

融雪期における盛土の地下水位変動について

Groundwater Level Fluctuation in Embankment of the Thaw Period

共通事業本部 地質部 河又 久雄¹⁾
高橋 慶行²⁾



概要(Abstract)

融雪期に発生した霧立峠、中山峠の土砂災害に見られるように、北海道では融雪水の浸透による地下水位の急激な上昇が、斜面や盛土の不安定化を引き起こす一要因となっている。本稿では、築堤盛土における融雪期の地下水位変動を二次元浸透流計算により予測解析し、地下水位観測結果を基に解析の妥当性検証を行い、二次元浸透流計算による融雪期の地下水位上昇を考慮した盛土の安定性照査の可能性を検討した。

1. はじめに

近年、融雪期に発生した霧立峠、中山峠の土砂災害に見られるように、北海道では融雪水の浸透による、斜面や盛土の災害が多く発生している。

今年の4月7日夜から8日未明にかけては、台風並みの低気圧が北海道を通過した。広い範囲で暴風雨が発生し、融雪が急速に進み、防雪柵の倒壊など今までに無い災害が発生している(図-1)。



図-1 融雪災害による防雪柵の倒壊

この防雪柵の倒壊原因の主要因として、盛土内が融雪水で飽和し、支持力が大きく低下したことが挙げられている(表-1)。

表-1 融雪による支持力の低下例

項目	〇〇地区	◇◇地区
①常時支持力	143kN/m ²	230kN/m ²
②倒壊融雪期の極限支持力	38kN/m ²	70kN/m ²
③逆風 13.5m/s 時の必要支持力	50kN/m ²	78kN/m ²
低下率(1-②/①)	73%	70%
判定(③<②)	NG	NG

次に、道路盛土法尻付近に設置した自記水位計による地下水位観測結果例を図-2に示す。

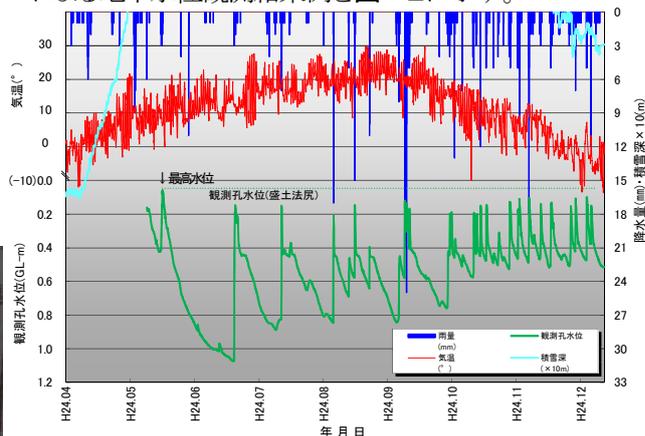


図-2 道路盛土による地下水観測結果例

観測期間は5月～12月の8か月間で、盛土の地下水位変動は、降雨との連動性が高く、降雨毎に頻りに盛土表層付近まで地下水位が上昇する傾向が認められる。このうち、融雪末期(4～5月初旬)の地下水は、夏場の豪雨時よりも水位が高い。

