

(公社) 日本地すべり学会関西支部シンポジウム

「地すべり技術の海外展開」

日 時：平成26年4月18日(金) 10:00~17:00

場 所：大阪建設交流館8階グリーンホール(大阪市西区立売堀2丁目1-2)

TEL: 06-6543-2551

----- プログラム -----

10:00~11:30 特別講演

(1) 日本の地すべり防災技術を海外で展開するために

新潟大学 災害・復興科学研究所 福岡 浩

(2) 地すべり分野における海外協力の歴史的経緯、途上国の現状、今後の展開

一般社団法人国際砂防協会 大井英臣

11:30~12:00 日本地すべり学会関西支部総会

12:00~13:30 昼 食

13:30~15:30 話題提供

(3) インドネシアにおける土石流ソフト対策の技術移転

~東ジャワ州ジュンブル県を例にして~

国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所長 吉田 桂治

(4) エチオピア国・アバイ渓谷における地すべり対策技術移転

国土防災技術株式会社 榎田充哉

(5) ウズベキスタン国およびモーリシャス国における地すべり監視、
対策技術移転

国際航業株式会社 市川建介

(6) マレーシア国の土石流対策及びエルサルバドル国の地すべり対
策に係る業務例

日本工営株式会社 倉岡千郎

15:40~16:45 パネルディスカッション

「日本の技術の国際的なプレゼンスを高めるために」

司 会 福岡 浩(新潟大学 災害・復興科学研究所)

パネラー 話題提供者

主 催 (公益社団法人)日本地すべり学会関西支部

後 援 (公益社団法人)砂 防 学 会

(公益社団法人)地 盤 工 学 会 関 西 支 部

(一般社団法人)建設コンサルタント協会近畿支部

(公社) 日本地すべり学会関西支部長

松浦 純生 (京都大学防災研究所)

シンポジウム実行委員

委員長 福岡 浩 (新潟大学災害・復興科学研究所)

委員 笹原 克夫 (高知大学)

委員 太田 英将 (太田ジオリサーチ)

委員 末峯 章 (京都大学防災研究所)

日本の地すべり防災技術を海外で展開するために

新潟大学 災害復興科学研究所 福岡 浩

高い日本の地すべり技術のレベルと途上国でのニーズ

いうまでもなく、日本全土に活断層などの活構造があり地震多発国であることと毎年襲来する台風や集中豪雨、近年気候変動とともに多発する極端豪雨イベントにより日本では地すべりが多発し、国土面積に比べ人口が多いことから地すべりの調査技術、対策技術の研究開発は世界で最も協力を推進されてきた。その結果、世界で唯一の地すべり専門の学会としての日本地すべり学会が誕生した。ネパールなどで地すべり学会が発足し、欧州地球科学連合総会(EGU)、米国地球物理学連合秋季大会(AGU Fall Meeting)、米国地質学会(GSA)では百件を超える地すべりの発表が行われるが、千人を超える会員を擁する専門学会があり、専門誌の発行と毎年百件を超える研究発表会を継続して開催してきたのは日本だけである。地すべりの専門家がいない途上国はまだ多く、地すべりと認識できていない場合すらある。地すべり防災事業には多くの場合、地質あるいは土木コンサルタントまたは NGO が担当している。大学等のアカデミックコミュニティにおいても地すべり研究は土木学科か地質学科が片手間におこなっている。このような状況で地すべり災害が発生した際に必要な対応、対策について不十分であり、ここに日本の技術者、研究者の技術移転のニーズがある。日本の技術者、研究者が経験してきた多様な地すべりの調査、対策、緊急対応の経験を伝えることで解決できる場合が非常に多いことがわかってきた。

地すべり技術に関わる国際交流のための従来の枠組み

1. JICA による技術協力プロジェクト (技プロ) : JICA の web では「技術協力プロジェクトは、JICA の専門家の派遣、研修員の受入れ、機材の供与という 3 つの協力手段(協力ツール)を組み合わせ、一つのプロジェクトとして一定の期間に実施される事業」(<http://www.jica.go.jp/project/>)と定義されている。通常 3 年程度の期間で行われ、担当企業は提案書と入札により選定される。通常、日本側の技術者を中期～長期派遣し技術講習、現地でのオンサイトトレーニングと機材の設置、監視、対策工の施工等を実施する。反対にカウンターパートの技術者を日本に招待して機材の使用法の講習を含め技術供与を行う(本報研修)ことからなる。著者が経験した技プロは数億円規模が多い。本シンポジウムの他の演者による講演で紹介するインドネシア、エチオピア、ウズベキスタン、マレーシア、エルサルバドル等、数多く実施されてきた。また、中米防災プロジェクトやエルサルバドルで実施中の気候変動対応プロジェクトのようにハードウェアの供与を含まず、防災担当行政担当者の研修を現地と日本で行うプロジェクトも能力開発(Capacity Development)分野において大きな成果をあげている。さらに日本(JICA)と韓国(KOICA)が合同で

東南アジア、中央アジアの防災担当者の教育を1ヶ月にわたり実施するプログラムも近年始まり著者も1日だけの講師として参加した。先進国には途上国支援機関が存在するが、重複を避け資金を有効に活用するためにも合同プログラムは有効と思われる。

2. 外務省・大使館による無償資金援助、円借款：JICAの技プロより大規模な数十億円規模の大規模対策工事業等を行う際等に用いられる。現在、ホンジュラスの首都テグシガルパで1998年ハリケーン・ミッチの際に大災害引き起こした地すべりの対策工を実施中である。

3. 文科省、日本学術振興会、科学技術振興機構

一方、文科省系の研究者主体の科学技術協力としては、以下のようなものが代表的である。

3. 1 文科省（旧）特別事業：1991年から2000年までIDNDR（国連国際防災の十年）に關係して継続したプロジェクトで地すべり分野では中国西安市・華清池の背後の断層崖で進行中であつた斜面変状について、地震の前兆現象か地すべりか判定するため共同研究が実施された。伸縮計、GPS、トータルステーション、孔内傾斜計等の機材の供与、共同観測の結果、地すべりであることを明らかにし、メカニズムの解析を行い、毎年3百万人の観光客がくる社会的重要性を勘案し、中国で初めて地すべり発生前にアンカー主体の対策工を施工した。

3. 2. 日本学術振興会（JSPS）による研究費

3. 2. 1 科学研究費補助金（海外調査）は研究者個人またはグループ単位で海外の地すべりの調査、共同研究を推進するものである。著者が関与したプロジェクトのひとつにペルーの世界遺産マチュピチュ遺跡付近の地すべりの事例がある。文化庁、地質鉱山庁（地質調査所に相当）、クスコ大学をカウンターパートとして実施し、空中写真の解析から過去の地すべりによる地形発達モデルを考察、さらに簡易伸縮計を開発、設置して降雨に対応した移動を観測、発表して国際的に注目された。

3. 2. 2 二国間共同研究、セミナーはアカデミーと学振が協定を結んだ国の研究者を対象に日本の研究者との交流を推進するもので、2年間のプログラム。昨年からは協定を結ばないすべての国も対象になった。著者はスロバキア国コメニウス大学の研究者と同国世界遺産サイトの地すべりについて共同研究を実施した。カウンターパート国を訪問する際に宿泊費、交通費は先方国に負担義務があることが特徴である。

3. 2. 3 研究者交流は主にカウンターパート国の研究者を短期、長期招へいするものである。長期の場合、じっくり研究を実施でき、文化交流も進むことから帰国後も長期にわたり友好的な関係を築くことができる。これは大使館推薦文部科学省留学生も同様で学位取得し帰国後、研究者としてキャリアを積み、長期的な日本側研究者、技術者との交流と共同研究の推進に最も効果的に貢献できている。

3. 3. 科学技術振興機構（JST）による国際プロジェクト経費

3. 3. 1 科学技術振興調整費は現在、科学技術戦略推進費となっているが、国際共同研究を推進するプログラムがいくつか存在した。たとえば、2001年より3年間、「我が国

の国際的リーダーシップの確保」が実施された。これは「我が国が国際的な科学技術活動におけるリーダーシップを発揮し、国際社会における持続的な協力関係を作りあげる」(<http://www.jst.go.jp/shincho/result/shincho30.pdf>) ことを目的とし、地すべり分野のアジアにおけるネットワーク作りもこの枠組みを用いて実施された。

3. 3. 2 地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) は J I C A と J S T が共同で実施するプログラムで J S T が日本側研究者を支援し、J I C A は相手国研究者を支援する。期間は5年間を上限とし、J S T 経費は最大1. 8億円、J I C A 経費は3億円を上限とする大型プロジェクト用の枠組みである。地すべり分野ではクロアチア、マレーシア、ベトナム、インドネシアとのプログラムが採択され実施されている。クロアチアは初年度に採択され、2014年3月に終了した。筆者は上記のうちクロアチア、マレーシア、ベトナムに参画しているが、この枠組みを実施する上での困難は二つあり、J S T と J I C A という異なる文化、ポリシーを持つ助成機関が合同で行うために生じる複雑な仕組みや制約に研究者が戸惑う場合がしばしば見られた。成果に対する要求も厳格で評価も外部識者を招いて査定される。しかし、科振費とくらべても大きな額であることは魅力的であり、他分野と比べ地すべりを含む防災分野は相手国のニーズも高まっていること、業績も期待できることから今後も防災、地すべり関係のプロジェクトは増えると期待されている。

ウズベキスタン・地すべりモニタリングプロジェクト (JICA、技プロ) の事例

この節では、著者が経験した J I C A 技プロのうち、ウズベキスタン国で実施された地すべりモニタリング技術移転に関するプロジェクトでの経験について述べる。中央アジアのさらに中央に位置するウズベキスタン国の東北地方には中国からキルギスタンを経て伸びる天山山脈の延長である山岳地帯があり、従来、この地域を中心に春の融雪期に地すべりが多発している。同国政府は、地すべりの被害を軽減するため警戒・避難体制を構築したが、地すべり動態の計測や被害予測の技術が不足しており日本に対し地すべりモニタリング技術向上のための技術協力を要請したため、国際協力機構は3年間のカウンターパートはウズベキスタンの主要な地すべり研究および防災関係機関2つで、国家鉱物資源委員会(省相当)の下に位置するウズベク水文地質工学研究所 (HydroIngeo), と国家土砂災害モニタリング・サービス(SMS)からなる。前者はソ連時代に中央アジアの地質災害管理の中心機関として研究、開発活動を実施してきており、技術と情報の蓄積がある。全土の地すべり分布図、詳細な目録(Inventory)からなるデータベースも整備されている。後者は1994年に土砂災害(地すべり、土石流、落石、崩壊等)を監視するために法令を整備して設立されたもので、現在、全国で700から800カ所の地すべり地でモニタリングを実施している。特に融雪によって地すべりが多発する春季には、地すべり早期警戒、避難体制を構築している。危険度に応じて危険と思われる住民を事前に強制的に退去、一時的あるいは恒久的に移住させる権限を有し、適宜避難命令を発出している。このプロジェクトでは事前調査を経て、規模の異なる代表的な同国の地すべり地3カ所を対象に観測機材の設置とモニタリング技術移転および地すべり地での調査ボ

ーリングの機材と技術移転を中心に推進した。著者はこのプロジェクトの事前調査から参加し、アドバイザーとして毎年現地を訪問した。図1は首都のタシケントに近い東北地区山地リゾート地を結ぶ道路と河川を閉塞する危険度の高いテクスティブシルシク地すべりで、長さ2,400m、幅900m、すべり面深度22~24m、土量2200万m³と大規模かつ活動中の代表的な地すべり地の滑落崖付近である。図2に長スパン伸縮計用のポール設置作業の様子を示す。主要な機材、信頼性の観点からは日本製でなければプロジェクトの成否にかかわるものは日本から輸入するが、ポールや滑車など現地でも調達できるものについては、多少品質が悪くとも現地調達を優先した。これは技術移転プロジェクト期間終了後、原則JICAはまったく援助することができず、カウンターパート（相手方）機関が自立しなければならないためである。そのため、高度にハイテク化した技術を供与した場合、消耗品等日本から高価な部品を輸入しなければならない場合、機材自体が放置されてしまう残念な結果になる場合がある。図3に短スパン伸縮計設置後の両国技術者の集合写真を示す。技術者同士の現場での設置過程からの交流は重要で、機材の構造、観測原理の理解に直結する。一方で、研究所で実施した技術講習の講義においては技術の理解度の進捗を評価する必要があることから定期的にアンケート等を行ったが、これは先方の権威ある教授の方々の心証を悪くしたという。JICAの技術支援には多額の国費を投入していることから効果判定の資料を得るために必要なことではあるが、技術者・研究者同士の信頼関係がプロジェクトの基盤であることから、今後さらに洗練した評価手法の開発を待ちたい。

