

国内最長クラスのグラウンドアンカーの削孔精度と施工時の工夫

株式会社安藤・間 正会員 ○太田 宗男

1. はじめに

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（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、最長80mを超えるグラウンドアンカーを約800本という長尺かつ多本数の施工において、隣り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。

2. 長尺グラウンドアンカー施工の課題

当工事のアンカーは水平3m・鉛直2m間隔で配置計画（図-1, 2）され、最大80mを超える長尺アンカーであるものの、グループ効果を考慮しない設計であった。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。グループ効果による緊張力の低減を避けるためには1本当たりの孔曲りを75cm以内にする必要があることが知られている（図-3）¹⁾。

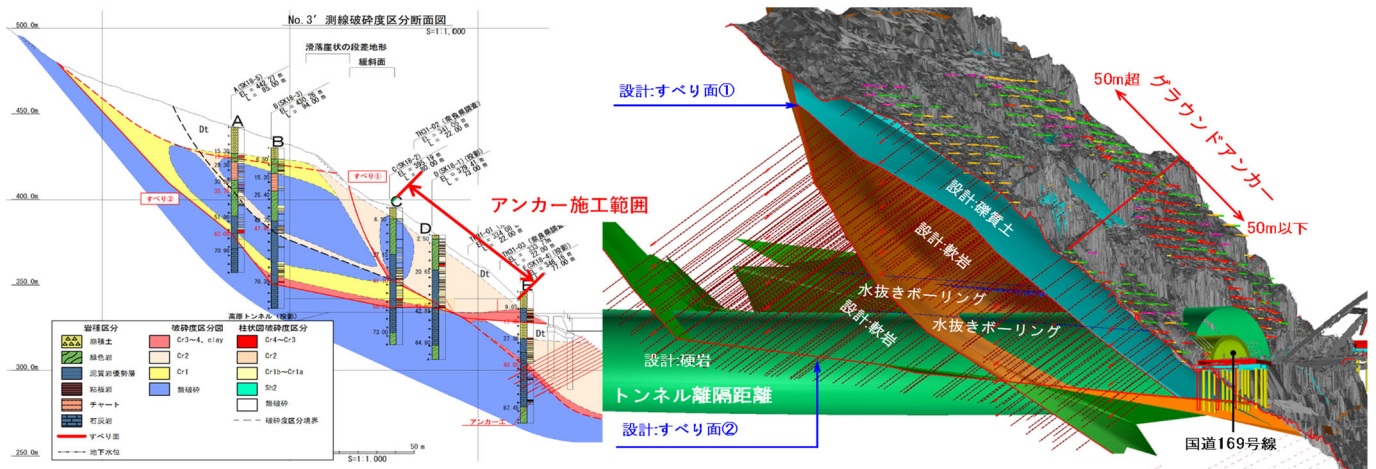


図-1 アンカー配置計画と地質概要

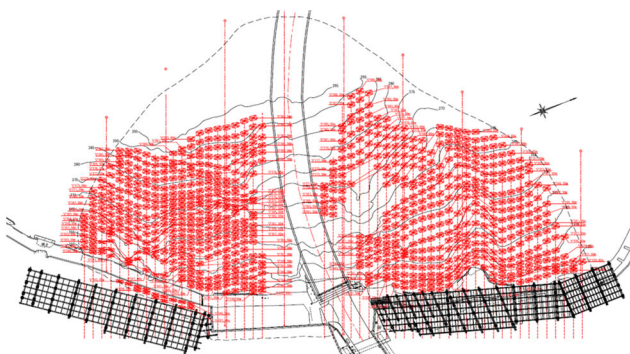


図-2 アンカー平面配置

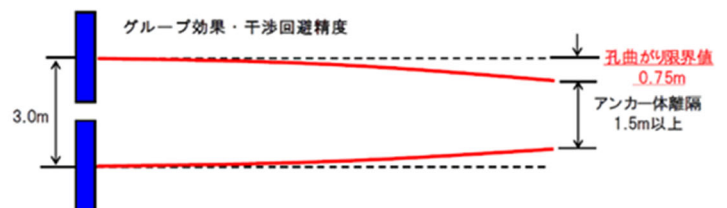


図-3 孔曲り概要図（水平方向の場合）

キーワード 地すべり, グラウンドアンカー工, 長尺, 孔曲がり, グループ効果

連絡先 〒760-0040 香川県高松市片原町11番地1 (株)安藤・間 四国支店 営業部 TEL087-826-0827

3. 孔曲がり抑制の工夫

隣り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。加えて、長尺かつ硬質な削孔時の削孔機械への負荷を抑制して削孔能力に余裕を持たせるために165kW級の大型削孔機（写真-1）を使用した。

