

島根半島（地合地区地すべり）における動態観測と滑動形態

The movement observation and Type of Landslides in Shimane peninsula(The Chigou Landslide)

浜崎 晃¹（日本海技術コンサルタンツ） 飯庭弘美（島根県 出雲農林振興センター）

Akira HAMASAKI (NIHONKAI TECHNICAL CONSULTANTS CO.,LTD.), Hiroyoshi IIBA (SHIMANE PREF.)

キーワード：島根半島、すべり面、pH、動態観測、GPS

KEYWORDS：Shimane peninsula, Slip surface, pH, Movement observation, GPS

1. はじめに

島根県の地合地区地すべり（以下、調査地と言う）は島根半島の中でも地すべり防止区域の集中する宍道湖北側にある。

調査地は日本海に面した住宅戸数約 30 戸程度の小さな地区であり、昭和 36 年に構造改善局管轄地すべり防止区域として指定された。

昭和 39 年頃の豪雨時には海岸沿いの斜面で地すべりが多発し、漁港が埋まってしまうなどの被害が発生していた。

これら被害に対し、第一期工事として昭和 36 年～昭和 41 年の間に水路工 L=2,041m、排水トンネル 4 箇所、集水井工 1 箇所等の地表水、地下水排除工が行われた。

しかし、近年になって海岸沿いでの崩壊等が発生し、平成 6 年に第二期地区として調査、対策事業が再開された。

被害現象、空中写真判読等から当初考えられていた地すべりよりも更に大きな地すべりが存在するのではないかという考えの基に平成 9 年 2 月に地すべり検討委員会を設置し、調査および対策工の検討を行った。

