

第3章

斜面災害のハザード・リスク評価

3.1 ナラヤンガート～ムグリーン道路の斜面災害タイプ

道路斜面災害のハザード評価とリスク評価は以下の2つの観点で行った。

- A. 斜面の定性的評価
- B. 調査団の開発した評価手法を適用した道路沿い斜面の定量的評価

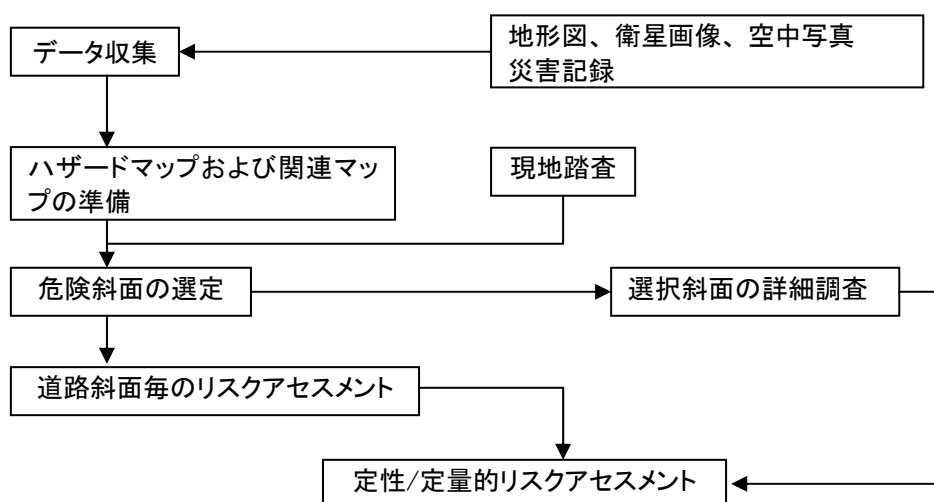


図 3.1.1 道路斜面災害のハザード・リスク評価（調査）の流れ

3.1.1 ナラヤンガート～ムグリーン道路沿いに想定される災害

(1) ハザード・リスク調査のためのハザードマップ・テーマ図

(a) ハザードマップの作成

調査団はハザードマップならびに関連するテーマ図を作成した。これら地図を道路斜面災害リスクの特定、現地踏査、詳細地質調査、リスクアセスメント等に用いた。

ハザードマップは以下に示すさまざまな利用可能なデータ・情報を使って作成した。

調査団は数値標高モデル（DEM）を処理し、傾斜分布図（図 3.1.3）と斜面方位図（図 3.1.4）を作成するとともに、航空写真と高解像度衛星画像を立体視することによって地すべりの可能性、土石流・斜面崩壊を判読した。また、主要な地質構造は小縮尺の地質図から抽出した。最終的な成果として、主な斜面災害と災害可能性のある地域を縮尺 1:25,000 の地形図上にプロットした。

(b) ハザードマップの解釈

図 2.3.1 に示すように道路沿いには約 30 の地すべりの発生可能性が高い斜面が存在する。CH 10 – CH 36 の 26 km 全区間において、地すべりポテンシャルの高い斜面が隣接する。

道路沿いには約 15 のフォトリニアメントがあり、これらリニアメントのいくつかは、主境界断層(MBT)のような大断層に一致する方向である。また、判読されたリニアメントは、地すべり性の亀裂、岩相境界、あるいはその他の崩壊を示唆するものと考えられる。

縮尺 1:5,000 – 1:10,000 の高解像度衛星画像上で、大小さまざまな斜面崩壊が認められ、その多くの場所は地すべりの発生可能性地域と一致しており、地すべりの活動のある程度示唆すものと考えられる。

また多くの斜面ハザードは、活断層、褶曲軸、層理面のような地質構造と関連していると考えられる。

(2) 現地踏査と観察

現地踏査により実際の現地状況を観察し、ハザードマップ上の災害要因を確認した。

(a) 縮尺 1:25,000 での地質マッピング

CH 10 – CH 36 の区間沿いの基盤地質のマッピングを縮尺 1:25,000 で行った。区間ごとの斜面地質は第 2 章に述べた通りである。

(b) 斜面個別調査

初期段階の現地踏査を通じて選定された問題のあると考えられる斜面は、「道路斜面アセスメント調査票」を用いてさらに詳しい調査を行った。その結果は 3.3 に詳述する。

(3) 幾何学的な斜面分類

地質専門家による現地踏査を通じて、道路に被害を与える典型的な斜面ハザードが認識されたとともに、斜面位置と地質組合せが、道路斜面ハザードを理解するうえで重要な位置づけであることが明らかになった。

CH 10 – CH 36 の区間において道路斜面は、北向き、北東向き、東向き、南東向き、南向き、南西向き、西向き、北西向きに区分することができる (図 3.1.3)。

さらに地質構造の向きにより、道路・自然斜面を、流れ盤斜面、受け盤斜面、横断斜面の大きく 3 つに区分することができる。

図 3.1.2 は流れ盤、受け盤、横断の各斜面を模式的に示したものである。

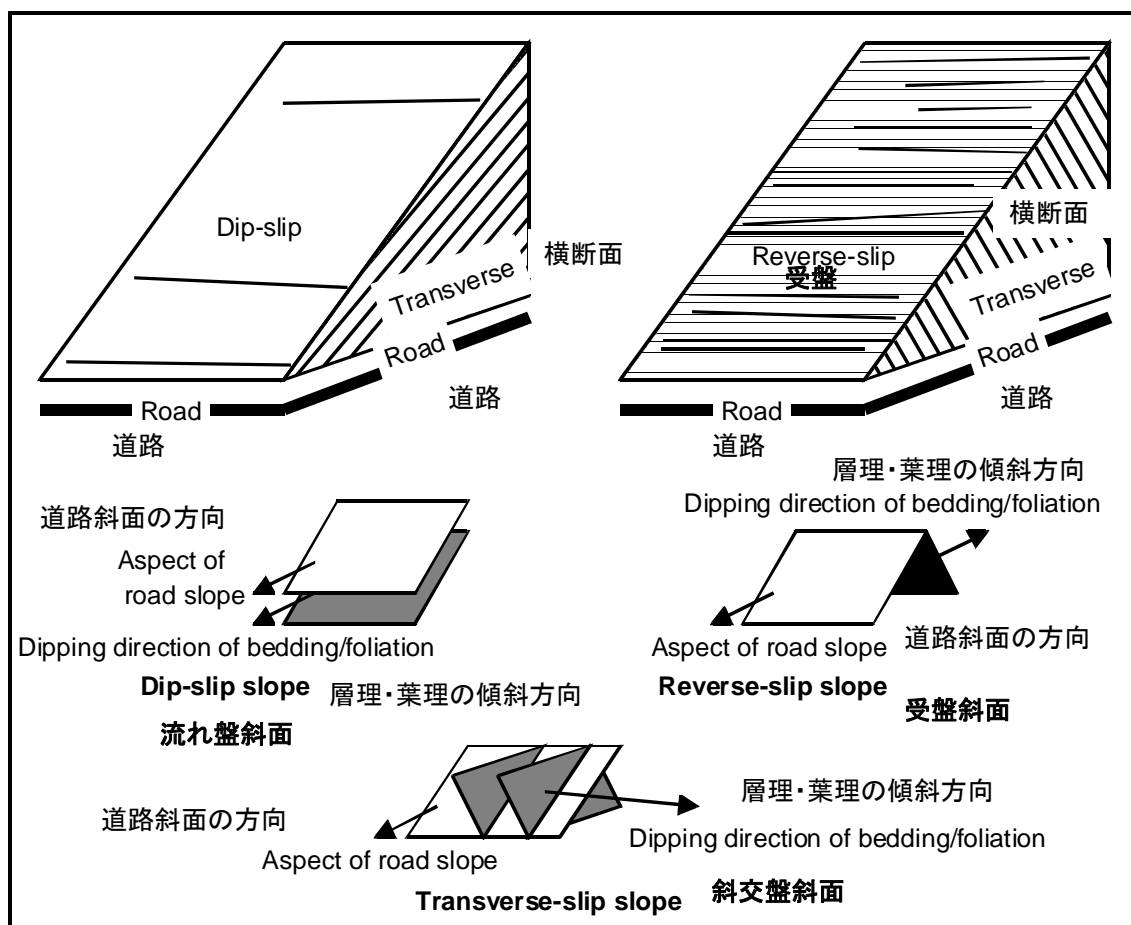


図 3.1.2 道路斜面の幾何学的区分

図 3.1.2 は斜面方位と地質構造による斜面分類を示す。当該区間の斜面は一般に北向き、南西向き、西向き、北西向きである。北東、東、南、あるいは南東向きの斜面は数が少ない。

いっぽう、主要な地質構造（層理面や片理面）は北東－南西、あるいは東－西走向を示す。

表 3.1.1 は各区間の幾何学的斜面分類を示す。各斜面は流れ盤、斜交盤、受け盤のいずれかの斜面に分類することができる。

表 3.1.1 路線区間ごとの斜面分類

区間 CH	斜面方位	斜面分類	主な想定ハザード
10+100 - 14+100	南西と南	受盤	土石流 (DF), 落石 (RF)
14+100 - 15+600	南西	横断盤	斜面崩壊 (SF), 土石流 (DF)
15+600 - 16+800	西	横断盤	斜面崩壊 (SF), 土石流 (DF)
16+800 - 17+900	西	横断盤	斜面崩壊 (SF), 土石流 (DF)
17+900 - 19+500	北西	流れ盤	土石流 (DF), 斜面崩壊 (SF)
19+500 - 22+000	北	流れ盤	斜面崩壊 (SF), すべり (SL), 土石流 (DF), 落石 (RF)
22+000 - 22+500	西と北西	斜交盤	斜面崩壊 (SF), 落石 (RF)
22+500 - 23+000	北	受盤	斜面崩壊 (SF), すべり (SL), 土石流 (DF), 落石 (RF)
23+000 - 27+900	北	受盤	斜面崩壊 (SF), すべり (SL), 土石流 (DF), 落石 (RF)
27+900 - 29+500	西と北	横断盤	斜面崩壊 (SF), すべり (SL), 土石流 (DF), 落石 (RF)
29+500 - 30+100	西	流れ盤	斜面崩壊 (SF), 落石 (RF)
30+100 - 33+200	北	受け盤	斜面崩壊 (SF), 落石 (RF), 土石流 (DF)
33+200 - 36+000	西と北西	横断盤	岩盤崩壊 (RM), 斜面崩壊 (SF), 落石 (RF)

