

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760449

研究課題名（和文） 地盤補強技術による運輸基盤の降雨災害リスクの低減

 研究課題名（英文） Reduction in rainfall disaster risk of soil structure by  
geosynthetics-reinforcing technologies

研究代表者

平川 大貴 (HIRAKAWA DAIKI)

防衛大学校・システム工学群・講師

研究者番号：40372990

研究成果の概要（和文）：

気候変動による降雨災害の増加の可能性(降雨災害リスク)に対して、新設/既設の斜面上の盛土構造物の耐降雨性能を向上させる方法を検討した。降雨時に盛土構造物を不安定化させる要因を「盛土内地下水位の上昇」と「地表面水による地表面侵食」と同定し、これらの要因への対策として地盤補強技術(ジオシンセティックスによる盛土補強)と排水技術(水平排水工と集水井戸の併用)と組み合わせることによる降雨対策を提案した。提案対策の効果を模型実験によって確認した。

研究成果の概要（英文）：

This study examined a method to improve the structural stability of embankment against rainfall to increase of the disaster risk related to the climate change. Firstly, the factors affecting the stability of embankment during rainfall were investigated by performing of a series of laboratory model tests. As a result, it was found that the stability of embankment during rainfall is strongly affected by seepage and surface flow. Based on the above findings, this study proposed a method that can be improved the stability of soil structure against rainfall by applying the combined technology with geosynthetic-reinforcement and horizontal / vertical drainage.

交付決定額

(金額単位：円)

|       | 直接経費      | 間接経費 | 合計        |
|-------|-----------|------|-----------|
| 交付決定額 | 3,400,000 | 0    | 3,400,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：盛土、降雨時安定性、補強、排水、侵食、ジオシンセティックス

## 1. 研究開始当初の背景

我が国は世界有数の密な道路・鉄道網を有している。この様な運輸基盤施設は山間地(傾斜地)に多く構築されており、その大部分は盛土構造物である。これらの盛土構造物の構築にあたっては降雨時安定性を保持するために様々な降雨対策が施されているが、毎年多くの構造物が降雨によって被災している現実がある。土構造物のうち、斜面上で集

水地形上に構築された盛土は経験的に降雨時安定性が低いことが知られている。さらに、近年では気候変動に伴って降雨量と降雨強度の増加が顕在化している。既存の降雨対策は過去の降雨パターンが反映されたものであるため、気候変動という未経験な降雨パターンに対して既設盛土構造物の降雨災害の危険性は今後ますます増大して行くことが懸念される。

このような降雨災害リスクへの対応の一つとして、作用力を降雨として構造物が損傷あるいは崩壊する潜在的な危険性を物理的に取り除く対策技術の確立が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、気候変動による降雨パターンの変化に対応していくために、斜面上にある盛土構造物の耐降雨性能を向上させる方法を提案することにある。この目的に対しては、下記に示す項目に関して検討する必要がある；

- (1) 従来の盛土構造物において、潜在的な降雨時安定性の把握と不安定化の主たる要因の同定
- (2) 新設構造物、既設構造物への効果的で現実的な降雨対策の確立

## 3. 研究の方法

それぞれの土構造物の設計マニュアルでは降雨対策の方法が記載されている。しかし、現実には毎年多くの土構造物が継続的に降雨によって被災している。この事実は現状での降雨対策には改善の余地があることを示している。さらに、気候変動による降雨パターンの変化に対応していくためには、盛土構造物の降雨時安定性と安定性を損なう要因を再考して、盛土の安定性を損なう主たる要因を同定し、それらに対してバランスの取れた対策を施す必要がある。

効果的な降雨対策を検討するにあたって、本研究ではまず重力場において縮尺模型を用いた室内降雨浸透模型実験(図-1)を実施し、降雨時で盛土構造物を不安定化させる要因の同定を行った。模型実験では、盛土内地下水位の上昇による要因を検討するために浸透実験を実施し、その後に盛土内への雨水浸透を継続しながら降雨実験を実施した。これらの実験により、斜面上に構築された盛土の降雨時に不安定化する主たる要因を盛土内地下水位の上昇と浸透圧の増加、および地表面水による侵食であると同定した。

上記の知見を踏まえ、本研究では法尻部および法表面をジオシンセティックスで補強しつつ、土中水の排水機能を強化する対策方法を提案した。その効果を同様な模型実験を実施して実験的に検討した。

## 4. 研究成果

- (1) 盛土構造物の降雨時安定性を損なう主たる要因と対策方法の検討

図-2 は道路・鉄道盛土で一般的な緩勾配法面 1:1.8 を有する盛土の a) 構築時、b) 浸透実験終了時、c) 降雨浸透実験終了時での状況を法面方向から撮影したものである。模型は良質な山砂を用い、一般的な盛土の施工管理基準( $1E_c$ 、 $w_{opt}$ 、 $D_c=90\%$ )に合致させている(図