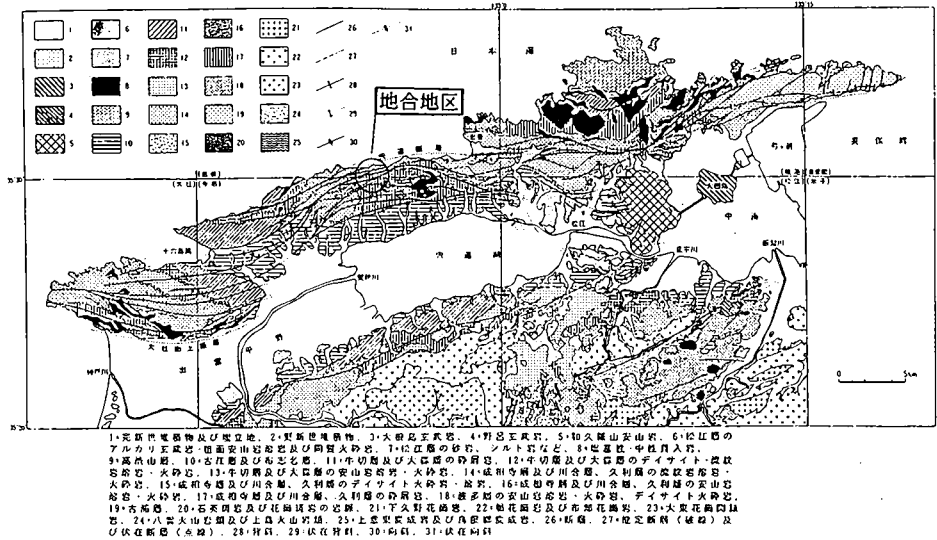


図-1 島根半島部地質図

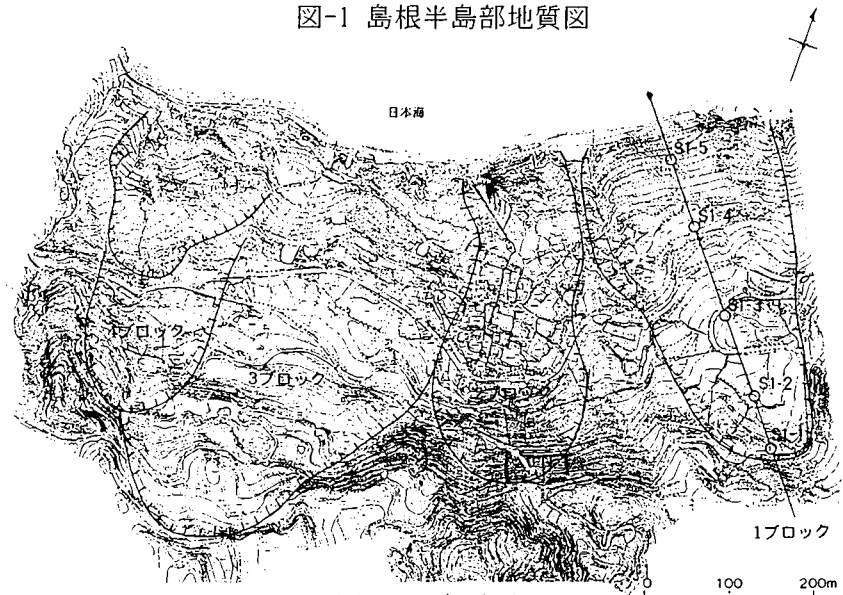


図-2 調査平面図

その結果、地区を大きく4ブロックに分ける地すべりが存在すると考えられた。

今回、その中でも比較的滑動の顕著な1ブロックについてその調査結果等を紹介する。

2.地質状況

調査地がある島根半島にはいわゆるグリーンタフ層と総称される新第三系中新統が分布している。

島根半島には図-1 島根半島部地質図に示すように宍道断層を代表とする断層が半島を縦断するように（東西方向）多く見られる。

これらの断層に沿うように背斜、向斜構造が発達し、非常に複雑な地質となっている。

調査地も地表踏査、調査ボーリング等の結果から判断すると造構運動の影響を受け複雑な地質分布となっている。

調査地の地すべりは図-2 調査平面図に示すように大きく分けて4ブロック存在しており、各ブロックにおいて調査ボーリングを行った。

それらの結果から東西方向の模式断面図を作成すると図-3 のようになる。

今回紹介する1ブロックは図-4 1ブロック地質断面図に示すように安山岩質火砕岩及び砂岩頁岩互層を基盤とし、移動層は主に砂岩頁岩互層起源の岩塊を多量に含む崩積土となっている。

3. 調査・計測

当地すべりは前項でも述べたように移動層も多量の砂岩等の岩塊を含んでおり、ボーリングコアではそのほとんどが棒状に採取され、一見安定な岩盤と判定できそうであった。

そこで各調査孔にすべり面判定及び動態観測を目的としたパイプ歪計と孔内傾斜計を設置観測した。（S1-3 のみ孔内傾斜計でその他孔はパイプ歪計）

その結果、平成9年7月7日～12日の豪雨時に急激な変動を観測した。その後、平成10年度観測業務においてS1-3, S1-4を平成11年3月まで継続観測した。

各孔の観測結果について最終観測時の変位状況を図-5 観測結果断面図に示す。

変位位置を見ると全孔、崩積土と考えていたところと基岩との境界であった。

また、調査ボーリング終了時にはすべり面がはっきりしなかったことからボーリングコアのpH測定も行った。ここでpH測定は岩石の風化作用に着目したものですべり面を境界として風

化度合いが変化することからすべり面判定の補助手段として用いる。

その結果を図-6 pH測定結果断面図に示す。

断面図に示すように崩積土と考えていた部分では概ね $pH < 9$ であるのに対し、すべり面以深の基岩では $pH > 9$ となっている。更にその境界では急激なpHの変化が見られた。