上記箇所のように、積雪の多い地域では年間を通して融雪期間が最も地下水位が上昇しており、融雪水により地盤が飽和され、地盤強度が大きく低下していることが推測される。

北海道における融雪期間は長く、期間内に発生する豪雨や地震なども十分に想定されるため、融雪を考慮した検討が重要と考える。

本稿では、築堤盛土における融雪期の地下水位変動を二次元浸透流計算により予測解析し、地下水位観測結果を基に解析の妥当性を検証した事例を報告する。

2. 築堤盛土における予測解析の概要

二次元浸透流計算による予測解析の流れを図-3に示し、以下に概要を示す。

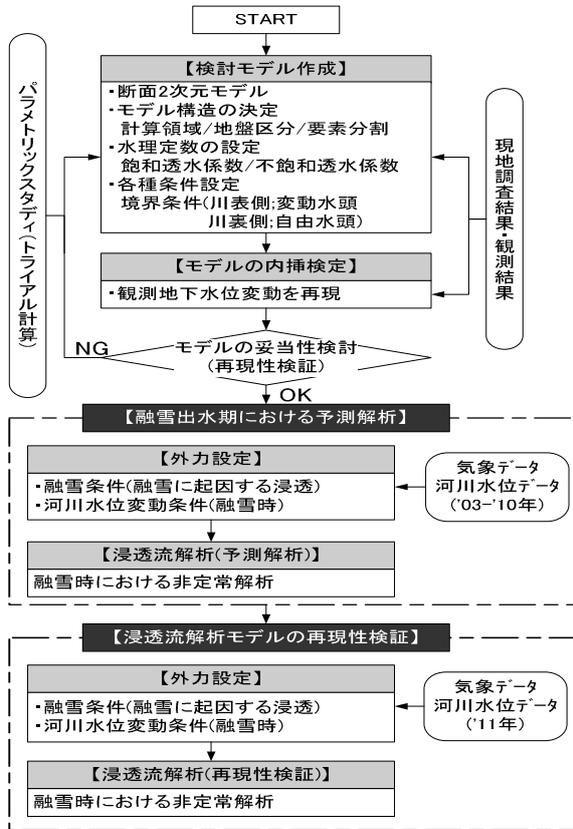


図-3 予測解析の流れ

【検討モデル作成】地質調査結果を基に、検討断面の形状および地盤構成をモデル化し、二次元浸透流計算に必要な地盤定数を設定した。なお、断面形状および土層構成のモデル化は、「手引き¹⁾」を参考に行った。

【モデルの内挿検定】設定した検討モデルの妥当性を検証するため、降雨によって地下水位の変化が見られた期間の地下水観測データを用いて内挿検定を行った。内挿検定では、主に地盤の透水係数を変化させたパラメトリックスタディによって検討モデルの精度向上を図った。

【融雪出水期における予測解析】内挿検定後の検討モデルを用いて、融雪出水期における堤体内の浸潤面変化を二次元浸透流計算によって推定した。計算に用いた外力は、過去8年間における融雪期の気象データ(積雪深より融雪量を推定)および河川水位データとした。

【浸透流解析モデルの再現性検証】内挿検定後の検討モデルを用いて、2011年の融雪出水期における地下水観測データと二次元浸透流計算による堤体

内の浸潤面変化を比較し、検討モデルの妥当性を検証した。計算に用いた外力は、2011年の融雪期の気象データ(積雪深より融雪量を推定)および河川水位データとした。

3. 融雪出水期における予測解析結果

(1)解析における外力設定

浸透流計算時の外力波形を表-2に示す。

表-2 外力条件一覧

検討内容	融雪出水期の浸透特性の検討	
初期(事前)	降雨(融雪)量	0.64 mm/hr
	継続時間	720 hr
水位高	平水位→観測平均水位→平水位	
水位低下勾配	観測平均水位	

【降雨(融雪量)の設定】

融雪量の推定は、雪面低下法²⁾を用いて行った。過去8年間における積雪深の変化(図-4)より積雪深低下速度の傾きを回帰直線より求めると、 $0.0220 \sim 0.0433 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ となり、雪面低下量の日平均は $0.0307 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ となる。これより、融雪量を推定すると、 $1.535 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1} (=0.64 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1})$ となる。

【継続時間の設定】

融雪量全てが地表面に達すると仮定(当然蒸発量等の推定が困難であるため、最大量として仮定)すると、 $0.64 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$ 程度の融雪水が、調査地全体に浸透しているものと推定される。調査地の融雪期間は3月上旬~4月中旬の約1.0ヶ月間(≒30日=720時間)であるため、融雪期に $0.64 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$ 程度の降雨が約30日間継続して浸透する影響を受けているものとして設定した。

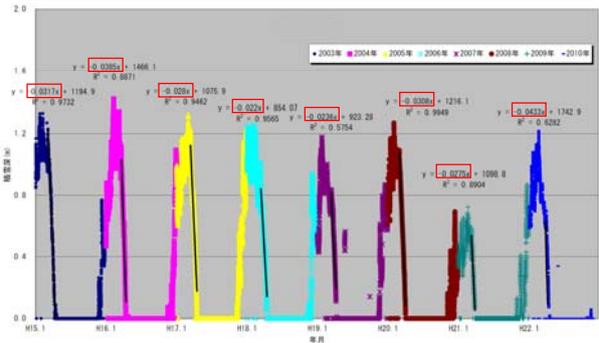


図-4 積雪深変化図(2003年~2010年)

