

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。

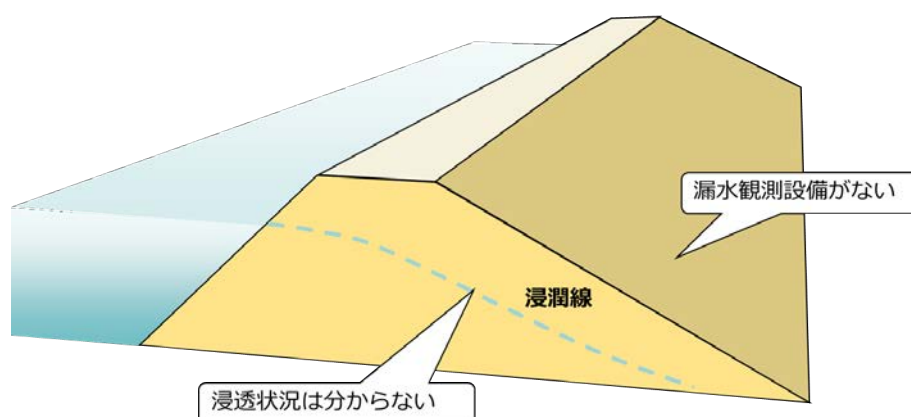


図 1.1.1 アースダムにおける現在の一般的な浸潤観測

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

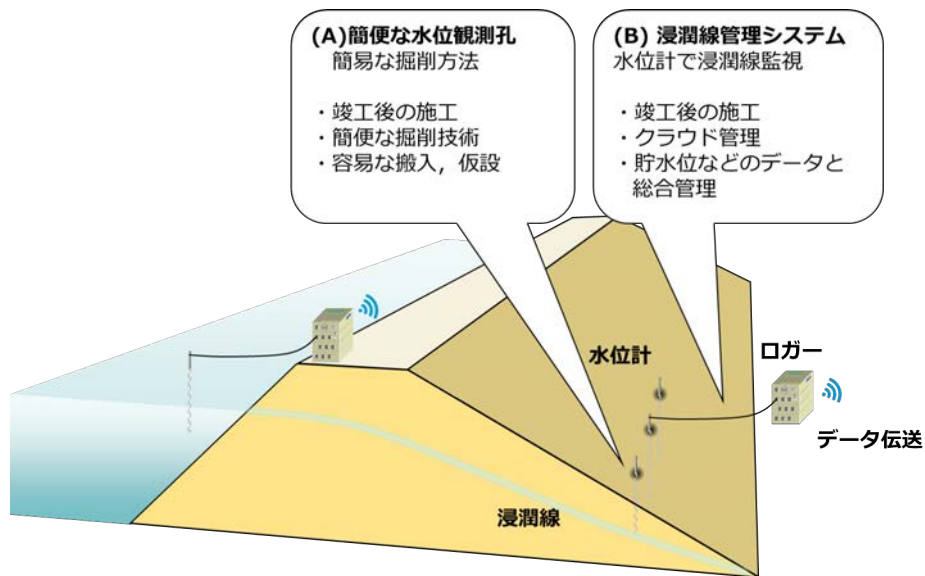


図 1.1.2 構築する観測システム

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。

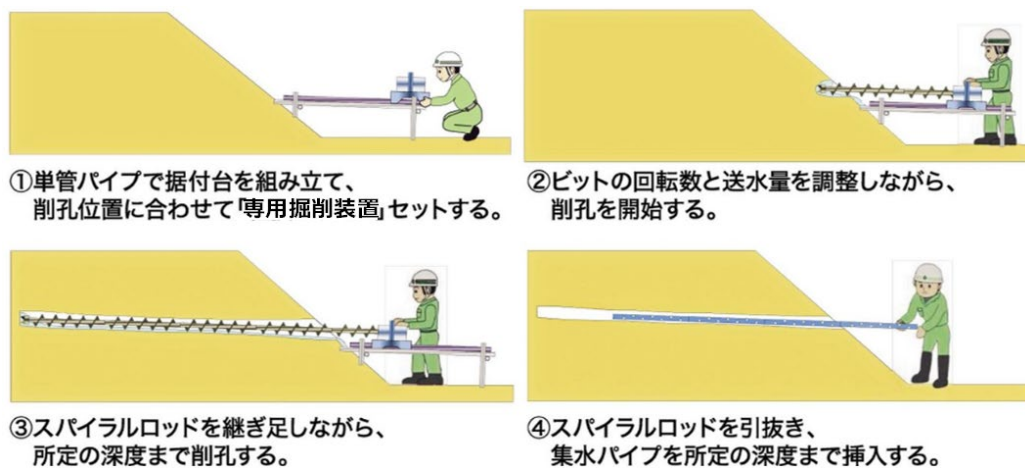


図 1.2.1 簡易掘削方法の概要

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

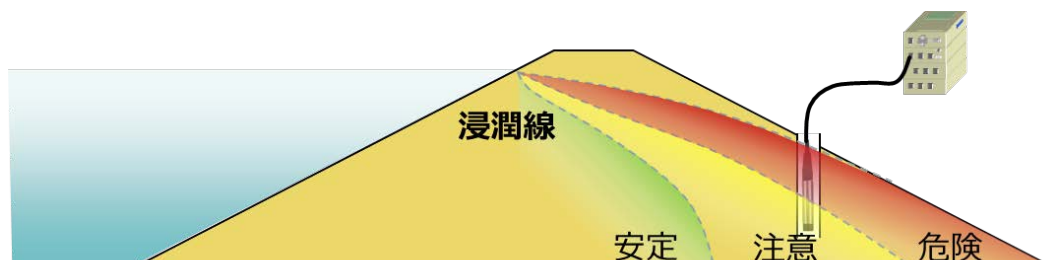


図 1.2.2 水位観測の自動化と健全性評価

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。

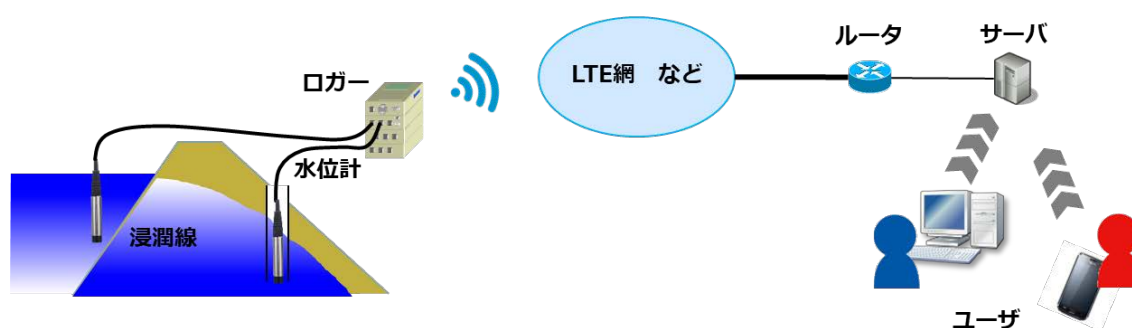


図 1.2.3 水位データの集約システム

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立しており、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。

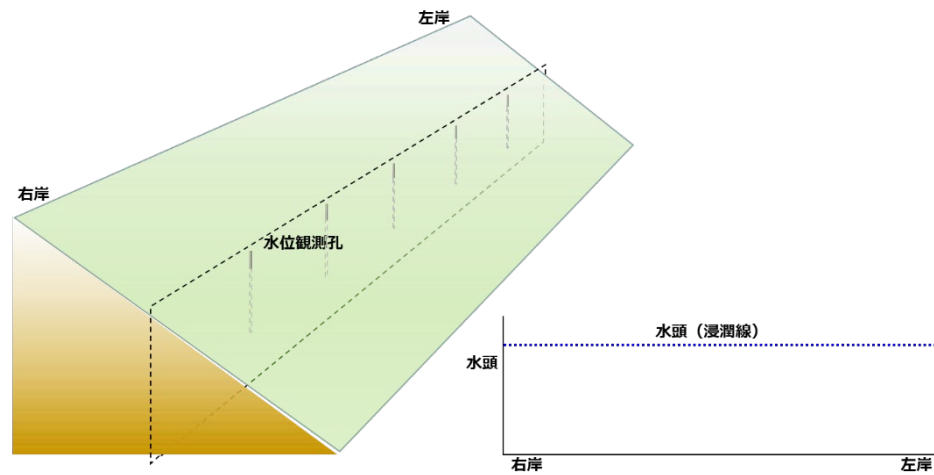


図 1.3.1 浸潤状況の検証

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）。

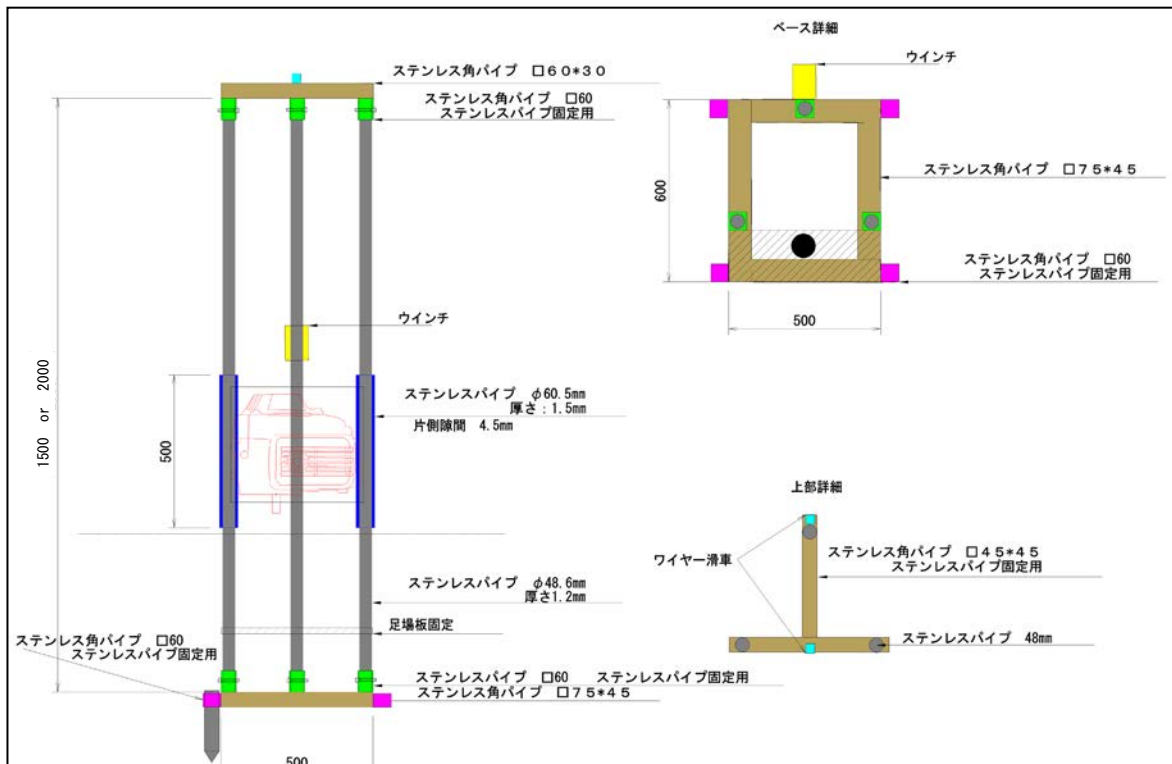
また、エアブローの動力であるコンプレッサーは比較的重量があり（400 kg 以上）、運搬方法が 2 t トラック以上となり、エアーホースの延長にも限界がある等、施工場所が限定される。

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。



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、ストレー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。

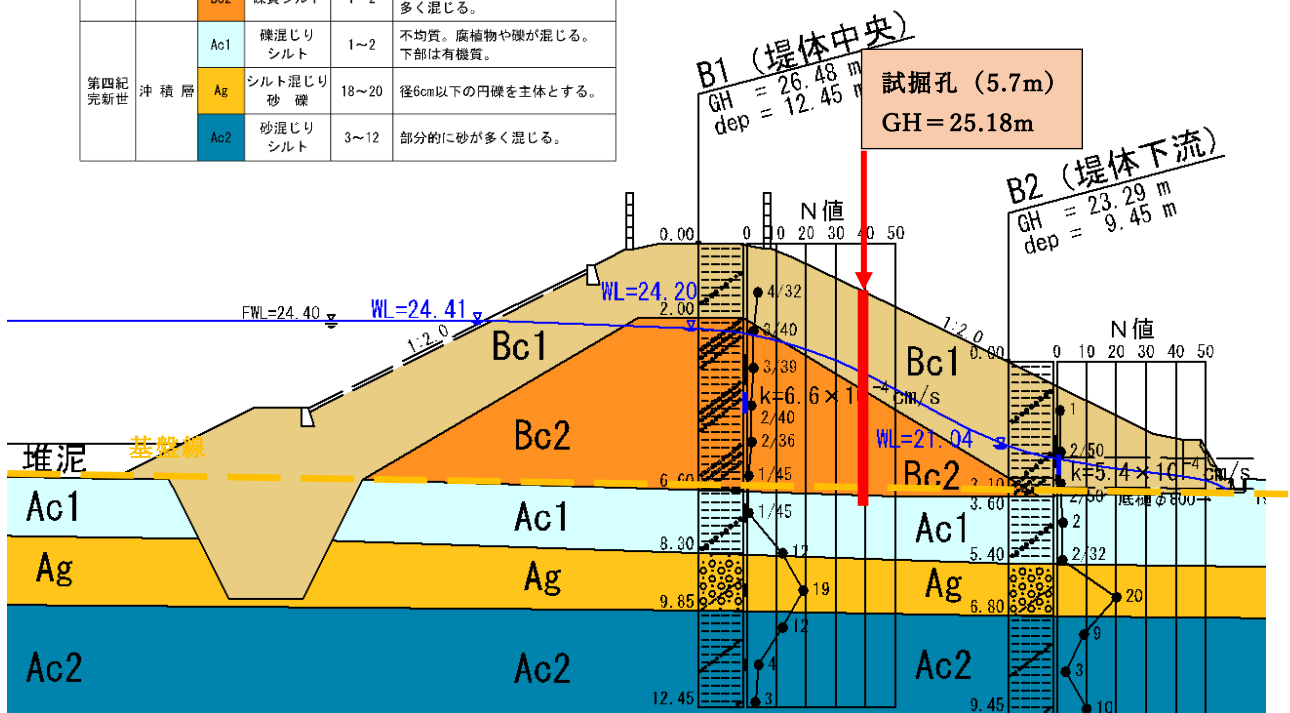


図 1.6.2 試掘位置（既往地質調査結果に記載）（S=1:200）

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

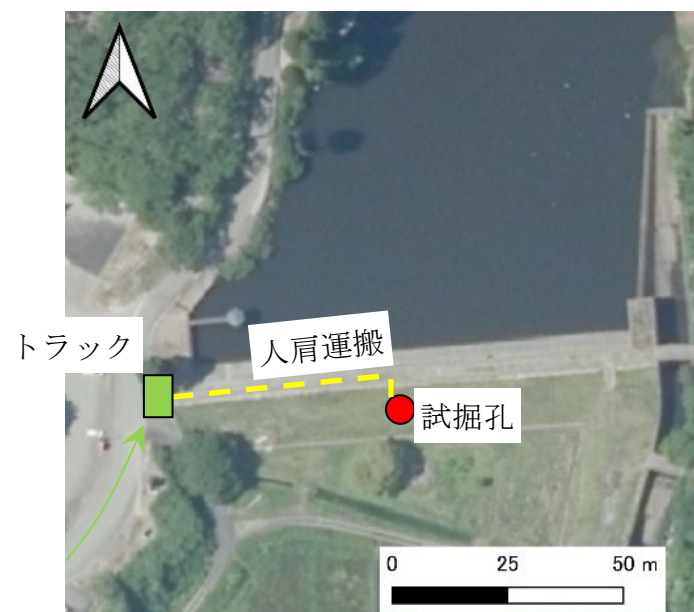


図 1.6.3 試掘位置と搬入ルート

・ 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	2~34
	- 盛土(下部)	Bn2	
	沖積層		
	有機質粘土	Apc	5~7
	礫混りシルト	Agc	7~47
新第三紀	新第三紀		
	千層層		
	泥岩	Sm	15~29