これらの調査結果から1ブロックの地すべり規模は以下のように確定できた。

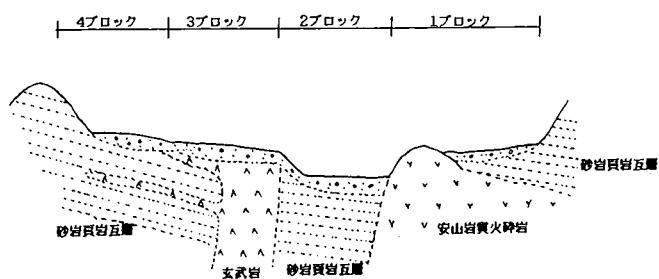


図-3 模式断面図

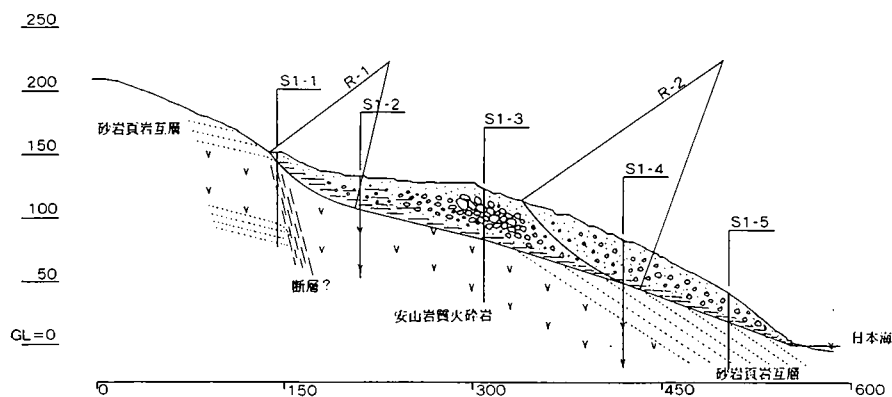


図-4 1ブロック地質断面図

- ・地すべり長さ L=450m
- ・地すべり幅 B=200m
- ・地すべり層厚 最大約 40m

今回、地すべりの動態観測としてGPSによる基準点測量を平成9年8月～平成10年10月ま

で行った。その観測結果を図-7 GPS 観測結果図及び図-5 観測結果断面図に示す。

観測結果図に示す矢印は最終観測時点での移動位置である。このように不動点での観測誤差が10mm程度あるものの大きい所で50mm程度の水平変位を確認した。(1ブロックでは35mm)

全体的に大きな変位を示す位置は海岸に面する急崖の頭部であり、1ブロックで言えばR-2で示すすべりの頭部である。

(G-4)

これと同じようにR-1で示すすべりの頭部もその変位量は大きくなっている。(G-1)

これら頭部での変位は図-5に示すようにその他個所の変位に比較して沈下傾向が大きくなっている。

S1-3に設置した孔内傾斜計の変動量、変位方向とその周辺のGPS観測結果を比較すると図-7に示すようにすべり面付近での変動方向は若干の違いが見られ、孔内傾斜計による変動方向は地すべり解析測線とほぼ等しくなっている。