DF: 土石流 RF: 落石 RM: 岩盤崩壊, SF: 斜面崩壊, SL: 地すべり

図 3.1.3 に調査地域における概略の基盤岩類の走向・傾斜を示す。

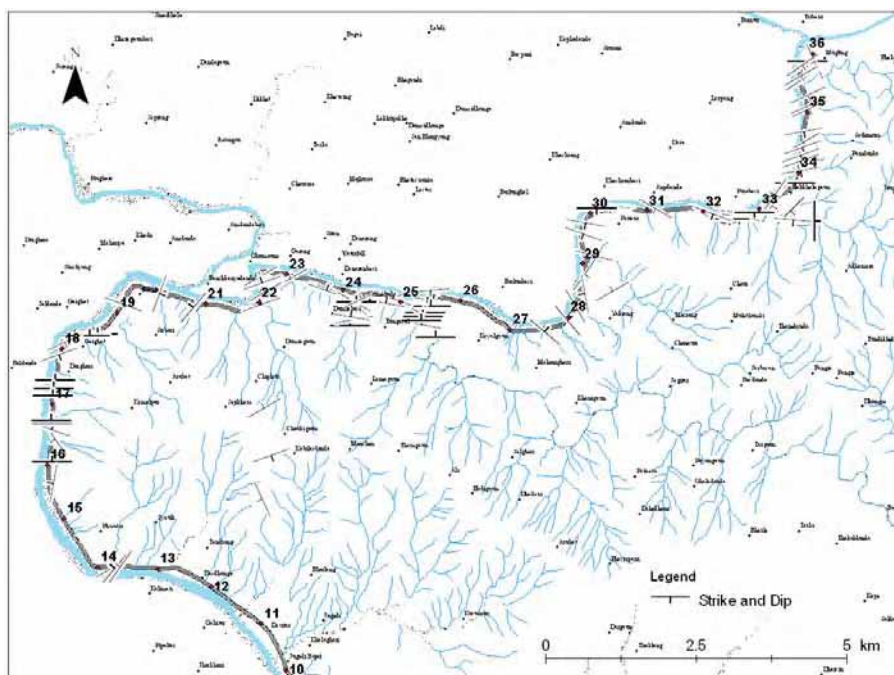


図 3.1.3 道路沿線の基盤岩類の走向・傾斜

(4) 斜面ハザードの概要

(a) CH 10+100 – CH 14+100

CH 10+100 – 14+100 の区間は平坦面あるいは緩斜面上に位置し、道路斜面は概して南向きないし南西向きを呈する。地質は主に第四紀の未固結堆積物からなる。

この区間は CH 12+600 でダスコーラ (Das Khola)、CH 11+300 でカハレコーラ (Khare Khola)、CH 10+300 でジュゲディ (Jugedi Khola) を横断する。

各溪流 (khola) は 3 – 5 km² 程度の流域面積を有しており、流域内の標高は 1000m に達する。上流域は岩盤斜面からなるが、多くの大規模斜面崩壊が尾根付近で発生している。下流域では段丘堆積物において多数の斜面崩壊が発生している。このような大量の斜面崩壊物質はトリスリ川へ流れ込む土石流の供給源となっている。

図 3.1.4 は CH 10 + 100 – CH 14+100 の区間の土石流発生を模式的に描いたものである。

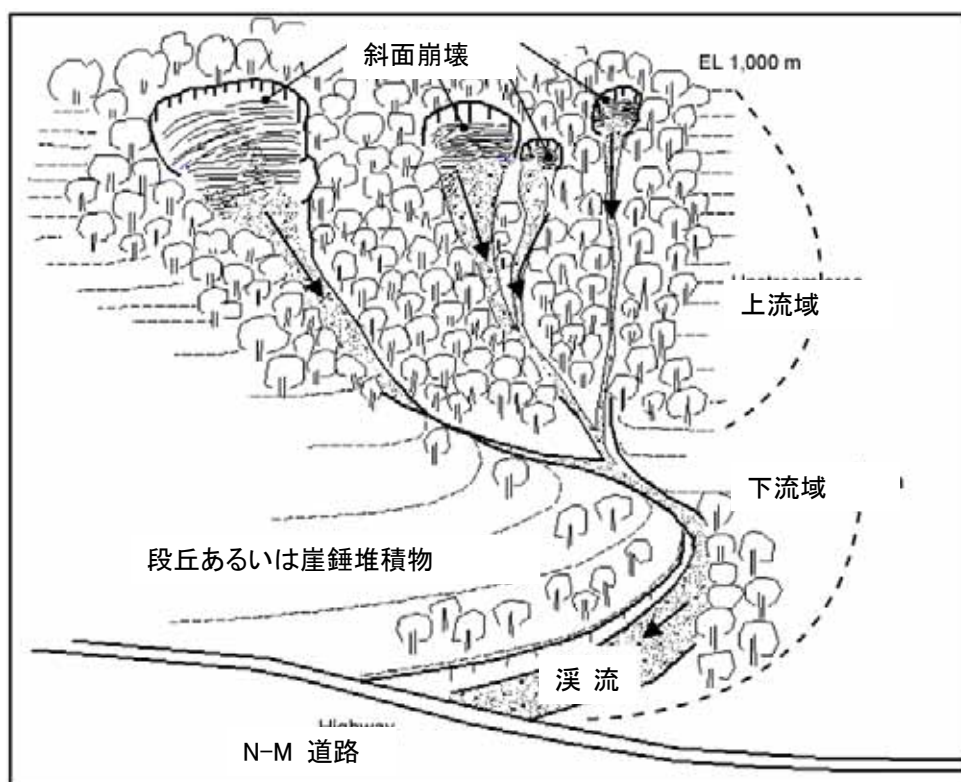


図 3.1.4 斜面崩壊－土石流の連続性を示す模式図

(b) CH 14+100 – CH 15+600

CH 14+100 – CH 15+600 の区間は南西向きの斜面に位置する。道路斜面の地質は主に第四紀の未固結堆積物 (段丘堆積物、崖錘堆積物、および現河床堆積物等) である。第四系に覆われる基盤岩はシワリク層群の砂岩・泥岩である。

この区間の道路斜面は横断斜面型に分類される。大規模な斜面災害は発生していないものの、小規模な斜面崩壊や土石流は典型的な斜面ハザードである。

(c) CH 15+600 – CH 16+800

CH 15+600 – CH 16+800 の区間は西向き斜面上に位置する。道路斜面の地質は南側より、ノープル層、ダンディン苦灰岩、ベニガート粘板岩、プレベシ珪岩類が分布する。

区間の斜面は横断斜面型に分類される。大規模な崩壊がしばしば標高 700m 付近にみられる。また苦灰岩によって構成される急崖で落石や岩塊崩落が起きており、落石などが道路に到達しやすい状態にある。これは苦灰岩が通常硬質で塊状を呈することによる。また小規模な土石流もしばしば観察され、これらの起源物質は元の位置から崩落した基盤岩類、すなわち崖錐堆積物である。図 3.1.5 に本区間で典型的な斜面ハザードについて模式的に表す。

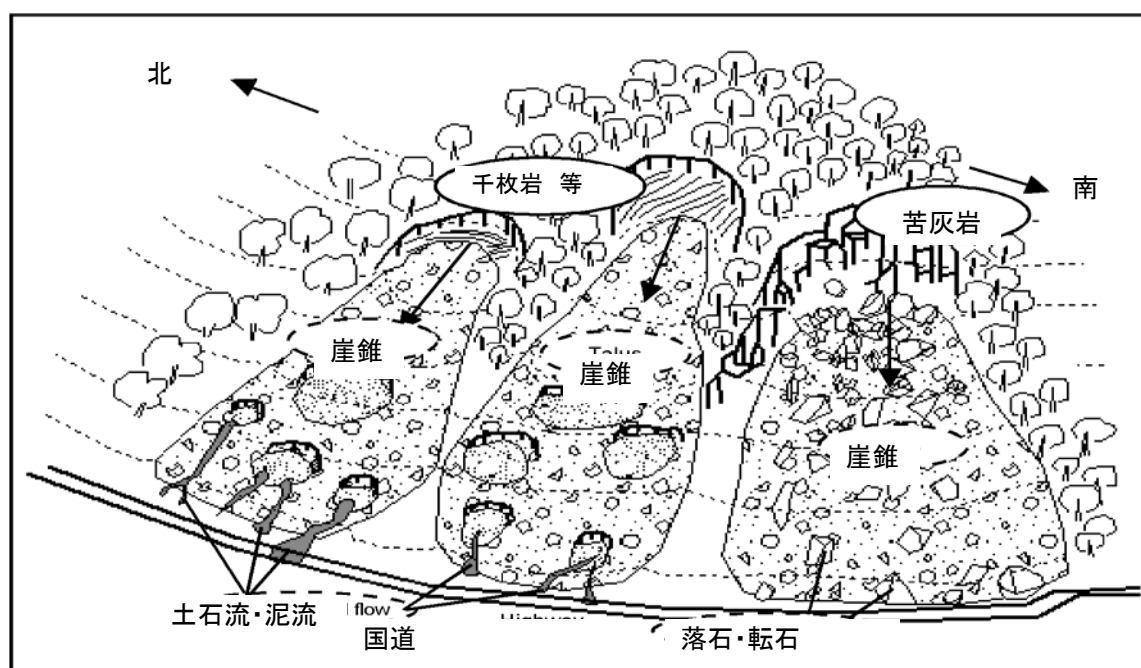


図 3.1.5 斜面崩壊を示す模式図

(d) CH 16+800 – CH 17+900

CH 16+800 – CH 17+900 の区間は西向きの横断斜面である。道路斜面の地質はノープル層の千枚岩・砂岩より構成され、一般に基盤岩は薄い土壌と崖錐堆積物に被覆される。

