

階段状補強盛土工法による崩壊切土法面の復旧工事

Restoration of a Failed Cut Slope by Using the Stepped Reinforced Embankment Method

小 川 憲 保 (おがわ のりやす)

(株)補強土エンジニアリング 代表取締役

堀 高 (ほり たかし)

(株)補強土エンジニアリング 取締役設計部長

内 畑 賢 三 (うちはた けんぞう)

(株)ジオシステム 取締役設計部長

青 島 光 伸 (あおしま みつのぶ)

(株)ジオシステム 設計部次長

1. はじめに

切土法面が降雨により崩壊する事例は非常に多い。しかしながらその復旧技術としては確立された方法がないのが実状である。

ここで紹介する復旧技術は、1割勾配の砂質系切土法面が降雨により崩壊した箇所を、格子状鉄筋補強材を使用した階段状補強盛土工法により原形復旧を行ったものである。本稿では階段状補強盛土工法の概要と復旧工事の検討内容・施工等について述べる。

2. 階段状補強盛土工法の概要

本工法は土圧力と盛土中に敷設した格子状鉄筋補強材(φ6-150×225目)に発生する引抜き抵抗と力のつり合いにより安定を保つ補強土工法であり、次のような特徴を持つ(図-1参照)。

- ① 壁面を階段状に独立して設置することにより、1:0.5~1:1.5程度の盛土勾配に対応することができる。
- ② 補強材を鉛直間隔45 cm ごとに敷設することにより、安定性の高い盛土を構築することができる。
- ③ 格子状鉄筋補強材に働く引抜き抵抗は、縦方向(壁面に直角)鉄筋の摩擦抵抗と横方向(壁面に平行)鉄筋の支圧抵抗の両者により面的な補強効果が得られる。
- ④ 階段状の小段に低木等を植栽して、緑化することができる。
- ⑤ 使用部材は軽量であるので、人力組立てが可能である。

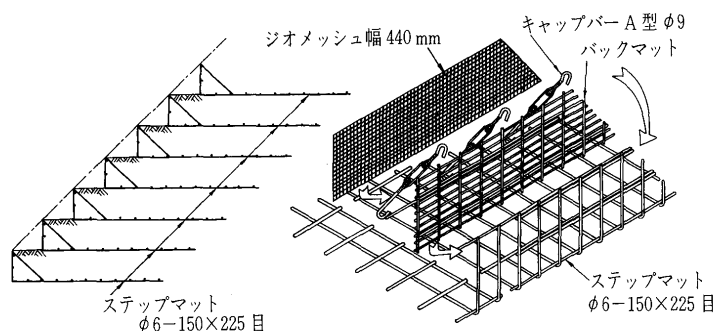


図-1 階段状補強盛土工法の概要図

以上のような特徴を有する階段状補強盛土工法を崩壊切土法面の復旧工事に使用した。

3. 復旧工事の検討

3.1 崩壊状況

高さ30 m、勾配1:1.0の砂質系切土法面下部において、高さ7 m、幅20 mの範囲が降雨により崩壊した。すべり面の最大深さは2 m未満であった。これは、浸食されやすい砂質系法面が、降雨による地表水または浸透水によりせん断強度が低下して局部的に崩壊したものと考えられる。

3.2 検討条件

復旧工事の検討は以下の条件で行った。

- ① 検討は根入れを考慮して、高さ7.65 m (17段×0.45 m)、盛土勾配1:1.0の断面で行った。
- ② 検討は現地発生の砂質土(φ=30°, c=0 tf/m², γ=1.9 tf/m³)を使用する場合と、クラッシャーランC-40(φ=40°, c=0 tf/m², γ=2.0 tf/m³)を使用する場合の2ケースで行った。
- ③ 崩壊面背後の地山強度は、表面水などが浸入しない状態におけるすべりに対して安全率が1.2確保できるものとして、逆算法によりφ=30°, c=1.0 tf/m², γ=1.9 tf/m³とした。

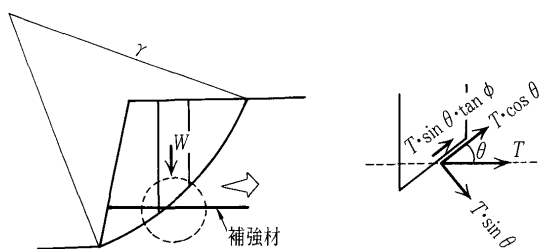
3.3 検討方法

上記の条件のもとで、格子状鉄筋補強材の効果を考慮した円弧すべり計算により、あらゆるすべり面に対して安定である補強材の鉄筋径・長さを求める計算を行った。

現在補強土工法の設計手法には数多くの種類があり、統一された方法はないが、ここでの検討は「すべり線変動法・全体安定法」¹⁾で行った。すなわち円弧すべり線を任意に変化させ、それぞれのすべり線ごとに土圧力と補強材に働く引抜き抵抗を計算し、すべり安全率(Σすべり抵抗/Σすべり力)が最小を与える円弧すべり線(臨界円)を試行的に求める方法である。補強材が敷設されている範囲に入るすべりの安全率は次式を使用した²⁾(図-2参照)。

$$F_s = \frac{M_R + \Delta M_R}{M_D} = \frac{M_R + \gamma \Sigma T (\sin \theta \cdot \tan \phi + \cos \theta)}{M_D} \dots \dots \dots (1)$$