(2)予測解析結果

地質調査結果による検討断面を図-5に示すほか、二次元浸透流計算結果による堤体内の湿潤面の経時変化を図-6に示し、各経過時間の概要を次に示す。

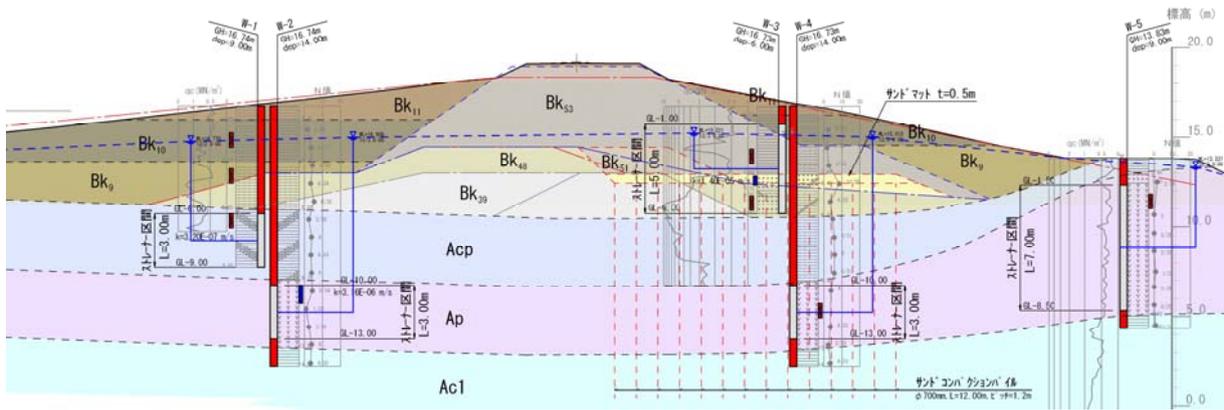


図-5 調査検討断面および観測孔位置図

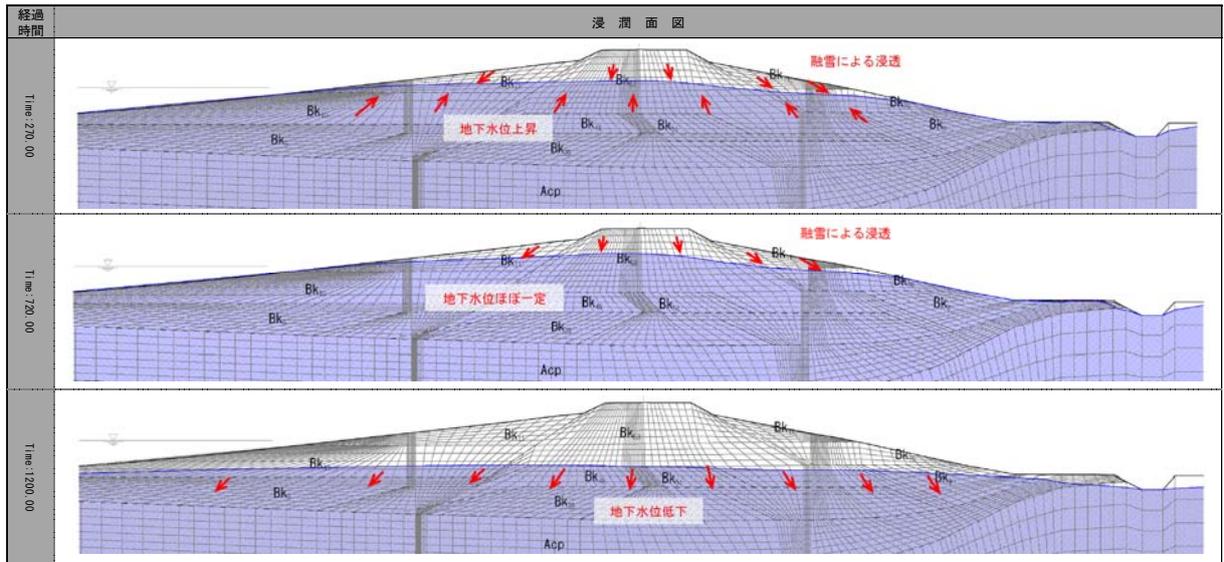


図-6 浸潤面の経時変化 (融雪出水期予測解析)