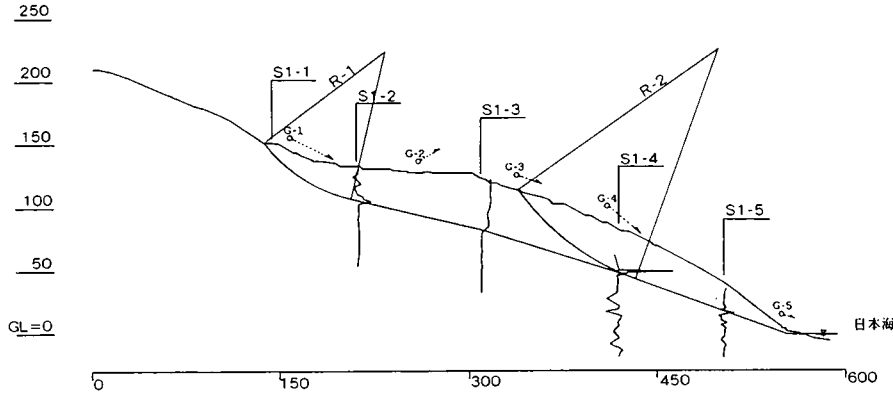


図-5 観測結果断面図

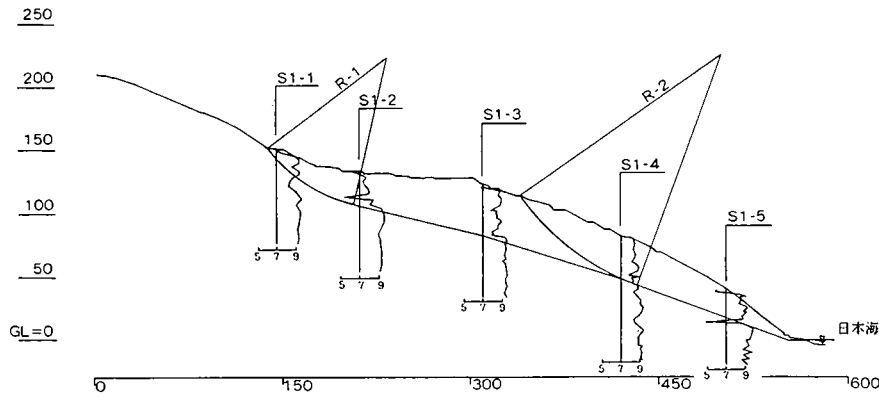


図-6 pH 測定結果断面図

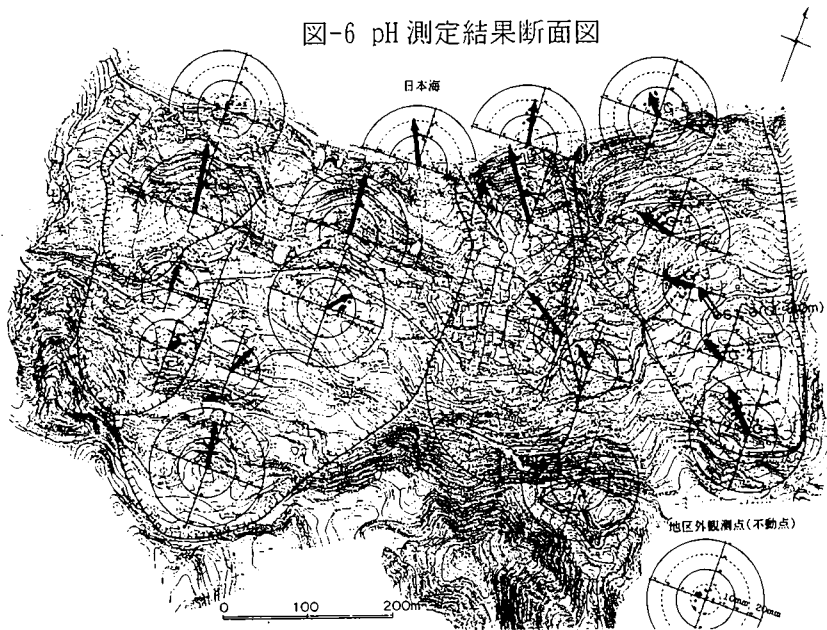


図-7 GPS 観測結果図

これに対し、地表部の変位は斜面の傾斜方向に等しくなっている。

しかし、地すべり頭部 G-1、地すべり末端部 G-5 についてはその変位方向は解析測線方向と一致している。

4. 考察

調査及び観測結果から判ったことをまとめる。

地合地区の1ブロックは基岩の安山岩質火砕岩、砂岩頁岩互層と砂岩頁岩起源の巨大な岩塊を多く含む崩積土との境界をすべり面とし、最大すべり層厚約40mで島根県下でも最大クラスの地すべりである。

地すべり滑動は断続的であるが地すべり頭部(S1-1、S1-4)では変位が累積傾向にあり、この傾向はGPS観測結果(G-1、G-4の変位が大きい)ことと一致している。

これに対し、斜面中腹部では豪雨時には頭部同様大きな変位を示すが、その後は変位が非常に小さいあるいは停止状態にある。

この状況は滑動によって地すべり末端部～中腹部は圧縮状態であり、地すべりが停止すると変位が無くなるのに対し、地すべり頭部は引っ張りによって移動層内の空隙が大きくなり、地すべりが停止してもその空隙を充填しようと土塊の移動があるため、変位が継続すると考えられる。

更に今回、GPS観測と孔内傾斜計観測をしたことによって地すべり滑動はある程度の深さを持った地すべりではすべり面付近と地表部ではその滑動方向が違う場合があることがわかった。

この現象は斜面上方から見て左サイドを規制する安山岩の存在とすべり面の横断方向での傾斜が影響していると考えられる。

すべり面は図-8 模式横断面図に示すように若干左に傾斜していると考えられ、地すべりは左に寄り添いながら滑動すると考えられる。

地下深部では安山岩が近く、滑動方向は一定となるが地表部では安山岩までの距離が遠いことから左側に寄って移動するため、地表での変位は左に傾くと考えられる。

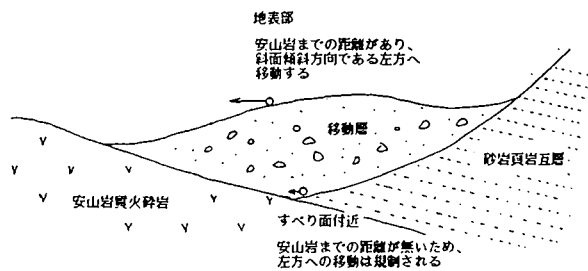


図-8 模式横断面図

したがって、GPS観測を行う場合は孔内傾斜計等ですべり面付近での滑動方向も合わせて観測することと、短期間ではなく長期的に行う必要がある。

調査地では今後、地すべり末端部の波浪侵食防止と地下水排除を主体とした対策工を行う計画であるが今後も観測を継続し、対策工の効果判定を行いたい。

以上

西ネパール，シワリク丘陵の斜面崩壊

Slope Failures in Siwalik Hills, Western Nepal

大坂 理*・秋国哲也・曳野貴志 (株)日本海技術コンサルタンツ)

Osamu OSAKA, Tetsuya AKIKUNI and Takashi HIKINO (Nihonkai Technical Consultants Co. Ltd.)

横田修一郎 (島根大学・総合理工)

Shuichiro YOKOTA (Department of Geoscience, Shimane University)

Naresh Kazi TAMRAKAR (Department of Geology, Tribhuvan Univ.)

