

北海道横断自動車道下トマムトンネルにおけるチムニー現象とその対策

東日本高速道路(株) 正会員 ○齋藤 辰哉
 東日本高速道路(株) 安藤 武義
 東日本高速道路(株) 小澤 隆二

1. はじめに

下トマムトンネルは、北海道横断自動車道占冠 IC～トマム IC 間に位置する延長 754m の山岳トンネルである。

本報文は、平成 20 年 7 月 30 日に、STA903+64 付近(西側坑口までおよそ 60m 地点)で発生した、地表面にまで達する天端崩落(チムニー現象)とその対策工について報告する。

2. 地形・地質及び施工状況

本トンネルは日高帯に位置し、地質は玄武岩質のハイアロクラスタイトを主体としている。西側坑口付近は、礫質の崖錐堆積物が厚く堆積し坑口より約 100m の区間は、地すべり地となっている。また、トンネルに斜交して断層が存在し、その付近には破碎された亀裂の多い地山が分布している。本トンネルは、この地すべり底部を掘削する計画で、地すべり対策は押え盛土および集水井を施工した。事前調査ボーリングでは、崩落した切羽より 20m 付近までは風化・変質の少ない $C_H \sim C_M$ 級の岩盤であり、それ以降は、亀裂が多い C_M 級。それ以降は削孔方向に低角度で交わり亀裂が多くみられる C_L 級地山が存在し、不連続なずれ変位があった兆候が確認された。写真-1 に崩落直前(STA903+65.35)における切羽写真を示す。切羽は比較的堅硬で亀裂の少ないハイアロクラスタイトが出現しており、施工は、上半先進ベンチカット工法爆破掘削とし、爆薬の使用量を抑え地すべりの変位を計測しながら、慎重に施工を行なった。

3. 崩落状況

STA903+64.15 の切羽において掘削・ずり搬出終了後、吹付けコンクリートの準備中に、トンネル天端部より第 1 回目の崩落が発生した。この崩落は、掘削直後のスパン 1.2m とその直前のスパン 1.2m の 2 スパン延長約 2.4m 間の天端が崩落したものである。第 1 回目の崩落から約 1 時間後、崩落土砂への応急的な吹付けコンクリートの施工準備中に、第 2 回目の崩落が発生した。崩落範囲が拡大し、切羽(STA903+64)より後方の 10 スパン 12m が崩落して、切羽後方 23m 付近まで崩落土砂が流出した。この 2 回の崩落によって、トンネル坑内に約 800m^3 の土砂が崩落・堆積し、土かぶり約 36m(3D)ある崩落切羽直上の地表面には幅 11m×長さ 13m×深さ 2m の陥没(地表面陥没量 約 160m^3)が発生した。写真-2 に 2 回目の崩落した切羽写真を示す。崩落した土砂は、崩落切羽に出現していた玄武岩質のハイアロクラスタイトとは異なる、細粒分まじり砂質礫であったが、崩落切羽直下の崩落土には暗緑灰色のハイアロクラスタイトが確認された。

4. 変状(クラック・変位)

崩落に伴って、トンネル天端部が沈下し、崩落した切羽より 19m 後方の計測点(STA903+83)では、崩落後に 10mm 程度の天端沈下が発生した。また、崩落箇所より既施工区間後方 6.6m までの吹付けコンクリート天端部に縦断方向のクラックが発生した。

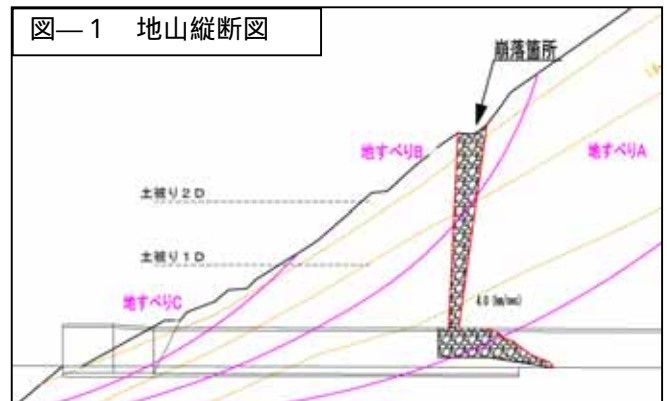


図-1 地山縦断図



写真-1 崩落前切羽状況



写真-2 崩落後切羽状況

キーワード トンネル掘削, 天端崩落, チムニー現象,

連絡先 〒047-0008 北海道小樽市築港 11-1 東日本高速道路(株)小樽工事事務所 TEL 0134-23-2300

5. 崩落原因

崩落部付近の地山状況は、切羽面では比較的堅硬で亀裂の少ないハイアロクラスタイトが出現していたものの、トンネル上部では崖錐堆積物や断層の影響によるハイアロクラスタイトの亀裂の発達が顕著であったものと思われる。崩落土砂が細粒分まじり砂質礫であること。また、崩落切羽直下の崩落土には比較的大塊のハイアロクラスタイトがあったことから、切羽天端の数メートル上には崖錐堆積物があり、これが天端直上の薄くて亀裂の多いハイアロクラスタイト層を破って落下したものと考えられる。

