

P 13. ネパールの斜面ハザードと世界遺産の保全

Slope hazard and conservation of the world heritage in Nepal

○稲垣 秀輝 ((株)環境地質)、長谷川 修一 (香川大学)、Netra P. Bhandary (愛媛大学)、Hari K. Shrestha (同左)、Er. Ramesh Rajbhandari (ネパール工科大学)、矢田部 龍一 (愛媛大学)

Hideki Inagaki, Shuichi Hsegawa, Netra P. Bhandary, Hari K. Shrestha, Er. Ramesh Rajbhandari, Ryuichi Yatabe

1. はじめに

ネパールは変動帯に属した山岳地からなる。地形・地質的に日本と類似しており、多くの斜面ハザードが認められる。まず、この特徴的な斜面ハザードを把握するためネパールの主要道路沿いで現地調査と空中写真判読を行い、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。

次に、斜面ハザード調査の中でカトマンズ盆地に位置する世界遺産に登録された寺院のチャングナラヤン(ネパール最古の寺院)が土砂地すべりの被害を受けていることがわかり、この寺院の斜面ハザードからの保全の必要性を示した。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台地端部に位置し、地盤は更新世の半固結の粘土・砂・礫からなる。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土砂地すべりが認められ、チャングナラヤン寺院の台地を周辺から侵食し、寺院をかくろうじて載せている痩せ尾根状の台地となっているように見える。この貴重な世界遺産は、このままでは、地滑りの被害を受ける可能性が高い。

2. 道路沿いの斜面ハザード調査区間

調査は図-1に示したカトマンズからポカラに向かうネパールでの最も重要な道路とネパールとインドをつなぐ流通の最重要道路となるムグリンーバラトプールーヘタウダーナウバイズの間である。ヘタウダーナウバイズ間はトリブバンハイウェーと呼ばれる1953~1956年にインドにより建造された山岳道路で、1993年の豪雨災害で

インドとの物流が1ヶ月以上途絶えた区間である。現在のインドへの流通の主要道路は中国政府が建造したムグリンーバラトプール間のトリスリ川沿いの河川峡谷を縫ったルートに代わっている。

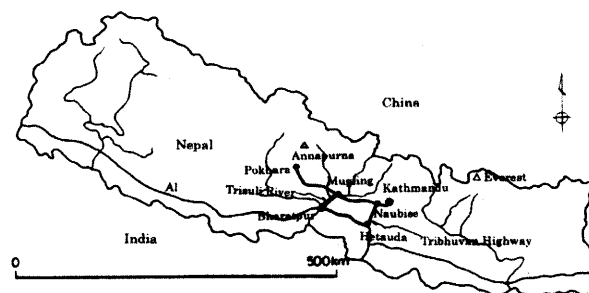


図-1 調査位置図

3. 道路斜面ハザードの特徴

道路沿いの斜面ハザードは、斜面崩壊で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)に分けられるほか、落石、緩み岩盤、河岸侵食、土石流を加えた斜面災害が認められた。これらの斜面ハザードを詳細に調べ、表-1として示した。

表-1では、先に示したハザードタイプを記号で示した。地形・地質的特徴としては、緩み岩盤(図-2, 3参照)、落石(図-2参照)、受け盤岩石崩壊(図-4参照)、岩盤地すべり(図-5参照)は、岩盤の露出する急斜面で発生し、狭谷沿いや山岳道路での切土斜面での被害が多い。次に、山腹や山裾の緩斜面には、土砂地すべりや風化岩地すべり(図-6参照)が多く、特に河川の攻撃斜面に当たる箇所では規模の大きなものが認められる。風化岩崩壊は、粘板岩(広域変成を受けたものを含む)の割れ目の多い風化部と、花崗岩のマサ化したところで多く、特に花崗岩が分布する山地の高標高部では、マサ化したところが多く、図-7に示したようなコラストーンを含む特徴的な斜面崩壊を示している。

