

平成 22 年 3 月の国道 41 号線岩稲地区法面崩壊と融雪期における道路管理の提案

杉本 敦*1 川村國夫*2 弘崎 聡*3

1. はじめに

昨今、雨季、台風における土砂災害が大きな問題となっているが、積雪寒冷地における道路管理には、融雪期の土砂災害を忘れてならない。当事務所では、平成22年3月（国交省富山河川国道事務所管内） 国道41号岩稲地区にて融雪災害で道路法面崩壊が発生したことをきっかけに、発生メカニズムを解明するため、崩壊箇所を詳細に検討し、法面地盤に関する室内試験や崩壊後法面に設置した気象観測機器などの計測値に基づき、融雪が与える道路法面への影響評価を試みている。今回、融雪期の道路管理の一手法として、本地区では背後の地すべり地形から流出する地下水排水量を監視する融雪期の道路管理が有効となることを提案する。

2. 国道41号線岩稲地区道路法面崩壊

平成 22 年 3 月 9 日朝方、国道 41 号線岩稲地区の神通川側道路法面（平均勾配 1:1.5）で崩壊が発生した。写真 1 に示すように、崩壊規模は、幅約 60m、高さ約 50m、路肩に打設した深礎杭が露出し、道路擁壁が傾くなどの被災を受けた。崩壊発生は道路巡回中で早期発見ができ、幸い人的及び車両に直接の被害が無かった。しかし、この緊急輸送道路は一時的な全面通行止めと、その後 1 ヶ月間以上片側交互通行を強いられた。長期間に渡る車両規制と渋滞は地域に大きな社会的、経済的損出を与えた。

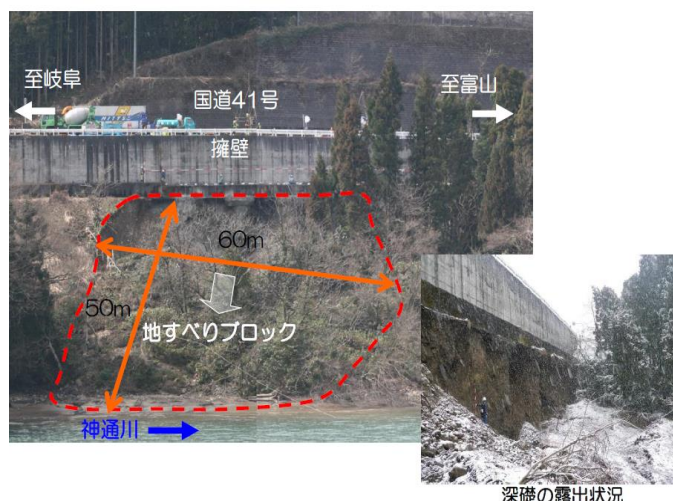


写真 1 国道 41 号線岩稲地区道路法面崩壊状況

図1には崩壊法面の中央部断面を示す。崩壊直後から法面には多量の湧水があり、地下水位も高く、すべり面は道路中央直下あたりから神通川岸にまで及んでいた。

背後地形や法面の地盤調査から(図2)によれば、すべりは法面最上層にある強風化凝灰角礫岩（礫層）内で発生し、広域にはこの強風化凝灰岩の崩積土を主とする地すべり末端部の崩壊と考えられる。

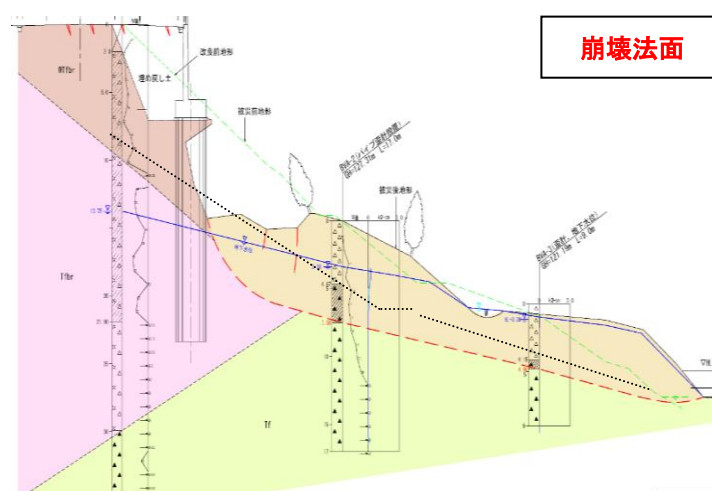


図 1 崩壊法面中央部の断面とすべりの状況
(地下水位は崩壊直後ボーリング掘削後の回復水位)

