

ため池に近接した切土法面部の湧水の対応工法について

北海道空知総合振興局産業振興部整備課 高木 潤

北部耕地出張所 工藤 飛

ダイシン設計株式会社 ○川端 達雄

“ 渡辺 哲也

1. はじめに

計画ほ場は、狭小で小区画なほ場を大区画化し、農作業の省力・低コスト化を図る事を目的に事業化された。

計画ほ場は水稻を主な作物とし、水源は沢水を溜めた3ヶ所のため池を活用している。計画ほ場の整備は、一ヶ所のため池を廃止し、2ヶ所のため池を活用する事業計画である。

図-1 に整備の概要を示す。

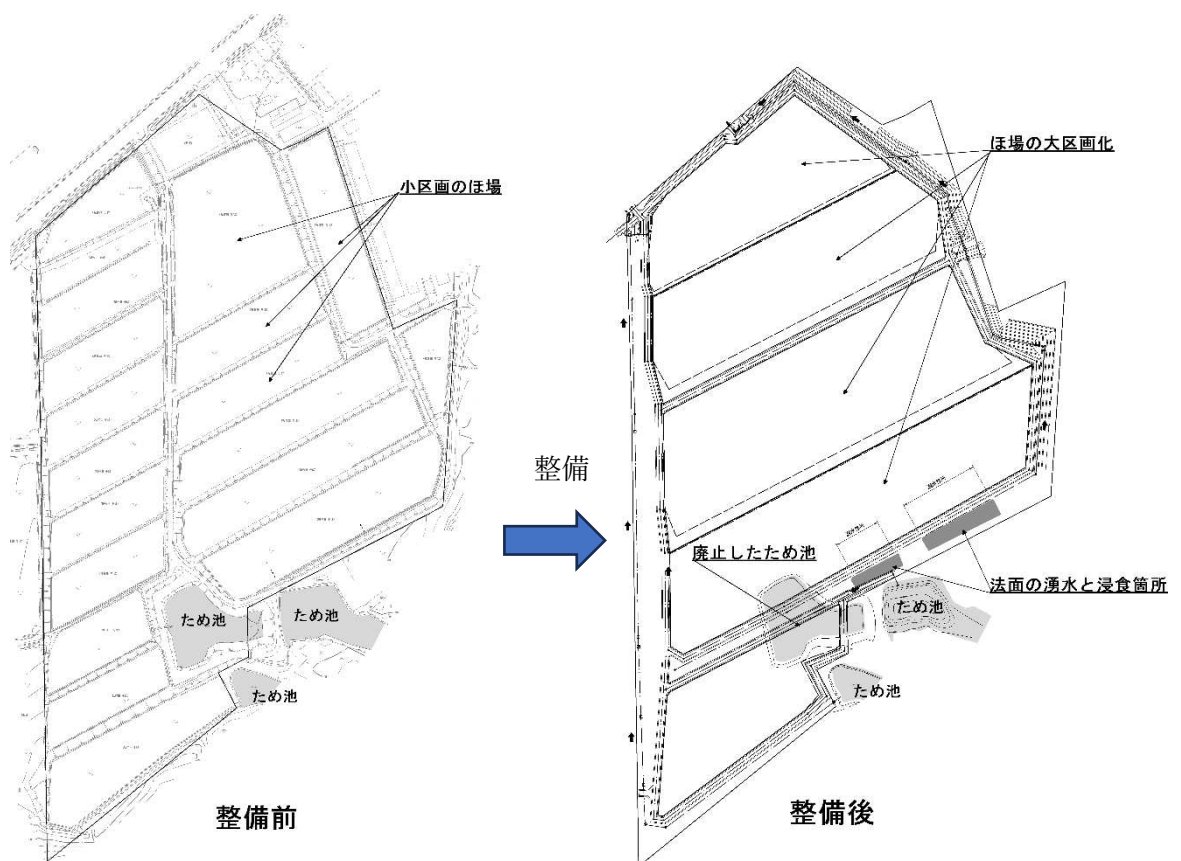


図-1 整備概要図

2. ため池に近接した切土法面部の湧水と浸食の発生

計画ほ場の大区画化の施工中に（図-1）、ため池に接近する切り下げたほ場の切土法面に湧水の報告があり現地の確認を行った（図-2）。

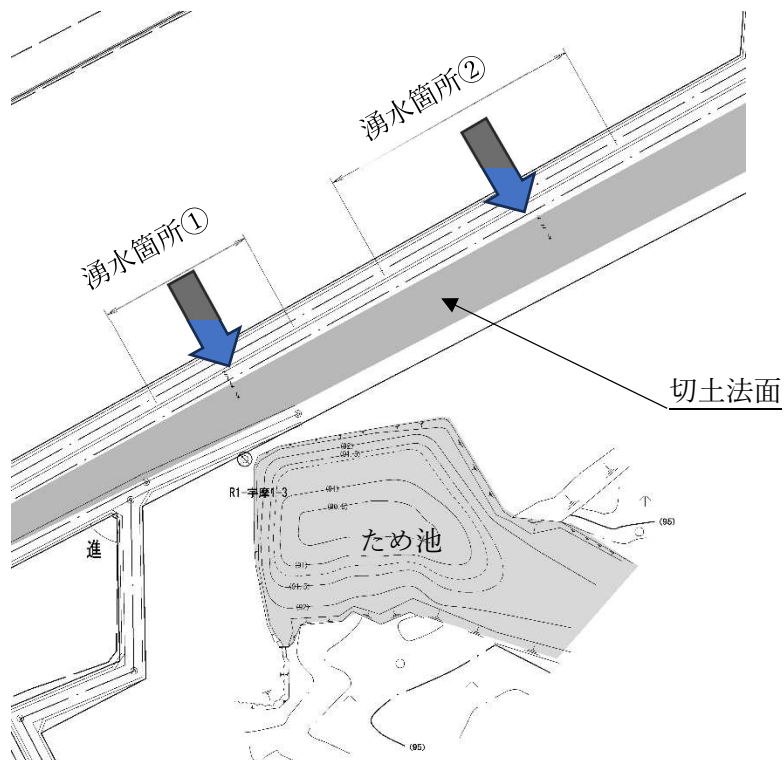
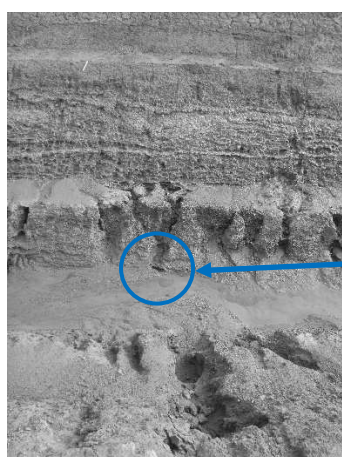


図-2 法面の湧水箇所

現地確認により、ため池に近接した切土法面部に湧水の発生と法面の浸食を確認した（写真-1）。



