

岩屑なだれ堆積物の地山区分評価事例

サンコーコンサルタント株式会社 ○田中 良樹、金森 潤

1. はじめに

トンネル切羽の安定性を評価する場合、一軸圧縮強度やN値による強度や固結度、岩質や亀裂状況などが重要な要素として扱われる。岩盤地山では、一軸圧縮強度やN値による安定性評価は経験則が示されているため、よく用いられている指標である。一方で、未固結の砂質地山では物性値が良好であっても、砂層の流動化による切羽の不安定化が生じる可能性があり、地質の流動特性についても事前に把握しておくことが必要である。本論では、岩屑なだれ堆積物により構成された土砂地山において、トンネル地山の流動性評価を行った事例を紹介する。

2. トンネル地山の岩屑なだれ堆積物について

トンネル地山は、標高600～700mの緩やかな丘陵地である。地質は、第四紀前期更新世の礫岩・シルト岩を基盤岩とし、丘陵地の高標高部では中期更新世の岩屑なだれ堆積物が厚く基盤岩を被覆して分布している。

当該地の岩屑なだれ堆積物は、火山体の大規模な山体崩壊によって生じた雪崩状の土砂流動現象による堆積物である。火山体を構成していた源岩である玄武岩・安山岩角礫の岩塊相と、それらが破碎された細粒の基質、その他、流下時に巻き込んだ表土や基盤岩由来の物質を含む雑多な層相で特徴づけられる。露頭やボーリングコア試料では、φ2～5cmの安山岩・玄武岩の角礫と中～粗粒砂の粒径不均質な礫混じり砂～砂礫状として確認される(写真-1、写真-2)。本層は、ボーリングコアにおいては棒状コアとして採取されることが多く、一見すると礫岩状に見えるが、指圧で容易に崩壊し、加水によって砂分が流動化し土砂状に崩壊するという脆弱さをもつ。



写真-1 露頭における当該地の岩屑なだれ堆積物

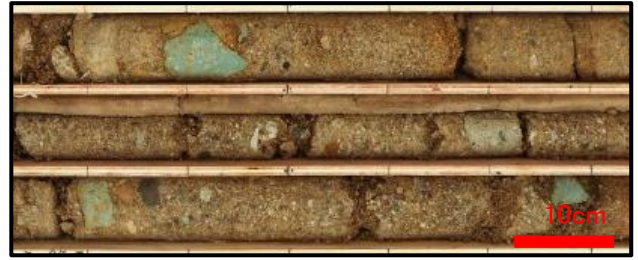


写真-2 当該地の岩屑なだれ堆積物のコア試料

3. 地山分類

当該地の岩屑なだれ堆積物は容易に土砂化・流動化し崩壊するが、その一方で、N値や孔内水平載荷試験で得られた変形係数は軟岩程度の高い値を示した(図-1)。

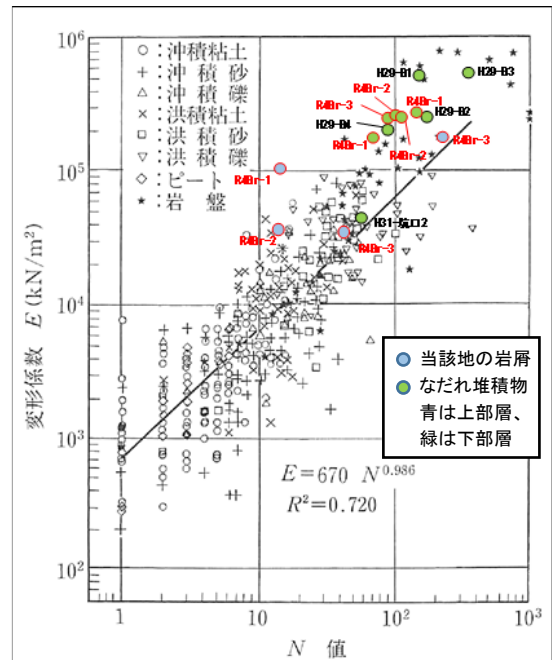


図-1 N値と変形係数Eの関係図^{1),2)}

N値や変形係数からは軟岩相当の評価ができるが、露頭・コアの層相は未固結の土砂である。この相反する特性を示す地山地質を評価するために、調査結果の整理と追加の検証を実施した。

(1) 掘削時のケーシング管の挿入状況

これまでに実施したボーリング調査では、掘削時に孔壁の崩壊が著しいことから、ケーシング管の挿入による孔壁保護を行っている。ボーリング孔壁が崩壊する状況がトンネル計画天端・断面の深度まで続いたことより、トンネル計画断面深度まで地山地質は崩壊しやすいと推測された

(2) 地山弾性波速度

トンネル区間の弾性波速度は、坑口部では0.6～1.1km/s、一般部では0.9～1.3km/sであった。低固結な地質や強風化を被った岩盤、崖錐や含水砂礫等の未固結な地層の速度に相当し、当該地の露頭やコア試料で確認された地質状況と整合する。