6. 対策工

応急対策として崩落土砂表面に吹付けコンクリートを $t=20 \sim 30\text{cm}$ の厚さで吹付け、土砂表面の動きを抑えた。その後、崩落土砂の法尻を押さえるために、崩落部後方 15m 間を上半盤まで盛土した。

既施工区間で吹付けコンクリートにクラックの発生した範囲は、支保背面の緩みやクラックによる吹付けコンクリートの支保能力の低下、崩落に伴う地山のゆるみを考慮し、トンネル上半 120° 範囲に 4m の注入式補強ロックボルトを打設し、ウレタン系注入材による地山補強と上半鋼製支保工の追加を行った。

崩落部上部は、崩落によって地山が大きくゆるみ、空隙のある状態であると考え、崩壊した地山の空隙をトンネル上方 120° 範囲に厚さ 1D で水ガラス系懸濁型材を注入し固結させることとした。薬液注入量は約 213,000 リットルである。

崩落箇所を再度掘削するにあたり、天端部の安定を確保するために、トンネルの天端部 120° 範囲に手前から上下 3 段の注入式長尺鋼管先受工 (AGF) を施工し、崩落箇所天端で AGF が 3 重となるよう施工した。これによって、鋼管間からの抜け落ちは多少みられたものの、崩落区間を再掘削することができた。

切羽崩落により発生した地表の陥没部に対しては、現地が急斜面であること、周囲の地表が礫主体の緩い堆積状態であることから、地山へのなじみを考慮し客土による吹付けを行なった。

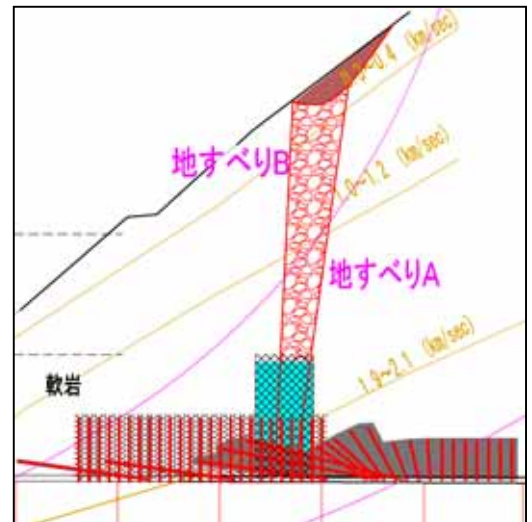
崩落箇所の復旧を終えトンネル掘削を再開したが、トンネルの全体的な沈下 (共下り) が発生し、地表面沈下が見られたことから、地すべりブロックへの影響も考慮しサイドパイル ($L = 6\text{m}$) を上半及び下半に打設した。

7. 恒久対策工

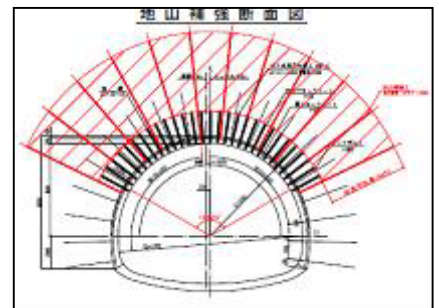
崩落箇所から西坑口側約 25m 範囲の天端付近で、掘削後の確認試験において引抜き耐力が不足したロックボルトや、引抜き試験時の変位が大きいロックボルトが多発した。これは、トンネル上部にゆるんでいる地山が存在していると考えられ、将来的にもグランドアーチが形成されるか懸念された。そこで長期的なトンネルの安定を確保するため、トンネル上部 $0.5D$ のゾーンを、注入による地山補強工を実施した。地山補強工の断面を図-3 に示す。実施に先立ち行なった FEM 解析では、将来的にゆるみ荷重が作用した場合、補強を行わないケースでは、インバート部分に応力の集中が見られ一部降伏領域となっている。補強を行なった場合では、ゆるみ荷重が作用しても、改良によって上部からの荷重が分散されて、覆工コンクリートに過度な応力が発生しないことが確認できた。FEM 解析での地山降伏領域を図-4 に示す。

8. おわりに

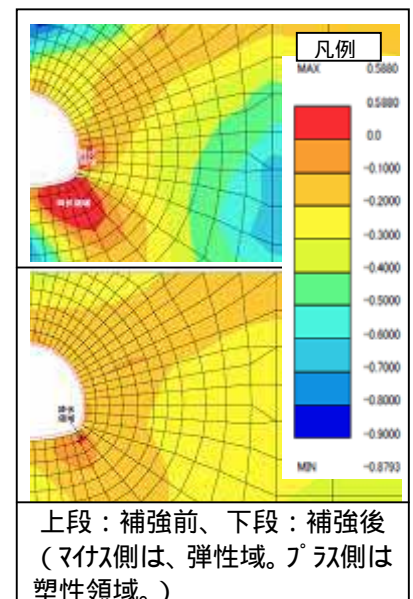
下トマムトンネルは、幸いにして人的及び物的損害も無く、平成 20 年 9 月に無事貫通を迎えることが出来た。この報告が同様な地形地質でのトンネル掘削の事前調査・検討及び天端崩落 (チムニー現象) の対策工の参考になれば幸いである。



図—2 対策工縦断面図



図—3 対策工断面図



図—4 地山降伏領域図