

急傾斜地で確認した防空壕跡の調査対策検討事例

技術本部 道路構造部
REPORT 小岩 晃 RCCM(地質・道路)



小岩 晃

概要

本稿は、急傾斜地内で確認した「防空壕跡」が計画中の崩壊防止施設と干渉するリスク（設計・施工中の不具合）に対し、関係者への聞き取りや資料収集、過去の調査事例などから空洞調査を立案し、防空壕跡の規模や状態を明らかにすることで最適な空洞対策の提案・設計を行った事例報告である。

キーワード ◎急傾斜地 ◎防空壕跡 ◎土留柵工 ◎360°カメラ ◎流動化処理土

1. はじめに

当該地は、延長約150m、崖高10~13mの急傾斜地内にあり、上下部に宅地や駐車場などが存在している。また、斜面の地質は、新第三紀鮮新世の凝灰質砂岩が大部分を構成し、その上位（地表部）に層厚1.0~1.5mの腐植混じり火山灰質シルトに対比される不安定土塊が分布する。このような地形地質を有する斜面が異常気象の影響で崩壊すると、人命や財産に甚大な被害を及ぼすことが想定されるため、本業務では当該地の条件やコストに優位な「土留柵工」を推奨していた。



写真-1 急傾斜地全景(空撮)

2. 壁面の確認

業務期間中、斜面下部の2箇所写真-1~2に示す「壁面」の存在を確認した。

これらの「壁面」は、縦横1.5~2.0mの土のう又はコンクリートで造られ、初見で土留め施設の様に見えたが、近隣に住む土地所有者への聞き取りで「コンクリート壁は防空壕跡の入口を閉塞したもの」とあるとの情報が得られた。



写真-2 斜面下部で確認した2箇所の「壁面A・B」

3. 空洞残置のリスク

住民の情報提供によって、これらの壁面が防空壕跡である可能性が高まったことで、土のうの壁面Aを「防空壕跡A」、コンクリートの壁面Bを「防空壕跡B」と名付けた。また、懸念事項として、防空壕跡A・Bは、空洞の存在をはじめ断面形状・方向・延長などの規模が不明であり、空洞を残置した状態で「土留柵工」を施工すると次のような設計・施工上のリスクが考えられた。

(1) 設計上のリスク

①横方向地盤反力の低減

土留柵工のH鋼杭に作用する外力は、不安定土塊の移動による推力や崩土の堆積などの土圧から算定される。その外力が作用する杭の変形に対して“地盤のクッション(バネ)”となるのが「横方向地盤反力」である。理論上、横方向地盤反力が小さく軟らかい地盤ほど杭の規格（断面）が大きく杭長が長くなることから、空洞が存在する場合は設計した杭の応力不足が予想される（図-1）。

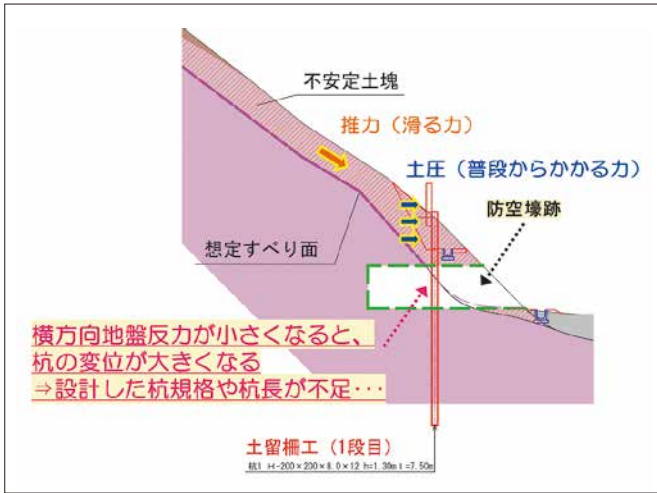


図-1 横方向地盤反力

(2) 施工上のリスク

①注入モルタルの流出

注入モルタルは、削孔(φ300)した地山とH鋼杭(H200)を一体化させる工法であるが、削孔が空洞に少しでも干渉するとモルタルが流出して注入不足となり、杭の傾倒が発生するおそれがある(写真-3)。