表-1 現地調査結果一覧

地点番号	北緯(°)	東経(°)	標高(m)	ハザードタイプ	地形	地質	水理	被災履歴	対策	災害規模	発生頻度	リスク評価
1	27.70818	85.19344	1240	S5	急峻な斜面	粘板岩(新層)	湧水あり	2002年豪雨	崩土部分除去	中	中	中
2	27.72627	85.14025	846	L1	地すべり地形	粘板岩(新層)	湧水あり	不明	なし	中	小	小
3	27.73734	85.12497	801	E1	河岸の急峻	崩壊土	湧水あり	2002年豪雨	崩壊土	中	大	大
4	27.74675	85.09209	646	L2,E1	地すべり地形(変形斜面)	崩壊土	湧水あり、表流水流入	2002年豪雨	崩土部分除去	中	大	大
5	27.80153	84.83939	372	S4	河岸の急峻(変形斜面)	粘板岩など	湧水あり	1993年豪雨	フロンカゴ	中	中	中
6	27.81485	84.8043	358	L3,S2	地すべり地形	粘板岩など	湧水あり	不明	なし	大	小	中
7	27.79858	84.73418	341	S4	河岸の急峻(変形斜面)	粘板岩など	湧水あり	1993年豪雨	フロンカゴ、植生	中	中	中
8	27.84785	84.66028	282	L1	地すべり地形	崩壊土	—	不明	なし	中	小	小
9	27.86867	84.63038	274	F1	沢出口	粘板岩など	土石流	1993年豪雨	復旧	大	小	中
10	27.87118	84.5788	286	L2	地すべり地形、道路段差	粘板岩など	湧水あり	不明	なし	中	中	中
11	27.888	84.57769	302	S2	地すべり地形、河岸の急峻	粘板岩など	—	2004年豪雨	崩土部分除去	中	大	大
12	27.83284	84.52716	255	S2,L1	地すべり地形、河岸の急峻	粘板岩など	湧水あり	2003年豪雨	崩土部分除去	中	中	中
13	27.82567	84.52163	226	S1	河岸の急峻	粘板岩など	—	2004年豪雨	崩壊土復旧中	小	大	中
14	27.81458	84.51218	223	L1	河岸の急峻、崩壊土出し	粘板岩など	湧水多い	2004年豪雨	なし	小	大	中
15	27.81994	84.48845	221	L3	河岸の地すべり地形	粘板岩など	湧水あり	2004年豪雨	崩土部分除去	大	中	大
16	27.81771	84.46297	225	F1	沢の出口、沖積層	粘板岩など	土石流	2003年豪雨	崩土部分除去	中	中	中
17	27.79547	84.43164	207	R2	河岸の急峻	チャート、砂岩	—	不明	なし	中	小	小
18	27.787	84.43374	205	S2,F1	河岸の急峻の沢出口	石灰岩	土石流あり	2004年豪雨	崩土部分除去	中	中	中
19	27.75276	84.476	211	S2,R1	段丘	石灰岩	一部湧水あり	2004年豪雨	崩土部分除去	小	中	小
20	27.48254	85.0451	525	F1	沢の出口	石灰岩	土石流	2002年豪雨	崩土部分除去	大	中	大
21	27.50247	85.04542	576	S4,R1	河岸の急峻	石灰岩	—	2004年豪雨	崩土部分除去	中	大	大
22	27.5324	85.04319	947	L2	出展地の地すべり地形	粘板岩など	—	不明	なし	中	小	小
23	27.54594	85.02977	1182	S1	谷頭	ホルンフェルス	—	不明	なし	小	小	小
24	27.54826	85.0289	1269	S2	谷頭	崩壊花崗岩	—	不明	なし	小	中	小
25	27.54648	85.05657	1402	S5,R2	谷頭	花崗岩	—	不明	なし	小	大	中
26	27.55463	85.06175	1526	F1	沢地形中のオーバハンク巨石	花崗岩	土石流	有	なし	中	中	中
27	27.56888	85.06926	1834	S3	急峻な斜面	花崗岩	湧水あり	2004年豪雨	崩土部分除去	中	大	大
28	27.56501	85.07151	1836	S4	急峻な斜面	花崗岩	—	2004年豪雨	崩土部分除去	中	大	大
29	27.63336	85.08914	1809	F1	扇状地	花崗岩	花崗岩地帯からの土石流	1993年豪雨	崩土部分除去	大	小	中
30	27.64211	85.0955	1782	S4	切土法面	粘板岩、砂岩互層	なし	1993年豪雨	崩土除去	中	中	中
31	27.71878	85.11049	1891	S1	沢の谷頭部	粘板岩	表流水の流入	2004年豪雨	復旧中	小	大	中

注1)ハザードタイプ

S1:土砂崩壊
S2:土砂崩壊
S3:風化岩崩壊
S4:流れ盤岩石崩壊
S5:受け盤岩石崩壊

R1:落石
R2:緩み岩盤
(トッピング及び流れ目のオープンクラック等により岩盤崩壊の可能性)
E1:河岸浸食
F1:土石流

注2)リスク評価

発生頻度	小	中	大
発生規模	小	中	大
小	小	中	大
中	小	中	大
大	中	大	大

注3)地質の粘板岩は広域変成を受けたものを含む

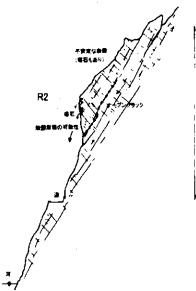


図-2 緩み岩盤、落石 (No. 17)



