

長尺なグラウンドアンカーにおける 削孔精度向上の工夫について

太田 宗男¹・竹内 廣高²

¹㈱安藤・間 四国支店 営業部 (〒760-0040香川県高松市片原町11番地1)

²㈱安藤・間 大阪支店 土木部 冷水斜面对策作業所 (〒638-0322奈良県吉野郡天川村南日浦396)。

奈良県吉野郡川上村に位置する高原トンネルは、地すべり活動が原因とされる亀裂が覆工面に多数発生し、種々の地すべり対策工の検討を経て、グラウンドアンカー工（以下、アンカー）が選定された。推定地すべり面は深く、設計アンカー長が最大80mを超える前例が稀な長尺アンカーの施工が求められた。一般的にアンカー体間の距離が1.5m以内に近接した場合には、アンカーの設計にグループ効果¹⁾を考慮する必要があることから、長尺アンカーの削孔精度の管理が重要となる。

本論では、隣合うアンカー先端での離隔を確保するため、様々な施工の工夫を行った内容と、削孔精度の計測を通じて得られた孔曲りの傾向について考察するものである。

キーワード 地すべり、グラウンドアンカー工、長尺、孔曲り、グループ効果

1. はじめに

当工事のアンカーは水平3m・鉛直2m間隔で配置計画されており、グループ効果を考慮しない原設計思想に準じるには、**図-1**に示すように1本当たりの孔曲りを75cm以内する必要がある。また、施工箇所は、中生代ジュラ紀から白亜紀の付加体である混在岩が分布し、様々な岩種が区別なく入り混じった複雑な地質となっている²⁾。このような地山に80m超のアンカーを施工した事例・削孔精度に関する測定事例や十分な知見も見当たらない。

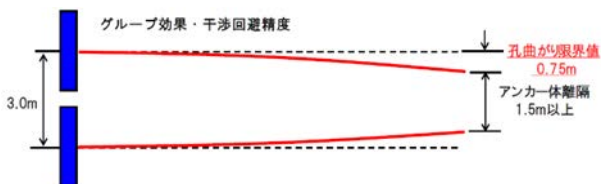


図-1 孔曲り概要図（水平方向の場合）



図-2 現場周辺の地質図³⁾

2. 孔曲り抑制の工夫

隣合うアンカー同士の離隔を確保するため、アンカー削孔時の孔曲りを抑制するために実施した施工時の工夫を以下に述べる。

(1) 大型削孔機の使用

様々な岩種の入り混じった地質での施工となるため、アンカー挿入のための削孔に使用する削孔機は、適用地質が広いロータリーパーカッション式削孔機を使用した。削孔機の規格は土木工事標準積算基準書では55kW級が標準積算とされているが、削孔長が長く硬質な地質も存在するため、**写真-1**に示す165kW級の大型削孔機を使用することとした。



写真-1 ロータリーパーカッション式削孔機（165kW級）

長尺かつ硬質な地山の削孔に対して、大型削孔機を使用することで削孔能力に余裕を持たせ、削孔機への負荷を抑制して削孔を安定化することで削孔精度の向上に繋がっている。

(2) 足場・削孔機の固定

削孔中の揺動による削孔機のズレを防止するため、法面にロックボルトを打設して削孔機の足場の滑動を防止した。足場には型枠支保工で使用する材料を使用して硬固なものとするとともに、荷重分散を目的として敷鉄板同士を溶接・一体化した。敷鉄板に吊りピースを溶接し削孔機をワイヤー及びレバーブロックで固定し削孔機のズレ防止を行った。削孔機の固定状況を写真-2に示す。

削孔初期はケーシングが地山に貫入している長さが短いため、ケーシングと削孔機が自由に動きやすく、削孔方向のズレが生じやすい。特に削孔初期は削孔機のズレを計測管理しながら削孔し、ズレが生じた場合は再削孔を行うことを計画していたが、再削孔を実施した箇所は798箇所中2箇所であった。以上の足場・削孔機の固定対策により、削孔機の揺動を抑えたことによる効果があったものと評価できる。



写真-2 削孔機固定状況

(3) 削孔データ・スライムの採取

長尺削孔中に孔曲りを誘発する要因として、地質の不均質性が挙げられる。削孔断面中に軟質な地盤と硬質な地盤が同時に出現する場合には、削孔に対する抵抗が少ない軟質方向に曲がりやすくなるものと推察される。そこで、削孔中の削孔速度、回転トルク、給進力、打撃圧力、空気圧等の各種削孔機械データを、削孔長10mm毎の計測間隔で全削孔延長で取得した。また、全ての施工箇所での削孔1mごとの削孔スライム採取し、既存のボーリング調査調査結果と照らし合わせ、地質を判定した(写真-3)。

