

研究成果報告書

研究開発課題名	竣工後の施工による既設アースダムやため池堤体の浸潤線観測とその削孔技術の研究開発
研究統括者	坂田電機株式会社 開発部長 遠目塚良一
研究開発組合	坂田電機株式会社 奥山ボーリング株式会社
試験研究機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

法律第 56 号として、防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法が制定され、令和 2 年 10 月 1 日に施工された。その中では

- ・決壊を防ぐための、廃止を含む防災工事
- ・劣化状況評価
- ・地震、豪雨耐性評価

が定められている。

ダムやため池はその多大な経済的価値だけでなく、万が一に破堤した場合に下流側に甚大な被害を及ぼす可能性がある極めて重要なインフラであり、十分な管理を遂行する必要がある。

本研究は、個数が多い上に築造年代が古く観測装置が十分に装備されていないアースダム（岩石を使用せず土で築造したダム）やため池を対象に、供用後の健全性を確認するためのセンシング技術を開発するものである。

アースダムの従来の管理に際しては、土地改良施設管理基準－ダム編－で重要計測項目とされている変形と堤体下流側の漏水監視が重要である。

アースダムの変形観測は TS 等により広範に実施されており、GNSS による自動観測や UAV による測量の事例も増えつつある。しかし、漏水監視については、アースダムでは築造時に漏水観測設備が設置されていないことにより、ダムの安定性の評価に重要な浸潤線の状況が不明なダムが少なくない。

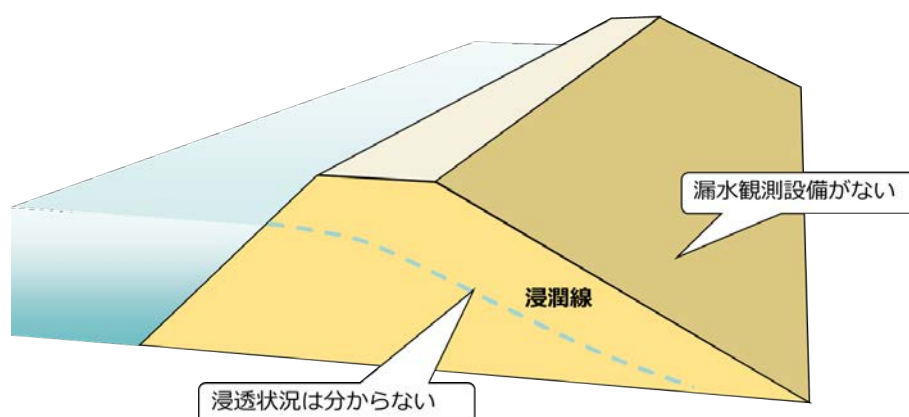


図 1.1.1 アースダムにおける現在の一般的な浸潤観測

漏水量観測設備が設置されていない場合の浸透状況の監視は、堤体に水位観測孔を削孔して孔内水位を観測することでおこなっているが、接触式水位計による手動観測が大部分で、4 回／年の頻度に加えて地震後や降雨後にも実施されている。接触式水位計は電極線を孔内に降ろしていき、水面に接触するまでに下した線の長さのみが測定できれば良いため、大きなスペースを必要とせず、観測孔は直径 20mm 程度と小さい。

測定頻度を増やし自動観測とすることで、観測水位の経時変化と貯水位の増減や地震、豪雨の発生時期とを照合して、堤体の健全性を判断する指標とすることが可能となるが、自動観測とするには水位変動を検知する水位計を定点に設置するか、接触式水位計を自動で昇降させる必要があるが、前者の水位計はセンサ直径が 20～30mm であり現観測孔には投入できないため、口径を大型化する必要がある、口径を大型化するには本格的なボーリングマシンが必要である。

後者は装置が大掛かりとなる。

また、ため池の監視は目視による下流のり面の漏水確認が主となっているが、漏水はフィルタなどの機能低下にともなう堤体内浸潤線の上昇（や地山からの浸透）が主要因で発生するため、自動観測とすることができれば、健全性確認に有効かつ目視作業に要するコストの削減にもつながる。

そこで本研究では、既設アースダムやため池の堤体下流側に従来の水位観測孔削孔装置と同程度の装置で簡便に $\phi 50\text{mm}$ 程度の水位観測孔を追加設置し、浸潤線を自動観測する技術を確認することを目的として、「竣工後の施工による既設アースダムやため池堤体の浸潤線観測とその削孔技術」を研究開発する（図 1.1.2）。

