

テグシガルパ市ソト地すべりの機構と対策

藤田壽雄* 原龍一**

1. ハリケーン・ミッチによる災害

1998年10月下旬にカリブ海で発生したハリケーン・ミッチ(Mitch)は、ホンデュラス(Honduras)北部にかかってから速度を落とし、27日から31日の5日間にかけて多量の降雨をもたらしながら、南西方向にゆっくりとホンデュラスを縦断して太平洋に抜けた。このためホンデュラスの全国にわたって洪水災害、土砂災害が頻発し、多大な被害を蒙るに至っているが、この間の事情については本誌前号(Vol.62.1999.6)で、細川氏(長野県土木部砂防課)によって詳しく報告されているので参照されたい。

ホンデュラス国の首都テグシガルパ(Tegucigalpa)は標高約1000mの高地に立地するためか、6月から11月の雨期における平均的な月間降雨量は100mm内外で、多くても200mm程度にとどまり、年間降雨量も1000mmに満たないので少雨地帯ともいえよう。これと比較するとミッチによる降雨量は遥かに異常な豪雨であったことが知られる。

テグシガルパ气象台によれば、1998年8月から

12月までの降雨量は表-1に示すように、8月下旬に100mmを超えたものの9月には月間76.2mmの雨期としては少雨を記録している。10月に入って、20日までに155.2mmの累積降雨量となったところで、ハリケーン・ミッチがホンデュラス国周辺で停滞し、21日から31日にかけての11日間で343.4mmの降雨をもたらした(図-2)。

特にミッチが通り抜ける10月30日から31日の2日間で240.7mmというテグシガルパ市周辺としては希有な豪雨を記録し、このうち約130mmが30日の18:00から31日06:00にかけての12時間に集中しているため、明け方に洪水が襲ったことになる。

この豪雨による災害の規模は、1999年11月27日付でホンデュラス政府が発表した「復興マスタープランのための緊急必要事項とガイドライン」によれば、11月1日現在で死者5657人、行方不明者8058人、負傷者12272人、被災者総数150万人にのぼっている。なかでも首都テグシガルパにおいては、ソト(Soto)地区で大規模な地すべりが発生して、市内中心部を流下する Choluteca川(Rio Choluteca)を埋塞した。このため河川の堰き止めによる上流水位の上昇は十数メートルに及び、テグシガルパ市の中心部での湛水被害を増大させた。

ホンデュラス国では、このような地すべり災害



図-1 ホンデュラス位置図

表-1 月別降水量(1998年)

	8月	9月	10月	11月	12月
月間降水量(mm)	162.4	76.2	498.6	43.5	1.1
最大日降水量(mm)	46.7	15.6	120.4	11.5	0.4

* (財)砂防・地すべり技術センター前理事

** (株)日本工営防災部

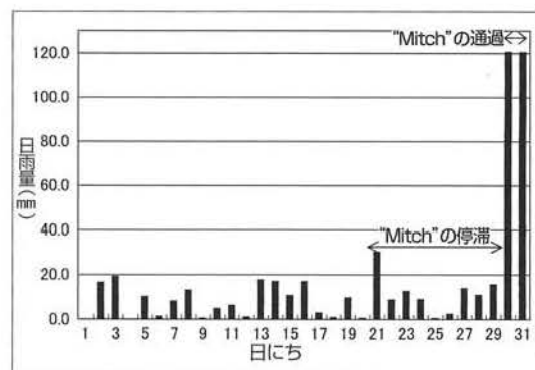


図-2 1998年10月の日雨量

の対応については全く未経験であるため、日本への技術協力が要請され、1999年1月に建設省土木研究所綱木亮介地すべり研究室長が現地を踏査し、当面のところ考えられる応急的な防止対策について概念図をもって示し、必要な調査について指示している。このような背景のもとで、さらに具体的な技術協力を行うために地すべり防止技術専門家の派遣が要請されたもので、1999年4月から7月にかけて筆者らによる技術指導が実施されたところである。本稿では最重要地点であるソト地すべりの概要について報告する。

2. テグシガルバ市周辺の地形・地質

テグシガルバ周辺は、図-3の地形・地質図に示すようにテグシガルバ市街を中心とした盆地状地形を呈しており、東部は盆地内との標高差約700mの高い山となっているが、北、西、南部に関しては標高差約300mの比較的低い山並みに囲まれている地勢となっている。盆地内は主として複数の段丘面から構成され、市街中心部を主要河川である Cholteca川が北流する。また、Cholteca川沿いには比高の小さい沖積段丘面が分布する。洪積段丘面上には、第三紀火山岩類からなる残丘が散在する。これらの残丘は河川の浸食の過程で硬質な第三紀火山岩類がキャップロックとして取り残されて形成されたことが推定される。

