

トンネル坑口の水平ボーリングにて孔曲がり防止に努めた調査事例

大地コンサルタント(株) ○貝瀬 長門、秋山 道生

1. はじめに

ボーリング調査においてしばしば掘削孔の孔曲がりが生じることがある。孔曲がりが生じると、ボーリングコアで確認される地質と本来確認されるべき地質が異なることになり、地質調査の成果を正しく設計・施工に活かすことができない。しかしながら、現実にはボーリング孔で孔曲がりが生じているかを確認しながら調査が行われるケースは少ない。

孔曲がりの程度を把握する手法としては一般に孔曲がり測定が実施される。本発表ではトンネル坑口部における水平ボーリングを例として、孔曲がりが発生する要因を複数挙げ、それに対して現地で実施した孔曲がり防止の取り組み、及び孔曲がり測定の結果を併せて示す。

2. 調査箇所の地質条件

図-1に調査地周辺の地質平面図を示す。調査地周辺は新第三紀の泥岩および玄武岩が基盤岩をなし、山麓の緩斜面には扇状地性の礫層（玉石混じり砂礫層1および2、写真-1および写真-2参照）や粘性土層が分布する。また、表層を基盤岩起源の二次堆積物である土石流堆積物や地すべり土塊、崖錐堆積物等が被覆する。

水平ボーリングでは玄武岩の硬質な玉石（一軸圧縮強度 $\sigma_c=22.7\text{MN/m}^2$ ）と軟質な火山灰質シルトが混在する玉石混じり砂礫層1および2を計100m以上掘り抜き、岩盤を確認する計画となっていた。

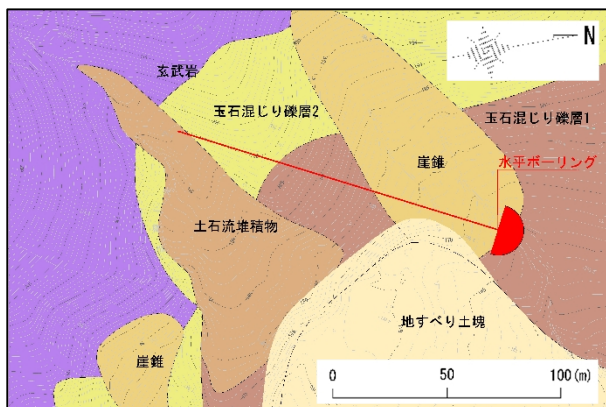


図-1 調査地周辺の地質平面図¹⁾



写真-1 水平ボーリングで得られた玉石混じり砂礫層1のコア写真。礫の含有率10～70%程度。

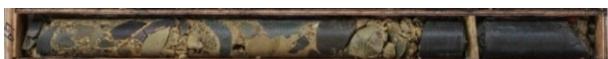


写真-2 水平ボーリングで得られた玉石混じり砂礫層2のコア写真。礫の含有率70～80%程度。

3. 孔曲がりが発生する要因

本調査においてボーリング孔の孔曲がりの発生原因として以下の(1)～(4)の要因が想定された。

(1) 硬質な玉石による孔曲がり

図-2に掘削断面の模式図を示す。玉石混じり土砂など基質と含礫の硬軟の差が著しい地質(本調査地では玉石混じり砂礫層1および2が該当)では、軟質な粘土層を選択的に進む。特に玉石の縁に当たると進路が変わる確率が高くなる。

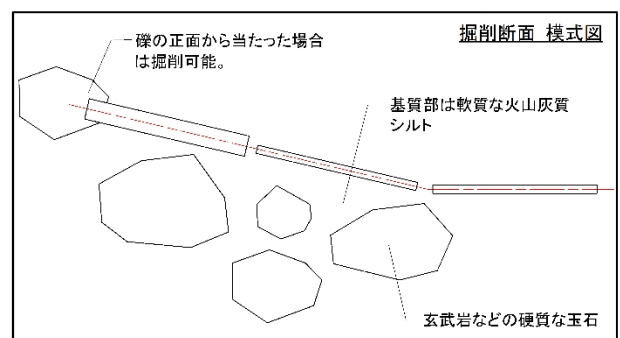


図-2 孔曲がりの要因(1)

(2) 相対的に締まった下層との境界で孔曲がり

図-3に弾性波探査結果図および孔曲がりした場合に想定される掘削経路を示す。既往の弾性波探査結果より、玉石混じり砂礫層2中に速度境界($V_p=0.8\text{km/s}$ 程度および 2.0km/s 程度、深度58.0m程度)が確認されており、相対的に締まっている下層との境界で上方に孔曲がりする可能性が考えられた。

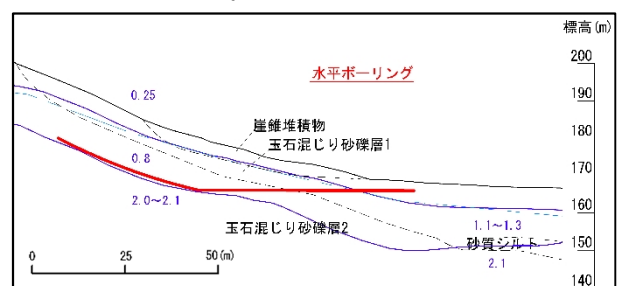


図-3 孔曲がりの要因(2)

