

第66回(2022年度) 北海道開発技術研究発表会論文

厚真川水系日高幌内川の大規模河道閉塞箇所における移動土塊の安定性評価について

室蘭開発建設部 厚真川水系砂防事務所 調査設計班 ○本田 浩貴
 倉本 洋平
 日本工営株式会社 広島支店 技術部 早川 智也

厚真川水系日高幌内川は、平成30年北海道胆振東部地震に伴い、地すべりによる大規模な河道閉塞が発生した。緊急対策工事及び恒久対策工事の施工完了までの間、二次災害の発生を防止する目的で、移動土塊の挙動監視を継続して実施している。発災以降、緊急対策工事による移動土塊末端部の掘削や降雨、融雪及び湛水位の上昇に伴う地下水水位の上昇など、移動土塊の不安定化要因に対して、移動土塊の再滑動は認められず安定している。また、将来的に発生が予想される湛水位上昇に伴う地下水水位上昇に対する、安定計算も行い、移動土塊の安定性が確認できたため、ここに報告するものである。

キーワード：河道閉塞、挙動監視、安定性評価、緊急対策工、恒久対策工

1. はじめに

平成30年北海道胆振東部地震に伴い、日高幌内川右岸斜面において、地すべりが発生し、移動土塊によって、日高幌内川の大規模な河道閉塞が発生した(図-1)。

河道閉塞により上流側で湛水が発生し、越流が生じた場合、河道閉塞部の土塊が侵食されることにより決壊し、土石流が発生する恐れがあるため、平成31年3月までに直轄砂防災害関連緊急事業(以下「災関事業」)による緊急対策工を講じ、2019年3月完了した。現在、直轄特定緊急砂防事業(以下「特緊事業」)による恒久対策工を施工中であり、2024年3月完了予定である。

一連の対策工検討および対策工施工時の二次被害の防止の必要から、移動土塊の地質調査および挙動監視観測が行われてきた。

本件は、挙動監視の開始から複数年で蓄積した各種調査結果・観測結果に基づき、移動土塊の安定性評価を行った結果を報告するものである。

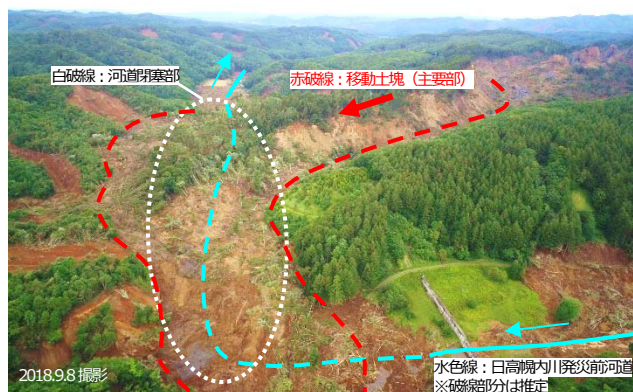


図-1 河道閉塞の状況(上流側から撮影)

2. 河道閉塞部の概要

平成30年北海道胆振東部地震は、2018年9月6日に発生し、マグニチュード6.7、震央は厚真町、震源深さ37kmであり、最大震度7を観測した。この地震に伴い、日高幌内川右岸の尾根型斜面において、幅約400m、奥行約800mの地すべりが発生した¹⁾。移動土塊は、南側へ約350m滑動し、日高幌内川の谷底平野を埋積し、さらに対岸に乗り上げ大規模な河道閉塞(延長約1,100m、高さ約50m、推定崩壊土量約500万 m^3)を発生した²⁾(図-2、図-3)。河道閉塞部上流の流域面積は9.75 km^2 、湛水容量は1,300万 m^3 と見積もられた¹⁾。