キーワード：ネパール，シワリク層群，トッピング，斜面崩壊

Keywords：Nepal, Siwalik Group, Toppling, Slope Failure

1. はじめに

岩盤斜面における移動形態の1つであるトッピング崩壊を西ネパールのシワリク丘陵で見いだした。ここではトッピングしたブロックの一部が新たに地すべりを起こしている。これらの発生にはこの地域の著しい構造運動と浸食・堆積過程が大きく関与している。

現地での地形測量を含めてこれを詳しく現地調査し，斜面形成過程における斜面安定度の評価を安定計算により試みたのでここに報告する。

2. 調査地域周辺の地質と斜面崩壊

シワリク丘陵はパキスタン東部から西ネパールの南部にかけてインドとの国境近くに東西に延びる丘陵である(図-1)。

これを構成するシワリク層群は最大層厚 5km に達する湖成～河川成の地層群であり，砂岩・泥岩を主体とし，一部礫岩を含む。個々の砂岩層は厚さ 0.5～5.0m 前後と概して厚い。

これらの地層群は分布域の南または北を東西に延びる2つの顕著な断層によって限られている(図-1)。いずれもヒマラヤ山脈の階段状隆起に関係した断層で，南は Main Frontal Thrust (MFT)，北は Main Boundary Thrust (MBT) とよばれる北傾斜のスラストである。両者に挟まれた地層群は断層運動によって 50-70° で北側に急傾斜している。

今回調査した Surai Khola 地域は標高

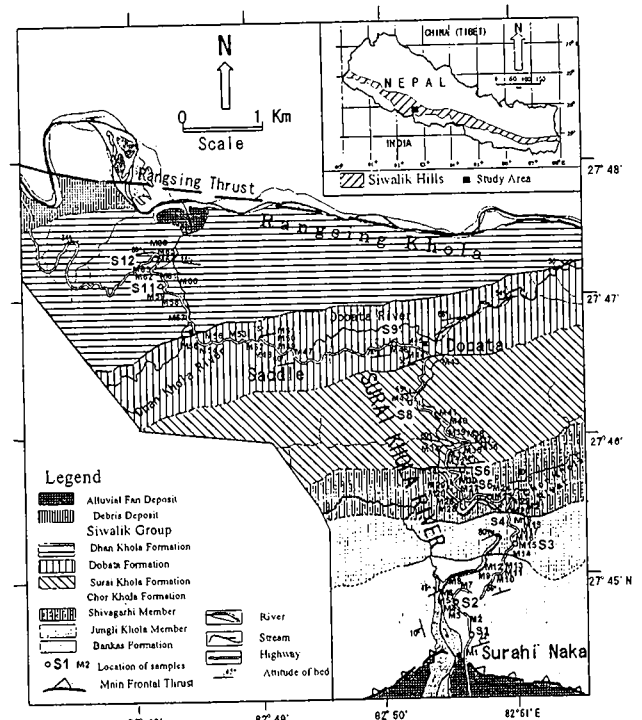


図-1 調査対象地域の位置図

200-300m の丘陵斜面で，Surai Khola 川が丘陵を縫って北から南に流下しており，隆起地域のなかで先行谷といえる。河谷に沿って比高 10-30m に河岸段丘面がわずかに認められ，これを利用して East West ハイウェイがつけられている。比高 50-60m の山腹にもわずかに緩斜面が存在し，一部には段丘堆積物が確認できた。斜面で発生する斜面崩壊は崩積土や土石流となって頻繁に道路を覆っている。

崩壊の形態や規模は地形や岩相，地質構造，風化状況に応じて様々である。風化部分での円弧状すべりの他，砂岩中の節理を利用したクサ

ピ状崩壊，また急傾斜した軟質の泥岩部分がガリー浸食を受けた結果，両側の急傾斜砂岩層が不安定化して崩落するといったものがある。

3. Chor Khola地区のトッピング岩体の形状と斜面崩壊

Surai Khola 地域のうち，Surai Khola 川とその支流 Chor Khola 川との合流点近く（Chor Khola 地区）ではシワリク層群の傾斜は一部逆転している。調査の結果，低標高部は北傾斜，高標高部は南傾斜となっており，山腹斜面を構成していた岩体の一部がトッピングによって北側に転倒・移動したものと推定された。