【Time:270.00】融雪水による堤体内への浸透が継続し、地下水位の上昇を引き起こす。計画高水位以下は飽和状態となる。

【Time:720.00】浸透の継続に伴い、地下水位がやや上昇し、融雪終了時までほぼ一定となる。

【Time:1200.00】融雪水の供給が終了し、時間の経過とともに地下水位が低下する。供給終了後 20 日経過時点で堤内地盤高付近に地下水位が低下する。

速度の傾きを回帰直線より求めると、雪面低下量の日平均は $0.0342\text{m}\cdot\text{day}^{-1}$ となる。これより、雪面低下法²⁾による融雪量は、 $1.71\text{cm}\cdot\text{day}^{-1}(=0.71\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1})$ と推定される。

【継続時間の設定】
融雪量全てが地表面に達すると仮定すると、 $0.71\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$ 程度の融雪水が、調査地全体に浸透しているものと推定される。2011年における調査地の融雪期間は、3/23 10:00~4/10 12:00の約18日間(=434時間)であったため、融雪期に $0.71\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$ 程度の降雨が434時間継続して浸透する影響を受けているものとして設定した。

4. 浸透流解析モデルの再現性検証

(1) 解析における外力設定

浸透流計算時の外力波形を表-4に示す。

表-4 外力条件一覧

検討内容	融雪出水期の再現性検討	
初期(事前)	降雨(融雪)量	0.71 mm/hr
	継続時間	434 hr
水位高	平水位→観測平均水位→平水位	
水位低下勾配	観測平均水位	

【降雨(融雪量)の設定】

2011年の積雪深の変化(図-7)より積雪深低下

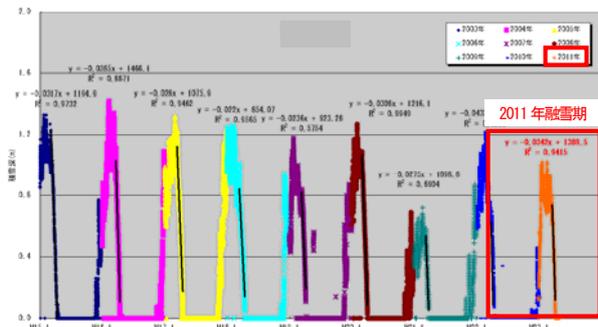


図-7 積雪深変化図 (2011年)