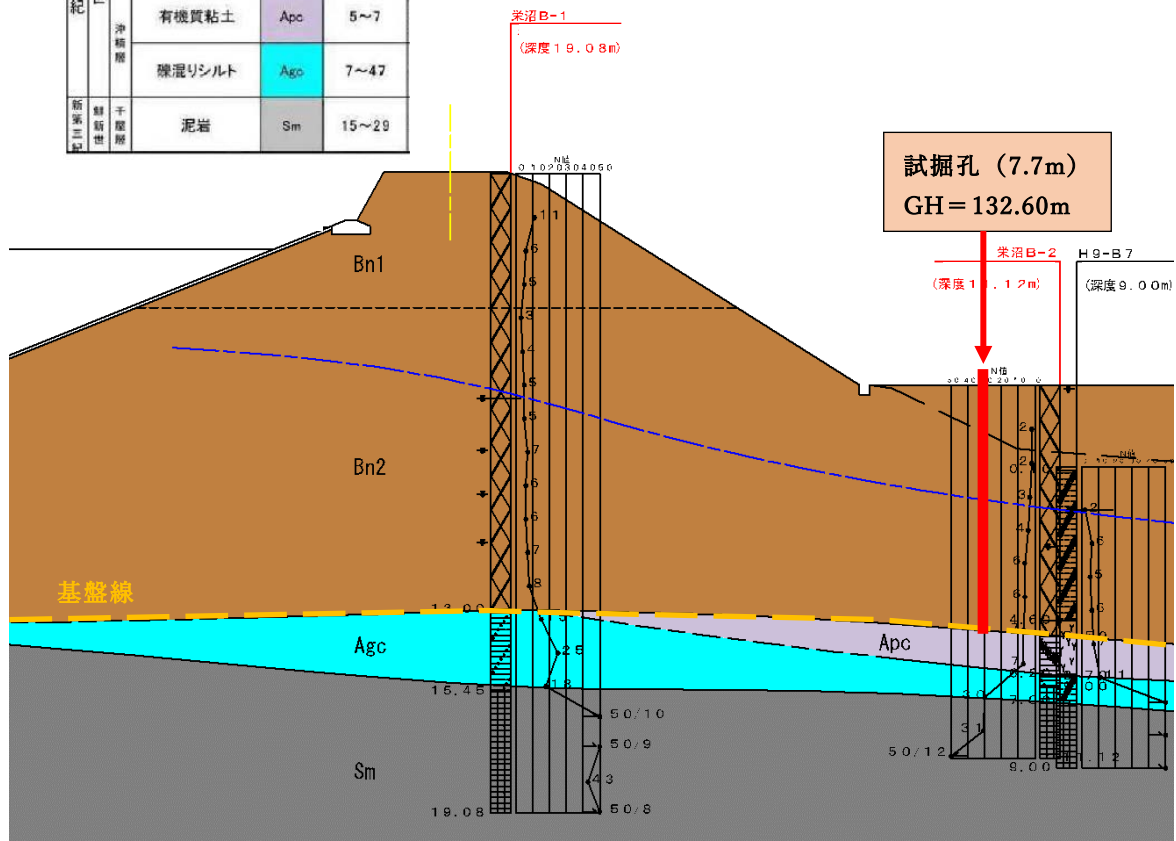


図 1.6.4 試掘位置（既往地質調査結果に記載）（S=1:200）

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

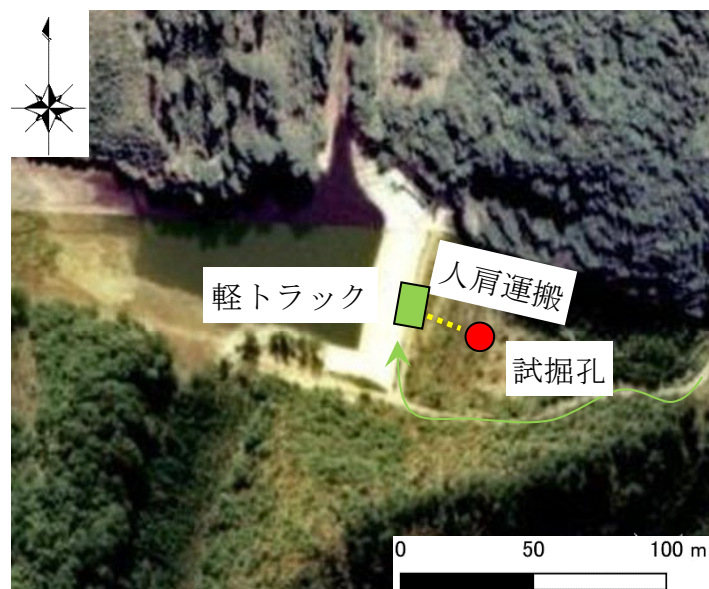


図 1.6.5 試掘位置と搬入ルート

・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。

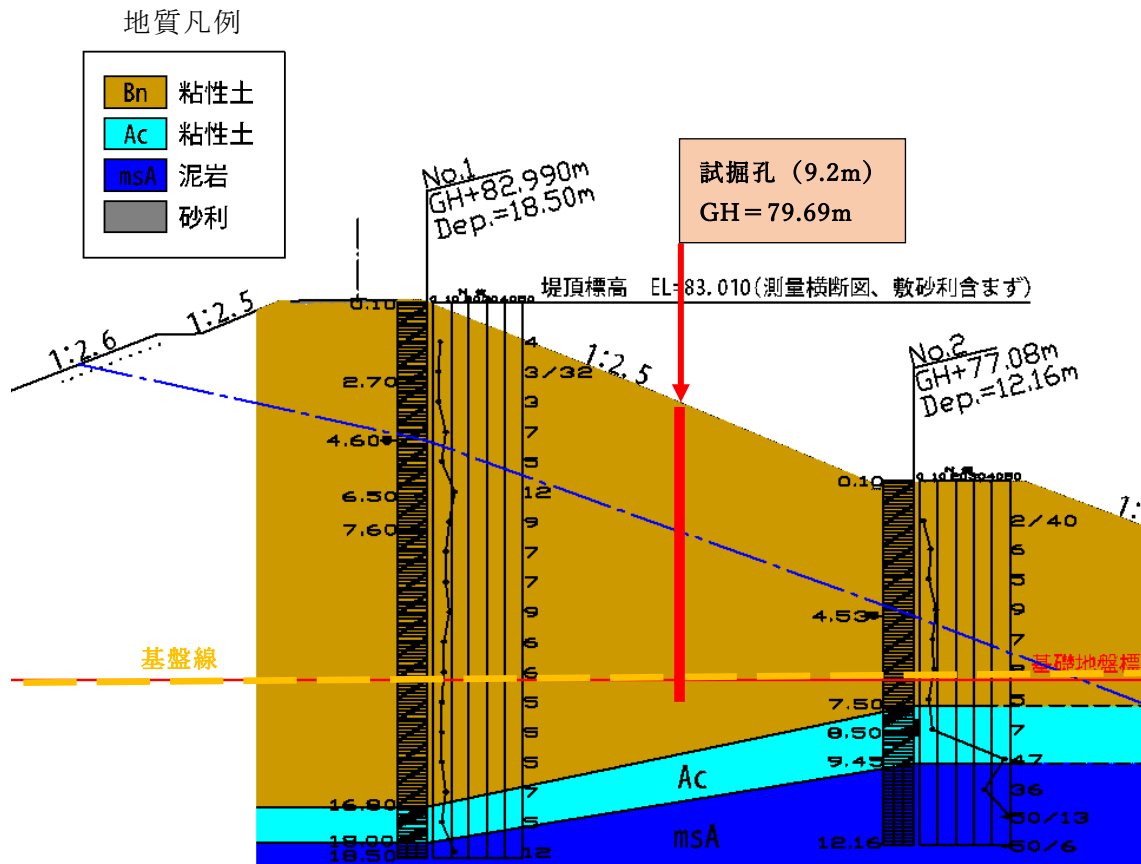


図 1.6.6 試掘位置（既往地質調査結果に記載）（S=1:250）

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。

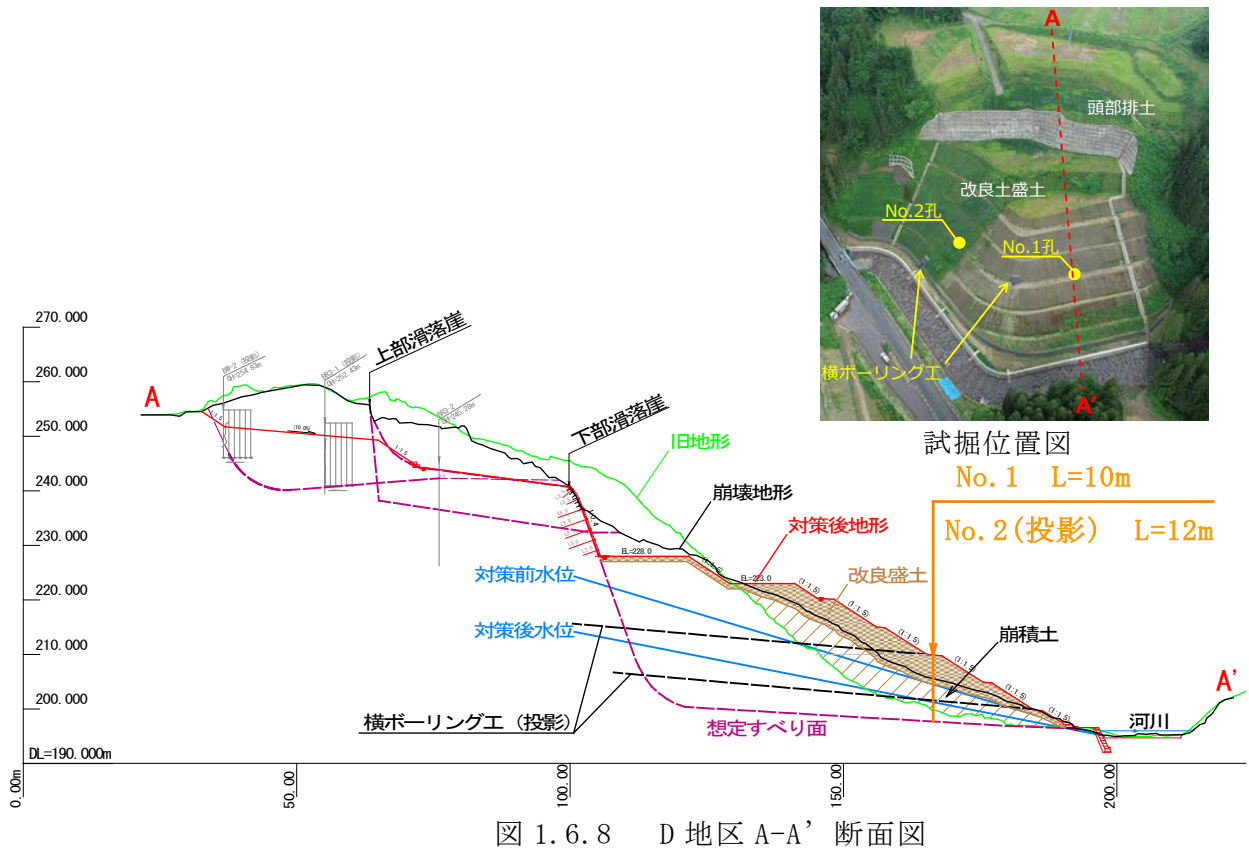


図 1.6.8 D 地区 A-A' 断面図

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

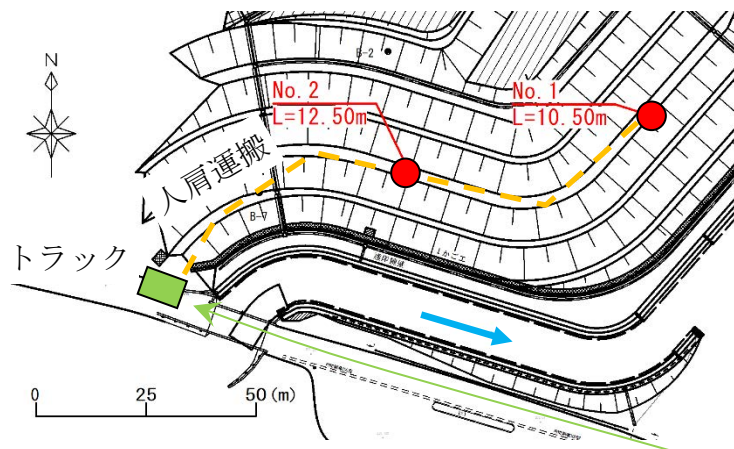


図 1.6.9 試掘位置と搬入ルート

・E 地区（軟弱地盤）

N 値 7～18 の砂層を挟む軟弱地盤（N 値 0～7 の粘性土）で試掘を行った（図 1.6.10）。大規模掘削を伴う河川改修工事による周辺地下水への影響を把握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、河川計画深さと地質状況を考慮し、深度 10.0m とした。

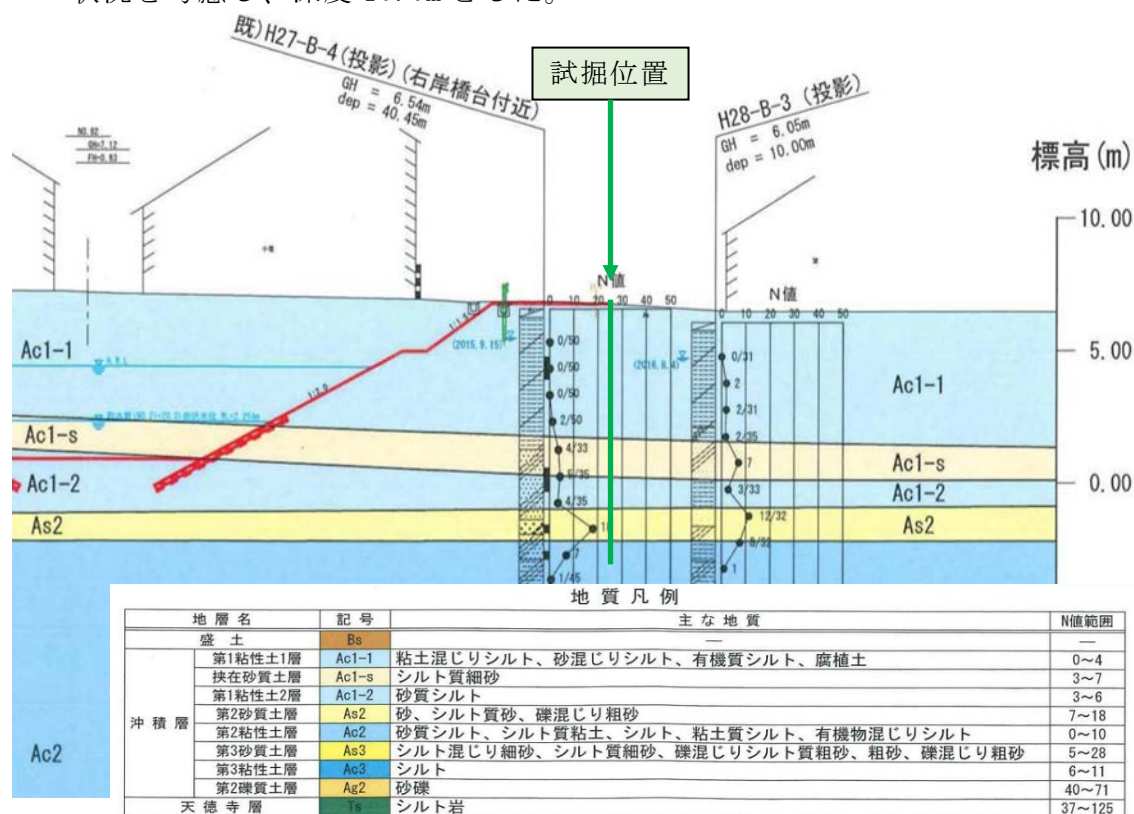


図 1.6.10 E 地区地質想定断面図

スライム排除は、粒径の小さい細砂、粘土・シルトであることから清水を用い、削孔中の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、所定深度 10.0m の削孔に要した時間は 4 時間程度、作業にかかった全日数は約 2 日である（表 1.6.7）。深度 6.5～9.0m 削孔中、ロッドの回転が遅くなり削孔率が落ちた。図の地質想定断面図によれば、N 値 7～18 の As2 層に該当すると想定される。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 1.6.7 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 *2：平場 *3：VP挿入含む

・F 地区（護岸変状箇所）

護岸に変状が確認される斜面上で 2 箇所試掘を行った（図 1.6.11）。護岸被災箇所斜面の地中変動調査を目的として、歪計を設置した。削孔深度は、変状箇所と断面図を参考に 6.5～8.0m とした。

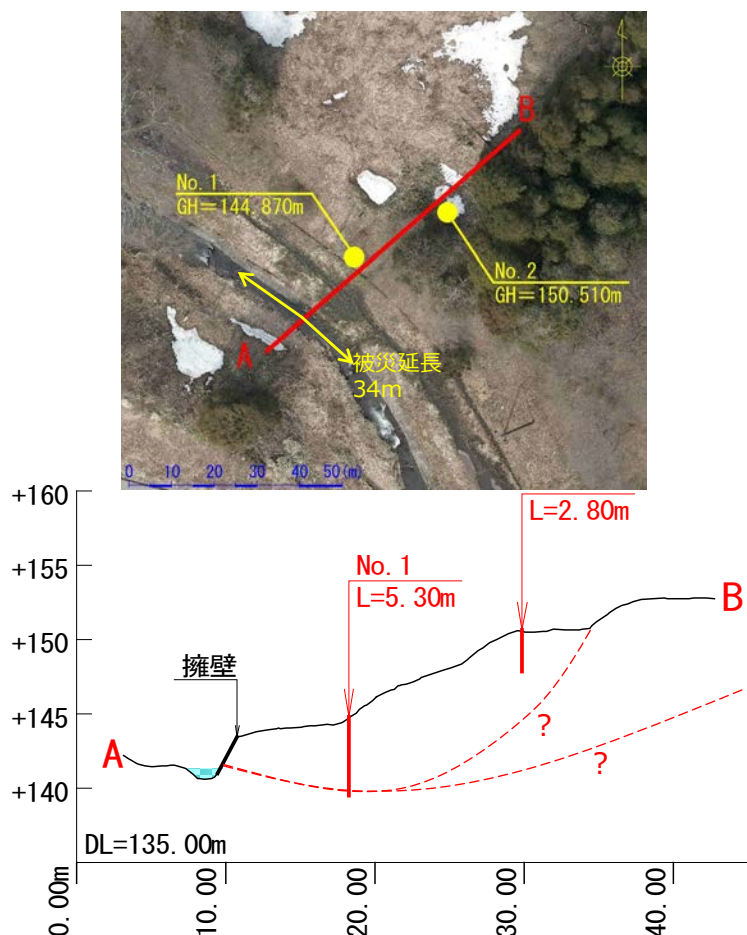


図 1.6.11 F 地区試掘位置及び A-B 断面図

孔中のスライム排除は、礫の混入率が多く想定されたことからポリマー系泥水を用いた。No. 1 孔は計画削孔深度 6.5m に達したが、歪計の挿入設置深度は 5.3m となった。ロッド引抜後孔壁が自立できず深部が埋設した可能性が考えられる。

No. 2 孔は試掘計画深度 8.0m であったが、深度 2.8m 以降の削孔が不能となり、削孔を中止した。削孔時人力により先端ビットへ荷重を追加したが、深度に変化はなかった。削孔不能の原因は、削孔径以上の硬質な礫に当たったか、地盤の相対密度が削孔限界以上に密であったと考えられる。

No. 2 周辺の簡易貫入試験結果によれば、削孔不能深度付近の換算 N 値は 14 以上に該当する。また、礫種は近隣のボーリングデータからは、安山岩及びデイサイトであった。作業にかかった全日数は約 3 日である（表 1.6.8）。

No. 1 孔に設置した歪計及び地下水位計の観測結果を示す（図 1.6.12）。7/15～7/16 の 2 日にかけて降雨量約 132 mm が記録された。翌 17 日に地下水位の上昇、それに伴う歪の累積変動が深度 4、5m に観測された。

表 1.6.8 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}	No. 1 L=6.5m		
削孔			
撤去 ^{*3}			
搬出 ^{*4}		No. 2 L=2.8m	