図-3 トッピングによる小岩石崩壊 (No. 25)

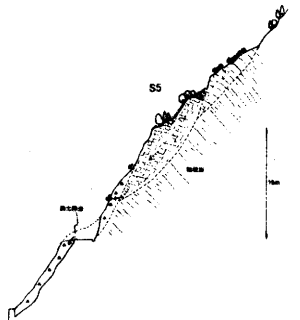


図-4 受け盤岩石崩壊 (No. 1)

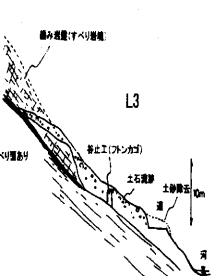


図-5 岩盤地すべりと沢沿いの土石流 (No. 15)

また、河岸浸食は、地すべり地末端が河川に押し出しているところ(図-6 参照)や河岸段丘の河川攻撃斜面で多く、盛土崩壊は、沢地形や集水地形の切盛境界で、地下水や表流水の集中により発生している。土石流は、渓流内での崩壊が多い沢や地すべり側部の沢での谷頭や溪岸崩壊を引き金として発生することが多く、地すべり地との複合災害を示している。

被災時期は、雨期での豪雨災害のように、例年何らかの土砂災害が発生しているが、特に 1993 年 7 月の豪雨災害が大きく³⁾、この年にはインドとの通行が一ヶ月以上中断し、ネパール国内経済に大きなインパクトを与えた。対策

工としては、大規模の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ロンカゴの施工と植生工で対処している、我国のように、アンカー工や法枠工などのような抜本的な対策工を実施例は少ない。これらは主に、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。

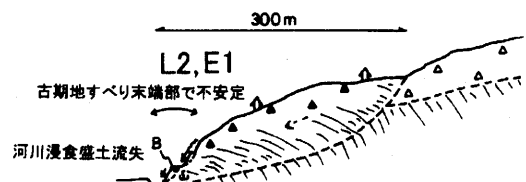


図-6 風化岩地すべりと末端部の河岸浸食 (No. 4)

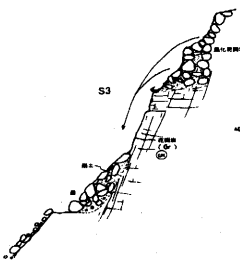


図-7 風化岩崩壊 (No. 27)

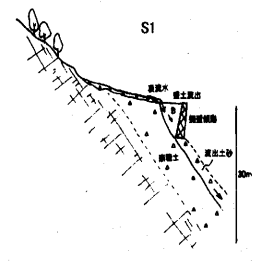


図-8 盛土崩壊 (No. 31)

4. 道路ハザードマップ

道路ハザードマップは今回調査したルートすべてで作成したが、ここでは以下の4箇所を上げて説明する。

1) 峡谷沿いのハザードマップ(図-9 参照)

山岳地を深く切り込んで流れるトリスリ川沿いの国道は、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国道は多くの大規模地すべりや地すべり末端部の崩壊、地すべり側部の溪岸崩壊に伴う土石流のハザードが多い。これらのハザードを抜本的に回避することはむずかしい。

2) 盆地沿いのハザードマップ (図-10 参照)

トリバンハイウェーのダーマン盆地沿いのルートで、古い地すべりで一時ダーマン盆地がせき止め湖化した形跡がある。1993年の豪雨では、No. 29 地点で大規模な土石流が発生するとともに、No. 30 地点でも斜面崩壊が発生するなど、道路沿いに大きなダメージをおった。

3) 山岳地でのハザードマップ (図-11 参照)

トリバンハイウェーの山岳高標高部で、国道が山腹を回りくねって切り込みながら、山地の峠を越えていく区間である。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。道路のメンテナンスなどを考慮するとトンネル等の抜本対策が期待される。

4) 大断層沿いのハザードマップ (図-12 参照)

トリスリ川左岸の国道が山岳地を抜け、バラトプールに至る箇所であり山地と平野部との境界で大規模な衝上活断層が位置している。ここでは、岩盤が広い範囲で劣化しており、規模の大きな地すべりや崩壊が多く、それに伴う土石流也多発する。ただし、土石流の発達する沢は深く切れ込んでいるため、これらの沢は、比高差のある橋梁となっているため、国道に対する被災は少ない。