具体的には、以下の技術である。

- (A) 簡便な水位観測孔の設置技術
- (B) 水位観測により浸潤線をリアルタイムで監視する技術

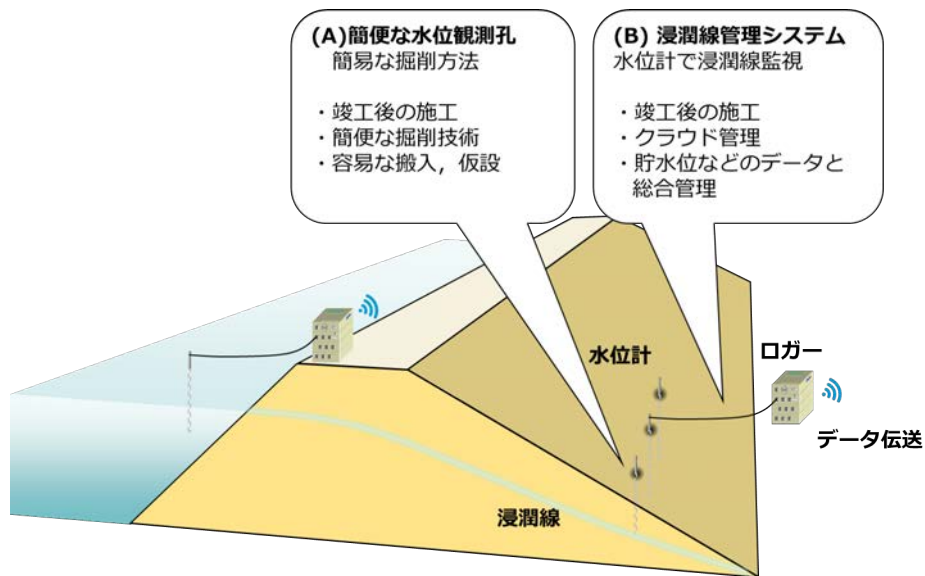


図 1.1.2 構築する観測システム

1. 2 事業の内容及び実施方法

1) 簡便に施工できる削孔方法の開発

自動観測のための水位観測孔で使用されている従来の掘削方法は機械式ボーリングであるが、開発する簡易掘削方法は軽量小型の据付台、レール、台車およびオーガードリルで構成する想定であることから、従来工法が有していた、使用する資機材が大型で重量が大きいこと、広い施工スペースが必要であること、運搬や仮設に時間を要することといった点が解消される。

なお、本簡易掘削方法は斜面の地下水排除工として実用化（図 1.2.1）されており、鉛直方向への掘削に適用させることが新規の研究内容である。

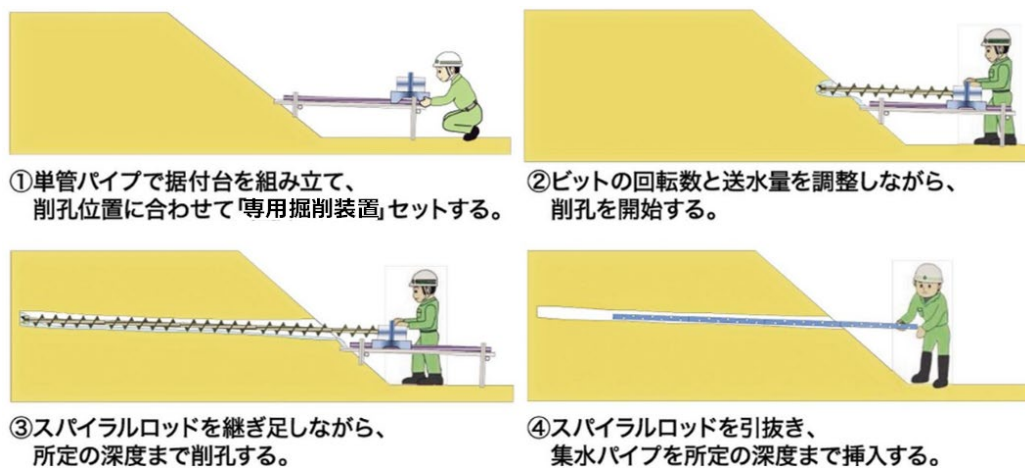


図 1.2.1 簡易掘削方法の概要

本技術の評価は、従来工法に対する比較でおこなう。

2) 水位観測により、浸潤線を監視する技術の開発

前述の観測孔内に図 1.2.2 に示すように、水位計を据え付けて、その観測データを独立電源で自動観測運用する。

観測水位の経時変化と貯水位の増減や地震、豪雨の発生時期とを照合することで、本システムの設置時期を基準とした堤体の健全性を判断する指標とすることができる

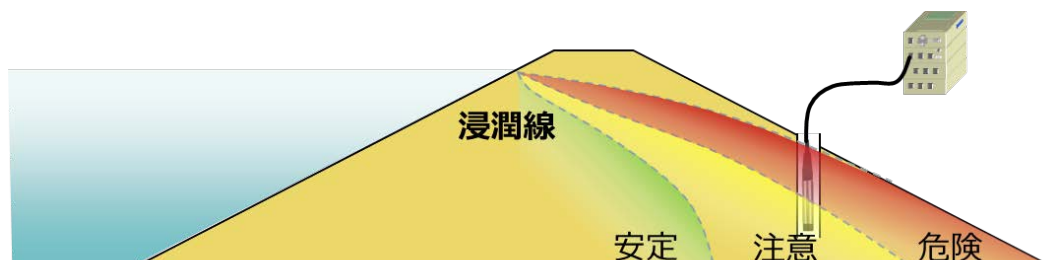


図 1.2.2 水位観測の自動化と健全性評価

LTE 網が使用できれば、通信機能を有するシステムとしてクラウド管理システムなどを構築して一括管理することで、堤体の状況をインターネット網を経由していつでもどこでも確認できるようになる。

LTE 圏外の場合は、定期的に巡回した際に装置内部に蓄積されたデータを回収してアップロードすることで状況の経時変化を確認できる。

貯水位データも取得すれば、農林水産省「ため池防災支援システム」への水位データ伝送も可能である。



図 1.2.3 水位データの集約システム

本技術の評価は、目視監視との比較とし、観測可能項目と導入、維持コストの比較でおこなう。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

1) 基礎となる試験研究などの概要

参加企業では、既に以下の知見を有している

機械の設置スペースがあまりない場所やボーリングマシンの搬入が困難な場所、さらには斜面災害現場のように緊急性が要求される場所でも簡易に横孔掘削が可能な技術を確認しており、自然斜面や切土・盛土のり面内の地下水排除工に多数使用されている。

また、LTE 通信を利用した IoT センサーとして、危機管理型水位計や河川監視カメラおよび管理用クラウドを開発し、多数使用されており、ため池防災支援システムへの水位データ伝送試験も行っている。

以上のように、参加する民間企業では、本研究開発に際してすでに基礎となる技術が確立され、その信頼性も確認されている。

今回の研究開発では、これらの技術を応用するとともに、農村工学研究部門が有する面的な浸潤状況の研究成果と一体化することで、「竣工後の施工による既設アースダムやため池堤体の浸潤線観測とその削孔技術」を研究開発する。