この区間では斜面崩壊と地すべりが典型的なハザードであり、小規模な土石流も観察される（図 3.1.5 参照）。

(e) CH 17+900 – CH 19+500

CH 17+900 – CH 19+500 の区間は北西向きの流れ盤斜面である。道路斜面の地質はノープル層の千枚岩と砂岩より構成される。特に CH 18+500 – CH 19+500 の区間では道路脇の基盤岩は段丘堆積物に覆われる。

この 1.6km の区間は比較的斜面ハザードの可能性が低い、溪流沿いの土石流の発生

がしばしば認められる。

(f) CH 19+500 – CH 22+000

CH 19+500 – CH 22+000 の区間は北向きの流れ盤斜面である（図 3.1.6 参照）。道路斜面の地質はノープル層の千枚岩と砂岩より構成される。

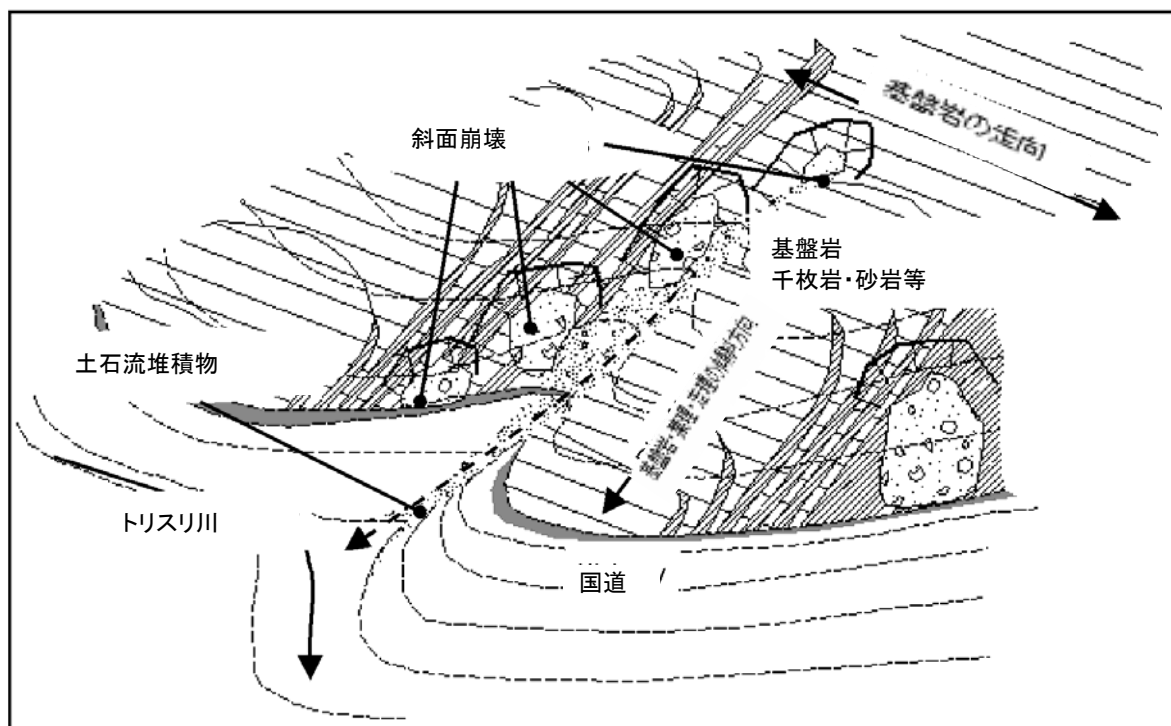


図 3.1.6 流れ盤斜面の模式図

この 2.5km の区間は道路でハザードの可能性が高い区間の一つであり、斜面崩壊および地すべりがしばしば発生している。また土石流によっても道路は被害を受けている。

この区間内では、CH 21+750 m 付近の斜面に大規模な地すべり地形が認められ、本調査では本地すべり斜面を SL-1 と呼び、詳細調査を実施した。次項において詳細調査結果を述べる。

(g) CH 22+000 – CH 22+500

CH 22+000 – CH 22+500 は西・北西向きの横断斜面で、地質はノープル層の千枚岩・千枚岩より構成される。この 500 m の区間内で典型的な斜面ハザードは図 3.1.7、ならびに図 3.1.8 に示すような斜面崩壊である。しばしば楔形の岩すべりを伴う崩壊地が観察される。

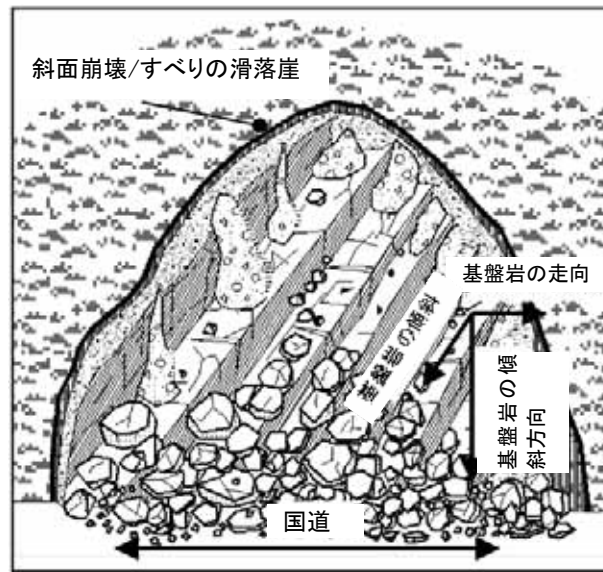


図 3.1.7 CH 22 – 22+500 間に典型的な斜面崩壊

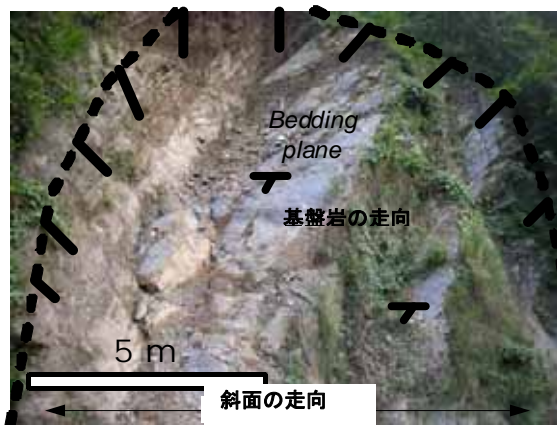


図 3.1.8 楔形岩すべりによって形成される斜面崩壊

(h) CH 22+500 – CH 23+000

CH 22+500 – CH 23+000 の区間は北向きの流れ盤斜面である。道路斜面の地質はノーブル層の千枚岩・砂岩より構成される。

この 500 m 区間内では小規模な斜面崩壊と地すべりが多い。



図 3.1.9 トリスリ川沿いの北向きの流れ盤斜面、道路

(i) CH 23+000 – CH 27+900

CH 23 – CH 27+900 の区間は北向きの流れ盤斜面に位置する。この 4.9 km の区間はハザードの可能性の高い区間の 1 つである。

地すべり、斜面崩壊、土石流が道路に沿って多数確認される。とくに、土石流が頻繁に発生し、道路輸送を妨げている。道路に被害を与える大規模な地すべりや斜面崩壊は特に多くは認められないが、これらの斜面崩壊は道路と交差する溪流において非常に活発に発生しており、土石流物質の供給源となっている。

本区間内では、3 箇所地すべり可能性斜面があり、本調査ではこれらを SL-2、SL-3、SL-4 と命名し、SL-1 同様、構造物対策の検討箇所として、さらに詳しく調査した。これらの箇所以外にも、多くの層理面すべり（岩すべり）が道路沿いに観察される（図 3.1.10 および図 3.1.11 参照）。

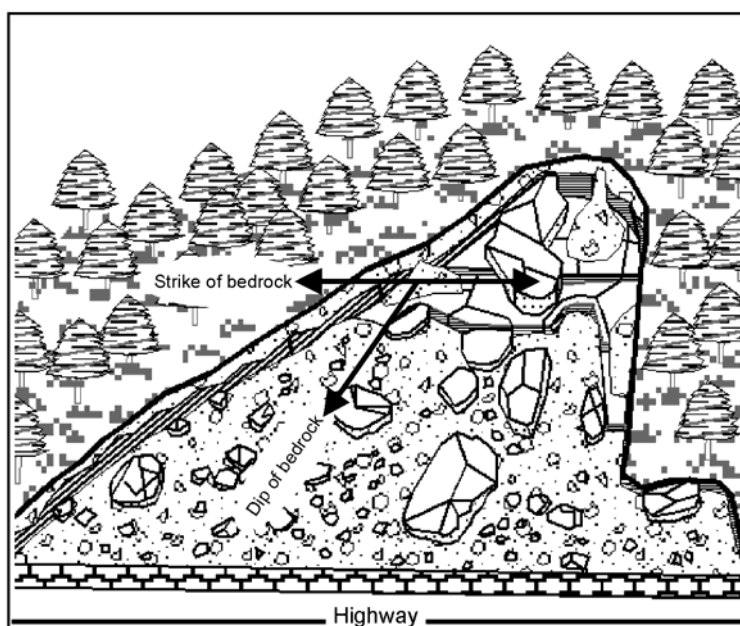


図 3.1.10 層理面すべりの模式図



図 3.1.11 基盤岩の層理面すべりによって形成された典型的な流れ盤斜面（CH 25+500, リグディコーラ（Rigdi Khola）付近）

基盤岩は主に千枚岩・砂岩（場所により珪岩）の互層から構成され、風化は岩盤中深くまで進行していると推定される。岩石は重力性クリープを示唆する多数のノンテクトニック変形を有しているほか、テクトニックなせん断変形も頻繁に認められる。図 3.1.12 に示すような低角度の節理が千枚岩中に発達している。



図 3.1.12 ノープル層の千枚岩のノンテクトニック変形構造（左：道路に向かう傾斜節理、右：千枚岩の重力性褶曲）

(j) CH 27+900 – CH 30+000

CH 27+900–CH 30+000 の 2100m の区間は、以下の区間に細分できる。

CH 27+900 – CH 29+000 は西向きの横断斜面に位置し、CH 29+000 – CH 29+100 は北向きの受け盤斜面、CH 29+100 – CH 29+200 は南向きの流れ盤斜面に位置する。残りの区間は西向きの横断斜面に位置する。

