択肢である災害環境特性ごとに自然災害の発生頻度の点数は異なることは前述の通りであるが、画一的に回答を決めることで発生頻度が低く抽出されないよう、すべての回答選択肢の中から自然災害の発生頻度の値が最大化されるように最大値を適用するようにした。

(2) 簡易化の結果

①質問の削除の対象は60問あり、簡素化後は総質問数が170問となった。また、②質問の省略では27問の省略が行われた。この結果、簡易な地形判読が可能で技術者であれば自然災害リスク評価を実施可能となり、また1箇所当たり30分程で評価が行えるようになり、簡易化前と比較し約半分程度の時間で評価可能となった。

5. EADaS と簡易版の自然災害リスク評価の検証

災害発生履歴のある18地点を対象に評価の検証を実施した。今回は過去に土石流災害が発生した長野県岡谷市岸東2丁目（図-2）における評価事例を紹介する。



図-2 長野県岡谷市岸東2丁目³⁾

90種類の自然災害リスク評価結果すべてを記載した結果を表-4に、表-4から土砂災害と河川災害を抜粋したものを表-5に示す。表-5中、自然災害リスクの評価値が閾値以上となる自然災害については評価値を赤色塗りつぶして示している。

土石流が発生した対象地において、EADaS と簡易版ともに、土石流のリスク値が閾値を上回る結果となった。また、その他の土砂災害と、河川近傍であることが反映され、河川災害の自然災害リスク値が高く算出されており、評価結果として妥当である事が確認された。また、数値に多少の違いは見受けられるが EADaS と簡易版は概ね同じような評価となっており、簡易化についても妥当である事が確認された。

表-4 EADaS と簡易版の自然災害リスク評価結果

自然災害名	No	EADaS 評価値	簡易版評価値	閾値
布状侵食	A ²⁶	0	0	50
ガリー侵食	A ²⁷	0	0	90
河川流量の急増	A ²⁸	323	323	300
河川水位の急上昇	A ²⁹	336	336	400
谷頭侵蝕	A ³⁰	0	0	400
岩盤下刻	A ³¹	0	0	500
岩盤側刻	A ³²	0	0	500
砂礫床洗掘	A ³³	0	0	300
砂礫地盤側刻	A ³⁴	0	0	300
砂礫堆積	A ³⁵	0	0	400
外水氾濫	A ³⁶	1295	1295	800
内水氾濫	A ³⁷	0	0	500
流木堆積	A ³⁸	0	0	400
匍行	A ³⁹	0	0	300
転落型落石	A ⁴⁰	630	595	500
剥落型落石	A ⁴¹	697	656	600
土砂崩落	A ⁴²	969	918	700
岩盤崩落	A ⁴³	1003	944	1200
急激な地すべり	A ⁴⁴	1062	1062	1400
緩慢な地すべり	A ⁴⁵	396	418	500
土石流	A ⁴⁶	1617	1813	1200
土砂流	A ⁴⁷	1258	1258	1000

表-5 EADaS と簡易版の自然災害リスク評価結果

河川災害と土砂災害抜粋

区分	自然災害名	No	EADaS 評価値	簡易版評価値	閾値
河川災害	布状侵食	A ²⁶	0	0	50
	ガリー侵食	A ²⁷	0	0	90
	河川流量の急増	A ²⁸	323	323	300
	河川水位の急上昇	A ²⁹	336	336	400
	谷頭侵蝕	A ³⁰	0	0	400
	岩盤下刻	A ³¹	0	0	500
	岩盤側刻	A ³²	0	0	500
	砂礫床洗掘	A ³³	0	0	300
	砂礫地盤側刻	A ³⁴	0	0	300
	砂礫堆積	A ³⁵	0	0	400
	外水氾濫	A ³⁶	1295	1295	800
	内水氾濫	A ³⁷	0	0	500
	流木堆積	A ³⁸	0	0	400
土砂災害	匍行	A ³⁹	0	0	300
	転落型落石	A ⁴⁰	630	595	500
	剥落型落石	A ⁴¹	697	656	600
	土砂崩落	A ⁴²	969	918	700
	岩盤崩落	A ⁴³	1003	944	1200
	急激な地すべり	A ⁴⁴	1062	1062	1400
	緩慢な地すべり	A ⁴⁵	396	418	500
	土石流	A ⁴⁶	1617	1813	1200
	土砂流	A ⁴⁷	1258	1258	1000

6. 今後の課題

今後の課題として以下の3点が挙げられる。

- ・ EADaS で利用されている閾値を、再構築した簡易版に適した設定とする必要がある
- ・ 回答の自動化やデータベース化によるさらなる作業の効率化
- ・ 気候変動要素などを組み込み、時系列でリスク評価結果が変化する動的な仕組みへの対応