写真-3 注入モルタル状況

②仮設の不安定化

土留柵工の施工では、斜面に設置した仮設足場の上に大口径ボーリングマシン等の機械を据え付け、横移動しながら所定の場所で削孔とH鋼の建て込みを行う。

このような作業を土被りの小さい空洞の直上で行うことは、荷重の増加や振動の影響によって空洞が崩壊し、地山崩壊を引き起こす可能性がある(図-2)。

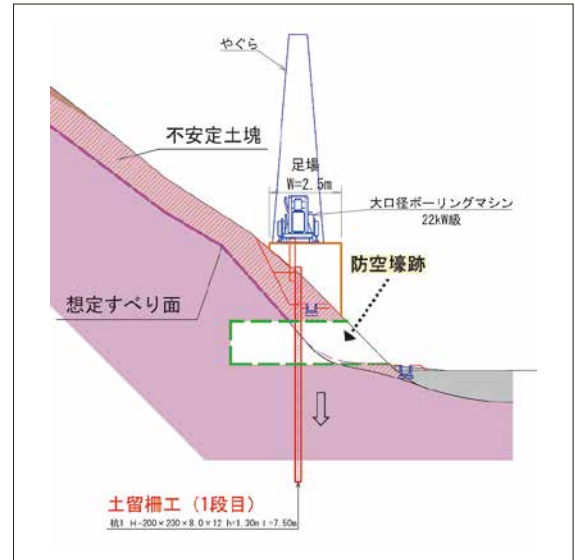


図-2 仮設足場の不安定化

4. 資料調査

前述した設計・施工上のリスクを予見した上で、次の資料調査を実施した。

(1) 官公庁や土地所有者への聞き取り

図-3は、官公庁への聞き取りによって入手した「防空壕跡A」の地下壕台帳である。これには、過去の敷地造成工事で発見された防空壕跡を土のうで閉塞したことやその際に計測した奥行き・断面形状が記載されていた。

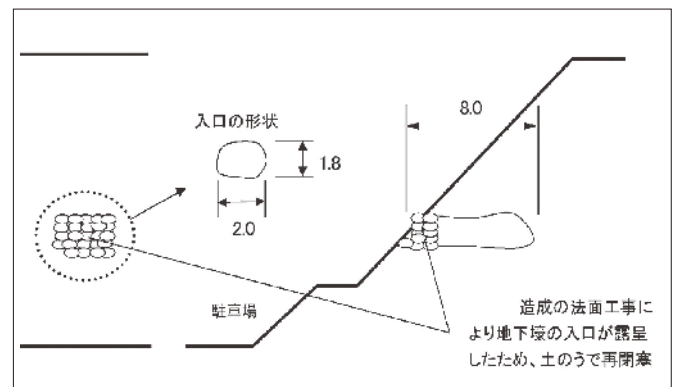


図-3 防空壕跡Aの収集資料(地下壕台帳)

そして、図-4は、土地所有者の記憶をもとにスケッチした「防空壕跡B」であり、“子供の頃に空洞内でよく遊んだこと”、“奥行き5mほど先で右に曲がってすぐ行き止まり”、“水が溜まっていた”、“昭和50年代には現在の様に閉塞されていた”などの情報を得た。

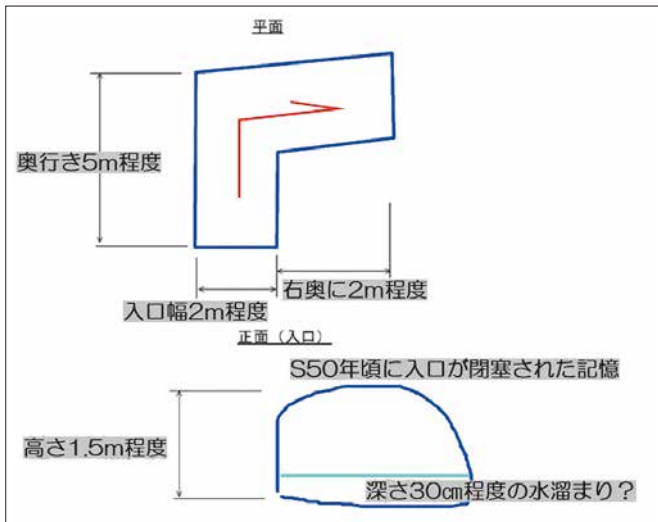


図-4 防空壕跡Bの平面・正面図(聞き取りによるスケッチ)