この 2100m の区間の基盤岩はノープル層に属する。斜面崩壊が典型的なハザードである。

(k) CH 30+000 – CH 33+200

CH 30+100 – CH 33+200 の区間は、北向きの受け盤斜面に位置し、基盤岩はノープル層に属する。落石および斜面崩壊が典型的な斜面ハザードである。溪流では土石流も観察される。

(l) CH 33+200 – CH 36+000

CH 33+200 – CH 36+000（ムグリン）の区間はほぼ西向きの横断斜面に位置する。

基盤岩は南傾斜の変成堆積岩類で、プレバシ珪岩、ダンダゴン千枚岩、ファグフォグ珪岩、クンチャ層などに分類されている。

この 2800 m 間の典型的な斜面ハザードは珪岩斜面からの落石と、その他の変成堆積岩斜面の崩壊である。大規模な地すべり地形は認められない。

ファグフォグ珪岩の急角度の切土斜面は平常時には安定していると評価されるが、大地震などの場合には崩壊の危険性がある。

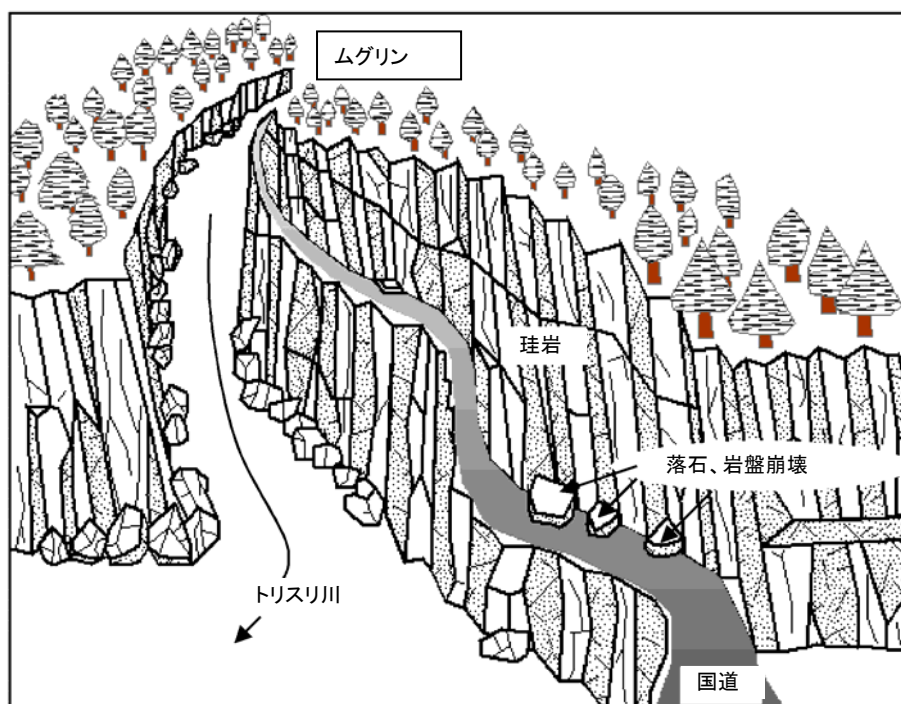


図 3.1.13 珪岩の切土斜面からの落石の模式図

3.1.2 ナラヤンガート～ムグリーン道路の斜面災害分類

本節では当該路線の斜面災害の特徴を検討し、道路に影響を与える各斜面災害のタイプを分類した。分類にあたっては、はじめに一般的な斜面災害の分類を整理した。

(1) 一般的分類

斜面災害の分類は各研究者や各機関において様々であるが、一般的に斜面災害とは「ランドスライド」として「斜面における岩、土塊、土の下方移動」として定義されている (Cruden, 1991)。

一般に斜面崩壊はその動き方と構成物質によって分類される (Varnes, 1958; Varnes, 1978)。動き方の分類は、崩落、転倒、すべり、進展、流動の5つに分けられ、6つ目の分類はこれらの複合タイプである。この5つの分類は広く一般に受け入れられているものである (Cruden and Varnes, 1996)。また図 3.1.14 にそれぞれに対応のイラストを示す (U.S. Geological Survey, 2004)。

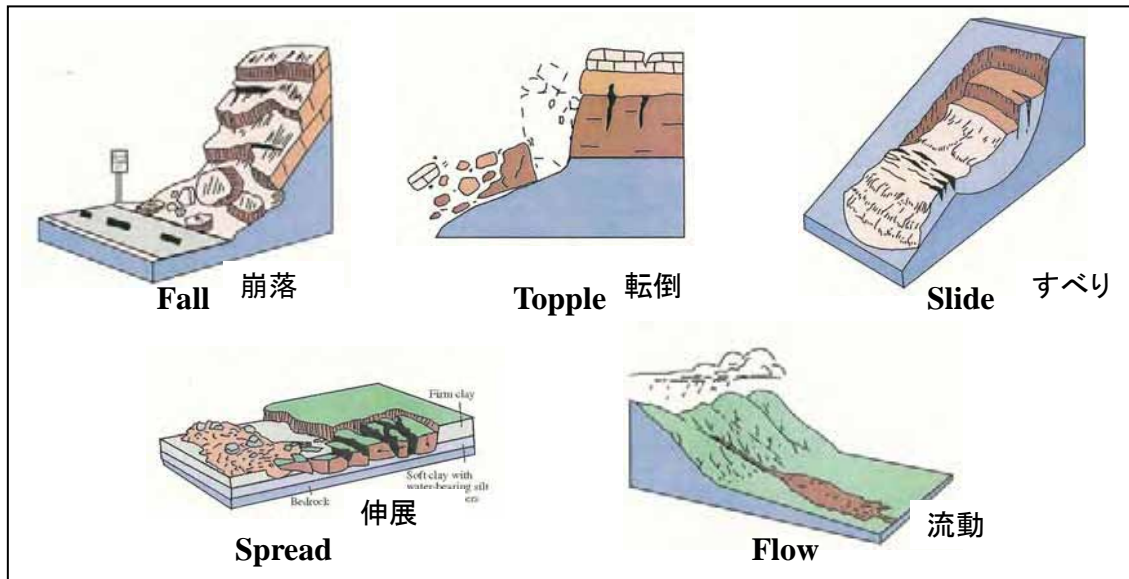


図 3.1.14 一般的な斜面災害のタイプ別イラスト

崩落: 崩落は岩盤斜面ないし土砂斜面から岩塊が落下する現象をさす。崩落の際には、落下、転動、飛跳などの運動が起こる。変動速度は極めて速い。

転倒: 重力の影響により岩盤斜面ないし土砂斜面から岩塊が転倒することをさす。発生原因は重力によるものであるが、水や凍結融解が影響することもある。変動速度は極めて速く、場合によっては加速的である。

すべり: 表層の比較的浅い部分において、土塊もしくは岩塊がすべり落ちる現象をさす。活動は再現性があり、最終的には表層部分の破壊にいたる。変動速度は比較的緩慢であるが、移動量が大きくなることがある。

伸展: 比較的粘着性のある地盤の、沈降を伴った延伸をさし、一般的には軟堆積物などが相当する。表層部分に顕著なせん断破壊は認められない。伸展は軟堆積物の液状化や流動の結果、生じることがある。

流動: 流動は表層のせん断を伴う連続的な移動をさし、短期間に限られた範囲で発生する。変位速度は液体のそれと類似する。

(2) 本調査における定義

本調査では、道路災害に対する適切な対策工を検討するために、バーズズ分類を基にした独自の分類を利用する。この分類は特に 2003 年災害時に実際に現地で発生した斜面災害形態に基づいて作成した。本分類の特徴を表 3.1.2 にまとめるとともに、以下に詳細は記載する。またそれぞれの模式的なスケッチを図 3.1.15 に示す。

(a) 落石

落石は、比較的高速で岩盤斜面ないし土砂斜面から岩塊や石が落下するもので、発生斜面の傾斜は 50 度以上を呈する。また発生要因としては、斜面上のクラックや基盤の破砕が影響する。一般にその体積は、数十 m^3 以下であり、土砂の崩壊を伴う場合があ

る。運動形式は落下、転動、飛跳からなる。

(b) 岩盤崩壊

岩盤崩壊は、急崖岩盤斜面から高速に岩体が分離するもので、クラックや基盤の破砕の影響が強い。岩盤崩壊はその規模で落石と区別され、一般には 100m^3 を超えるものを岩盤崩壊と呼ぶことが多い。また一旦発生するとその被害は甚大である。

(c) 斜面崩壊（表層崩壊）

斜面崩壊は、傾斜 50 度程度以上の斜面もしくはのり面において表層の土砂が高速に移動するもので、発生原因の多くは降雨が影響する。斜面崩壊は、浅層崩壊と深層崩壊に分類される。浅層崩壊は表層部分の風化部や過去の崩壊の落ち残りが滑落する場合が多く、その規模は数百 m^3 程度のもので一般的である。深層崩壊は大規模地すべりと類似しており、比較的規模は大きくなる。2003 年災害時には多くの斜面崩壊が発生した。

(d) 地すべり

地すべりは、斜面中の土塊や岩塊ブロックが緩慢に移動する現象で、本地域では道路の山側斜面だけでなく川側斜面でも認められる。地すべりの影響により、道路には隆起や沈降が発生する場合がある。また地すべりは主に次の 3 つの形態に分類される。

1) 地すべり地形が顕著な緩斜面での地すべり、2) 地すべり地形が顕著でない緩斜面での地すべり、3) 深層崩壊と類似の深層地すべり。グループ 2) が、2003 年災害時に本調査地域で顕著に発生した。本地域では、動きは極めて緩慢で、上部斜面のカビラシ村付近も含めた大規模な地すべりが認められる可能性がある。

(e) 路肩崩壊

路肩崩壊は、道路路肩ないし川側斜面において崩壊、地すべり、浸食、沈降などが発生する現象のことであり、表層水や河川水の影響を受けて発生することが多い。また地震や人工的な建設によって発生する場合もある。変動速度は極めて高速で、規模は比較的小さい。盛土や自然土砂斜面、風化斜面で発生しやすい。2003 年災害時にも多数の路肩崩壊が発生した。