《引用・参考文献》

- 1) 地形災害検索システム(通称:EADaS)の構築と課題, 特集 地形学と土砂災害: 故奥田節夫初代会長追悼シンポジウム
- 2) UNDRO (1979) Natural disasters and vulnerability analysis: report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979) by Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator.
- 3) 国土地理院発行2.5万分1地形図, (最終閲覧日2022年7月14日)

人工地盤の土質の不均一性に関する検討

明治コンサルタント株式会社 ○ 後藤誠典, 高橋宏文

1. はじめに

地質・地盤の性状は、不均質かつ多様であり、大半は直接確認することができない。このため、限られた地質調査から、地質・地盤条件を推定することが一般的である。一方、推定した地質・地盤には不確実性があり、施工段階で推定した地質・地盤条件と実際の条件に相違が明らかになることにより、それが事業全体に大きな影響（費用や工程等）を与えることが懸念される場合もある。

また、自然地盤のみならず、人工地盤においても、施工の不確実性等、人為的な要因による地質・地盤の不確実性について考慮する必要があるとしている。¹⁾

今回、港湾における土質の不均一性の事例をあげ、人工地盤（改良地盤）での不均一性を判断する上で考慮した点について発表する。

2. 事例について

過去に地盤改良が実施されている港湾内の地盤特性把握を行うためにボーリング調査を実施した。

(1) 既存の情報

設計図書や施工記録等から調査予定地点では、自然地盤の上位に砂質土による SCP（サンドコンパクションパイル）改良土層（改良率80%, 砂杭 $\Phi=2.0\text{m}$ ）が GL-21.25m ～30.25m に存在することが想定された。

(2) 調査結果

ボーリング調査の結果、1地点（簡易柱状図 R03-2）では施工記録のとおり、改良土層が出現する深度で砂質土が確認されたが、34m ほど離れた地点（簡易柱状図 R03-1）では改良土層が出現する深度において、砂質土と粘性土層の互層が確認された。

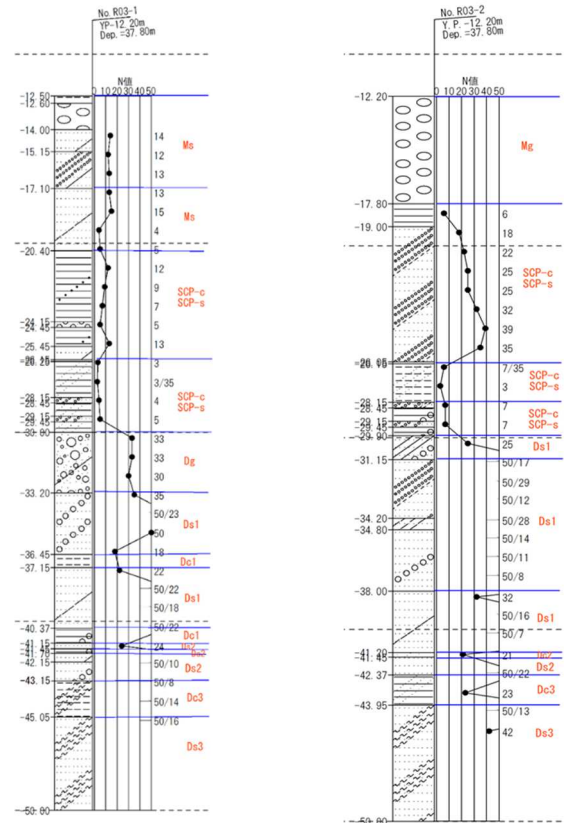


図-1 簡易柱状図(左 R03-1、右 R03-2)

