

PE

IPEJ Journal 2015

技術士12

部門共通技術

ネパールの道路ハザードマップと世界遺産の保全

Road Hazard Mapping and Conservation Planning of the World Heritage in Nepal

稲垣 秀輝

Inagaki Hideki

ネパールと日本はともに地殻の変動帯に属しているため地形・地質が類似し、国土は脆弱である。このため、両国は自然災害が多い。また、ネパールでの自然災害に対する防災技術は開発途上であるため、日本の防災技術が役に立つ。ここで、筆者は技術士としての2つの防災技術事例を紹介する。

Nepal is similar to Japan concerned with the geographical and geological features. Both countries belong to orogenic belt, and are fragile about foundation. Therefore there are a lot of natural disasters in two countries. Japanese excellent protection technology of natural disasters is useful for Nepalese natural disaster. The author introduces two protection technological cases against natural disasters as professional engineer, Japan.

キーワード：ネパール、道路ハザードマップ、世界遺産の保全、土砂災害、リスクマネジメント

1 はじめに

2015年4月ネパールでM7.8の地震が発生した。この地震で道路や世界遺産に大きな被害が出た。そもそも、ネパールの道路事情は決してよいとはいえない。毎年というほど降雨による土砂災害が発生し、一時通行止めや通行車両の流失が起きている。また、ネパール国内には多くの世界遺産が登録されているが、小高い丘の上にあるチャンクナラン寺院では、地すべりの懸念があり、世界遺産の保全の必要性が出ている。いずれも土砂災害からの国土の保全が課題となる。ネパールの地形・地質はわが国のそれと類似しており、技術士の活躍の場である。現地調査は、2001年から2008年にかけて5回実施し、その成果をまとめ国際学会での発表や本を出版しネパールの防災関係者へ配布してきた。現在も研究は継続しており、ここではそれらの概要について報告する。

2 ネパールの道路ハザードマップ

2.1 斜面ハザードを把握

ネパール国内の主要都市を結び、主要な輸出入国であるインドを結ぶ国道は脆弱な地質の山岳地を縫って走っている(図1)。特に、東西方向の道路は山肌に沿って走るが、南北方向の道路は急



図1 道路ハザードマップ位置図

峻な東西方向の山脈を横断する。このような過酷な道路の斜面ハザードを把握するため空中写真判読と現地調査を行い、道路ハザードマップを作成した。この中で、斜面ハザードの分類を試み、斜面崩壊で崩壊土砂の種類や崩壊の地質構造から5タイプ(盛土崩壊、土砂崩壊、風化岩崩壊、流れ盤岩石崩壊、受け盤岩石崩壊)、地すべりで移動岩塊の種類から3タイプ(土砂地すべり、風化岩地すべり、岩盤地すべり)に分けた。いずれのタイプの斜面崩壊や地すべりも豪雨や地震の際、崩落を起こしやすいのではあるが、その分類によって、崩落の規模や頻度が異なるのである。これらのほか、落石、緩み岩盤、河岸侵食、土石流を加えた斜面災害の特徴を示した。

2.2 道路ハザードマップと対応策

ネパールの首都カトマンズから山肌に沿って西に向かい、ムグリンからバラトプール間は急峻な

山脈を深く切り込んで流れるトリスリ川沿いの道路であり、インドとネパールを結ぶ動脈である。このV字谷の左岸山裾に張り付いたように建設されている道路は多くの岩石崩壊や大規模地すべり、地すべり末端部の崩壊、地すべり側部の渓岸崩壊に伴う土石流のハザードが多い（図2）。