(f) 土石流

土石流は、岩塊、砂、シルト、木片などが多量の水と交わりあって、極めて高速で溪流を下り落ちる現象をいう。発生源は溪床勾配 20 度以上の箇所、その勾配が 10 度以下になった場合に堆積を始める。その規模は一般的に大きい。また、土石流の発生源としては次の 3 つが挙げられる。1) 溪岸崩壊、2) 溪床堆積物の再移動、3) 天然ダムの崩壊で、いずれも豪雨がきっかけとなって発生することが多い。2003 年災害時に、本地域では主にグループ 1) が卓越的であった。

表 3.1.2 斜面災害の特徴と定義

斜面タイプ	斜面ハザードタイプ	主地盤タイプ	運動速度	一般的な規模	主誘引
山側斜面	(a) ROCK FALL 落石	bed rock (fresh) 岩盤	急速	小	降雨、地震
	(b) ROCK MASS FALL 岩盤崩壊	bed rock (fresh) 岩盤	急速	中 - 大	降雨、地震、人工地形改変
	(c) SLOPE FAILURE 斜面崩壊	weathered rock, residual soil, debris 風化岩、残積土、岩屑	速 - 急速	小 - 中 - 大	降雨、地震、人口土地改変、河岸侵食
	(d) SLIDE すべり	bed rock, weathered rock, soil (produced by repeat of sliding), debris 岩盤、風化岩、崩積土	遅 - 緩慢 時々急速	中 - 大	降雨、地震、人口土地改変
道路と川側斜面	(e) ROAD FOUNDATION FAILURE 道路崩壊	embankment material 盛土材料	速 - 急速	小 - 中	降雨、地震、人口土地改変、河岸侵食
横断溪流	(f) DEBRIS FLOW 土石流	weathered rock, debris, residual soil 風化岩、岩屑、残積土	急速	中 - 大	降雨



図 3.1.15 各斜面災害タイプの模式図

3.2 地すべりサイトの安定度調査

3.2.1 選定したサイト

調査団は道路に対して危険と思われる地すべり地点を 4 つ選定し、2007 年 8 月 2 日、3 日に調査団と DWIDP が現地視察を実施して最終的にこれらを地すべりサイト（以下、SL）として特定した。サイト選定後、現地調査業務は現地再委託によって実施された（VOLUME III DATA AND DRAWING 参照）。現地再委託業務はその他の危険サイトの地形測量も含んでいる。

図 3.2.1. に調査対象斜面の位置を示す。

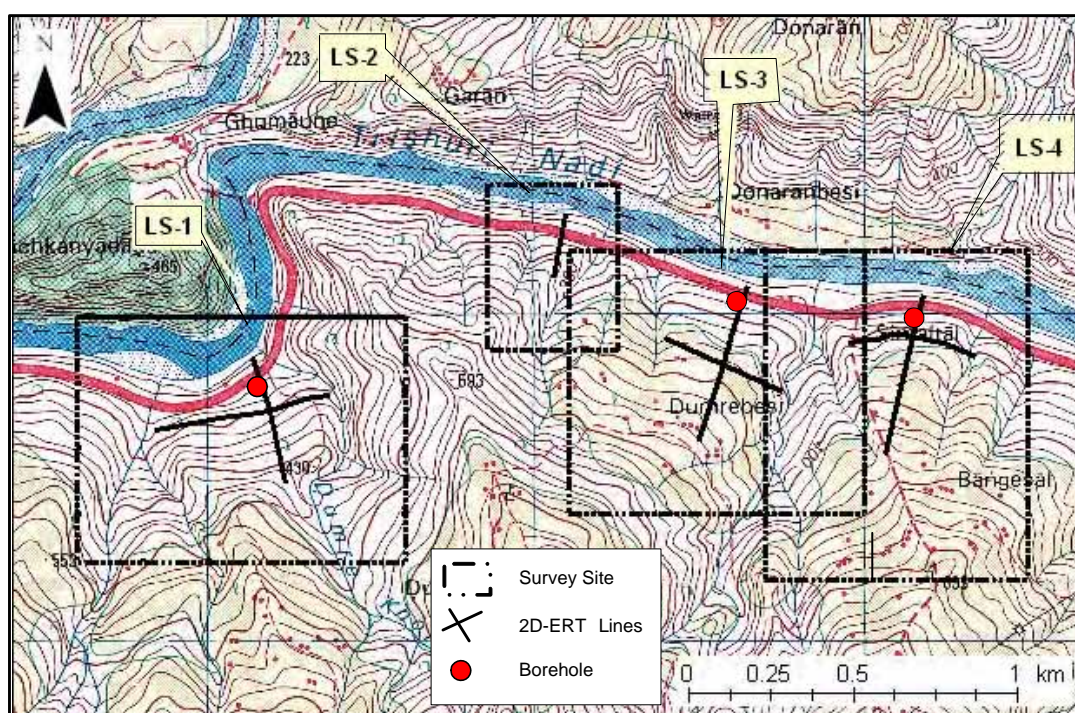


図 3.2.1 調査対象斜面（サイト）の位置図

3.2.2 サイトの状況

選定した 4 サイトは北向きの流れ盤斜面である。サイトの基盤岩はノーブル層の変成堆積岩類よりなる。

表 3.2.1 に 4 つの選定サイトの現在の状況について要約する。

表 3.2.1 選定したサイトの状況

SL-1	SL-1は北向きの流れ盤斜面である。地すべりに関連する変形が多数認められる。例えば、擁壁の開口亀裂、湧水、蛇かごの転倒、落石などである。このサイトは典型的な地すべり地形を示している。基盤岩はノーブル層の変成堆積岩類であり、これらは塩基性岩に貫入されている。塩基性岩は標高 380m 付近の急崖を形成している。
SL-2	SL-2は北向きの流れ盤斜面で、CH 23+600 m 付近に位置する。現在、不安定岩塊が道路に向かって滑動している。 この不安定岩塊下にある石積道路擁壁は岩塊すべりによって変形を受けていた。石積擁壁上に発生した開口亀裂は徐々に拡大をみせ、最終的に 2007 年 9 月 17 日に、大雨に伴って崩壊した。 斜面の基盤岩はノーブル層の岩石である。 不安定岩塊を周辺の斜面も同様なすべりの可能性がある。 上述の不安定岩塊はまだ、道路の上方斜面に残っている。
SL-3	SL-3は北向きの流れ盤斜面であり、CH 24 付近に位置する。道路の川側にはアンカー・コンクリート壁が地すべり対策として施工済みである。また、河川浸食防護のためのコンクリートブロックが河床部に設置されている。 SL-2と同様、この斜面にも道路に向かって滑動する不安定岩塊が存在する。道路脇の石積擁壁には変状があり、亀裂が発生していた。2007 年 9 月 3 日の大雨の翌日、9 月 4 日に擁壁の変状部分が崩壊した。 不安定岩塊はまだ、道路の上方斜面に残っている。 この不安定岩塊を含む一連の斜面には地すべりを示唆する多数の変形がある（例えば、開口亀裂、末端斜面崩壊の滑落崖、基盤岩の亀裂からの湧水、キンクバンド、層理面・片理面の微褶曲）。 標高 350m の等高線は凸型をなすが、これは地すべりの滑落崖を示すものと考えられる。
SL-4	SL-4は北向きの流れ盤斜面で、CH 24+500 付近に位置する。 活動的な地すべりを示唆する積極的な要素はない。しかし、衛星写真あるいは地形図上で斜面は地すべりを示唆する典型的な地形的特徴を示す。 図的にはこの斜面はトリスリ川へ向かって突出しており、これが地すべりの動きによって形作られたものと考えられた。 SL-4の基盤岩はノーブル層の砂岩を伴う千枚岩で、しばしば珪岩層を挟む。 川側斜面に沿ってはコンクリート擁壁が建設されており、河川浸食防護のために、河床部には SL-3と同様、コンクリートブロックが定置されている。

表 3.2.1 に示すように、選定された 4 つのサイトの基盤岩は一般にノーブル層の千枚岩・砂岩の互層より構成される。地質調査の結果を以下に要約する。

3.2.3 調査結果

(1) SL-1

地形

図 3.2.2 に SL-1 の平面図と断面図を示す。図 3.2.2 に示すように、標高 230m から 250m 付近にかけて連続的な滑落崖が存在する。この滑落崖は道路に面した斜面崩壊の頭部に相当する。滑落外上部では地すべりを示唆する地形的な特徴が判読できる。とくに最も明瞭な地すべりブロックは図 3.2.2 中にブロック 1A として示される。

地質状況

地すべりブロック 1A は崖錐堆積物および緩んだ千枚岩より構成され、流れ盤構造を有している。これらの未固結堆積物や緩んだ基盤岩は地すべりとなる可能性がある物質であ

る。新鮮で硬質な岩盤は約 10m より深いところに分布する。

地下水・湧水

BH-1 孔内の平均的な地下水位は GL-3m である。この水位はサイト東側の溪流の水位に一致する。2007 年の雨季には多くの湧水箇所が観察されている。

孔内ひずみ

BH-1 孔に設置したパイプひずみ計の計測結果から、GL-7m 付近に雨季にかけて軽微な動きが認められたが、著しい歪みの進行は認められない（図 3.2.3 参照）。

想定されるハザード

地すべりブロック 1A は流れ盤構造と関係している。下方斜面の緩んだ物質は上方斜面の物質によって道路に向かって押されている。

SL-1 の地すべりはもともとトリスリ川の浸食によって始まったものと考えられる。その後、地すべりおよび関連する斜面崩壊はブロック 1A 区間の道路建設時の切土によって活性化したと考えられる。ブロック 1A が道路に向かって滑動した場合、ブロック 1B が滑動を開始する可能性がある。