*1：2tトラック，人肩運搬 *2：傾斜地（20° 程度）

*3：歪計挿入含む *4：人肩運搬

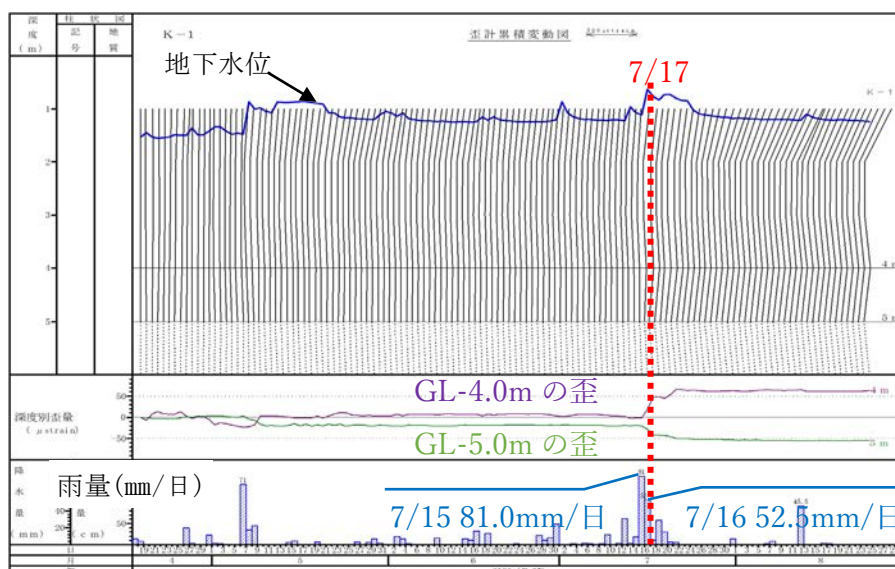


図 1.6.12 No. 1 孔歪計及び地下水位観測結果

(4)地質・地質性状の適用性

試掘結果を表 1.6.9 にまとめ、縦型簡易削孔機の地質・地質性状の適応性を考察する。なお、礫混り粘土・シルトは以降、礫混り土と称す。

表 1.6.9 試掘結果のまとめ

地区	計画深度 (m)	掘削深度 (m)	掘削対象の諸元			削孔水	備考
			地質	N値	礫径・礫種		
A	5.7	5.7	礫質シルト	1-4	φ 5mm風化凝灰岩	ポリマー系泥水	
B	7.7	7.7	礫混り粘土	2-8	φ 5～50mmシルト泥岩	ポリマー系泥水	
C	9.2	9.2	礫混り粘土	2-12	φ 5～50mm凝灰岩、泥岩	ポリマー系泥水	
D	10.0	10.0	改良土	-	-	ポリマー系泥水	現地発生土 泥岩起源の崩積土
	12.0	12.0					
E	10.0	10.0	粘性土	0-4	-	清水	
			砂質土	7-18	-		
F	6.5	6.5	礫混り粘土	1-14	φ 50mm安山岩、デイサイト (周辺ボーリングデータ)	ポリマー系泥水	孔壁自立深度5.3m
	8.0	2.8					削孔不応

F地区のN値は簡易貫入試験Nd値より推定

粘性土の場合は、清水掘りにて 10m 削孔することが可能である。また、粘性土に挟まれた N 値 7～18 の砂質土も削孔が可能であったことから、砂質土にも適応削孔可能と考える。孔壁が自立しない場合はポリマー系泥水等で対応するが、N 値 4 以下のような緩い砂質土については、今後検証が必要である。

礫混り土の場合は、 $N < 14$ かつ礫径 50 mm以下であれば 10m 削孔可能と考える。削孔可能な礫種は泥岩、凝灰岩、シルト岩であり、安山岩及びデイサイト礫は地盤の相対密度が密であると削孔が出来ない可能性が残る。

試掘していない礫層については、地盤の相対密度や礫の径及び硬さに左右されることが想定され、削孔可能な条件は礫混り土に準じると考える。

なお、本削孔機は一般的な孔壁保護工であるケーシングパイプを用いないため、孔壁崩壊が発生する地層に適応できない。また、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。

上述を基に、縦型簡易削孔機の削孔可能判定一覧表を次頁にまとめた。

表 1.6.10 削孔可能判定一覧表

地質		削孔の可否*1	所見
粘性土		○	砂層挟む場合でも削孔可能である。
砂質土		△	N値=7-18程度は掘削可能である。N値4以下の緩い層は要検証。
礫混り土	N値<14	○	礫径は50mm以下では掘削可能である。
	14≦N値	×	礫径にも左右されるが、締まっており削孔不可である。
礫		△	N値<14, 礫径は50mm以下で掘削可能と考えられる（要検証）。
軟岩		△	改良土の同程度の固さであれば掘削可能と考えられる（要検証）。
岩塊・玉石		×	硬質であり削孔不可である。

*1：深度10m

(5) 一般工法との比較

試掘結果より、一般的な鉛直方向への削孔方法である機械ボーリングによる削孔と、縦型簡易削孔機による削孔の作業期間、作業費用について比較する。

・削孔効率

試掘結果による削孔速度を表 1.6.11 に示す。礫質シルトや礫混り粘土のいわゆる礫混り土の削孔能率は 5～15m/日で、平均は 10m/日である。

粘性土及び改良土の削孔能力は 16m/日以上で、特に $N < 5$ のいわゆる軟弱地盤では、20m/日であった。

表 1.6.11 試掘における削孔能率

地区	地質	削孔深度 (m)	削孔日数 (日)	削孔能率 (m/日)
A	礫質シルト	5.70	0.75	7.6
B	礫混り粘土	7.70	0.50	15.4
C	礫混り粘土	9.20	0.75	12.2
D	改良土	10.00	0.63	16.0
		12.00	0.75	16.0
E	粘性土	10.00	0.50	20.0
F	礫混り粘土	6.50	0.75	8.6
		2.80	0.50	5.6

機械ボーリングの標準能力（表 1.6.12）と比較すると粘性土、礫混り土砂ともに縦型簡易削孔機が効率的である。

表 1.6.12 機械ボーリングの標準能率¹⁾

区分	標準能率 (m/日)					備考
	粘性土	砂質土	砂礫	玉石 まじり礫	固結シルト 固結粘土	
φ 66mm	6.5	5.2	3.0	1.5	4.2	1) 「礫まじり土砂」は「砂礫」を含む。 2) 「砂礫」, 「玉石まじり礫」については、礫質により能率が下がるので修正のこと。 3) 「玉石」, 「転石」については別途清算のこと。
φ 86mm	5.6	4.5	2.6	1.3	3.6	
φ 116mm	4.5	3.6	2.1	1.0	2.9	
φ 131mm	4.3	3.4	2.0	0.95	2.8	
φ 146mm	3.8	3.0	1.8	0.85	2.5	

1) 全国標準積算資料 土質調査・地質調査 令和 5 年度改定歩掛版

一般社団法人 全国地質業調査業協会連合会 PⅢ-33

・作業期間

機械ボーリングとの作業工程の比較を表 1.6.13、表 1.6.14 に示す。なお、各地区の作業日数比較は表 1.6.15～表 1.6.20 に示す。

比較にすると、全作業日数は全地区平均で約 46%に短縮され、モノレールでの機材搬入が伴う場合は約 40%、それ以外の機材搬入方法の場合でも約 52%短縮される可能性がある。

表 1.6.13 削孔作業日数比較まとめ

項目		全作業日数	モノレール設置撤去日数	搬入仮設撤去搬出	削孔日数
A	簡易	2.00		1.25	0.75
	機械	3.50		2.50	1.00
B	簡易	2.75		1.75	0.50
	機械	6.00	2.00	2.50	1.50
C	簡易	3.00		2.25	0.75
	機械	5.50		3.50	2.00
D	簡易	4.00		2.50	1.50
	機械	12.00	2.50	5.50	4.00
E	簡易	1.75		1.25	0.50
	機械	4.00		2.00	2.00
F	簡易	3.00		1.75	1.25
	機械	7.50	2.00	3.00	2.50

簡易：縦型簡易削孔機 機械：機械ボーリング

表 1.6.14 縦型簡易削孔機の作業率

項目	全体	モノレール	搬入仮設	掘削
A	57.1%	なし	50.0%	75.0%
B	45.8%	あり	38.9%	33.3%
C	54.5%	なし	64.3%	37.5%
D	33.3%	あり	31.3%	37.5%
E	43.8%	なし	62.5%	25.0%
F	40.0%	あり	35.0%	50.0%
平均	45.8%	－	47.0%	43.1%

機械ボーリングの作業を1とした場合の割合

表 1.6.15 A 地区機械ボーリングとの工程比較

作業内容		1日目	2日目	3日目	4日目
縦型簡易 削孔機	搬入				
	仮設				
	削孔				
	撤去				
	搬出				
機械 ボーリング	搬入				
	仮設				
	削孔				
	撤去				
	搬出				

表 1.6.16 B 地区機械ボーリングとの工程比較

作業内容		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
縦型簡易 削孔機	搬入						
	仮設						
	削孔						
	撤去						
	搬出						
機械 ボーリング	モノレール架設						
	搬入						
	仮設						
	削孔						
	撤去						
	搬出						
	モノレール撤去						

表 1.6.17 C 地区機械ボーリングとの工程比較

作業内容		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
縦型簡易 削孔機	搬入						
	仮設						
	削孔						
	撤去						
	搬出						
機械 ボーリング	搬入						
	仮設						
	削孔						
	撤去						
	搬出						

表 1.6.18 D 地区機械ボーリングとの工程比較

作業内容		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目
縦型簡易 削孔機	搬入												
	仮設	No.1 L=10m											
	削孔												
	撤去												
	搬出			No.2 L=12m									
機械 ボーリング	モルレル架設												
	搬入												
	仮設	No.1 L=10m											
	削孔												
	撤去												
	搬出												
	モルレル撤去												

表 1.6.19 E 地区機械ボーリングとの工程比較

作業内容		1日目	2日目	3日目	4日目
縦型簡易 削孔機	搬入				
	仮設				
	削孔				
	撤去				
	搬出				
機械 ボーリング	搬入				
	仮設				
	削孔				
	撤去				
	搬出				

表 1.6.20 F 地区機械ボーリングとの工程比較

作業内容		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目
縦型簡易 削孔機	搬入								
	仮設	No.1 L=6.5m							
	削孔								
	撤去								
	搬出		No.2 L=2.8m						
機械 ボーリング	モルレル架設								
	搬入								
	仮設	No.1 L=6.5m							
	削孔								
	撤去								
	搬出								
	モルレル撤去								

・作業費用

縦型簡易削孔機は、機械ボーリングで必要な大型な足場や櫓等の仮設設備が不要であり、その分の作業費が削減可能である。また、分解、再組立が容易で、人肩運搬が可能であり、機械ボーリングでモノレール運搬が必要な場合は、その架設費を削減することが出来る。機械ボーリングでモノレール架設が必要な D 地区（2 孔削孔）で作業費用を比較すると、モノレール架設と運搬で約 78 万円、足場仮設で約 36 万円削減可能である（表 1.6.21）。

表 1.6.21 D 地区の作業費用比較（経費含まず）

項目		金額(円)	計(円)
縦型 簡易削孔機	削孔	283,000	802,000
	水位観測孔設置	403,000	
	人肩運搬	116,000	
機械 ボーリング	削孔	283,000	1,933,000
	水位観測孔設置	403,000	
	モノレール架設	784,000	
	モノレール運搬	104,000	
	足場仮設	359,000	

(6) 先端ビットの形状について

先端ビットは、ロッド径より大きい部分（写真 1.6.6 の②、③）が多いほど、ロッドの回転が遅くなる、ロッド上下運動が不能になる場面が多かった。スライムがビットの肩部分（ロッド径より大きい部分）に溜まることを原因と考え、ビット形状をロッド径よりはみ出る部分が少ない三又の形状（写真 1.6.6 の①）とした。

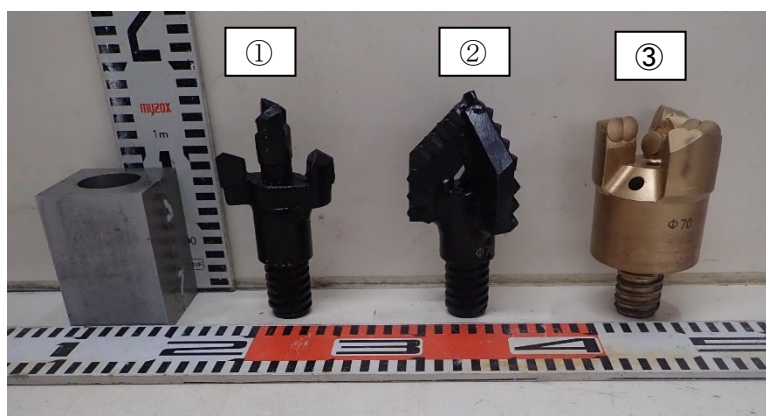


写真 1.6.6 試掘に用いたビット

(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

開発組合が有する監視システムは、単一観測孔の水位を LTE 回線で伝送するシステムである。クラウドシステムもその前提で開発されている。

堤体の水位（浸潤線）分布を得るためには、複数の水位センサを設置する必要があるが、1つの水位計に1台のデータ伝送装置を付けるのは現実的ではない。また、アースダムやため池はLTE回線が引かれているところも少なく、LTE回線がある場所でも冬季は積雪で電波環境が悪化することもある。

図 1.6.13 に示すように実証試験を行った三又ダムも主要キャリアはサービス圏外であった。

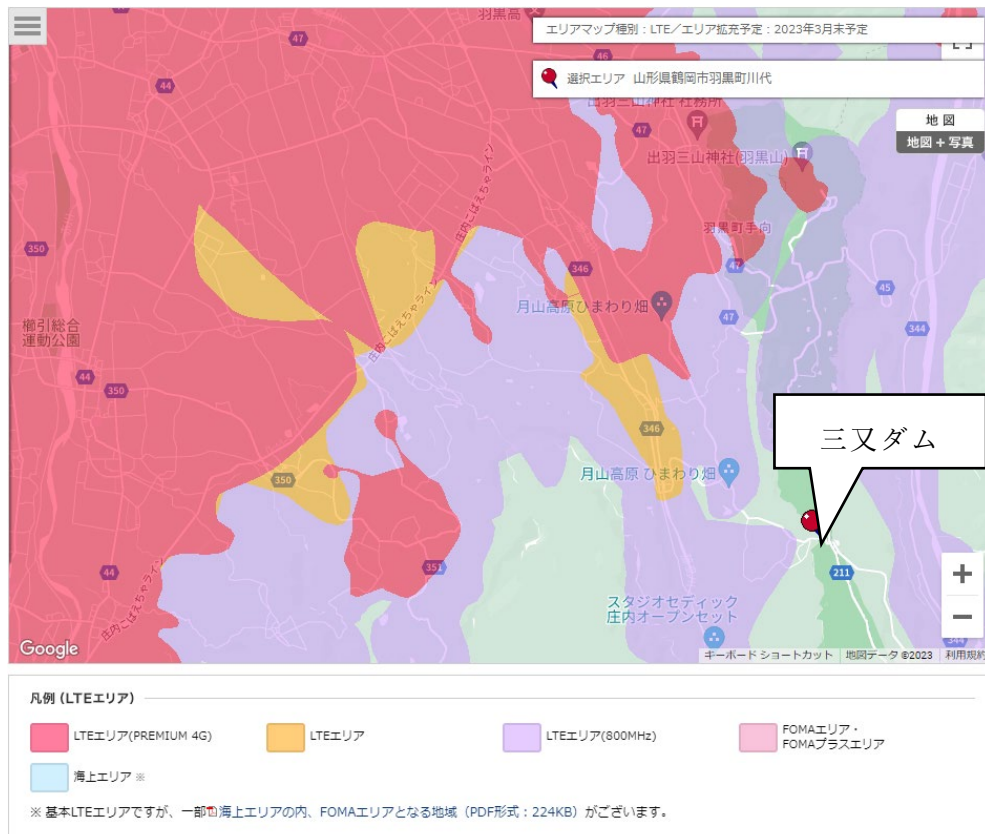


図 1.6.13-1) NTT ドコモ LTE サービスエリア

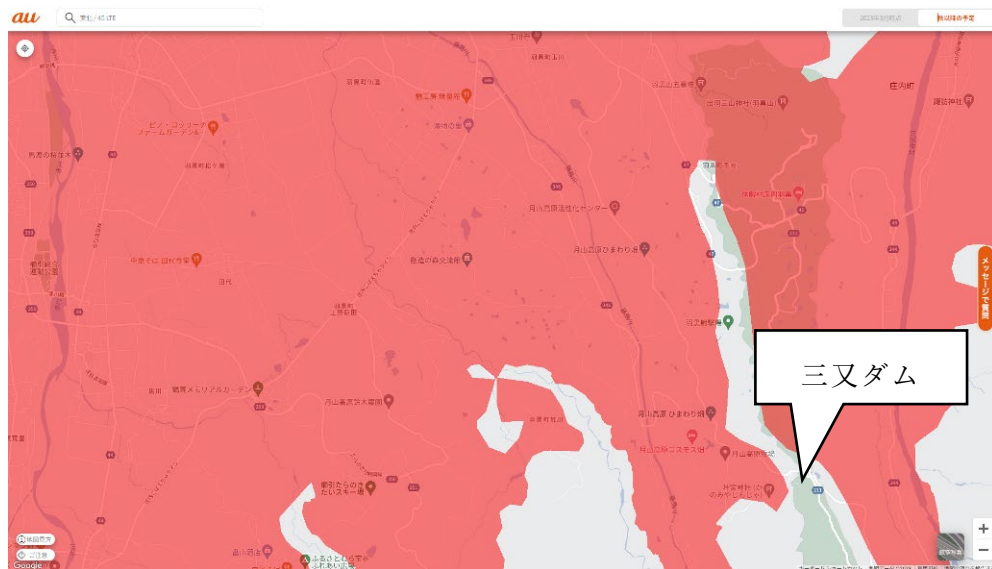


図 1.6.13-2) KDDI LTE サービスエリア

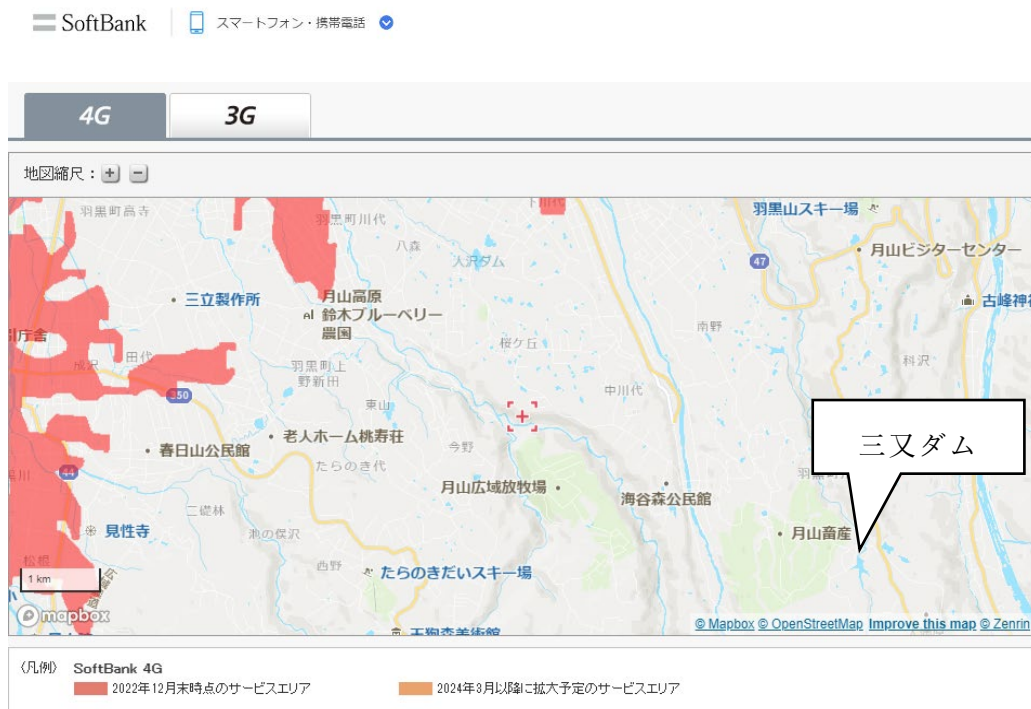


図 1.6.13-3) ソフトバンク LTE サービスエリア

このような場所では、LTE 以外の通信手段も含めてデータを回収する必要がある。

R3 年度は、複数センサへの対応と通信手段の検討をおこなった。

1) 複数センサ対応

バッテリー駆動が可能な多チャンネルロガーとした。



図 1.6.14 7ch ロガー

2) 通信手法

IoT 機器に使用される通信規格には「3G/LTE」「Wi-Fi」「Bluetooth」「LPWA」「NFC」などがある。それぞれを通信規格の通信距離と通信速度の違いで分類すると以下のとおりである。