湛水の発生、決壊を想定した氾濫解析により、下流域において、被害発生が想定されたことから、早急な対策工の実施が必要とされた。

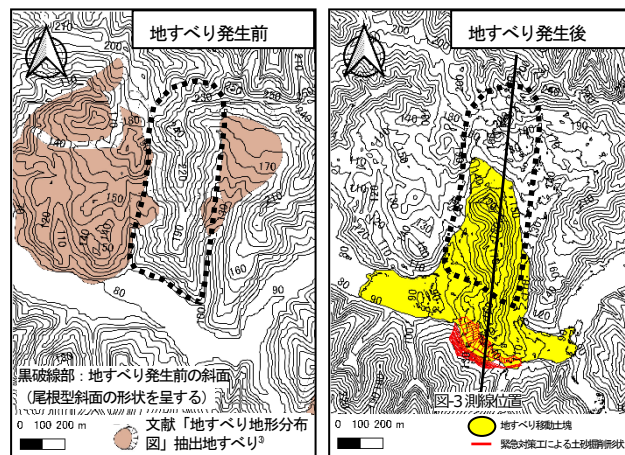


図-2 地すべり発生前後の比較

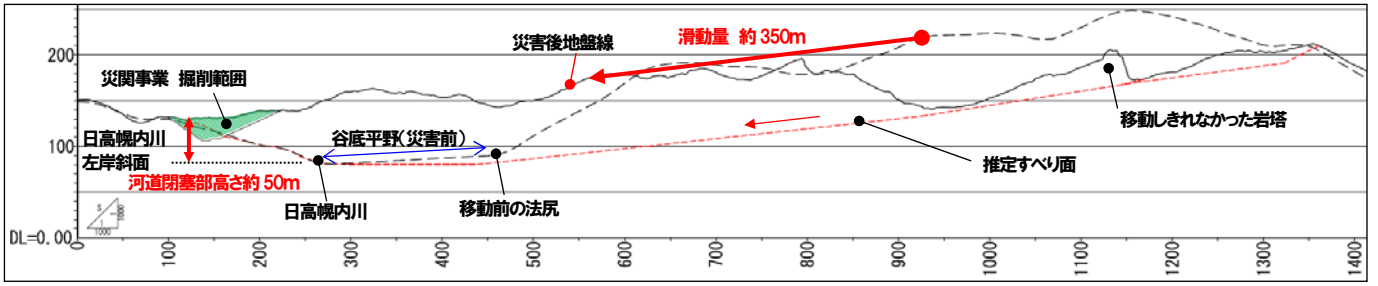


図-3 地すべり発生前後の比較（断面図）

3. 対策工事の概要

河道閉塞部における対策の基本として、①河道閉塞上流域での浸水被害対策、②決壊対策、③侵食対策および④土砂流出対策が挙げられる⁴⁾。当現場においては、①河道閉塞上流域での浸水被害対策の保全対象が無いことから、②～④に重点を置いた対策工が実施された。

災関事業による緊急対策工は、決壊流量規模を低減するため湛水量の低減および河道閉塞部の安定化を図ることに重点を置いた対策が実施された。具体的には、河道閉塞部を掘削し、高さを約30m切り下げることで、決壊流量（湛水容量）の低減を図った。河道閉塞部の掘削土は、河道閉塞部下流側に盛土を施し、緩勾配化することで安定化を図るとともに、連節ブロック工による水路工を設置し、侵食の防止を図った。また、河道閉塞の脚部固定を目的とする基幹砂防堰堤を設置し、さらに下流側には、侵食による下流への流出土砂を捕捉する目的の砂防堰堤が設置された（図-4）。

特緊事業による恒久対策工は、災関事業によって施工された連節ブロック水路の表面に、コンクリート張工を施し、流下能力を向上するとともに、溪流保全工および砂防堰堤の整備が進められている。

また、直轄事業とは別に、北海道の災害復旧事業による湛水部の埋め立て工事（以下「北海道事業」）が実施され、2022年3月に工事が完了している。この湛水部埋め立てによって、湛水容量が低減している。

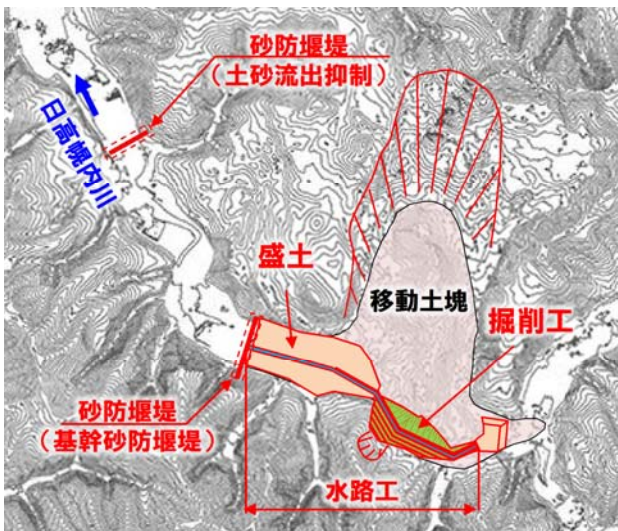


図-4 災関事業による緊急対策工の模式図

4. 地質調査結果

河道閉塞部周辺で実施された地質調査箇所を図-5に示す。対象斜面は新第三紀の砂岩泥岩互層からなる軽舞層⁵⁾の分布域で、基盤岩の地質構造は、ボアホールカメラによる画像解析より傾斜10°前後の流れ盤構造を呈する。

