

地盤の透水特性を考慮した地すべり安定解析

Landslide Stability Analysis that Considers Permeability Property of the Ground

共通事業本部 地質部 河又 久雄¹⁾
新妻 重明²⁾



概要(Abstract)

ダム湛水の影響を受ける地すべり安定度検討において、浸透流解析により地下水変動を求め、安全率の最小値を的確に把握した。対象地域では、融雪期においてダムの貯水量が増え、地すべり移動体内の間隙水圧も上昇し、地すべりの滑動が活発になるため、対象地域の積雪深データを利用した雪面低下法より融雪浸透量を推定し、融雪量を考慮した地すべり解析を実施した。浸透流解析における解析モデルは、融雪期の観測データをもとにパラメトリックスタディを行い、地下水位の現況再現より精度向上を図った。

検討の結果、想定される洪水を考慮したダム貯水位の変化において、事前降雨や融雪量を考慮した場合、従来の基準水面法(残留間隙水圧の残留率 50%)より地すべりの安定度が低下する結果が得られた。

1. はじめに

従来より、貯水池地すべりにおける“残留間隙水圧の残留率は、十分なデータがない場合には安全側の判断として、50%とすることが一般的”とされてきた¹⁾。

対象とした北海道内の貯水池地すべりでは、融雪期においてダムの貯水量が増え、地すべり移動体内の間隙水圧も上昇し、地すべりの活動が活発になる。このため、地域の積雪深データを利用した雪面低下法より融雪浸透量を推定し、融雪量や洪水降雨を考慮した浸透流解析により、地すべり解析を実施した。

検討の結果、想定される洪水を考慮したダム貯水位の変化において、洪水降雨や融雪量を考慮した場合、従来の基準水面法(残留間隙水圧の残留率 50%)より、地すべりの安定度が低下する結果が得られたため、実施した解析の概要と結果について報告する。

2. 地すべりの概要

対象地すべりは、ブロックの分化が進んだ『崩積土地すべり』に分類される(表-1、図-1、2)。

各地すべり移動体の状況は、ダム湖側の前面ブロックの方が、背後ブロックに比べて土砂化しており、地すべりの動態観測においても、前面ブロックのみに活動変位が確認されている。

表-1 地すべり概要

地すべり特性 (ブロック名) (検討断面)	E2地すべり				
	(E2-3) (断面3)	(E2-4) (断面1)	(E2-5) (断面1)	(E2-6) (断面2)	(E2-7) (断面2)
①規模	幅 30.66m	47.03m	43.38m	39.38m	18.53m
長さ	68.14m	124.38m	60.64m	44.87m	33.99m
最大層厚 (平均層厚)	7.39m (5.01m)	18.04m (9.57m)	8.82m (6.38m)	12.74m (8.45m)	5.85m (3.30m)
②地形特性	頭部状況 現道に段差を持つ開口亀裂あり	不明瞭な滑落崖あり	分離小丘と鞍部あり	分離小丘と鞍部あり	不明瞭な分離小丘と鞍部あり
末端部状況	末端崖あり	末端に地すべりブロックあり	末端崖あり	末端崖あり	沢地形あり
側部状況	沢地形あり	沢地形あり	沢地形あり	沢地形あり	不明瞭な凹型斜面
③地質特性	上部礫夷層群下部層の泥岩(Yum)				
基盤岩	・褶曲軸が多数存在し、地質構造が変化する ・調査箇所の変向傾斜はN4° E19° E、N15° W17° E ・既往のスレーキング試験では56%を示し、風化侵食に弱い岩である				
崩積土	・土質は礫質シルト ・N値は5~28(平均10)	・土質は礫混りシルト~礫質シルト ・N値は4~28(平均19)	・土質は礫混りシルト ・N値は3~19(平均11)	・土質はシルト混り砂礫 ・N値は6~33(平均17)	・土質は礫混りシルト~礫質シルト ・N値は3~7(平均5)
④地下構造特性	想定深度 (GL-) ①6.70m (H19-K-8) ②5.40m (H19-K-9)	①18.40m (H7BV-1) ②9.60m (H7BV-3)	5.30m (H7BV-3)	14.50m (H21-B-19)	5.75m (H21-B-18)
すべり面状況	①礫質シルトと泥岩との境界 ②礫質シルトとシルト質礫との境界	①強風化泥岩(地すべり移動体)と弱風化泥岩との境界 ②強風化泥岩(地すべり移動体)と風化泥岩との境界	崖錐(礫混りシルト)と、強風化泥岩(地すべり移動体)との境界	シルト質礫と礫質シルト(段丘堆積物)との境界	礫混りシルト~礫質シルトの崖錐堆積物とシルト質礫の段丘堆積物との境界
⑤湧水状況	上方斜面の段丘崖付近において、湧水が確認され、段丘面において湿地・水溜り箇所が認められる				
地下水特性	●融雪期高い	●地下水位の変動幅(3.03m)が大きい。 ●地下水位の最上昇期は融雪末期でダム堆水の影響を受ける。		●地下水位がGL-4.21~3.29mで地下水位が高い。 ●地下水位の最上昇期は融雪末期となる。	
⑥地すべり変動状況	断続的に変位あり	変位なし		不明瞭な変位あり	断続的に変位あり
変動度	変動b	変動c	変動c	変動c	変動b
活動度	危険度区分A	危険度区分B	危険度区分B	危険度区分B	危険度区分A
地すべり分類	【崩積土地すべり】				