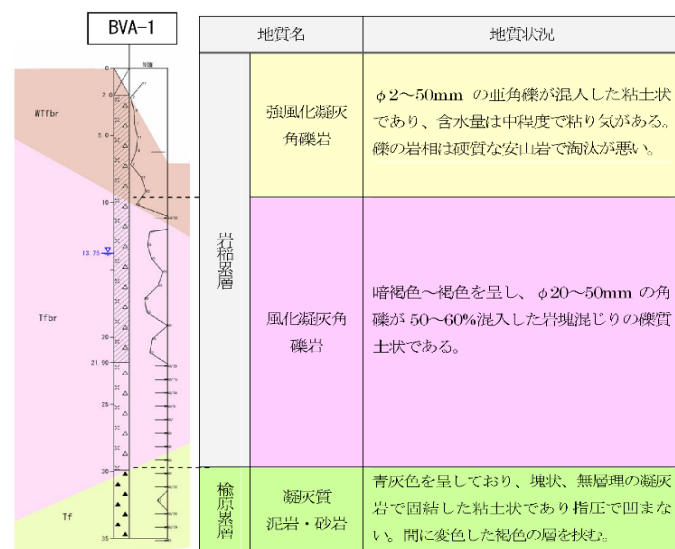


図 2 崩壊法面の地盤分布

3. 気象データから崩壊発生の検証

平成21年度の積雪期、平成22年2月1日から崩壊発生日3月9日までの気象データを図3に示した。図3から、2月の前半から積雪量が増加し、2月6日には積雪深136cmを記録、その後気温が5℃まで上昇して、積雪量は急減した。

* 1 富山河川国道事務所

* 2 金沢工業大学 地域防災環境科学研究所

* 3 日本工営 (株)

特に、積雪量が著しく減少した2月19日から2月28日までは、積雪量が1m 近く減少し、多量の融雪水が道路法面へ浸透し、また、積雪底面流として流出したと推定できる。この期間では、日平均気温が10℃を超える日が続き、同時に、融雪日には降雨（融雪日の平均気温がほぼ3℃以上では、降水量はほぼ降雨量であった）が加わり、更なる積雪深の減少が生じた。2月末には、気温上昇は一旦収まるが、3月に入り再び上昇して、3月3日には積雪は全て融解した。その直後から続く降雨量が重なり、3月9日に大規模な法面崩壊の発生に到る融雪期の状況であった。

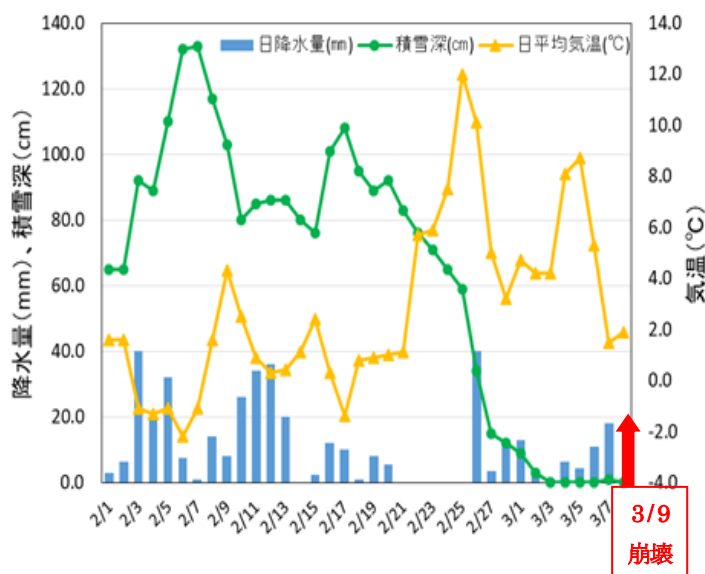


図3 H22.2.1～3.9（崩壊日）気象データ（片掛観測点）

そこで、この平成22年2月1日～3月3日（積雪深ゼロ日）までの積雪深と降雨量データに基づいて、西垣らの浸透理論¹⁾を適用した浸透解析（雪密度0.3、雪面低下法）を実施した。結果を図4に示す。図4から、水位①がこの期間の最高水位となり、初期地下水位（青線のベース水位）から、およそ30～50cm上昇し、下段法面のほぼ地表面付近まで達した。一方で、上段法面付近では地下水位上昇は小さいことが分かる。

