

ロープ伏工の合理的な設計法に関する一提案 その1

第一コンサルタント 正会員 右城猛、正会員 長山学史
 ○正会員 又川嵩哉、正会員 中山秋人

1. まえがき

落石対策工の一つにロープ伏工がある。落石の原因となる斜面上の岩塊をワイヤロープとアンカーによって原位置に押さえ込み、落下を防ぐ落石予防工である。ワイヤネット工法、ロープネット工法、ケーブルネット工法などの名称で製品化されている。

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。本論文では、斜面上の岩塊の安定度や地震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する。

2. 現行の設計法

落石対策便覧¹⁾では岩塊に作用する斜面方向のすべり力 P (kN)を式(1)、横ロープの張力 T (kN)を式(2)、縦ロープの張力 V (kN)を式(3)で算定することになっている。なお、ロープ伏工では、横主ロープ、縦主ロープと表現しているが、本論文では横ロープ、縦ロープと表示する。

$$P = W(\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta) \quad (1), \quad T = \frac{P}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{l}{4f}\right)^2} \quad (2), \quad V = P \quad (3)$$

ここに、 W ：横ロープと縦ロープで囲まれた範囲(通常 4m^2)の岩塊とロープの重量(kN)、 θ ：斜面勾配(度)、 μ ：地山と岩塊の摩擦係数で経験的に $\mu = 0.5$ ¹⁾、 l ：縦ロープの間隔(m)で通常は 2m 、 f ：横ロープの垂下量(m)で $0.1l$ 。

抑止可能な岩塊重量は、横ロープの端部張力 T で決定される。式(2)に式(1)を代入し、 $l=2.0\text{m}$ 、 $f=0.1l$ とすれば T は式(4)となる。横ロープの許容張力を T_a とすれば、抑止可能な岩塊重量 W (ロープ重量を含む)を求める式(5)が得られる。

$$T = 1.346W(\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta) \quad (4), \quad W = \frac{T_a}{1.346(\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta)} \quad (5), \quad F_{so} = \frac{W \mu \cos \theta}{W \sin \theta} \geq 1.0 \quad (6)$$

斜面に存在する岩塊は、図 1(a)に示すように岩塊の一部が土中に埋まって安定していることが多い。岩塊には自重 W 、岩塊底面の摩擦力 R_1 、土中部前面の受働土圧 R_2 、土中側面の付着力 R_3 が作用して安定している。これらの抵抗力のすべてが摩擦によるものと見なせば、現状安全率は式(6)で表すことができる。岩塊は安定しているので安全率は 1.0 以上である。したがって、 $\mu \geq \tan \theta$ または $\theta \leq \tan^{-1} \mu$ の条件を満たさなければならない。 $\mu = 0.5$ を採用するのであれば、斜面勾配は、図 1(b)に示す $\theta_1 \leq 26.565^\circ$ でなければならないが、 $\theta > 26.565^\circ$ の斜面(経験的に落石の危険度が高い斜面勾配は $\theta \geq 40^\circ$)に対して式(5)を用いている。理論的に違和感がある。

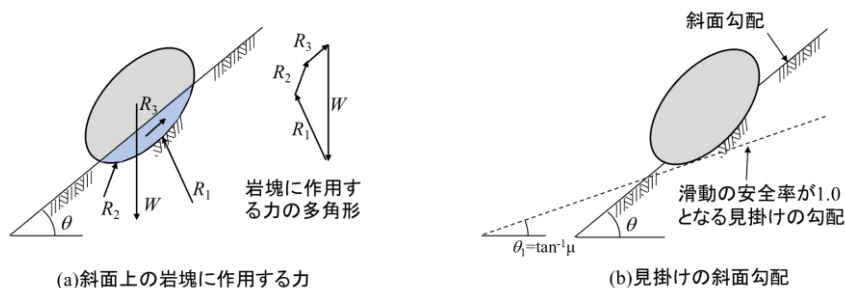


図1 斜面上の岩塊

3. 合理的な設計法の提案

岩塊のすべりに対する現状安全率 F_{so} は式(6)で、地震時の慣性力の作用も考慮した計画安全率 F_{sp} は式(7)で表される。 k_H は地震時の設計水平震度である。

式(6)と式(7)より岩塊に作用する斜面方向の力 P が式(8)のように求められる。式(8)を式(5)に代入すれば抑止可能な岩塊重量 W (ロープ重量を含む)の算定式(9)を求めることができる。ただし、 $f=0.11$ としている。

$$F_{sp} = \frac{W(\cos\theta - k_H \sin\theta)\mu + P}{W(\sin\theta + k_H \cos\theta)} \quad (7), \quad P = W \{ F_{sp}(\sin\theta + k_H \cos\theta) - F_{so}(\cos\theta - k_H \sin\theta) \tan\theta \} \quad (8)$$

$$W = \frac{T_a}{1.346 \{ F_{sp}(\sin\theta + k_H \cos\theta) - F_{so}(\cos\theta - k_H \sin\theta) \tan\theta \}} \quad (9)$$