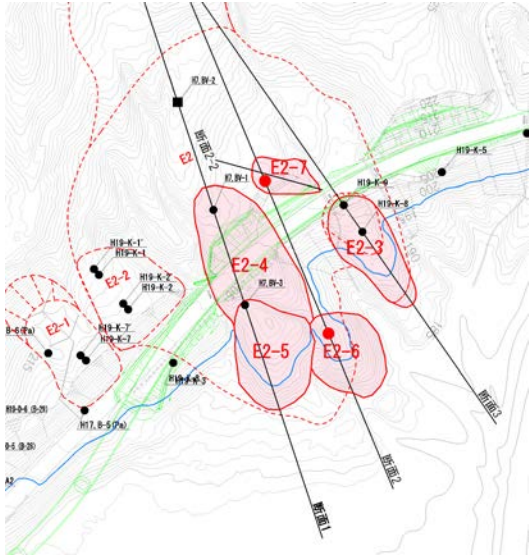


図-1 地すべり平面図

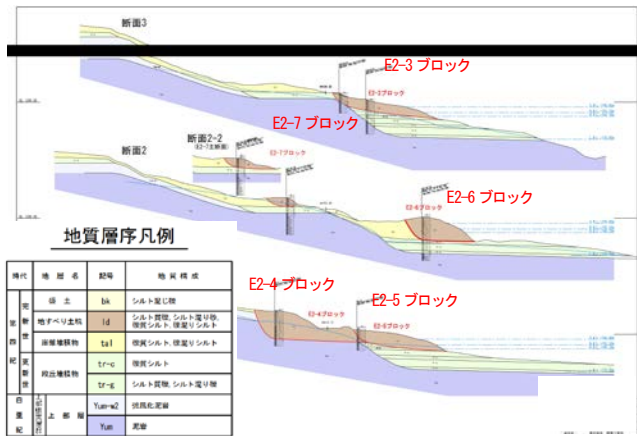


図-2 地すべり断面図

3. 解析の手順

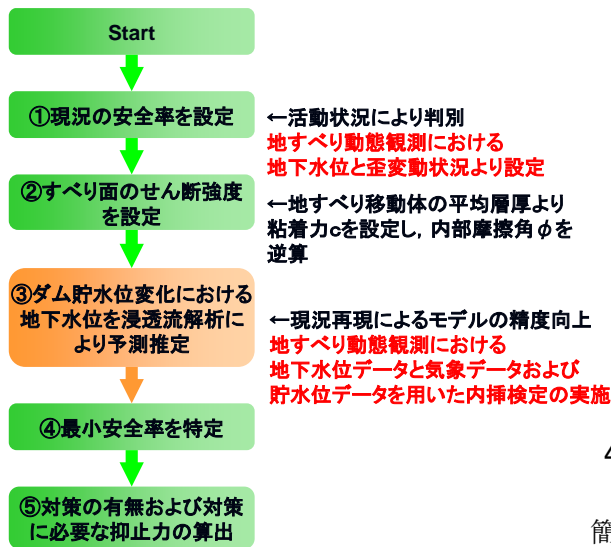


図-3 地すべり安定解析の流れ

地すべりの運動方向に設けた測線の地すべり断面について、安定計算を行い、貯水位変化にお

る地すべりの安定度を計算した。安定解析には「湛水地周辺の地すべり調査と対策」に示される“基準水面法”による計算式を使用した。湛水による安全率の低下量検討における流れを図-3に示す。