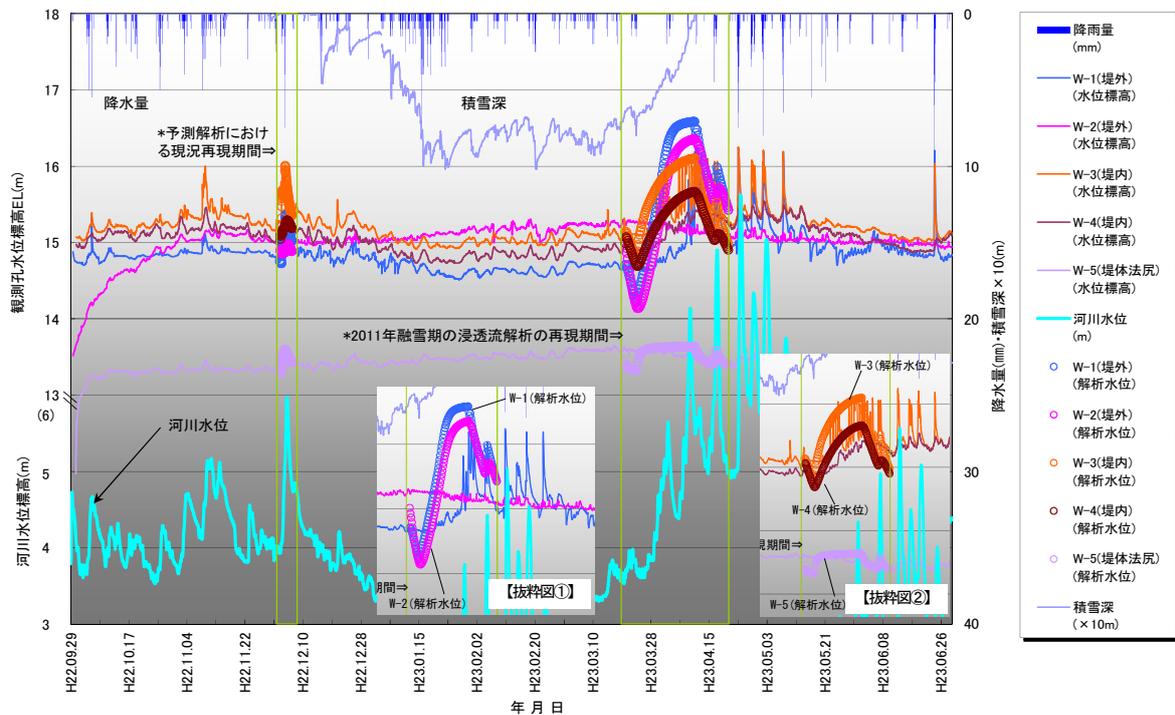


図-8 再現性検証比較図(抜粋図①:堤外側、抜粋図②:堤内側)

(2)再現性検証結果

得られた計算水位の経時変化と実測の地下水位観測データとの比較により検証を行った(図-8)。

【解析水位と観測水位の比較結果(堤内側)】

- W-3: 対象層-築堤盛土(B)の解析水位変化は、観測水位の日ピーク水位とほぼ一致する。
- W-4: 対象層-泥炭(Ap)の解析水位は、観測水位と比べやや高く、水位の上昇時期もやや早い。
- W-5: 対象層-泥炭(Ap)の解析水位は、観測水位の水位変化においてほぼ一致する。

【解析水位と観測水位の比較結果(堤外側)】

- W-1: 対象層-泥炭混じり粘土(Acp)の解析水位の最高位は、観測水位のピーク時とほぼ等しいものの、水位の上昇時期が早く一致していない。
- W-2: 対象層-泥炭(Ap)の解析水位は、観測水位と比べると水位が高く、水位変動も一致しない。

【考察-堤外側の水位変化について】

●W-1 の観測水位は、融雪末期後に降雨の影響を受けたことで大きな変動を示す。一方、解析水位は、融雪当初から上昇を見せる。

積雪深の変動と観測水位を比べると相関は認められるため、融雪の影響は受けているものと判断される。このことから、**地盤の透水性(特に保水性)の違いが水位変化に影響しているものと推測される。**

●一方、W-2 の観測水位は、堤内側の泥炭層の観測水位とも挙動が一致しない。

地層としては、堤体横断上連続して分布していることから、**堤体荷重による圧密の影響により、透水性が大きく異なっているものと推測される。**また、

W-2 の観測水位は、積雪時期に高くなり、融雪とともに低下する。これらは、**積雪時期において積雪荷重が載荷されることにより、間隙水圧の上昇が発生したものと考えられる。**一方、融雪時期においては、**積雪荷重が低減することにより、間隙水圧の消散が発生するとともに、融雪水の浸透による影響を受けたものと推測される。**

5.おわりに

築堤盛土における地下水水位変動の再現性の検証結果より、融雪期の地下水水位変動は二次元浸透流計算等を用いることによって、おおよその予測が可能である。このことから、斜面や盛土の安定性を検討する際は、**融雪期の地下水水位上昇を十分に考慮した検討が重要**と考える。

北海道のような積雪地では、年間を通して融雪期間が最も地下水水位が上昇している場合がある。融雪期間は、2週間から長いところで4週間以上にも及ぶ地域があり、**融雪期間内に発生する豪雨や地震なども十分に想定される。**最近では、融雪末期において台風並みの暴風雨も発生していることから、**今後は更に地域特性を踏まえ、融雪期の地下水水位上昇と異常気象等を考慮した検討も必要**と考える。

引用文献

- 1)財団法人国土技術研究センター、2002、河川堤防の構造検討の手引き
- 2)小島賢治、1979、融雪機構と熱収支、気象研究ノート、136、1-38