すべり面想定深度について、BV-2を除くボーリング調査地点においては、旧河床堆積物や左岸側地山の旧表層堆積物と破碎岩の混合層下面付近に、すべり面が想定される（図-6 a）。岩盤同士が接するBV-2では、全体として無破碎を主体とする中で、深度75.29m付近に、局所的に細粒化部（無構造角礫状、基質支持）が認められ（図-6 b）、破碎部下面付近にすべり面が想定される。

すべり面勾配は、基盤の地質構造と概ね平行であり、流れ盤の層面すべりを素因として、すべり面が形成されたと想定される。なお、対岸斜面上に乗り上げた部分は、著しい破碎を伴い、無構造角礫化している⁷⁾。

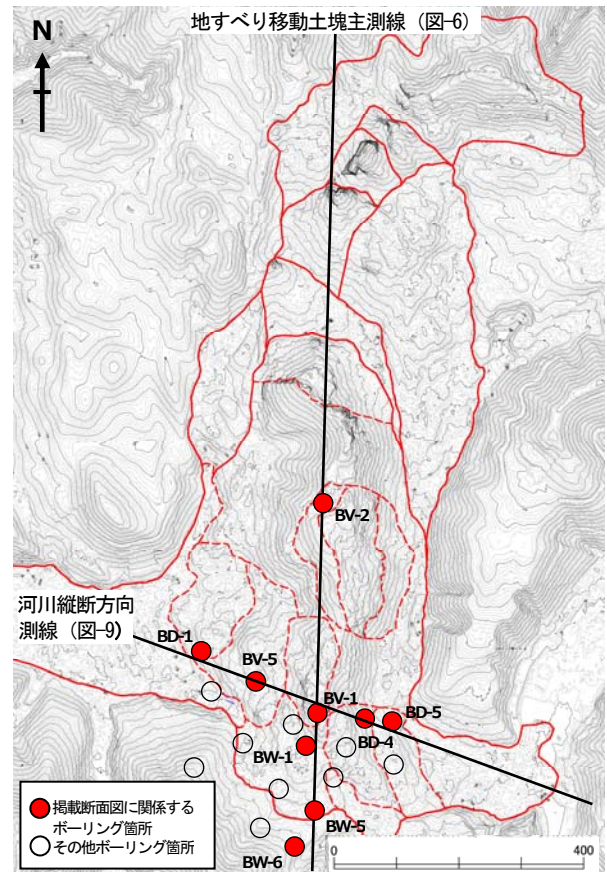


図-5 地質調査箇所図

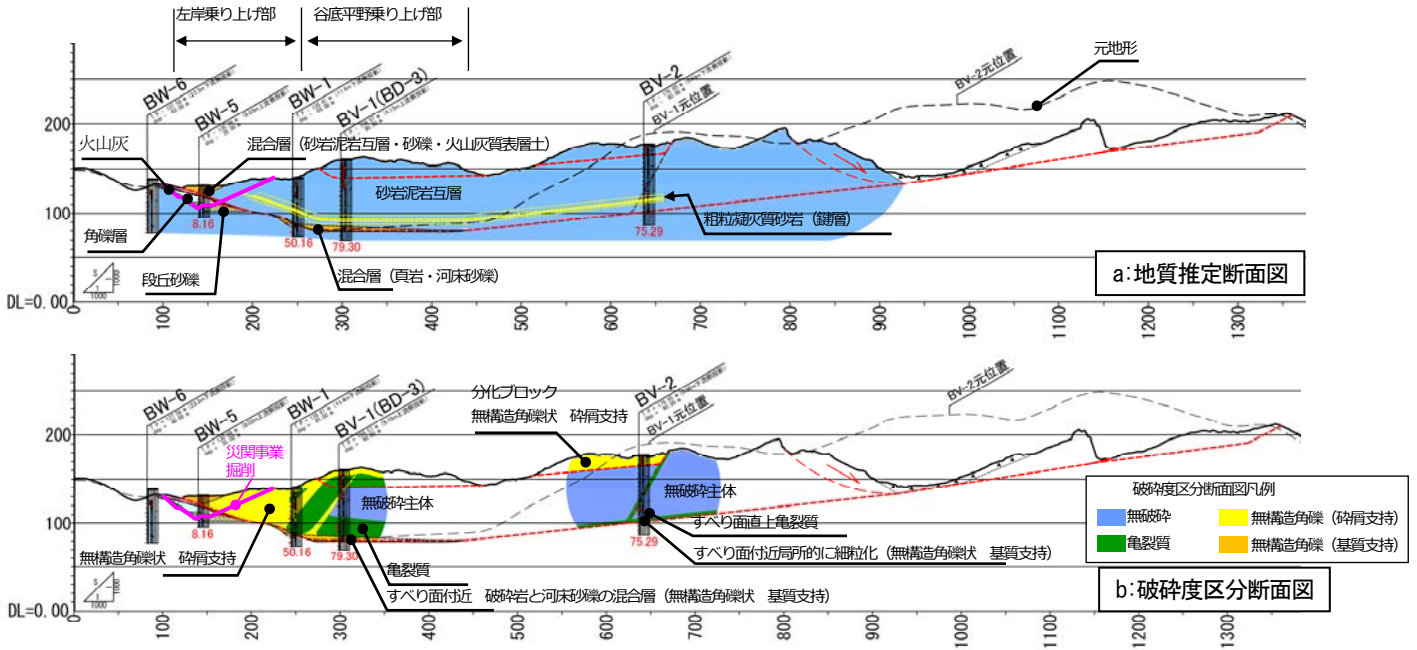


図-6 移動土塊断面図