盗難に対する備えは、途上国共通の難題である。高価な機材はもとより、たとえ木杭であっても盗まれることがある。広大な地すべり地で24時間365日警備員を雇うことは事実上不可能であり、防犯用のボックスや地域の有力者や警察と連携して機材の保全に努める場合が多い。

図4は先方政府の担当大臣および在ウズベキスタン日本国大使を迎えてのセレモニーの様子である。JICA事業は国の事業である以上、発足時にも政府間の文書交換をはじめセレモニーが開催されるが、実施中に一定の成果が出た段階でその都度、および先方政府の代表および日本側は大使館の代表を招待しセレモニーを行う必要がある。またメディアも招待し、可能な限り広く広報することはJICAにとどまらず、国益上重要である。近年アフリカなどを対象にした支援の競争も始まっており、相手国の一般国民への広報の成否は、相手国研究者、技術者コミュニティの日本の技術に対する関心の増大にも直結するので重要である。相手国および周辺地域国内に地すべり研究会、学会を創設することで継続的な研究・技術交流が可能になり、相手国内ファンドにより訪日や共同研究の国際学会での発表などの交流が可能になる。

図5は地すべりボーリングの技師同士の写真。プロジェクト開始前にボーリングは基本的すぎ、日本から移転すべき技術なのかという意見もあったが、突発的に発生する地すべり地で機動的に掘削し、すべり面付近の柔らかいコアを適切に取り出し、すべり面判定を行う地すべり調査に特化したボーリングの技術を移転する意義を認められた。機材自体も分解し

てアクセス困難な場所でも運搬、組み立てが可能で鉛直だけでなく水平方向の排水ボーリングも可能なものである。

図6はヴルフニェトゥールスキー地すべり地の正面からの写真である。同国南部のアンダレン地域には巨大な露天掘り石炭鉱山があるが、ヴルフニェトゥールスキー地すべりはこの炭坑の上流側に隣接するアンダレンダムの上流の貯水池左岸側の斜面の大規模地すべりである。幅1,200m、長さ500m、土砂の規模2,000万 m^3 。地すべりは多数のブロックに分かれている。すべり面は中生代基岩の中にあり、すべり面傾斜は $5\sim 10^\circ$ の低角度である。アンダレンダムは1970年に完成したが、その前から地すべりはあったが小規模なもので、ダムが建設され拡大した。このダムは農業用ダムであり、灌漑は夏、6月～8月に綿花栽培のために用いられる。綿花の散水は年6回夏におこなわれている。ヴルフニェトゥールスキー地すべりの変動監視は過去25年間継続されてきており、現在はGPS等による移動観測が実施されている。累積移動量は30m以上ある。融雪期の春に移動速度が大きく、ダム湖の水位が上がると地すべりの移動量が大きくなっている。将来、豪雨、地震、あるいは人為的要因等の誘因によりバイオダム地すべりのように地すべり土塊が高速で貯水池に突入し、大量の貯水池の水がダムを越える可能性も指摘されている。ダム湖のすぐ下流には深さ約300mの露天掘り中のピットがあり、さらに下流にはアンダレン市中心部があり多大な犠牲と被害が生じる可能性が懸念されている。この地すべりは同国での社会的な影響が大きすぎるとしてプロジェクトの正式な実施対象サイトには選定されなかったが、筆者を含め日本の技術者、研究者との技術交流と意見交換は毎回実施された。



図1 ウズベキスタン・地すべりモニタリングプロジェクトの事前調査。テクスティルシク地すべり源頭部



図2 長スパン伸縮計用の支柱の設置作業。現地技師の経験を活かした固定方法を採用することは多い。



図 3 短スパン伸縮計設置完了後の両国技術者の集合写真。



図 4 担当大臣および日本国大使を迎えるためのセレモニー。機材の説明を行った。



図 5 地すべりボーリングのオンサイトトレーニング後の集合写真。



図 6 ヴルフニェトゥールスキー地すべりレーニング後の集合写真。

おわりに

本稿では、国土開発の進展著しい途上国で成熟した日本の地すべり技術へのニーズが高まっている状況と技術移転の現場についてその一端を紹介した。日本とは異なる自然、社会条件と制約の下での地すべり対策技術の移転。技術者のバックグラウンド、経験、興味も日本とは異なることから柔軟かつ忍耐強い対応が求められる。しかし、欧米にはなく日本にしかない技術と経験、また研究内容は多く存在し、国内の地すべり技術コンサルタントをはじめ多くの専門家が海外に出て技術交流を行うことは、技術者本人の知見を広めることにもつながり、ひいては日本国内の地すべり技術向上にも貢献できると考える。

参考文献

- 古谷 元・佐々恭二・福岡 浩・王 晋瑜・楊 清金 (1999): 中国・華清池地すべりにおける移動観測. 第 38 回地すべり学会研究発表会講演集, pp. 61-64.
- Fukuoka, H., Sassa, K., Wang, G., Wang, F., Wang, Y., Tian, Y. (2005): Landslide Risk Assessment and Disaster Management in the Imperial Resort Palace of Lishan, Xian, China (C101-4). Landslides - Risk Analysis and Sustainable Disaster Management (eds. K. Sassa, H. Fukuoka, G. Wang, F. Wang), Springer Verlag, , pp. 81 – 89.
- 福岡 浩・大井英臣(2008) : ウズベキスタンの地すべりと早期警戒避難体制. 日本地すべり学会研究発表会講演集.
- Fukuoka, H. (2010): Application of ICT to Contribution to Resilient Society against Landslides. Journal of Disaster Research, Vol.5, No.6 pp. 650 – 656.

砂防・地すべり分野における海外協力の歴史的経緯、 途上国の現状、今後の展開

国際砂防協会 大井英臣

1. 海外協力のさきがけ

砂防分野の海外協力の歴史は、1966年の中米・コスタリカへの短期専門家の派遣に始まる（木村正昭砂防部長、近森藤夫多治見工事事務所長、矢野勝太郎琵琶湖工事事務所副所長、横田知昭甲府工事事務所調査課長）。イラス火山の噴火（1962-1964）に起因する土石流（1964）によりカルタゴ市が壊滅的被害を受けた。来日中の内務省防災局長メンデス氏が日本の砂防現場を視察し、日本の技術が適用可能であると考え技術協力を要請したものである。間もなく50周年になる。

一方インドネシアでは、ブランタス川総合開発が、戦後賠償の一環としてスタートし日本の経済・技術協力を中心として実施されたが（1959）、その中でクルー火山の噴火（1919,1951,1966,1990）による土砂の処理が大きな課題であった。1990年の噴火では緊急土石流対策が円借款で実施された。また火山の土石流による被害も長年の懸案であったことから、1971年の長期専門家派遣に始まり、一連の技術協力プロジェクト*を中心に多彩な技術協力、有償・無償資金協力が長年にわたり展開された。

*火山砂防技術センター（1982-1990）、砂防技術センター（1992-1997）、総合土砂対策（2001-2006）、バンジルバンダン対策（2009-2012）など

インドネシアに続いてネパール（1992-2004）、フィリピン（2000-2010）で技術協力プロジェクトが実施された。

地すべりについては、多くの場合治水砂防分野の協力の一環として実施されているが、本格的な地すべり対策事業はモーリシャス（1989-1998）、ホンジュラス（2001-2013）で実施された。

（1）JICA

JICAは防災分野で数多くの案件を実施しているが、最近の傾向として（1）ソフトアプローチの重視（防災組織の強化、ハザードマップ、早期警報など）と（2）コミュニティ防災の重視がある。「兵庫行動枠組」に沿った各国の取り組みを支援するものである。国の防災組織の強化とともに、コミュニティを選定して洪水、土砂災害（地すべり）、津波対策等の能力強化を図るものである。

例：タイ・防災能力向上（2006-2013）、インドネシア・総合土砂対策（2001-2006）、スリランカ・気候変動対応防災能力強化（2010-2013）、ネパール・自然災害軽減支援（1999-2004）、ケニア・洪水脆弱地域洪水管理能力強化（2011-2014）、中米・広域防災能力向上（2007-2012）、ベトナム・中部地域災害に強い社会づくり（2009-2012）など。

表1 JICA 地すべり案件事例 (地すべり単独または地すべりを主とする案件)

モーリシャス	ポートルイス地すべり対策 (調査、有償)	1989-1998
ホンジュラス	テグシガルパ首都圏洪水地すべり対策 (調査、無償)	2001-2013
エルサルバドル	Las Colinas/Santa Tecla 地すべり警報装置 (短専)	2001
アルメニア	地すべり災害対策管理計画 (調査)	2003
コロンビア	地すべり・洪水モニタリング及び早期警報 (調査)	2006-2007
ウズベキスタン	地すべりモニタリング及び早期警報 (技プロ)	2007-2010
エチオピア	アバイ渓谷地すべり対策 (調査、技プロ)	2007-
クロアチア	土砂災害・洪水災害軽減基本計画*	2008-
マレーシア	地すべり災害及び水害による被害低減に関する研究	2010-
ベトナム	幹線交通網沿いの斜面災害危険度評価技術の開発*	2011-
ブラジル	統合自然災害リスク管理国家戦略強化 (技プロ)	2013-

*SATREPS: 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (科学技術振興機構・JICA)



写真-1 モーリシャス・ポートルイス



写真-2 ホンジュラス・テグシガルパ
レパルト地区



写真-3 ウズベキスタ



写真-4 コロンビア・ソアチャ市

不安定斜面（採石が主原因）に密集する貧困層集落。首都ボゴタに隣接し、北部紛争地域からの人口の流入が続く。不法居住でも規制は困難。



写真-5 エルサルバドル・サンタテクラ市地すべり警報装置

地震による地すべり（2001.1.13）。山麓まで発達した新興住宅地の災害。死者 775 人。豪雨による地すべりの拡大に対処するための警報装置。

左：地すべり地、中上：警察署屋上の雨量計、中下：コンピュータ（累加雨量と単位雨量で警報を出す）、右：赤色回転灯とスピーカー。

（2）二国間協技術交流

- 台日砂防共同研究 1989-
- 日伊土砂災害防止技術会議 1999-
- 日韓土砂災害防止技術会議 2002-

（3）多国間協力

- 台風委員会
土砂災害警報 2009-2011
土砂災害ハザードマップ 2002-2008
- インタープリメント
1967以降4年ごとに開催。日本は1980年から参加。
環太平洋インタープリメント 松本2002、新潟2006、奈良2014（災害に強い社会の構築をテーマに大規模災害、気候変動などが議論される）
- 国際砂防協会 2012-
「国際砂防ネットワーク」（2005-）を通じ世界的な情報交換を推進。

2. 地すべり対策に関する途上国の現状

- (1) ハザードマップ作成は、ドナーの支援で能力が向上し自立的、計画的に進捗している国が増えつつある（フィリピン、スリランカ、タイ、インドネシアなど）
- (2) 早期警報は、機器の維持管理の問題や、技術的困難さの問題もあり、コミュニティベースの早期警報を中心に整備が進められている。
- (3) 対策については、経済的・技術的理由から防止工よりも移転が優先される。
- (4) 土砂災害対策に責任を持つ組織が明白でない国が多く、このことが土砂災害対策が進捗しない原因ともなっている。

スリランカ（その1）土砂災害ハザードマップ

地すべりは調査、ハザードマップ、早期警報、対策に至るまで **National Building Research Organization (NBRO)** が専管。ハザードマップについては、地すべりの危険性の高い10のDistrictsについて作成中（1:5000完了、1:10000作業中）。Land-use、Hydrology、Geology、Surface deposits、Slope angle、Land formの5つのFactorsについて **State of Nature** 地図を作成し重ね合わせる。結果を4段階の危険度で表示。