湧水箇所①
粘性土と砂質土の互層



湧水箇所②
腐植混じり土

写真-1 法面の湧水と浸食状況

3. 湧水と浸食の発生原因の推定

既存地質資料による推定

近傍の地質調査資料（図-3、表-1）により浸透量の算定を行う。

表-1 土質試験結果・透水係数



調査地点	H30 O-1	
資料番号	O-1-1	O-1-2
地質名（記号）	礫混じり砂 (A s)	砂礫混じり粘土 (A c)
深 度 (m)	0.50～1.00	1.00～1.50
自然含水比W _n (%)	30.1	37.6
粒 度	礫分 (%)	3.7
	砂分 (%)	38.6
	シルト分 (%)	26.9
	粘土分 (%)	30.8
20%粒径 D ₂₀ (mm)	19	9.5
	0.00407	—
透水係数 (m/s)	3.00×10 ⁻⁸	3.00×10 ⁻⁸ 以下
透水性	非常に低い	非常に低い

切土法面
傍の地質調査位置
オーガーボーリング

浸透量の計算は、土地改良事業計画設計基準設計「ダム」技術書〔フィルダム〕II-67
[参考] a 浸潤線及び浸透量の計算例により算定し、土地改良事業設計指針「ため池整備」P-50 により許容浸透量より評価する（図-4）。