本岩体の内部構造や斜面崩壊機構を推定するために，今回筆者らは地形測量によって 1/500 の地形図を作成した（図-2）。

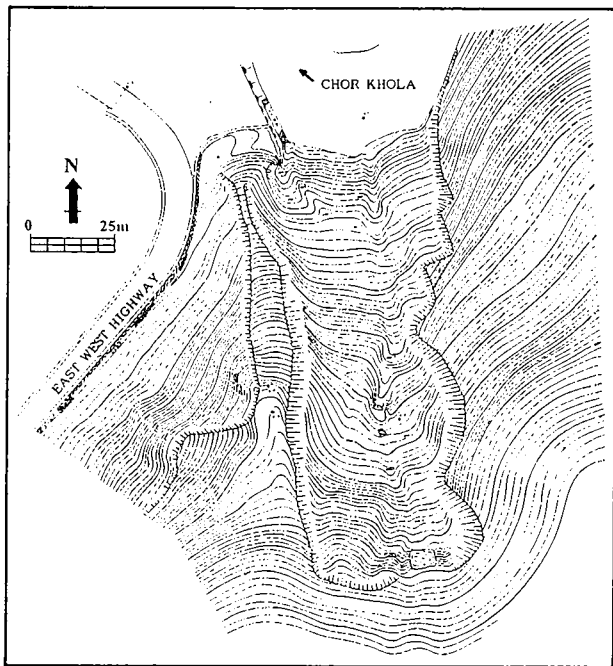


図-2 現地実測により作成した平面図
※現地作業 2 日間でこの他 2 本の横断測量を行った

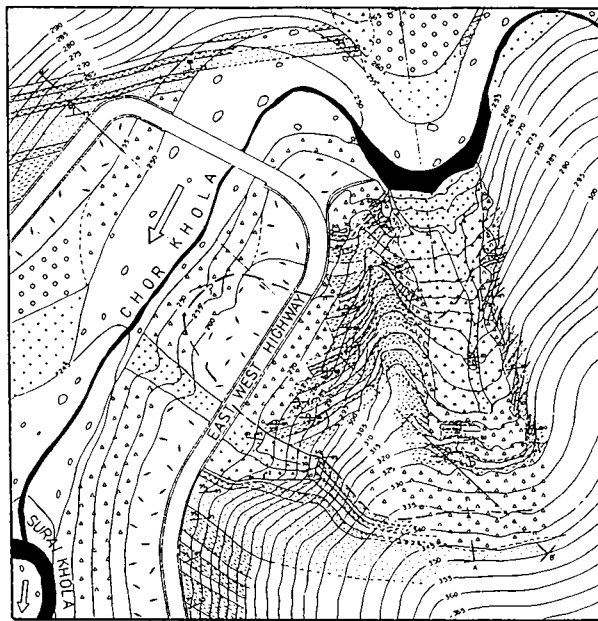


図-3 Chor Khola のトッピング-すべり岩体付近の地質図

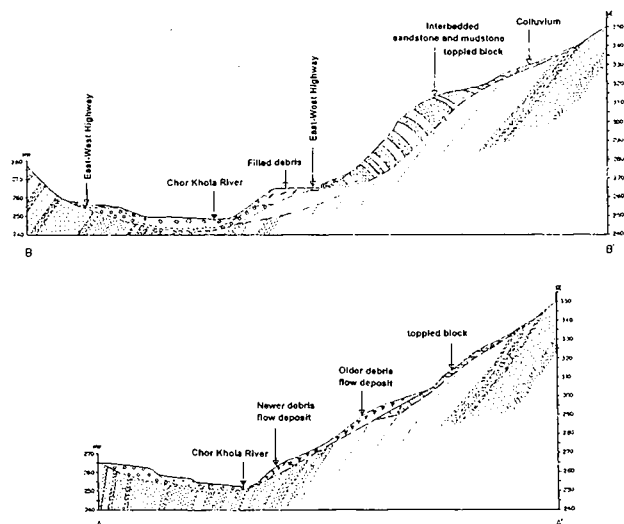


図-4 同地質断面図

本流に面した西側斜面と支流に面した北側斜面は凹状地形を呈し，そこでは地層の走向・傾斜が確認できる。図-3，4 は現地調査をもとに作成した地質平面図と地質断面図である。これらによると，トッピングの回転軸は $N78^{\circ}E$ でほぼ水平である。また回転角は $74 - 118^{\circ}$ である。

層理面の北傾斜と南傾斜の部分の境界は1つの曲面として追跡することができた。図-5 はそのようにして描いた境界面の等高線図であ

り、トッピング岩体の底面といえる。等高線は図のように中央部でやや高くなっており。北側と西側に向かって低くなっている。これはトッピング岩体の形成以降に地すべりにより多少移動・変形した可能性を示している。