なお、災関事業による河道閉塞部の掘削によって、移動土塊末端の抵抗領域となっている土塊が一部が除去され（図-6 b）、地すべり移動土塊の安定性に対して、不安定側に作用した可能性があることから安定性評価において、その影響を考慮した。

5. 挙動監視

河道閉塞を発生させた移動土塊の挙動監視観測を目的として設置された観測計器を図-7に示す。

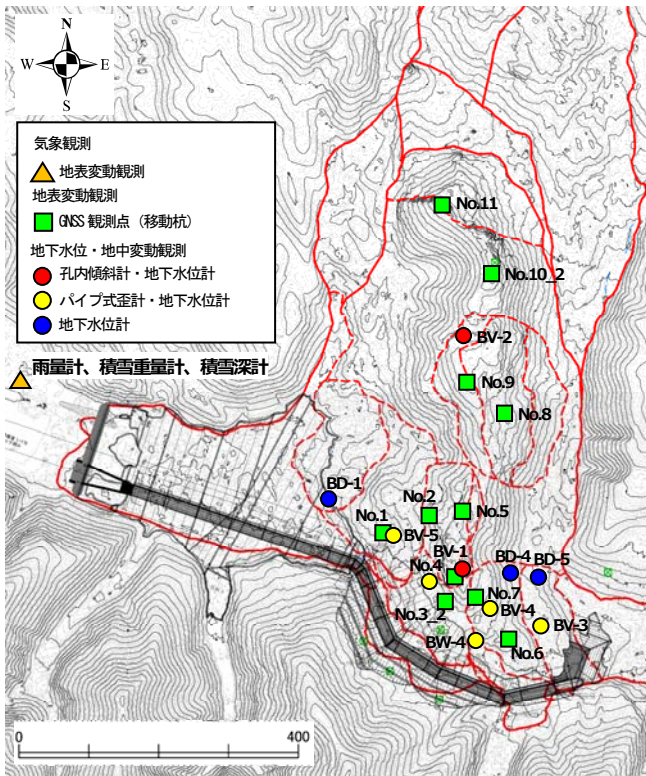


図-7 観測計器位置図

(1) 観測の目的

一般に、降雨および融雪水が地盤に浸透し、地下水位を上昇させ、すべり面に作用する間隙水圧が上昇することで、移動土塊の不安定化を引き起こす。よって、降雨および融雪に対応した地下水位応答と、地下水位変動に対応した移動土塊の移動変形量を観測によって把握し、安定度を定量的に評価する目的で、各種観測を実施した。