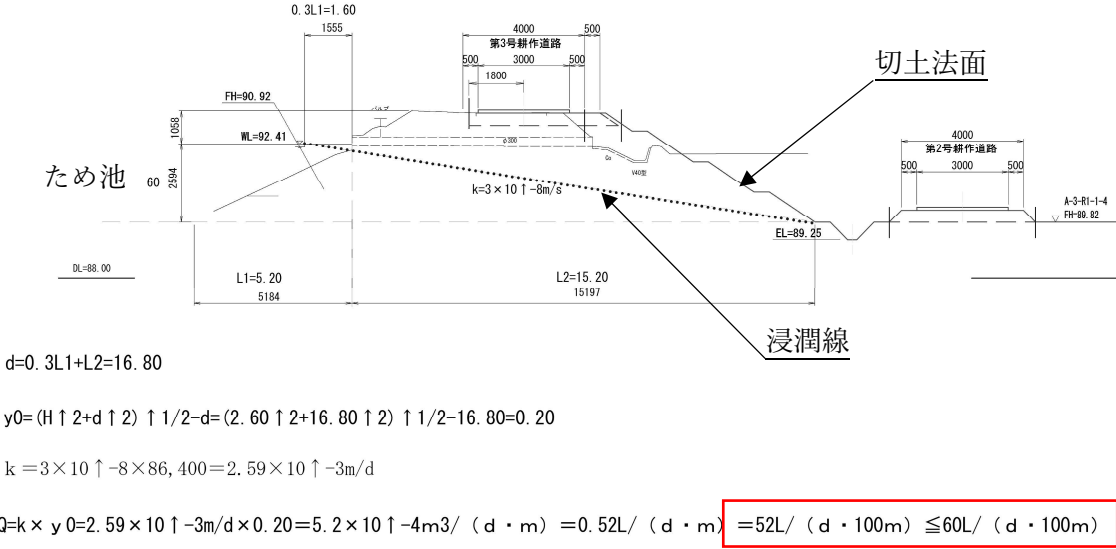


図-4 浸透流断面図と浸透量計算

地質調査深度は浅く（GL-1.5m）、計算では浸透量は許容値以下となる。しかし、現場確認状況から粘性土との互層下部の砂質土から湧水の発生が見られ、対策工が必要となった。

4. 対応工法の検討

対策工は湧水の遮水を目的とした対策を行う。

4-1 構造物による遮水対策

構造物で遮水するため、遮水工の浸透経路長の検討式に必要な浸透路長を算定する（表-2）。

表-2 浸透経路長の検討式

しゃ水工の浸透経路長の検討		(柔構造の手引き I 共通編 7.13)
$C \leq \frac{L + \Sigma I}{\Delta H}$		
ここに、		
C : 加重クリーブ比 (表 3-4-7 参照)		
C_v : しゃ水工の鉛直方向の加重クリーブ比		
C_h : しゃ水工の水平方向の加重クリーブ比		
L : 本体および翼壁の函軸方向の浸透経路長 (m)		
ΣI : しゃ水矢板等の鉛直方向および水平方向の浸透経路長 (m)		
I_v : 鉛直方向の浸透経路長		
I_h : 水平方向の浸透経路長		
ΔH : 内外水位差 (m)		
$\Delta H = HWL - (MWL \text{ または 敷高 })$		
		※敷高=堤内水路高

「柔構造樋門設計の手引き」P-188 より

表 3-4-7 加重クリーブ比 C

区 分	C	区 分	C
極めて細かい砂またはシルト	8.5	栗石を含む粗砂利	3.0
細 砂	7.0	栗石と礫を含む砂利	2.5
中 砂	6.0	軟かい粘土	3.0
粗 砂	5.0	中位の粘土	2.0
細砂利	4.0	堅い粘土	1.8
中砂利	3.5		