1:10000が完成する都度地元で説明会を開く。

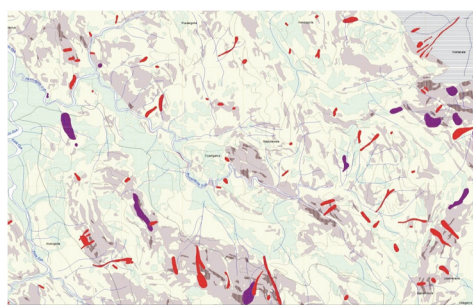
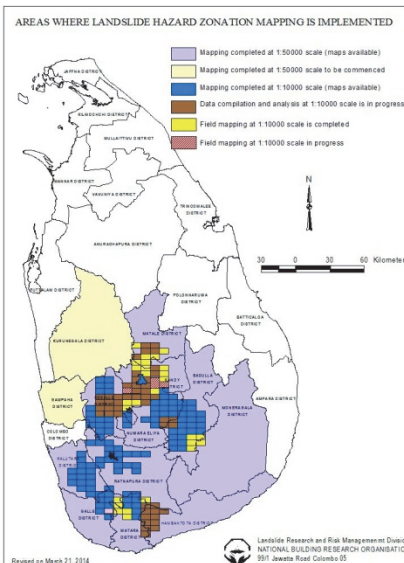


図-1 ハザードマップ 1:10000

図-2 ハザードマップ作成進捗状況 →



スリランカ（その2）コミュニティ早期警報

2007年11月22日深夜、基準雨量150mm/hrを観測。観測人→NBRO→コミュニティリーダー→住民へ伝達。土石流発生前に住民全員が無事避難。



写真-6 観測人家族



写真-7 室内に設置されたセンサー



写真-8 屋根に設置された受水部

スリランカ（その3）リスクと対策

対策は落石防止、斜面保護（植生工）が主体。移転地を確保している District もある（Nuwara Elia など）。



写真-9 地すべり地の集落。



写真-10 危険斜面に建つ家屋



写真-11 崩壊地に近接する家屋



写真-12 斜面保護工（準備工）



写真-13 斜面保護工（植生工）



写真-14 伸縮計の設置

フィリピン (その1) ハザードマップ

土砂災害ハザードマップは Mines and Geo-Science Bureau が主管。844 の優先 Municipalities について 1990 年代より逐次作成中。

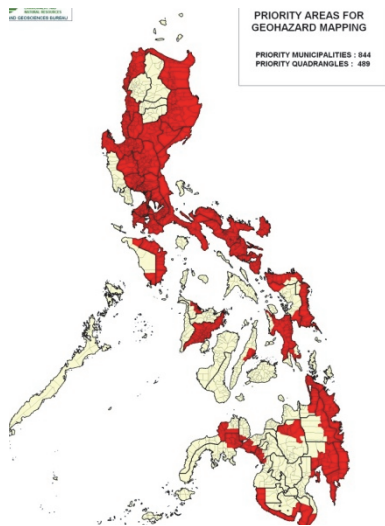


図-3 優先 Municipalities

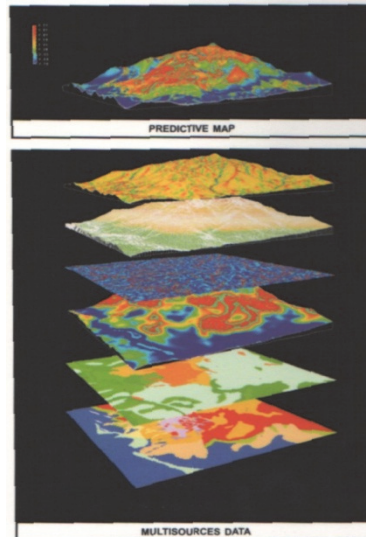


図-4 数枚の Multi-Sources Data を合成し Predictive Map (上段) を作成。

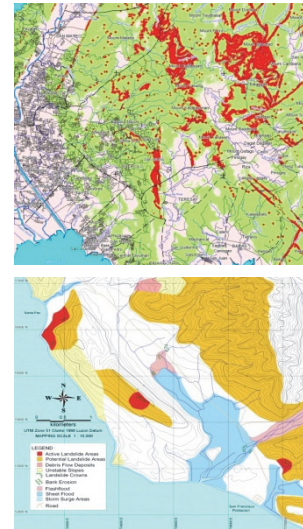


図-5 ハザードマップ
上 1 : 50000
下 1 : 10000

フィリピン (その2) Rapid Field Assessment (RFA)

南レイテ地すべり (2006.2.7) の後、全国的に RFA を実施 (4 月~10 月)。専門家 15 人が 3 班に分かれ各村を巡回、調査シートに所見を記入、1つの村が終わるごとに「地すべりのリスクと勧告」を村長に文書で渡す。村人も集まり報告を聞く。



写真-15 (左上)



写真-16 (左下)

村人も参加

写真-17 (上)

南レイテ地すべり

Data Sheet ID Number barangay Name Population No. of Households barangay Chairman Municipality Province	LOCATION Geographic Location (barangay hall) Latitude Longitude Elevation Physical Location (barangay proper) Plateau Ridge Hill-slope Foot slope Alluvial Plain Valley River Bank Others:	MARINE <input type="checkbox"/> High energy environments (coarse-grained materials) <input type="checkbox"/> Low-energy environments (fine-grained materials) <input type="checkbox"/> Organic environments <input type="checkbox"/> Relatively raised environment <input type="checkbox"/> Associations, complexes FLUVIO-MARINE <input type="checkbox"/> Forms associated or affected by brackish water DENUDATIONAL <input type="checkbox"/> Units associated with plantation, no major lithologic effects <input type="checkbox"/> Units influenced by lithology and fluvial, linear erosion <input type="checkbox"/> Units associated by specific denudative processes (mass wasting) DENUDATIONAL-STRUCTURAL <input type="checkbox"/> Associations of both AEOLIAN <input type="checkbox"/> Active/Non-active (dunes, sand sheets) <input type="checkbox"/> Deflationary forms LACUSTRINE <input type="checkbox"/> Forms at high waterline (terraces) <input type="checkbox"/> Forms of the lake bottom (evaporitic (playas), non-evaporitic)
GEOMORPHOLOGY Slope Angle Flat or almost flat (0 - 1°) Undulating/Gently sloping (1.7° - 4°) Rolling - Hilly/moderately steep (6° - 11.3°) Hilly - steeply dissected/sloping (11.9°-28.6°) Steeply dissected to mountainous (29.2°-54.5°) Mountainous/Extremely steep (>54.5°)	Drainage Density Dense Moderate Sparse Classification of TMI VOLCANIC <input type="checkbox"/> Simple-volcanics <input type="checkbox"/> Complex, volcanic scarp <input type="checkbox"/> Lava flows and cones <input type="checkbox"/> Pyroclastic units FLUVIAL <input type="checkbox"/> Accumulation forms and complexes (alluvial plains) <input type="checkbox"/> Transitional forms <input type="checkbox"/> Erosional forms FLUVIO-VOLCANIC <input type="checkbox"/> Lava flow, fields COLLUVIAL <input type="checkbox"/> Positive forms (hills) <input type="checkbox"/> Negative forms (depressions) <input type="checkbox"/> Structural forms <input type="checkbox"/> Other	LAND COVER <input type="checkbox"/> Buildings and artifacts <input type="checkbox"/> Buildings (residences, etc) <input type="checkbox"/> Artifacts (roads, bridges, canals, dams, dikes) <input type="checkbox"/> Fields/Plantations <input type="checkbox"/> Herbaceous crops, cultivated grass/legumes <input type="checkbox"/> Plantations: tree crops, shrub crops <input type="checkbox"/> Open natural vegetation <input type="checkbox"/> woodland <input type="checkbox"/> shrub land <input type="checkbox"/> grassland <input type="checkbox"/> herb vegetation <input type="checkbox"/> Forest <input type="checkbox"/> forest plantation <input type="checkbox"/> (semi) natural forest <input type="checkbox"/> Water body (specify - e.g. lake) <input type="checkbox"/> Bare Land (no vegetation or land use) GEOLOGY Lithology (with description) Degree of Weathering <input type="checkbox"/> Unweathered

図-6 現地調査シート

3. 今後の展望－日本の貢献

土砂災害の発生状況や防災の現状、Post-2015に向けた議論、インタープリメントや最近の2国間技術交流の議題などを考慮して、今後日本が国際協調の枠組みの中で貢献すべき分野を挙げる。

(1) 大都市周辺の危険斜面の密集地域に対する防災。無計画な都市の過密化は防災の世界的課題。最近の災害事例：ハイチ(2010)、ブラジル(2011)、韓国(2011)など。ハイリスクの例：グアテマラ、ベネゼラなど。



写真-18 ブラジル
リオデジャネイロ周辺



写真-19 グアテマラ
グアテマラ市

(2) 大規模災害対策。大規模な土砂災害が増加しつつあり(深層崩壊、天然ダム決壊等)、気候変動により今後一層増加する懸念から、多くの国で関心が高い。インタープリメント奈良(2014)でも主要テーマとして挙げられている。日本は最近の事例を踏まえ研究が進んでおり、国際的にリーダーシップを発揮すべき立場にある。最近の事例：台湾(2009)、紀伊半島災害(2011)など。



写真-20 台湾小林村

(3) ソフトアプローチ。途上国では人命が必ずしも優先されないという事情もあり、防災への国の投資には限界がある。一方日本は東日本震災の教訓から、「想定外」に対してもResilientなアプローチとしてソフトアプローチが重視されるようになった。Prevention→Mitigation→Resilienceといった防災の姿勢の変遷である。例：警戒避難、ハザードマップ、「土砂法」など。

(4) コミュニティ防災。自助、共助の重要性は世界的な共通認識。Post-2015でも引き続き重要視される。日本でもコミュニティ防災が重要視され必要なツールが開発されつつあるが、それらを積極的に海外へ提供することが望ましい。例：「土砂災害警戒避難に係る前兆現象情報」「簡易な水文観測機器、地すべり感知器」など。

(5) 防災の経済評価手法の確立。防災の人道面の重要性に加え、国の発展を支え持続的発展に貢献するという観点から、改めて防災インフラへの投資が重要視されるようになった。「Invest today for a safer Tomorrow」が最近のキーワードである。そのためには経済効果評価手法の確立が必要である。Post-2015の重点課題として取り組まれるはずであり、国交省の取り組みをベースにリーダーシップを発揮して貢献したい。

(6) 土砂災害に関する統計の整備。土砂災害は台風などの大雨により洪水とともに発生するので、「台風災害」、「洪水災害」として記録される。従って統計上の土砂災害の発生件数は、実態よりはるかに少ない。土砂災害対策の重要性が政策や予算配分に適正に繁栄さ

れるよう、土砂災害の実態を示す統計が必要である。内外の砂防関係者のイニシアティブで取り組むべき課題である。

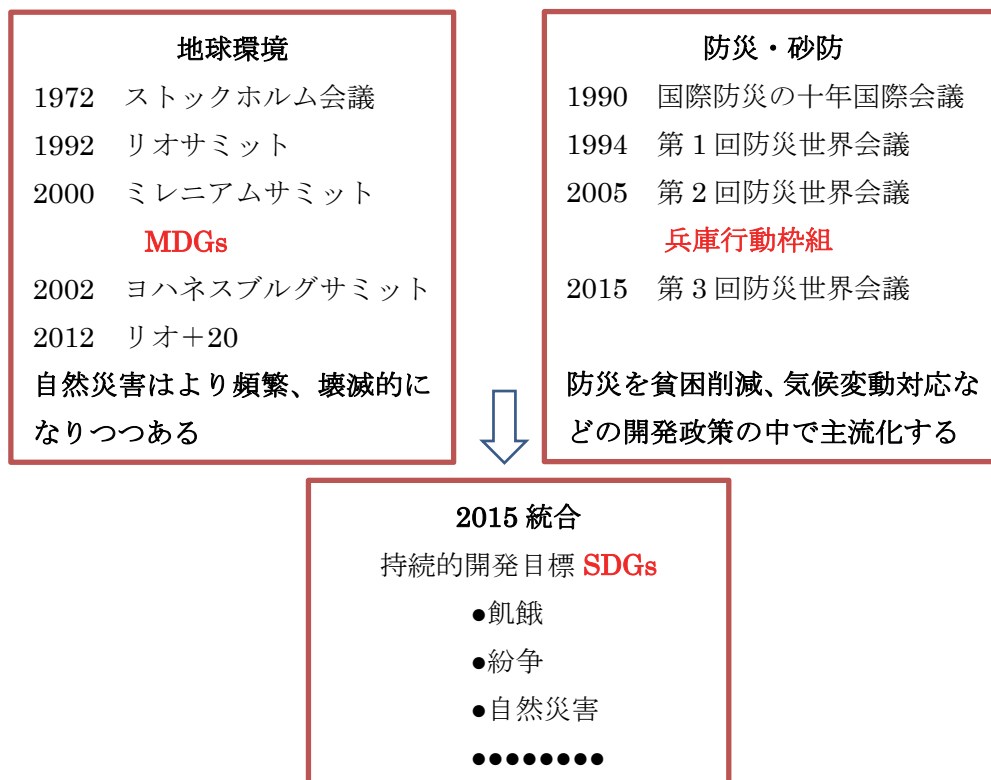
(7) 防災インフラの老朽化対策。日本を始め先進国ではインフラの老朽化の問題が顕在化し、延命のための取り組みとともに、建設段階から老朽化に対し考慮することの必要性が指摘されている。途上国支援においても、そのような視点が必要である。