ハザード防止の対策工として、地下水を適切に排除する安定化工法が必要と思われる。

選定した 4 つの地すべり可能性斜面のうち、この SL-1 斜面が最もハザードの可能性が高く、典型的な地すべりサイトである。

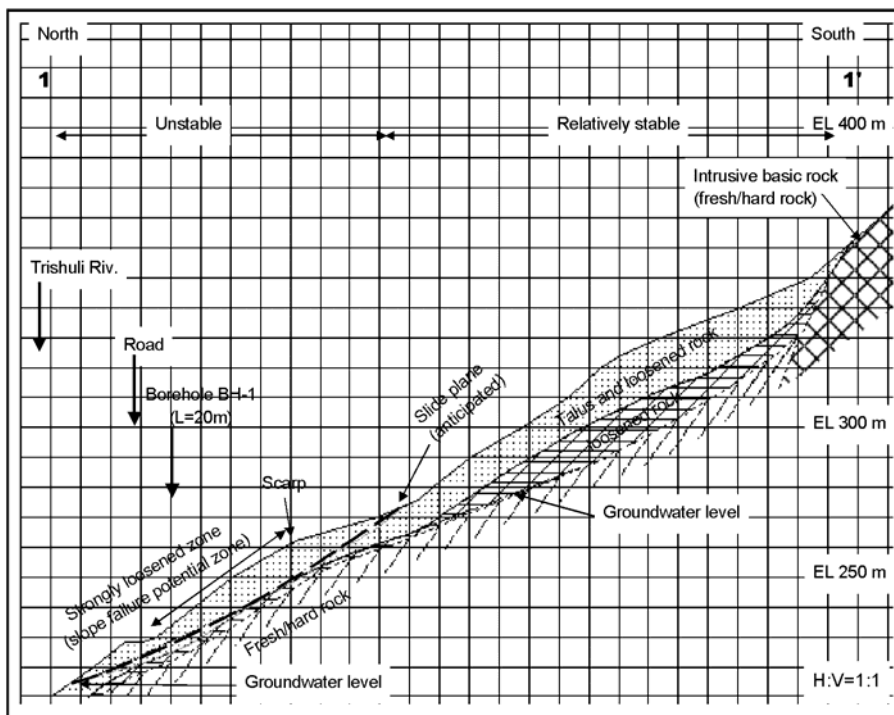
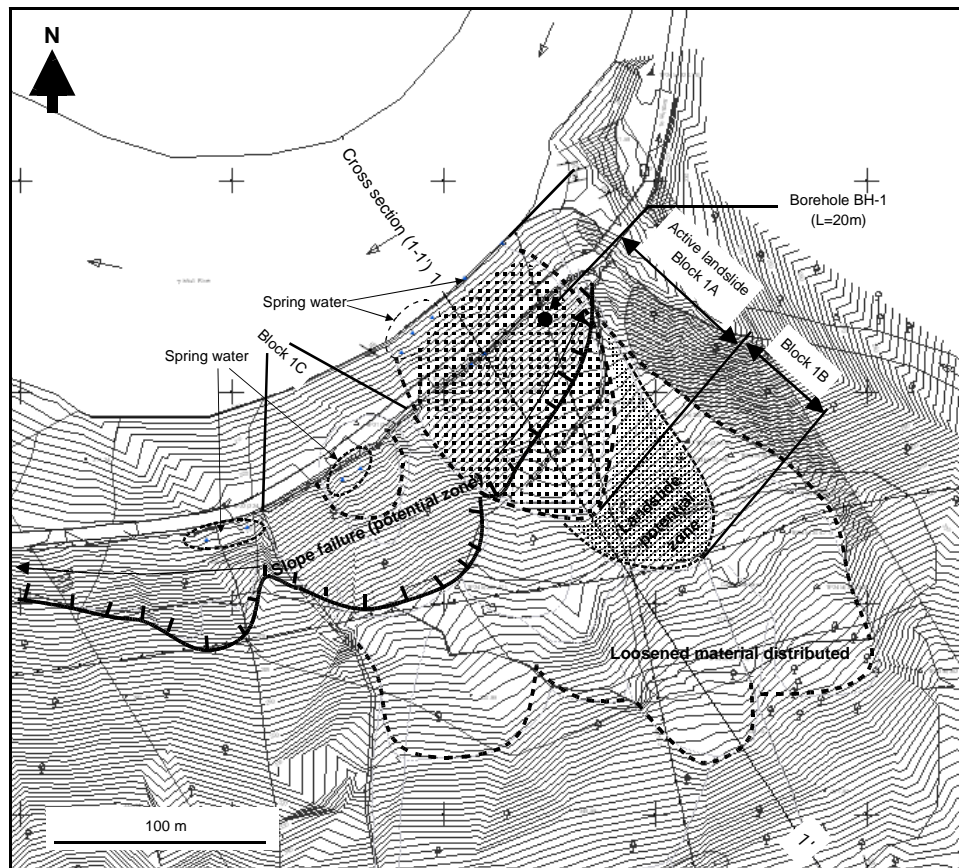


図 3.2.2 SL-1 の平面図と断面図

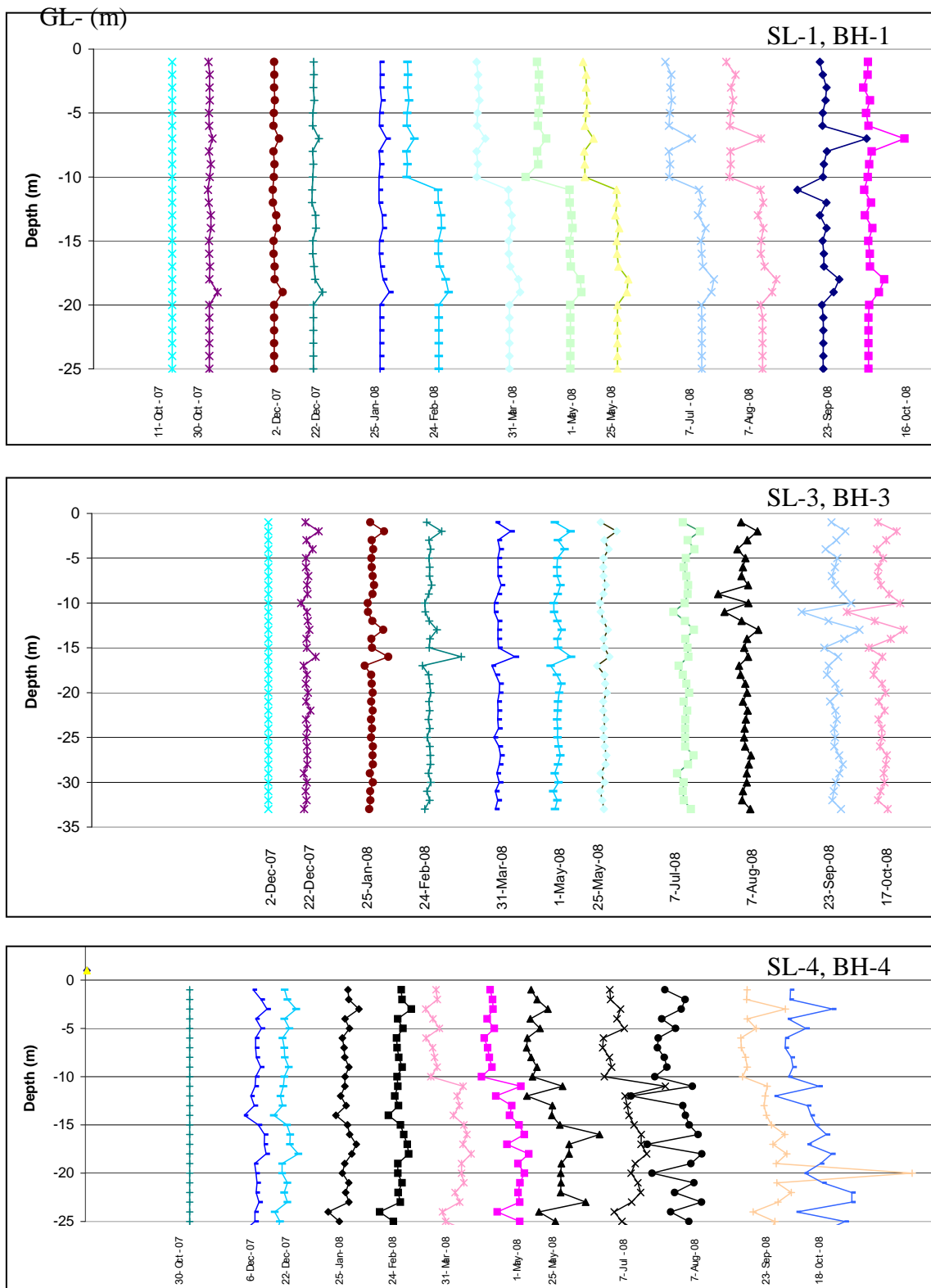


図 3.2.3 パイプひずみ計変動図 (BH-1 孔、BH-3 孔、BH-4 孔)

(2) SL-2

地形

図 3.2.4 に SL-2 斜面の平面図と断面図を示す。表 3.2.1 に述べるように、道路側に向かって不安定岩塊が存在する (Block 2A、図 3.2.4 参照)。ブロック 2B はブロック 2A の背後に位置している (図 3.2.4 参照)。

しかし、SL-2 自体、それは典型的な地すべり地形を示しているわけではない。等高線はむしろ基盤岩の構造をよくあらわしている。

地質状況

斜面は薄い崖錐堆積物によって被覆され、基盤岩は斜面にしばしば露出している。

ブロック 2A とブロック 2B を含む斜面は流れ盤斜面である。道路の川側斜面は比較的厚い崖錐堆積物によって覆われ、基盤岩は露出していない。

地下水・湧水

現地調査において地下水は確認されていない。湧水は 2007 年の雨季に時折観察された程度である。

孔内ひずみ

本サイトでは孔内ひずみ測定は行っていない。しかし、山側斜面の石積擁壁の変状・崩壊はブロック 2A の道路側へのある程度の滑動を示唆するものである (図 3.2.3 参照)。

想定されるハザード

斜面の表面の岩石はもともと緩んでおり、ブロック 2A の動きは道路建設時の切土によって始まったものと考えられる。

不安定岩塊の動きは地質構造すなわち、流れ盤と関係している。想定されるすべり面は基盤岩、おそらくは砂岩の層理面を使っていると考えられる。ブロック 2A が崩壊した場合、ブロック 2B が道路へ向かって滑動を開始すると思われる。

しかし、ブロック 2A の想定最大範囲は約 600 m²で、それは地すべりとしては小規模と考えられる。また、当該道路区間中の地すべりとしては、比較的小さい。そのため、崩壊した場合も著しく深刻な規模にはならないと考えられる。

山側の斜面については、地表付近の緩んだ岩盤 (図 3.2.4 参照) に対する対策工を検討する必要がある。いっぽう、川側の斜面は現在比較的安定していると思われる。図 3.2.4 に道路斜面の対策工対象範囲を示す。

