

柔構造物による土砂対策の設計手法

東亜グラウト工業株式会社 梅沢広幸, 鈴木利治, 奥田峻, ○宇野友稀

1. はじめに

柔構造斜面崩壊対策待受け工であるインパクトバリアは、崩壊土砂等の衝撃力に対して、構造の柔らかさを活かし、リングネット、各種ワイヤロープ、ブレーキ装置が大変形することで伝搬する力を緩和する特長を有している(図1)。一方で、構造計算の実施にあたっては、土砂捕捉時の各部材の変形量を評価することが難しいことから、柵の変形後においても所定の捕捉容量を確保できる有効柵高の設定方法の確立が課題であった。そこで、実物大実験で得られた各部材の変形量に基づき、「崩壊土砂量≦柵変形前の捕捉容量≦柵変形後の捕捉容量」(以下、捕捉容量条件という)となる有効柵高の設定方法を検討した。

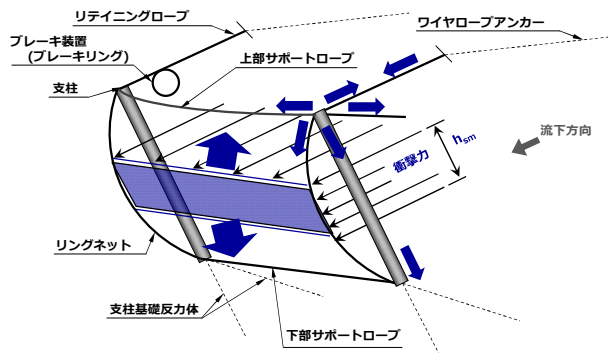


図1 設計モデル図

2. 実物大実験

2.1 実物大実験の概要

実物大実験は、表1に示すように、斜面形状と実験柵の設置位置の異なる2種類の実験場において実施した。

表1 実験施設概要

項目	実物大実験 A	実物大実験 B
実験場写真		
横断面図		
柵高	3.5m	3.5m
最大支柱間隔	5.0m	8.0m
柵延長	15.0m	15.0m

2.2 実物大実験の結果

表2に実物大実験結果を示す。有効柵高の設定方法を検討するにあたっては、上部サポートロープのサグ比に着目し、その値が大きく、安全側に評価することのできる実物大実験 A の結果を採用した。

表2 実物大実験結果

項目	実物大実験 A	実物大実験 B
支柱傾斜角度	57°	64°
上部サポートロープサグ比(鉛直方向)	20%	18%
ネット変形距離	2.4m	3.2m
ブレーキリング作動量	最大 1.0m	最大 0.6m
土砂等の衝撃力 (Fsm)	104kN/m ²	156kN/m ²

3. 有効柵高設定方法の検討

3.1 有効柵高設定方法の概要

崩壊土砂の捕捉容量は、土砂捕捉前後およびその途中の段階で変化するが、各段階の部材形状を推測することは困難である。そこで、図2に示す崩壊土砂量 A を捕捉するにあたり、土砂捕捉前の捕捉容量 A₁ を土砂捕捉後の捕捉容量 A₂ 以下となるように設定することにより、安全側の評価となると考え、有効柵高 h_d の算出式を整理した(式(1)、式(2))。

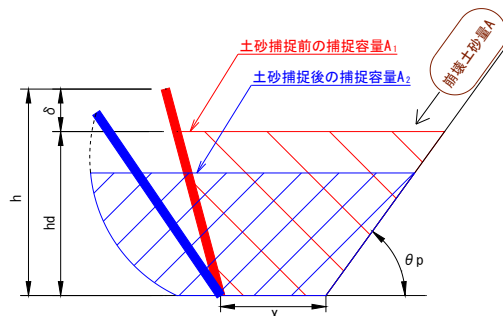


図2 土砂捕捉前後の捕捉容量関係図

$$h_d = h - \delta \tag{1}$$

$$\delta = X_s \cdot i_{sv} \tag{2}$$

ここで、A は崩壊土砂量、h_d は有効柵高、h は柵高、δ は上部サポートロープのたわみ量、X_s は支柱間隔、i_{sv} は有効柵高設定用サグ比を示す。なお、有効柵高設定用サグ比 i_{sv} は捕捉容量を算出するために設定するものとし、実際のワイヤロープサグ比とは区別した。また、i_{sv} は地形条件により異なると考えられるため、パラメータを変化させ、A₁=A₂ を満足する i_{sv} を明らかにした。

3.2 土砂捕捉前の捕捉容量 A_1 算出式

土砂捕捉前の捕捉容量 A_1 算出式を式(3)に示す。なお、支柱設置角度 θ_i は実物大実験 A の柵設置条件より 75° とした。

$$A_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{1}{\tan\theta_i} + \frac{1}{\tan\theta_p} \right) \cdot h_d + 2X \right\} \cdot h_d \quad (3)$$

