

## 道路法面の小段が持つ全層雪崩抑止効果の評価モデル

松澤 勝, 横山博之, 松下拓樹, 坂瀬 修 ((独) 土木研究所 寒地土木研究所)

### 1. はじめに

切土高 5 ~ 10m 以上の道路の切土法面には小段が設置されることが多い。この切土小段は、表面水の流速の低下や、表面水を法面の外へ排水するなどの目的で設けられるが、全層雪崩対策での階段工と同様に、全層雪崩抑止効果も有すると考えられている。階段工の設計では、積雪深に応じて、階段間隔、階段敷幅が決定される。しかし、切土小段に関しては、全層雪崩に対して小段幅や間隔が十分に有効であるかどうかを判断する基準がない。そこで、本研究では、切欠き型階段工の設計に用いられているモデルを参考に、切土小段の全層雪崩抑止効果の有無を判断するモデルを考案したので報告する。

### 2. 階段工の設計理論<sup>1)</sup>

階段工は、斜面に階段状の切り込みを入れる全層雪崩対策である。斜面積雪がグライドを起こすと、階段上の雪が圧縮されてせん断強度が大きくなり、斜面積雪を安定させる機能を持つ。階段工には、切欠き型階段工を始め、4つの形状がある。このうち、広く施工されている切欠き型の階段工は、各々の階段部分が、その直上の階段までの斜面にある積雪を支えると考えて設計が行われる。図1のような、傾斜角  $\theta(^{\circ})$ 、設計積雪深  $H_s(m)$ の斜面を想定し、階段の部分の直線 AB における雪のせん断抗力が、上部の斜面積雪を支えると考えられる。このとき、階段間隔  $L(m)$ と階段の幅  $b(m)$ はそれぞれ(1)式、(2)式で与えられる。

$$L = \frac{0.5 \sec \theta \cdot b \cdot S_R}{\rho_s g H_s (\sin \theta - 0.2)} \quad \dots (1)$$

$$b = 0.8 \cdot H_s \quad \dots (2)$$

ここで、

$S_R$ : 直線 AB 上の積雪のせん断強度(Pa)

$\rho_s$ : 積雪の密度(kg/m<sup>3</sup>)

$g$ : 重力加速度(=9.8 m/s<sup>2</sup>)

である。

なお、切欠き型階段工では、グライドで押し出された積雪は階段の所で空洞を作る(図1)。このため直線 AB の全長が積雪を支えることとはならない。(1)式の分子の 0.5 はこの空洞を考慮した有効せん断面の減少係数である。また、(1)式の分母の 0.2 は、本来  $\mu \cos \theta$  ( $\mu$  は積雪と地面との間の静止摩擦係数) とすべき所であるが、実際に扱う斜面が 40°付近であることを考慮して、定数で与えられている。

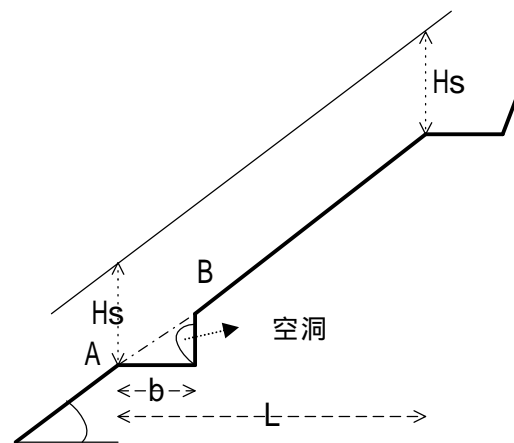


図1 切欠き型階段工のモデル。モデルのため、積雪表面の凹凸は無視している。

### 3. 切土小段の全層雪崩抑止モデル

北海道開発局の道路設計要領<sup>2)</sup>では、切土高 5~10 m に 1 箇所小段を設置することになっており、標準では切土高 7 m 毎に 1.5 m 幅の小段を設置することとしている(図 2)。これは、斜面での土の安定の側面から決められたもので、斜面積雪を考慮したものではない。