(2) 気象

河道閉塞部付近の気象条件を把握する目的で、雨量計、積雪深計、積雪重量計および温度計等の気象観測計器を設置し、継続的に観測を行っている。

観測の結果（図-8）、24時間雨量で、3年確率程度の降雨を2021年11月10日と2022年8月15日の2回記録した。また、2020年3月10日は、降雨によって融雪が急激に進み、融雪換算降水量を含めると20年確率規模相当となる。

なお、確率降雨はアメダス厚真観測所の1976年から2020年までの年最大24時間雨量をサンプルとし、水文統計ユーティリティに基づき算出された値とした（3年確率雨量：94.9mm、5年確率雨量：114.3mm、20年確率雨量：156.1mm）。

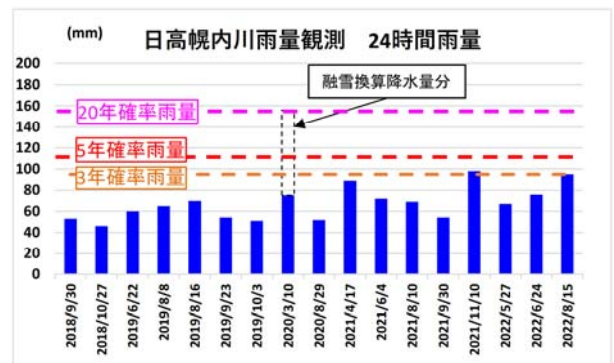


図-8 雨量観測による24時間雨量と確率降雨規模

(3) 地下水位観測

移動土塊を対象として、2018年11月～2019年2月までに計11箇所の地下水位計が設置され（図-7）、現在まで継続的に観測を実施している。

観測の結果、降雨時および融雪期に地下水位上昇が認められる。また、湛水位上昇に伴って、移動土塊内の地下水位上昇が認められる（図-9、図-12 e f）。

湛水位は、2018年12月14日にEL=102.33mを記録して以降、2022年2月までポンプ排水、北海道事業に伴う転流工の影響により、湛水位上昇が抑制された。2022年2月に、北海道事業に伴う転流工が撤去されて以降、湛水位が上昇し、2022年3月20日にEL=108.3mで満水状態となった。その後、2022年8月15日出水の影響により、2022年8月16日に湛水位が最高水位EL=108.98mを記録した。湛水位が最高水位を記録した3日後の2022年8月19日に移動土塊内の地下水位が最高水位を観測した（図-12 f）。

移動土塊内の地下水位について、観測期間における最低水位（2020年3月9日）と最高水位（2022年8月19日）の比較から、BD-5付近で、最大約13mの地下水位上昇が認められた（図-9）。

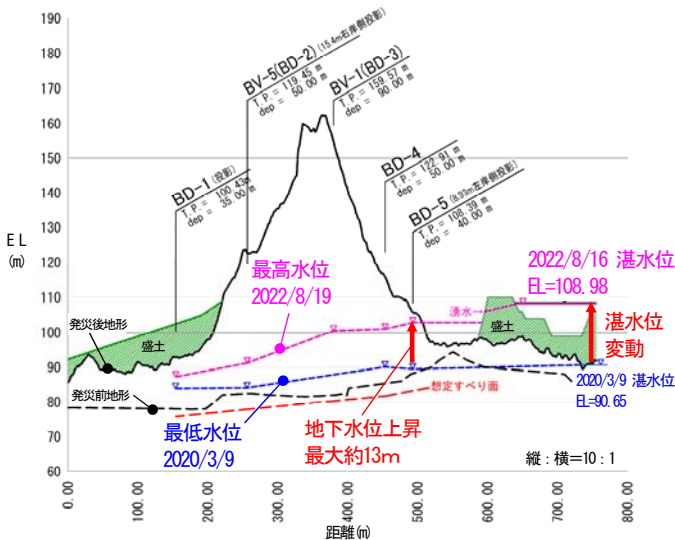


図-9 河川縦断方向測線における推定地下水位分布

(4) 地表変動観測（移動杭のGNSS観測）

移動土塊の地表変動の有無を監視する目的で、移動土塊内に観測杭を11箇所設置し（図-10）、GNSS観測による挙動監視を実施している。観測頻度は、1回/2ヶ月の頻度で、2018年9月以降、現在まで継続的に計測を実施している。