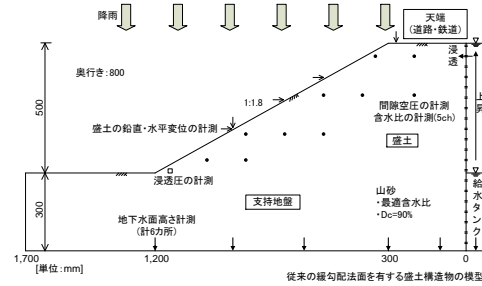


図-1 降雨浸透模型実験の概要

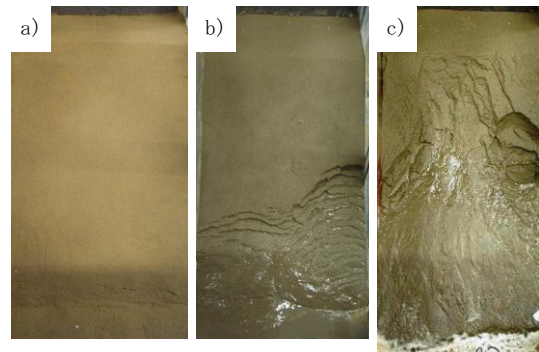


図-2 盛土の状態変化；a) 構築時、b) 浸透実験終了時、c) 降雨浸透実験終了時

-2a)。降雨時に湧水や周辺地盤からの集水・浸透によって盛土内地下水位が天端位置まで上昇すると、法尻部が流動的に変形して小崩壊が連続的に発生した(図-2b)。このような盛土への著しい雨水浸透条件は、設計時の想定を越える降雨パターンを模擬している。さらに、盛土内への雨水浸透を継続しながら降雨強度 80 mm/h の降雨を与えると、法表面は地表面水によって侵食されながら、法尻部はさらに流動的に変形して模型盛土は大崩壊に達した(図-2c)。これより、斜面上で集水地形上にある盛土構造物の降雨時安定性を向上させて未経験の降雨パターンに対応していくためには、盛土内地下水位の上昇と地表面侵食水に対して総合的な対策をバランス良く行う必要であることが明らかとなった。

上述の要因は既往の経験的知見に一致しているが、これらへの総合的な対策は確立されているとは言い難い。地表面水対策は現状でも植生工等の対策が各施工マニュアルに規定されている。しかし、植生工では季節や気候によってその効果に差が生じるため、地表面水に対しては季節や気候に影響されない安定的で積極的な侵食対策が求められる。一方、盛土内地下水位の上昇に対しては、特に不安定化する法尻部の安定性保持が重要となる。すなわち、土中水と盛土材とを分離し、土骨格に変形を生じさせずに土中水を排出する必要がある。これには擁壁等で法先を押しさえるという構造工学的な方法と、地盤改

良技術を適用する地盤工学的方法の2種類の方法が考えられる。本研究においてはもたれ式擁壁の設置という構造工学的方法も検討したが、背面土が無補強の擁壁工では飽和化による支持力の低下と背面土の側方向変形、および浸透圧の作用に対してその安定性を保持できなかった。浸透圧の作用時および排水過程で土骨格の変形を抑制するためには、地盤改良技術を適用する必要がある。種々の地盤改良技術のうち、土の透水性の顕著な低下を招かないものとして、ジオグリッド補強技術が有効であると考えられる。

(2) 本研究で提案する降雨対策

従来の緩勾配法面を有する盛土の一般的な降雨対策と、本研究で提案する降雨対策の比較を図-3に示す。

盛土内地下水位の上昇に対して、本研究では法尻部にジオシンセティック補強土擁壁に設置する。これは、補強領域全体で大きな押さえ盛土を設置することに等しい。降雨時に飽和化および浸透圧が作用することによって特に不安定化する法尻部を地盤工学的に安定化させつつ、水平排水工と集水井戸を組み合わせることによって土中水を効果的に排水する。法尻部のジオシンセティック補強土壁の置換は既存技術で十分に可能であり、本研究で提案する降雨対策は新設構造物だけでなく、既設構造物にも適用可能であると考えられる。水平排水工と集水井戸は共に管状の排水工である。これらは地すべり対策として既に実用化しているため、既設の盛土構造物に対しても設置可能である。水平排水工には構造物の長期的な供用を考慮して、本研究ではメンテナンス可能な二重式排水工の使用を想定している。一方、法表面