2) 技術的問題点

現在の横孔掘削技術は、掘削時のスライム排除をエアブローでおこなっている。この技術を水位観測孔（鉛直方向への掘削）に適用すると、重力に逆らってエアブローを行うことになるため、掘削可能深度はスライムが排除可能な深度 5m 程度である（深度は礫径に依存）。

また水位観測システムは河川・ため池専用開発されたものであり、1 現場に 1 センサが基本である。

それぞれの技術の具体的な問題点をまとめると以下のとおりである。

①鉛直方向での掘削深度の確保

②同一現場の複数水位データを総合的に管理する技術の確立

3) 対応策

前記 2 項目の問題点を解決するために、次の研究課題を遂行する。

① 鉛直方向の掘削方法の確立

深度 10m を目標として、直径 50mm 程度の水位観測孔が削孔可能で、搬入、仮設施工が容易な掘削方法を確立する。

② 複数水位データの総合管理が可能な技術の確立

貯水池水位と下流のり面観測孔の水位データから浸潤線を総合的に評価するシステムを確立する。

①については、先行して模型実験を計画しており、令和 3 年 4 月に実施予定である。

②については検証を目的として、以下のような浸潤状況の確認をおこなう。確認方法は物理探査または電気探査などを考えており、いくつかの地点で得た孔内水位を併用することで、面的な浸潤分布を推定し、水位観測結果と比較する。

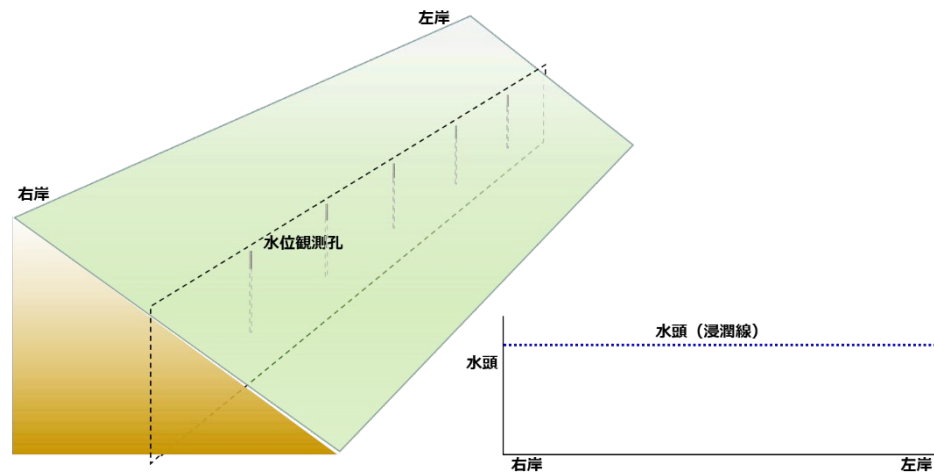


図 1.3.1 浸潤状況の検証

1. 4 事業の実施体制

個別研究テーマ	試験研究機関	研究開発組合	
	農業・食品産業技術総合研究機構	坂田電機(株)	奥山ボーリング(株)
①鉛直方向の掘削方法	○	○	◎
②水位データの総合管理技術	○	◎	○
③浸潤線の確認	◎	○	○
④現場での実証試験	○	◎	◎

◎は主担当、○は担当

1. 5 事業の年度計画と実績

- ・令和3年度は、各課題の解決方法について模型実験も含めて研究した。
- ・令和4年度は、機器の開発を主に行い、屋外モデルによる性能評価を行った。
- ・令和5年度は、フィールドでの運用試験を主に行い、施工手順や計測データの分析により実証試験結果を評価した。
- ・年度計画を次表に示す。

個別研究テーマ	令和 3 年度		令和 4 年度		令和 5 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
①鉛直方向の掘削方法						
②水位データの総合管理技術						
③浸潤線の確認						
④現場での実証試験						

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

本研究の成果と考察について述べる。

(A) 簡便に施工できる削孔方法

(1) 削孔機の改良について

当組合では簡易な方式での掘削技術を有している。この技術を横孔掘削技術へ応用し、掘削時のスライム排除をエアブローでおこなっている。しかし、水位観測孔設置などの鉛直方向への掘削に適用すると、重力に逆らってエアブローを行うことになるため、掘削可能深度はスライムが排除可能な深度 5m 程度である（深度は礫径に依存）。

また、エアブローの動力であるコンプレッサーは比較的重量があり（400 kg 以上）、運搬方法が 2 t トラック以上となり、エアーホースの延長にも限界がある等、施工場所が限定される。

そのため、鉛直方向掘削における動力源は外部動力によらない原動機とし、10m 程度の掘削が可能となるよう削孔機の改良を行った（以降、縦型簡易削孔機と称す）。深度 10m 程度を掘削する際の障害はスライム排除であり、その排除能力向上を実現する方法を検討し、表 1.6.1 に示す解決方法を得た。

表 1.6.1 現行削孔機のスライム排除性能向上のための解決方法

解決策	概要	具体的な対応	
① 水量・水圧増加	水量、水圧を増加させたスライム排除の効率化	ウォータースイベルやビット形状も含む送水孔の設計変更をおこない、本器に適したスライム排出をおこなう（エアブローの併用も考慮する）	 スイベル形状の変更  送水・送気切替 T 字管
② スライム除去	スライムの採取	泥水材の利用 コアチューブ（スライム採取用ツール）の利用	
③ スライムの細分化	スライムを小さく、軽くし、排水をし易くする	ビット形状の変更	 試掘ビット
④ 動力部の能力不足	掘進スピード向上、スライム排除の効率化	現行より排気量の大きい動力へ変更	 変更原動機
⑤ フレームの耐久性	繰り返し使用に耐えられる材料を使用	フレームをステンレス製へ変更	