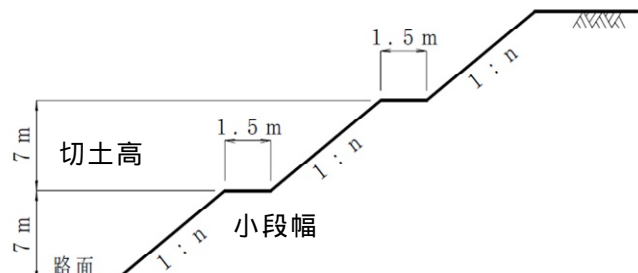


図 2 道路切土構造の一例<sup>2)</sup>

ここで、図 3 の様に図の奥行き方向に単位幅を持つ斜面積雪を考える。幅  $b$  の小段上の直線 AB が成す平面(せん断面とする)の積雪のせん断抗力  $R(N)$  と、この面に平行な斜面下向きの積雪の駆動力  $F(N)$  を式(3)、式(4)で与える。 $F$  は、断面 BCC'B' と断面 ABB'A' の積雪による直線 AB に平行な斜面下向きの力の合力から、直線 BC における摩擦抵抗を減じたものである。

$$R = \frac{b \tan \theta \sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{\tan \theta - \tan \alpha} \cdot S_R \quad \dots (3)$$

$$F = W_A (\sin \theta - 0.2) \cdot \cos(\theta - \alpha) + W_B \sin \alpha \quad \dots (4)$$

ここで、

$\theta$ : のり面の傾斜角(°)

$\alpha$ : 直線 AB が小段 AE となす角(°)

$W_A$ : 断面 BCC'B' の積雪の単位荷重 (N)

$W_B$ : 断面 ABB'A' の積雪の単位荷重 (N)

$S_R$ : 直線 AB が成す平面における積雪のせん断強度(Pa) であり、 $W_A$  と  $W_B$  は、次式で与えられる。

$$W_A = \frac{\rho \cdot g}{2} \left( 2H_s + \frac{(L-b)D \tan \theta}{L} - D \tan \alpha \right) \cdot (L-D) \quad \dots (5)$$

$$W_B = \frac{\rho \cdot g}{2} \left( 2H_s + \frac{(L-b)D \tan \theta}{L} - D \tan \alpha \right) \cdot D \quad \dots (6)$$

なお、

$$D = \frac{b \tan \theta}{\tan \theta - \tan \alpha} \quad \dots (7)$$

である。

切欠き型小段と同様に空洞を考慮して、切土小段の積雪の安全率  $\eta$  を考えると

$$\eta = \frac{0.5 \cdot R}{F} \quad \dots (8)$$

となる。 $\eta > 1.0$  のとき、安全と判断できる。なお、切欠き型小段と異なり、法面小段では空洞ができない可能性があるが、安全側の余裕を考慮して 0.5 を乗じることとする。

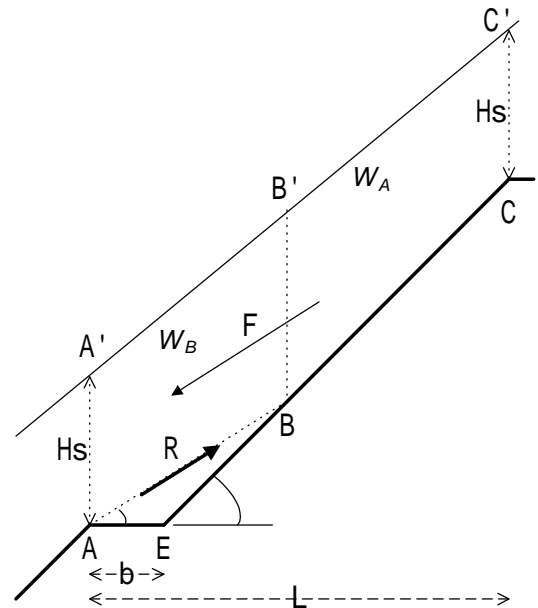


図 3 道路小段の積雪モデル。モデルのため、表面の凹凸は無視している。

### 4. 試算結果

3章で述べた方法によって、安全率の試算を行った。

図4は、せん断面の角度  $\alpha=13^\circ$ 、小段間の直高7m、積雪密度  $\rho_s=350\text{ kg/m}^3$ 、せん断強度  $S_R=30\text{ kPa}$  の条件で、傾斜角  $\theta=39.8^\circ$  (上図)と  $\theta=45^\circ$  (下図)の場合で、それぞれ、積雪深が1~4mでの安全率の試算結果である。斜面の傾斜角にかかわらず、小段幅1.5mの場合は、積雪深2.0m以下で  $>1.0$  となり概ね安全、また、小段幅3.0mの場合は、積雪深4.0m以下で概ね安全と判断できる。