削孔データと削孔スライムから、地質の変化や最適な削孔方法を施工にフィードバックし隣接する施工箇所での地質状況を予見しながら施工することで、削孔精度向上に繋がった。



写真-3 削孔スライム採取状況

(4) 孔曲り測定

50mを超えるアンカー305本の10%の31本に対して、孔曲り測定を実施した。測定方法としては、削孔後にインナーケーシング内に50回/secで連続サンプリングが可能なジャイロセンサー（TUG-NAVI）を挿入し、先端までの孔曲りを測定する。この孔曲がり測定結果と、前述の削孔データ・スライム採取から、どのような地質で孔曲りが生じやすいかを分析しつつ施工を進め精度向上に繋がった。ジャイロセンサー（TUG-NAVI）の仕様を図-3に示す。

TUG-NAVI 標準品一覧

		TAG0010
位置精度(概計測)	①	3/1000~2/1000
	②	5/1000~3/1000
センサ構成	角速度	③ TRS×3軸
	加速度	④ MEMS×3軸
センサ部外形	⑤	φ50×907(mm)
質量	⑥	7Kg以下

※1 精度: 概計測時間: TAG0010とTAG0011は連続5分以内、TAG0011は連続10分以内
 ※2 TRS: Twin axis Rate Sensor
 ※3 DRS: Dual axis Rate Sensor
 ※4 MEMS: Micro Electro-Mechanical Systems
 ※5 外形・質量・ガイド機構等の外形及び質量は含まない。

図-3 ジャイロセンサー仕様

3. 孔曲がりの傾向及び精度

施工中に実施した孔曲がり計測の結果は最大で、削孔長が81.5mの箇所では鉛直方向が下に71.7cm水平方向が右に58.4cmという結果であり、グループ効果の考慮が必要ない値であった。最大の値となった箇所は削孔長の長い最初の箇所であり、その後はこれ以上の値が出ることは無かった(図-4)。

本節では、孔曲りの傾向と施工時に1m毎に採取した削孔スライムの地質区分自体との関連性を統計的に整理して考察する。

(1) 孔曲がり量と地質の関係

施工中に実施した孔曲がり計測の結果から、孔曲がりは地質区分間の遷移領域で卓越することが分かっている。全ての計測結果に対して鉛直・水平の孔曲がり変化率を整理したところ、全ての地質に対して正規分布に近似していることが判明した。図-3に各地質区分に対して、鉛直・水平の孔曲がり変化率を正規分布に近似した結果を示す。方向性については、鉛直方向では下向き（重力）方向が卓越するもの、水平方向には左右の優位性は認められなかった（図-5）。

(2) 孔曲がり量と削孔機械データの関係

施工中に削孔機械から得られた各種データ（削孔速度 回転トルク・給進力・打撃圧力・空気圧）のうち、削孔速度と回転トルクに着目して統計的に整理して考察する（図-6）。