図-5 に算定横断面図を示した算定平面図を示す。

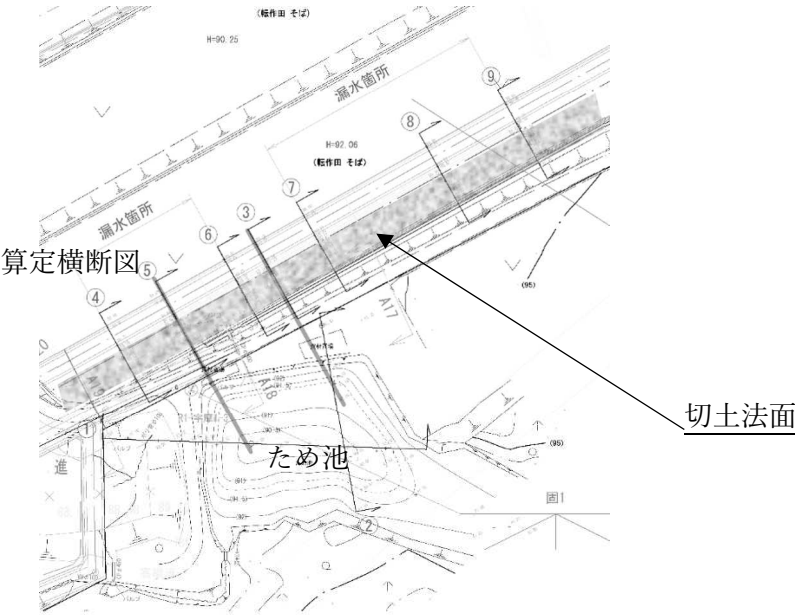
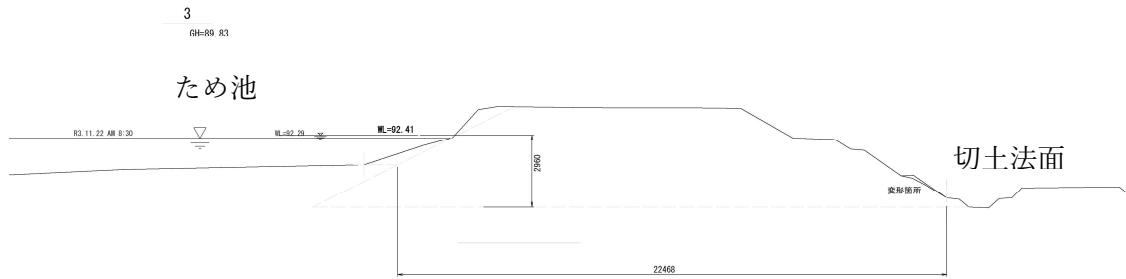


図-5 算定平面図

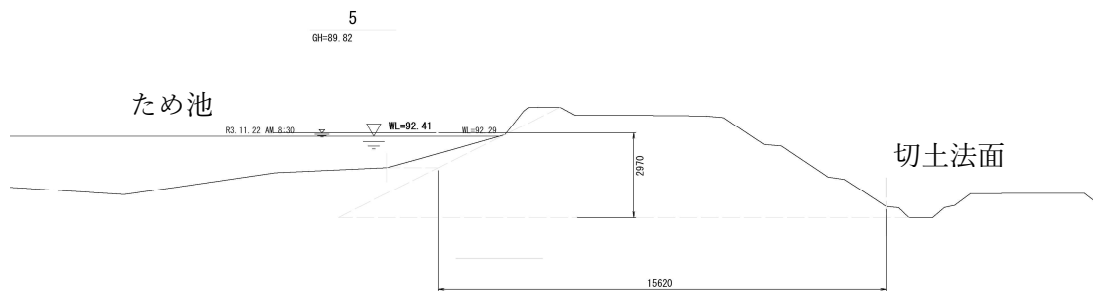
横断面③での算定結果を図-6 に示す。



$$C = (22.47/3 + 22.47) / 2.95 = 10.16 \geq 8.5 \quad \dots \text{OK}$$

図-6 横断面③の結果

横断面⑤での算定結果を図-7 に示す。



$$C = (15.62/3 + 15.62) \cdot 2.97 = 7.0 \leq 8.5 \quad \dots \text{OUT}$$

C=8.5 以上とするため $\Sigma \ell = 20.04$ が必要

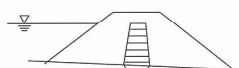
遮水工の根入れは $(20.04 - 15.62) \div 2 = 2.21\text{m}$ 必要となる。