4. 浸透流解析

本浸透流解析では、地質調査結果より得られた地すべり断面図と現場透水試験より得られた透水係数をもとに検討モデルを作成し、観測データと気象データおよび貯水池水位データより内挿検定を実施し、洪水時や融雪期の地下水変動状況を予測解析した(図-4)。

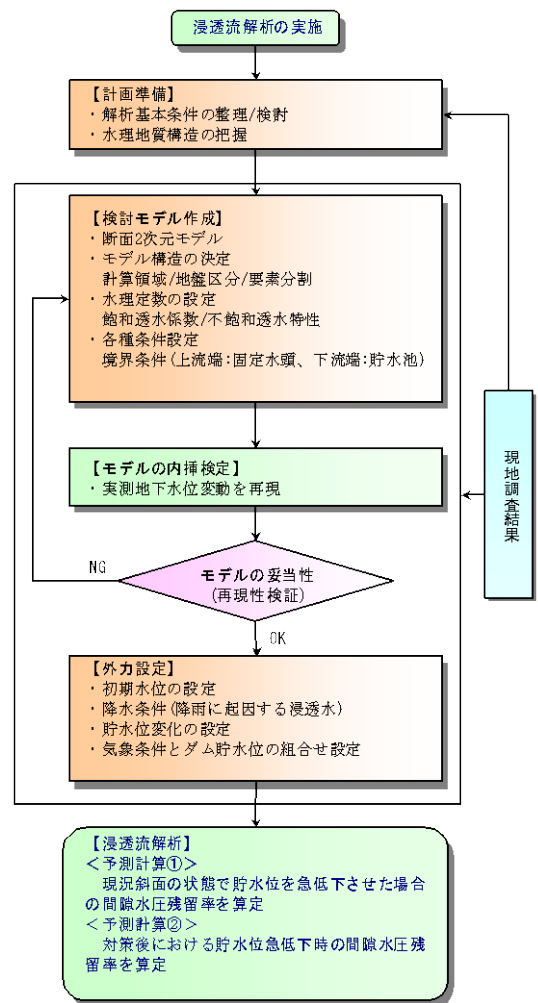


図-4 浸透流解析の流れ

4.1 融雪量の推定

融雪量は、対象地域の積雪深データを利用して簡易な計算により算出できる“雪面低下法”より推定した。

雪面低下法は積雪深の変化から発生した水量を推定し、1日当りの融雪量を算定する方法²⁾であり、

積雪比重が0.5~0.55と一定になる融雪期において適応性が良い(図-5)。

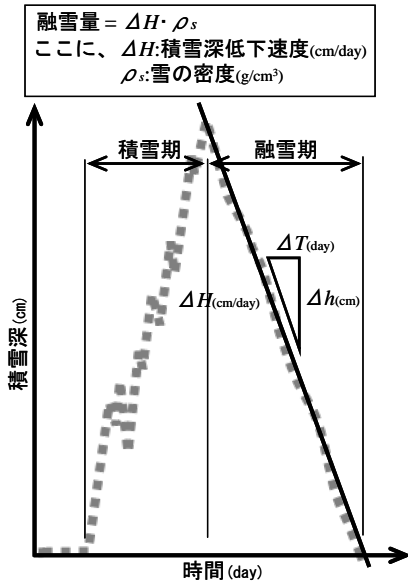


図-5 雪面低下法の概要図

融雪期に地表面へ到達した水が斜面地盤に浸透する過程は、無積雪期における降雨と同様と考え、融雪量を雨量とみなし、斜面表層に浸透するものとして設定した。

4.2 内挿検定

内挿検定によるモデルの現況再現精度は、一般的にかなり相関があるものと判断できる相関係数0.4以上、水位差1m以内を目安とした。内挿検定後の解析水位と観測地下水位を図-6に示す。

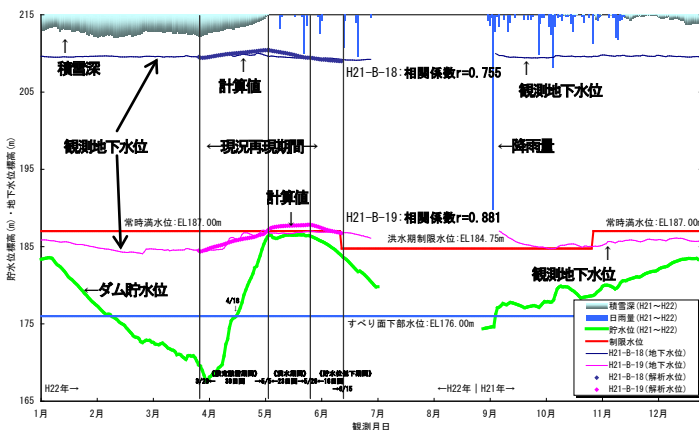


図-6 内挿検定後の現況再現結果

内挿検定では、特に浸透流解析で重要となる地盤の透水係数 k について、現場透水試験結果における値を参考にパラメトリックスタディ(パラメータの最適化)を行い、土質区分における一般的な透水係数の範囲内で、現況再現性の良い値を採用した。