たとえば、図3には受け盤岩石崩壊の事例を示した。最近では、トンネルルートなどの検討もされていると聞かすが、経済的で復旧のしやすい対応策が必要であろう。

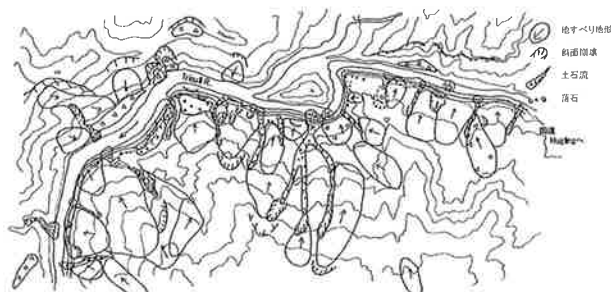


図2 峡谷沿いでの道路ハザードマップ¹⁾

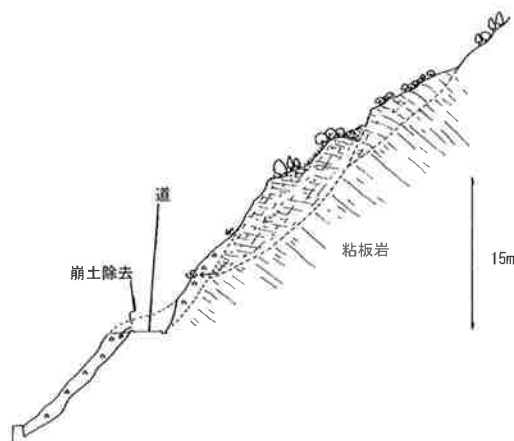


図3 受け盤岩石崩壊

かたや、カトマンズに隣接するナウバイズからヘタウダに向かうトリバンハイウェイは山岳高標高部を通過するため、道路が山腹を回りくねって切り込みながら、山地斜面や峠を越えていく区間である（図4）。風化花崗岩が広く分布する地域であり、風化岩崩壊が多発している（図5）。道路のメンテナンスなどを考慮すると、これらのハザードを抜本的に回避することはむずかしく、ハードからソフト対策への転換も視野に入りたい。

1993年7月の豪雨災害は大きく、この年にはインドとの通行が一カ月以上中断し、ネパールの国内経済が一時麻痺した。対応策としては、わ

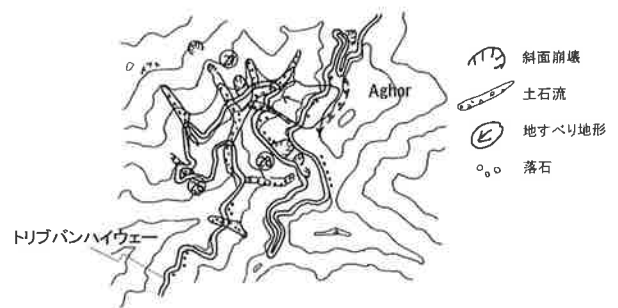


図4 山岳道路でのハザードマップ¹⁾

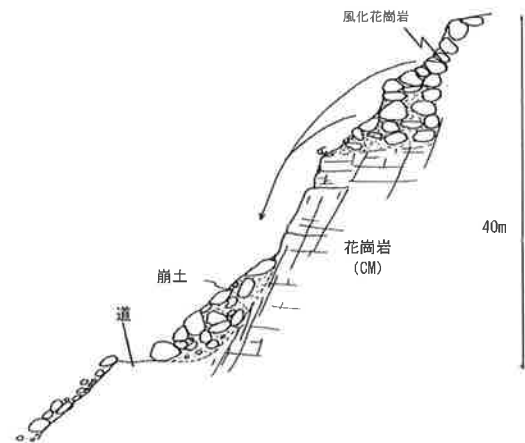


図5 風化岩の斜面崩壊

が国のように、アンカー工や法枠工などのような抜本的な対策工の実施例は少なく、大規模な被災箇所についても、崩壊土砂の除去に伴う小迂回路建設にとどまることが多く、必要に応じて石積擁壁やフトンカゴの施工と植生工で対応しているのが実情である。これらは主に、技術的な問題と経済的な理由による。今回の調査では、被災原因は地下水や表流水などの豪雨を誘因としていたが、地震などによっても、尾根斜面を中心に崩壊・地すべり・落石の斜面ハザードの発生が予想される。

2015年4月の地震では、これからの区間は震源から離れており、大きな被害はなかったが、カトマンズから中国に抜ける震源に近いアルニコハイウェイでは、両区間と類似の地形・地質の箇所も多く、現在調査中でもあるが、斜面土砂災害が多発している。今後、このルートでも道路ハザードマップを作成する予定である。

