

ロープ伏工の合理的な設計法に関する一提案 その2

第一コンサルタント 正会員 右城猛、正会員 兵頭学
○正会員 岩井蓮、正会員 児玉翔

1. まえがき

ロープ伏工の設計は、落石対策便覧¹⁾の覆式落石防護網に準拠して設計が行われているが、斜面上の岩塊の安定度を適切に評価したものとはなっていない。

筆者らは、斜面上の岩塊の安定度や地震時の影響も考慮したより合理的かつ実用的な設計法を提案している。本論文では、提案式を落石対策に利用するための具体的な方法について述べる。

2. 現行の設計法と問題点

落石対策便覧の覆式落石防護網工の式を適用すれば、ロープ伏工の横ロープに作用する張力は式(1)で、抑止可能な岩塊重量は式(2)でそれぞれ算定することができる²⁾。

$$T = 1.346W(\sin\theta - \mu \cdot \cos\theta) \leq T_a \quad (1), \quad W \leq \frac{T_a}{1.346(\sin\theta - \mu \cdot \cos\theta)} \quad (2)$$

ここに、 T ：横ロープに作用する張力(kN)、 W ：図1のように間隔 $h=2\text{m}$ に設置された横ロープと間隔 $l=2\text{m}$ に設置された縦ロープによって囲まれた範囲($2\text{m} \times 2\text{m}=4\text{m}^2$)の岩塊とロープの重量(kN)、 T_a ：ワイヤロープ1本当たりの許容張力、 θ ：斜面勾配(度)、 μ ：地山と岩塊の摩擦係数。ただし、横ロープの垂下量 f は、図2のように $f=0.1l$ としている¹⁾。

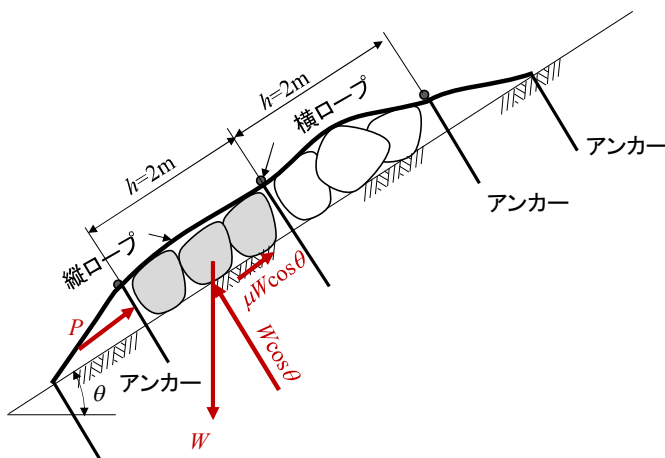


図1 縦ロープと横ロープで囲まれた斜面上岩塊に作用する力

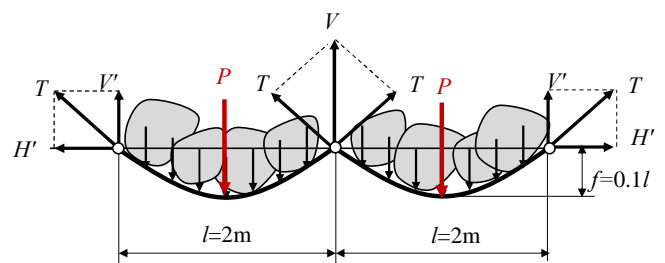


図2 横ロープのたわみと横ロープに作用する力

現行の設計法には2つ問題点がある。1つは、落石対策をしようとする岩塊の現状安全率が1未満になることを容認していることである。地山と岩塊の摩擦係数 μ として0.5が用いられている。 $\mu=0.5$ とすれば、 $\theta \geq 26.565^\circ$ の斜面では岩塊は滑落するため、岩塊は斜面上に存在しないことになる。著者らの経験では、危険度が高い落石対策が必要な斜面の勾配は $\theta \geq 40^\circ$ である。論理的に矛盾していることになる。

2つ目は、岩塊の安定度を考慮して横ロープ張力や抑止可能岩塊重量を算定しようとするれば、式(1)、式(2)の θ として実際の斜面勾配より緩い見掛けの斜面勾配を採用しなければならないが、そのような設計手法の妥当性を証明することは難しい。

3. 岩塊の安定度を考慮した設計法

筆者らは、岩塊の安定度に応じた現状安全率 F_{so} と計画安全率 F_{sp} を考慮してロープ張力 T 及び抑止可能な岩

塊重量 W を算定する式を提案している²⁾。式(3)、式(4)は常時を想定している。このため、地震時の水平震度は考慮していない。なお、現状安全率 F_{so} は式(5)、計画安全率 F_{sp} は式(6)のように定義している。

$$T = 1.346W(F_{sp} - F_{so})\sin\theta \quad (3) \quad W = \frac{T_a}{1.346(F_{sp} - F_{so})\sin\theta} \quad (4)$$

$$F_{so} = \frac{W\mu\cos\theta}{W\sin\theta} \quad (5) \quad F_{sp} = \frac{W\mu\cos\theta + P}{W\sin\theta} \quad (6)$$