下図に示す構造図を基に縦型簡易削孔機の改良を行い、試掘を行った。なお、運搬や仮設を考慮し、高さが異なる（2.0m、1.5m）2台の削孔機を作成した。

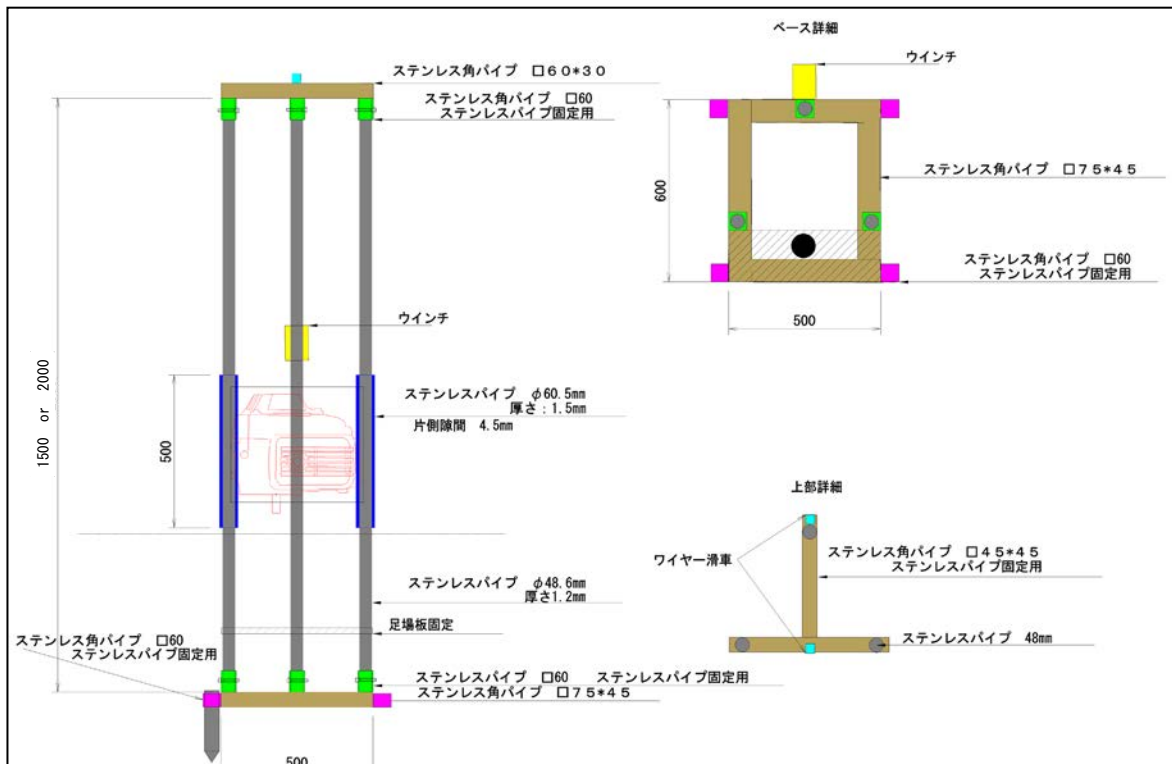


図 1.6.1 縦型簡易削孔機構造図（単位mm）



a) 正面



b) 側面

写真 1.6.1 縦型簡易削孔機

(2) 縦型簡易削孔機の特徴

・概要

縦型簡易削孔機は原動機を動力とし、連結したスパイラルロッド(写真 1.6.2 以下ロッドいう)とビットを回転させ送水しながら地盤を垂直に削孔するものである(表 1.6.2、写真 1.6.3)。

仮設はアンカーとして地中に打ち込んだ 4 本の単管に縦型簡易削孔機を固定するだけである。スライムの排除は、ビットの先端から放出される水とロッドの回転及び上下運動により排出し、所定の深度までは定尺 0.5m または 1.0m のロッドを継足しながら削孔する。

地質及び地質性状に応じて、ロッドの回転数は原動機のレバー、送水量はバルブで調整する。所定の深度に達した後はロッドを引抜き、ストレナ加工を施した塩化ビニールパイプ等を挿入する。

なお、掘削時先端ビットに係る荷重は、孔曲がりやロッド破損防止のため、原動機及びロッドの重量を基本とする。



写真 1.6.2 スパイラルロッド



写真 1.6.3 縦型簡易削孔機掘削状況

表 1.6.2 縦型簡易削孔機仕様

フレーム	ステンレス素材
ロッド	スパイラル形状 $\phi=56\text{mm}$
ビット	$\phi=67\text{mm}$
動力部	排気量 50.6cc 出力 2.30kw
スイベル	送水孔径 10mm
総重量	45kg

・長所

総重量 45Kg であり、組み立てた状態で人肩運搬が可能であり、分解可能で再組立も容易である(写真 1.6.4)。仮設作業工程は、大まかにアンカー設置、削孔機固定、配水施設設置の 3 つで、作業時間は 2 時間程度である。

また、盛土小段部のような狭いスペースでも施工可能である(写真 1.6.5)。機械ボーリングと比べ、運搬・仮設にかかる作業時間は短く、騒音・振動に関しても小さい。



写真 1.6.4 分解移動・再組立



写真 1.6.5 削孔機の固定状況

・短所

機械ボーリングと比べ、削孔深度と削孔径が限られ、孔壁が自立できない地層には適応できない。小型で軽量な原動機を用い、ロッドの回転により掘削するため、硬質な岩盤、岩塊、玉石等には適応できない。

(3) 試掘結果

試掘は、ため池堤体、盛土、軟弱地盤、護岸変状個所を含む 6 現場 8 個所で行った。現場ごとの結果を次ページ以降に示す。

・ A 地区（ため池堤体）

ため池の規模は、提高 7m、堤長 125m である。試掘位置は、ため池下流法面（既往ボーリング B1、B2 の中間付近）とし、削孔深度は基盤線付近（Ac1:粘性土）とした。堤体の基盤線は、下図の断面図より Bc2 と Ac1 層との層境界付近であり、試掘位置からの深度は 5.7m である。