資料調査の結果、2つの壁面は防空壕跡と断定した。しかし、この時点で、空洞の規模は記憶レベルの情報に留まり、壁面(入口)からの奥行き方向も不明確であった。

(2) 空洞調査に関する既存資料

本業務の様に、急傾斜地で防空壕跡が確認された事例は道内に幾つかあり、空洞を確認する方法に地中探査などが実施されている。しかし、今回参考とした既存資料には、明確な空洞形状の特定まで至らなかったことが記載されていた。

5. 空洞調査

前述した資料調査の結果に基づき、今回の防空壕跡は、入口が明確で空洞の全体が比較的小規模と想定される。このため、空洞内部の調査に当たっては、安全性の観点から立ち入らないことを前提とした上で、入口の一部を開口して確実性・経済性で優れるカメラやスタッフなどを挿入する手法を採用した。

調査に用いた機材は、照明器具、計測用のスタッフや測量機器、そして360°カメラ(全球カメラ)である。360°カメラは、Bluetooth接続でスマートフォンの画面を見ながらリモート撮影を行った(写真-4)。



写真-4 撮影機器
(スマートフォンと360°カメラ)

空洞内部調査の状況は、それぞれ次のとおりである。防空壕跡Aは、土のうを撤去するとすぐ背後に空洞が確認され、調査を速やかに行うことができた(写真-5)。

一方、防空壕跡Bは、コンクリートの開口に厚さの把握が必要であった。そのため、電動ドリルで削孔し、30cm程度の厚さを確認してはつりに問題無いことを確認した上で、50×50cmの小窓を開けて調査した(写真-6)。



写真-5 防空壕跡Aの調査状況



写真-6 防空壕跡Bの調査状況(はつり、開口状況)

写真-7は、防空壕跡B内部の静止画像である。360°カメラは文字通り全方向の撮影が可能で、180°以上撮影できる超広角レンズを2枚搭載し、それぞれ撮影した画像を組み合わせ1つの画像に処理する仕組みである。このため、現地ではカメラを空洞に挿入し撮影記録するだけで、机上ではマウス操作のみ、いわゆるストリートビューの感覚で“入口～空洞の突き当り”、“上面～下面”などを自由に確認することが可能である。この撮影方法は、現地踏査時の取りこぼし防止にも有効である。また、採寸方法は、スタッフやノンプリズム測量によって計測した。



写真-7 防空壕跡の内部状況(360°カメラ)

図-5～7は、空洞調査の結果をもとに作成した防空壕跡の平面・横断図であり、空洞の形状が、資料調査や聞き取りレベルの情報に対してより詳細に判明した点を以下に示す。

(1) 奥行き方向

平面的な空洞の奥行き方向が、斜面コンターに対して概ね直角であった。

(2) 防空壕跡の横断平面形状

防空壕跡Aは、入口から1.3mほど下り、所々崩壊跡も確認された。また、防空壕跡Bは、土地所有者の記憶と正反対で左曲がりであった。

(3) 新たな空洞が存在しない

この調査で得られた最も重要な情報の一つに、奥行きや上方につながる新たな空洞、いわゆる“蟻の巣状態”の空洞で無いことが明らかになったことである。

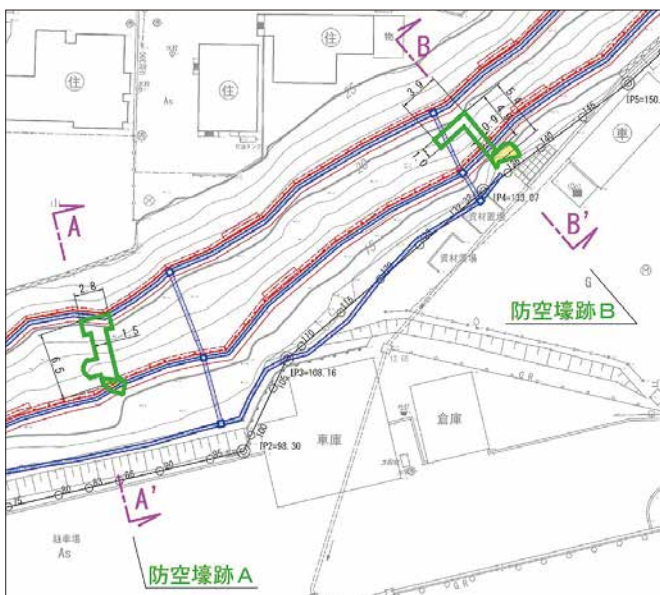


図-5 防空壕跡A・B平面図(空洞調査後)