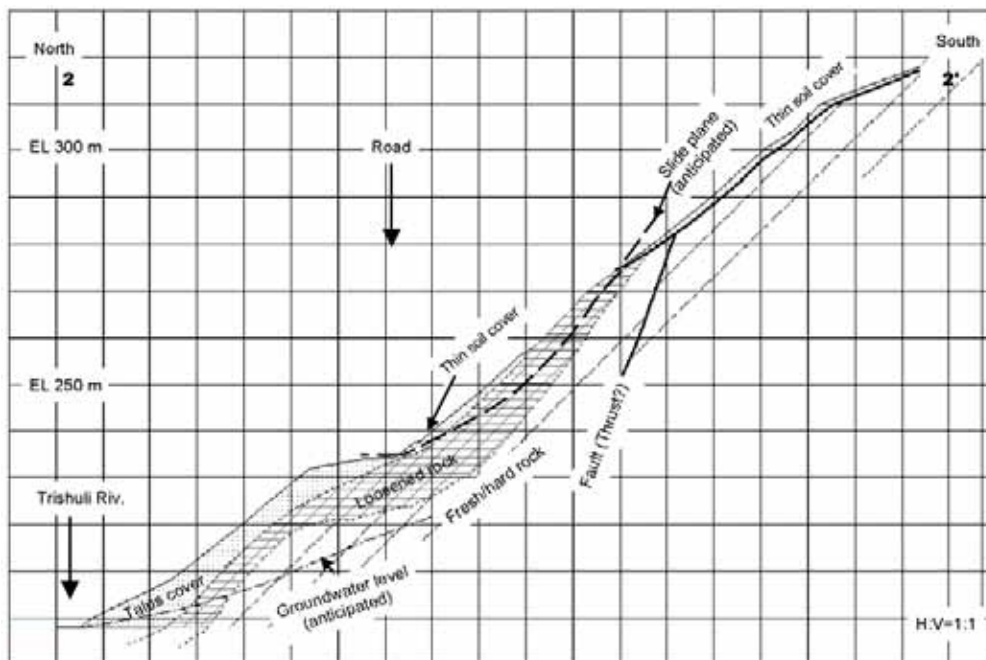
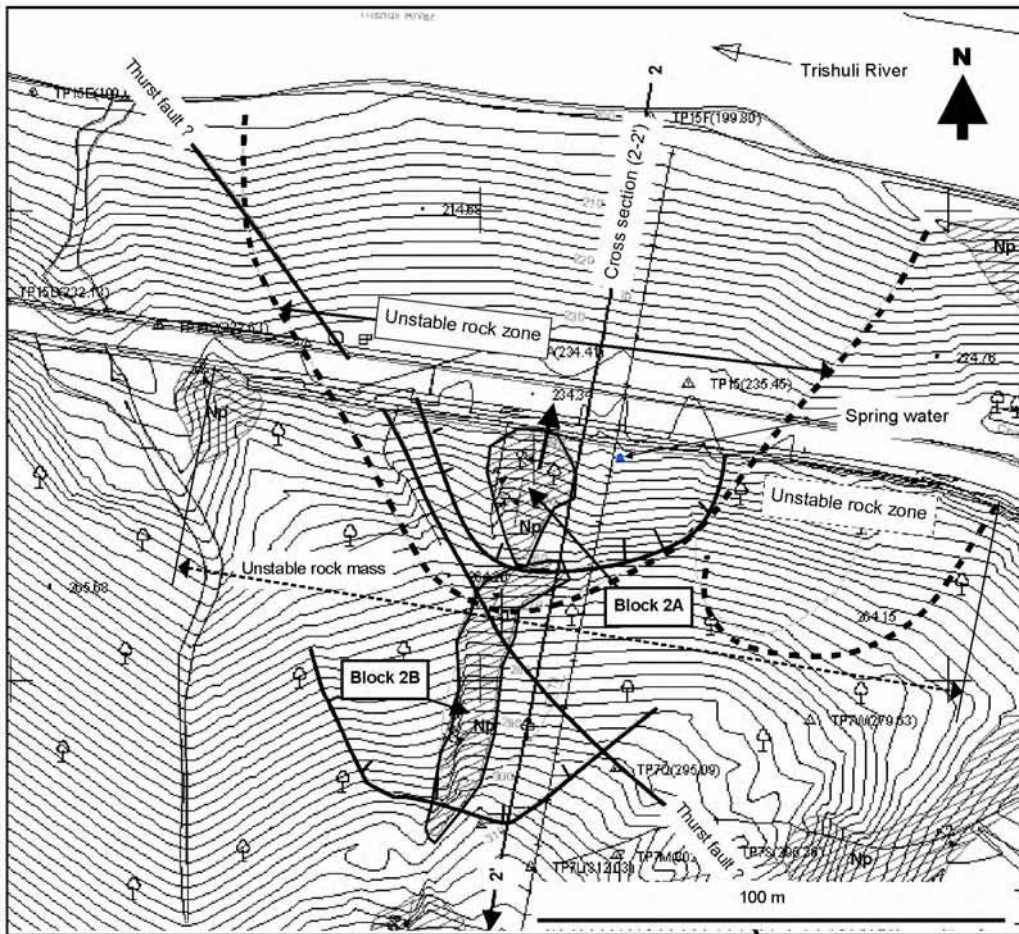


図 3.2.4 SL-2 の平面図と断面図

(3) SL-3

地形

図 3.2.5 に SL-3 斜面の平面図と断面図を示す。地すべりを示唆する典型的な地形的特徴は、平面図に示した断面線 3-3' に沿って標高 200m から 320m 付近に認められる (図 3.2.5 の上参照)。標高 260m の等高線沿いには斜面崩壊による滑落崖が存在する。

地質状況

図 3.2.6 に示すように、斜面は北向きの流れ盤斜面である。ボーリング孔 BH-3 では、緩んだ物質 (崖錐堆積物、風化・緩んだ基盤岩) が深さ 13m 程度まで確認された。SL-3 斜面を構成する千枚岩は特徴的に緑色あるいは緑灰色を呈する。道路の山側斜面では、これらの岩石は多くの開口亀裂や節理を有する。2007 年の雨季には、多くの地点で亀裂や節理からの湧水が確認された。

地下水・湧水

BH-3 孔内の平均的な地下水位は GL-25m である。この水位はサイト下のトリスリ川より 5m ほど高い。2007 年の雨季には多くの湧水箇所が観察されている。

孔内ひずみ

BH-3 孔に設置したパイプひずみ計の計測結果は、累積的な動きを示していない (図 3.2.3 参照)。しかし、不安定岩塊 (ブロック 3B) が 2007 年に崩壊した石積擁壁を未だ圧迫している。

想定されるハザード

現在のところブロック 3A とブロック 3A1 は滑動していないようである。しかし、大雨の場合にはそれらが滑動する可能性がある。

地すべり (ブロック 3A とブロック 3A1) はトリスリ川の浸食によって開始したと考えられる。その後、道路建設に伴う切土により地すべりの滑動は加速されたと考えられる。一方、ブロック 3A の地すべりよりもむしろ、浅い深度 (深さ 5m 程度まで) の層理面すべりや斜面崩壊の方が活発である。そういった現在の斜面の挙動は地すべりに関連する動きである可能性がある。なお、現在標高 260m より下の切土斜面の崩壊は、ブロック 3A1 の両側に拡大していくと考えられる。

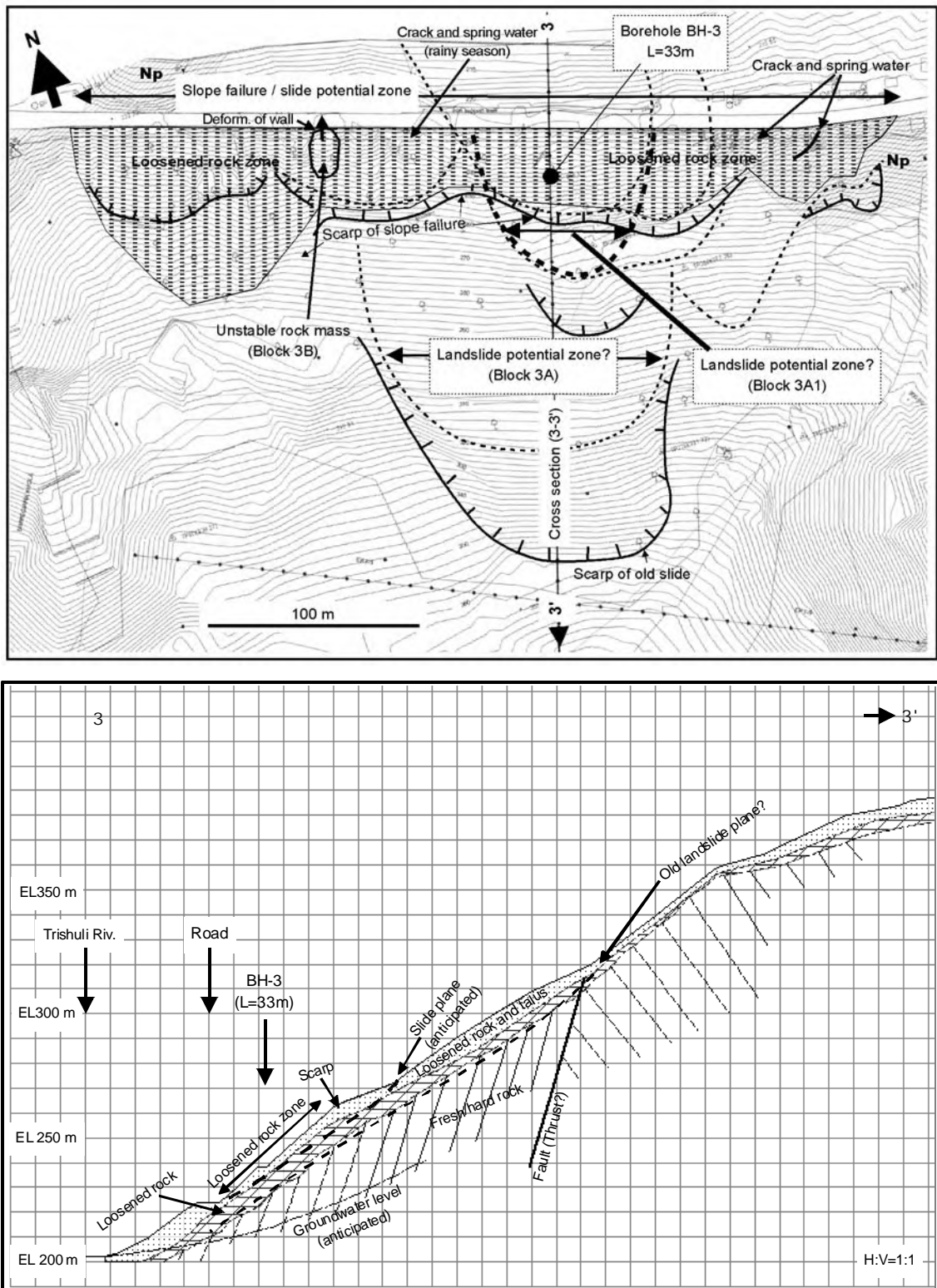


図 3.2.5 SL-3 の平面図と断面図

(4) SL-4

地形

図 3.2.6 に SL-4 斜面の平面図と断面図を示す。当初、この斜面は、等高線が典型的な地すべり地形（斜面の等高線がトリスリ川へ向かって凸に突き出す形）を示していることから大規模な地すべりである可能性が考えられた。しかし、等高線の形状は単に崖錐堆積物分布域を示すものであることが明らかになった。