地質凡例

時代	地層名	記号	地質	N値範囲	記事
—	堤体盛土	Bc1	礫混じりシルト	1~4	風化凝灰岩の礫を含む。
		Bc2	礫質シルト	1~2	不均質。部分的に砂や有機質土が多く混じる。
第四紀 完新世	沖積層	Ac1	礫混じりシルト	1~2	不均質。腐植物や炭が混じる。下部は有機質。
		Ag	シルト混じり砂 礫	18~20	径6cm以下の円礫を主体とする。
		Ac2	砂混じりシルト	3~12	部分的に砂が多く混じる。

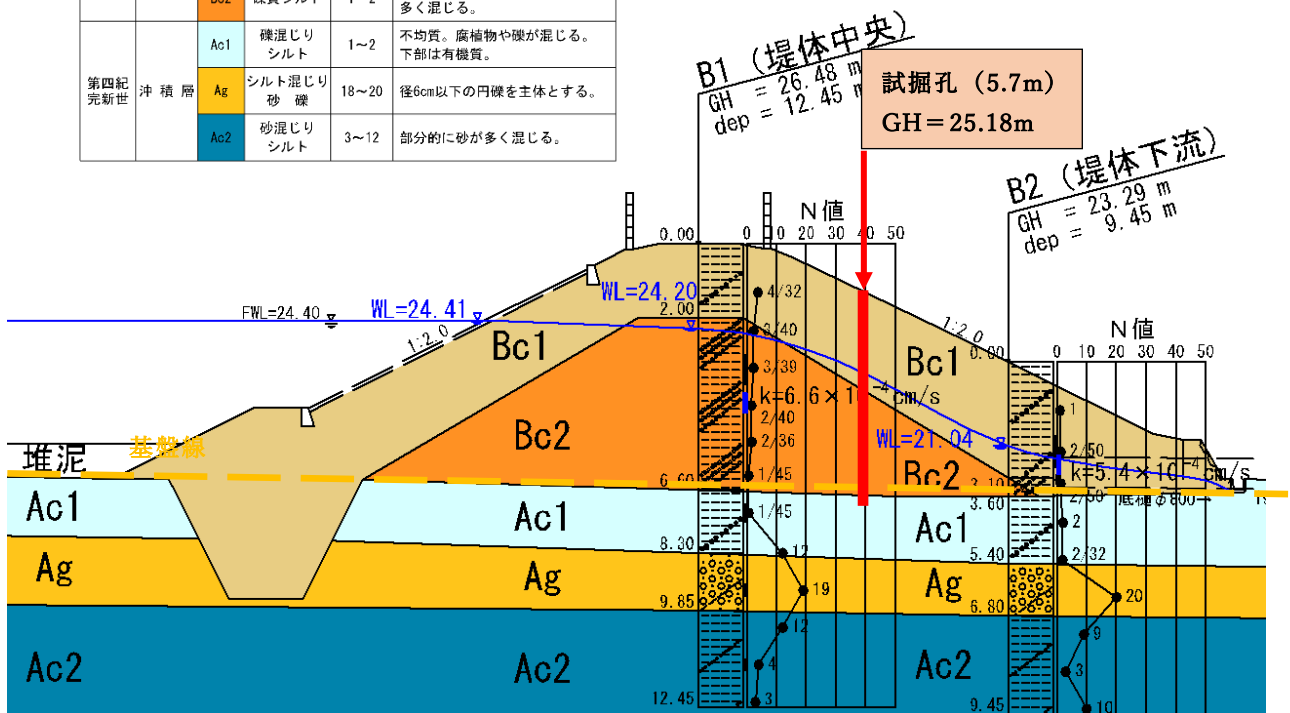


図 1.6.2 試掘位置（既往地質調査結果に記載）（S=1:200）

既往ボーリング結果によれば、堤体部の地質は礫質シルトで、礫径 $\phi 5$ mm の風化凝灰岩礫を多く含む。削孔中のスライム排除はポリマー系泥水を用い、削孔中において孔壁崩壊は発生しなかった。

削孔に係る時間は 50~60 分/m で、所定深度 5.7m の削孔に要した時間は、6 時間程度であった。作業にかかった全日数は約 2 日である（表 1.6.3）。

削孔後にストレーナ加工を施した塩化ビニールパイプを挿入した。

表 1.6.3 実施作業工程

作業内容	1日目		2日目	
搬入 ^{*1}	■			
仮設 ^{*2}		■		
削孔		■	■	
撤去 ^{*2}			■	
搬出 ^{*1}				■

*1：2tトラック，人肩運搬 *2：傾斜地（25° 程度）

*3：VP挿入含む

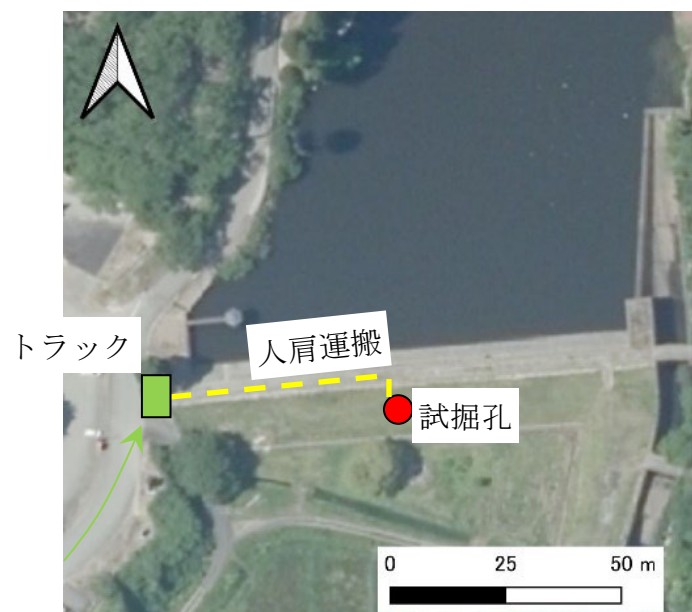


図 1.6.3 試掘位置と搬入ルート

・ B 地区（ため池堤体）

ため池の規模は、堤高 13m、堤長 73m である。試掘位置はため池下流の平場とし、計画削孔深度は基盤線付近とした。堤体の基盤線は、下図の断面図より Bn2 と Apc 層との層境界付近であり、試掘位置からの深度は 7.7m である。A 地区（ため池堤体）