(3) 粒度試験結果による地山流動性の評価

ボーリングコア試料の粒度試験によって得られた均等係数 U_c および細粒分含有率 F_c を用いて、地山流動性の評価を行った。均等係数 U_c は式-1より求められる。

$$U_c = D_{60} / D_{10} \quad \dots \text{式-1}$$

ここで、 D_{60} : 通過百分率60%に相当する粒径

D_{10} : 通過百分率10%に相当する粒径

細粒分含有率 F_c は粒度試験における砂以下の粒子の含有率を意味する。

評価にあたっては、トンネル標準示方書山岳工法編・同解説(2016)³⁾で示される既往調査・研究で検討された地山流動性の評価指標から、最も安全側での評価となる均等係数 $U_c \leq 6\%$ と細粒分含有率 $F_c \leq 10\%$ を採用した。検討の結果、当該トンネル地山地質の均等係数 U_c は6.3～18.7% (平均12.3%) で、全ての試料で流動化を示す指標である6%を上回るものの、6%に近い値を示すものがあった。一方、細粒分含有率 F_c は4.2～16.0% (平均8.6%) で、ほとんどの試料で流動化を示す指標である10%を下回り、トンネル地山の流動化の可能性が推測された。

(4) 浸水崩壊度試験

固結した岩層なだれ堆積物の加水時の挙動の評価することを目的とし、岩石の浸水崩壊度試験(NEXCO 試験法722)を実施した。本試験はNEXCOで基準化された試験法であり、風乾させた試料へ加水した後に、試料の状態の経時変化を観察し、A～Dの4段階に区分を行うものである。ボーリング調査で得られた固結した棒状コアの一部を用いて試験を行った結果、加水後直ちに試料は原型を保たないほど崩壊し土砂状を呈し、最も崩壊しやすいD評価であった(写真-3)。このことから、地山の流動化する可能性が高いと考えられた。

(5) 地山の地下水分布

地山の地下水位は、ボーリング調査時の水位および地下水観測孔水位から、概ねトンネル計画高さ付近に存在することが認められた。そのため、切羽からの湧水が想定され、地質の流砂化に伴う切羽・天端の崩壊が懸念された。

N値や変形係数で高い値を示す当該地の岩層なだれ堆積物であるが、以下の特性を示した。

①ボーリング掘削時にはトンネル計画高さ付近までケーシング管による孔壁保護が必要なほど、孔壁が自立しない地質である。②トンネル区間の弾性波速度が未固結な地質に相当する。③細粒分含有率が流動化を示す指標値

より低い。④浸水崩壊度試験によって加水後直ちに崩壊する。

以上のことから、当該トンネル地山地質を構成する岩層なだれ堆積物は、地下水流動や掘削による応力解放により流砂現象を引き起こす可能性があり、施工中の切羽の崩壊やトンネル天端の肌落ち、落盤が懸念される。そのため、一般的な物性値で評価する地山分類よりも安全側の評価を行うことが、施工中のトラブルを避けるうえでも望ましいと発注者に提案した。

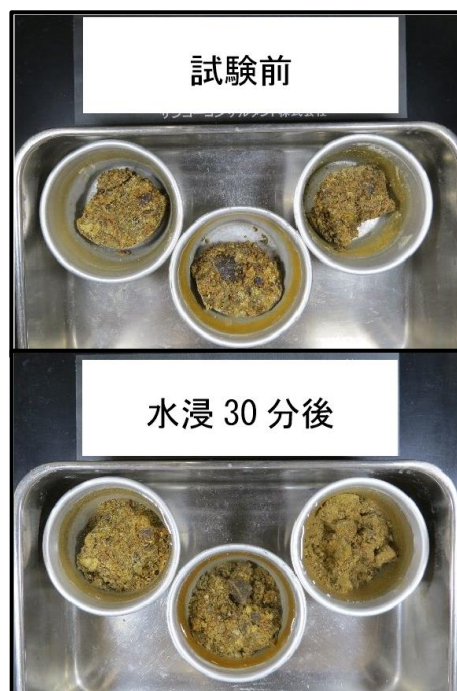


写真-3 浸水崩壊度試験の試験状況

4. まとめ

本事例の岩層なだれ堆積物は、ボーリングコア試料が半固結～固結した棒状コアで採取されることが多く、N値や変形係数も高い値を示した。そのため、施工の安定性に適切な地質評価を行うために、弾性波速度や粒度試験結果といった定量的な指標の整理を行うとともに、ケーシング管の挿入状況や浸水崩壊度試験など定性的な評価を加えて、総合的にトンネル地山地質の特性を「土砂地山」として評価した。

《引用・参考文献》

- 1) 地盤調査の方法と解説 (2013) : 公益社団法人地盤工学会、pp. 687.
- 2) 土屋尚、豊岡義則 (1980) : SPT の値とプレシオメータの測定値 (P_f 、 E_p) の関係について、サウンディングシンポジウム、土質工学会、pp. 101-108.
- 3) トンネル標準示方書山岳工法編・同解説 (2016) : 公益社団法人土木学会、pp44.