4. 終わりに Post-2015 に向けて

「地球環境」が人類の生存にかかわる重要課題として 1972 年のストックホルム会議以降一連のサミットで継続的に議論されてきた。「災害・防災」は 2000 年の国連ミレニアムサミットで初めて取り上げられ、以降、国際会議等で次第にクローズアップされてきた。

2015 年のサミットでは、「ミレニアム開発目標(MDGs)」に替わって「持続的開発目標(SDGs)」が採択される予定である。その中で「災害」が人類の持続的発展に対する脅威(飢餓、紛争、エイズ・・・)の一つとして取り上げられることが、今年の「リオ+20」で合意されている。このため来年 3 月の第 3 回防災世界会議で採択される「Post-2015 防災枠組」をサミットに反映させる方向で作業が進んでいる。

防災が「防災のための防災」でなく「持続的発展のための防災」という認識である。「砂防 Alone」「防災 Alone」からの脱皮である。このような流れの中で、土砂災害対策が、防災の基本的な要素であり従って持続的発展の為に不可欠であるという認識が、各国においても世界的にも広まり政策に適正に反映されることを期待したい。「砂防」「防災」「持続的発展」の一体化であり 2015 年はその好機である。



インドネシアにおける土石流ソフト対策の技術移転 ～東ジャワ州ジュンブル県を例にして～

国土交通省中部地方整備局

富士砂防事務所長 吉田 桂治

(元 JICA 派遣専門家)

1. はじめに

これまでインドネシアではしばしば天然ダム崩壊型の土石流であるバンジール・バンドン (Banjir Bandang 以下 B.B と記す) が発生してきており、近年では北スマトラ州ランカット県や南スラウェシ州シンジャイ県、東ジャワ州ジュンブル県、西パプア州トゥルック・ウォンダマ県で被害が発生している (渡部他, 2006 など)。

そのため (独) 国際協力機構 (JICA) はインドネシア共和国政府の要請により、2008 年 11 月から B.B 災害対策プロジェクトを開始し 2012 年 3 月までの間ソフト対策を中心とした活動を実施した (植野他, 2009 など)。この間、インドネシア共和国公共事業省 (PU) を主なカウンターパートとし、日本からは国交省から専門家 2 名を派遣してプロジェクトの指導を行った。

ここでは、B.B 災害対策プロジェクトの活動内容について紹介する。

2. プロジェクトの概要

このプロジェクトは、インドネシアにおける B.B 対応能力の強化を目的とし、B.B ハザードマップの作成を通じた危険地域の周知、警戒避難機器の設置等による警戒避難体制の確立、様々なメディアを使った B.B 警戒避難の啓発、またハザードマップ作成や警戒避難に関するマニュアル作成といったことを主眼に置いている。

プロジェクトを進めるにあたっては、ジャカルタにプロジェクト支援委員会 (議長: PU 水資源総局長) を置き、モデル地域での活動や各分科会での議論に対して助言を行った。

3. モデル地域での活動

当プロジェクトでは、2006 年 1 月の B.B 災害で大きな被害を受けた東ジャワ州ジュンブル県 (図-1) にモデルサイトを設置し、以下のような取り組みを集中的に

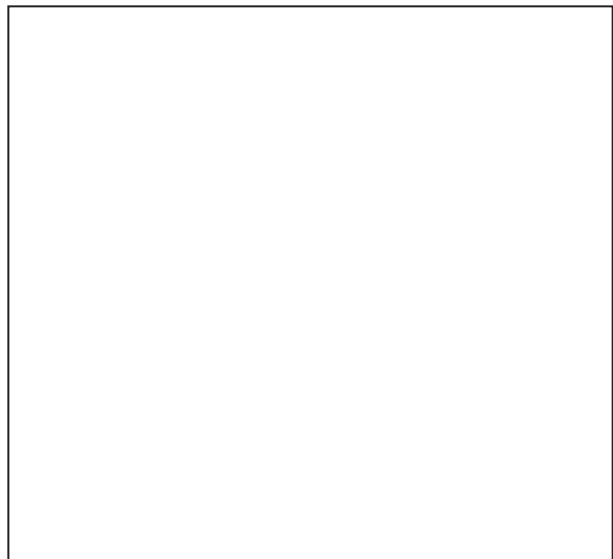


図-1 モデルサイト位置図

実施した。

なお、モデルサイトの設置に伴い、プロジェクトオフィスを経東ジャワ州都のスラバヤとジュンブル県に置き、専門家1名がモデルサイトの活動を指導した。そして、ジャカルタに置かれたプロジェクトオフィスでは、チーフアドバイザー1名がPU等との連絡調整にあたった。

3. 1 ハザードマップの作成

B. Bの原因となる天然ダムは深層崩壊が原因の一つと考えられるため、「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)」(田村他, 2008)を用い、地形データ等についてGISを用いて解析し1kmメッシュで危険度判定を行い、地図上に表した。この深層崩壊の危険度と氾濫想定区域とを合わせ、ジュンブル県内で解析したものをB. Bハザードマップとした(図-2)。

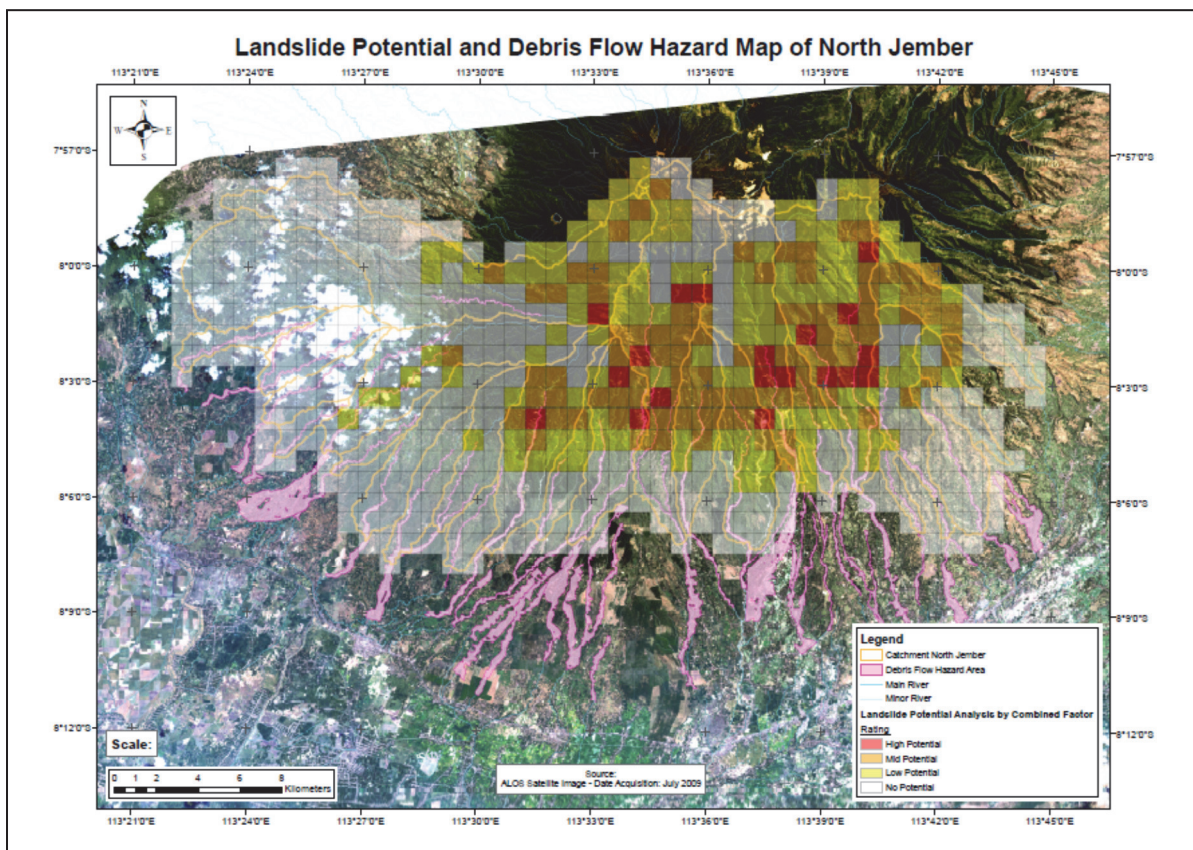


図- 2 ジュンブル県北部のバンジール・バンダンハザードマップ

また、これらの解析を行う上で、妥当な手法かを確認するために地元関係者から意見を聞きながら解析を進めた。これらの結果や、PU内の検討チームによる議論を経て、B. Bハザードマップ作成マニュアルが完成した。

3. 2 TTE (Table Top Exercise)の実施と SOP (Standard Operating Procedure)の作成

警戒避難体制を確立するために、特に集中的に取り組む流域をジュンブル県内のジョンポ川に設けた。その取り組みの中で重要なのは TTE の実施と SOP の作成である。TTE はいわゆる机上訓練であるが、訓練自体に不慣れな地元住民も多いため、ジュンブル大学の関係者が中心となって活動している NGO 組織である YPM (Yayasan Pengabdian Masyarakat) スタッフをファシリテーターとし、災害時における情報の流れを議論も交えながら整理した (写真-1)。さらに、机上訓練の結果を受け、関係各機関がどのような機材を使い、どのように行動して、どこへ情報を流すか等を、5段階の警戒レベルに応じてとりまとめたものが SOP となっている。

この TTE の実施と SOP の作成はジョンポ川の他に、パキス川でも実施した。



写真-1 ファシリテーターと地域リーダーとが議論中

3. 3 実動避難訓練

2011年10月には TTE を元に作成された SOP を実際に用い、住民も参加した実動避難訓練をジョンポ川で実施した。当日は、設置しているものと同じ型の水位計、雨量計を会場に設置し、警戒レベルが上がっていく様子を模しながら、各レベルに応じた関係者間の情報のやりとりをチェックした。そして最終的に避難レベルに達したら、住民に対して避難の呼びかけがメガホンやカントンガン (木や竹をくり抜いて作られたインドネシア伝統のコミュニケーション道具) を用いて伝えられ、住民たちは1次避難場所へと避難した (写真-2)。その後、ジュンブル県災害調整委員会 (SATLAK) メンバーの支援により、最終避難場所まで避難し、支援物資の配給を受けた。

今回は初めての取り組みということで、グラウンドに各居住地区や一次避難場所、最終避難場所を模したテントサイトを設け、避難に見立て各サイト間を移動する形式をとった。今後、訓練方法の改善や、訓練を通じた SOP の見



写真-2 避難する住民

直しが望まれるところである。

3. 4 警戒避難機器の設置

ジョンポ川では 2010 年 10 月から雨量計や水位計を設置し、観測を行っている(写真-3)。

雨量計や水位計の製作に当たっては JICA 大井地球環境部アドバイザーのアイデアを元に、構造を簡素にし、手に入りやすく安価な材料を用い、雨量や水位が各レベルに達した場合、コントロールボックスのブザーが鳴りランプが点灯することで危険を周知することができる仕組みとなっている(写真-4)。また、機器の設置に当たっても地元で手に入る材料と、地元住民の協力も得て設置作業を行うようにした。このような取り組みの中、2011 年 4 月に水位が Level4 (避難) に達する出水があり、SOP に基づき避難の呼びかけが住民に対して行われた。