5. 道路リスク管理の考え方

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。図-13 には、一般的なハザードのリスク分類を示した。ハザードは、発生規模の小さいものは発生頻度が高く、規模の大きなものは発生頻度が低くなる傾向が多い。

今回のハザードを分類すると、基本的にこの考えに一致するが、より詳しく発生頻度と発生規模をそれぞれ大中小に分け、リスク評価の一覧表にすると表-2 のとおりとなる。表-2 に示したリスク評価の高いものから順 (大→中→小) に対応をしていくと、たとえば、表-1 に示した計31地点の中ではリスク評価が大となった No.3,4,11,15,20,21,27,28 地点などから防災対策を行うなどのようにすると、道路の長期防災保守は合理的になると考えている。

ネパールの主要道路のハザードマップを今回作成した。また、各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道路の保守管理が合理的に出来ることを示した。

今後、わが国同様に斜面ハザードが多様で厳しいネパールにあって、経済的に余裕の少ないことを考慮し、防災工学を進めていくことが重要である。つまり、ハード対策だけでなく、交通規制や避難誘導、情報伝達を含めたソフト対応を行うためには、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あるいは自然

環境との共生などを考慮したハード・ソフトの防災のしぐみを向上させる工夫が重要である。⁵⁾

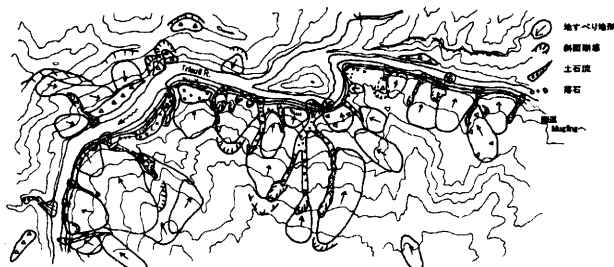


図-9 峡谷沿いの道路ハザードマップ

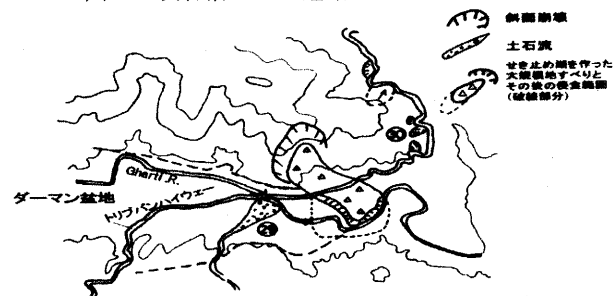


図-10 盆地沿いの道路ハザードマップ

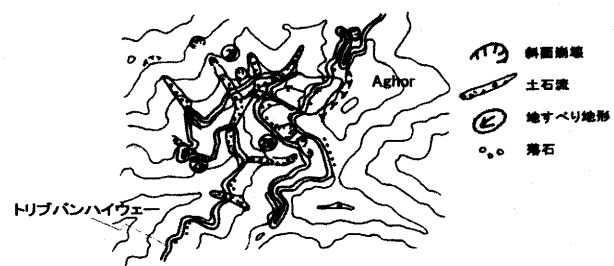


図-11 山岳道路でのハザードマップ

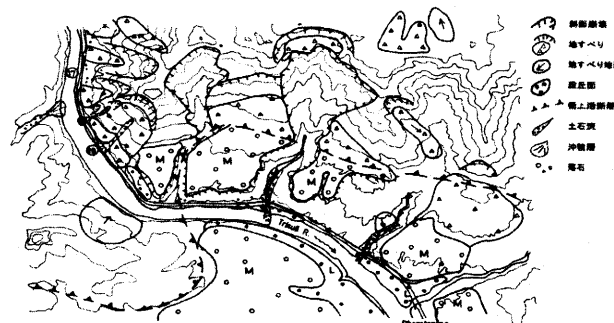


図-12 大断層沿いの道路ハザードマップ

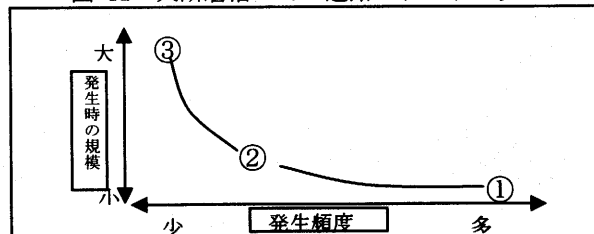


図-13 ハザードの分類⁴⁾

表-2 道路リスク評価表

発生規模 \ 発生頻度	小	中	大
小	小	小	中
中	小	中	大
大	中	大	大

