

トンネル路盤下の地山性状について

株式会社北杜地質センター
村上 利之

1. はじめに

東日本地域における鉄道の山岳トンネルは、供用開始から40年近く経過するため、構造物を支持する地山の状態を評価しておくことは必要と考えられる。こうしたことから、トンネル路盤下の地山状況を確認するため、路盤調査を2018年より2年に亘って実施している。そこで、2019年度までのボーリング調査及び室内試験の結果を整理し、トンネル路盤下の地山の性状について検討した結果を報告する。

2. 地山性状の評価で着目した現象

地山の経年劣化に伴って生じる現象としては、主に地圧の発生や地山の流出等があげられる。このうち、地山の流出は岩石自体の密度低下や劣化によって強度が低下し、粒子が移動・流出してしまうことが原因とされる。

トンネル標準示方書(2016)では、地山が流動化する指標として、①均等粒径の砂(細粒分含有率 $\leq 10\%$ 、均等係数 ≤ 5 、飽和砂)②地下水位の高い砂及び砂礫層、③不透水層中に介在する帯水砂層からなる地山、④単位体積重量(乾燥) $\leq 1.70\text{g/cm}^3$ 、⑤土粒子の密度 $\leq 2.65\text{g/cm}^3$ 、⑥均等係数 ≤ 4 、⑦D50 $\leq 1.50\text{mm}$ 、⑧D10 $\leq 0.15\text{mm}$ に該当する土砂である等としている。

3. 調査対象箇所

路盤調査は東北地区の8トンネル(以下、TN-A～TN-H)で実施した。調査は削

孔箇所を1エリア3孔(上り線側1孔、下り線側2孔)とし、路盤下の地山条件が異なる13エリアを設定した。トンネル周辺の地山は前期白亜紀の花崗岩類、新第三紀中新世及び第四紀更新世の凝灰岩類や砂岩類より構成される。

4. 調査内容

コアボーリングは電動コアドリルで $\phi 66\text{mm}$ のダブルコアチューブを使用し、鉛直下方に最大深度3.0mまで削孔した。採取したコアから各種岩石試験に用いる供試体を選定し、岩石の一軸圧縮強度試験、浸水崩壊度試験、土の粒度試験を実施した。

5. 調査結果

(1) コアボーリング

コアボーリングの結果、コンクリートの厚さは路盤面から0.3～1.1m位の範囲であった。地山との境界部には一部注入痕の存在が認められたが、掘進時に試錐機が急激に抜け落ちるような明瞭な空隙の存在は確認されなかった。また、測定された地下水位は路盤面より0.1～1.1mの範囲にあり、全地点のうち約6割弱の地点において地山上部のコンクリート内で地下水位が確認された。

(2) 岩石の一軸圧縮試験

トンネル路盤下の地山の圧縮強度を把握するため、計133供試体を用いて試験を実施した。図-1に採取深度と一軸圧縮強さの関係を示す。一軸圧縮強さ(qu)

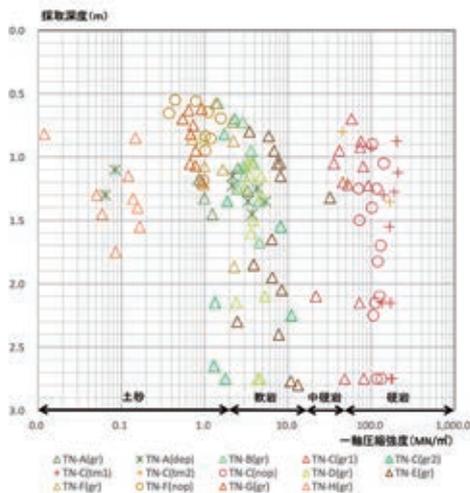


図-1 採取深度と一軸圧縮強さの関係

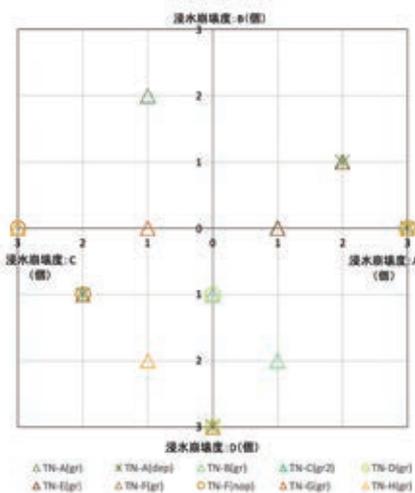


図-2 浸水崩壊度区分

は、 $1.2 \times 10^2 \leq q_u \leq 2.1 \times 10^2$ (MN/m²) の範囲にあり、全供試体のうち約7割弱の供試体が $q_u \leq 15$ (MN/m²) の「軟岩～土砂相当」に区分された。このうち、特にTN-Hは固結度の小さい地山となっているが、これは主に新第三紀中新世の砂岩類からなり、全体的に土被りが小さい上に、トンネル付近まで風化が進行していることが要因として考えられる。