図5は、 $\theta=39.8^\circ$ 、小段の幅1.5m、小段間の高さ7m、積雪密度  $\rho_s=350\text{ kg/m}^3$ 、せん断強度  $S_R=30\text{ kPa}$  の条件で、せん断面の角度  $\alpha$  による安全率の違いである。 $\alpha$  が小さくなるに従い、安全率が小さくなる事が分かる。また、積雪深が1.75m以下であれば、 $\alpha$  に依らず、常に安全率は1を超える。

### 5. 検討

図6は、4分の1スケールの道路法面の模型に雪を積もらせて、約2日経過させた後の状態である。斜面の表面にはグライドを起こしやすくするため、ビニールシートを張り付けた。積雪内部でのせん断破壊は発生せず、積雪底面と斜面の間で滑りが生じた。

階段工では、グライドによる滑動力よりも土砂面の抵抗力が大きいので、階段工の土砂面との滑りについてのチェックは省略する場合が多い<sup>1)</sup>。しかし、道路小段には張り芝を施す場合が多いので、以下では、小段上の積雪底面での抵抗力と滑動力との釣り合いについて検討を行うこととする。ここでは、(3)式のせん断抵抗力  $R$  の代わりに、積雪底面での摩擦力のみを考慮

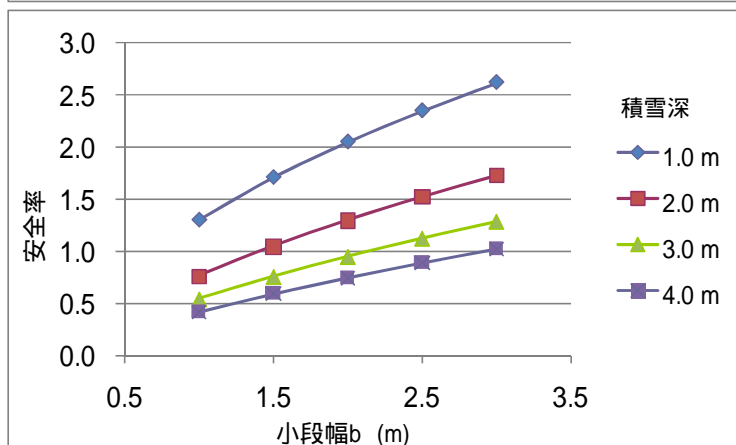
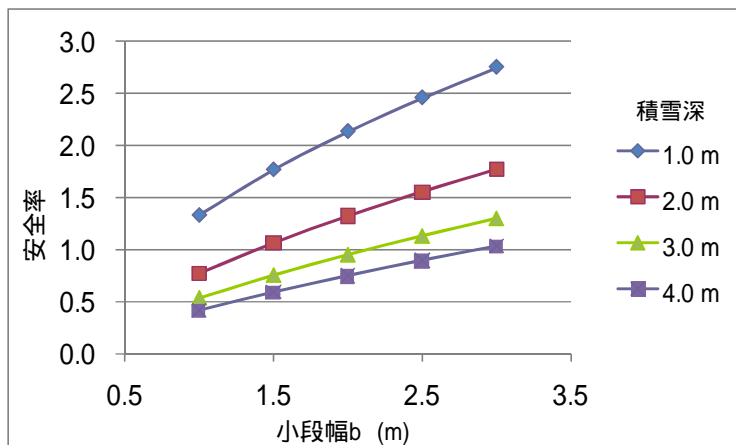


図4 切土小段の幅と安全率との関係。せん断面の角度  $\alpha=13^\circ$ 、小段間の直高7m、積雪密度  $\rho=350\text{ kg/m}^3$ 、せん断強度  $S_R=30\text{ kPa}$  の条件で、傾斜角  $\theta=39.8^\circ$  (上)と  $\theta=45^\circ$  (下)の場合。

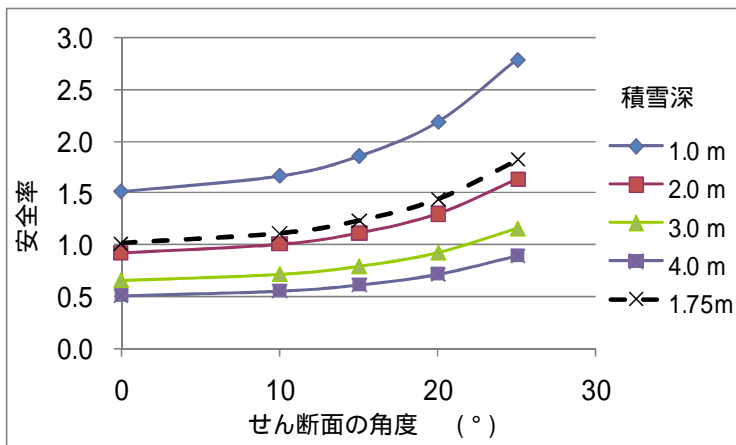


図5 せん断面の角度  $\alpha$  と安全率との関係。小段の幅1.5m、小段間の直高7m、積雪密度  $\rho=350\text{ kg/m}^3$ 、せん断強度  $S_R=30\text{ kPa}$  の条件で、傾斜角  $\theta=39.8^\circ$  の場合。