ここで、 θ_i は支柱設置角度、 θ_p はポケット部平均傾斜角度、 h_d は有効柵高、 X はポケット幅を示す。

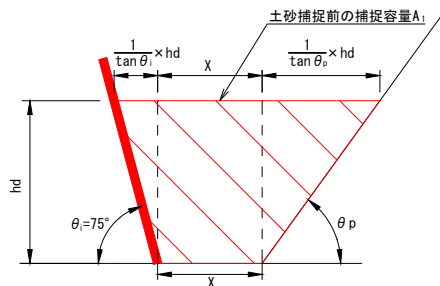


図3 土砂捕捉前の捕捉容量

3.3 土砂捕捉後の捕捉容量 A_2 算出式

土砂捕捉後の捕捉容量 A_2 算出式を式(4)～(7)に示す。土砂の捕捉に伴い、リングネットが斜面下方へ変位し、それに追従して上部サポートロープにたわみが生じる。続いて、リテイニングロープ接続ブレーキリングが作動し、支柱が斜面下方に傾倒する。これらの各部材の挙動を考慮し、土砂捕捉後の捕捉容量 A_2 は、上部サポートロープのたわみ、および支柱の傾倒を考慮した支柱背面の捕捉容量 A_p と、リングネットの変位を考慮した捕捉容量 A_n を合算することとした(図4)。また、土砂捕捉後の支柱傾斜角度 θ_{i2} は実物大実験 A で得られた支柱傾斜角度およびリテイニングロープ接続ブレーキリングの作動量に基づいて算出し(表2, 式(6)), A_n 算出式は実物大実験時のリングネット変形状に基いて設定した。

$$A_2 = A_p + A_n$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1}{\tan\theta_{i2}} + \frac{1}{\tan\theta_p} \right) \cdot h_{d2} + 2X \right\} \cdot h_{d2} + \frac{1}{N} \cdot \{0.093(h+0.2)^3 - 0.021Xs^2\} \quad (4)$$

$$h_{d2} = (h + 0.2) \cdot \sin\theta_{i2} - 0.20Xs \quad (5)$$

$$\theta_{i2} = 3.7h + 45 \quad (6)$$

$$N = 1.10 \quad (7)$$

ここで、 h_{d2} は土砂捕捉後の有効柵高、 θ_{i2} は土砂捕捉後の支柱傾斜角度、 N は実物大実験時のリングネットのたわみのばらつきを考慮した安全率を示す。

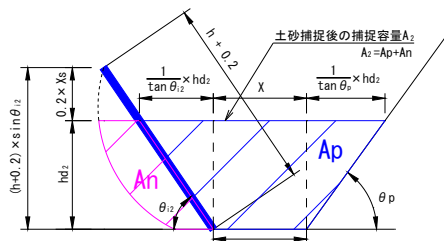


図4 土砂捕捉後の捕捉容量

3.4 有効柵高設定用サグ比 i_{sv} の検討

捕捉容量条件を満足する有効柵高 h_d を算出するために、下記に示すパラメータを変更し、 $A_1 = A_2$ の関係が成立する有効柵高設定用サグ比 i_{sv} を求めた。図5に i_{sv} 算出結果を示す。

変更対象となるパラメータ

- ・柵高 h : 3.0m～5.5m (0.5m ピッチ)
- ・支柱間隔 X_s : 4.0m～8.0m (1.0m ピッチ)
- ・ポケット幅 X : 0.0m～2.0m (1.0m ピッチ)
- ・斜面傾斜角度 θ_p : $30^\circ \sim 60^\circ$ (5° ピッチ)

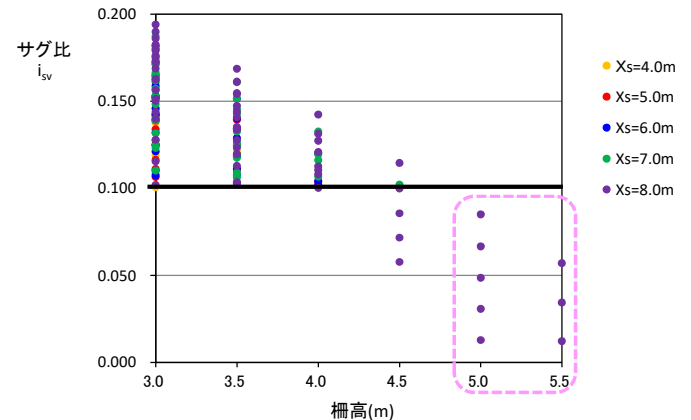


図5 i_{sv} 算出結果

有効柵高設定用サグ比 i_{sv} を一定値とした場合、分布範囲が広いことから、土砂捕捉前の捕捉容量 A_1 が過小に評価され、不経済となることが懸念される。そこで、柵高 h が 5.0m 以上の場合は、 i_{sv} が全ケースにおいて 0.1 以下となることから(図5)、 i_{sv} を一律 0.1 とし(式(8))、柵高 h が 4.5m 以下の場合は別途多変量解析を行い、パラメータが変化しても土砂容量条件が成立する一次式を近似的に求めた(式(9))。

柵高 h が 5.0m 以上の場合：

$$i_{sv} = 0.1 \quad (8)$$

柵高 h が 5.0m 未満の場合：

$$i_{sv} = 0.014X_s + 0.024X - 0.0016\theta_p - 0.064h + 0.303 \quad (9)$$

4. おわりに

実物大実験で得られた各部材の変形量に基づき、捕捉容量条件を満足する有効柵高の設定方法を確立することができた。今後は、土砂捕捉事例の調査を実施し、有効柵高設定方法の妥当性を検証する必要があると考える。

参考文献

- 1) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター：建設技術審査証明(砂防技術)報告書 インパクトバリア工法(柔構造斜面崩壊対策待ち受け工) 平成 28年 9月