

## ブータン王国に設置した自然斜面補強土工法のモニタリング調査（その1）

日鐵住金建材株式会社 ○岩佐直人 池田武穂 大高範寛  
 京都大学防災研究所 堤大三 大見士朗

Department of Roads of Bhutan Tempa Thinley  
 Department of Geology and Mines of Bhutan Dowchu Drukpa

## 1. はじめに

ブータン王国は、インドプレートとユーラシアプレートがぶつかるヒマラヤ山脈南麓に位置する山岳国家であって、気象条件・地質特性等から土砂災害が多い。一方開発と自然保護の両立を目指して社会資本の整備中で、特に道路整備が急ピッチで進められているが、道路拡張に伴って斜面崩壊が数多く発生している。

そこで自然斜面の再生と安定化、切土のり面の安定化を目的として、自然斜面補強土工法の「ノンフレーム工法」と緑化工（緑化マット）を組み合わせることで、その効果を把握することを目的にモニタリング調査を行っている。本報告では、そのモニタリング調査の一部について報告する。

## 2. モニタリング斜面の概要

対象斜面は、首都ティンピーから約1時間の箇所位置するドチュラ峠（標高 3142m）付近の NH-1 号沿いの斜面である。自然斜面内は、この地域の特徴であるシャクナゲの群落が見られるものの、樹冠が発達して下層植生はなく不健全な状態になっており、微小な段差及び崩落跡を確認している。また切土のり面は風化による土砂化が進み浸食が進行しており、将来的に自然斜面からの崩壊、切土のり面内の崩壊が予想された。そこで自然斜面の再生と安定化、切土のり面の安定化を目的として、自然斜面補強土工法の「ノンフレーム工法」と緑化工（浸食防止を兼ねた植生マット）を組み合わせることで設置した。

ブータン国内では比較的浅い崩壊に対する調査手法や設計方法が整理されていないため、我が国で一般的に用いられている手法によって対策工諸元を設定している。すなわち簡易貫入試験器（SH 調査試験機）を用いて地盤調査を行い、Nd=10 となる深さを設計すべり面とし、計画安全率 1.2 を満足するように補強材長・補強材間隔等の諸元を設定した。

図 2.1 にモニタリング概要を示すが、現地計測では、降雨量、熱電対による気温・地温、誘電式土壌水分計（EC-5）による土壌水分、地盤変形計測用鉄筋ひずみ計、補強材のひずみ、地震計による加速度波形を計測しており、2016 年 10 月末からは浸食量計測を追加した。

## 3. 調査結果

2015 年 4 月 7 日～2016 年 1 月 31 日までの、積算降雨量と日降雨量推移を図 3.1 に示す。また図 3.2 に土壌水分推移を示す。

ブータンではほぼ 6 月～9 月が雨季に相当しているが、今回の調査期間では、5 月初旬ごろから降雨日が連続して出現するようになり、10 月末以降はほとんど降雨が生じていない日が続いている。積算降雨量は 1400mm であり、9 月 17 日には日降雨量 170mm と今回の調査期間で最大日降雨量が生じている。

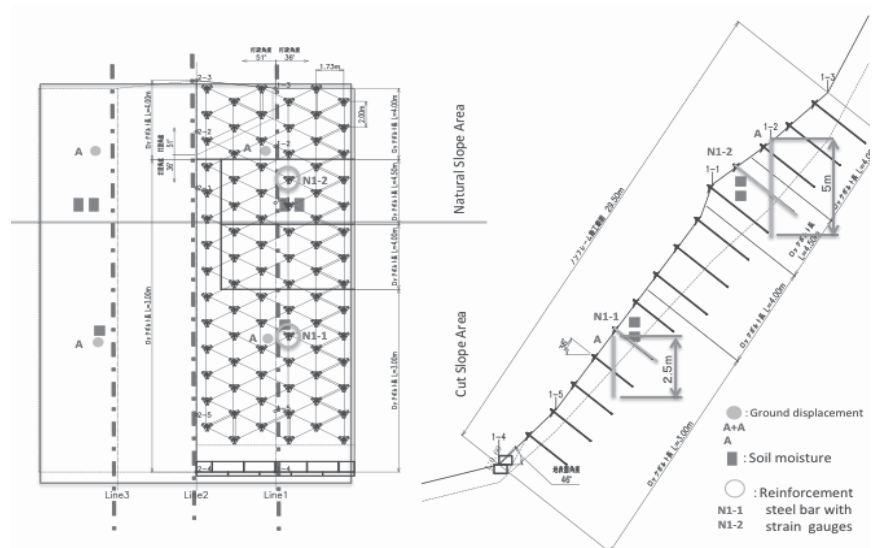


図 2.1 モニタリング概要

土壌水分については、自然斜面(Na-SL)が切土のり面(Cut-SL)より高い値を示している。特に施工斜面の自然斜面(Na-SL Con)では深さ方向に対してもほぼ同一の値を示しているのに対し、無対策の切土のり面(Cut-SL Ncon)では、浅い箇所ほど土壌水分が小さく深い箇所の土壌水分が大きい。いずれも雨季時には、降雨に連動した挙動をしており、施工箇所の切土のり面の浅い箇所ではその傾向が顕著に表れている。乾季になると、無対策箇所の値は徐々に小さくなるが、施工箇所の切土のり面では、12月中旬に大きく低下している。