観測の結果、観測初期に、沈下および水平方向の成分を持つ変位が認められた（図-10、図-12 a b）。変位は、時間経過とともに、安定化する傾向が認められ、誘因に対応した変位の加速や再滑動性が顕著ではないことから、移動土塊の圧密沈下が主な変動要因と考えられる。

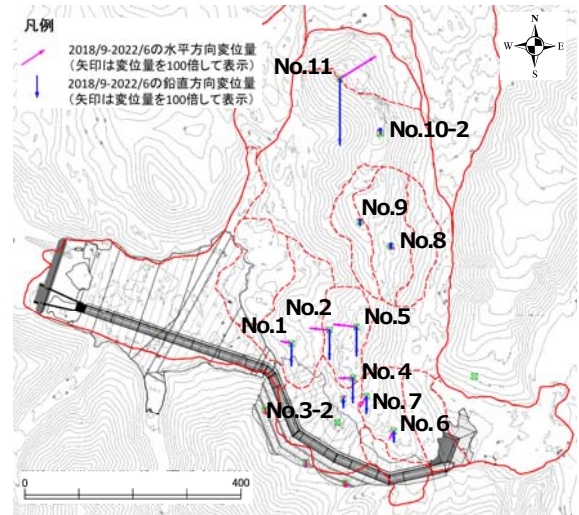


図-10 GNSS計測変位ベクトル図

(5) 地中変動観測

移動土塊内の移動変形量調査を目的として、2018年11月～2019年1月までに、孔内傾斜計2箇所、パイプ式歪計6箇所が設置され（図-7）、現在まで継続的に計測を実施している。パイプ式歪計は自記式で、1時間毎の変動データが取得されている。孔内傾斜計は、2回/月の頻度で手動計測を実施している。

地すべりの主測線における想定すべり面深度付近の変動グラフを図-12 c dに示す。パイプ歪計（図-12 c）は、観測初期に変位が認められたが、時間経過とともに安定化傾向にあり、前述の地表変動観測の結果、地盤沈下が認められることを踏まえると、地盤沈下に伴う観測孔の圧縮性の変形の可能性が高い。なお、BW-7は、観測初期以外に変動が認められるが、その他計器に変動が認められないことから、移動土塊の再滑動による変位の可能性は低い。

孔内傾斜計BV-1号孔およびBV-2号孔は（図-12 d）、観測期間を通して、想定すべり面深度付近に、有意な変位は認められていない。なお、孔内傾斜計BV-1号孔は、2019年8月1日観測時点において、深度20.0mで孔曲がりが発生し、以深が計測不能となった。変位鳥観図より、孔曲がり区間は、らせん状に変形しており（図-11）、孔曲がりの要因は、ガイド管と地盤の充填不良が要因と考えられる⁶⁾。