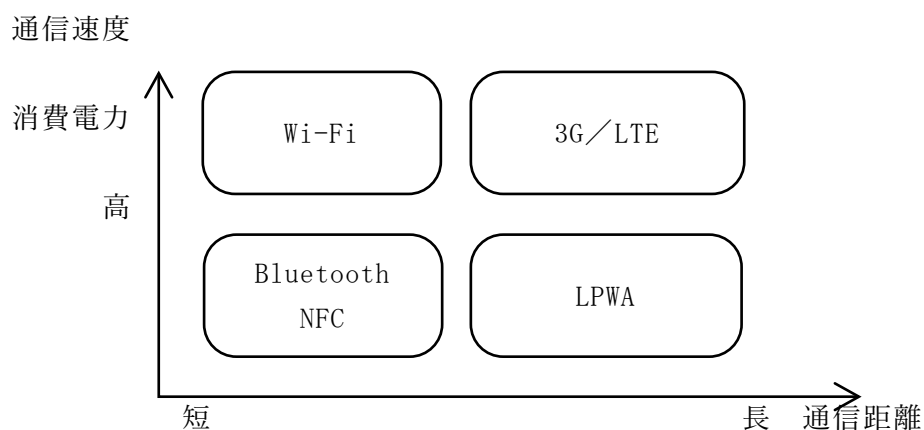


図 1.6.15 IoT 機器に使用される通信規格

利用が拡大している 5G は LTE と LPWA に跨る位置づけとなる。

基本的には当組合で NTT ドコモ cat1/cat1+eDRX モジュール搭載の通信装置を開発しているため、これを採用して LTE/5G 通信で対応するが、圏外では LPWA が適している。

LPWA 通信の特長は、伝送速度は低速なものの、LTE 並みの広域・遠距離通信を、低消費電力で実現できるという点にあり、LTE 圏外において有効な通信規格と言える。

LPWA については、次表 1.6.2 のようにさまざまな規格が存在するが、免許および登録が不要なアンライセンスバンドと、免許および登録が必要なライセンスバンドとに分けられる。

アンライセンスバンドは特定小電力無線（電波出力 20mW 以下）が中心で、ライセンスバンドは既存の携帯キャリア会社の LTE 基地局を利用する規格が中心である。

オープン性が高い LoRa が利用しやすく世界的にも普及しているものの、いずれの規格も市街地を想定したものが多く、ため池やアースダムの多い山間部への適用を考慮すると、アンライセンスバンドのものは送信電力不足で立ち木などで大きく減衰することから多段で中継する必要があり、ライセンスバンドのものは携帯事業者の基地局が見通せる必要があるなど、いずれも一長一短である。

表 1.6.22 LPWA 各規格の比較

種 類	アンライセンスバンド					ライセンスバンド	
規格名	Sigfox	LoRaWAN	Wi-SUN	ZETA	ELTRES	LTE-M	NB-IoT
概 要	長距離通信が可能であり、比較的小さいデータのやり取りに最適	オープン性が高く、LoRaゲートウェイを設置するだけで容易に導入が可能	NICT による国際無線通信規格	超狭帯域による多チャンネルでの通信が可能	見通し 100km 以上の長距離通信および高速移動通信に対応	M=Machine LTE の一部周波数帯域を利用。 標準的な LTE の 20MHz 幅から狭めて使用	NB=Narrow Band Cat. NB1 として規定され、狭い帯域幅の 180kHz 幅を利用
事業者	京セラコミュニケーションズ	SORACOM・セセンスウェイ他	各社	凸版印刷、NEC グループ他	ソニー ネットワーク コミュニケーションズ	携帯キャリア各社	携帯キャリア各社
周波数帯	Sub-GHz 帯 920MHz	Sub-GHz 帯 920-928MHz	Sub-GHz 帯 920MHz	Sub-GHz 帯 920MHz	Sub-GHz 帯 920MHz	LTE 700MHz ～ 3.5GHz	LTE 700MHz ～ 3.5GHz
エリア	事業者による基地局整備。 人口カバー率 95%(2020年1月)	ユーザーがアクセスポイントを設置。 もしくは事業者による基地局整備	ユーザーがアクセスポイントを設置。	ユーザーがアクセスポイントを設置。	事業者による基地局整備。 主要都市部対応 (全国展開予定)	携帯キャリア各社による	携帯キャリア各社による
通信速度	0.1kbps	250kbps	50～ 300kbps	0.3/0.6/2 .4 kbps	0.08kbps (上り)	1000kbps	200kbps
最大 伝送距離	約 50km	約 15km	約 3km	約 2～10km	約 100km	約 10km	約 30km
電波出力	20mW 以下	20mW 以下	1、20、250 mW	20mW 以下	20mW 以下	100mW 以下	100mW 以下

なお、山間部を対象とした実施例として、次の事例がある。

- ・ 山間部のネットワーク化を通じた「林業従事者の労働災害抑止」及び「シカ等の獣害対策」に関する共同実証実験（山梨県小菅村）
- ・ 森林も含む町内全域を網羅する LPWA 通信網の整備（愛媛県久万高原町）

いずれもアンライセンスバンドであるが、法律上許容される最大出力の陸上移動局無線を用いて通信網を構築している。

特定小電力無線 ・・・ 送信出力 20mW 以下、無線局登録不要

陸上移動局無線 ・・・ 送信出力 250mW 以下、無線局登録が必要

前記のような陸上移動局無線は無線局登録が必要だが、見通しで最大 200km 程度の通信が可能である。立ち木などで減衰しても 10km 程度の通信は可能と考えられる。

R4 年度はさらにデータロガーとの親和性も考慮して、山間部で通信可能なアンライセンスバンドの LPWA システムを構築した。

アンライセンスバンドのものは、観測地点からインターネット回線などが利用できる場所まで伝送させる必要があるが、なるべく中継せずに長距離伝送させることができる方式もある。

このような長距離伝送が可能なものは、低伝送速度で少量のデータを扱うことに特化した方式か、大電力で伝送する方式である。

低速だが低消費電力の超長距離通信方式として Eltres、大電力だが超長距離通信が可能な方式としてプライベート LoRa の 2 つを通信手段の候補とした。

以下、両者の詳細を示す。

(1) Eltres

Eltres の最大の特徴は、GNSS による高精度な時刻補正を行うことで基地局との同期をとり、長距離の通信を実現していることである。

通信システムの構成は、公衆の基地局に対して多数の子局が繋がるスター型のシステムを採用しており、LTE などと同様の構成である。長距離伝送性能は、他の LPWA 規格と比較して非常に高い性能を有している。

本研究において Eltres を使用する上で有利な点として、以下の点が挙げられる。

- ・ 公衆の基地局を使用するため、基地局の設置が不要
- また、不利な点として以下が挙げられる。

- ・ 通信が単方向であるため、遠隔での操作はできない。

- ・ 1 回に送れるデータ量が 10 文字しかないため、水位測定 1 回分のデータしか送れない。そのため、当組合が有する既存のシステムの置き換えはできない。

本研究では、Eltres の通信装置として次の機器を選定した。

品 名：ELTRES アダプター

型 式：CH201

メーカー：CHRONOX 株式会社



CH201 の特徴として、テキストデータの伝送が可能である点が挙げられる。通信内容の自由度が比較的高いため、既存システムとの相性が良い。

本装置を使用した場合、システム構成は図 1.6.16 の通りとなる。



図 1.6.16 システム構成

実証試験を行っている三又ダムは、以下の通り 2021 年 8 月 27 日現在サービス提供エリア内にある。

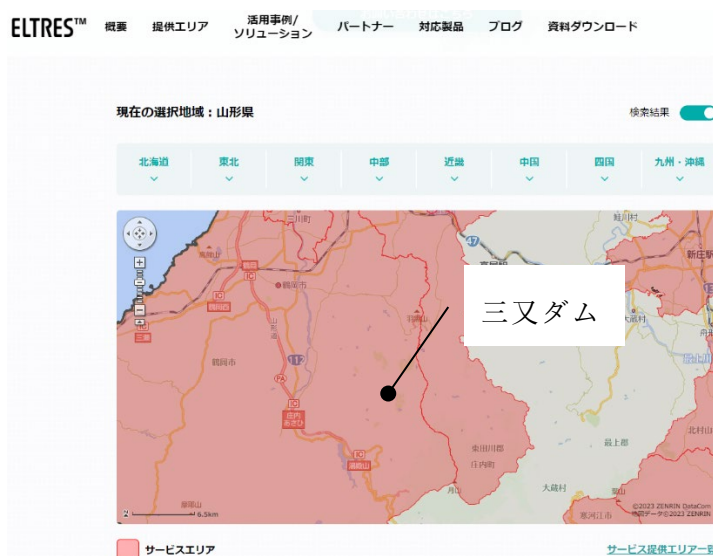


図 1.6.17 Eltres サービスエリア

(2) プライベート LoRa

プライベート LoRa の特徴は、LoRa 変調方式による通信を行うことで通信を長距離化していることである。また、通信規格を比較的自由に構成できるため、メーカー各社で特徴の異なる LoRa 通信規格を立ち上げている。

採用するプライベート LoRa は、空中線電力 250mW（通常は 20mW）という高出力を使用して通信を行うことで、一般的な LoRa 通信よりもさらに長距離で通信が可能な規格である。採用する上で、以下の利点が挙げられる。

- ・ 高出力な通信を行うことで長距離な通信を可能である。
- ・ 双方向での通信が可能なため、遠隔での操作にも対応可能である。
- ・ 1 回に送れるデータ量は 100 文字程度あり、既存の通信システムの置き換えが可能

一方、不利な点として以下が挙げられる。

- ・ 無線局の登録手続きが必要
- ・ 基地局の設置が必要
- ・ 送信時の消費電力が大きい

本研究では、プライベート LoRa の通信装置として次の機器を選定した。

品 名：LoRa ユニット

型 式：SpreadRouter-MW

メーカー：NSTG 株式会社

SpreadRouter-MW の利点として、シリアル通信の透過モードがある点が挙げられる。この機能により、当組合が有する既存のシステムの有線通信部をほとんどそのまま置き換えることが可能となる。そのため新規開発要素が少なく、使用実績のあるシステムを流用した構成とすることができ



本装置を使用した場合のシステムは図 1.6.8 の通りとなる。

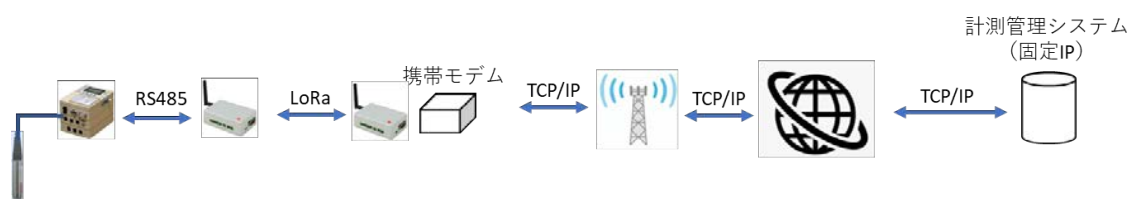


図 1.6.18 システム構成

R5 年度は以上の通信方式について、実機を準備してデータロガーと組み合わせたシステムを構築し、三又ダム周辺で通信テストをおこなったうえで実証試験を行った。

三又ダムでの通信テストでは Eltres、SpreadRouter について、それぞれ以下のような試験を実施した。

1) Eltres

子局を三又ダムに仮設する。子局には予め自身の位置情報を定期的に送信するように設定しておく。

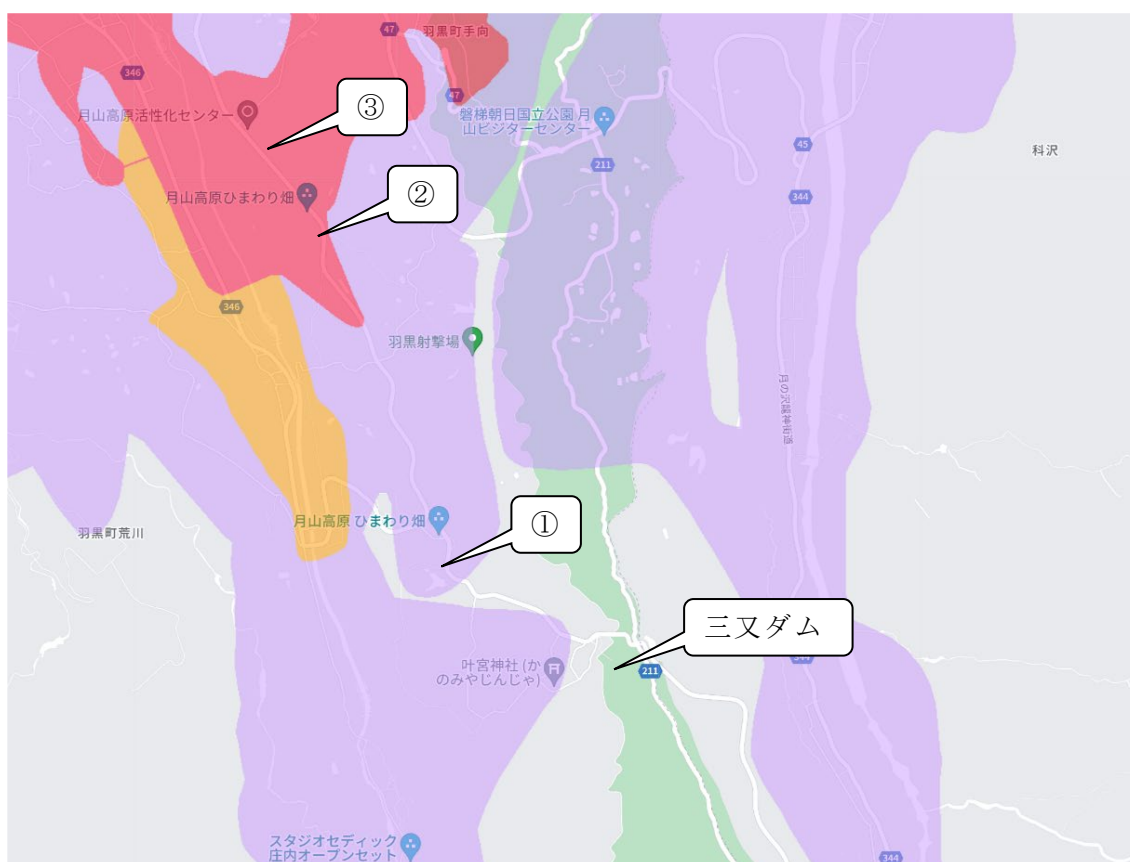
複数回送信させて、その成功率で評価する。

2) SpreadRouter

親局を LTE 圏内に、子局を三又ダムに仮設する。親局から子局に通信を複数回行い、その成功率で評価する。また、通信環境調査機器を用いて受信強度を評価する。

なお、親局の候補地は以下の 3 地点である。

- ① 月山高原ひまわり畑上（三又ダムからの直線距離 1.5km）
- ② 月山高原ひまわり畑下（三又ダムからの直線距離 3.9km）
- ③ 月山高原活性化センター（三又ダムからの直線距離 4.6km）



■	: LTE (PREMIUM 4G) エリア	band42 (3.5GHz、LTE+)
■	: LTE エリア	band1 (2.1GHz、主要周波数帯)
■	: LTE (800Hz) エリア	band19 (郊外や山間部中心のプラチナバンド)
➤	2023 年 5 月末時点	

図 1.6.19 NTT ドコモ LTE サービスエリア

通信テストは以下のように実施した。

(1)Eltres

Eltres 通信装置とバッテリーを納めた簡易収容箱を観測やぐらに固定した。
Eltres 通信装置は電源を投入すると、自身の GPS 位置情報を 1 分に 1 回送信する設定とした。