写真-3 ジョンポ川に設置した水位計



写真-4 警報機能付き雨量計

3. 5 災害調査と住民啓発活動

東ジャワ州では、例年 11 月から翌年 4 月頃までが雨期となり、その間に災害が発生することが多い。筆者が滞在していた間にも、2012 年 2 月と 3 月にジュンブル県内で土砂災害が発生したため、災害後に県職員等とともに現地調査を行い、応急対応や警戒避難についてアドバイスをを行った。

また、住民等に対して啓発活動も行い、特に防災教育を積極的に行っているインドネシアの赤十字組織である PMI (Palang Merah Indonesia) とはセミナー、B.B ポスター

コンクール等を共同で開催している（写真-5、6）。



写真-5 啓発ポスターを貼る PMI 職員



写真-6 ポスターコンクール参加の小学生

3. 6 クロージングワークショップ

ジュンブル県での活動を終えるにあたり、活動成果を普及させるためのクロージングワークショップを2012年1月5日に実施した。当日は、プロジェクトに協力していただいた関係者がパネラーとなり、これまでの成果や今後の警戒避難のあり方について意見を交わした。また、JICAによって導入された各種警戒避難機器についてジュンブル県への引き渡しのセレモニーが行われた（写真-7）。



写真-7 警戒避難危機の引き渡し

4. インドネシア国内での活動

モデル地域での活動成果を国内に普及させることを主眼とする活動を以下のとおり実施した。

4.1 B.B 防災啓発ツールの作成

B.B 災害の特徴と、警戒避難の重要性とを分かりやすく解説し、各種啓発活動で使うこ



写真-8 B.B コミック等の啓発ツール

とができる媒体を数種類作成した(写真-8)。その中でも、コミックやアニメーションは視覚に訴える効果が期待できるものと思われる。

4. 2 ウェブサイトにおける広報活動

JICA のプロジェクトウェブサイトを活用し、イベント等が終了する度にタイムリーにプロジェクトニュースを日本語・英語・インドネシア語で発信すると共に、マニュアル等の活動成果を資料として掲載した。現在も、サイトは解説されているので、参考としていただければ幸いである。

<http://www.jica.go.jp/project/indonesian/indonesin/0800040/index.html>

4. 3 インドネシア国内における普及活動

ジュンブル県での成果をインドネシア国内に普及させるため、東ジャワ州、中部スラウェシ州、西スマトラ州、ジョグジャカルタにおいて、各州や県の公共事業局・防災局職員を対象に B.B 警戒避難講習会を実施した。特に、今回のプロジェクト成果の一つである GIS を用いたハザードマップ作成については、実際に GIS を操作しながらデータ処理等の実習を行った(写真-9)。



写真-9 GIS を操作する受講者

4. 4 カウンターパート研修と砂防政策対話

2011年2月にはカウンターパート研修として、PU とジュンブル県から各1名を日本に派遣し、日本における土砂災害のソフト対策について、国総研等における講義や実習、大規模土砂災害対応訓練の見学、高知県担当者との意見交換を行った。特に、ジュンブル県から派遣された住民保護局長は、帰国後に発生したジュンブル県内の土砂災害で研修成果を発揮されていた。

また、2012年1月には、PU 幹部が東京での砂防政策対話に参加し、日本の天然ダム対応について2011年台風12号災害の状況を現場でも見学し、知見を深めて行かれたようである(写真-10)。



写真-10 2011年台風12号による天然ダム対応の見学

4. 5 終了時セミナー

当プロジェクトを終えるにあたり、終了時セミナーをジャカルタで実施し、それにあわせて来伊された南砂防部長とアムロンPU水資源総局長とで日・伊における多層的な砂防技術交流を行う覚書に署名を行った（写真-11）。



写真-11 覚書への署名

5. おわりに

今回のプロジェクトにおいて当初戸惑ったのは、「避難」という言葉についてお互いの認識が共有することができなかったことである。我々の意識の中には知らず知らずのうちに「避難」とは事前に被災しないため避難することだと植え付けられているが、インドネシアでは「避難」はどちらかというところサーチアンドレスキューの一分野で、何か起こってから逃げるといった認識であり、「なぜ事前に避難しなければならないか」といったところで議論がかみ合わなかったところがあった。余談であるが、googleで「避難」をキーワードに画像検索すると避難訓練や防災関係の画像が検索されるが、「避難」のインドネシア語訳にあたる「evakuasi」をキーワードとするとまさにサーチアンドレスキューを実施している画像が検索され、同じ言葉でも持っているバックグラウンドが違えば意味合いが異なることを実感した。その他、様々な活動の様子についてはプロジェクトのウェブサイトの他、「砂防と治水」誌の専門家だよりも紹介しているので、そちらも参考としていただければ幸いです。

最後になったが、当プロジェクトに協力していただいていたインドネシア、JICA、国交省、その他多くの関係者の皆さんに対し、この場を借りて感謝の意を表したい。Terima kasih!（ありがとうございました）

（雑誌論文）

渡部文人，植田芳弘，城ヶ崎正人，中西浩司．2006．ジュンブルBanjir - Bandang 災害（インドネシア東部ジャワ州ジュンブル県）災害報告．砂防学会誌，Vol. 58，No. 6，p. 31-38

伊藤 驍，Edi P. UTOMO，Gatot M. SOEDRADJAT．2009．インドネシア東部ジャワ州ジェンベル県で発生した地すべり及び泥流災害．自然災害科学 J. JSNDS，27-4，p. 363-374

神野忠広，野呂智之．2008．インドネシア国におけるバンジールバンドン災害対策支援．土木技術資料，50-2，p. 2-5

渡部文人，城ヶ崎正人，中西浩司，植田芳弘．2006．インドネシアにおいて2006年1

月に発生した土砂災害. 砂防と治水, 第 169 号, p. 41-49

神野忠広, 野呂智之. 2007. インドネシアにおける近年の土砂災害の状況について. 河川, 2007-5 月号, p. 50-54

植野利康, 椎葉秀作. 2009. インドネシア共和国、バンジール・バンドン災害対策プロジェクトについて, 河川, 2009-5 月号, p. 44-49

吉田桂治, 植野利康, 椎葉秀作. 2012. インドネシアにおけるバンジール・バンドン警戒避難体制について. 砂防学会誌 (新砂防), vol. 64 No. 6, p. 58-61

(単行本・公刊資料)

田村圭司・内田太郎・鈴木隆司・寺田秀樹・栗原淳一：深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル (案)、土木研究所資料第 4115 号、p. 1-21、2008

エチオピア国・アバイ渓谷における地すべり対策技術移転

Technical transfer for countermeasures against landslides in the Abay gorge in Ethiopia

榎田充哉* (国土防災技術株式会社)

塚本哲・市川建介 (国際航業株式会社), 市川裕一 (JICA エチオピア事務所)

Mitsuya ENOKIDA (Japan Conservation Engineers & Co., Ltd)

Satoru TSUKAMOTO・Kensuke ICHIKAWA (kokusaikogyo Co., Ltd)

Yuichi ICHIKAWA (JICA)

キーワード：観測機器設置，地下水調査，物理探査，対策工設計

Keywords : observation equipment setting, underground water survey, geophysical exploration, and design of countermeasures

1. はじめに

エチオピアでは各国の支援を受けて道路網の整備が進められているが、丘陵地帯や山間部での道路整備に伴い新たな地すべり災害が多発している。これらに対処するため日本の ODA として地すべり対策に関する調査・解析・設計・施工の技術移転が行われている。

著者らはこれまでにエチオピア地質調査所 (GSE) への調査技術の移転とエチオピア道路局 (ERA) への対策工の設計・施工や道路斜面点検に関する技術移転を実施してきた。また、技術移転の一環として、近年発生した新しい地すべり事例のいくつかについて、これらの機関の職員と合同で調査を行い対策の検討を行ってきた。

ここではエチオピアでの斜面災害対策の実態と、これまでに実施してきた技術移転の内容、今後の課題などについて述べる。

2. 主な対象地域の概要

図-1 に主な対象地であるアバイ渓谷の位置を示す。首都のアジスアベバから北西約 120km の位置にある。



図-1 アバイ渓谷の位置

写真-1 はアバイ渓谷を谷の入り口から撮影した風景である。対象位置での谷の幅は約 16km，谷の標高差は約 1300m，谷の中を通る国道 3 号線の延長は約 40km という大きな谷である。谷のほぼ中央を青ナイル川が流れており，長い年月をかけて青ナイル川の下刻作用でできた谷である。



写真-1 アバイ渓谷の風景

谷の上部には層厚 100m 以上の第三紀の玄武岩が分布し，その下位に石灰岩類を主体とする堆積岩が数百 m の厚さで堆積し，青ナイル川の河岸はジュラ紀の砂岩・泥岩等の分厚い地層が絶壁を形成している。谷の兩岸の斜面には無数の地すべり地形が確認できる地すべり多発地帯である。その中を国道 3 号線が通っており，地すべりによる道路の変状が至るところで確認できる。過去に地すべり多発に対応するルート変更が行われたこともあるが，新しいルートでも地すべりは多発している。この国道 3 号線は隣国スーダンから石油等の重要物資を運び込む大動脈であり，2 両連結の大型トラックが数多く往来している。

3. エチオピアの斜面防災対策の現状

エチオピアの道路整備率は日本などに比べて極端に低いが，その中で首都と地方の大都市を結ぶ一桁台の国道がやっと舗装された程度である。その他の地方道路は未舗装の上に，雨期には複数の河川に寸断され，普通乗用車では通行できなくなる道路が多い。



写真-2 河川により寸断された国道 9 号線の様子

そのような状況の中で日本や中国などの海外の支援を受けた道路整備が急ピッチで進められている。しかし、地元企業などの日本企業でない施工業者の場合、事前にルート沿いの地質調査などを実施しないことから、道路開削に伴う新しい地すべりが各地で発生している。写真-3はエチオピア企業が実施しているエチオピア南部の道路新設現場の地すべりの事例である。



写真-3 道路開削工事に伴う地すべりの例

地すべり災害が発生した場合の所管官庁などは明確な取り決めがなく、学術的な災害調査はエチオピア地質調査所（GSE）が担当し、道路沿いで発生した地すべりについてのみエチオピア道路局（ERA）の職員や民間コンサルタント、民間施工業者の担当者などが、現地を確認し、道路上の土砂の排除や道路補修などの応急措置を行うことが、従前の地すべり災害対応であった。

地すべりをはじめとする斜面災害に対する主要な対策工は蛇籠（ギャビオン）による土留工である。大規模な切土斜面では植生工による斜面保護が試みられているが小さな苗を切土面に直接手植える方法であり、斜面保護能力は小さい。過去に海外の企業への外注による横ボーリング工などを施工した事例はあるが、エチオピア国内で施工可能な企業は存在していない。

4. 調査技術の技術移転

平成22年度から始まったプロジェクトはJICAの技プロ型開発調査で、対象地域の地すべり災害のリスク評価や地すべり調査などの実施と併行してエチオピア地質調査所（GSE）の職員への技術移転を行った。主な技術移転内容は以下の通りである。

- ①地すべり地形判読と地すべり地形分布図の作成方法
- ②物理探査の実施・解析方法
- ③雨量観測機器の設置・観測方法
- ④半自動型地すべり動態観測機器の設置・観測方法
- ⑤半自動型地下水位観測機器の設置・観測方法
- ⑥安定解析手法
- ⑦GISの活用方法

現場作業等を通して技術移転をするとともに英文の技術マニュアルを作成して技術移転の効率化を図った。



写真-4 簡易弾性波探査の現地指導



写真-5 孔内傾斜計ガイドパイプ設置指導

地質調査所の職員は地質や地球物理などを専門とする職員が多いこともあり、簡易弾性波探査などの物理探査の現地指導では多くの職員が熱心に現場実習を兼ねた調査に参加した（写真-4）。

これらの技術移転の結果、孔内傾斜計のアルミガイドパイプの設置や地盤伸縮計・地中伸縮計・地下水位計の設置など、主要な地すべり観測機器の設置はGSE職員のみで実施できるレベルになっている（写真-5）。また、それらの半自動観測データの回収作業もGSE職員が定期的に行っている。

5. 対策工設計・施工技術の技術移転

平成23年度から始まったプロジェクトはJICAの技術協力プロジェクトで、エチオピア道路局（ERA）の職員への地すべり対策技術全般の技術移転を行うものである。主な技術移転対象者（C/P）となるのはResearch and Development Directorate（RDD）の職員であるが、その他に各地方事務所の職員も数名加わっている。主な技術移転内容は以下の通りである。