ため池の規模は、堤高 7m、堤長 125m である。試掘位置は、ため池下流法面（既往ボーリング B1、B2 の中間付近）とし、削孔深度は基盤線付近（AC1:粘性土）とした。堤体の基盤線は、下図の断面図より Bc2 と Ac1 層との層境界付近であり、試掘位置からの深度は 5.7m である。

地質凡例

地質年代	土質区分	記号	N値
第四紀	現世	盛土(上部)	Bn1
		盛土(下部)	Bn2
	沖積層	有機質粘土	Apc
		礫混りシルト	Agc
新第三紀	千層層	泥岩	Sm

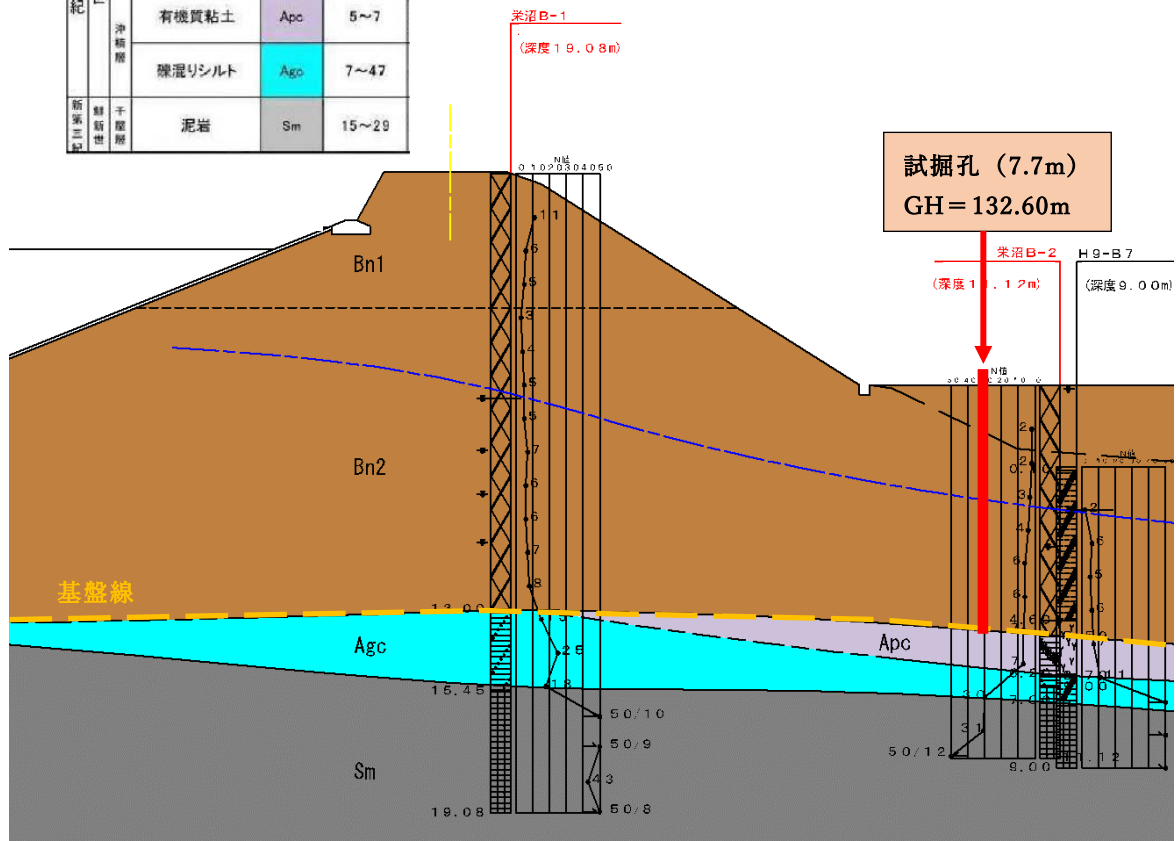


図 1.6.4 試掘位置（既往地質調査結果に記載）（S=1:200）

既往ボーリングの結果によれば、堤体部の地質は礫混り粘土、礫径 $\phi 5\sim 50\text{ mm}$ のシルト岩片が主体である。削孔中のスライム排除はポリマー系泥水を用い、削孔中において孔壁崩壊は発生しなかった。

削孔に係る時間は $20\sim 30\text{ 分/m}$ で、所定深度 7.7 m の削孔に要した時間は、4時間程度であった。作業にかかった全日数は約3日である（表 1.6.4）。運搬路が狭小で 2 t トラック等の通行ができず、軽トラックにて搬出入を行った。