盆地内のほぼ Cholteca川以東には、中生代白亜紀の地層が分布し、この層を第三紀堆積岩類、火山岩類が被覆する。周辺山地のうち、盆地内との標高差が大きい個所はおおむね白亜系の層準の高まりを被覆して第三系が残丘状に分布するものであ

り、標高差が小さい個所には白亜系の高まりがなく、第三系が分布している。すなわち、周辺山地の標高はおおむね白亜系の高まりの有無、及び第三系の残丘の有無に左右されているようである。

白亜系の基盤は泥岩、砂岩、礫岩の互層から成り、比較的硬質である。この地層の下位層が市の中心部から南東部に分布し、上位層が市の中心部を含んだ東部に広く分布する。さらにこれらの周辺には第三紀漸新世から中新世の泥岩、砂岩の互層が分布する。また市の北西部の台地は第三紀層の上に載る破砕の著しい火成岩（流紋岩、角礫凝灰岩）である。そして市の中心部の南方にはさらに新しい中新世末期の凝灰岩が、空港周辺を中心に分布し、緩やかな丘陵地を呈している。

3. 地すべりの分布

テグシガルバ市を取り囲む山体の西部、北部は前述の第三紀中新世の泥岩、砂岩層が主に分布しており、その地層のなかには風化によって粘土化しやすい部分も挟んでいると考えられる。また上部の比較的なだらかな火成岩も非常に風化しやす

地質層序

第四紀

Qe 段丘堆積物

Qb 玄武岩溶岩およびスコリア

第三紀中新世

Tep 砂、礫、シルトを混じえる火山砕屑物

Tpm 流紋岩質凝灰岩

第三紀漸新世

Tcg 火砕流堆積物

Tm 玄武岩および安山岩溶岩

白亜紀

Krc 泥岩、砂岩、礫岩

Kvn 礫岩および赤色系の砂岩

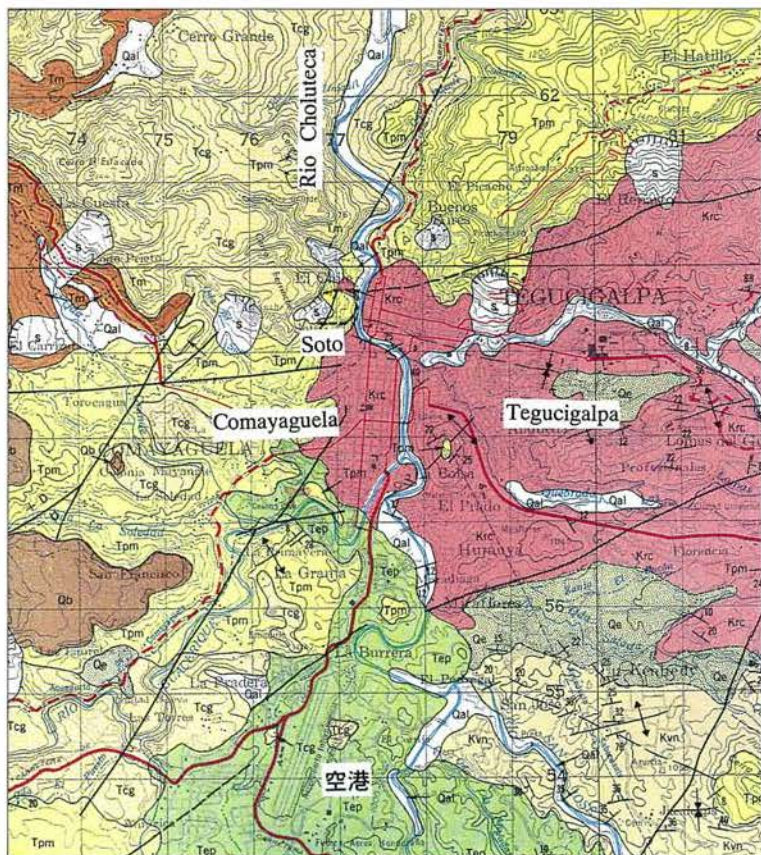


図-3 テグシガルバ市周辺の地形・地質図

い凝灰岩層を挟み、いずれも地すべりが生じるための素因となるすべり面を形成する可能性が高い。

従って図-3の地質図に示されている地すべり分布をみても、第三紀層に起こっているもの、上部火成岩と第三紀層の境界で起こっているもの、第三紀層と白亜紀層の境界で起こっているものに区分でき、いずれも第三紀層が絡んで地すべりが分布していることが明らかである。