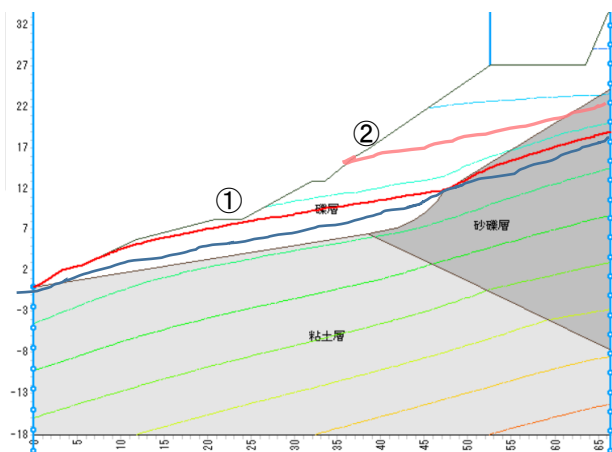


図4 融雪浸透解析
（地下水位水位①:H22.2.26、②:H22.2.29）

そこで、崩落土量約17,000m³が発生した事実を検証するため、図4の地下水位①に基づく法面の安全率を、円弧すべり面フェレニウス法を用いて算定した。その結果、法面の上段から下段までを含む全体法面の安全率は $F_s=1.09$ となった（図5）。しかし、この安全率値では法面の大規模崩壊の事実はいくも説明できないことになる。

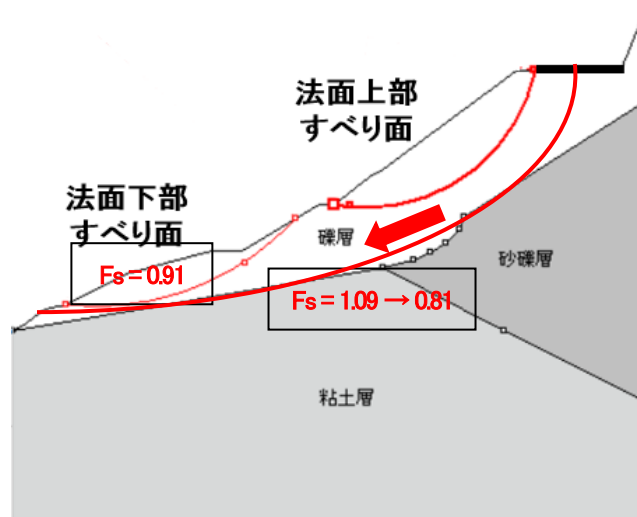


図5 岩稲地区道路法面の崩壊推移の予測

そこで、今、下段法面だけの範囲に限定して、安全率を算定した結果、 $F_s=0.91$ となり、 $F_s=1.0$ を下回る。つまり、下段法面では、部分的な崩壊や変形、緩みなどは十分に予想できる。崩壊直後の目視調査からも、写真2に示すように、下段法面付近では地表面から浅いところで幾筋のクラックや押出し、隆起が確認でき、そこでは何本かの倒木も見られ、この当たりから崩壊が始まった状況が見受けられた。



写真2 下段法面の法先付近でのクラックや押出しの状況

なお、浸透解析や安定解析で用いた地盤各層の解析入力パラメータを表1にまとめた。表中の透水係数は室内透水試験の結果をオーダ値に丸めた値を、また、強度係数は崩壊後に

残った法面地形に対して（現状）安全率Fs=1.0（災害査定基準）の設定から決定した。

表 1 浸透解析と安定解析の入力パラメータ

土質名	透水係数 (cm/s)	粘着力C (kN/m)	湿潤重量 γ_t (kN/m ³)	飽和重量 γ_{sat} (kN/m ³)	内部 摩擦角 $\Phi(^{\circ})$
強風化 凝灰角礫岩	1.00E-04	0	17	17	25
強風化 凝灰角礫岩	1.00E-04	0	20	20	35
凝灰質 泥岩・砂岩	1.00E-07	50	18	18	25

以上の浸透解析と安定解析の結果から、本現場は以下の推移から大規模崩壊に到ったと推定した。つまり、第1段階では、平成22年2月1日～2月26日までの融雪浸透によって、地下水位が図4に示す下段法面の地表面付近①まで上昇する。この結果、下段法面では安全性の低下から部分的崩壊や変形が発生する。第2段階では、第1段階で発生した部分的な崩壊や変形が起因して、上段法面を引き込み、変形や緩みからクラックなどが発生する。これによって法面全体の透水性は増加し、多量の融雪水や降雨が法面全体へ浸透する。法面の地下水位は図4の水位②まで上昇して、大規模崩壊に到ったとするシナリオを考えた。