- ①道路防災点検の方法
- ②災害発生時の応急対策の方法
- ③地すべり対策工の設計方法
- ④地すべり対策工の施工及び施工管理方法
- ⑤水平ボーリングマシンの操作技術
- ⑥地すべり対策に関する外注管理の方法

なお、既設の地すべり観測機器のデータ収集や地すべり観測機器の新設など、地すべり調査については前出のGSEの協力を得て行っている。

第1フェーズでは室内講習会や現地指導を通して、ERAのC/Pを我々が直接指導する方法を多用した

(写真-6, 写真-7)。



写真-6 技術移転のための室内講習会



写真-7 Road disaster inspectionの指導風景

本プロジェクトの技術移転の重要な項目にエチオピアで初めての水平ボーリングマシンの導入とその操作方法に関する技術移転がある。写真-8は現地における技術指導の様子である。



写真-8 水平ボーリングマシンの操作指導風景



写真-9 C/Pから他のERA職員等への現地指導

第1フェーズ後半からはそれまでに技術指導を受けたC/Pが中心となり、他のERA職員や民間企業技術者を指導する技術移転セミナーを組み入れた活動を行

った。写真-9はアバイ溪谷の地すべりの状況をC/Pが他のERA職員等へ説明している現地セミナーの様子である。写真-10は日本から無償供与した水平ボーリングマシンの操作をERAのC/Pが他の職員等に説明している様子である。このセミナーには地元の報道機関も同行し、現地セミナーの様子が地元新聞に写真入りで掲載された。



写真-10 C/Pから他のERA職員への水平ボーリングマシンの操作説明

写真-11は平成25年度に一部完成した横ボーリング工とその流末処理のための明暗渠工である。エチオピアにはこれまで横ボーリング工を自国の技術者のみで実施した経験が無く、地すべり地での地表水排水で重要な明暗渠工もはじめての導入であった。設計から施工までをC/Pの指導と実習を兼ねて進め、写真-11の状態まで進めることができた。



写真-11 C/Pの指導により一部完成した横ボーリング工(奥)とその流末処理の明暗渠工

技術移転の一環として平成24年度からの第2フェーズではMANUAL OF INSPECTION ON ROAD SLOPE DISASTER (1st DRAFT)をとりまとめ、道路防災点検の恒常化を図った。また、LANDSLIDE HANDBOOK FOR ROAD ENGINEERS(1st Edition)をとりまとめ、道路及び沿線での異常をどのように判断するかということを中心とした斜面変状調査及び地すべり調査の方法を解説している。現在、地すべり対策工の設計を含むガイドラインの取りまとめ作業を行っているが、これらのマニュアル類の取りまとめにおいてはできるだけERA職員の意見を取り入れて共同作業であるとの意識を持たせるように努めている。

6. 新しい地すべりの調査を通じた技術移転

エチオピア各地で発生した地すべりの調査依頼のレターが ERA の各地方事務所から RDD を通じてプロジェクトチームに届く。その都度、我々の誰かが C/P と共に現地調査を行い地すべり機構や今後の対応方法に関するレポートを作成する。当初は我々がレポートの素案を作成し、それを C/P がチェックするという方法であったが、第2フェーズに入った頃からは C/P がレポートの素案を作成し、それを我々が校正するという方法を採用している。これも技術移転の一環である。



写真-12 エチオピア南部で発生したGidole地すべりの現地調査の様子(榎田他, 2012)

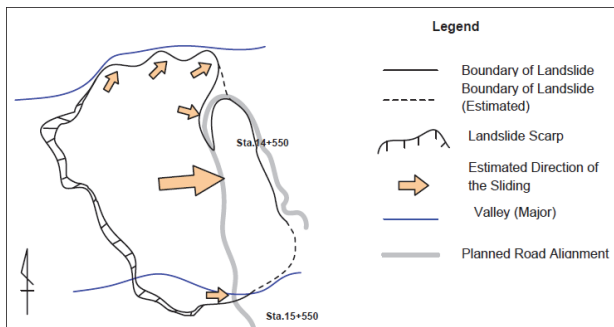


図-2 Gidole地すべりの模式平面図(ERA, 2011)

7. 技術移転の課題

技術移転の課題は複数存在するが、主なものを挙げると以下のような内容となる。

<GSE 職員に関する課題>

(1) 技術の継承と事業の継続性

GSE の職員も異動がある。孔内傾斜計ガイドパイプの設置をはじめとした地すべり観測機器の設置や観測方法を習得した技術者が、次の技術者に技術を継承していくためには、設置作業などの事業が継続的に発生する必要がある。本プロジェクト期間中はそれが可能であるが、プロジェクト終了後の事業の継続性が課題である。

(2) 観測機器の維持管理

各種観測機器は定期的なメンテナンスや電池などの消耗品の交換が必要である。エチオピア国内でそのよ

うな観測機器を製造することができないことから、日本製の製品を設置しているが、本プロジェクト終了後の観測機器の維持管理のためには、GSE が自ら、日本のメーカー等と交渉する必要がある。

<ERA 職員に関する課題>

(1) 職員の専任に関する課題

エチオピア全体で現在道路整備が進められており、ERA 職員の主な関心はそこにある。ERA 職員もそれぞれに日常業務を抱えており、兼任で当プロジェクトの C/P となっている職員が多い。地すべり対策業務に専任できる職員をいかに確保・維持するかが課題である。

(2) 工程管理の時間感覚の違い

エチオピアの場合、計画と実行の工程に大きな時間(時期)の違いがあっても職員に問題意識が無いことが多い。事務所の移転のような問題でも計画から数年遅れるが、地すべり対策の調査ボーリングや個別の対策施工などは決定から開始まで半年や1年という時間が必要となる。

(3) エチオピアの保有技術で対応できない地すべりへの対応

既往の技術と現時点までの技術移転で施工可能な地すべり対策工は土留工(蛇籠)、横ボーリング工、明暗渠工、排土工、押え盛土工である。これらの工種で抑制又は抑止できない地すべりについては十分な対応ができない。

<参考文献>

JICA(2012): The project for developing countermeasures against landslides in the Abay river gorge(Final report).

JICA(2012): The Capacity Development Project for Countermeasure Works for Landslide in The Federal Democratic Republic of Ethiopia -Progress Report (Phase 1) -

JICA(2014): The Capacity Development Project for Countermeasure Works for Landslide in The Federal Democratic Republic of Ethiopia -Progress Report (Phase 2) -

ERA (2011) : Surface Investigation and Recommendation of Further Action for Landslide Problems Occurred along the Wezeka - Gidole Road.

榎田充哉, 原崇, 塚本哲, 市川建介, 中川淳史(2012) : エチオピアの道路開発に伴う地すべり災害の事例 -アルバミンチ, アンボ地域等の地すべりの特徴と機構-, 日本地すべり学会第51回研究発表会講演集, pp.88-89.

ウズベキスタン国およびモーリシャス国における 地すべり監視、対策技術移転

国際航業株式会社 市川 建介

1. はじめに

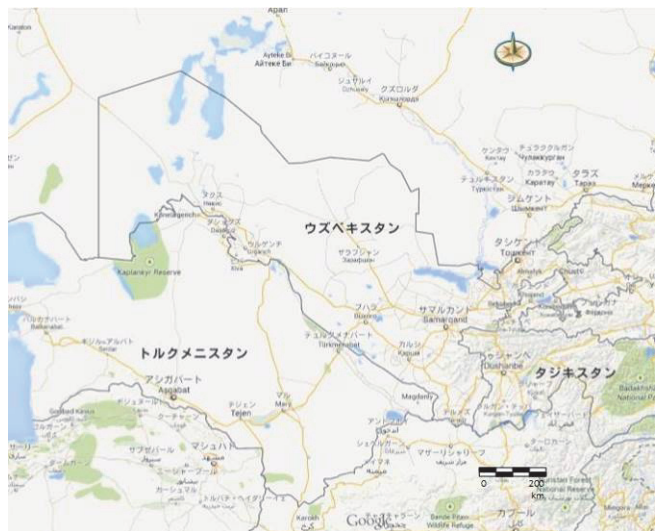
国際協力機構（以降 JICA）の委託にてウズベキスタン共和国ならびにモーリシャス共和国において、日本の地すべり監視ならびに対策手法についての技術移転を行った。プロジェクトのタイトルはそれぞれ「ウズベキスタン共和国地すべりモニタリング技術向上支援プロジェクト（2007年～2011年）」及び「モーリシャス国海岸保全・再生に関する能力強化プロジェクトならびに地すべり対策プロジェクト（2012年より実施中）」である。

本講演では、両国で実施した地すべりモニタリングの結果及び技術移転の内容と成果を、両国の社会・文化的背景、地すべりの形態および地すべり対応機関の現状を交えて紹介する。

2. 両国の概況及び防災技術（地すべり）にかかる概要

2. 1 ウズベキスタン国の概要

ウズベキスタンはカスピ海の東部に位置する中央アジアの共和国であり人口約3千万人、国土面積45万km²を有する。1991年に旧ソビエト連邦から独立した CIS 諸国の一つである。旧ソビエト時代は防災、地すべりにかかる研究、対策に積極的取り組み、HYDROENGEО（水文・地質工学研究所）及び SMS（国家土砂災害モニタリングサービス）を有し、過去地すべり対策では中央アジアの中心的な役割を担っていた。しかしながら独立後は財政難より近代的な地すべりのモニタリング活動は行われていない。



図ー1 ウズベキスタン位置図

(Google Map を加工)

2. 2 モーリシャスの概要

モーリシャスはインド洋の南西、マスカレン諸島に位置する共和国で人口約130万人、国土面積2千km²である。地勢的にはアフリカ諸国に入るものの、文化的にはインド圏に属し一人あたりの GNI (Gross National Income : 国民総所得) は8,000USD を超える高中進国である。島嶼国であることから従来からハリケーンを主体とした海洋性災害への対応を中心に各種対策を行っているが、近年発生した洪水(死者11名)をきっかけとして、2014年あらゆる災害を統括する組織、国家災害リスク低減管理センター(NDRRMC)を設立した。



図-2 モーリシャス位置図

(出典:Google Map) 以下断り無い限り JICA 調査団

3. 地すべりの特徴

3. 1 ウズベキスタン

ウズベキスタンの東部はテンシャン山脈最西端に位置することから急峻な地形から供給される崖錐堆積物とそれらの二次堆積物が分布し、春の雪解けに伴う地下水の上昇によって地すべりが多発する。また、広域的にはレス(黄土)が厚く堆積し、同じく融雪期の地下水上昇が要因となり大規模なクリープ変形が発生する。全土にわたって概ね30,000ヶ所以上の地すべり地があるが、パイロットサイトは地すべり活動が比較的活発なタシケント市東部とし、カウンターパート(現地政府の技術移転対象メンバー)と協議して以下の選定基準を持って、表-2にしめす5ヶ所を選定した。

表-1 地すべり候補地選定基準
(出典: JICA 調査団 以下断り無き場合同左)

	要件	理由
A	地質、地形情報が2週間以内に準備可能で、情報も充実しているもの	事前情報により、調査のポイントがすぐに絞り込め、作業効率がよい
B	サイトへのアプローチが比較的容易であること	現場実習・計測業務が容易である
C	地すべりの形態が複雑でないもの	計測機の設置目的と意義が明確に説明できる
D	地すべりモニタリング活動を地域住民が協力できる、もしくは見学できる	住民の理解・協力を得る、もしくは広報活動に寄与する

表－２ 主要モニタリング候補地点

No	SMS 管轄	地すべり サイト名	地すべり タイプ (地質)	規模	基準				総合 評価	保全対象
					A	B	C	D		
1	ボスタンリ ーク	テクスティル シク	複合ブロック型 (レス、中生代)	大	◎	○	△	△	○	上部に子供の 保養施設
2	ボスタンリ ーク	ウチテレック	複合ブロック型 (レス、中生代)	中	○	△	○	◎	○	民家約 50 戸 及び道路
3	アングレン	ビエルフニエ トゥルスキー	複合ブロック型 (中生代)	大	△	△	×	△	△	貯水池、道路
4	アングレン	ベドレンゲレ ット	流動型	小	○	△	○	◎	○	民家 10 戸
5	アングレン	タンガトブデ イ	複合ブロック型 (レス、礫質度)	中	◎	○	△	○	○	国道 (主要幹 線)、貯水池
6	アングレン	チェツ	流動型・トツプリ ング (石灰岩)	中	○	○	○	◎	○	国道 (主要幹 線)、土産物店