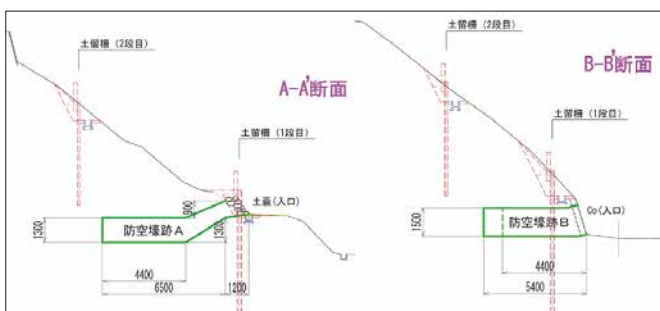


図-6 防空壕跡A・B横断図(空洞調査後)

6. 空洞対策

防空壕跡の内部が明らかになったことで、土留柵工の設計・施工に対するリスク対策を検討した結果、「流動

化処理工法」で空洞を充填することを選択した。本工法は、現地発生土の再利用が可能で、固化後も通常の土砂～軟岩程度の強度を有し削孔が可能である。また、当該地が常設プラントから2時間以内で運搬可能な場所に位置し、現地プラントの設置及び借地を必要とせずコスト削減が図られる。さらに、将来的な空洞崩壊防止効果や、2016年に発生した博多駅前の道路陥没復旧に採用された実績なども選定理由となった。

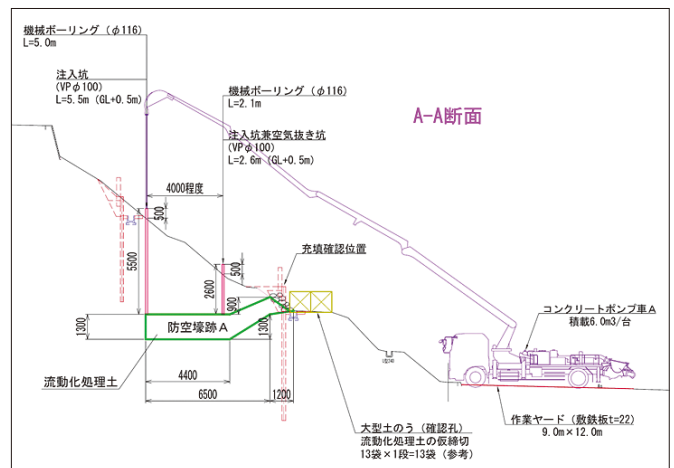


図-7 防空壕跡A横断図(流動化処理工法の施工)

7. おわりに

(1) 他の防空壕跡の存在

今回、十分な聞き取りや資料調査を行ったものの、当該急傾斜地に他の防空壕跡が存在しないだろうか?ということである。例えば、入口が緑化され自然と同化した空洞が存在すれば、調査で取りこぼした可能性がある。そのためには、地中探査の最新技術や有効性をさらに検討する必要があると考える。

(2) 空洞調査の精度向上

調査の精度を向上させるには、空洞内部の3Dデータ取得が考えられる。今回の調査は、簡易計測やカメラ・目視などの確認だったが、空洞内には凹凸も多数あり内部の精度が確実とは言えない。3Dデータを取得できれば、構造物干渉の可視化によるミス防止や流動化処理土の充填数量に対する精度向上が期待される。

現在は、スマートフォンでも3Dデータの取得が可能となっている。それには、暗闇や耐水性など現場・環境条件に適応可能な機器の情報収集が必要である。

(3) データベース化

インフラ施設の全数から見ると今回のような事例は少ないものの、陥没に起因する防空壕跡や炭鉱跡などをデータベース化することで、施設設計をはじめ防災や維持管理に貢献できるのではないかと考える。