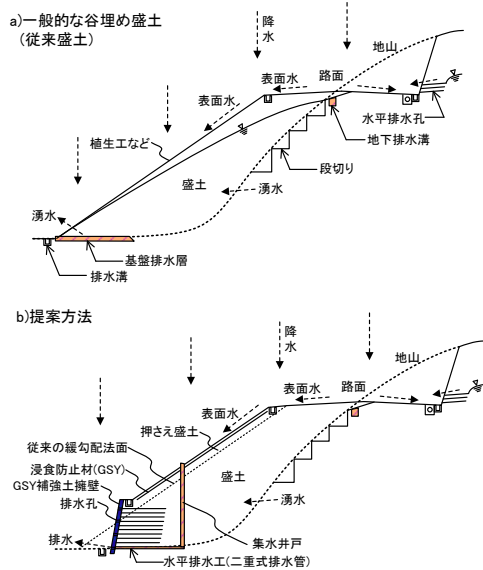


図-3 従来の降雨対策と本研究で提案する降雨対策の比較



図-4 提案対策を施した模型盛土の降雨浸透実験後の状況

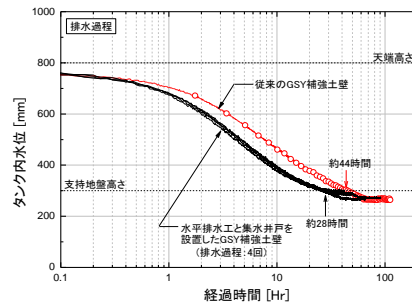


図-5 土中水の排水速度の比較

を流下する地表面水に対しては、既設盛土の法面に覆土して面状のジオシンセティックスを敷設する。合成繊維材を用いることによって、降雪地域においても季節に依存せず安定的な侵食抑制効果が期待できる。

本研究で提案する降雨対策の効果を、図-2と同様な降雨浸透模型実験により検討した。検討結果の一例を図-4に示す。図-4は盛土内地下水位の増減を計4回行った後に、盛土内地下水位を天端位置に保持した状態で降雨を与えた時の模型盛土状況を法面方向から撮影した結果である。従来の盛土では盛土内地下水位が天端位置まで上昇すると法尻に有意な変形が生じて崩壊に至ったが(図-2b)、本対策盛土ではさらに長時間の盛土内地下水位の上昇に対しても極めて安定していた。さらに、降雨に対しては従来盛土(図-2c)の2倍以上の降雨時間を与えても、覆土部が極めて小さな侵食が発生したものの、模型全体の安定性は保持して天端面にも有意な変状は確認されなかった。以上より、本研究で提案する降雨対策は、斜面上で集水地形上にある盛土構造物の降雨時安定性を大幅に向上できることを実験的に確認した。

本研究で提案する降雨対策は、降雨中だけの土構造物の安定性向上ではなく、降雨終了後において降雨履歴の影響が無くなるまでの期間を対象としている。これは、降雨による盛土の不安定化は、盛土内地下水位が低下し、盛土の含水状態が降雨前の状態に戻るまで継続していることに注目したためである。

沢地形といった斜面かつ集水地形では降雨終了後においても周辺からの雨水の集水・盛土内への流入は継続し、地山からの湧水も降雨終了とともに直ちに止まるものではない。したがって、斜面上にある盛土構造物の降雨災害の危険性は、降雨後で従前の降雨履歴の影響がなくなるまでの期間、継続していることになる。本研究で提案する降雨対策では構造物の排水機能を強化し、さらに排水距離を短くしているために、降雨による潜在的な崩壊の危険性を降雨後短時間で取り除くことができる。水平排水工と集水井戸を併用設置することによる排水速度の増加を検討した結果を図-5に示す。補強土壁のみで積極的な土中水排水対策を施していない場合では盛土内地下水位の低下に約44時間の時間を要していたのに対して、水平排水工と集水井戸を併用設置すると約28時間にまで短縮できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- (1) 平川大貴、宮田喜壽、水平排水工と補強土壁の併用による斜面上盛土の耐降雨性能の強化、ジオシンセティックス論文集、査読有、27巻、2012、11-18

DOI:<http://dx.doi.org/10.5030/jcigsjournal.27.11>

- (2) 平川大貴、宮田喜壽、降雨に対する傾斜地盤上盛土の安定性強化の検討、ジオシンセティックス論文集、査読有、26巻、2011、203-210

DOI:<http://dx.doi.org/10.5030/jcigsjournal.26.203>

[学会発表] (計5件)

- ① 平川大貴、宮田喜壽、排水機能の強化による既設補強土壁の耐降雨性能の向上、第48回地盤工学研究発表会、2013年7月25日、富山
- ② 西村健、平川大貴、宮田喜壽、集水井戸と水平排水工の併用による既設補強土壁の耐降雨性能の改善、第40回土木学会関東支部技術研究発表会、2013年3月14日、宇都宮
- ③ 平川大貴、宮田喜壽、地盤補強と排水技術の併用による傾斜地盤上盛土の安定性強化、第9回地盤工学会関東支部発表会、2012年10月5日、東京
- ④ 平川大貴、宮田喜壽、地盤補強と湧水・表面水対策の併用による傾斜地盤上盛土の耐降雨性能の強化、土木学会第67回年次学術講演会、2012年9月7日、名古屋
- ⑤ 山本佳介、平川大貴、宮田喜壽、メンテナ

ンス可能な水平排水管による補強土壁の耐降雨性能の強化、第39回土木学会関東支部技術研究発表会、2012年3月14日、横浜

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

平川 大貴 (HIRAKAWA DAIKI)

防衛大学校・システム工学群・講師

研究者番号：40372990