基地局への送信状況はスマートフォンアプリで確認した。

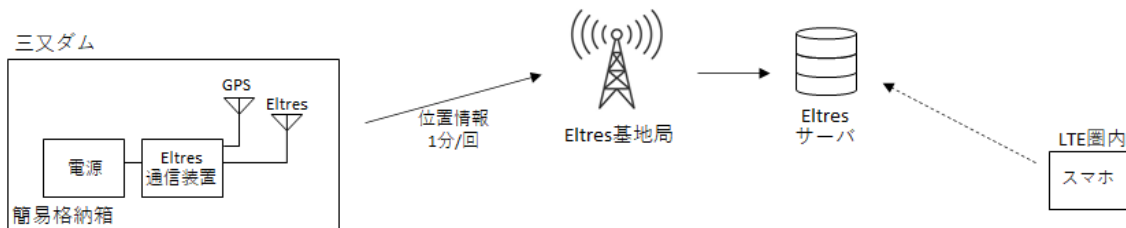


図 1.6.20 調査機材の構成



観測ヤグラへの取付け状況

簡易格納箱内部

写真 1.6.7 試験状況

(2) SpreadRouter

ノート PC を接続した通信装置（スレーブ端末）を観測やぐら上に置き、ノート PC を接続した通信装置（マスタ端末）を親局候補地に持ち回って、各候補地から通信を試行した。

通信状況はマスタ側ノート PC から 80 バイトの文字列を 30 回繰り返し送信した際のスレーブ側での受信状況、およびスレーブ側から 80 バイトの文字列を 30 回繰り返し送信した際のマスタ側での受信状況で評価した。

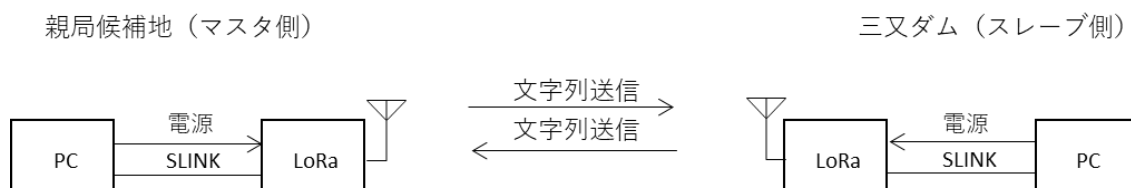
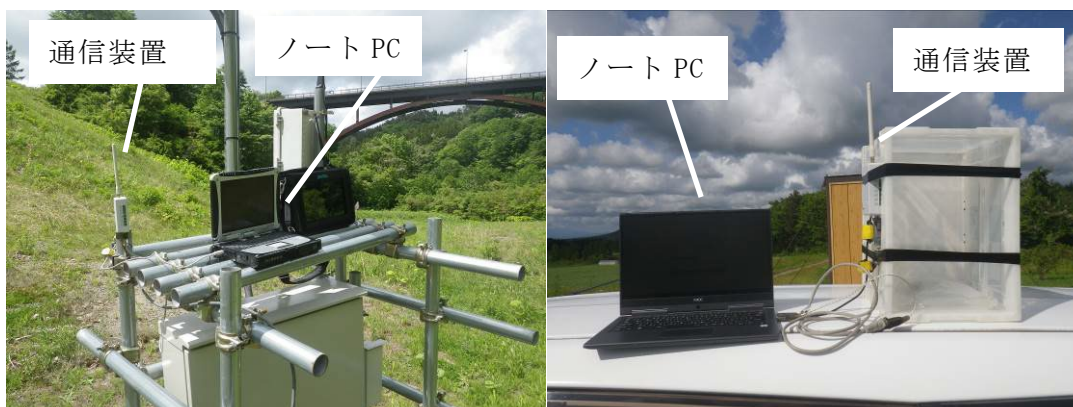


図 1.6.21 調査機材の構成



スレーブ側の機材配置

マスタ側の機材

写真 1.6.8 試験状況

通信テストの結果は以下の通りであり、どちらの手法も観測やぐらからの長距離通信はほとんど成立しない結果であった。

(1)Eltres

2023 年 5 月 23 日 13:15～15:40 まで送信をおこなったが、1 回だけ受信できていた。通信成功率は 0.7% (1/145 回成功) であった。

(2)SpreadRouter

地点①のみ受信可能だったが、スレーブ側からマスタ側への送信は成功率 0% で、マスタ側からスレーブ側への送信が成功率 13.3% (4/30 回成功) であった。

以上の結果を受けて、追加試験として天端からの通信テストをおこない、SpreadRouter については、さらにダム管理事務所と観測やぐらとの通信テストをおこなった。

その結果を以下に示す。

(1)Eltres

ダム天端中央から送信して、通信成功率 100% (20/20 回成功) であった。

(2)SpreadRouter

下表の地点で通信試験をおこなった。結果を同表右列に示す。

表 1.6.23 SpreadRouter 通信試験地点と結果

マスタ側	スレーブ側	成功率
地点①	ダム天端中央	100% (30/30 回)
地点②	ダム天端中央	0% (0/30 回)
地点③	ダム天端中央	0% (0/30 回)
ダム管理棟	観測やぐら	100% (30/30 回)

通信が成功した地点では環境ノイズに対する信号強度 (S/N) が 30 以上で、一般的に安定した通信が可能な $S/N \geq 20$ を十分満たしていた。

観測やぐらが設置されている三又ダム法尻は、三方を囲まれた窪地であり、地点①～③や Eltres 基地局がある平野部よりも高い標高にある。国土地理院地図から取得した通信経路の標高と起伏を図 1.6.22～1.6.24 に示す。

このような環境では、LPWA のなかで長距離通信向けとされる機種でも通信が成功しなかった。

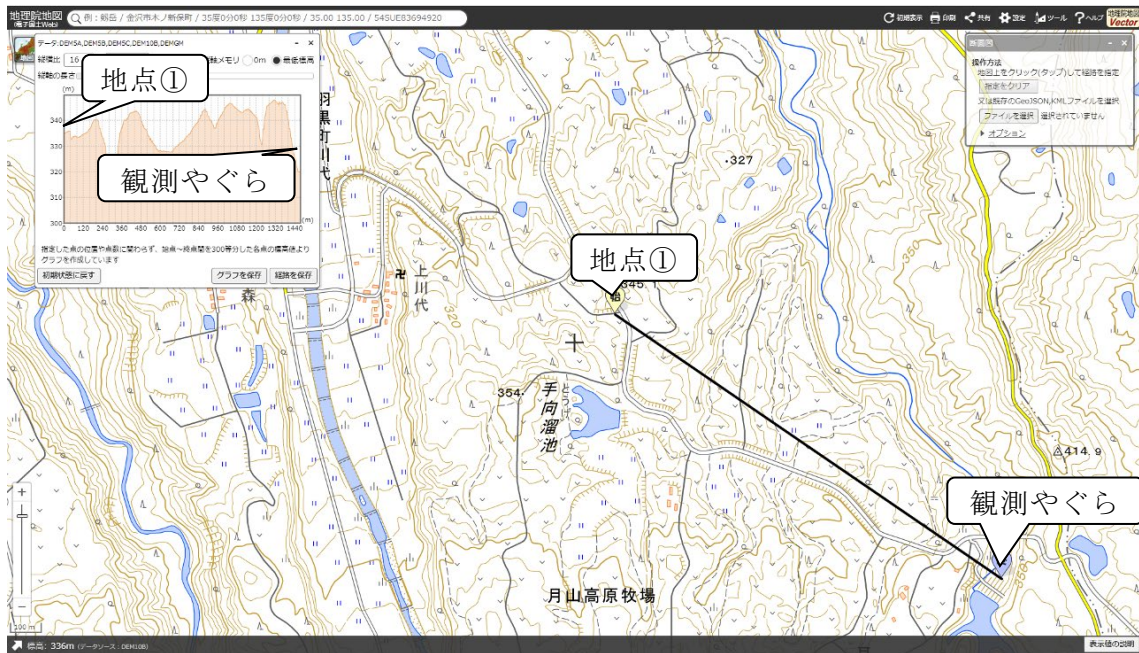


図 1.6.22 地点①－観測ヤグラ間の起伏

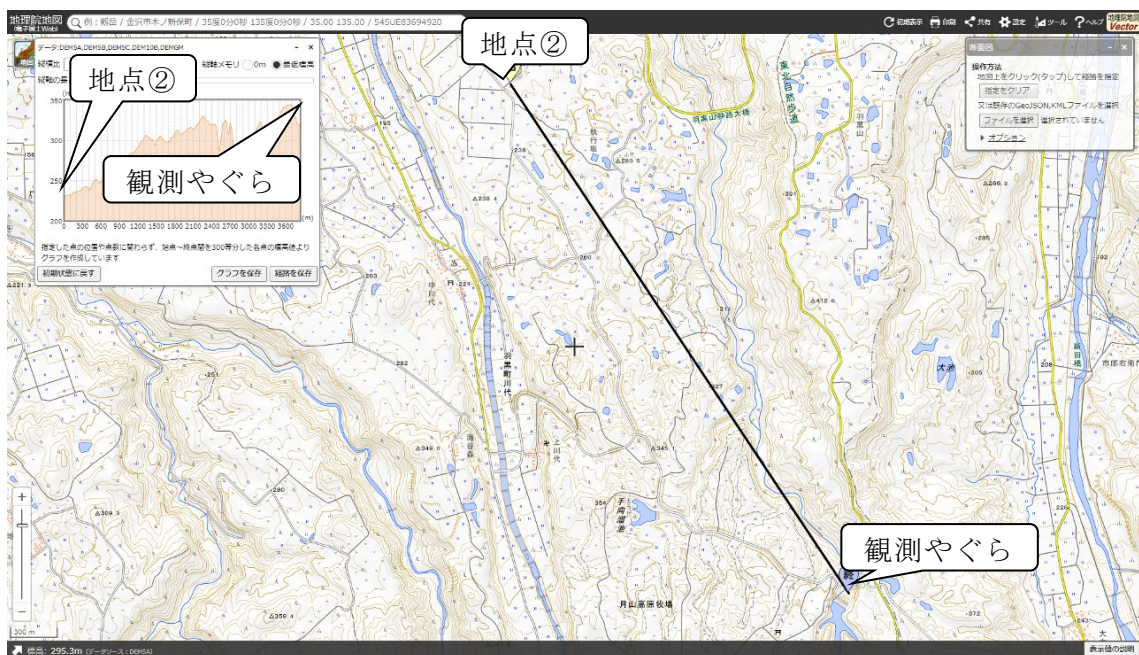


図 1.6.23 地点②－観測ヤグラ間の起伏

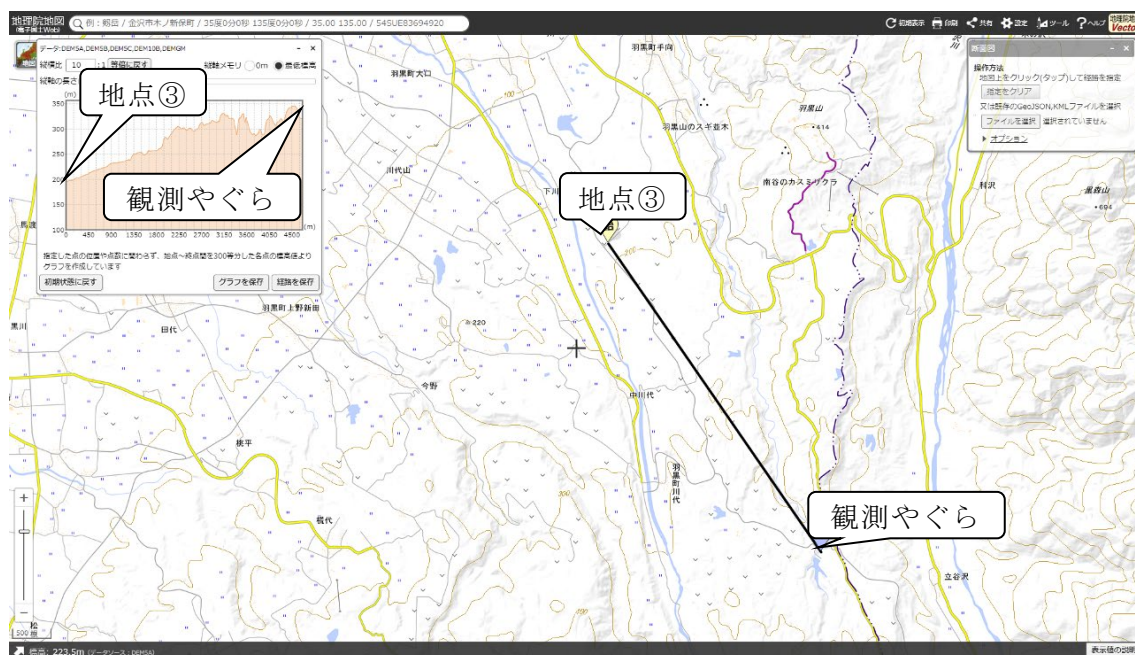


図 1.6.24 地点③ー観測ヤグラ間の起伏

基地局からの距離にも依存するが、観測やぐら設置個所のように局所的に 10m 程度窪んだ場所は長距離無線通信ができないという前提でのシステム構築が必要と考えられる。

天端からは通信可能な地点があり、適用可能な LPWA が存在することが分かった。従ってある程度周囲が開けている地点まで観測データを移動できれば LPWA は適用可能である。以上のことから、中山間部のアースダムやため池から無線通信を行う場合は、周囲が開けた場所など LPWA 無線局が運用可能な地点を選定して、そこを起点に水位観測システムを構築することが望ましい。

また、ゲートの制御設備などを有するダムでは管理事務所にネットワーク回線が引かれている場合が多く、ダム堤体から管理事務所まで LPWA 通信でデータ伝送し、管理事務所内のネットワーク回線を利用してクラウドへ伝送する手法も有効と思われる。

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

山形県三又ダムで現行掘削装置での試掘ならびに、孔内水位観測システムを構築した。

構築目的はダム堤体の水位低下効果に関してなるべく長期間の観測データを取得するとともに、山間部に位置するダムにおいて、観測データの実用的な回収方法を確認することである。

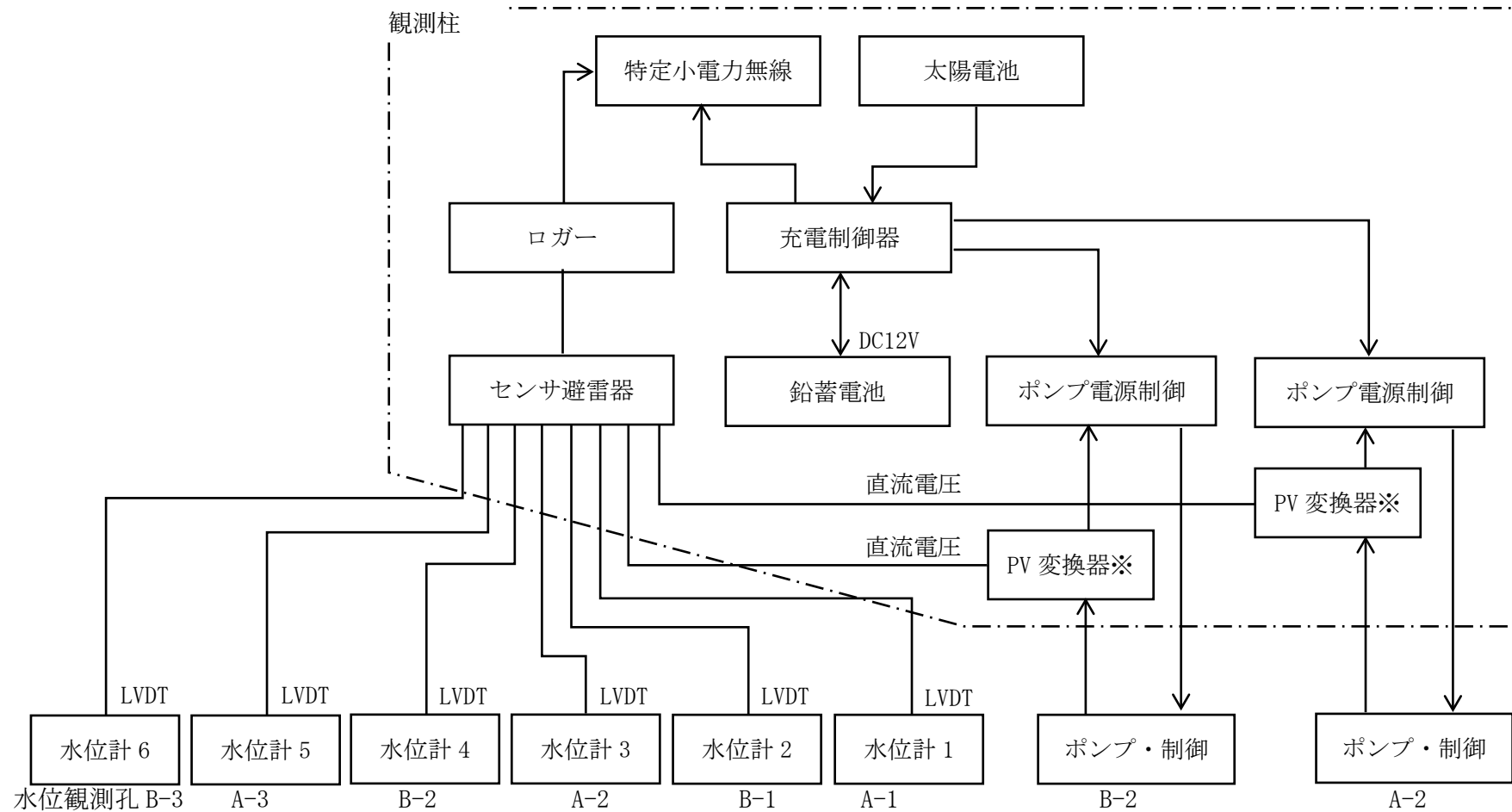


図 1.7.1 実証試験地

工事は 2021 年 5 月 10 日から 5 月 21 日に掛けておこなった。

システム構成を図 1.7.2 に、施工平面図を図 1.7.3 に、施工断面図を図 1.7.4 ～1.7.6 に示す。

本工事では特定小電力無線装置を設けることで、ダム堤体に立ち入らずに近くの橋からデータ回収可能なシステムとした（後述のとおり実証試験では LPWA 通信装置に置換えた）。