このシナリオを検証するため、図3のその後の気象データ平成22年2月26日～3月3日（積雪深ゼロ日）を取り上げ、再度、浸透解析を進めた。上段法面でのクラック発生によって強風化凝灰岩礫層の透水係数が増加する状況を、表3の値より1オーダー上げて透水係数（ 1×10^{-3} cm/s）値を採用した。浸透解析結果は図4に示した。図4はこの期間中の最高水位は平成22年2月29日の地下水位②を示した。地下水位②は上段法面の下方付近ながら地表面まで上昇していることが分かる。

なお、この地下水位②は、前掲図1に示したボーリング掘削後の回復水位と比して、法面中央小段の上方付近で約1.0m～2.0m程度高い。ボーリング作業に伴う地下水位特性を考えれば、崩壊直後の地下水位は少なくとも図4の地下水位②程度以上まで上昇していたと推定できる。

次に、この第2段階の図4で示した最高地下水位②に基づき、図5の法面全体に対する最小安全率を算定した結果、安全率はFs=0.84に減少して、Fs=1.0を大幅に下回った。この安全率の値からは、法面の全体的な崩壊が説明できる。

4. 応急対策排水ボーリング工

崩壊法面に対する応急対策工は安全率1.05を確保するため、本線直下へ軽量盛土で置換え、崩壊法面にはモルタル吹付、鉄筋挿入工および地下水排除工を実施した。この応急対策工から本線の2車線を確保して、本復旧対策工を進めた。

ここで注目すべきは、写真3に示すような地下水排除工横ボーリング孔から驚くべき排水量（500L/分程度）が記録されたことである。



写真 3 ボーリング工からの地下水の排水量

排水ボーリング工は、図6に示すように、「公共土木施設災害申請ポイント」に準じて、平面間隔は原則5mとして、深礎工の間に1本ごとで配置できた。また、ボーリング長はすべり面を縫う位置から本線下までを延長とするL=35m程度とした。以上の条件から、現地では7本の排水ボーリングを施工でき、結果、掘削直後から全排水量が約500 L /分と多量な地下水の排水が確認された。特に、崩壊法面の上流部（岐阜県側部）の各ボーリング工の排水量はそれぞれ約200 L/分近くに達し、この地下水排除工の採用と配置がきわめて適正であったことを確認した。

何故、この崩壊法面からこれほど多量の地下水が排水できたのか。今、崩壊法面現場を俯瞰すると、この背後には地すべり地形が確認でき（写真4、図7）、更にこの地すべり地形からの地下水は崩壊法面付近で集中して流出する地形であることも判明した（図8）。

このことから、多量な排水量を流出する地下水脈や水みちが閉塞されれば、そこでは高い被圧が発生することになる。その結果、法面崩壊はさらに増破して、規模の拡大に影響することが十分に予想できた。

この崩壊規模が拡大した根拠の一つは、写真 5 に示すように、路肩部の深礎工の間から道路本線直下まで達する中抜けの崩壊状況が見受けられ、この影響で写真 6 に示す本線中央部では鮮烈な路面クラックが発生していたことにある。

5. 地下水排水量に基づく融雪期の道路管理のあり方

平成 22 年 3 月 9 日に崩壊した国道 41 号岩稲地区道路法面に対して、図 9 に示した本復旧工を改良土の抑え盛土工と応急対策から引続く地下水排除工を主として、延長約 60m 区間で施工された。ただし、その隣接両端の法面は未だに非対策区間である。加えて、背後の地すべり地形からは多量な地下水流出があり、本復旧工後でも本地区区間は防災点検の力