この地質図ではテグシガルバ市西、北方を中心に約10箇所の地すべりが記載されている。1万分の1地形図によれば、さらに大規模な地すべり地形を含めて数多くの地すべりが読みとれることから、空中写真判読により詳細な地すべり危険分布図を作成すべく作業しており、地すべり分布と地質分布との関連も明確にできるものと考えている。

4. ソト地すべり

(1) 地すべりの概要

ソト地すべりは市の中央を流れるチョルテカ川左岸の市中心部コマヤグエラ (Comayaguela) 地区の北側に当たる東向き斜面で、長さ約800m、幅約300m、深さ約40~50m (推定) の大規模な

地すべりであり、ほぼ100戸が全壊し7名が行方不明ということである。図-4に示すように、ソト地すべりを挟んで、元々は北部斜面、南部斜面を含む一連のさらに大きな地すべりであり、今回はその中央部分が活動したものである。

災害直前の1998年1月撮影の空中写真によれば、地すべり範囲の頭部から中央部にかけては人家が存在していない。このことは地すべりが以前から活動していたことを物語っており、不法居住者の多いこの地区にあっても家を建てることのできなかったのであろう。ただし移動量などの計測やボーリング調査などが行われた様子はなく、地すべりの機構に関するデータの提供は全くなかった。従って本報告も関連基礎資料と筆者らの踏査結果の考察のみにとどまっていることを付記しておきたい。

ソト地区では、下位より白亜紀の泥岩、砂岩互層からなる堆積岩を主体とする基盤岩が河床付近に露頭するほか、地すべり頭部付近にも露頭する。その上位には地すべり上方の台地に第三紀の火砕流堆積物が分布する。その上に第三紀の安山岩質溶岩類、流紋岩質溶岩類、流紋岩質凝灰岩類を主体とする層が地すべり滑落崖付近に分布する。地すべり末端付近には、河床からの標高差10m程度の段丘礫層が分布する。

(2) 地すべりの機構

地すべり土塊は風化した角礫凝灰岩と、上部台地から供給された流紋岩礫などからなる崩積土層と考えられる。地すべりは人家のなかった頭部から中央部にかけての土塊を主動部分としている。図-4中に矢印で示したが、主動の運動方向はチョルテカ川に対して斜交する北東方向にすべり出し、下部に下るにつれて2方向に分かれる。南側半分の土塊は、下部の人家が多く建っていた台地状のブロックに突き当たって、著しい圧縮現象を生じながら下部ブロックを押し出した。下部ブロックの基礎岩盤の地層傾斜が斜面傾斜とは逆の「受け盤」となっていたため、図-5の縦断面図に示すように障害物を乗