図-7 横断面⑤の結果

4-2 ため池堤体の遮水対策

堤体の遮水対策としては表-3 に示す堤体改修型式の比較から選定する。

表-3 堤体の遮水対策

表-3.3.1 堤体改修型式の比較				
型 式	略 図	定 義	特 性	備 考
均 一 型		堤体の全断面で遮水する型式又は堤体の最大断面で均一の材料の占める割合が80%以上である型式。	全断面がほぼ同一材料のため施工が容易である。ゾーン型の遮水性材料よりいくぶん透水性の高い材料でも使用できる。 ゾーン型に比して一般に法面勾配は緩傾斜となり堤体積が増大する。全体が粘性土の場合は、施工中に堤体内部に発生する間隙圧が消散しにくく安定性が悪くなるので、内部にドレーンを設ける必要がある。	
ゾーン型	傾斜遮水ゾーン型 	土質材料が遮水性材料と半透水性又は透水性材料からなる型式で、遮水性ゾーンが上流側へ傾斜したものの。	遮水性材料の占める割合は少ないので遮水性ゾーンの間隙圧の消散は早い。 遮水性ゾーンの施工は、均一型に比して施工が難しいので、慎重に行う必要がある。 遮水性ゾーンが上流側に傾斜しているので、堤体改修型式には適する。	ため池改修工事においては、最も一般的な型式。
	中心遮水ゾーン型 	土質材料が遮水性材料と半透水性又は透水性材料からなる型式で、遮水性ゾーンを堤体中心に設けるものの。	遮水性材料が占める割合は少ないので遮水性ゾーンの間隙圧の消散は早い。 遮水性ゾーンの施工は、均一型に比して施工が難しいので、慎重に行う必要がある。 遮水性ゾーンを堤体の中心部に設けるため、堤体改修型式には不適であるが、全面改修又は新設する場合は、傾斜遮水ゾーン型に比して施工が容易である。	
表面遮水壁型	遮水シート 	堤体が透水性又は半透水性材料からなり、上流側法面にシートを設け遮水する型式。	堤体盛土材料に遮水性材料が得られない場合に採用されることが多い。 堤体の大部分にせん断強さの大きい透水性材料が使用でき、堤体積を少なくすることができる。遮水シートと土及び構造物との接合部を特に入念に施工する必要がある。また異物による破損を防ぐため、張ブロックの内堤体盛土材側に遮水シートを併設する場合もある。	合成ゴム系、合成樹脂系等の各種シートがある。
	アスファルト舗装 	堤体が透水性又は半透水性材料からなり、上流側法面にアスファルト舗装を施工し遮水する型式。	堤体盛土材料に遮水性材料が得られない場合に採用されることが多い。 堤体の大部分にせん断強さの大きい透水性材料が使用でき、堤体積を少なくすることができる。一般的に、遮水壁材料が高価である。	
堤体グラウト型		堤体材料が透水性又は半透水性材料からなり、堤体の中心部にグラウト工を施工し遮水する型式。	現況堤体にグラウト工を施工し遮水する型式で、堤体盛土材料に遮水性材料が得られず、また漏水経路等が明らかでない場合に行われる型式。	地震時にグラウト境界部からクラックが発生する可能性があるため、慎重な検討が必要。

土地改良事業設計指針「ため池整備」P-40

表-3 から型式はゾーン型を選定した、一般に遮水ゾーンの材料は土取場の選定と材料の試料採取・土質試験を実施し遮水性材料の粒度範囲に適合した土を使用する。今回は材料の使用規模が小規模なため、自己修復して漏水を防ぐベントナイト材（シート、混合土）を用いた。（参考を参照）

なお、シート及び混合土の根入れについては、図-8 より $h_s=1.2\text{m}$ の根入れを確保した（図-8）。

2.1.4 遮水シートの根入れ長さ と 深さ

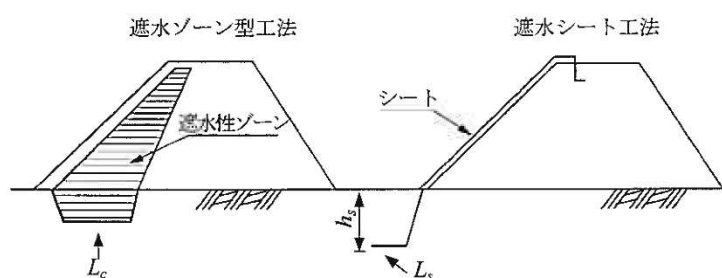
遮水シートの根入れは、堤体基礎地盤を浸透する流水を抑制し、堤体裏法面の法尻や基礎地盤の浸透破壊を防止するため、十分な長さ と 深さを確保しなければならない。

(1) 遮水シートの根入れ長さの考え方（浸透路長の考え方）

遮水シートの根入れ長さ L_s は、遮水ゾーン型工法における長さ L_c に対し、

$$L_s \geq L_c$$

とすることが、一つの目安といえる（参図-2.1.3）。



参図-2.1.3 遮水シートの根入れ長さの考え方

(2) 遮水シートの根入れ深さの考え方

基礎地盤の水平方向と鉛直方向の透水係数の相違が大きい場合、根入れ長さだけでなく、適切な根入れ深さの確保も大切である。遮水シートの根入れ深さは、基礎地盤の地質、土質、層厚等の状況を確認し、適切な深さを確保する。一般的には、遮水ゾーン型工法におけるカットオフ深さに準じた深さの確保が一つの目安となる。根入れ深さの参考値を、参表-2.1.4に示す。