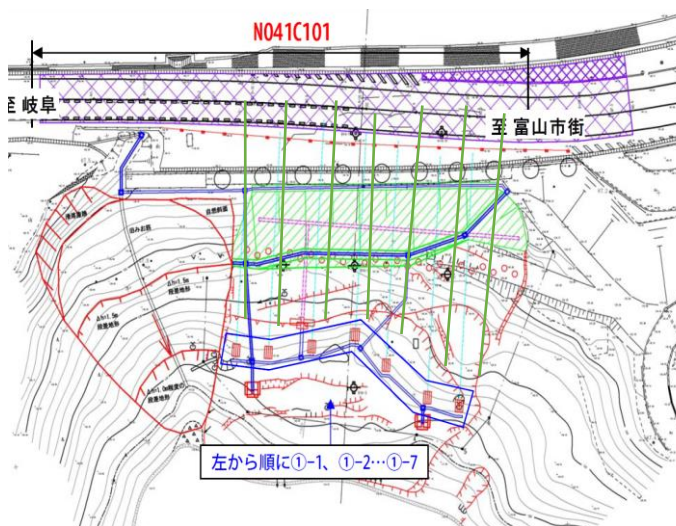


図6 崩壊法面に対する排水横ボーリング工の配置

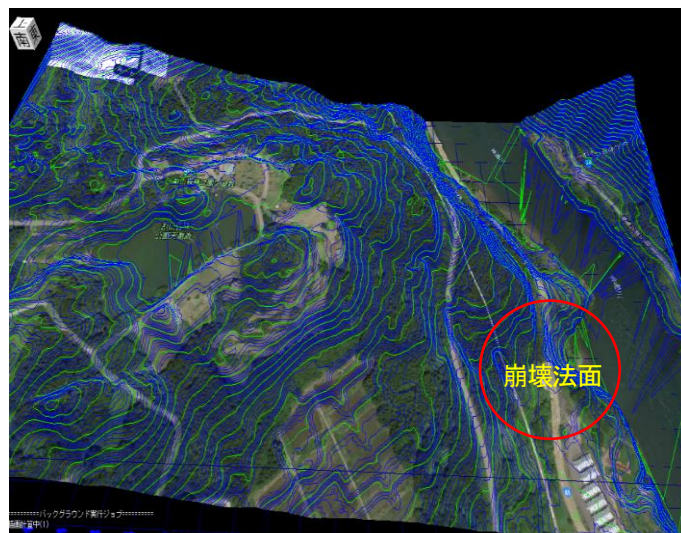


図8 集水地形末端に位置する崩壊法面



写真4 崩壊前の法面位置と背後地形



写真5 道路路肩部の深礎工の間からの土砂中抜け

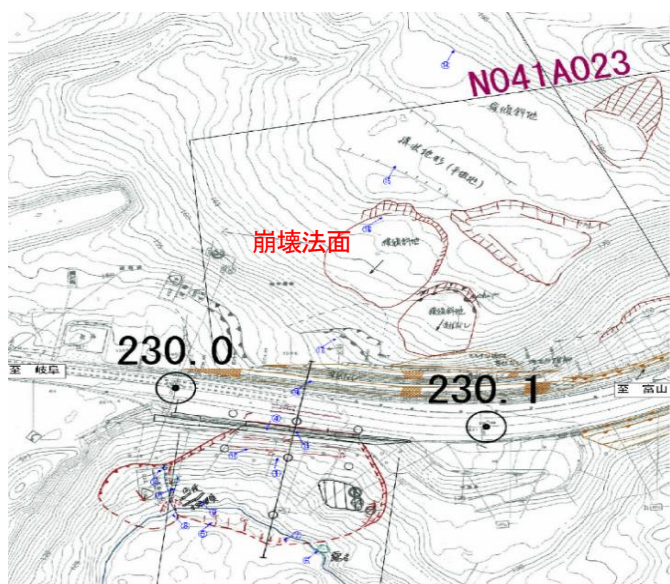


図7 崩壊法面の背後は地すべり地形に判読



写真6 道路本線中央部にクラック発生

ルテ対応区間に指定されている。

最後に、国道41号線岩稲地区の融雪期の道路管理は、設置したボーリング工からの地下水排水量の監視が有効となることを提案する。

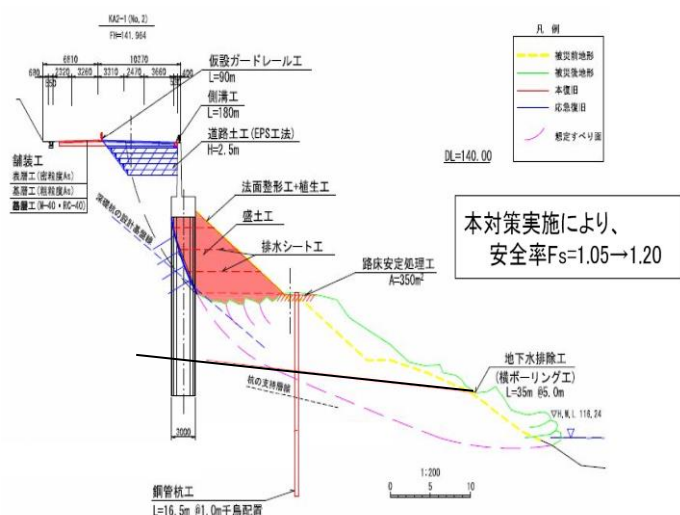


図9 崩壊法面に対する本復旧工

図10は法面の崩壊直後から3年間（不定期であるが）、各ボーリング工の排水量とそれらの全排水量をまとめた。図中の融雪期（図中の赤バンド期間）の全排水量が約500L/分と年間での最大値となることが分かる。その以降から現在に至るまでの計測でもほとんど同様な傾向を示した。