地すべり対策の実務では、地すべりの安定度に応じて 0.95~1.0 の範囲で現状安全率 F_{so} を仮定し、すべり面のせん断強度定数 c 、 ϕ を逆算で求め、計画安全率が $F_{sp}=1.2$ となる抑止力 P を確保できる対策が講じられている。しかし、斜面上の岩塊は、地すべり土塊のように運動しているという状況は考えられない。安定していることは現状安全率 F_{so} が 1.0 以上であることを意味する。

落石対策の実務では、斜面上に存在する浮石・転石の安定度を表 1 に示すような 5 段階に評価し、滑落の可能性がある安定度ランキング 1~4 の浮石・転石を対策工の対象としている。このような現状を考慮して、現状安全率は、安定度ランキングに応じて表 1 のように設定することを提案する。

落石の計画安全率は通常の土木構造物と同様に $F_{sp}=1.5$ を採用するのがよい。地すべりの場合には、安全率が 1.0 を下回っても運動速度が遅いため、対策を講じる時間的余裕がある。落石は、安全率が 1.0 を下回ると運動を開始し、加速しながら一気に斜面を転がり落ちて重大事故を発生させる危険性があるためである。

標準型ロープ伏工($\phi 12\text{mm}$ 、 $T_a=22.9\text{kN}$)で抑止可能な岩塊重量 W を提案式と従来式で算定すると図 3 となる。なお、提案式での現状安全率は $F_{so}=1.0$ 、1.1、1.2、1.3、1.4、計画安全率は $F_{sp}=1.5$ としている。また、従来式では摩擦係数を $\mu=0.5$ としている。

提案法では、現状安全率を大きく設定するほど抑止可能な岩塊重量は大きくなる。現行法の計算結果は、提案式の $F_{so}=1.0$ の結果に概ね一致する。

表 1 安定度ランキングと現状安全率

安定度ランキング	安定性	現状安全率
1	近い将来必ず滑落すると考えられる	$F_{so}=1.0$
2	時期は予測できないが、滑落すると考えられる	$1.0 < F_{so} \leq 1.2$
3	滑落する可能性が大きい	$1.2 < F_{so} \leq 1.35$
4	滑落する可能性がある	$1.35 < F_{so} < 1.5$
5	滑落の可能性がほとんどない	$F_{so}=1.5$

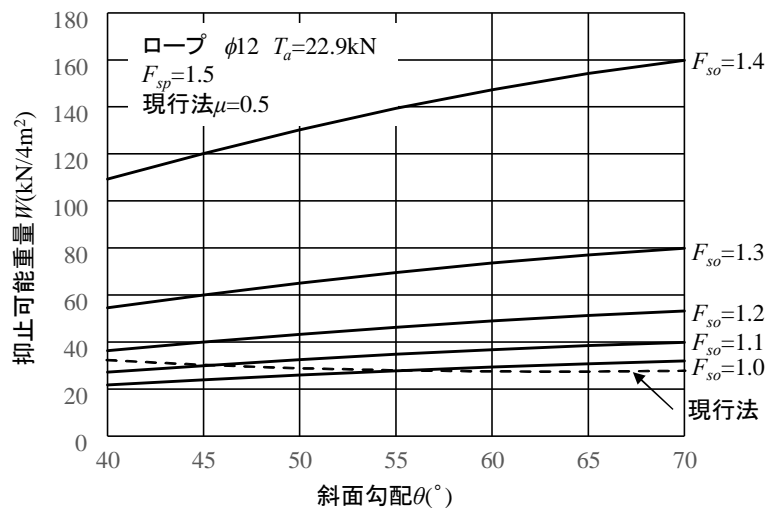


図 3 安定度ランキングと現状安全率

4. あとがき

斜面上の転石や浮石などの安定度に応じて 1.0~1.5 の範囲で現状安全率を定め、計画安全率 1.5 を満たすロープ伏工の設計法を提案した。浮石は劣化によって経時的に安定度が低下する。いつの段階での安定度で現状安全率を定めるのが良いかなど検討すべき課題は多い。落石対策の技術の向上に些かなりとも貢献できれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、2017.
- 2) 右城、長山、又川、中山：ロープ伏工の合理的な設計法に関する一提案 その1、土木学会四国支部技術研究発表会、2022.