(3) 浸水崩壊度試験

固結度の小さい地山は、車両通過時の振動とともに地下水位の変動に伴って繰り返される間隙水圧等の応力作用に脆弱であると推察される。そこで、上記一軸圧縮試験より「軟岩～土砂相当」に区分された地山を対象に、直接的な応力の他に、水浸等の作用による岩石の崩壊のしやすさを把握するため、試験片を3個用いて計46試料の浸水崩壊試験を実施した。図-2には各試料の浸水崩壊度区分を示すが、これは水浸開始24時間後の岩石の状態を試験片毎に崩壊度区分し、2軸マップ上で該当する位置に各試料の結果をプロットしたものである。当区分より、全試料のうち約3割弱の試料が、3つの試験片のうち2つ以上が原形をとどめない「D判定」となった。このことから、これらの地山は岩種に関わらず、地下水の影響を受けやすいことが分かった。

(4) 土の粒度試験

地山の流出のしやすさを検討するために、上記浸水崩壊度試験で「D判定」となった4トンネルの地山を対象に粒度試験結果を整理し、粒径加積曲線に示した(図-3)。両図の比較より、凝灰岩類からなる地山は、粒度組成に極端な偏りが無く、礫分を含む粗粒土から細粒土までの範囲に亘って含有するため、粒径幅の広い曲線となっている。しかし、砂岩類からなる地山は、砂分の含有量が突出しているため、粒径幅が狭く、急立した曲線を示している。両曲線から砂岩類からなる地山は、凝灰岩類からなる地山よりも地下水の浸入によって流動化しやすい性質にあるといえる。

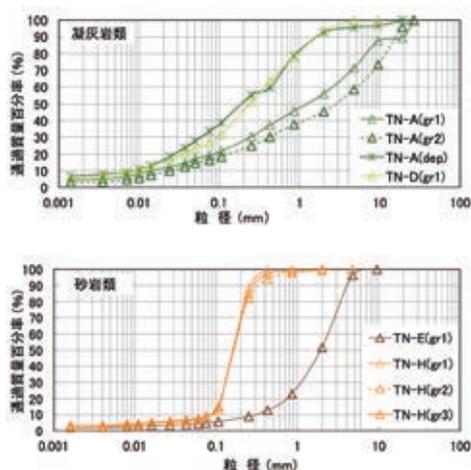


図-3 粒径加積曲線

6. 考察

各地点の室内岩石試験の結果を整理し、地山の流動化を示す指標として、図-4にヘキサダイアグラムとして示した。

地山の流動化の主な指標となる6項目のうち、TN-Dは4項目、TN-Hは3~4項目が指標値を下回った。この理由として、凝灰岩類からなるTN-Dの地山は、低密度である上、砂分の含有がやや多くなっていること。一方、TN-Hは地山の基質が主に分級された中~細砂分より構成される上、細粒分の含有が非常に少ないことがあげられる。これにより、両トンネルにおいては地山内に水分を含みやすい特性にあるといえる。

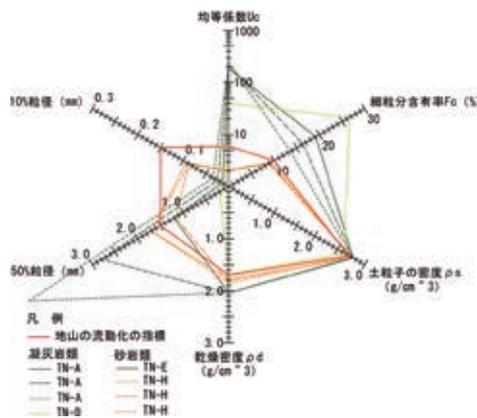


図-4 ヘキサダイアグラム

7. おわりに

8トンネルを対象に各種試験結果を整理し、トンネル路盤下に分布する地山の性状について検討した。その結果、「軟岩~土砂相当」に区分された4トンネルのうち、特に砂岩類の地山は粒度組成より、流動化しやすい性状にあることが分かった。しかし、凝灰岩類の地山は全般的に流動化の指標にあまり該当しない結果となったが、TN-Dに関しては、低密度な上、基質内に孔隙やフラクチャー（微細な割れ目）が発達していることが考えられるため、地下水の影響に対して脆弱になっているものと推察される。このような条件にある地山で発生する流出現象は、地下水位の変動、地山上部からの振動等といった外力要因や風化の進行度合いといった環境要因等が複合的に関係して発生する。このことから、今後もデータの集積を継続するとともに、低密度の要因として推察される孔隙やフラクチャーの分布との関係を把握すること等といった課題も含め、更なる検討を進めていく所存である。

《引用・参考文献》

- 1) 土木学会 トンネル工学委員会編：2016年制定
トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説、
P44、2016.8.