削孔後にストレーナ加工を施した塩化ビニールパイプを挿入した。

表 1.6.4 実施作業工程

作業内容	1日目	2日目	3日目
搬入 ^{*1}			
仮設 ^{*2}			
削孔			
撤去 ^{*2}			
搬出 ^{*1}			

*1：軽トラ、人肩運搬 *2：平場 *3：VP挿入含む

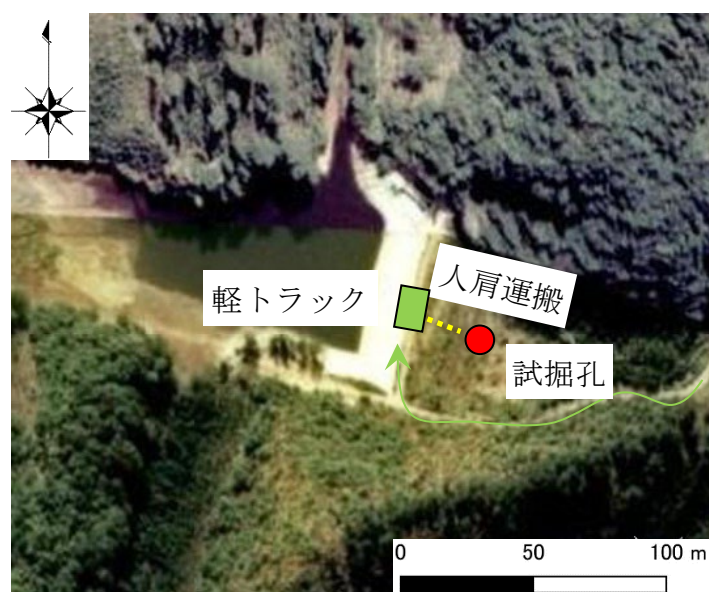


図 1.6.5 試掘位置と搬入ルート

・C 地区（ため池堤体）

ため池の規模は、堤高 14m、堤長 54m である。試掘位置はため池下流法面（既往ボーリング No. 1、No. 2 の中間付近）とし、計画削孔深度は基盤線付近とした。下図の断面図より試掘位置からの深度は 9.2m である。

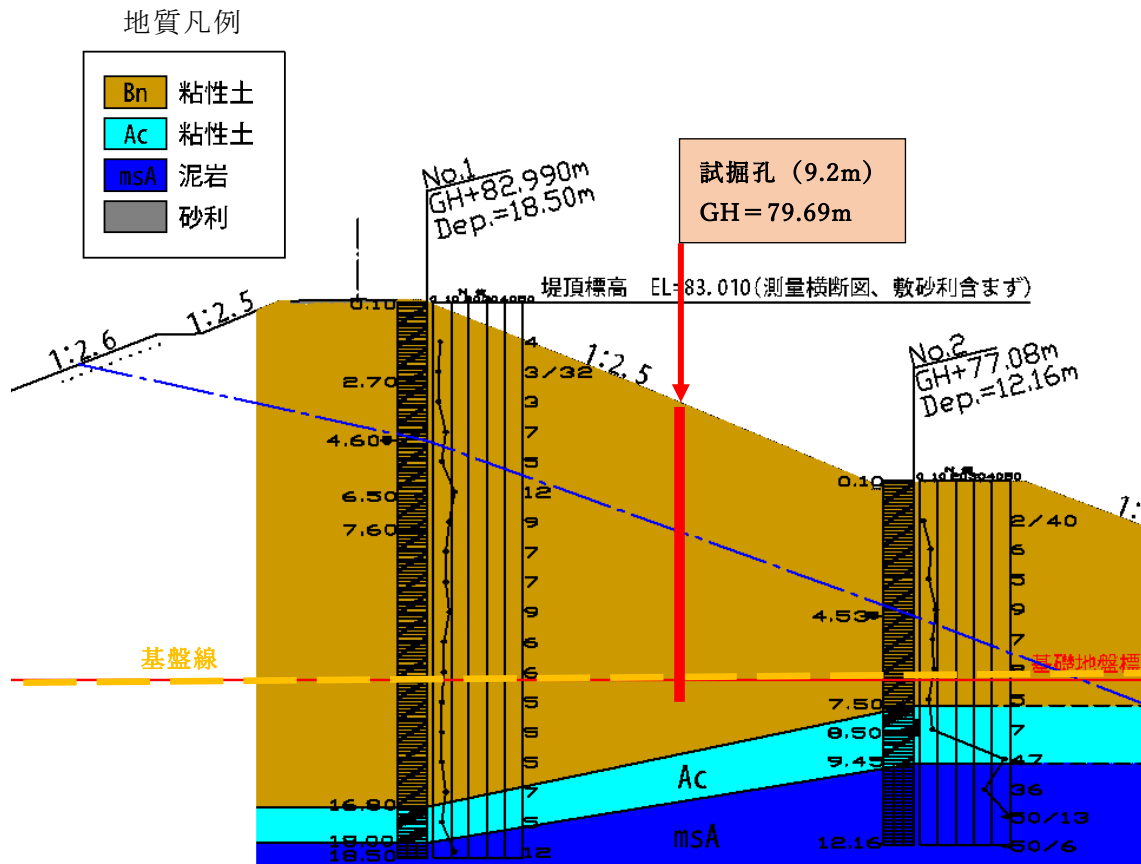


図 1.6.6 試掘位置（既往地質調査結果に記載）（S=1:250）

既往ボーリング結果によれば、堤体部の地質は礫混り粘土、礫径 $\phi 5 \sim 50$ mm の凝灰岩、泥岩が主体である。削孔中のスライム排除はポリマー系泥水を用い、削孔中において孔壁崩壊は発生しなかった。

削孔に係る時間は 20～30 分/m であったが、礫当たりによる抑留や掘進困難が複数回発生し、所定深度 9.2m の削孔に要した時間は、6 時間程度（40 分/m）であった。

作業にかかった全日数は 3 日である（表 1.6.5）。なお、作業期間中、運搬路の補修工事が行われていたため、2t トラックの通行ができず、軽トラックにて搬出入を行った。削孔後にストレーナ加工を施した塩化ビニールパイプを挿入した。

表 1.6.5 実施作業工程

作業内容	1日目		2日目		3日目	
搬入 ^{*1}						
仮設 ^{*2}						
削孔						
撤去 ^{*3}						
搬出 ^{*1}						

*1：軽トラ，人肩運搬 *2：傾斜地（25° 程度） *3：VP挿入含む



図 1.6.7 試掘位置と搬入ルート

・D 地区（改良土を用いた盛土）

崩壊個所の対策として施工した盛土の小段 2 個所で試掘を行った(図 1.6.8)。改良盛土材料は泥岩起源の崩積土である。盛土完成後に施工した地下水排除工である横ボーリング工の効果を確認することを目的として、地下水観測孔を設置した。削孔深度は盛土法尻部の河川を考慮し、深度 10.0～12.0m とした。