a) 削孔速度

削孔速度の分布を地質区分毎に近似整理した。地質毎

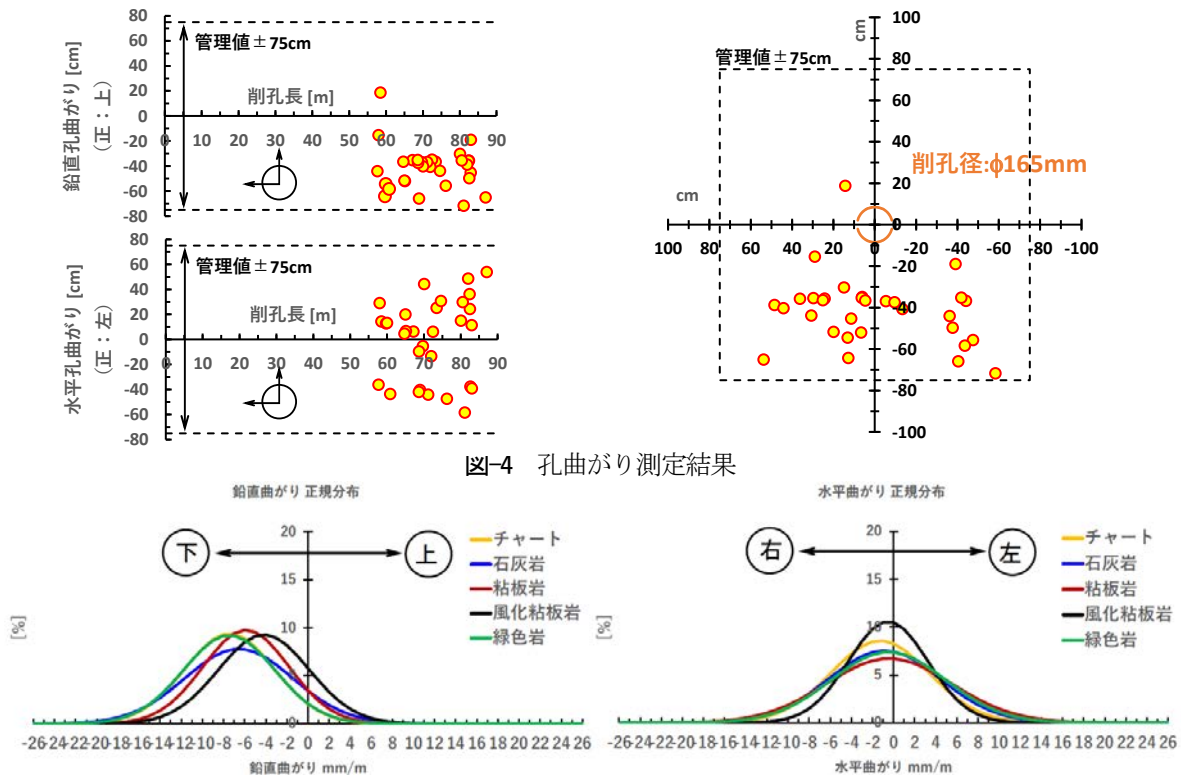


図-4 孔曲がり測定結果

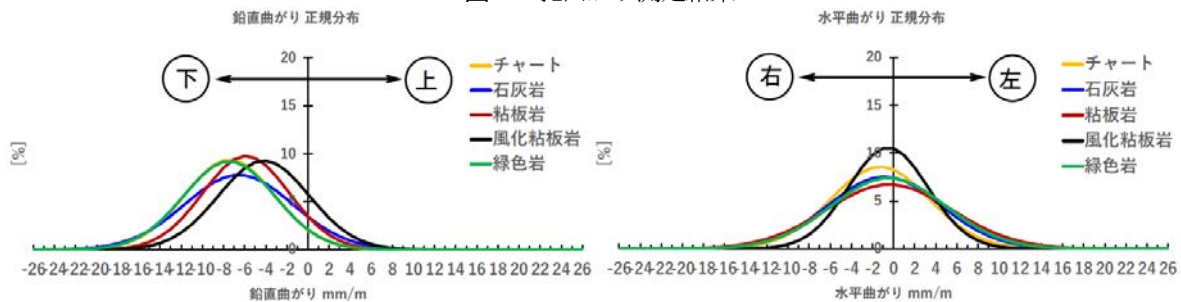


図-5 孔曲がり変化率と地質区分の関係

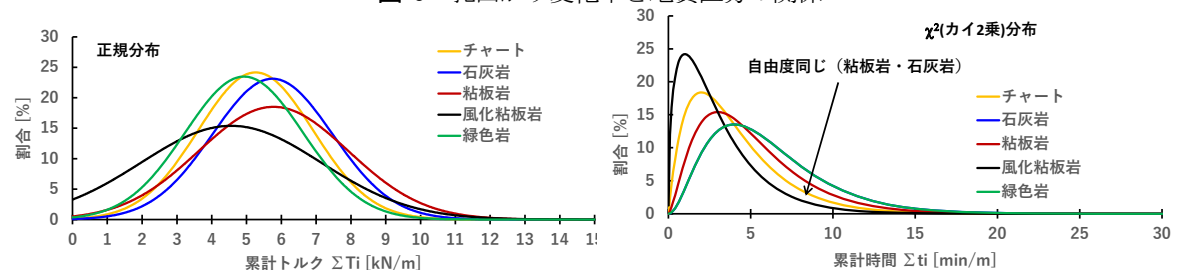


図-6 削孔速度の地質毎の分布と孔曲がり変化率の関係

に整然とした結果が得られ、削孔速度が速い順に、風化粘板岩>チャート>粘板岩=石灰岩>緑色岩となり、分布幅も同様の順番に小さい結果が得られた。また、孔曲がり変化率との関係は、鉛直・水平ともに-20mm/m～15mm/mの範囲に削孔時間に寄らず分布していることから、孔曲がり傾向と削孔時間との関連性は小さいこと、さらには、地質区分毎にその関連性は同様であることが判明した。

b) 回転トルク

孔曲がり測測を実施した施工箇所の回転トルク (kN/m) の分布は正規分布に近似しており、回転トルクは5～7kN/mを中央値として分布することは各地質に共通し、粘板岩・風化粘板岩のバラつきが比較的大きい。また、5～7kN/m程度で孔曲がり量の最大値を迎えるが、それ以上の値はバラつきや頻度が少ないことから、ある一定以上の値に至って削孔ツールに負担が掛かるような状況に至った際は、オペレータの技能により制御していることが推察される。

(3) 削孔地質のデジタルツイン

上述した通り、孔曲がりの変化を生む因子として地質区分間の遷移領域が強い。地質自体・削孔機械データと孔曲がりとの関連性を評価した結果、どりたも明確な関連性は認められなかった。したがって、削孔精度管理には、削孔中に遷移領域を予測することが求められた。