そこで、前述したように地下水脈や水みちが閉塞すれば、多量な排水量が確保できなくなり、法面は地下水位の急上昇や地下水圧の増加によって、急激な不安定化が進むことになる。つまり、融雪期の約500L/分相当の全排水量は法面の安全性が担保できる貴重な管理の情報にも成り得る。

地下水の排水量に対する地下水位の変動について、定量的に検討する。平成26年度の融雪期に注目して、平成26年3月から平成27年7月まで、国道41号線楡原地区（岩稲地区に隣接）テレメータの融雪期の積雪深と降雨量データに加えて、非融雪期の降雨量データを入力して浸透流解析を試みた¹⁾。

解析モデルは、図11に示すように、背後の地すべり地形から崩壊法面まで奥行き長約250mの範囲で、2次元解析とした。解析入力各地盤の透水係数は、期間中の非融雪期の降水量（降雨量）データから排水量データを逆解析して同定した。そして、同定できた各地盤透水係数を使って、融雪期の排水量解析を進めた。非融雪期から同定できた各地盤透水係数は図11にまとめる。図11では、最上層の礫質土および砂質土の透水係数が、 10^{-3} cm/sオーダ値と同定できた。これは前掲表1に示した崩壊法面の地下水層となった強風化凝灰角礫岩の透水係数と一致した。

浸透流解析結果の一例として、排水ボーリング工1-②に対する排水量の実測値と解析値を図12に示す。特に、図12に示した積雪期の排水量解析は日融雪深から融雪水量（雪密度0.3）と、その時の降雨量を加えた浸透量から、法面のボーリング位置へ流出する排水量を算定する。図中には、1本のボーリングが集水する有効幅を80mと52.5mについて解析した。その結果、集水の有効幅80mが実測値と近似できた。