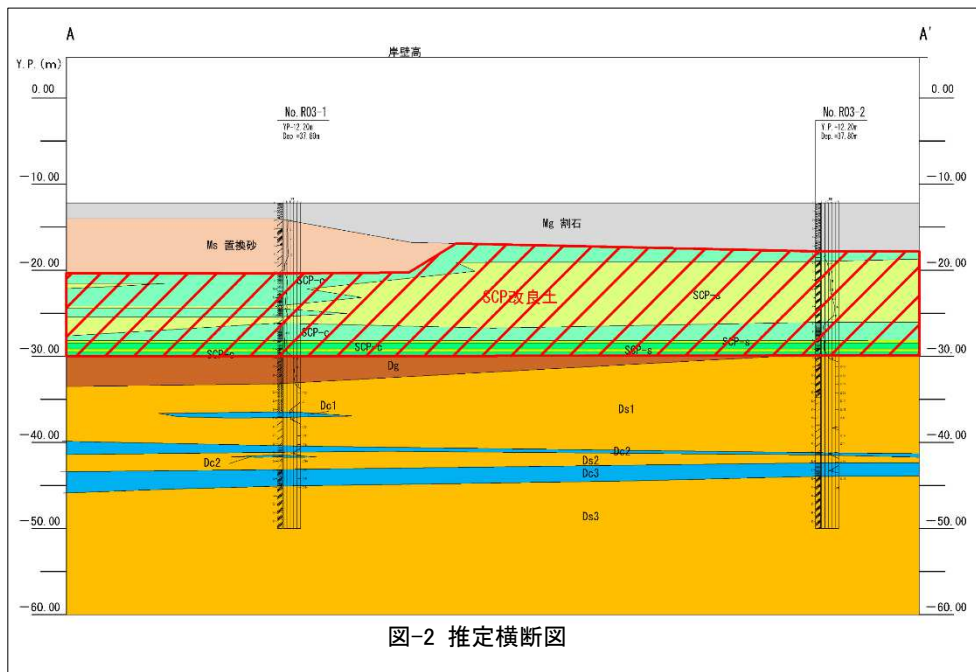


図-2 推定横断面図

(3) 調査結果の解釈

調査結果の解釈として、下図に示すようにボーリング調査地点が砂杭に一致した場合（R03-2）は、調査結果として均一な砂層と評価し、砂杭からボーリング地点がズレた場合（R03-1）には、調査結果が砂と粘性土の互層となると評価した。

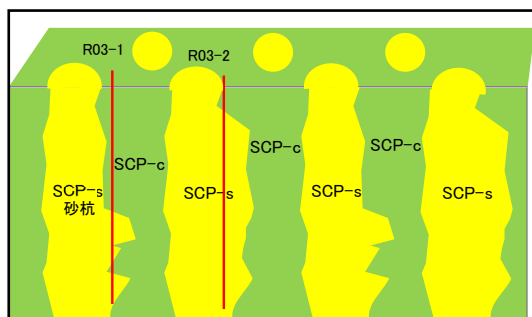


図 3 推定図

(4) 考察

上記の砂杭からズレた地点で、互層となる理由としては、軟弱な粘性土層に締まった砂を強制的に柱状に入れた際に、砂杭が周りの粘性土層を押し、周辺部の土質が混ざってしまう影響によるものもしくは、SCP 施工後、盛り上がり土をクラブ船で掘削した際、掘削面周辺の土質が乱されたことに起因すること等によるものと考察した。

考察の際、以下の点に留意し、判断の材料とした。

1)地質・地盤の不確実性の整理

- ・施工前の粘性土層の広がり、改良時に砂杭を挿入。

2)設計・施工時の不確実性の整理

- ・一般的な SCP 工法の原地盤への施工影響（土質の乱れ、側方変異、盛り上がり）

3)既設の施工記録

また、改良土層を対象とした液状化判定が別途、設計業務で必要であったため、その際に土層内が不均一であること等を設計者への留意点とし、申し送り事項とすることで、発注者を含む関係者との情報共有を図った。

3. 地盤の不均一性と地質・地盤リスクについて

前述に示すように確認された地盤の不均一性が SCP 工法に起因するものと判断できなかった場合、SCP 改良層と自然地盤の軟弱層が隣あう地点として判断し、追加の地盤改良を提案する等の地質・地盤リスクを被ることも考えられた。

このような提案をしてしまった場合、地盤特性の解釈・工学的誤りにより、工事費等の増大を招きかねない地質・地盤リスクとなる。

今回の調査のように、地盤調査の結果が不均一な土質や土層であった場合、調査そのものの不確実性の要因を分析し、その土層が自然地盤なのか人工地盤なのかの判断、地盤や土質の不均一性等から地質・地盤リスクとなるかを判断（マネジメント）することが重要である。

4. まとめ

今回の事例では、砂層で均一と想定した改良地盤が実際のボーリング調査結果では、砂と粘性土が互層になっている不均一な地盤が確認された。このため、地盤の不確実性や施工の不確実性を整理したことや施工記録（施工範囲や施工方法）を整理したことが土質の不均一性の要因を分析する上で重要な判断材料となった。

今後も調査結果が当初の想定と異なる地盤であった場合や不均一な土質となった場合、その要因を分析し、地質・地盤リスクが存在する不均一な土層なのかを判断し、マネジメントしていく必要があると考える。

《引用・参考文献》

- 1) 土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン, 国立研究開発法人 土木研究所 p.10-21, 2020.