※PV 変換器：孔内水位が上限に達すると「ポンプ・制御」から出力されるパルスをカウントし、カウントに応じた電圧に変換する機器

図 1.7.2 システム構成図

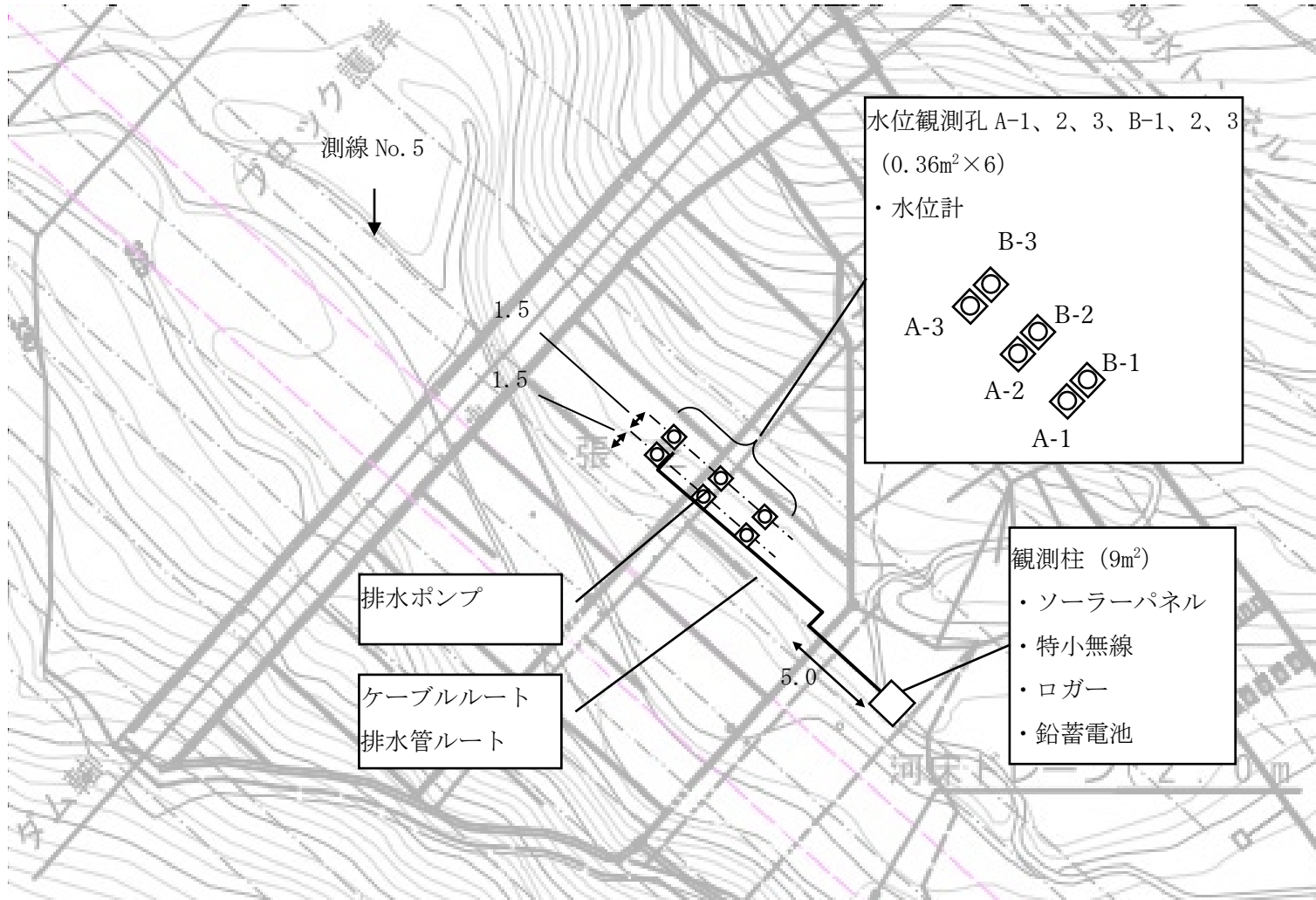
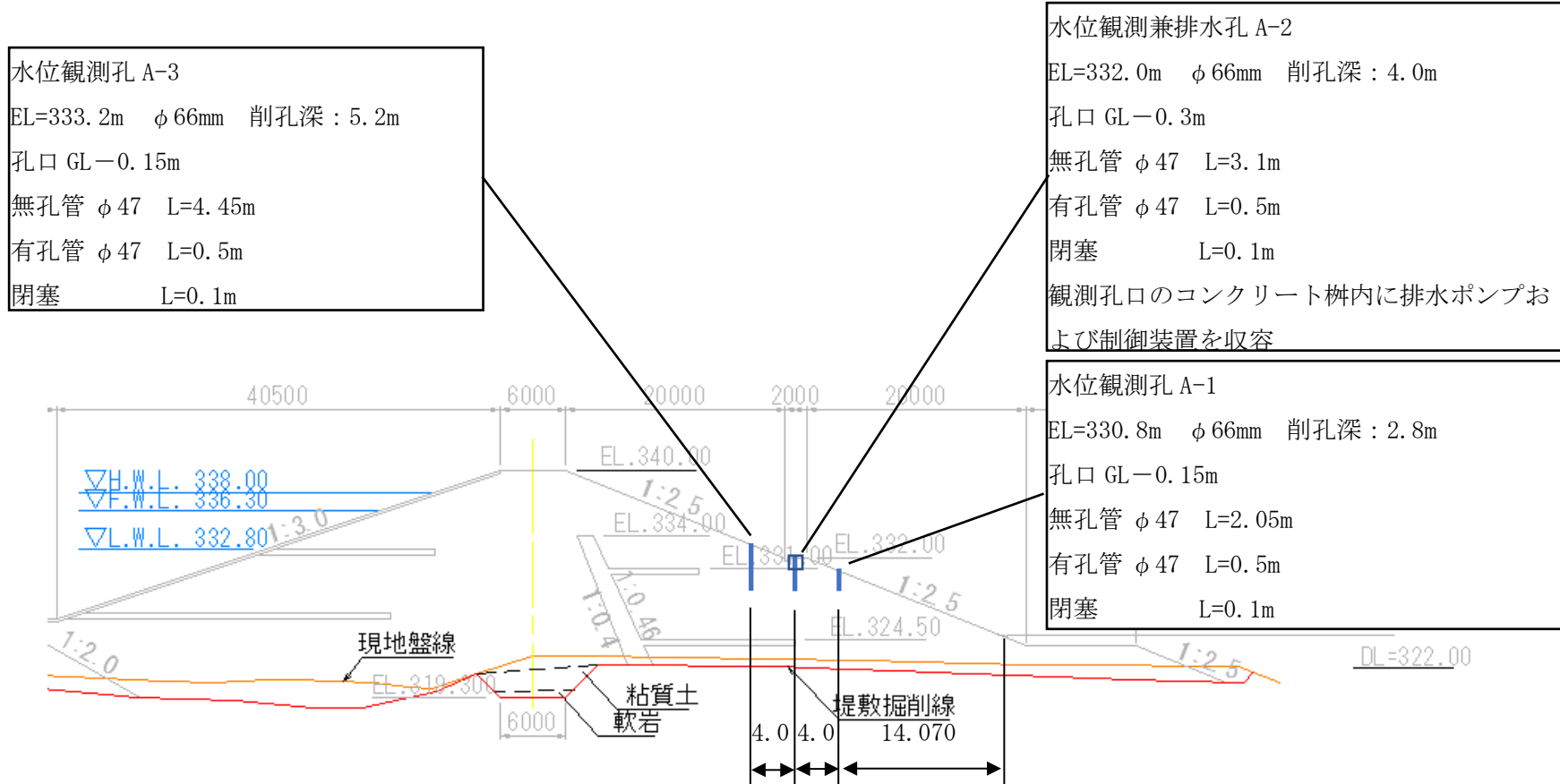
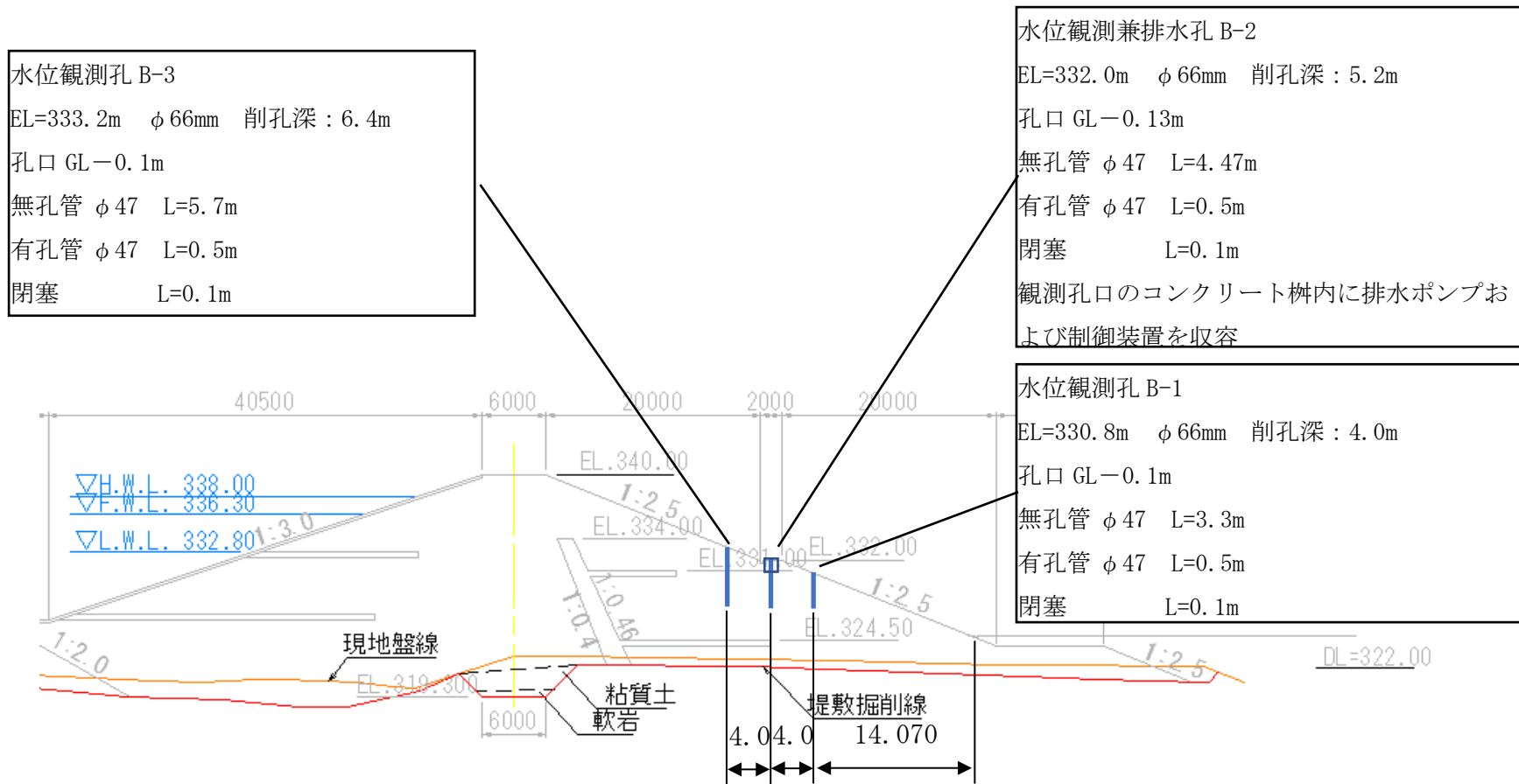


図 1.7.3 施工平面図





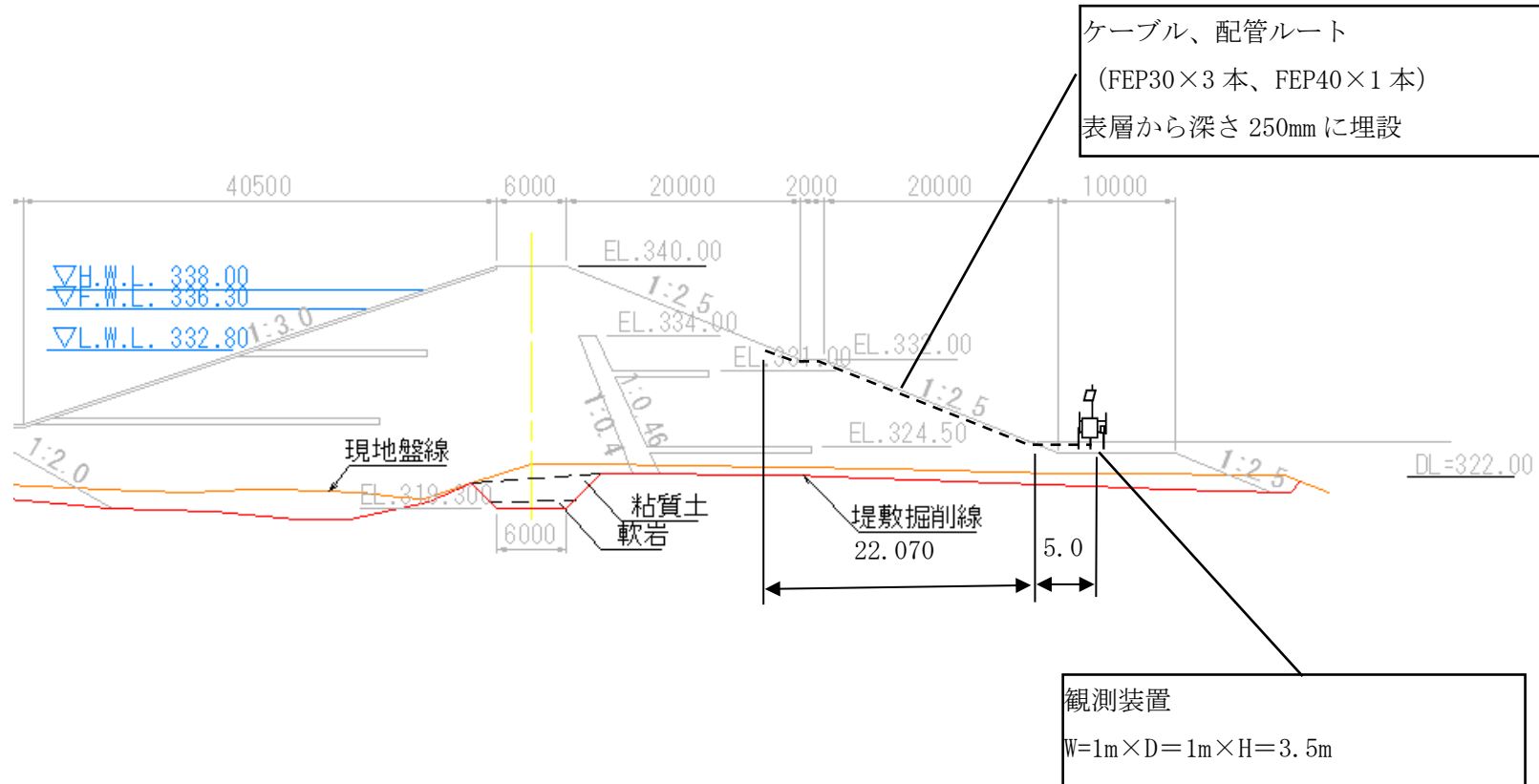


図 1.7.6 施工断面図 (旧測線 No. 5)

観測孔 A-1～3、B-1～3 には水圧式水位計を設置し、観測装置に収容したデータロガーで定期的に測定して、そのデータを保存する仕組みである。本現場は携帯電話圏外であったため、LPWA 装置導入までの期間のデータ回収は手動で実施している。

なお、A-2、B-2 にはドレーンの模擬として排水ポンプを据え付けて、孔内水位が所定の水位に達したらポンプが作動することで、小段より下流の堤体内水位が一定に保たれることを期待した。