3 世界遺産の保全

3.1 チャングナラヤン寺院の地すべり地形

ネパールには多くの寺院があり、これらの多く

は首都カトマンズ盆地の周辺に集中している。これらの中でもユネスコの世界遺産に登録された寺院の1つであるチャングナラヤンはネパール最古の寺院であり、毎年多くの観光客を集めている(写真1)。

この寺院はカトマンズの西方約10kmのやせ尾根状に張り出した丘陵地端部に位置し(図6, 写真2), 地盤は古い時代の岩盤と更新世の半固結の粘土・砂・礫など地層(dl)からなる。



写真1 世界遺産のチャングナラヤン寺院

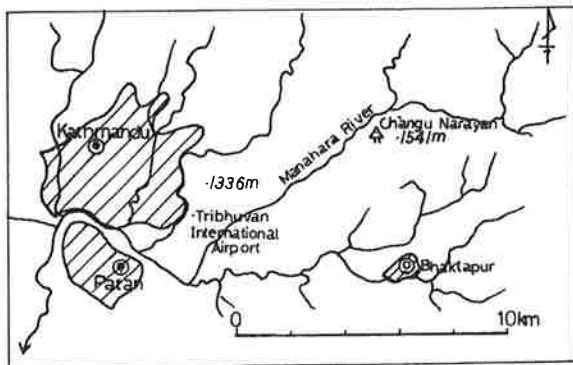


図6 世界遺産の位置図



写真2 世界遺産と地すべり地形

この粘土層の中には黒色でほとんど細粒分のみからなるせん断強度の低いものが認められた。空

中写真ではこの黒色粘土層を基底とした規模の大きな複数の地すべりが認められ、チャングナラヤン寺院の丘陵地を周辺から侵食している。これらの規模の大きな地すべりはいくつかのブロックに分割され、その末端部では流動化し崖錐斜面や土石流堆・沖積錐を形成していることがわかった(図7, 8)。

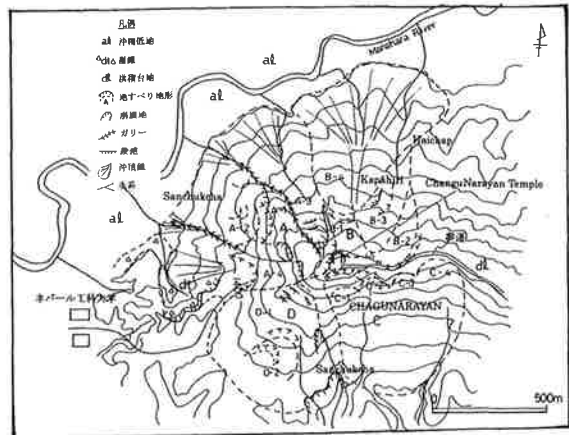


図7 チャングナラヤン寺院地すべり平面図

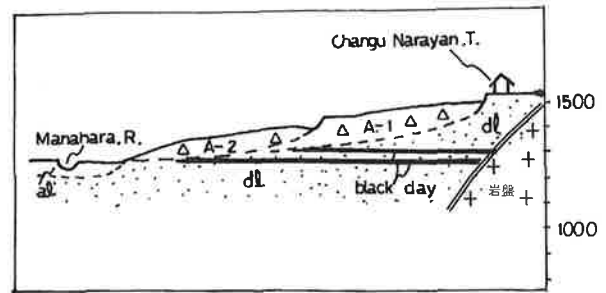


図8 チャングナラヤン寺院地すべり断面図

3.2 保全対策の考え方

この貴重な世界遺産は、このままでは、地すべりの被害を受ける可能性が高い。地すべりの素因は、地盤内の黒色粘土層である。この黒色粘土層について、室内試験を実施した。黒色粘土層の含水比は30%程度と高く、セリサイトなどの雲母類を多く含むほとんど細粒分からなる粘土層である(図9)。この粘土層の通常強度であるピーク強度は $\phi=27^\circ$ であるが、地すべりを起こした後の残留強度は低下し、 $\phi=22^\circ$ となることがわかった(図10)。

豪雨や地震などがその地すべり活動を活発化する誘因になる。さらに、チャングナラヤン丘陵の麓での河砂の採取が、地すべり末端部の地盤の除荷となり、地すべりの安定性を低下させている可