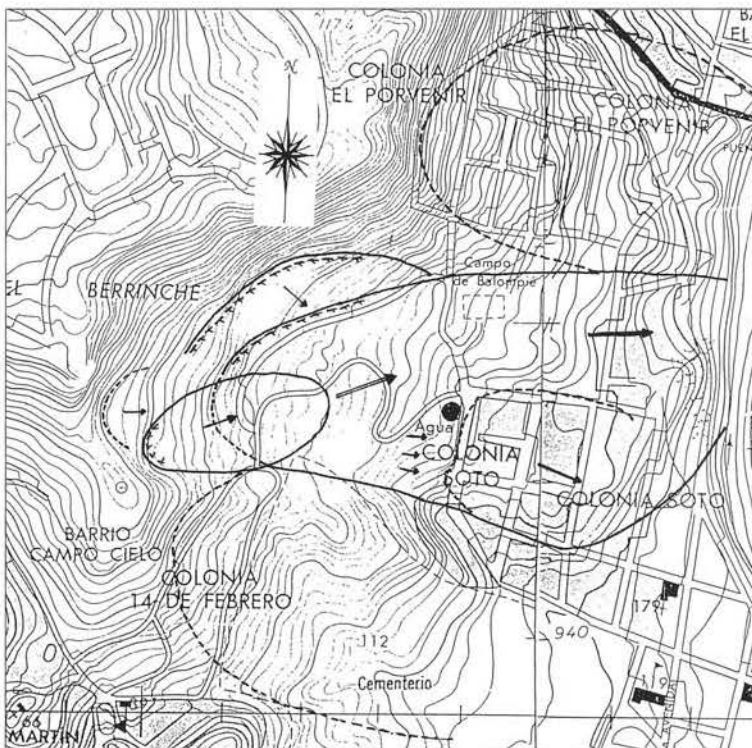


図-4 地すべりブロックの運動方向

り越えるように隆起し、土塊の先端は川に向かって流れ下っている。また土塊の南側縁辺部も押し出し現象で南側境界に堆積している。

一方、北側は凹地形の斜面を地すべり境界線に平行して運動が継続し、すべり面が斜面傾斜と同じような傾斜であったので、地すべり本体そのものが Cholteca 川に押し出している。災害直後の空中写真判読による図-6 からも、滑落崖の連続性は下流側で明瞭であり、断層の存在も推定できる。従って河川を埋塞した土塊の性質は、崩土が斜面を流れてきた上流側（南）と地すべり土塊が上方斜面に直接つながる下流側（北）とは異なり、上流側はすべり面の位置が高いので河川の復旧開削による地すべりへの影響は小さいが、下流側の掘削は再び地すべりの不安定化を招くおそれが十分にある。

地すべり頭部では、主地すべりの運動によって脚部の抑えを失った滑落崖の急傾斜部分で、二次的な小地すべりが発生しており、地すべり本体の運動とは別個に運動を継続する可能性が高い。またさらにこの上部の滑落崖下に残存する小集落の台地も安定度が低いものと考えなければならない。

地すべりの原因は、豪雨による地下水の上昇が直接の誘因となったのは言うまでもない。従前から地すべり頭部には湧水があり、地下水が豊富な斜面であって、地すべり運動も観察されていたのであるから、陥没地形などには異常降雨によって地下水が大量に集中してくる条件は整っていたと言える。

河川による脚部浸食が多少はあったと考えられるものの、Cholteca 川の現況の様子からすると、近年に著しく河岸が浸食したということはなさそ

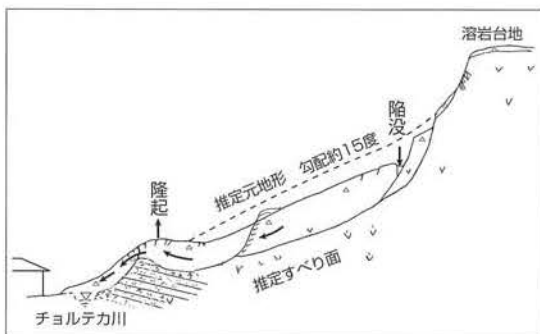


図-5 ソト地すべり北側副測線概略断面図

うなので、原因としてのランクは低い。

地すべりの深さは、地すべりの最大幅が約350mであるので、経験的にその7分の1として40～50mを推定しているが、地すべりブロックを詳細に観察してみると、地すべり本体の活動部分とはかくとして、河川の埋塞高さ、末端での岩盤露頭、地すべり土塊の亀裂分布などを考慮して、下方部分では20m程度の深度とみた方がよい。

北側ブロックは今回の移動範囲には入らなかったが、地質も活動部分と同様な地質構造で、典型的な地すべり地形であり、いつ地すべり運動を起こしてもおかしくない。今回活動しなかったのは、活動部分との境界に地質的な構造線の存在が予測され、横断形状でみれば左右のすべり面が不連続となっており、標高的にも段差があることを原因としていると考えられる。このために活動ブロックの動きと連動することなく、主たる地すべり発生誘因の地下水の流れもこれを境にして遮断されていたと推定される。最近の地すべり履歴もなかったことが人家の稠密度に現れている。

従って、この地区は今のところ安定ではあるが、河岸での崩壊現象が顕著に進行中であるなどマイ



図-6 ソト地区空中写真判読図（災害後）

ナス要因が累積している現状であるから、後背山地からの地下水流入状況の変化などがあれば、容易に地すべり活動が刺激される。

(3) 応急対策工の計画

今回の災害を顧みると、地すべりの発生によって河川が埋塞し市の中核部において洪水被害を増大させたのであるから、地すべりの安定はさておいて河川断面の確保のために開削工事が優先されたことはやむを得ない措置であったと考えられる。しかしながらこの工事の実施に当たっての設計図の所在も明らかではなく、地すべりの安定がどのように変化したのかが不明であった。従って、応急対策としては掘削によって不安定化した地すべりの安全率を最低限戻すことを念頭に置いて応急対策を検討した。

フトン箆を用いた護岸工の背後に抑え盛土を計画し、湧水、地表水の処理を目的としたフトン箆による明暗渠工を地形に合わせて敷設することとした。抑え盛土量は約15000 m^3 が可能であったが、斜面での不安定表層の整形掘削が行われた結果、