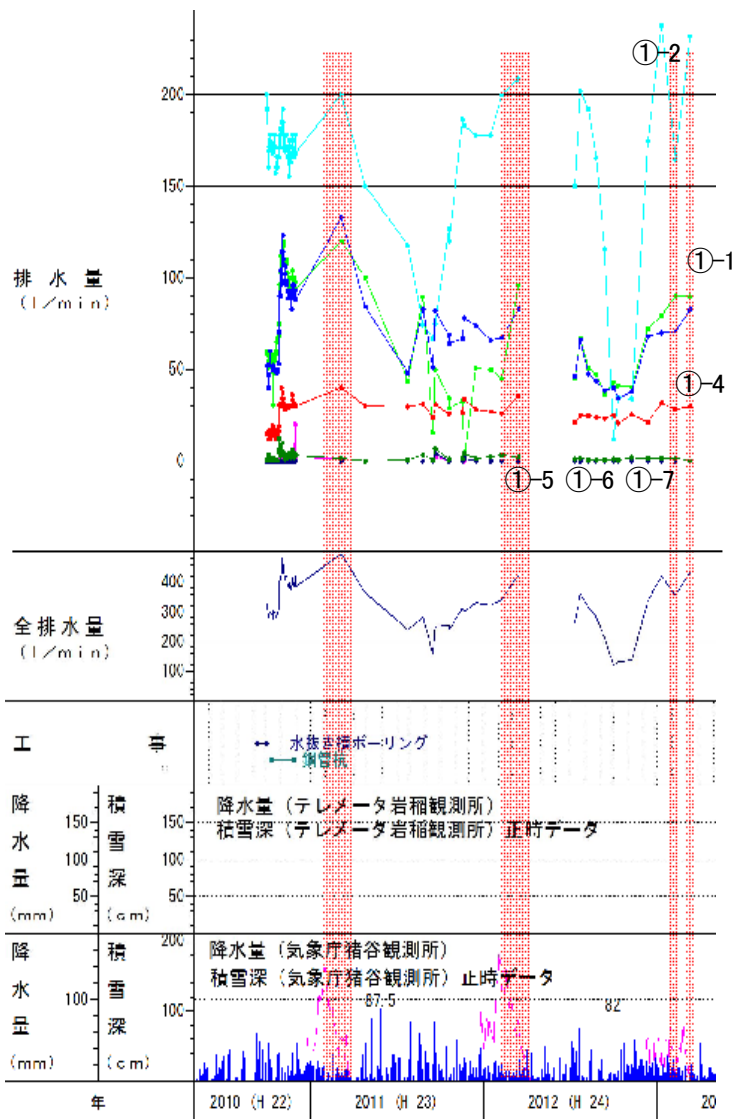


図10 2010(平成22年)～2012(平成24)のボーリング工からの排水量

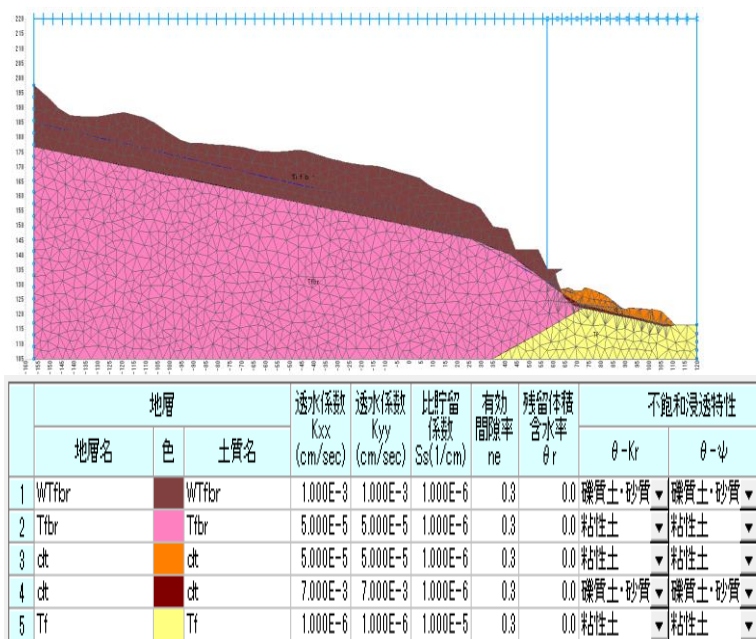


図11 背後地形から法面までの解析モデルで同定した地盤透水係数

解析から、法面へ流出する地下水の集水幅が80m×4本（図10に示すように、ボーリング掘削直後から1-①～1-④の4本に多量の排水量が確認でき、一方、1-⑤～1-⑦では排水量はほとんどない）の320mと推定できた。結局、背後地形からの排水量に対する解析範囲は、奥行き250m×集水幅320mとしたが、この解析範囲が図13の地図地形から読み取れる背後の地すべり地範囲とほぼ近似することがわかる。

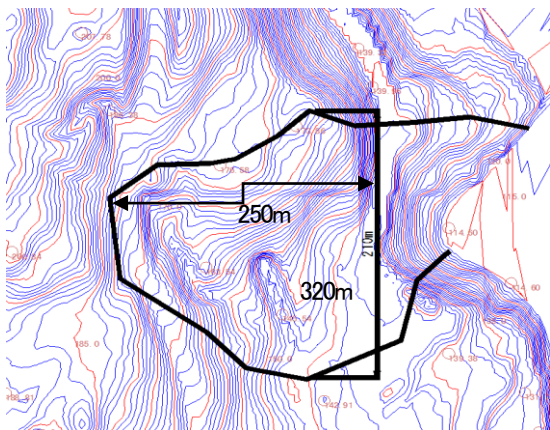


図13 背後地すべり地形から崩壊法面までの解析範囲

この解析法を用いて、ボーリング孔が閉塞した際の地下水位の上昇を算定して、結果を図14に表した。図14には、ボーリング工1-②が一部閉塞して排水量が半減した時と全閉塞で排水量ゼロの時の地下水位上昇を示した。

排水量が半減した時では、地下水位は閉塞がない水位に比

して、融雪期で2m以上上昇して、1～2日間ながらホーリング工上方で地表面まで達する。また、全閉塞では、3.5m以上の上昇となり、4～5日間以上も地表面へ達している。このようにボーリング工の排水量は地下水位に強く影響し、それは法面の安全性に大きく関わることが分かる。つまり、排水量の監視に基づく道路管理が極めて有効となる。