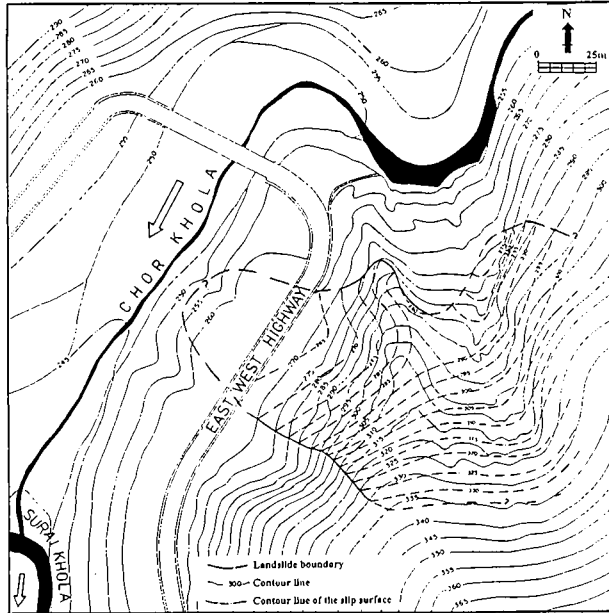


図-5 トッピング岩体の底面等高線図

現在、少なくとも西側のブロックは西方に地すべりを起こしつつあると推定され、実際に斜面上部に移動に伴うであろういくつかの滑落崖が認められた。

トッピング岩体を含む斜面には標高 330m 前後に緩斜面があり、地形面としては他と連続しているように見える。これは広域的には山腹斜面に点在して分布している相対的に高位の段丘面と同様の浸食基準面として形成されたものと考えられることから、トッピングの発生は少なくともこの段丘面形成以前と推定される。断層運動に伴う地層の傾斜がかなり急になっていなければならないという条件も考慮すると、トッピングの発生はおそらく後期更新世であろう。

トッピングは、比較的軟質の砂岩層が急傾斜になった段階で斜面が Chor Kola 川の浸食によって不安定化して、発生したものと推定される。

4. 斜面形成過程と安定度評価

斜面の一部が不安定化して、トッピングが発生し、さらに岩体が移動・滑動するまでを河谷の浸食と構造運動による急傾斜化と併せて概念的に描けば図-6 のようなものであろう。このように単に急斜面であるというだけでなく、構造運動と浸食・堆積作用といったプロセスがこの地域の斜面変動の原因をつくり出している。

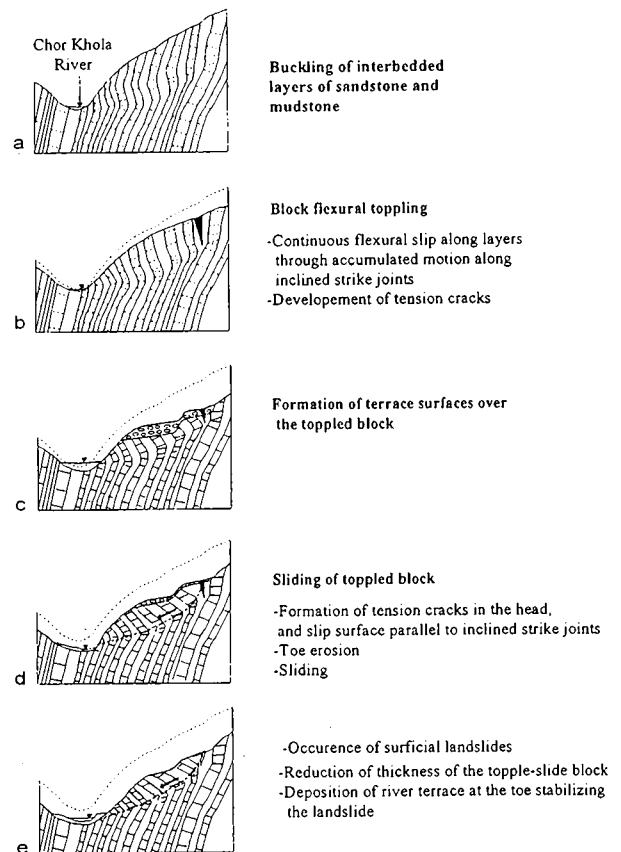


図-6 トッピングの発生から二次的すべりまでの概念図

トッピング・ブロックはその後西側と北側に分離し、それぞれのブロックが多少地すべり移動をしていると推定される。これには河谷の新たな浸食や斜面裾部への河岸段丘の形成が大きく影響していると考えられる。

ここでは、西側ブロックを対象に、斜面形成過程における斜面安定度の変化をみるため、各段階での安定計算を試みた。すべり面などの強度等を推定する直接の資料は得られていないため、安定度の比較は相対的なものである。

安定計算は斜面形成過程を次の2ステージに分けて推定した。

Stage-1：河川浸食作用の活発な段階の地すべり移動直前の斜面形状(推定)