4.3 検討外力

ダムの貯水池容量配分を参考に外力条件(降雨および融雪量、貯水位の変化)を4ケース設定した(表-2)。

表-2 検討外力ケース

Case	検討内容	外力条件				ダム貯水位	
		初期(事前) 降雨量 融雪量 (mm/hr)	継続 時間 (hr)	洪水時・出水時 降雨量 融雪量 (mm/hr)	継続 時間 (hr)	水位変化 SWL:サーチャージ水位 RWL:常時満水位 RWL:洪水期制限水位 LWL:すべり面下部水位	水位低下勾配
C-1	想定洪水時の検討 (実績水位低下勾配) (河川堤防整備に準じた検討)	1.00	135	10.00	33	RWL → SWL → RWL (190.70m→196.80m→190.70m)	0.27m/day
C-2	想定洪水時の検討 (想定最大水位低下勾配) (河川堤防整備に準じた検討)	1.00	135	10.00	33	RWL → SWL → RWL (190.70m→196.80m→190.70m)	1.05m/day
C-3	融雪出水時における 検討 (地域特性に基づく検討)	0.73	1,440	-	-	LWL → RWL → LWL (176.00m→193.10m→176.00m)	0.27m/day
C-4	融雪期における洪水 時の検討 (考えられる最も危険な条件 による検討)	0.73 →1.73	1,440	10.00	33	RWL → SWL → LWL (190.70m→196.80m→176.00m)	1.05m/day

4.4 解析条件

解析における境界条件は、上流端が任意(地盤の透水係数及び観測データにより設定)の固定水頭、下流端はダム貯水位データによる変動水頭とした。浸透流解析における初期水位は、調査地周辺の基底水位と考えられる融雪期開始日(2010/03/28)の各観測孔の地下水位(モデルの内挿検定時と同値)とした。

5. 最小安全率の把握

浸透流解析により得られた地下水位をもとに、外力条件の変化過程において、地すべりの安全率の変化を把握した(図-7、表-3)。

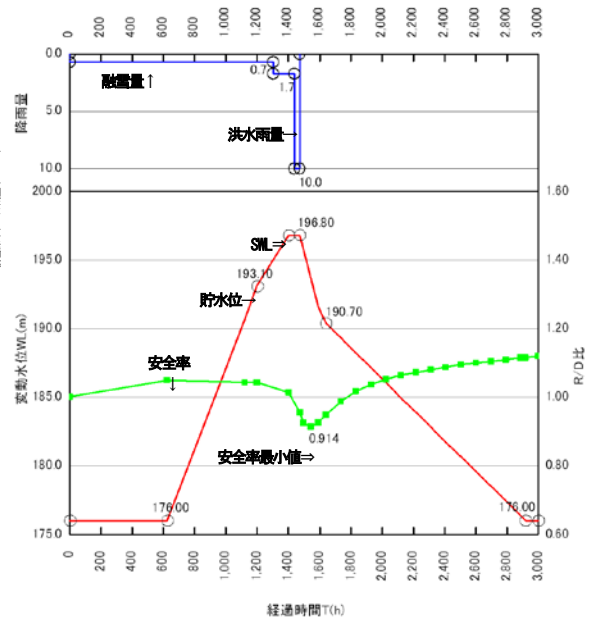


図-7 安全率の変化(E2-4ブロック;C-4)

表-3 ケース毎の最小安全率

ブロック	初期安全率	最小安全率				飽和面積比 (%)
		C-1	C-2	C-3	C-4	
E2-4	1.00	0.97	0.95	1.03	0.91	68.7
E2-5	1.00	0.91	0.83	0.98	0.86	67.2
E2-6	0.98	0.85	0.75	0.92	0.69	70.0
E2-7	0.98	0.87	0.92	0.75	0.69	88.3
E2-3	0.98	0.87	0.81	0.92	0.78	72.5