6. あとがき

本稿では、平成22年3月の融雪期に発生した国道41号線岩稲地区道路法面崩壊の対策を検討していく中で、その背後地形から多量の地下水流出が確認できた。そして、この多量の排水量が法面の安全性を担保することが分かった。このため、この排水量の確保と監視が、本地区道路法面の有効な管理法になることを提案した。今後、排水量と気象、地形などの条件との相関性について研究を継続し、融雪期における道路管理のあり方を検討していく。また、国道41号岩稲の被災原因検証で使用した地形判読技術などが有効と思われるので、類似箇所の抽出や防災への活用を検討していく。

参考文献

- 1) 西垣誠：飽和・不飽和領域内の土中水の浸透特性に関する2,3の考察、土質工学会論文報告集、Vol. 23、No. 3、pp. 165～177、(1983)
- 2) 富山河川国道事務所：平成22～令和1年度富山管内道路防災定期点検業務報告書（抜粋）、日本工営（株）

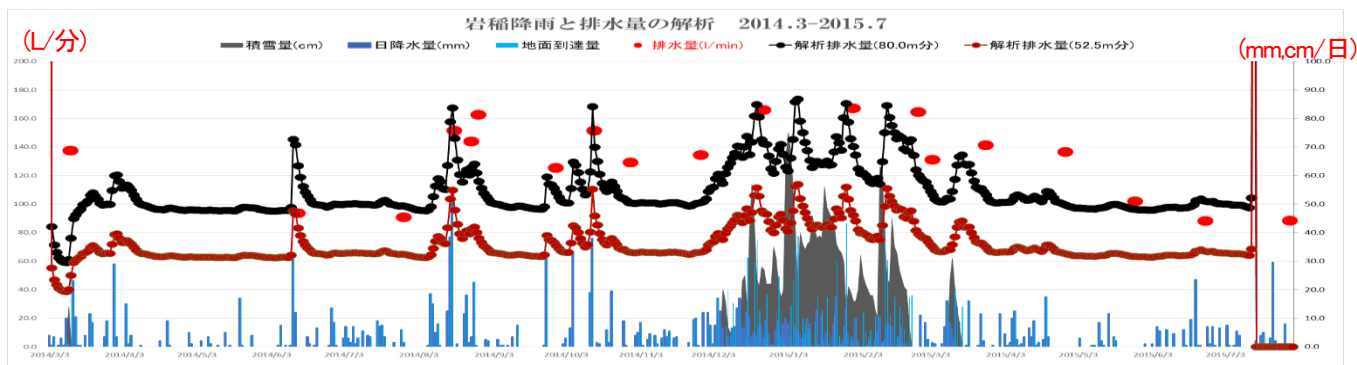


図12 排水ボーリング（1-②）の実測および解析排水量

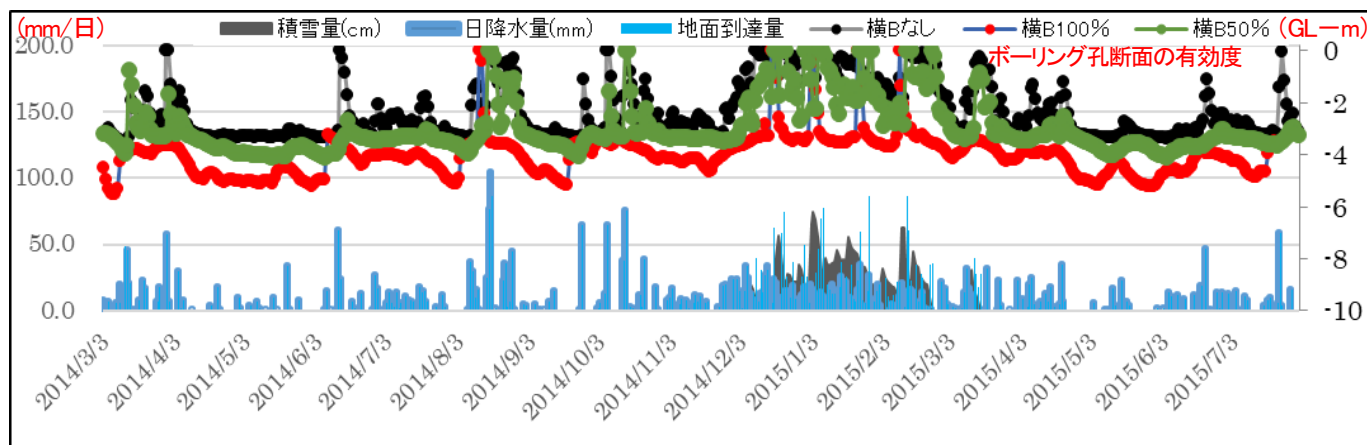


図14 ボーリング孔閉塞から上昇する地下水位の解析結果