混在岩質で形成される地すべり土塊内の複雑な地質の遷移領域を、削孔時に予測しながら削孔管理に反映させることを目的として、得られた地質情報を深層学習させて、図-7に示すように削孔時のスライムから地質を推論するプログラムを搭載したWEBアプリケーションを構築した。これにより、施工進捗に伴って地すべり土塊内の地質を3次元的に見える化し、遷移領域の予測に活用して施工を進めた。WEBアプリケーションであるため、アカウントがあれば誰でもどこでも共有することが可能である。AI分析による地質を3次元モデリングして視覚化することによって、先行施工結果の集合を参考にしながら、施工箇所の地質状況を予測し施工に配慮できることが可能であり、意義深いものであると評価する。

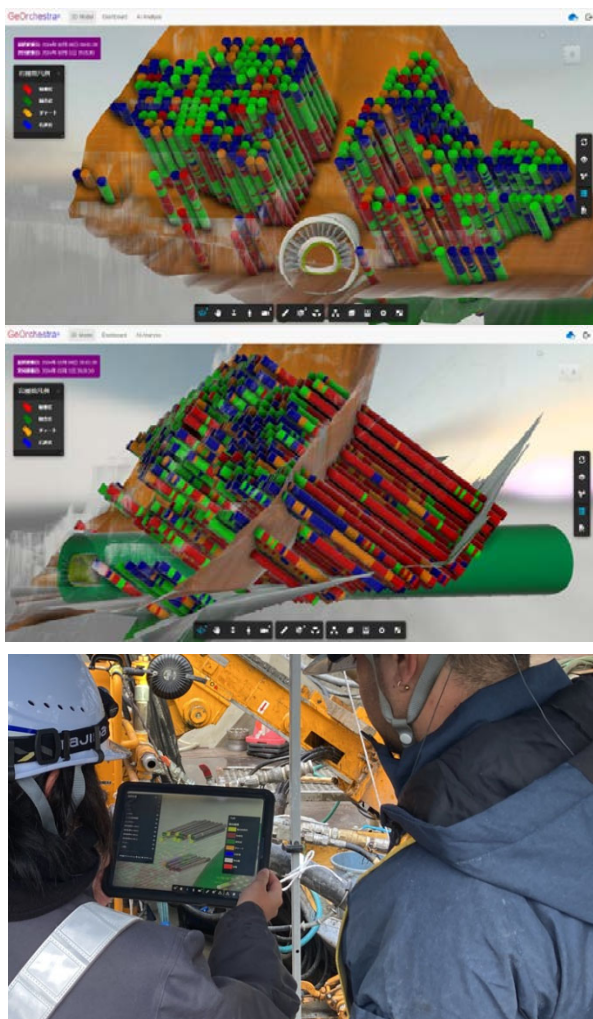


図-7 削孔地質のデジタルツイン

4. おわりに

本工事の特徴は、前例のない国内最長クラスのグラウンドアンカーの多数本施工である。また、非常に複雑な地層構成を有する混在岩中で、80mを超える長尺なアンカー施工が十分に可能であることは、複数計測した孔曲がり計測結果からも明らかであり、これは、グラウンドアンカーの適用範囲を大幅に広げる非常に貴重な施工実績であったことは言うまでもない。気象災害の甚大化・頻発化に対する自然災害対策の一つが斜面防災であり、既存のインフラ施設に対する予防保全的な気運の高まりもある。その中で、長尺なグラウンドアンカー工という選択肢としての貴重な施工実績、類似工種の今後の参考になれば幸いである。

謝辞： 前例のない長尺アンカーが互いに干渉しない高い精度の削孔が可能か否かという点の不確実性を払拭することが難しく、国土交通省近畿地方整備局様のご指導、土木研究所様のご助言なども賜り、全ての孔曲がり計測で規格値を十分満足した結果となった。このような高品質な施工が行えたことを携われた皆様に末筆ながら厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (JGS4101-2012)，2020.2.
- 2) 奈良県吉野土木事務所：一般国道 169 号 高原トンネル周地すべり対策工 詳細設計業務委託 (災害復旧関連調査委託費) 第 31 災委 602-委 7 号，2020.5.
- 3) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター：地質図表システム 地質図Navi, <https://gbank.gsj.jp/geona>

関連論文

太田宗男他：長尺なグラウンドアンカーの削孔精度に対する地質的観点からの一考察，土木学会全国大会第78回年次学術講演会，2023.9

Ryosuke TSURUTA, Makoto KIMURA, Mehdi BEDJA and Hironori NAGAYAMA : Development of an Automated System for the Evaluation and 3D Modelling of Site Geological Strata Using Artificial Intelligence, 土木学会AI・データサイエンス特別シンポジウム「デジタルツイン」, 2023.5.