(2) 足場・削孔機の固定

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。削孔中の抵抗等に起因する削孔機の揺動による位置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。敷鉄板上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図った（写真-2）。特に位置ズレが生じやすい削孔初期は削孔位置の計測管理を継続した。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-1 ロータリーパーカッション式大型削孔機



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、削孔中の各種削孔機械データ（削孔速度、回転トルク、給進力、打撃圧力、空気圧等）を削孔長10mm毎の計測間隔で取得した（写真-3）。また、全ての施工箇所の削孔1mごとの削孔スライム採取し、既存のボーリング調査結果と照らし合わせ、地質を判定した（写真-4）。

計測項目	方法	計測頻度
削孔速度	ワイヤーエンコーダーにより削孔深度を測定して算出	削孔全長に達って、削孔長10mm毎にデータを取り込む。
回転トルク	回転圧力をセンサーにより測定	
給進力	給圧を圧力センサーにより測定	
打撃圧力	打撃圧力を圧力センサーにより測定	
削孔水圧	給水ラインに圧力センサーを取り付けて測定	



写真-3 削孔機械データ取得状況

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。

(4) 孔曲がり測定

50mを超えるアンカー305本の10% (31本) の孔曲がり測定を実施した。測定はジャイロセンサー (TUG-NAVI: 計測50回/sec) を使用した (図-4)。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が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。

4. 孔曲がりの傾向及び精度

本節では、孔曲が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。



写真-4 削孔スライム採取状況

TUG-NAVI 標準品一覧

		TAG0010
位置精度 (横計測) ^{※1}		3/1000~2/1000
位置精度 (縦計測)		5/1000~3/1000
センサ構成	角速度	※2 TRS×3軸
	加速度	※4 MEMS×3軸
センサ部外形 ^{※5}		φ50×907 [mm]
質量 ^{※5}		7kg以下

※1 精度: 横計測時間...TAG0010とTAG0011は連続5分以内, TAG0010
 ※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-4 ジャイロセンサー仕様

(1) 孔曲がり量と地質の関係

実施工に先立って実施した試験施工による孔曲がり計測結果から、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 (図-5)。孔曲がり計測結果の最大値は、削孔長 81.5m の箇所で鉛直下向きに 71.7cm 水平右向きに 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 (図-6)。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-7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。

