

東北森林管理局 江坂文寿・○大野泰宏

1.はじめに

銅山川地すべりは山形県最上郡大蔵村大字南山に位置しており、東北森林管理局において民有林直轄地すべり防止事業としてトンネル暗渠工を主とした立体排水工による地すべり対策を進めている。しかし、掘進に伴いトンネル坑内の地層よりメタンガスが湧出し、安全対策上大きなネックとなることから、メタンガスの効果的な排出方法として図-1のようにトンネルと地上を結ぶ鉛直方向の換気孔を設け、ファンによる強制換気を行うこととなった。しかし、この換気孔工事のためボーリングを施工中、トンネルへの貫通直後に孔壁が大規模に崩壊するという災害が発生したため、その原因について検討を行った。

2.地形及び地質条件

当該地域の地形は、丘陵状で肘折火山噴出物が厚く堆積した台地状地形になっている。また、陥没地形が連続して同心円状の地形をなしており、古くから地すべりが繰り返されてきたことが推測できる。

当該地域の地質は、下位から古口層、野口層、シラス層が分布している。古口層は第三系中新統の砂質泥岩を狭在する黒色泥岩である。野口層は第三系中新統から鮮新統の凝灰質砂岩で古口層と整合で重なっており、未風化の砂岩は硬質で難透水性であるが、風化が進むと固結度も低くなり透水性が上昇する。シラス層は約1万年前の肘折火山活動により噴出した石英安山岩質の半固結火碎流堆積物であり、野口層上位に不整合で堆積して径1~20cmの多孔質の軽石を多く含み、固結度は低く脆弱で空隙が多く、透水性が高い。

3.工事及び災害の概要

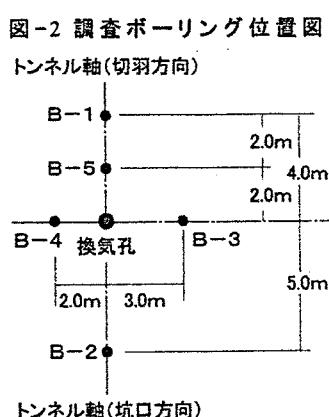
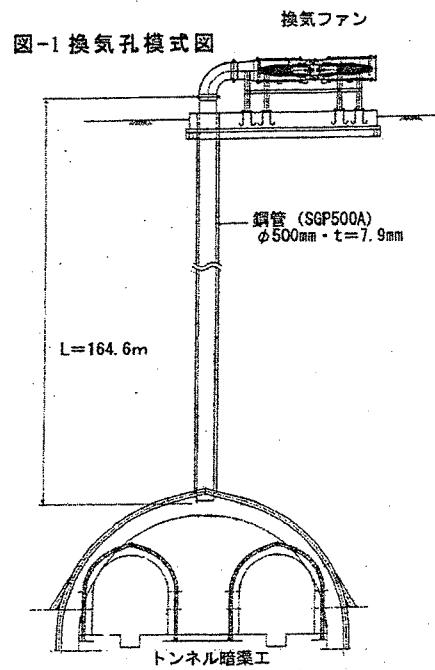
換気孔として施工されたボーリングは当初設計では掘削径560mm、掘削長164.6mで、うちシラス部分が83.0m、基岩部分が81.6mであり、掘削が完了した時点で鋼管(Φ500mm)を建て込み、これを換気孔の内壁とするものであった。しかし、掘削を開始してから逸水が連続したためにシラス層の掘削径を660mmへ変更のうえ保護鋼管(Φ600mm)を使用するように変更し、加えてボーリング孔内にモルタルを充填する等して孔壁の補強を試みたが、ボーリング孔をトンネルに貫通させた際、孔壁が崩壊しトンネル内に土砂が約940m³流入するという災害が発生した。

4.災害調査の結果

災害後に図-2のように調査ボーリング(ノンコア)を5本を行い、スライムや削孔時の抵抗等から地下の状況を調べた結果、図-3のように空洞等はB-1~B-5ライン方向に偏在して存在し、その深度について空洞はGL-18.20~-27.60m、緩み領域はGL-27.60~-46.00mであることが判明した。また、シラス層はGL-0.00~-46.00mに、シラスに比べて粗粒で礫を含有し、部分的に弱~未風化砂岩層を薄く狭在した「シラスまたは強風化砂岩層」はGL-40.00~-83.00mにそれぞれ存在し、その下位は風化砂質泥岩の基岩層であった。また、地上部は多少の起伏はあるもののおおよそ平坦であるにもかかわらず、これらの地層はB-2からB-1方向に大きく傾斜(約7分~1割6分勾配)していた。