図 3-3 は、補強材曲げひずみの推移を示す。切土のり面深さ 1.8m 箇所のひずみが作動しなくなっているが、全体として雨季時には補強材ひずみ変化が見られない。しかし雨季が終了してから自然斜面内補強材にひずみの変動が見られるが、今後継続して計測して判断をする必要がある。ちなみに現地では斜面変状は確認されていない。

写真 3.1、写真 3.2 は、施工前(2014.10.20)と施工後 7 ヶ月経過した時点(2015.10.30)のモニタリング斜面の状況である。無対策斜面は風化・浸食が進んでいる状況がよくわかる。これは地質的な点もあるが、土壌水分が低いため不飽和強度が小さく不安定状態になりやすく土砂流出のため植生が根付かないことが理由と考えられる。一方対策斜面は、浸食防止兼用植生マットにより、ある程度の土壌水分があつて不飽和強度があること、土砂流出がないことにより斜面表面が安定し、徐々に周囲から植生が侵入し、植生の復元過程にあると考えられる。

#### 4. まとめ

標高 3142m にあるブータン王国ドチュラ峠付近の斜面に、自然斜面補強土工法を設置し、モニタリング調査を行っている。その結果斜面変状がないことを確認した。今後もモニタリングを継続し、標高が高い箇所での斜面安定効果について検証していく予定である。



写真 3.1 施工前斜面(点線：施工予定範囲)  
(2014.10.20)



写真 3.2 施工 7 ヶ月後の斜面  
(2015.10.30)

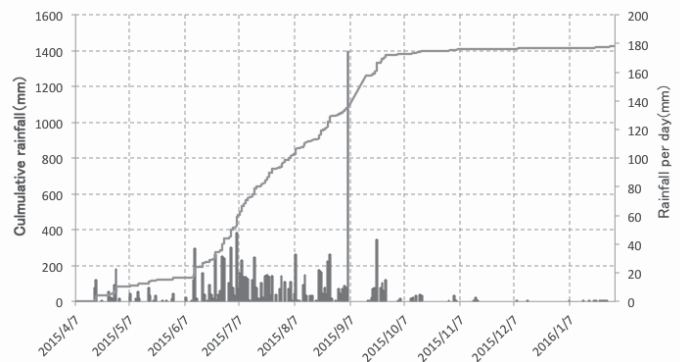


図 3.1 積算降雨量、日雨量推移

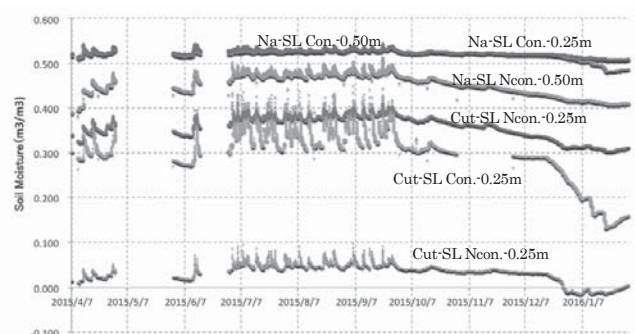


図 3.2 土壌水分の推移

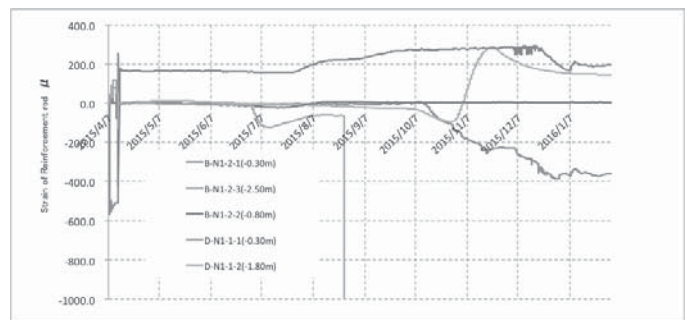


図 3.3 補強材の曲げひずみ推移

#### <参考文献>

1)岩佐他、海外での斜面防災技術展開事例とその課題について、H27 地すべり学会研究発表会