6. 結果

①各ケースとも、ダム貯水位の最高時から低下時における過程で最小安全率となる結果が得られている(図-7 参考)。

②ダム湛水と上方斜面からの地下水流入の影響が大きいE2-5ブロックを除き、ケース4(融雪期の洪水時)が最小安全率となる(表-3)。

⇒E2-5 ブロックでは、ダム貯水位の低下による残留間隙水圧の影響が強く、融雪による上方斜面からの地下水供給を考慮しないケース 2 において安全率が最小になったものと推測される。

③ダム貯水位の影響を直接受けない E2-7 ブロックを除く各ブロックでは、貯水位低下勾配が大きい方が安全率の低下も大きくなる(表-3)。

⇒ケース 2 はケース 1 と同様条件で、水位低下速度を洪水時における貯水位低下勾配(0.27m/day)から、ダムの最大放水量より想定される最大水位低下勾配(1.05m/day)とした。

一般的に貯水位低下勾配が大きいほど地下水の残留率が大きくなると考えられるため、地すべりに与える影響も大きくなるが、一般的な傾向に整合する結果が得られている。

④ダム湛水によりほとんど水没する E2-6 ブロックを除き、浸透流解析による安全率は、基準水面法の残留率 50%における安全率より低下する(表-4)。

⇒基準水面法はダム貯水位しか考慮していないのに対し、本検討における浸透流解析ではダム貯水位の外に降雨や融雪を考慮しているためと考えられる。

現況のダム貯水位変化実績からも、ダム貯水位の上昇時は洪水や融雪が伴っており、本外力条件は適当と考える。

⇒E2-6ブロックは、SWL(サーチャージ水位)、NWL(洪水期制限水位)において、地すべり移動体が殆どダム湖に沈む。基準水面法による地すべり移動体内の飽和面積比は 40.4%で、浸透流解析の飽和面積比 70.0%を大きく下回る。

基準水面法では地盤の透水性を考慮していないため、残留率 50%で想定される地下水位線の形

状(図-8:地すべり移動体の頭部付近の地下水位が大きく下がり、末端部付近で高くなる横 S 字形状)により、残留間隙水圧の影響が過大に出ているものと推測される。

表-4 最小安全率の検討結果

解析断面	ブロック名	小ブロック名	現状安全率	設定地下水水位	すべり面強度		最小安全率		対策工の必要性
					推定 c (kN/m ²)	逆計算 ϕ (°)	残留率50%	浸透流解析	
断面1		<E2-4>	1.00	想定融雪初期水位	10	7.19	0.99	0.91	有
		<E2-5>	1.00	想定融雪初期水位	6	7.75	0.88	0.83	有
断面2	E2	<E2-6>	0.98	R21-B-19 融雪水位	10	6.37	0.64	0.69	有
断面2-2		<E2-7>	0.98	R21-B-18 融雪水位	3	9.01	-	0.69	有
断面3		<E2-3>	0.98	想定融雪初期水位	5	8.21	0.89	0.78	有

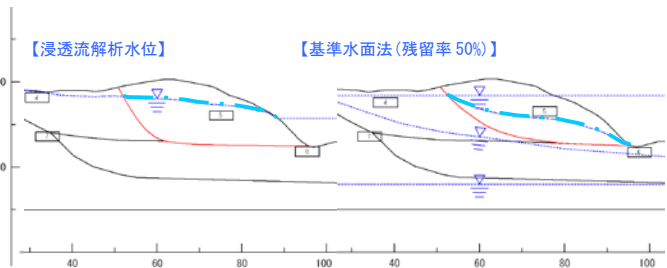


図-8 E2-6ブロックの地下水変動

7. おわりに

①浸透流解析は、観測データを再現検証できれば、洪水降雨や融雪を予測考慮することが可能で、北海道の地域特性を考えると、その有効性は非常に高い。

②浸透流解析の精度は、特に地下水位観測データに大きく依存する。なかでも山側の地すべりブロック外の水位観測を実施しておくことが、浸透流解析の境界条件設定において、より望ましいと考える。

③浸透流解析では、カルマンフィルタによる逆解析も可能となってきた。今後このような逆解析を利用することで、内挿検定を効果的に実施していくことが有効と考えられる。

引用文献

- 1) 財団法人国土技術研究センター(2010):改定新版 貯水池周辺の地すべり調査と対策, 古今書院, 136p.
- 2) 小島賢治(1979):融雪機構と熱収支, 気象研究ノート, 136, pp. 1-38.