した小段上での抵抗力  $R'$  について次式で与えるものとする .

$$R' = \mu \cdot (F \sin \theta + W_B) \quad \dots (9)$$

ここで,  $\mu$  は, 小段と積雪底面との間の静止摩擦係数である . また, 安全率  $\eta'$  は次式とする .

$$\eta' = \frac{R'}{F} \quad \dots (10)$$

図 7 は, 小段間の直高 7 m, 積雪密度  $\rho_s = 350 \text{ kg/m}^3$ , 傾斜角  $\theta = 39.8^\circ$  の場合での, 小段幅と安全率  $\eta$  との関係である .  $\mu$  は, 積雪と地面との静止摩擦係数と見なすことができるが, 張り芝上の  $\mu$  について測定事例はない . そこで, ここでは, 遠藤・秋田谷<sup>3)</sup>が笹地斜面で測定した値を参考に,  $\mu = 0.5$  と  $0.6$  の 2 通りで計算することとした . 図 7 より  $\mu = 0.5$  の場合, 小段幅が 3 m でも, 安全率  $\eta'$  は 1 を下回る .

また, 計算された安全率  $\eta$  は積雪深には依存しなかった . つまり, 積雪が少なくても斜面積雪は滑り落ちることを意味しており実態に合わない . これは, 抵抗力  $R'$  について摩擦力だけを考慮したが, 実際は摩擦力以外の抵抗力も無視できないことを意味するものと考えられる .

## 6 . おわりに

今回, 切土小段が持つ全層雪崩抑止効果のモデルを考案し, いくつかの仮定をおいて安全率  $\eta$  を試算した . 今後, 試算の上で未解明であった, せん断面の角度, 小段上の積雪のせん断強度  $S_n$ , また, 切土小段上での積雪底面の抵抗力  $R'$  など, 実際の道路法面での観測が必要と考えられる .

さらに, 今回は, 全層雪崩に対する安全率  $\eta$  を検討したが, 将来的には, 表層雪崩についても安全度評価方法を検討していきたいと考えている .

## 参考文献

- 1) 日本建設機械化協会・雪センター(2005): 除雪・防雪ハンドブック(防雪編), 417pp
- 2) 北海道開発局(2009): 平成 21 年度北海道開発局道路設計要領 第 1 集道路 第 3 章道路土工, [http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z\\_doro/download/pdf/01/1-3-2.pdf](http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/download/pdf/01/1-3-2.pdf)
- 3) 遠藤八十一・秋田谷英次(1974): 斜面積雪の滑動実験(除報), 低温科学物理編, 32, 267-272.



図 6 4 分の 1 スケールの道路小段模型上での積雪の移動状況 . 小段上で積雪を支持しきれず, 滑動が発生した .

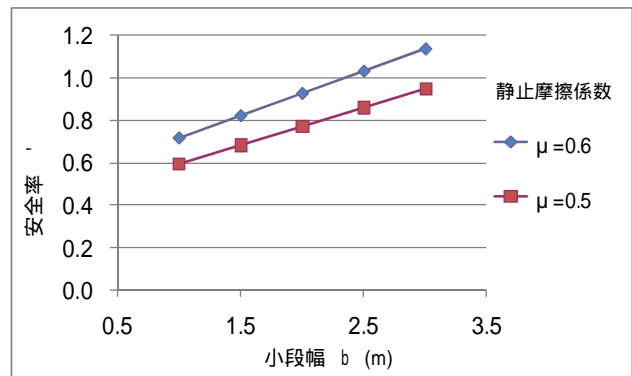


図 7 切土小段上での積雪底面の摩擦力で斜面積雪を支えるモデルでの, 小段幅と安全率との関係 . 小段間の直高 7 m, 積雪密度  $\rho_s = 350 \text{ kg/m}^3$ , 傾斜角  $\theta = 39.8^\circ$  の場合 .