参表-2.1.4 遮水シートの根入れ深さの参考値

堤高 H	根入れ深さ h_s
5 m 以下	1.1～1.3 m
5～10 m 以下	1.3～2.1 m
10～15 m	2.1～3.2 m

土地改良事業設計指針「ため池整備」P-215

図-8 遮水シートと混合土の根入れ深さ

（参考）ベントナイト材について

ベントナイトは火山灰が熱水作用や地圧続成作用により形成され、日本各地や世界各地で産出される鉱物である（図-9）。

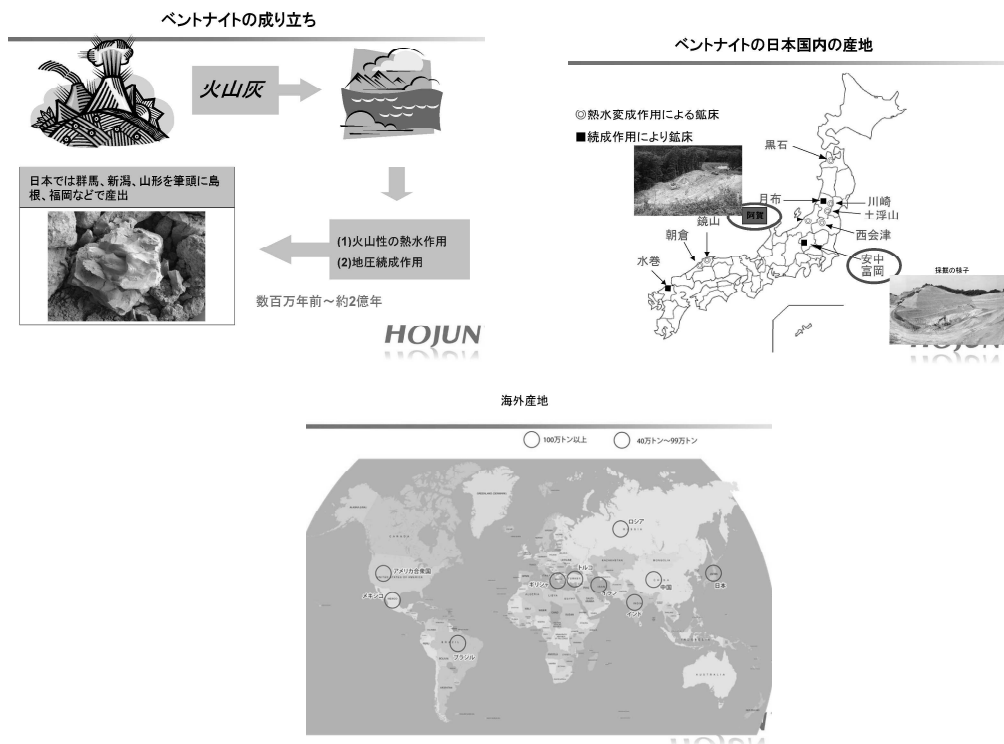


図-9 ベントナイト材の産地

ベントナイトの特性としては水和膨張性があり、高い遮水性能がある（図-10）。

◎ベントナイトにはキズや穴に対しての自己修復性があり、また天然の粘土鉱物であるため半永久的に材料劣化をおこしません。

◎シート状であるため施工が容易であり、また透水系数が非常に低く、遮水性能に優れています。

これらの特性をもったGCL（ベントナイト系シート）は最終処分場、ため池（新設、改修）、ビオトープ、調整池等、様々な箇所で使用されています。

ベントナイト自己修復作用

自己修復性
高密度ポリエチレン面に亀裂が生じても、ベントナイトが膨潤し亀裂をふさぎ修復します。

保護層
躯体または基盤
亀裂が発生し、水が浸入
ベントナイト膨潤開始
止水完了

このような自己修復機能から自己修復シートと呼ばれることもあります

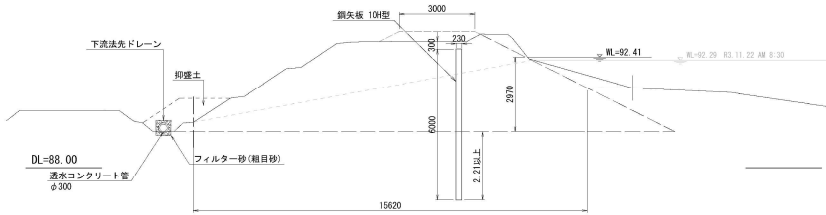
HOJUN®
株式会社 ホージュン

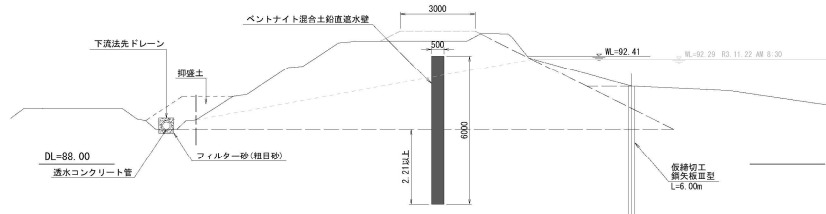
「(株)ホージュン環境事業部の紹介」より

図-10 ベントナイト材の特性

4-4 対策工法の選定

ため池から切土法面への漏水を防ぐため、構造物対応の①案鋼矢板工法、②案鉛直遮水壁工法と、ため池堤体対応の③案ベントナイトシート工法、④案ベントナイト混合土段切り工法の4案で遮水対策の検討を行った（図-11）。

工法	① 鋼矢板工案
概要	
	浸透経路長を「極めて細かい砂またはシルト」より $C=8.5$ により根入れ長を 2.21m以上とする。 地震時に鋼矢板と地山間のクラック発生が懸念される。（河川樋門では使用するが延長が長い）
経済性	$C=6,500$ 千円（直接工事費） $L=54.9m$ 想定
評価	△