Stage-2：河岸段丘面が形成され地すべり移動が緩慢となっているであろう現時点の斜面形状

Stage-1の斜面形状は実測地形図から凹地形を埋めて推定したものである。また、各断面のすべり面はトッピング・ブロックの底面、すなわち層理面の急変する境界面に円弧を仮定した(図-7)。

安定計算上重要なパラメータとなる地下水位は現地湧水状況から平常時(NWL)と高水位時(HWL)の2ケースを仮定した。また、土質定数はStage-2での斜面安全率を $F_s=1.00$ とし、単位体積重量 $\gamma=1.80(\text{tf}/\text{m}^3)$ 、粘着力 c を地すべり最大層厚(m)の $1/10(\text{tf}/\text{m}^2)$ と仮定し、逆算法により内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$ を求めた。安定計算はFellenius法に基づいた計算結果を表-1に示す。

現況斜面の安全率に対し、浸食作用の活発な時期における安全率は20%低下し、高水位時には30-50%程度の安全率低下が見られた。

このことは、わずかな地形変化や地下水上昇により斜面が不安定化することを示唆している。ネパールの雨期における異常降雨とトッピングした岩体の斜面に対して層理面の受け盤構造は地下水流動の遮壁的存在となり、トッピング岩体中の長期にわたる地下水滞留は斜面の不安定化因子と考えられる。

5. まとめ

急峻な山地の多いネパールでは斜面崩壊や地すべり、土石流が頻繁に発生している。しかしながら、山岳地帯の他に南部丘陵地域でも同様の斜面変動が頻発していることはあまり知られていない。

今回見いだしたシワリク丘陵のトッピング崩壊もその1つと考えられる。地形的に急傾斜というだけでなく斜面形成に関する地質構造運動と浸食・堆積作用といったプロセスが大きく関与している。また、安定計算により地形変化や地下水上昇により容易に斜面安定度が低下することが推定できた。

ネパールにおける今後の重要インフラ整備において、今回見いだした急傾斜した地層中のトッピング崩壊箇所の意義は大きく、特に道路建設に関する重要な地質構造となり崩壊箇所・規模等の斜面危険度の判定との関連付けが今後の課題であろう。以上

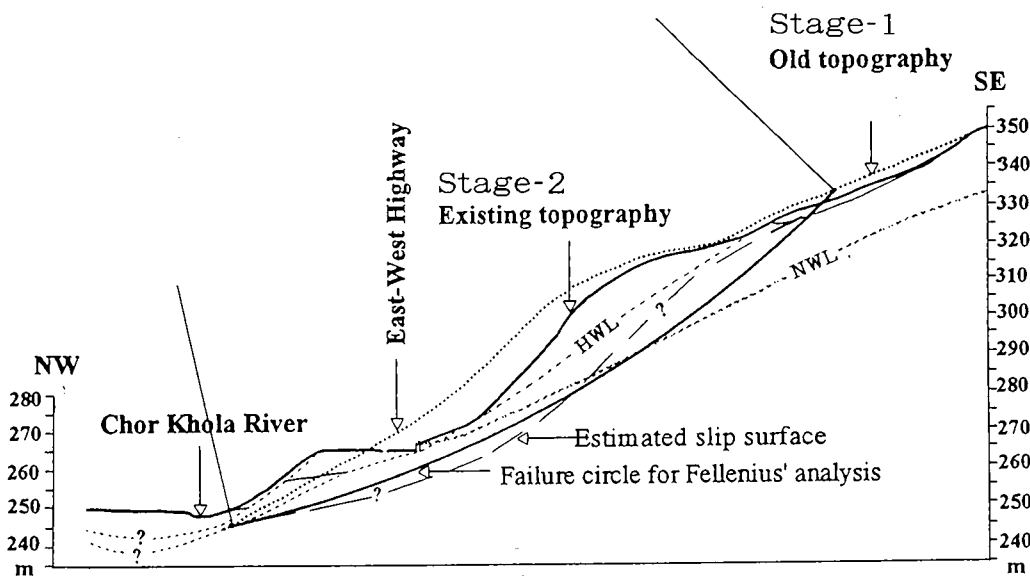


図-7 安定計算断面図

表-1 安定計算結果

斜面形状	地下水位	安全率	土質定数
Stage-1	NWL	0.801	$\gamma=1.80\text{tf}/\text{m}^3$
Stage-2	NWL	1.000	$c=2.50\text{tf}/\text{m}^2$
Stage-1	HWL	0.529	$\phi=24.0^{\circ}$
Stage-2	HWL	0.725	