$\phi 12\text{mm}(T_a=22.9\text{kN})$ 、 $\phi 14\text{mm}(T_a=32.7\text{kN})$ のロープを使用したときの抑止可能重量 W を式(5)の現行式と式(9)の提案式で算定した結果を図3に示す。実線は式(9)の提案法、破線は式(5)の現行法である。提案式においては $F_{so}=1.0$ 、 $F_{sp}=1.5$ 、 $k_H=0$ として計算した。また現行法では $\mu=0.5$ として計算している。斜面勾配が $\theta < 45^\circ$ では提案法が現行法より小さく、 $\theta < 45^\circ$ では逆に提案法が現行法より大きくなる。 $\theta = 45^\circ$ では両者の値が一致する。

図4は抑止可能重量 W を式(9)の提案法で算定した結果である。太い実線は常時、細い破線は設計水平震度 $k_H=0.15$ 、細い実線は $k_H=0.20$ を表している。安全率は $F_{so}=1.0$ 、常時計画安全率 $F_{sp}=1.5$ 、地震時計画安全率 $F_{sp}=1.2$ としている。また、ワイヤロープの地震時許容張力 T_a は常時の1.5倍とした。

設計水平震度が小さいと抑止可能重量の値は常時で決まる。しかし、 $k_H=0.15$ になれば $\theta > 65^\circ$ 、 $k_H=0.20$ になれば $\theta > 74^\circ$ の急斜面においては地震時に抑止可能重量が決定されることになる。

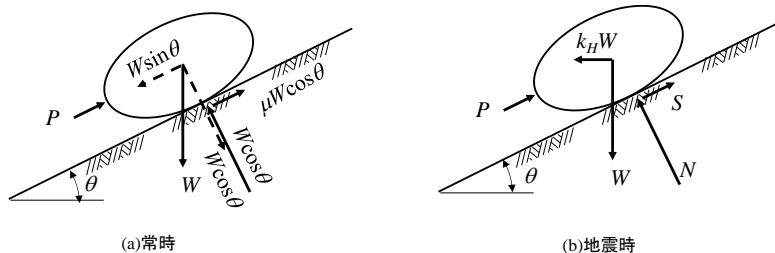


図2 斜面上の岩塊に作用する力

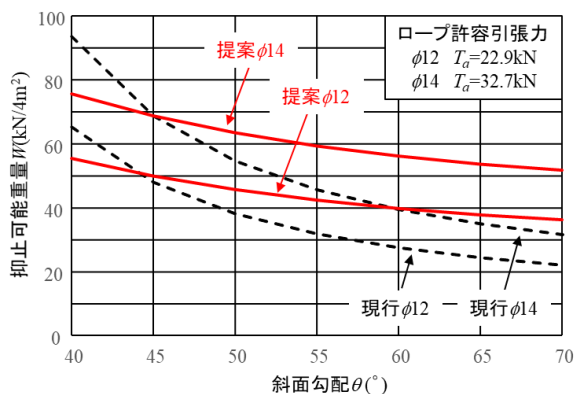


図3 現行法と提案法の比較(常時)

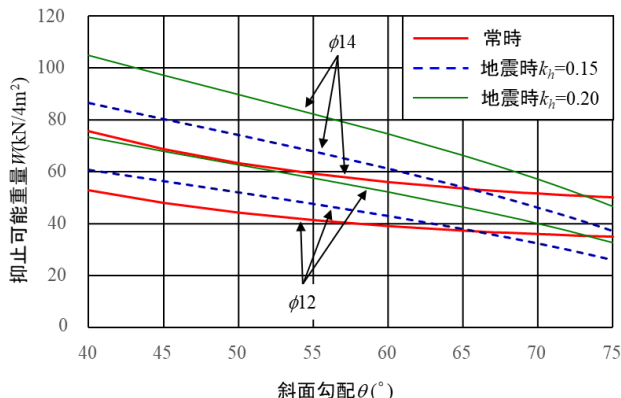


図4 提案法による常時と地震時の抑止可能重量

4. あとがき

斜面に存在する岩塊の安定度 (=現状安全率) や斜面勾配、地震時慣性力を考慮して、ロープ伏工で抑止可能な岩塊重量を力学的に矛盾なく推定できる実用的な方法を提案した。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、平成 29 年
- 2) JFE 建材株式会社：ワイヤネット 設計・施工マニュアル、2013.07 版