また、このときの水位挙動から堤体内浸潤状況を推定することが可能であると考えた。

各観測孔内の設置図を図 1.7.7～1.7.8 に、観測装置の設置図を図 1.7.9 に示す。

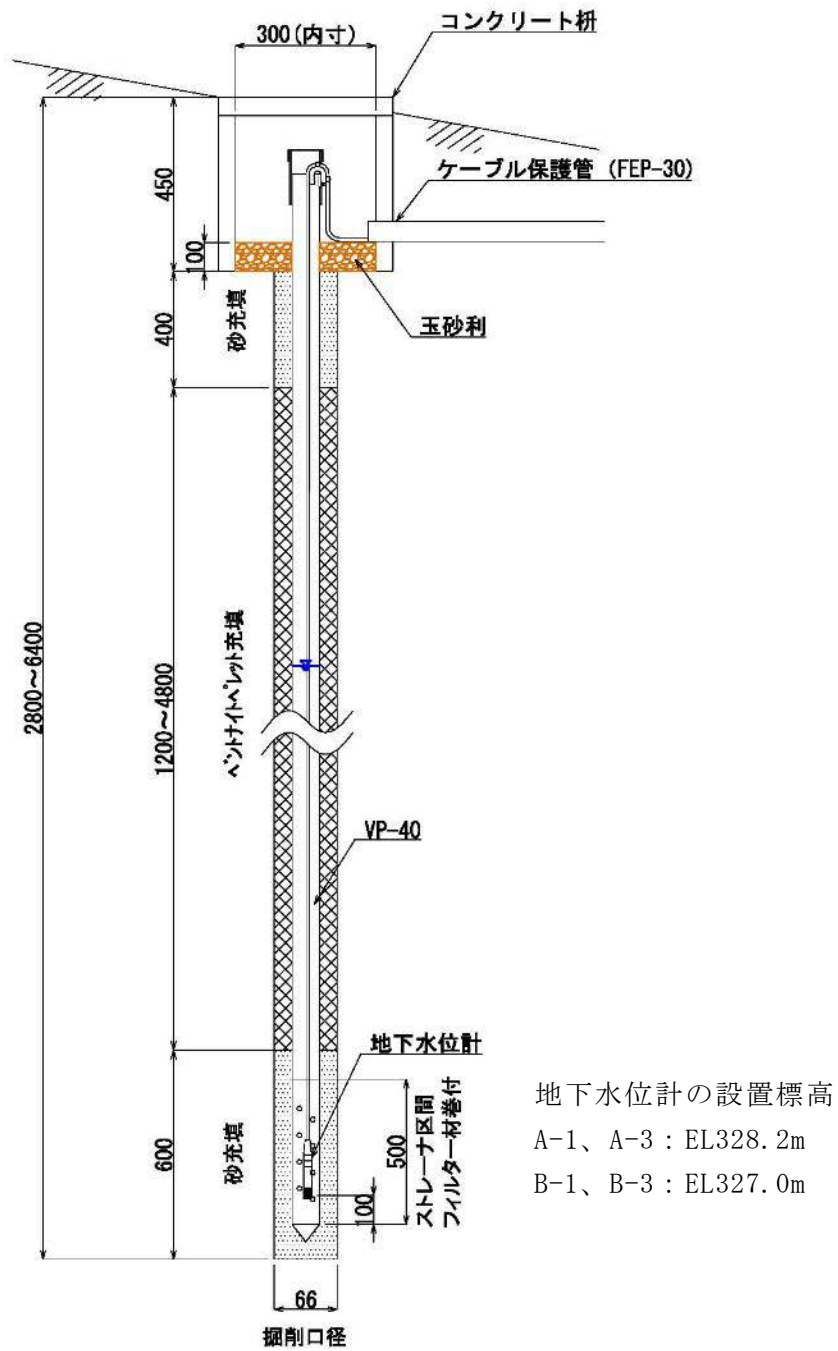
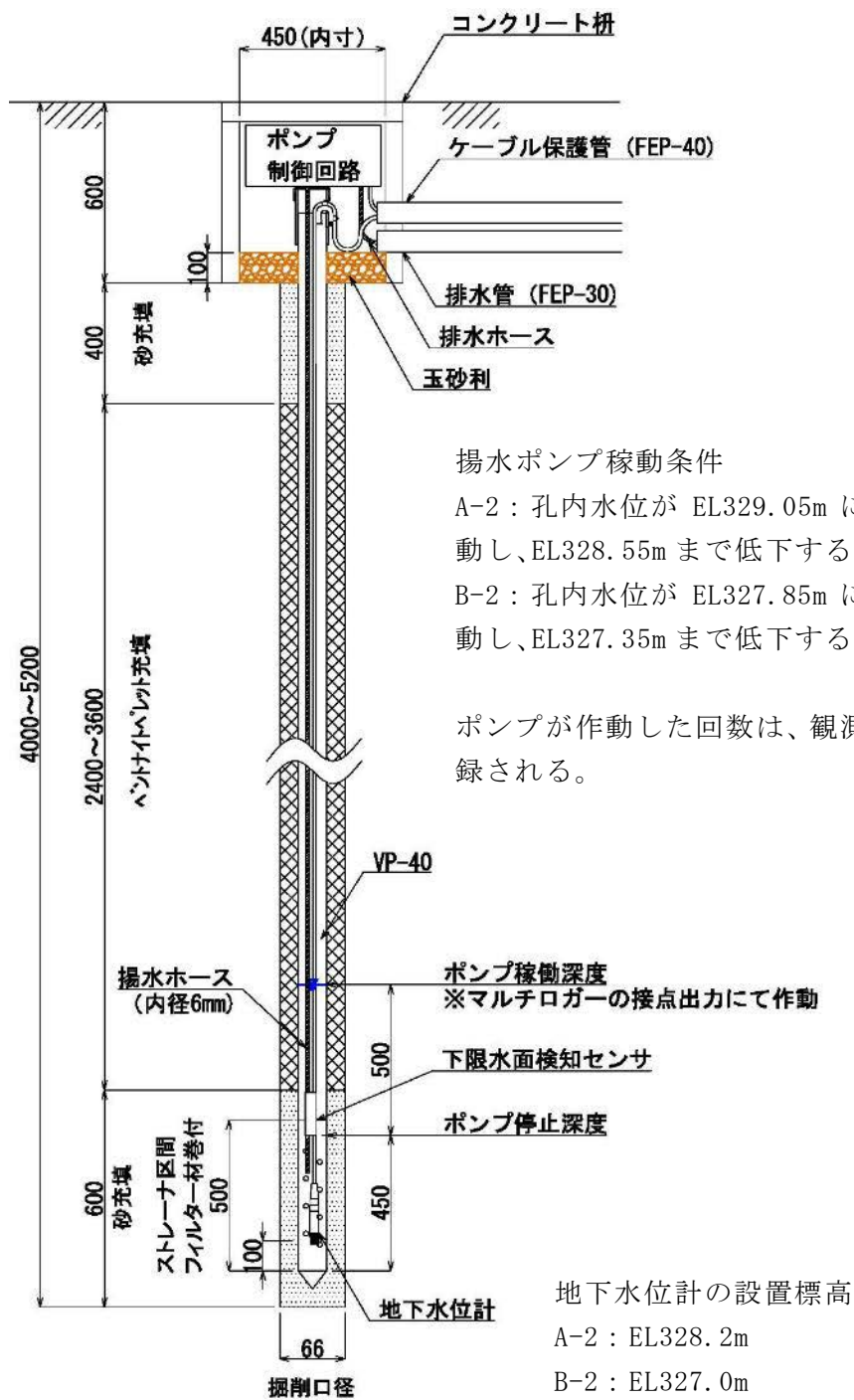


図 1.7.7 観測孔 (A-1、B-1、A-3、B-3) 内の設置図



揚水ポンプ稼働条件

A-2 : 孔内水位が EL329.05m に達すると作動し、EL328.55m まで低下すると停止する。

B-2 : 孔内水位が EL327.85m に達すると作動し、EL327.35m まで低下すると停止する。

ポンプが作動した回数は、観測ロガーに記録される。

地下水位計の設置標高

A-2 : EL328.2m

B-2 : EL327.0m

図 1.7.8 観測孔 (A-2、B-2) 内の設置図

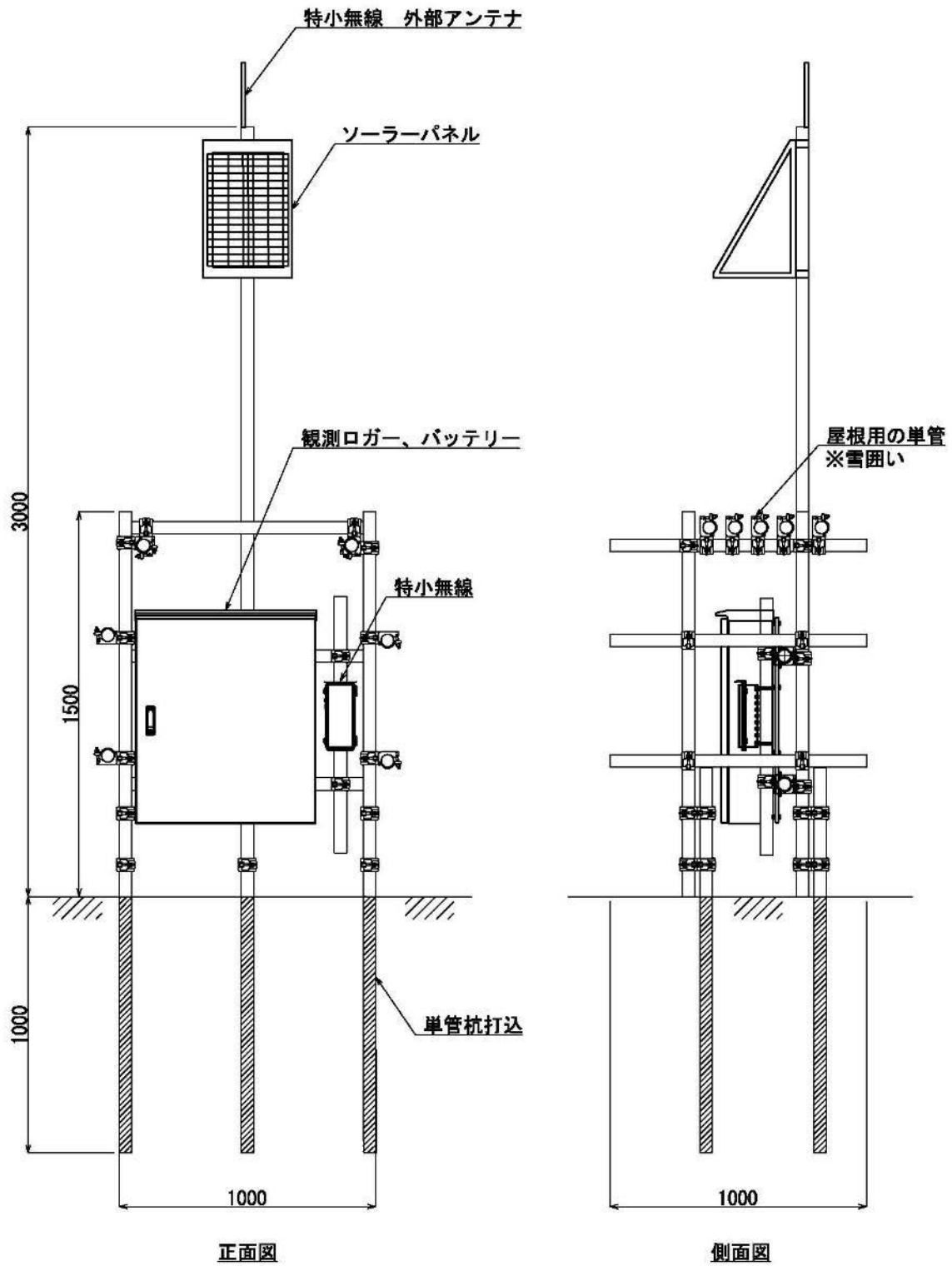


図 1.7.9 観測装置の設置図

2020 年 5 月 20 日～2024 年 3 月 27 日までの観測データを図 1.7.10 に示す。

A-2、B-2 孔の排水ポンプは、凍結故障を防止するため冬季は停止させている。

B 測線では、ポンプアップにより下流側観測孔（B-1）の水位が低下したことから上下流方向に卓越した浸透水があると考えられる。一方 A 測線では、ポンプアップの影響がみられなかったことから、上下流方向以外の水の流れが支配的であると考えられる。

両者から、全ての締固め層境界で水平方向に卓越した浸透水の流れが生じているわけではないと考えられる。

B 測線下流側観測孔（B-1）の水位がポンプアップにより低下したことは、上流からの浸透量を抑制する効果があったと考えられるが、他の観測孔ではそれは認められず、いずれの観測孔も水位が高かったことから、浸潤線の推定は困難であると判断した。

また、他の検証手法（電磁気を用いた探査など）による浸潤線の推定も困難と判断した。

なお、既設の水位観測孔においてポンプアップ開始前後を比較した場合、季節変化にともなう水位への影響はみられなかったことから、ポンプアップの影響範囲は限定的なものであったと考えられる。



図 1.7.10 A、B 測線の観測データ

リアルタイムでデータ確認可能な通信手段の実証試験として、LPWA 通信装置の 1 つである SpreadRouter による通信システムを、R3 年 5 月に構築した孔内水位観測システムに追加した。採用理由は以下の通りである。

三又ダムでの実証試験に適用する場合、Eltres は観測やぐらから天端あるいは同様に周囲が開けた場所まで有線または他の無線通信手段でデータを伝送し、そこから長距離無線通信システムを構築する必要があることが分かった。

また SpreadRouter は天端からデータ伝送をおこなったとしても、地点①（図 1.6.9 参照）までが通信可能距離であり、この地点の LTE 電波は弱く安定していなかった。

加えて、地点①は民地であった。

天端への設備構築は堤体の安全面など考慮が必要であることから、観測やぐらからダム管理事務所まで SpreadRouter で伝送し、ダム管理棟内のインターネット回線を利用することで、遠隔監視システムの実証試験とした。

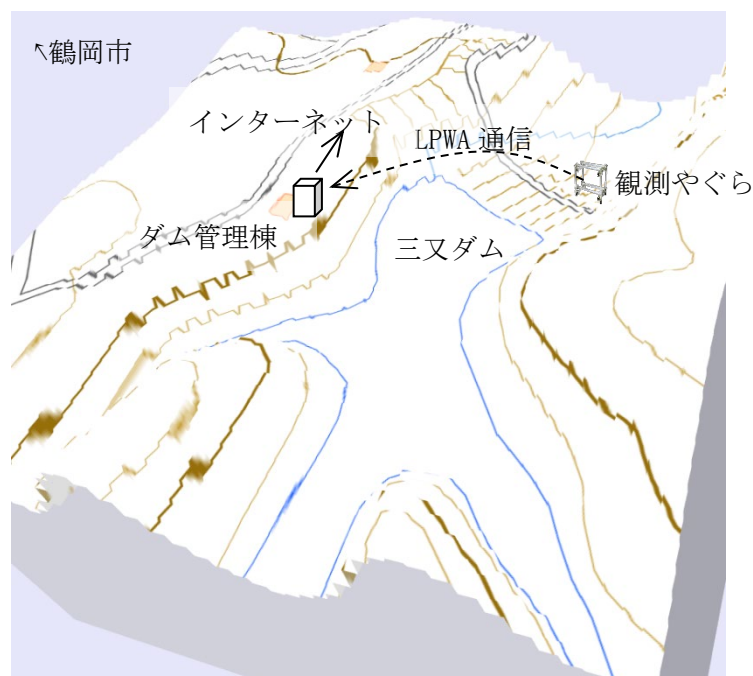


図 1.7.11 LPWA 実証試験の通信経路概要

追加したシステム構成を図 1.7.12 に、施工平面図（ダム管理事務所側）を図 1.7.13 に、施工図（観測やぐら側）を図 1.7.14 に示す。

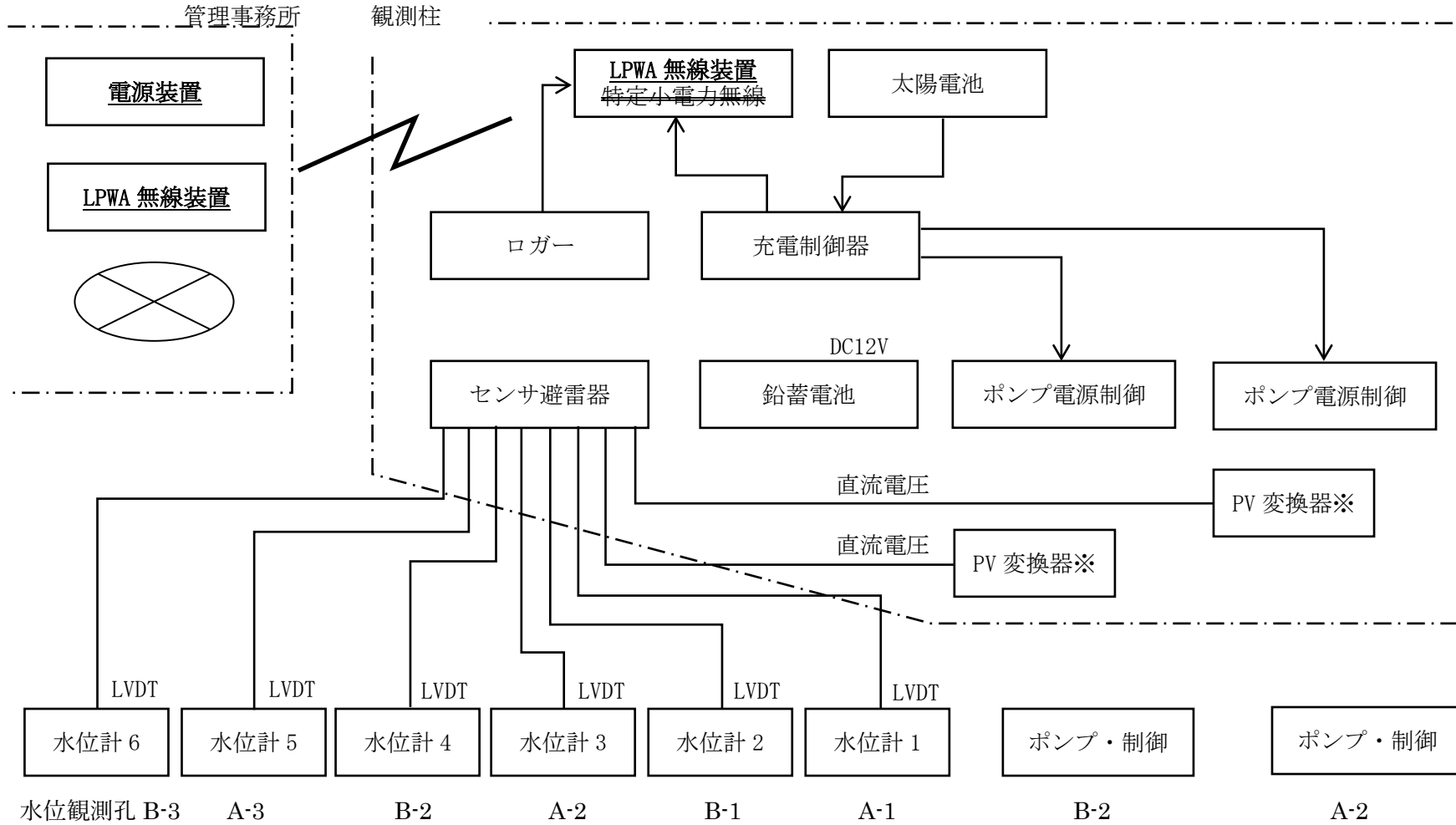


図 1.7.12 三又ダム 排水監視システム LPWA 追加構成図

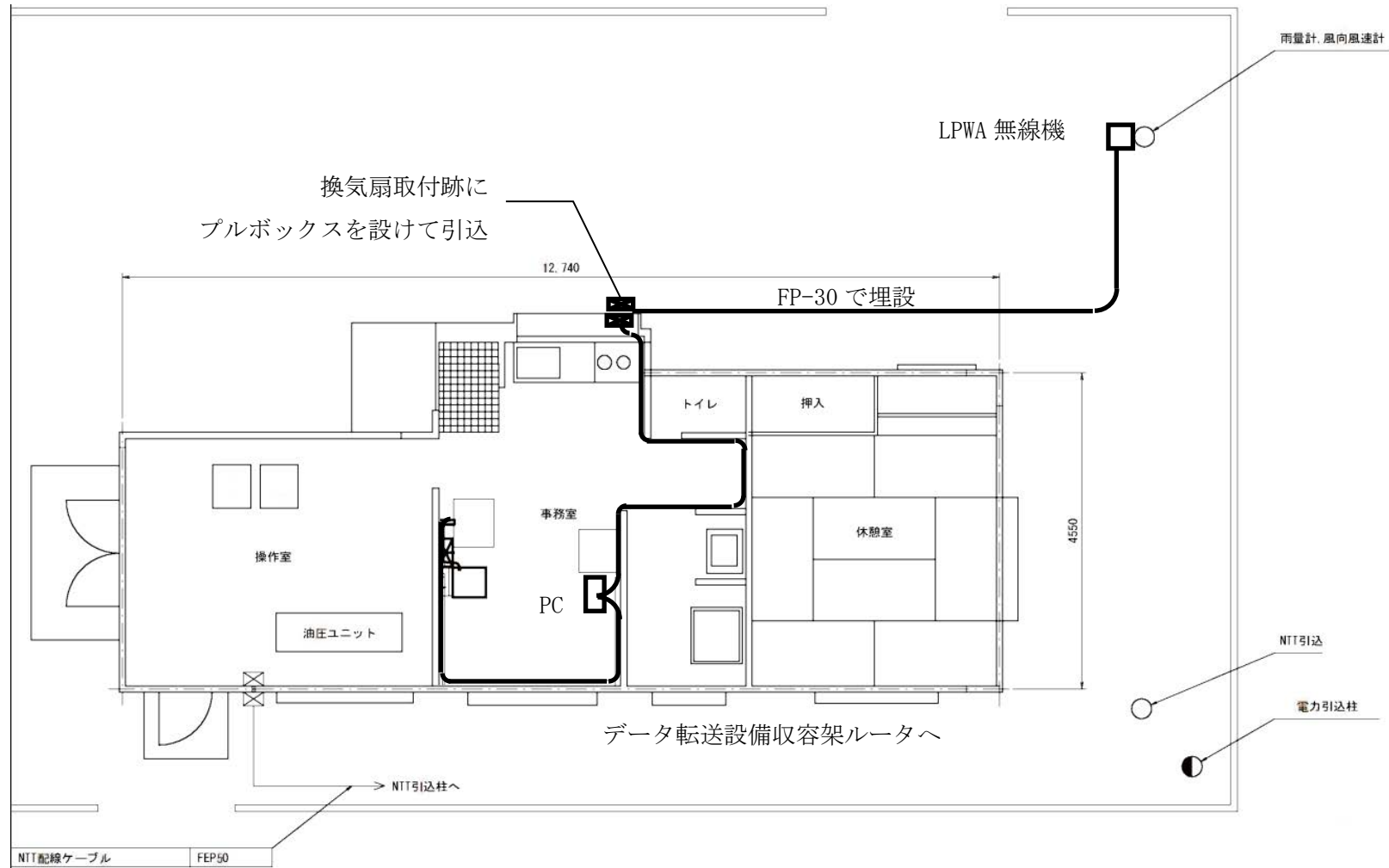


図 1.7.13 施工平面図 (ダム管理事務所)