図－３ テクスティルシク地すべり頭部



図－４ ベドレンゲット地すべり全景

日本と同様、比較的速度の緩慢な地すべりも多いが、人的、インフラ被害が最も顕著なものは突発的な土石流である。調査時点での対策は、1972年より旧ソ連邦時代に作られた地すべり・土石流台帳（図－6，7参照）をもとに、遊牧民を活用した目視による変状の確認と無線によるSMS支所への報告するものである。それを基にした専門家の現地調査による道路封鎖、住民避難などを行う。



図－５ ウチテレック地すべり全景

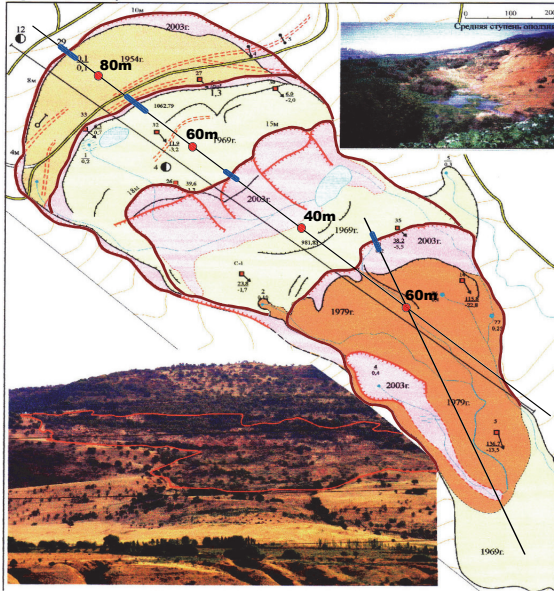


図-6 テクスティルシク地すべり台帳

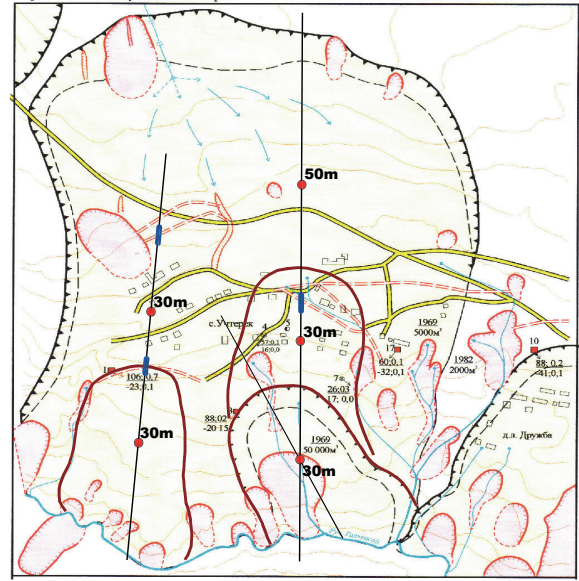


図-7 ウチテレック地すべり台帳

(出典：ウズベキスタン国 HYDROENGEО 地すべり台帳)



図-8 破壊された道路（テクスティルシク）



図-9 レスのクラック（ベドレンゲット）

3. 2 モーリシャス

モーリシャスは典型的なサンゴ島であり、島中央部に分布する玄武岩火山帯と火山屑物及びその崖錐堆積物が主体であり、地すべりなど斜面災害が健在化したのは近年の宅地の過剰開発による不安定土塊への人為的な関与によるものが多い。モーリシャスでは30年ほど前より内閣府が国家災害スキーム（Cyclone and Natural Disasters Scheme）と題する発災時対応時のマニュアルを発行しており、その中には保全対象となる地すべりが37ヶ所掲載されているが、JICA 専門家の調査でそのうちの6所が地すべりと同定された。本調査では下記の基準を用いて3ヶ所をパイロットサイトとして選定した。

表-3 主要パイロットサイト候補地点と選定サイト

箇所名	地すべり危険地選定の項目			選定結果	摘要
	評価スコア	MPIからの要望	地すべりのサイズ		
チトラクート	6	あり	大規模 (L=1500m, W=700m)	○	地すべり危険地に特定: 家屋の被害10箇所以上あり、早急な対策必要。MPIからの調査・対策の要請あり
バレーピト	6	なし	小規模 (L=35m, W=20m)	○	地すべり危険地に特定: 活発で小規模地すべり。3箇所の家屋に被害、新聞報道されたため、早急な対策が必要。典型的な都市開発の地すべり。
ラビュッテ	5	なし	中規模 (L=350m, W=600m)	×	対象外: 既に日本国の支援による地すべり対策工実施。緊急性は低い。
Old Moka Road, Camp Chapelon	3	なし	中規模 (L=200m, W=100m)	×	対象外: 対策の緊急性は低い。
カトルスール	6	あり	中規模 (L=350m, W=400m)	○	地すべり危険地に特定: 活発な中規模地すべり。家屋の被害が数箇所あり、早急な対策が必要。
Candos Hill at Lallbahadoor	3	なし	小規模 (L=40m, W=35m)	×	対象外: 小規模。崩壊範囲内に家屋等の保全対象が無い。緊急性は低い。



図-10 チトラクート地すべり全景

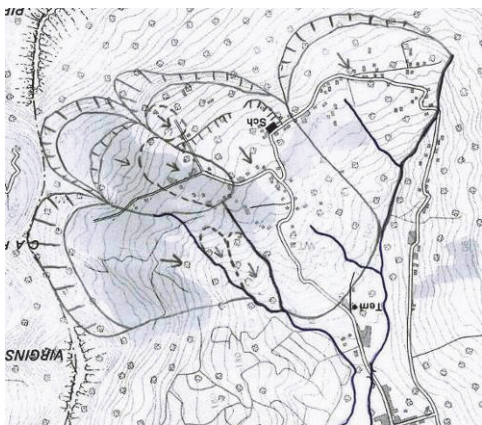


図-11 地すべりブロック



図-12 チトラクート滑落崖の状況

モーリシャスの国家災害スキームでいうところの地すべり地は、主に地域住民や地方自治体から上げてきた「地盤の変形箇所」であり、土木技術や地質に詳しい人材の不足により合理的な調査が実施出来ないのは当該国にとって大きな問題点である。



図-13 家屋の変形（チトラクト）



図-14 道路と人家境界の開き（カトルスール）

4. 地すべりモニタリング技術移転

4.1 ウズベキスタン

1) モニタリング計測装置の設置

前述したとおり、当国での地すべりモニタリングは旧ソ連時代に使用された伸縮計（マニュアル）、地すべり地内に配置された固定点の観測及び現地遊牧民を利用した目視による観測のみが行われている。また、顕著な変状が認められた場合地すべり台帳のアップデートを行っている。プロジェクトでは、日本にて通常用いられている観測資機材（自記伸縮計、孔内傾斜計、自記孔内水位計、自記雨量計、電気探査機及び小型のボーリングマシン）を供与し、地すべりの発生機構、メカニズムを解析について技術移転を行った。日本で一般的に用いられている観測機具の使用は初めてであったが、カウンターパートは基本的に地すべり技術者であるため、基礎的な知識やノウハウを持っていたため機材の使用目的を把握するのは困難ではなく、技術移転には円滑に進んだ。各パイロットサイトに設置した機材は表-4のとおりである。



図-15 旧ソ連製の伸縮計



図-16 旧ソ連時代のアラームシステム

表-4 モニタリング計測資機材の設置箇所と数量

ステーション名	サイト名	孔内傾斜計			伸縮計		超 ス パ ン	地下 水位 測定 器	水 質 測定 器	雨 量 計	温 度 計	簡 易 警 戒 ユ ニ ツ ト
		本 体	孔 数	延 長	箇 所 数	延 長						
		台	孔	m	ヶ 所 数	m						
ホスタリク	ステーション	1	-	-	-	-		2	1	1	1	
	テクスタイルク		5	300	6	180	300					
	ウチレック		4	160	4	120						1
アングレン	ステーション	1	-	-	-	-		2	1	1	1	
	ペドレンゲド		1	40	2	100						1
突発地す べり	No. 1		3	180	4	120						1
	No. 2		3	180	4	120						
計		2	16	860	20	640	300	4	2	2	2	3

これらの機材を用いてモニタリングを実施する課題は、設置のノウハウ、データの取得ならびに維持管理の問題であった。

また、京都大学防災研究所の福岡准教授（当時）に指導いただき、最大の地すべりサイトには超スパン伸縮計を設置した。



図-17 滑落崖に伸縮計設置状況



図-18 埋設型の伸縮計設置状況

地すべりモニタリングにかかる技術移転は技術上の問題点は少なかったが、地方に機器を設置した際、ワイヤーの切断、機器の盗難が相次ぎ、カウンターパートと協議の上、伸縮計は出来るだけ埋設型にすること、観測機器は丈夫な鋼鉄製のボックスなどで覆うなどの配慮を行った。また、定期的な現地データの取得については、マンパワーと現地までの使用車両が不足していた。

2) モニタリング結果

モニタリング活動における日本とウズベキスタンでの最も大きな違いは局地的な降雨や地下水位と地すべりの活動との関連を把握する技術力の差であると考えても良い。カウンターパートは特に伸縮計と降雨との関連をそれぞれの地すべりの特性ととらえることが可能となり、同時に緊急時避難に有効に活用することが出来ると語っている。図-19にテクスティルシクにおけるモニタリングの関係図を示した。この図のとおり、降雨、降雪開始から約1ヶ月後に変動することが明らかとなった。

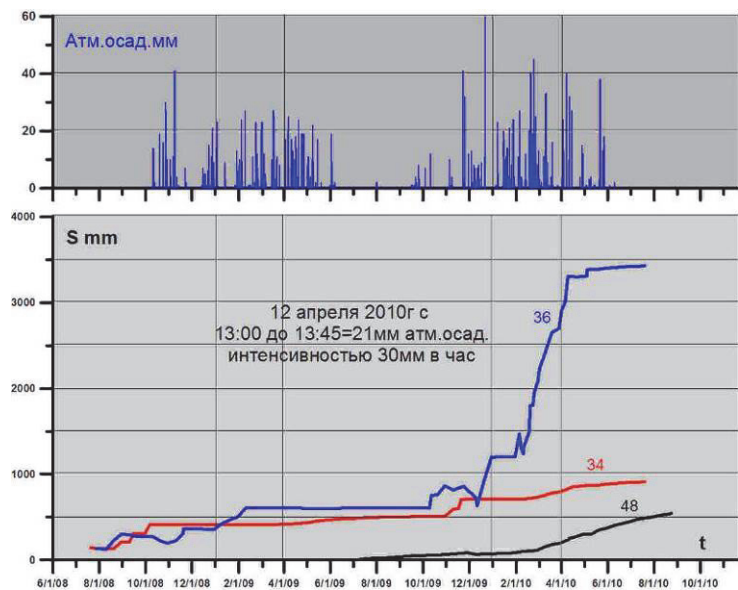


図-19 降雨と伸縮計の変位（テクスティルシク）

このような相関関係が得られたことは当該国にとってははじめてのことであり、これによってカウンターパートのプロジェクトへの興味が一段と高まったと考えられる。孔内傾斜計や自記水位計によるデータの相関はそれほど明瞭には出なかった。この理由として、1) レスの表層変動が想定以上に大きくかつ速度が速かったため、傾斜計パイプの変形が大きくすぐに使えなくなったこと、2) レスの保水能力が高く、初期状態から地下水面が高いものがおおきかったことから、水位変動と土塊変位との関係が明瞭では無かった。尚、このプロジェクトの最終年次において、カウンターパートが独自に新型の資機材を他の地すべり地に転用し地すべり現象の解明を行った。

4. 1 モーリシャス

1) モニタリング計測装置の設置

1990年代、ラビュッテで発生した大規模な斜面崩壊に伴い日本の援助により各種観測機器の設置と対策工が実施された。2004年より災害スキームへの対応の必要性から、チトラクトに無線方式の伸縮計、水位計を設置して現地コンサルタントがモニタリングを実施した。また地すべり対策の管轄組織であるインフラ省によって2007年から2年間コンサルタントから政府技術者へのモニタリング手法の技術移転が行われたが、モーリシャスでは地質技術者や斜面災害にかかわる土木技術者がほとんどいないことから、これらの試みは失敗に終わった。本プロジェクトでのモニタリング技術移転においても、カウンターパート側から、「専門事項では無い」、「モニタリングは可能ではあるが、解釈ができない」などとの意見が寄せられたため、それを踏まえた技術移転を行うことが最大の命題となった。表-5に設置