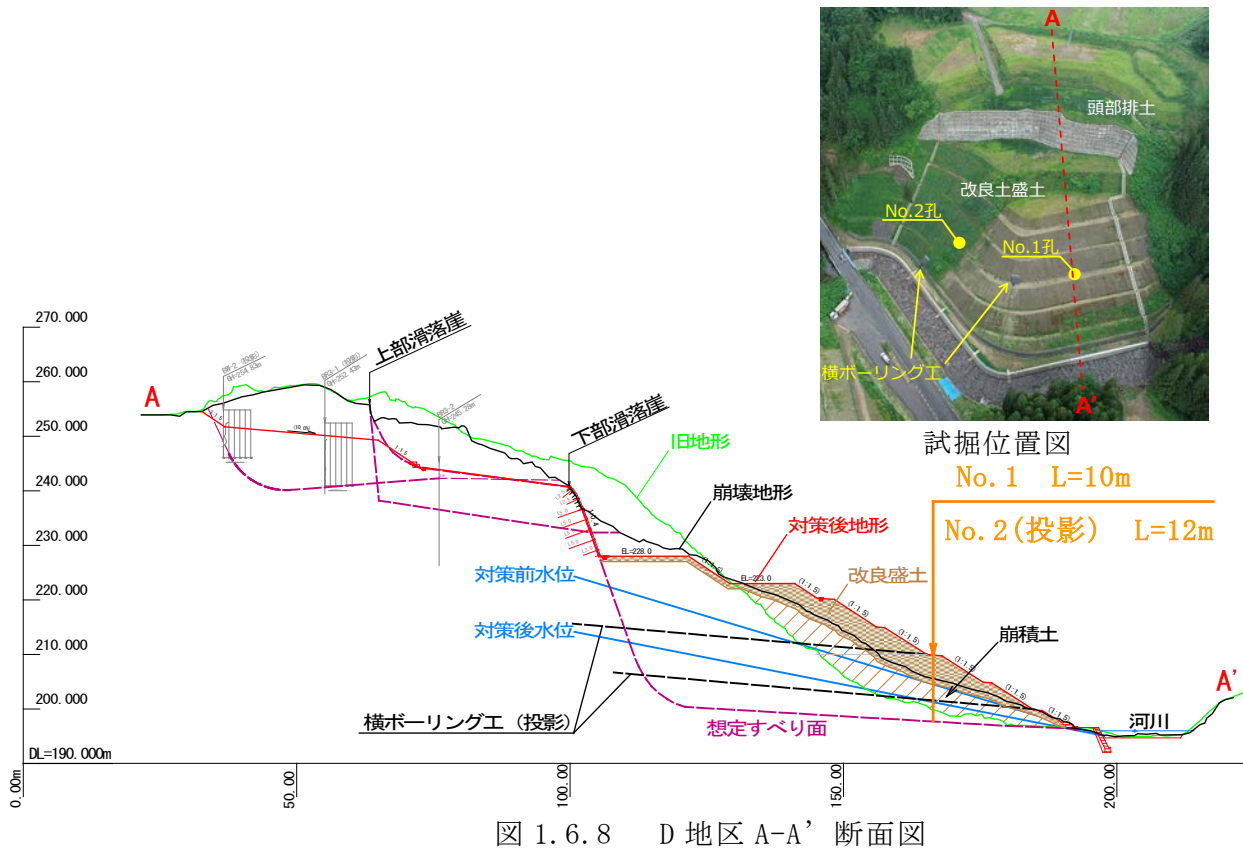


図 1.6.8 D 地区 A-A' 断面図

孔中のスライム排除は、泥岩起源の崩積土であり削孔層が大きいことを考慮しポリマー系泥水を用いた。削孔中において孔壁崩壊は発生しなかった。削孔に係る時間は 30～40 分/m で、所定深度掘削に要した時間は、5～6 時間程度であった。人肩運搬が必要であったが、全作業は約 4 日で終わることができた(表 1.6.6)。

削孔中、深度 6.5m 付近で逸水（地下水の低下）があった。図 1.6.8 の地質想定断面図によれば、盛土と崩壊跡の地表との層境界付近に該当する。

削孔後にストレーナ加工を施した塩化ビニールパイプを挿入した。

表 1.6.6 実施作業工程

作業内容	1日目	2日目	3日目	4日目
搬入 ^{*1}				
仮設 ^{*2}		No. 1 L=10m		
削孔				
撤去 ^{*3}				
搬出 ^{*4}			No. 2 L=12m	

*1：2tトラック，人肩運搬 *2：平場 *3：VP挿入含む *4：人肩運搬

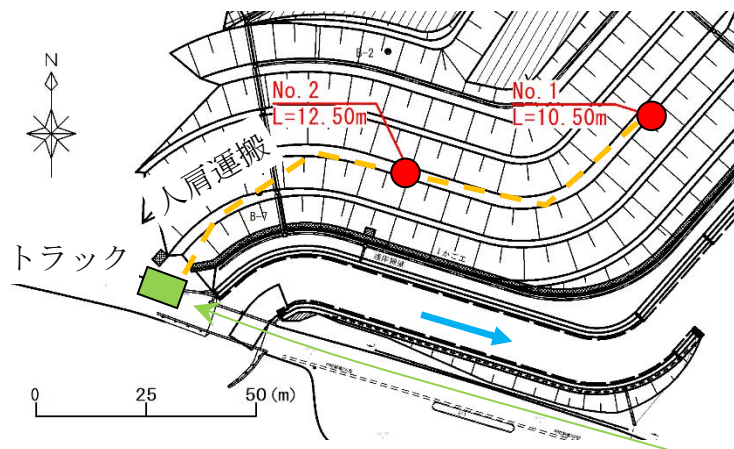


図 1.6.9 試掘位置と搬入ルート