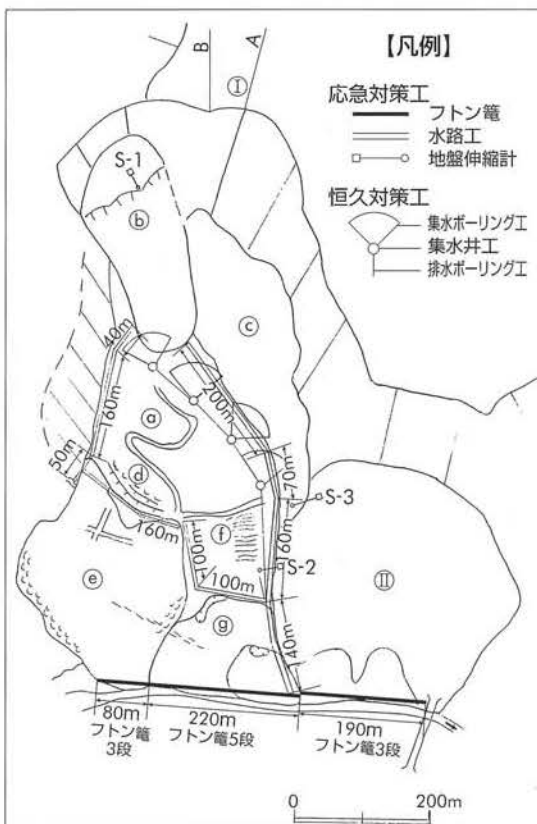


図-7 ソト地区対策工計画平面図

その効果にプラス・マイナスがあり、測線によってはようやく護岸設置前の安定を確保するにとどまった。明暗渠工は1180mを計画し、図-7に恒久対策とともに示した。

(4) 恒久対策工の計画

恒久対策としては、地すべりの誘因と考えられる地下水の処理を目的とした地下水排除工が最も有効である。地下水排除工によっても計画安全率に達しない場合は抑止工を計画することが一般的であるが、ホンデュラス国の財政や地すべり防止技術の現状を考慮すれば、抑止工の実施は難しい。また地すべりそのものの調査がされていないので、抑止工の設計を行うためのデータが不足している。なお、地下水排除工によって集水された地下水は、地元の貴重な生活用水として有効利用できる。

地すべり層厚が40m以上であることが推定されており、集水井の設置が最も適している。集水井による地下水の低下高を5mと見込んだ安定解析結果では、主地すべり（ブロックa→f）及び下部地すべり（e、g）の安全率は1.10となることが期待できる。ただし、上部からの二次地すべり（ブロックb、c）については主地すべりとの高度差が大きいので、この地下水排除工による対策効果が現れない。両地すべりともに独自の運動を起こすことが想定されているので、今後それぞれに対して頭部排土工を含む対策計画をたてる必要がある。

集水井工の配置については、aブロック頭部付近で湧水が多量に認められていたことから、頭部から陥没地形にかけて地下水が豊富であることが推定される。また、地質構造上も上方の溶岩台地からの地下水が多いことも推察されるので、図-7のようにaブロック頭部付近に集水井を集中的に配置し、下方斜面への地下水供給を遮断する計画とする。

地すべりの規模から、集水井は径3.5m、深さ約30mで4基程度を陥没地形に沿う形で連続配置とし、各集水井内から長さ50mの集水ボーリングを2段で約2000mを計画する。

5. 対策工の実現

先述したようにホンデュラスでは地すべり防止

対策の経験がないため、災害直後からどのように対処すべきか手探りの状態であったようである。従って地すべりの挙動がそれ以来どのような状態にあるのか、などの基本的な調査がなされていない。当然ボーリング地質調査はおろか、測線設定測量もないという状況で、我々の技術指導もデータ不足のまま行っているので、集水井の採択はよいとしても配置計画は流動的なものとしている。

しかし、ホンデュラス国の財政事情ではこのような高額な防災工事は望むべくもないので、何らかの形で日本からの援助を必要とする。少なくとも肝心の地すべり機構を把握するための最低限の調査の実施と、集水井施工のためのライナープレート支保工の提供に加えて、施工技術の現地指導が求められる。

写真-1 地すべり地遠望 (ピカッチョ山公園から)
家屋群の途切れる斜面が地すべり。
 Choltecalca川にかかるチレ橋も損壊が著しい。



写真-2 滑落崖上部から下方を望む
川を挟んで左がテグシガルバ地区。右がコマヤグエラ地区。



写真-3 地すべり中部の南側縁から上部二次すべりを見る



写真-4 地すべり中部から下部の状況



写真-5 地すべり下部
避難していた住民が早くも簡易な小屋に住み始めた。



写真-6 地すべり末端、 Cholteca川の開削工事