工法	② 鉛直遮水壁工法案
概要	 
	地下水遮断のため、仮締切矢板工法が併用となり高価。
経済性	$C=16,500$ 千円（直接工事費） $L=54.9m$ 想定 $+C=2,700$ 千円（直接工事費） $L=54.9m$ 想定 【仮締切工】 $\Sigma C=19,200$ 千円（直接工事費）
評価	△

工法	③ ベントナイトシート工法案
概要	DL=88.00 排水コンクリート管 フィルター層(珪目砂) フィルター土 下流透れドレーン 3000 1500 L=54.9m ベントナイトシート L=4.0m H=92.41 GWL 1000 1000 1000 1000 (D) Z=2.7以上 水質あり 赤腐泥
	前刃金土に代わり自己修復性を持つベントナイトシートにより遮水を行う。
経済性	C=3,900千円(直接工事費) L=54.9m 想定 【ベントナイトシート工法】 +C=900千円(直接工事費) L=54.9m 想定 【特殊布製型枠マット工】 ΣC=4,800千円(直接工事費)
評価	○

工法	④ ペントナイト混合土段切り工法案
概要	
経済性	ペントナイト混合土（砂質系土砂にペントナイトを混合）による人工の不透水粘土層を形成。 模型実験により地震時の堤体の安定性は向上。 浸透経路長を確保する深さまで根入れを確保する。 C=6,100 千円（直接工事費）L=54.9m 想定 【ペントナイト混合土段切り工法】 +C=900 千円（直接工事費）L=54.9m 想定 【特殊布製型枠マット工】 ≒C=7,000 千円（直接工事費）
評価	○

図-11 対策工法の比較

本ため池の堤高は $H=3.0\text{m}$ で、堤高 5m 以下の小規模ため池に該当する。このため、経済性や施工性、遮水の確実性などを優先し③案ベントナイトシート工法を選定した。

5. おわりに

ほ場に近接するため池は、ほ場整備の計画により堀込形式（皿池）から堤体形式（谷池）に形式が変わった。今後、この様なケースの場合は堤体部の遮水性を考慮した調査・設計が必要と考える。

今回のため池は規模が小規模なため、ベントナイトシートを活用した。改修規模が大きい場合は、土取り場からの遮水性材料の使用やベントナイト混合土段切り工法、鋼矢板工法や鉛直遮水工法の活用が考えられる。

今後、老朽化したため池の改修や廃止などの事業が予想され、今回の業務報告が事業推進の一助となれば幸いである。