5.原因考察

災害の原因については以下の点が考えられる。



5.1 地質・水文的要因

調査ボーリングの結果及び換気ボーリングの施工中たびたび逸水が発生していたことから、当該地点の地質状況は極めて複雑であり、加えて地下水脈があることも考えられ、含水率も高く不安定な状態であったと思われる。

5.2 技術的要因

第一に、ボーリング口径が大きいため孔壁が自立できなかったことがある。当地区で多数の実績がある $\phi 300$ mm のボーリングでは、逸水等の事例が発生していたが今回のような災害に発展したものはない。

第二に、大口径のためケーシングの使用ができないかったことがある。通常ケーシングは $\phi 300$ mm 程度まであり、 $\phi 560$ mm でケーシングを用いることは技術的に非常に困難であった。

第三に、地質の判断を誤った可能性がある。保護钢管を挿入する際に岩の色や掘進時の抵抗等から当初 GL-38.0 m で基岩に到達したと判断したが、災害後の調査ボーリングではこの深度は「シラスまたは強風化砂岩」と判定されており、基本的に上位シラスと同等であると思われる。転石若しくは部分的な岩盤が存在したと推察されるが詳細は不明である。

第四に、掘削完了まで孔内にペントナイト溶液が存在していなかったことがある。通常は掘削を完了して钢管等を挿入するまで孔内をペントナイト溶液で満たして崩壊を防いでいるが、今回はトンネルと接続した際に溶液がトンネル内に流出したため孔壁が露出し崩壊したものと考えられる。

第五に、貫通時の急激な水位低下が挙げられる。逸水していたとはいえ貫通直前には孔内水位は約 130 m あり、その水圧は相当なものであった。それが貫通と同時に一気にトンネル内に流下したため、その力に引きずられるように孔壁が崩壊したのではないかと考えられる。

6. その後の対策

調査の結果、当該地点の地下には空洞等が存在し地上部が陥没する等の恐れもあったため、エアモルタル充填及び恒久グラウトによる対策工を講じた。さらに、トンネル軸切羽方向に約 140 m 移動した地点に新たに換気ボーリング工を施工した。ここでは災害の再発を防ぐためにあらかじめ調査ボーリングを行い、地下構造等を調査したうえで施工方法を再検討した。

その結果、薬液注入工の実施、保護钢管の基岩層へのより深い根入れ等の施工方法の改善が図られた。さらに、トンネル内への急激なペントナイト溶液の流下を防ぐため、図-4 のように直接トンネルに貫通させず、先行してトンネルの横に換気孔を完成させ、泥水を排除してから横坑によりトンネルと接続することとした。その結果、孔壁崩壊等は発生せず順調に施工することができた。

7.まとめ

今回の災害は複数の要因が相互に関連しあって発生したと考えられる。この研究では今回の災害を振り返って考察してみたが、これによりシラス地帯での大口径・大深度ボーリングの施工時における問題点や注意点を洗い出すことができたと思われる。当地区では将来トンネル暗渠工に地上から落し込み集水ボーリング ($\phi 100$ mm) を行う予定であるが、今回の災害を教訓として同様の失敗を犯さないよう検討する必要があると考えられる。

<参考文献>

林野庁・森林総合研究所・東北森林管理局：地下水動態が大規模地すべりに与える影響に関する調査、P5-10、2001 年

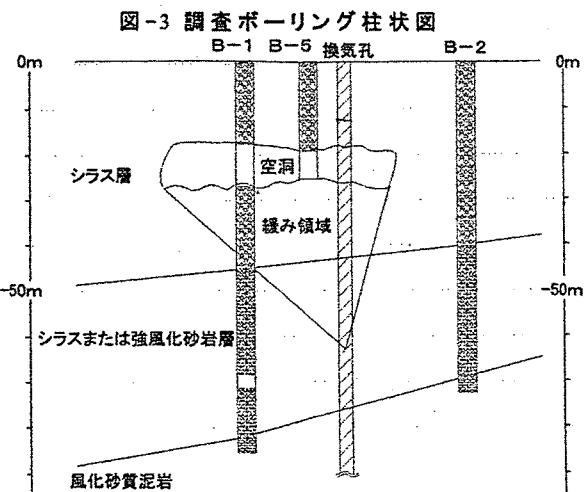


図-3 調査ボーリング柱状図

B-1 B-5 換気孔 B-2

0m -50m 0m -50m

シラス層 空洞 緩み領域

シラスまたは強風化砂岩層

風化砂質泥岩

L=155.7m

換気ファン

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔

換気扇

钢管 (SGP500A)

$\phi 500\text{mm}$

$t=7.9\text{mm}$

横坑

トンネル暗渠工

換気孔