事例報告



図—2 補強材による補強効果

ここで、

F_s : すべりの安全率 (1.2以上とする)

M_R : 土のせん断抵抗による抵抗モーメント (tf・m/m)

ΔM_R : 補強材による抵抗モーメント (tf・m/m)

M_D : すべりの起動モーメント (tf・m/m)

r : すべり円の半径 (m)

θ : 補強材がすべり面となす角度 (度)

ϕ : 盛土材のせん断抵抗角 (度)

T : 発揮可能引張り強さで、設計引張り強さ T_A と引抜き抵抗力 T_p の小さい方を取る。

$$T = \text{Min}(T_A, T_p) \dots\dots\dots (2)$$

$$T = \frac{2(c^* + \sigma \tan \phi^*) \cdot L_E}{F} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

L_E : 補強材の定着長 (m)

c^*, ϕ^* : 土と補強材の見かけの粘着力およびせん断抵抗角

F : 引抜きに対する安全率 (常時; 2.0)

3.4 検討内容

まず(3)式に示した土と格子状鉄筋補強材の見かけの粘着力およびせん断抵抗角を求める必要がある。

階段状補強盛土工法の補強材である格子状鉄筋補強材と粘着力のない砂質土との間に働く単位幅当たりの引抜き抵抗力は次式より算出する。

$$\begin{aligned} R &= R_f + R_b \\ &= \sigma \cdot \pi (D - c_m) \cdot f \cdot M \cdot L_E \\ &\quad + \sigma \cdot (D - c_m) \cdot N_q \cdot \beta \cdot N \cdot L_E \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

ここで、

R : 格子状鉄筋と土との抵抗力 (tf/m)

R_f : 格子状鉄筋の縦筋と土との摩擦抵抗力 (tf/m)

R_b : 格子状鉄筋の横筋と土との支圧抵抗力 (tf/m)

σ : 格子状鉄筋に働く垂直応力 (tf/m²)

D : 格子状鉄筋の直径 (6 mm)

c_m : 鉄筋の腐食代 (1 mm)

f : 縦筋と土との摩擦係数 ($\tan(\phi/2)$)

M : 縦筋の単位幅当たりの本数 (13/1.95本/m)

β : 横筋の単位幅当たりの比率 (1.8/1.95)

N : 横筋の単位長さ当たりの本数 (1/0.225本/m)

N_q : Matsui et al.³⁾ によって導かれた支持力係数で $\phi=30^\circ$ の時11.86, $\phi=40^\circ$ の時31.65となる。

以上より土と格子状鉄筋補強材のみかけの摩擦角は次のようになる。

① 盛土材が $\phi=30^\circ$, $c=0$ tf/m² の場合

$$\begin{aligned} R &= R_f + R_b = 0.02805 \sigma \cdot L_E + 0.24328 \sigma \cdot L_E \\ &= 2(\sigma \tan 7.7^\circ) \cdot L_E \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

② 盛土材が $\phi=40^\circ$, $c=0$ tf/m² の場合

$$\begin{aligned} R &= R_f + R_b = 0.03811 \sigma \cdot L_E + 0.64923 \sigma \cdot L_E \\ &= 2(\sigma \tan 19.0^\circ) \cdot L_E \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

(5), (6)式を使用して階段状補強盛土の安定検討を行った。

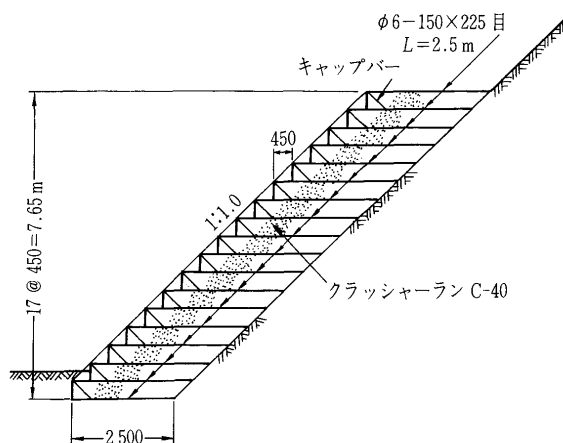
3.5 検討結果

検討結果を表—1に示す。

表—1より、盛土材に現地発生地の砂質土を使用すると補強材長さは5.5 m となり、崩壊していない上部の切土法面まで掘削することになり施工不可能となる。一方、盛土材にクラッシャーラン (C-40) を使用すると、補強材長さは2.5 m となり崩壊切土法面のみの掘削で収まることにより復旧工事においては後者を採用した (図—3参照)。