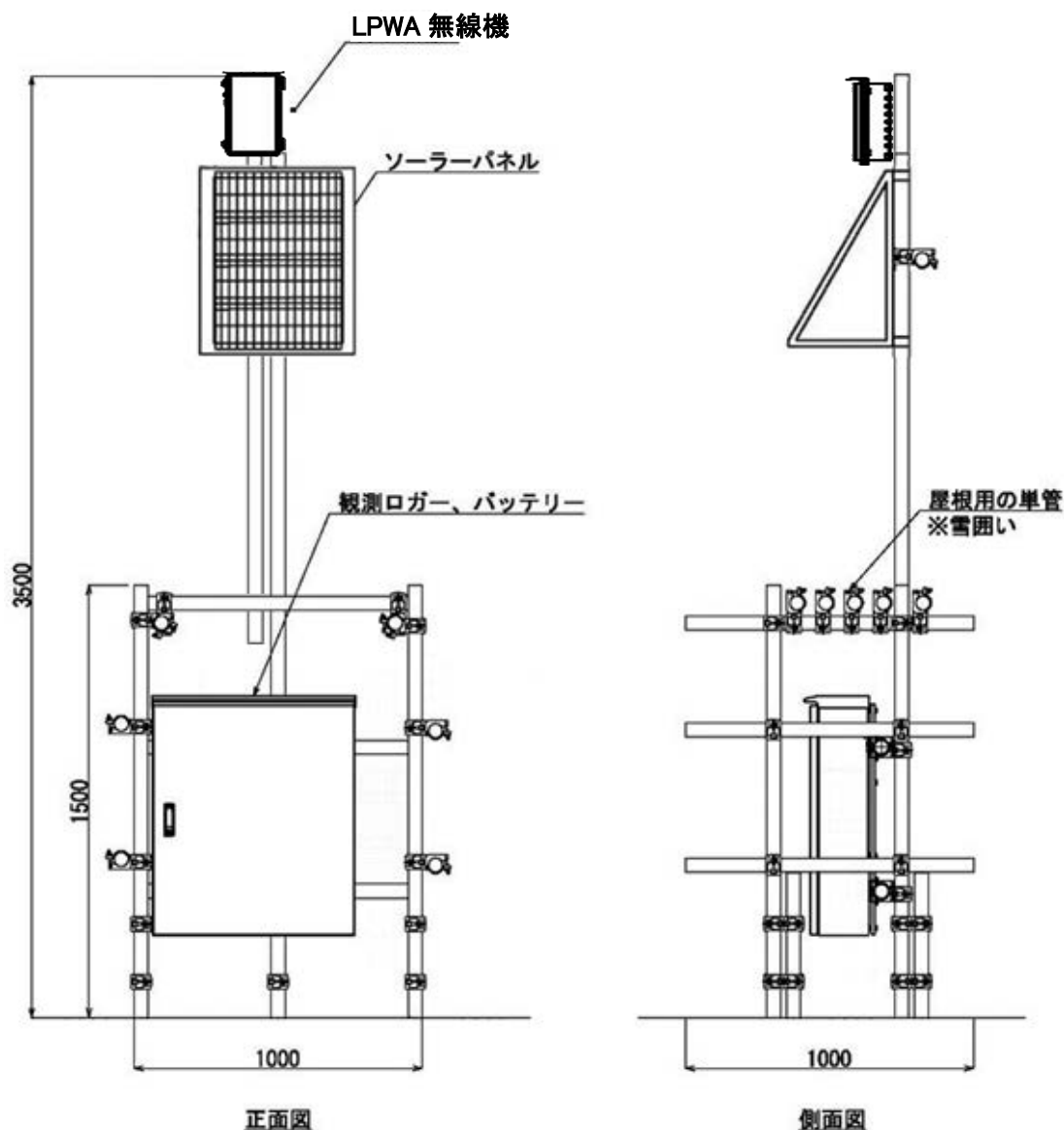


図 1.7.14 施工図（観測やぐら）

追加工事は 2023 年 9 月 11 日から 9 月 13 日にかけて実施した。システム設定の不備により、9 月 15 日から 9 月 26 日にかけて無線通信が停止したり、観測櫓側のバッテリー容量不足により 10 月 21 日から 11 月 1 日にかけて無線通信が停止していたが、上記以外の期間では、7570 回のパケット伝送に対して 7537 回の正常受信を記録しており、通信達成率は 99.6%と、冬季においても高い確率で通信が成立した（2024 年 3 月 27 日時点）。受信不良の場合は、次回のデータ送信時に補間する仕組みとなっており、現在まで欠測は生じていない。

管理事務所にネットワーク回線が引かれている場合は、ダム堤体から管理事務所まで LPWA 通信でデータ伝送し、管理事務所内のネットワーク回線積雪深よりも高い位置にアンテナを設ければ十分な実用性を有すると言える。

また、実証試験では実現できなかったが、事前に日照と疎通確認試験をおこない、最適な観測ポイントを選定しておくことで、管理棟のないため池設備でも LPWA+LTE 通信により遠隔監視が実現可能となる。

2 事業の効果

2. 1 成果の内容

本事業により観測設備のないアースダムやため池に適用可能な削孔技術、水位観測技術を確立することができた。以下に成果をまとめる。

(A) 簡便な水位観測孔の設置技術

- ① 小型軽量の鉛直方向の掘削装置を開発した
- ② 運搬、仮設が容易になった
- ③ 少ない（狭い）スペースで施工できるようになった
- ④ ポリマー系泥水を用いたスライム排除により孔壁崩壊を起こさなかった
- ⑤ 削孔速度はおおよそ 20 分～30 分/m であった
- ⑥ 削孔可能な地質条件を満たす場合は、ため池堤体以外（例えば災害斜面、軟弱地盤等）でも調査観測孔の設置が可能で、その結果は従来工法により設置した場合と遜色ないことが確認できた
- ⑦ 機械ボーリングのオペレータに頼らず運用することができた

(B) 水位観測により堤体水位をリアルタイムで監視する技術

- ① LPWA 通信に対応した水位観測装置を開発した
- ② 堤体内水位をリアルタイムで観測できるようになった
- ③ LPWA は各社各様であるが、中山間部での利用と複数データの送信を考慮すると、長距離伝送が必須である
- ④ アースダムであれば、管理棟内の観測設備でインターネット回線を利用している場所もあり、LPWA で伝送されたデータを乗せることも可能である

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

本事業で得られた成果を用いることで、以下のような効果が期待できる

- ① 掘削装置が小型軽量で、分解・再組立可能なため、搬入路や作業スペースが狭小な場所でも掘削が可能
- ② 機械ボーリングに比べて操作手順が少ないため、事前に操作説明を受けることで機械ボーリングのオペレータ以外の作業者が従事可能
- ③ 水位観測装置は独立電源駆動のため、商用電源が使用できない場所でも観測可能
- ④ Eltres、ハイパワーLoRa いずれにも対応しているため、事前の通信確認により LTE も含めた最適な通信手段が選択可能

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

掘削技術については、モノレールによる搬入の機械式ボーリングを従来技術とし、観測技術については手測りを従来技術とした。

2) 従来技術に対する優位性

① 経済性

開発した削孔技術については、観測孔を設置するための削孔費用について比較した(表 2.2.1)。

開発した削孔技術では、大型な足場等の仮設設備が不要であることから、その分の作業費約 36 万円が削減可能である。また、人肩運搬と分解が可能、再組立も容易であり、機械ボーリングでモノレール運搬が必要となる場合は、その架設運搬費約 78 万円を削減することが出来る。

表 2.2.1 機械ボーリング(モノレールあり)との作業費比較(経費除く)

項 目		金額(円)	計(円)
開発した 削孔技術	削孔	283,000	802,000
	水位観測孔設置	403,000	
	人肩運搬	116,000	
機械 ボーリング	削孔	同上	1,933,000
	水位観測孔設置	同上	
	モノレール架設	784,000	
	モノレール運搬	104,000	
	足場仮設	359,000	

観測技術については、観測設備がなく手測りで水位観測をおこなう場合と比較した。

手測りでは初期投資がないが、機材のリース料と作業員人件費が発生する野に対して、自動観測では初期投資が掛かるため短期観測でのメリットはないが、16 か月以上観測する場合は、コストメリットがある。

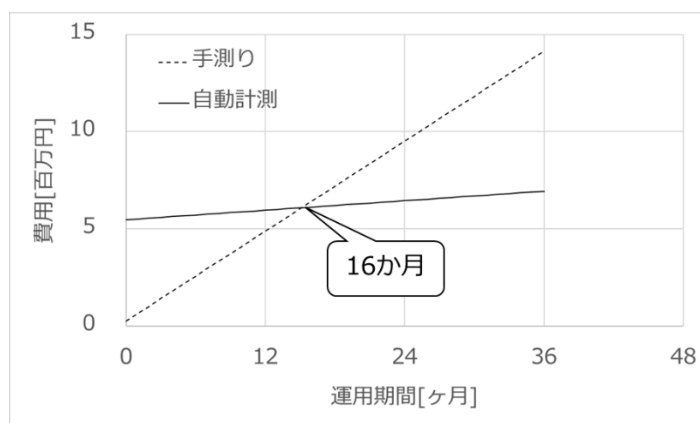


図 2.2.2 水位観測のコスト比較

図 2.2.2 の試算条件は以下に示す。

初期費用

手測り . . . 機材費（水位計、測定器 各 1）

自動計測 . . . 観測機材費、設置工事費

維持管理

手測り . . . 出張作業、データ整理費（約 40 万円／回）

自動計測 . . . 通信費、クラウド利用料（約 4 万円／月）

観測孔数：4、毎月データ回収

② 工程

開発した削孔技術はモノレール敷設や大型な足場等が不要になるため、全体工程は従来の約 46%に短縮が可能となる（表 2.2.2）。

表 2.2.2 開発した削孔技術の作業率

項目	全体	モノレール	搬入仮設	掘削
A	57.1%	なし	50.0%	75.0%
B	45.8%	あり	38.9%	33.3%
C	54.5%	なし	64.3%	37.5%
D	33.3%	あり	31.3%	37.5%
E	43.8%	なし	62.5%	25.0%
F	40.0%	あり	35.0%	50.0%
平均	45.8%	-	47.0%	43.1%

機械ボーリングの作業を1とした場合の割合

また、開発した観測技術は、観測設備の常設が必要なため短期的には従来の手測りに比べて設置工数が掛かるが、その後は現地を訪れずにデータ回収可能となる。

③ 品質

開発した削孔技術は従来と同等の掘削品質を有する。

開発した観測技術は水位計を常設するため、観測孔内を乱すことがない。

④ 安全性

開発した削孔技術は、足場や櫓を必要としないため、転落や落下物による事故のリスクを軽減することが出来る。

開発した観測装置は DC12V 駆動で、内部に保護回路が搭載されているためショートなどが生じても焼損する前に動作を停止する。

⑤ 施工性

開発した削孔装置は小型軽量で運搬・仮設も容易であり、従来の機械式ボーリングに比べて搬入から掘削・撤収までの施工性は優れる。事前に操作説明を受ける必要があるが、機械ボーリングに比べて操作手順が少ないため、オペレータへの技量依存度が低い。

開発した観測装置は日照や通信環境の調査が必要であり、機器設置もおこなうため、手測りに比べて劣る。

⑥ 周辺環境への影響

開発した掘削装置は機械ボーリングに比べて騒音レベルは小さく、作業スペースも小さく伐採等による環境負荷は限定的である。

開発した観測装置の無線通信はスマートホンなどとの通信干渉はない。

表 2.2.1 新技術と従来技術の比較

	新技術	比較する従来技術
経済性	削孔技術：80 万円 観測技術：16 か月以上で低コスト	削孔技術：193 万円 観測技術：毎月の観測作業が発生
工程	削孔技術：従来技術より 46%短縮 観測技術：設置時のみ発生	削孔技術：一般的な技術 観測技術：毎月の観測作業が必要
品質	削孔技術：従来技術と同等 観測技術：作業への依存性なし	削孔技術：一般的な技術 観測技術：作業に依存する可能性あり
安全性	削孔技術：転落，落下物による事故のリスクを軽減 観測技術：遠隔地から確認可能なため安全	削孔技術：一般的な技術 観測技術：回収のたびに移動，運搬が生じる
施工性	削孔技術：人肩運搬可能，省スペース（1.5m×2.0m）で 櫓必要なし 観測技術：事前の環境調査，機材設置作業が発生	削孔技術：モノレール等の小運搬，大規模な足場，櫓が必要 観測技術：常設機材不要
周辺県境への影響	削孔技術：騒音，伐採の軽減 観測技術：従来技術と同等	削孔技術：一般的な技術 観測技術：環境への負荷なし

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

(1) 適応範囲

掘削装置の削孔可能な地質は、ため池堤体材料で多く使用されている礫混り土（条件は N 値<14、礫径 φ50 mm以下、礫種は泥岩、凝灰岩、シルト岩）のほか、粘性土、砂質土（N 値 7～18）であった。N 値 4 以下の砂や礫については、今後検証が必要である。

観測装置は南向きに開けていて日照が確保できる場所であることに加えて、LTE 電波圏内もしくは Eltres 基地局まで直接通信ができる場所が理想である。日照は必須であるが、通信に関しては付近にインターネット回線が引かれた設備があり、その回線が利用可能であれば、その設備までの LPWA 通信網を構築することで適用可能となる。

(2) 留意点

観測孔の設置深度が削孔深度までに達しないことがあった。ロッド引抜き後から観測孔挿入に至るまでに、スライムの沈降もしくは孔壁崩壊による土砂が孔底に堆積した可能性が高い。

観測装置は独立電源駆動であるため、事前の日照確認・通信可否確認をおこない、観

測設備の設置位置とセンサケーブルの配線ルートを計画する必要がある。

プライベート LoRa を使用する場合は 20mW を超える高出力のため、陸上移動局の免許登録が必要である。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

施設管理者 (地方農政局、自治体)

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

2024年度から製品化

学協会誌への論文投稿

実用新技術講習会での紹介

自治体主催の新技術、新工法説明会での紹介

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

技術資料・積算資料作成

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

掘削技術は実用新案申請予定

4 研究統括者による自己評価

審査の ポイント	着眼点	申請時 計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価 の理由 ^{注3}
目標の 達成度	・効果 (従来技術に 対する優位性)	・低コスト, 短時 間で施工可能, オペレータの技 量依存度が低 い。 ・16 か月以上の 観測でコスト優	A ; 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	省スペース, 短期で運 搬, 仮設, 施工が可能、 かつ長期運用で観測 コストの低減は計画 通り。
	・信頼性 (品質、精度、安 全性、耐久性 等)	・観測孔の設置 ・観測機材の設 置, 運用	A ; 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	観測孔は従来同等、観 測データは高信頼。 LPWA も導入。
	・適用範囲・適 用条件等	・ため池堤体で の掘削, 観測孔, 観測機材の設置	A ; 広範囲に適用 B : 概ね妥当 C : 限定的	・ため池堤体の他, 粘 性土, 砂質でも適応可 能であった。
普及の 可能性	・想定される利 用者への普及 啓発の方法	・学会誌等への 新技術の発表 ・HP などのネッ ト活用	A ; 十分な利用 が見込まれる B : 概ね妥当 C : 限定的	・低コストで高信頼の 削孔, 観測技術である ことをアピール
	・利用者に対す るサポート体制 (設計・積算・施 工等の参考資 料、技術窓口等)	・調査の手引き 及びマニュアル の整備	A ; 十分に整備さ れている B : 概ね妥当 C : 改善が必要	・施工手順が少ないた め, 短時間で施工方法 を習得できる。
総合コメ ント ^{注4}	当初計画目標を概ね達成し、技術の確立ができた。ただし浸潤線観測は現地状況により不達成だった。今後は、削孔装置および通信手段の適用範囲拡大を図る予定である。			

注1) 成果報告書に記載の研究開発目標を記載する。

注2) 評価結果欄はA・B・Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入(○付け)する。

注3) 自己評価の理由を記載する。

注4) 総合的なコメントを記載する。

5 今後の課題及び改善方針

(1) 適応土質の精査

削孔技術は試掘を続け、削孔可能な地質条件の精度を上げる。

(2) 掘削後のスライム沈降など

スライム沈降区間を設ける予掘りの実施、スライムの排出を確実にするためのコアチューブの改良及び手法を確立する。

(3) 通信手段の改善

LPWA は設置位置や借地など制約がある。

NTN など発展途上にある通信技術の適用を図り、適用範囲を拡大する。