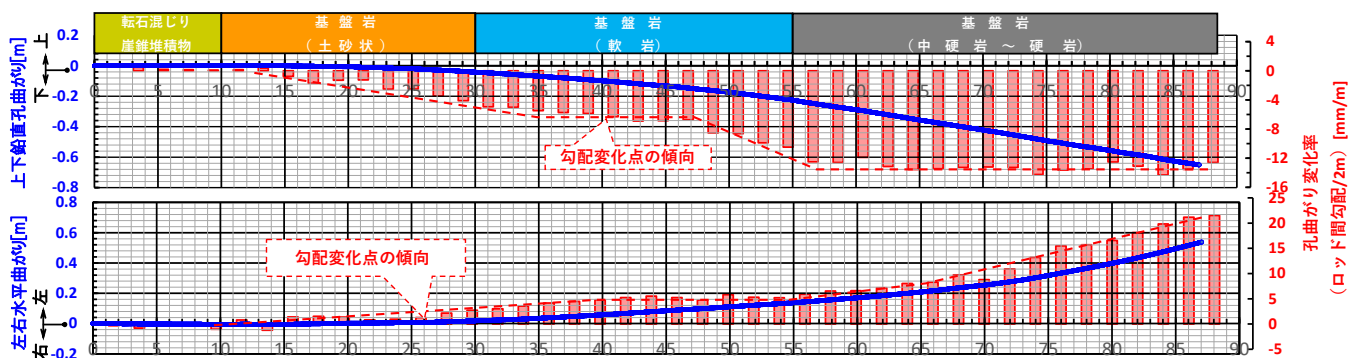


図-5 孔曲がりの変化率と地質区分との関係例

(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-8)。

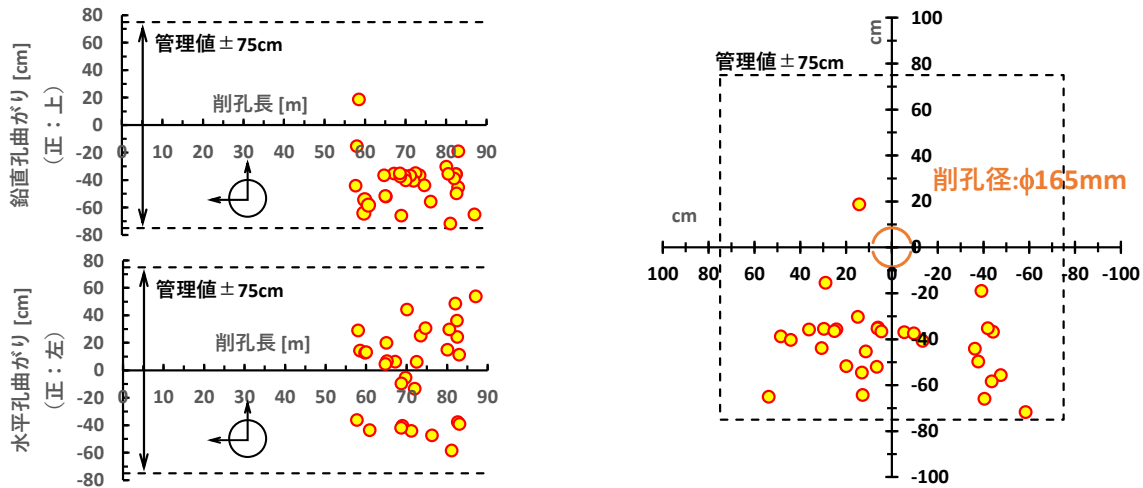


図-6 孔曲がり測定結果

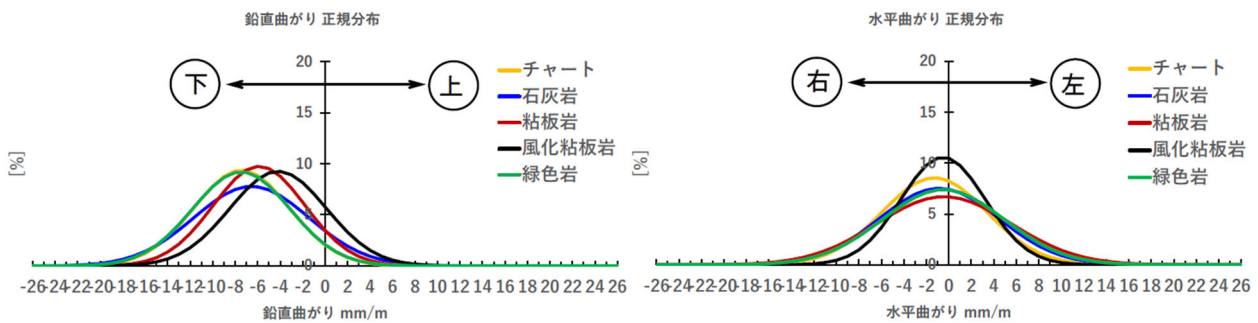


図-7 孔曲がり変化率と地質区分の関係

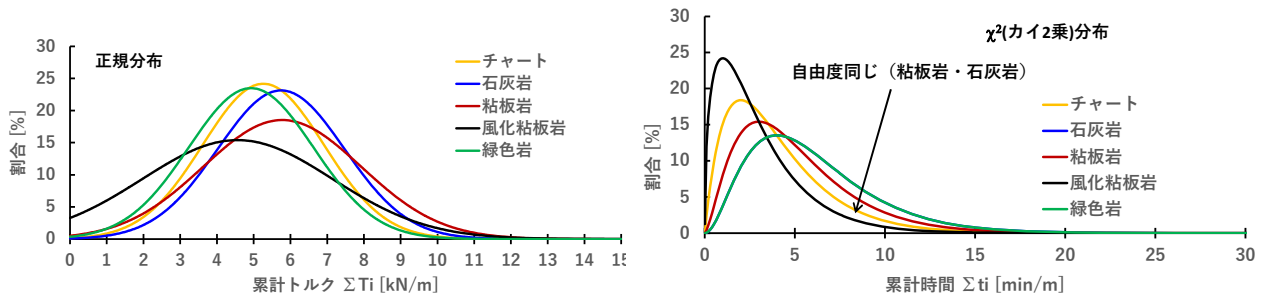


図-8 孔曲がり変化率と地質区分の関係

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。孔曲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おり、孔曲り傾向と削孔時間との関連性が小さいこと、その関連性は地質区分毎に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

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ことは既に述べた通りである。地質区分・削孔機械データと孔曲がりとの関連性は、それら自体との明確な関連性は認められなかった。したがって、削孔管理精度を更に向上させるには、削孔中にリアルタイム性を持って遷移領域を予測することが重要となる。そこで、施工中にある程度の精度で地質の遷移領域を予測・確認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た地質推論プログラムを搭載したデジタルツインのWEBアプリを構築した。

これにより、施工進捗に伴って地すべり土塊内の地質分布を3次元的に可視化し、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次元的に視覚化することで、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オペレータが簡易に予測し施工に配慮することを可能とするものである。



図-9 地質推論プログラムの概要



図-10 削孔地質のデジタルツイン

5. 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。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施工可能であることは、複数計測した孔曲がり計測結果からも明らかであり、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る。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、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。

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 地質研究総合センター：地質図表システム 地質 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geona>