表—1 検討結果

盛土材	鉄筋径	補強材長	最小安全率
現地発生土 $\phi=30^\circ, c=0$	$\phi 6$ mm	5.5 m	1.263
クラッシャーラン $\phi=40^\circ, c=0$	$\phi 6$ mm	2.5 m	1.222

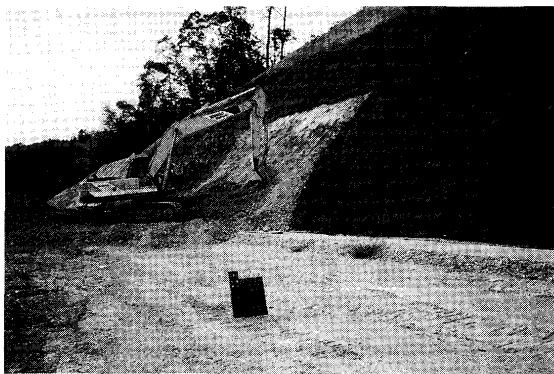


図—3 復旧工事断面図

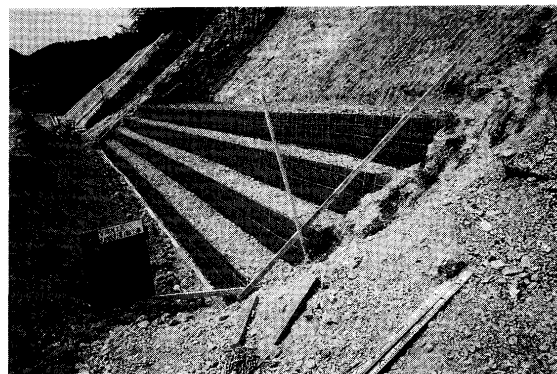
4. 復旧工事の施工

復旧工事の施工工程を次に示す。

- ① 崩壊切土法面の崩壊土砂を撤去。
- ② 次に補強材を敷設するために、地山の掘削・整形を行った。この時過度な掘削が生じないように留意した (写真—1参照)。
- ③ 最下段の補強材を設置し、盛土材 (クラッシャー



写真一 崩壊切土法面の掘削・整形



写真三 復旧工事の施工状況



写真二 階段状補強盛土部材の組立て

ラン) のまきだし・転圧を行った。

- ④ ③を繰返し行い、17段の階段状補強盛土を構築した(写真二、三参照)。
- ⑤ この時、盛土材には排水性の良好なクラッシャーランを使用したので、地山と盛土材との間には排水層は設置しなかった(口絵写真一七)。
- ⑥ 階段状補強盛土構築後、表層部を覆土し、その上に緑化マットを張りつけ緑化することにより、周辺の切土法面と変らない状況に復旧した(口絵写真一八、一九参照)。

5. おわりに

降雨により崩壊した切土法面を補強土工法である階段状補強盛土工法により原形復旧した事例を報告した。

この事例により自然災害により崩壊した切土法面復旧工事としては、次に示す事項に留意して行うことが必要であることを学んだ。

- ① 崩壊した原因を明確にすること。

原因を明確にすることにより、はじめて対策を講じることができる。今回の事例では、砂質系切土法面と降雨が原因であった。

- ② 切土法面のせん断強度を把握すること。

適切な復旧工事の検討には是非とも必要である。そこで切土法面の土質・地質調査が重要になる。今回の事例でも切土法面のせん断強度の推定が検討のポイントとなった。

- ③ 復旧工事では崩壊原因を取り除くことを第1に考える。

復旧工事では崩壊原因を取り除くことにより2度と同じような崩壊が発生しないようにする。今回の事例では、降雨による土のせん断強度の低下が主要原因であったため、排水性と強度を重視して、盛土材にクラッシャーランを使用した。

- ④ 災害現場で安全に施工できる方法を選ぶこと。

災害復旧工事では施工中に再度崩壊する可能性があるため、事故のないような施工法を選ぶことが必要である。

参考文献

- 1) 館山 勝・村田 修：補強盛土(RRR工法)の設計法、鉄道総研報告, Vol. 5, No. 12, pp. 18~19, 1991.
- 2) 財土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル, pp. 130~148, 1993.
- 3) T. Matsui, K. C. San, Y. Nabeshima and U. N. Amin: Bearing mechanism of steel grid reinforcement in pull-out test, Proceedings of International Conference on Reinforced Earth (IS-Kyushu '96), Vol. 1, pp. 101~105, 1996.

(原稿受理 1998.2.10)