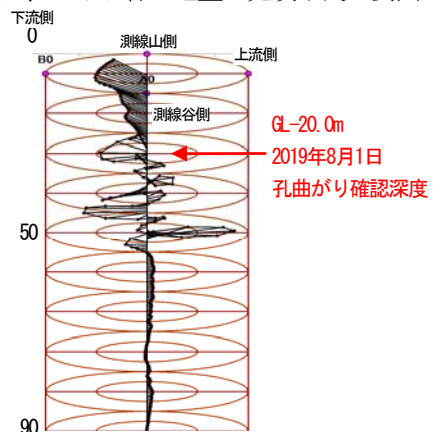


図-11 BV-1孔内傾斜計 累積変位鳥観図（2019年1月29日～2019年7月18日の累積変位量）

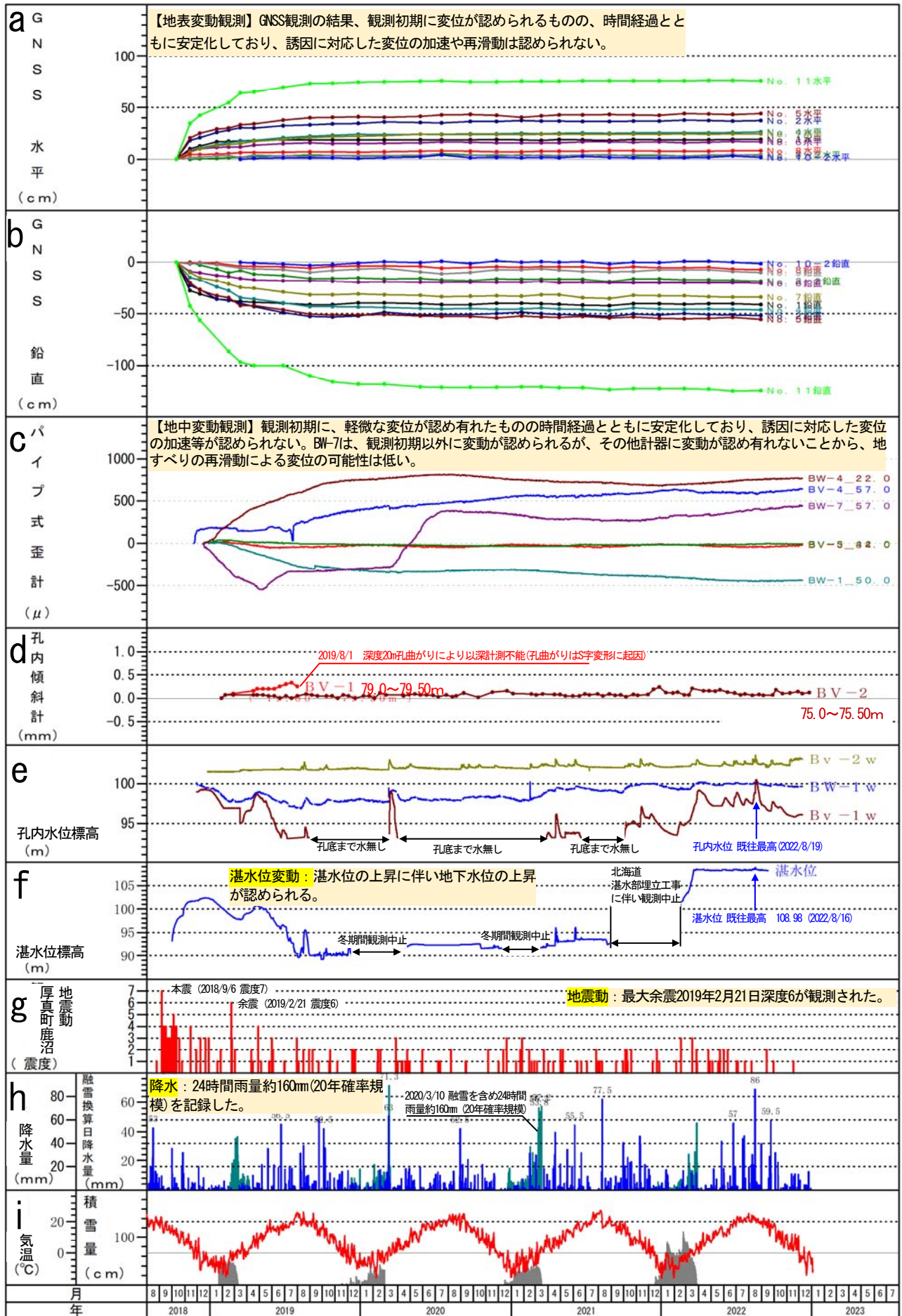


図-12 総括変動図

6. 移動土塊の安定性評価

挙動監視結果より、発災以降、河道閉塞部の掘削に伴う移動土塊末端抵抗領域の一部が除去されたことや、降雨、融雪及び湛水位の上昇に伴って移動土塊内の地下水位が上昇するなど、移動土塊の不安定化要因に対して、変動は認められず、安定しているもと考えられる。

今後、未経験の事象として、特緊事業による水路工の施工が完了し、設計対象流量が水路工を流下する状況においては、既往未経験の湛水位となり、追従性が認められる移動土塊内部の地下水位も既往未経験水位となる可能性がある。そこで、想定される最大限の地下水位上昇（図-13）が発生した場合の移動土塊の安定性について、安定解析を行い安定度を検証した。