能性も考えられる。

2015年4月の地震でも地盤の悪い多くの世界遺産寺院が被害を受けている。これらの世界遺産を保全するためには、建築物の耐震設計だけではなく、早急に地すべりや軟弱地盤の詳細な地盤調査や地盤安定解析を実施し、世界遺産の文化や自然環境と調和した地盤対策を検討すべきである。

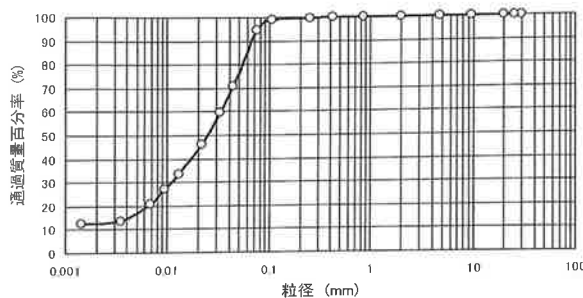


図9 黒色粘土の粒径分布

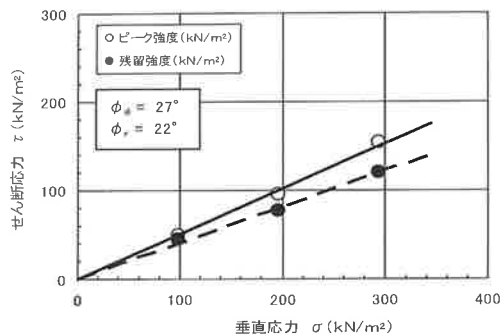


図10 黒色粘土のせん断試験結果

4 土砂災害のリスクマネジメント

リスク管理の基本的な考え方は、今回抽出したいろいろな斜面ハザードに対して、その規模と発生頻度を考慮し、どのハザードから優先的に防災対応をしていくかである。ネパールの様々な斜面ハザードの特徴をまとめたうえで、それらのハザードのリスク評価を行うと長期的な斜面の保守管理が合理的にできることを現地でも報告した。ハザードをリスクとして見積もる、すなわち、危害の発生確率と危害の程度の組み合わせとして評価し、リスクの高いものから重点的に対策を計画的に施工してゆく。

リスク低減対策としては、ハード面の対策ばかりでなく、道路の運営管理等のソフト面の対策も有効であり、その面からの対策（法的規制や避難誘導、情報伝達等）も提言した。

つまり、今回作成したハザードマップの必要性和そのリスク管理のあり方を考慮したハード・ソフトの防災のしくみを向上させる工夫が必要であり、2015年4月の地震後の対応や今後発生する可能性のある様々な斜面土砂災害にも参考になるものと考えられる。また、ハザードマップによる各ハザードの分類、リスクの見積り及びその低減対策に必要な技術及び予算額等が網羅的に検討できるので今後ネパールにとって有効な道路計画・道路補強・補修技術、道路管理技術を検討してゆく基礎資料となる。

5 おわりに

ネパールの土砂災害の実情とハザードマップによるリスクマネジメントの考え方についてまとめた。リスク管理のあり方は、自然環境との共生などを考慮したハード・ソフトの防災技術を向上させる工夫が重要である。さらに、わが国の国土はネパールと類似しており、地震後の復興において、技術士による協力支援が期待される。

最後に、共同で研究をさせていただいた愛媛大学の矢田部教授はじめ多くの先生方、香川大学の長谷川教授、広島大学の故北川教授、ネパール工科大学の先生方に感謝する。

<参考文献>

- 1) R. Yatabe et al.: Landslide hazard mapping major highways of Nepal, Vol.1, p.155, 2005
- 2) 稲垣秀輝他: ネパールの最重要道路のハザードマップとリスク管理, 日本地すべり学会誌, Vol.1, No.6, pp.38-45, 2007
- 3) S. Hasegawa et al.: Causes of large-scale landslides in the Lesser Himalaya of central Nepal, Environ Geol, 57, pp.1423-1434, 2009

稲垣 秀輝 (いながき ひでき)
技術士 (建設/森林/応用理学/
総合技術監理部門)

(株) 環境地質
京都大学防災研究所非常勤講師
博士 (工学)
e-mail: inagaki@kankyo-c.com