一方、標高 300m の等高線に沿って、斜面崩壊の滑落崖が存在する。

地質状況

斜面は北向きの流れ盤構造を有している（図 3.2.6 下）。ボーリング孔 BH-4 では、基盤岩は深部まで緩んでおり、ボーリングの掘進中に深度 24m 以深で孔壁崩壊が頻発した。しかし、地表踏査では、この斜面が地すべりであることを証明する現象は認められなかった。

道路の山側斜面の擁壁上には緩んだ岩盤、不安定な岩塊、千枚岩の転石がたびたび認められる。この状態は、斜面崩壊によるものと考えられる。これらは標高 230m から標高 300m の間で観察される。

地下水・湧水

BH-4 孔で測定された平均的な地下水位は深度 28m 付近である。この水位はサイト下方を流下するトリスリ川の水位に近いといえる。基盤岩からの湧水は、雨季に限ってブロック 4A で観察された。

孔内ひずみ

BH-4 孔に設置したパイプひずみ計の計測結果は、累積的な拡大傾向を示していない（図 3.2.3 参照）。

想定されるハザード

道路へ向かう大きな地すべりが存在する可能性はきわめて低い。考えられうるハザードはブロック 4A とその隣接斜面での斜面崩壊と落石である。このような斜面崩壊は主に道路建設時の切土に誘発され発生したのと考えられる。

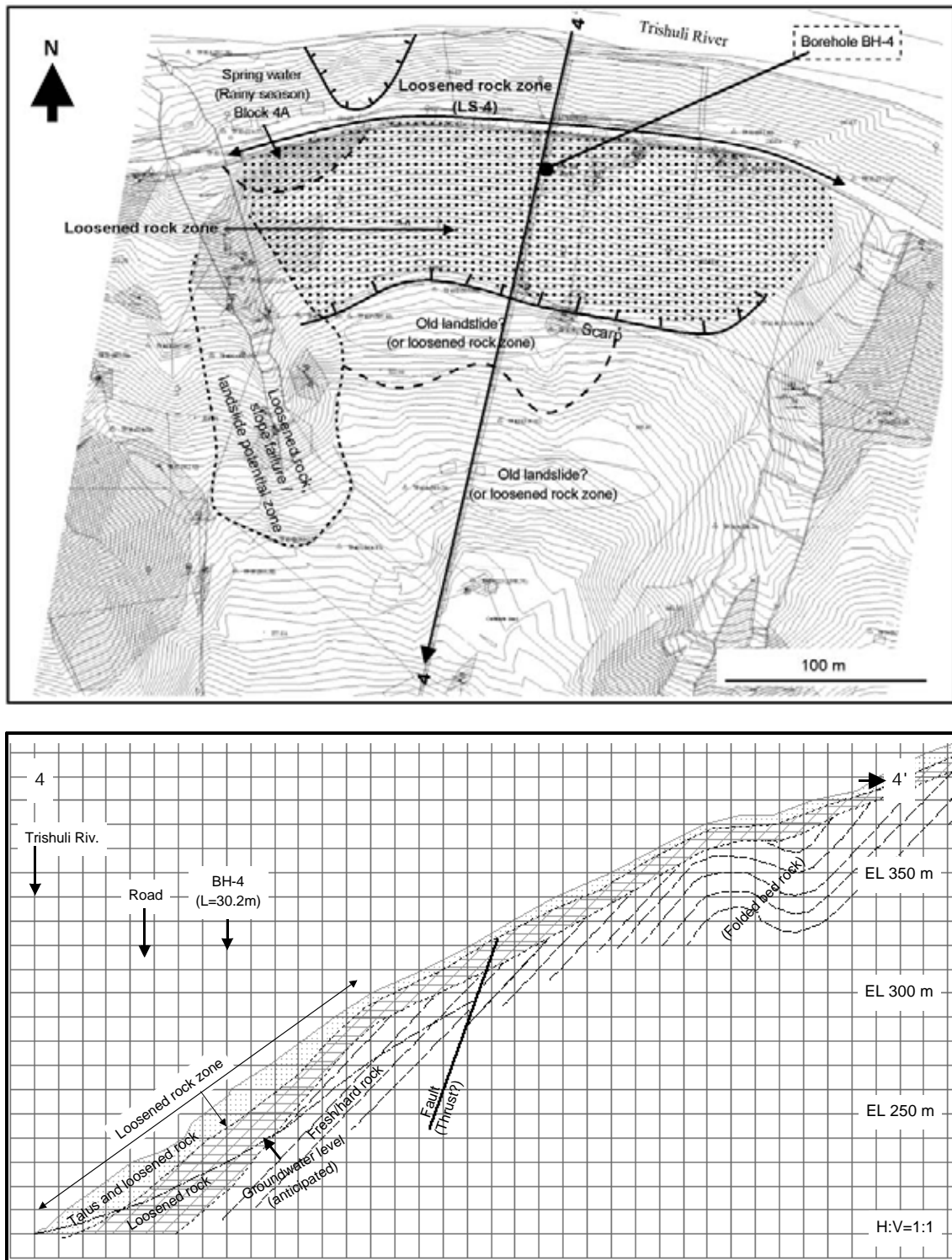


図 3.2.6 SL-4 の平面図と断面図

3.2.4 道路沿いの大規模地すべりの可能性

地すべり可能性があると考えられた SL-1、SL-2、SL-3、SL-4 の評価結果を表 3.2.2 に示す。

結果として、SL-1 斜面は地形的に典型的な地すべりの特徴を示し、斜面や道路関連構造物に多くの変状があり、地下水位も高く、湧水も多いことから、地すべりの可能性が高い。SL-3 斜面は古い地すべりと考えられる潜在的なブロックを有する。SL-1 と SL-3 において、多くの地すべり関連の斜面の崩壊が発生している。しかし、現段階での孔内歪み観測結果に基づくと、地すべり本体の活動は、両サイトとも認められない (図 3.2.3)。

SL-2 斜面は不安定な層状岩盤ブロック (400 m²) をもち、これは道路に向かって徐々に滑動している。しかし、道路本体に被害を与えるような地すべりである可能性は低い。

本調査を通じて、ハザードマップに示すような大規模地すべり可能性ゾーンは、必ずしも活発な活動をしている地すべりでないことが判明した。地形図、あるいは衛星・航空画像上で地すべりの可能性のある斜面は、地すべりかそれ以外の、単に基盤岩の構造をトレースしただけの自然斜面 (地すべりではない斜面) であった。特に、北向き斜面の地すべり可能性ゾーンは流れ盤斜面で層状岩塊からなるものであった。

道路斜面よりもむしろ、溪流斜面で大規模な地すべりや斜面崩壊が発生しており、溪流内に崩壊した堆積物は土石流の供給源となっている。実際のところ、N-M 道路にとって最も深刻な斜面ハザードは土石流である。山側からの土石流ならびに斜面崩壊は道路運輸に対して地すべりよりも有害な斜面ハザードある。

表 3.2.2 地すべりハザードの評価 (SL-1、SL-2、SL-3、SL-4)

地 点	SL-1	SL-2	SL-3	SL-4	
ト ー キ ン の り り の 地	地形	明瞭	明瞭	明瞭	不明瞭
	本体	認識される	認識される	認識される	認められない
	規模	Block 1A : 100 m (幅) x 120 m (長さ) Block 1C: 100 m (幅) x 75 m (長さ)	Block 2A : 20 m (幅) x 30 m (長さ)	Block 3A: 150 m (幅) x 150 m (長さ) Block 3A1 : 75 m (幅) x 70 m (長さ)	-
	深さ(厚さ)	10 - 15 m	3 - 5 m	10 m	-
	地質学的 機構	緩んだ基盤岩 と崖錐堆積物 の層理面すべり (流れ盤構造)	薄い基盤岩の層 理面すべり (流れ盤構造)	緩んだ基盤岩と 崖錐堆積物の層 理面すべり (流れ盤構造)	-
	地下水位	GL -3 m	GL-20 m (or below)	GL -25 m	GL-30m(or below)
	湧水	雨季に多量	ほとんどない	雨季に多量	雨季に部分的 に存在
	変形・変状	多数確認でき る	不安定岩塊があ る	多数確認できる	一部、確認でき る
	考えられる誘 因	大雨、地震	大雨、地震	大雨、地震	-
	孔内歪計	2007年12月深 度7mに軽微 な歪みの進行 が認められた がその後安定	-	変化は極微小	(2008年1月25 日時点)
関連するハザード	切土斜面の崩 壊 (頻発)	落石 (時々)	切土斜面の崩壊 (時々)	切土斜面の崩 壊 Block 4A (稀、ないし 時々)	
評価 (道路への影響)	高い* *最も危険な地 すべり	低い* *小規模	中程度* *末端斜面崩壊 が側方へ拡大中	低い* *安定にみえる	

Block: 対策工の対象ブロック。この評価は2008年2月18日時点のものである。