(3) ロッドの自重による孔曲がり²⁾

図-4に水平ボーリングの孔内模式図を示す。ロッド径と孔径に差が大きいときは、コアチューブを支点とした上向きの反力が働き、上方への孔曲がりが生じやすい。

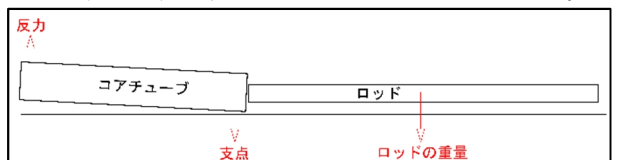


図-4 孔曲がりの要因(3)

(4) 掘削の回転方向に起因する孔曲がり

図-5にコアチューブの回転方向および孔曲がりした場合の移動方向を示す。

右回転の掘削のため、右上に孔曲がりしやすい。

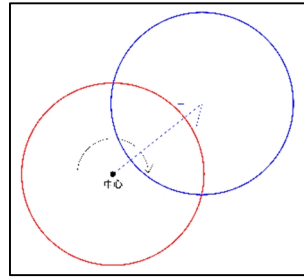


図-5 孔曲がりの要因(4)

4. 孔曲がり防止のための取り組み

現地の地質状況を考慮して、現場作業の際には孔曲がり防止を目的として以下の対策を講じた。

(1) 掘削径

図-6に掘削口径と礫の関係を示す。ケーシング及びコアチューブはそれぞれ表-1に示す径を用いた。ケーシング及びコアチューブ径を極力大きくすることで、玉石縁に当たり、進路が変わる確率を低くした。また、摩擦を軽減を目的としたケー

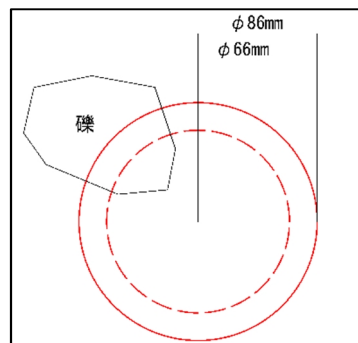


図-6 掘削口径と礫の関係

シングの段落としに対応できるようにした。・・・要因(1)(2)の対策

表-1 掘削に用いたケーシング・コアチューブの径

| | |
|--------|-------------------------|
| ケーシング | φ 144mm、φ 129mm、φ 104mm |
| コアチューブ | φ 86mm |

(2) 掘削方法

1) 過度な給圧を避けて、慎重に掘削することで玉石を確実に掘削できるように努めた。参考として当水平ボーリングと他現場で行った水平ボーリング (L=100m) とを掘進速度、給圧、回転数において比較し、表-2 にまとめた・・・要因(1)(2)の対策

表-2 他現場と掘進速度、給圧、回転数の比較

| 地質 | 掘進速度 (日進) | 給圧 (Mpa) | 回転数 (rpm) |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|
| 玉石混じり砂礫層 (本調査孔) | 1~2m | 5-10 | 80-180 |
| 安山岩 (近傍の調査孔) | 3-10m | 50-500 | 100-330 |

2) 上方に孔曲がりしやすいことを踏まえて、最初から下向き 3° で掘削することにより、仮に 1° /20m の割合で上方に孔曲がりが生じたとしても、孔先端部がトンネル断面に残り、全掘削範囲でトンネル断面の地質が把握できるように計画した・・・要因(3)(4)の対策

5. 孔曲がり測定器の概要

図-7に使用した孔曲がり測定器を示す。村田式坑井記録傾斜儀 (シングルショット) はボーリング孔の傾斜及び方位をフィルムに撮影する写真式孔曲がり計測器である。測定器を任意の深度まで挿入・静止させ、フィルムにコンパス画像を照射させることでボーリングの鉛直方向・水平方向の孔曲がりを計測することが可能である。



図-7 村田式坑井記録傾斜儀(株式会社 村田製作所)³⁾

6. 調査結果

本調査における水平ボーリングは岩盤を5m 程度確認した153m 掘削時点で調査完了とした。図-8、図-9に示すとおり、孔曲がり計測の結果、鉛直方向では下向き2~3° (計画: 下向き3°)、水平方向で35SW~37SW (計画: 35SW) であり、ほとんど孔曲がりが生じていないことが確認された。

本現場の経験から他現場でも孔曲がりが生じる可能性が高いと想定される場合、適切な対策を講じて孔曲がり防止に努めたい。

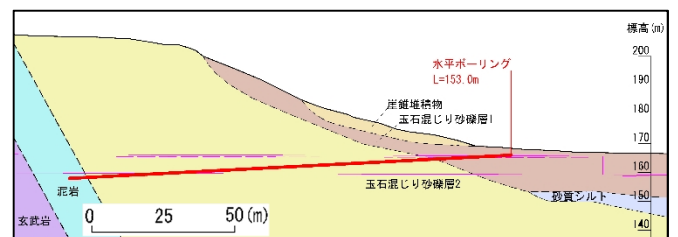


図-8 孔曲がり計測結果(鉛直方向)



図-9 孔曲がり計測結果(水平方向)

《引用・参考文献》

- 1) 地質調査業務成果品 (H28, 大地コンサルタント(株)) より引用
- 2) 全国地質調査業協会連合会編: ボーリングポケットブック [第5版], p. 200, 2015. 9.
- 3) 村田式坑井記録傾斜儀 取扱説明書
http://www.well-murata.co.jp/attached/Singleshot_manual.pdf (確認日: 2019. 6. 5.)