安定解析の条件および安定解析の流れを図-14に示す。

安定解析は、災関事業による河道閉塞部掘削後の地形形状で、地下水位をEL=111.3mまで上昇させた際の安全率推移を求めた（図-15）。

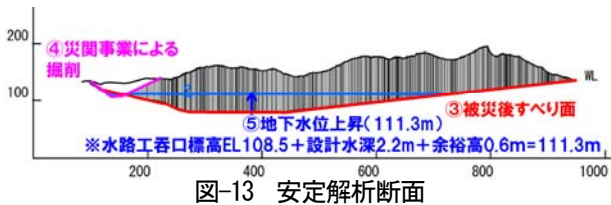


図-13 安定解析断面

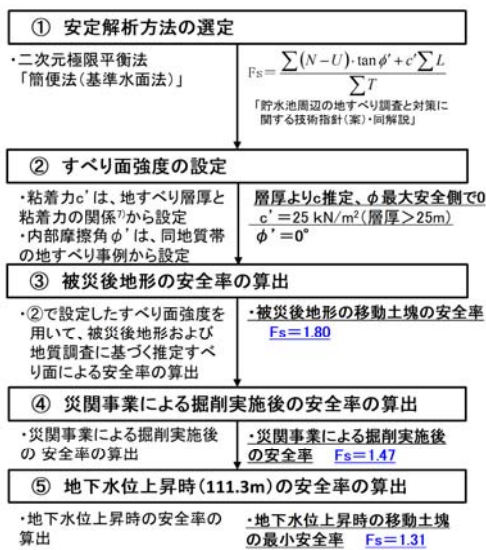


図-14 解析条件および安定解析の流れ

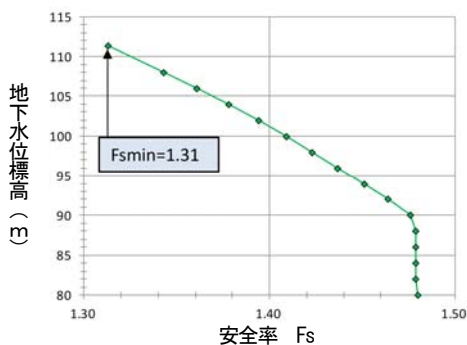


図-15 地下水位上昇に伴う安全率推移

安定解析の結果、想定される最大限の地下水位上昇が発生した場合において、移動土塊の安全率は $F_s=1.31$ であり、 $F_s=1.00$ を大きく上回っていることから、安定的であると考えられる。

7. おわりに

平成 30 年北海道胆振東部地震に伴い大規模な河道閉塞を発生させた移動土塊について、調査結果および挙動監視結果に基づき、安定性の評価を行った。

挙動監視結果より、発災以降、河道閉塞部の掘削に伴う移動土塊末端抵抗領域の一部が除去されたことや、降雨、融雪及び湛水位の上昇に伴って移動土塊内の地下水位が上昇するなど、移動土塊の不安定化要因に対して、移動土塊の再滑動を示す変動は認められず、安定していることが確認された。また、将来発生が想定される湛水位上昇に対しては、安定解析を行った結果、安全率が $F_s=1.00$ を大きく上回っており、安定していることが確認できた。

なお、現在、湛水位が満水の状態が継続しており、湛水位が満水の状態で、融雪出水を経験していないことから、今後も継続的に観測を実施し、安定性を確認する予定である。

参考文献：

- 1) 早川智也・清水龍来・寺口慧介・石崎俊一、戸田英明・田近淳・木崎健治 (2020)：日高幌内川岩盤地すべり，地震による地すべり災害—2018年北海道胆振地東部地震—，北海道大学出版会，p. 164-176.
- 2) 岩田清徳・渡邊一靖・福岡渉 (2021)：厚真川水系日高幌内川の大規模河道閉塞対策工に関する水理模型実験・検証について，第64回（2020年度）北海道開発技術研究発表会論文，p. 372-377.
- 3) 防災科学技術研究所 (2010)：防災科学技術研究所研究資料 第345号、地すべり地形分布図 穂別.
- 4) 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター紀伊山系砂防事務所 (2017)：紀伊山地における大規模河道閉塞(天然ダム) 対策の考え方 (案) .
- 5) 高橋功二・和田信彦 (1987)：5 万分の 1 地質図幅「穂別」および同説明書，北海道立地下資源調査所，40p.
- 6) 独立行政法人土木研究所、応用地質株式会社、坂田電機株式会社、日本工営株式会社 (2010)：地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル P56.
- 7) 国土交通省 水管理・国土保全局 (2019)：貯水池周辺の地すべり調査と対策に関する技術指針・同解説、P56