したモニタリング資材の種類と数量を示す。

表-5 モニタリング計測資機材の設置箇所と数量

計器	目的	センサー型式	ロガー型式	製造	設置場所
伸縮計	地表の地盤変位(2点間の距離、自動)	SLG-100	センサーに込み(1時間毎)	オサシテクノス	チトラクト、パレーピト、カトルスール
レーザー距離計	地表の地盤変位(2点間の距離、手動)	DIST D3aBT	手動(1回/月)	Leica	カトルスール
孔内傾斜計	地中の地盤変位(最深部との相対的横方向変異)	KB-10HC	TC-32K(1回/月)	東京測器研究所	チトラクト
ひずみ計	地中の地盤変位(地中に発生するひずみ)	SKF-6070	TCR-25(1回/月)	東京電機	チトラクト、カトルスール
自動地下水位計	地下水位の変位(地下水中の水圧変化、自動)	DS-1	WLG-01(1時間毎)	オサシテクノス	チトラクト、カトルスール
手動地下水位計	地下水位の変位(地表と地下水位面の距離、手動)		手動(1回/月)		カトルスール
雨量計	降水量	RS-2	Net LG-201E(1時間毎)	オサシテクノス	チトラクト、カトルスール

2) モニタリング結果

モニタリング設置は完了したが、計測はまだ現在進行中である。従って有意なデータの蓄積が十分あるわけでは無い。今までの各種測定結果より、1) すべり面は地表面下 5~6m と浅い、2) 地表面の変形は降雨後比較的短い間に発生することが判明した。今後はさらに計測を続けることにより、予警報基準への応用が期待される。図-20 にチトラクトにおける伸縮計データと降雨の関係を示す。雨量と伸縮計の変位は良い相関を示している。

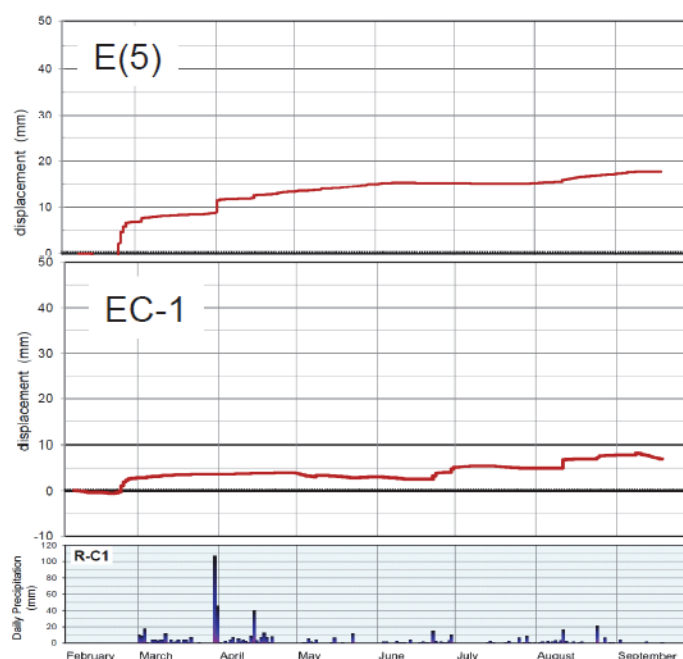


図-20 降雨量と伸縮計変位 (チトラクト)



図-21 伸縮計の設置状況とサイト説明



図-22 パイプ歪計の設置状況

4. 地すべりモニタリング及び対策主手法の技術移転

両国では歴史的には地すべり対策への関与が異なるが、いずれの国に対しても日本で実施されている通常の調査解析手法を用いて地すべりの動態観測を実施するとともに、調査結果をもとにした対策工の検討を相手国政府の技術者に技術移転を行った。その結果を理解度という視点から定性的にまとめると以下のとおりとなる。

表-6 カウンターパートの能力と地すべり対応能力

移転内容	ウズベキスタン		モーリシャス	
	スコア	備考	スコア	備考
地すべり調査	◎	専門家保有	△	専門家無し
地すべりモニタリング	○	測定手法は良く理解	○	過去経験あり
地すべり解析	△	解析式の知識あるも理解不足	X	理解困難で対策設計困難
対策工検討	△	技術的なバックグラウンド小	○	設計図面があれば理解
対策の実施	X	財政難。対症療法的	◎	策定された対策実施可

スコア：技術移転による理解度（定性的判断）◎非常に良い ○良い △不足も一定の理解 X不可

技術移転に際して、特に技術移転対象となるカウンターパートの経歴、地すべり対策にかかる歴史的背景、マンパワー、投入可能なリソースの種類と規模により、技術移転の成果は大きく変動することが理解される。JICA 専門家が現地で指導する間の成果はそれなりに上がることは事実ではあるが、持続的な技術の継承や発展にかかる投入という点で、基礎教育の視点は欠かすことが出来ない。今後の活動や投入もこの点への十分な事前調査と情報収集がプロジェクトの成功の鍵となると考えられる。尚、技術移転とは直接関係はないが、モニタリング機材の盗難やいたずらはどちらの国でも大きな課題である。本プロジェクトでもフェ

ンスや鋼製のボックスを用いたり、地下に埋設するなど日本では考えられない対処策を講ずる必要がある。

5. おわりに

本報告を行うにあたり、国際協力機構地球環境部の米林徳人、平野潤一両氏に快諾をいただいた。同時に両プロジェクトにおいて国内支援委員として様々な助言をいただいた京都大学防災研究所の福岡浩准教授、ならびに砂防広報センター理事長の保科幸二氏に対し御礼申し上げます。プロジェクト実施にあたっては国土防災技術株式会社の笠原洋二、OYO インターナショナル株式会社の横尾文彦、原崇の両氏、ならびに国際航業海外事業部の関係者には多大な協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 国際協力機構. 2010. ウズベキスタン国地すべりモニタリング技術向上支援プロジェクト. プロジェクト事業完了報告書.
- 2) 国際協力機構. 2013. モーリシャス国海岸保全・改修にかかる技術向上プロジェクト及び地すべり対策プロジェクト. 中間報告書.

マレーシア国の土石流対策及びエルサルバドル国の地すべり対策に係る業務例
 - 日本の土砂災害対策技術の海外における適用について -
 Examples of technology transfer projects for mitigation of debris flow in Peninsular Malaysia and
 landslides in El Salvador

倉岡千郎、森幹尋
 Senro KURAOKA and Mikihiro MORI

Keywords.

Landslide, debris flow, early warning, electric distance measurement, drainage work

1. Introduction

In this manuscript, some of the results obtained through the technology transfer projects for mitigation of debris flow and landslides in Malaysia and El Salvador are described. The purpose of the manuscript is to present the findings that may be used to better understand and note some of the issues concerning the non-structural and structural countermeasures of Japan to be applied in overseas countries. First example describes the general status of the debris flow problems in Malaysia and the study of early warning methods. Second example describes the monitoring and mitigation of a particular landslide in El Salvador.

The common methods applied in these two cases are the early warning methods based on rainfall depths. Various types of equations and criteria, proposed in Europe and in Japan, area were reviewed and applied to assess the applicability of these methods.

In addition, some of the structural measures found during the site investigation in these two countries, raised interest in studying the basic design concepts that are used in these countries to design structural countermeasures for the debris flow and landslides. As a preliminary study, concepts of the Factor of Safety (FS) and the methods of stability analysis are reviewed.

2. Debris flow study in Peninsular Malaysia

2-1 Outline of the project

In Peninsular Malaysia, the two most devastating debris flow occurrences are the Genting Sempah and Kuala Dipang tragedies. The Genting Sempah debris which occurred on 30th June 1995 resulted in 22 casualties while the Kuala Dipang episode on 29th August 1996 claimed 44 lives. Besides these two, there were other occurrences involving lesser fatalities but with

significant disruption to roads and other facilities during the past decade in Peninsular Malaysia (Table 1).

In response to the rising problems and the realization of the impacts of debris flow, the Government of Malaysia through the Public Works Department has initiated the program to establish hazard maps and debris flow early warning method which will be used to warn the relevant authorities and communities. This study is one of the early efforts to develop the fundamental methodologies of the early warning and the method to estimate the potential damages and effectiveness of the barriers for debris flow.

Table 1 Dates and locations of debris flow events in Malaysia (Based on the data taken in 2010)

Date of Occurrence	Location	State	Road Closure
June 30, 1995	Km 38.6 Kuala Lumpur-Karak Highway (Genting Sempah)	Pahang	√
Dec. 28, 2001	Gunung Pulai, Kulai, Johor	Johor	
Nov. 10, 2003	Section 23.3 to 24.10 Kuala Kubu Baru - Gap Road (FT55)	Selangor	√
Oct. 11, 2004	KM 302 North South Expressway (Gunung Tempurung)	Perak	√
Nov. 2, 2004	KM 52.4 Lebuhraya Karak (Lentang)	Pahang	√
Apr. 12, 2006	Km 33 Jalan Simpang Pulai - Cameron Highland Road	Perak	√
Nov. 15, 2007	KM 4 to 5 Gap-Fraser Hill Road (FT148)	Pahang	√
Jan. 3, 2009	Section 62.4, Lojing-Gua Musang Road (FT185)	Kelantan	√



Fig. 1 Genting Sempah debris flow on 30th June 1995



Fig. 2 Debris flow events occurred on October 11th 2004 at Gunnug Tempurung

Based on the severity of debris flows and the availability of information, 8 sites shown in Table 1 have been chosen for the field and case study.

The tasks shown in Table 2 were performed to accomplish the objectives of the project. In this manuscript however, only the outline of the early warning method, using the rainfall data, and the slope stabilization measures, that were observed during the field investigation, are described for the purpose of studying the applicability of the early warning methods used in Japan and to review the fundamental design concepts of slope stabilization measures.

Table 2 Main procedures and tasks of the project

Stage 1: Desk study and data collection	(1)Comprehensive study of available records of past debris flow events and rainfall data (2)Aerial observation of the sites where debris flow have occurred
Stage 2: Field investigation	(1)Conduct field observation to supplement contour maps, geological maps, geomorphologic and hydrological information and collection of samples (2)Conduct grain size investigation of sediments of selected sites
Stage 3: Development of rainfall threshold	(1)Assess applicability of potential methods through case studies of selected sites. (2)Develop preliminary criterion and prepare future strategies for application, modification and refinement of the model.
Stage 4: Debris flow hazard assessment	(1)Assess applicability of the potential hazard zonation methods by conducting case study of the selected site through stage 1 and 2 of this study. (2)Prepare preliminary guidelines for performing debris flow hazard assessment.

2-2 Geological characteristics of the site

Malaysia comprises a broad range of rock types, from the sands and silts of the coastal plains to the granite of the Main Range and limestone outcrops of the Langkawi Islands. On the west side of the main mountain range in the peninsula Malaysia, granitic rocks, metamorphic rocks are mainly distributed (Fig. 5). These rocks were formed in the geological age ranging from Pre-Cambrian to Cretaceous (3,880 million year to 65 million year) accompanied by a small amount of young sedimentary rocks and volcanic rocks (Neogene Tertiary in geological age). The basic geological conditions suggest that the Peninsula had undergone long term tropical weathering. Consequently, most parts of the mountainous terrain are underlain by the residual soils of the bedrock.

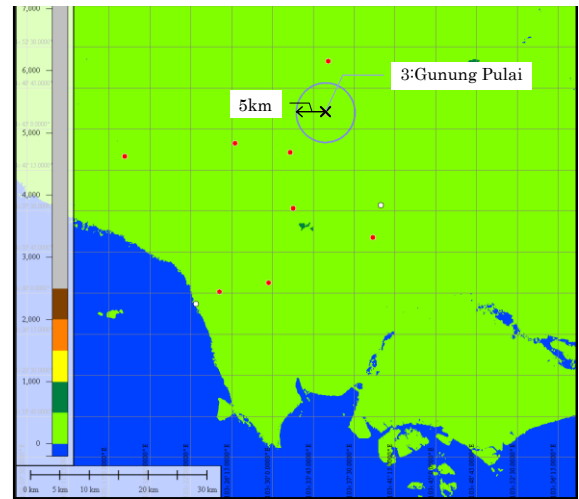
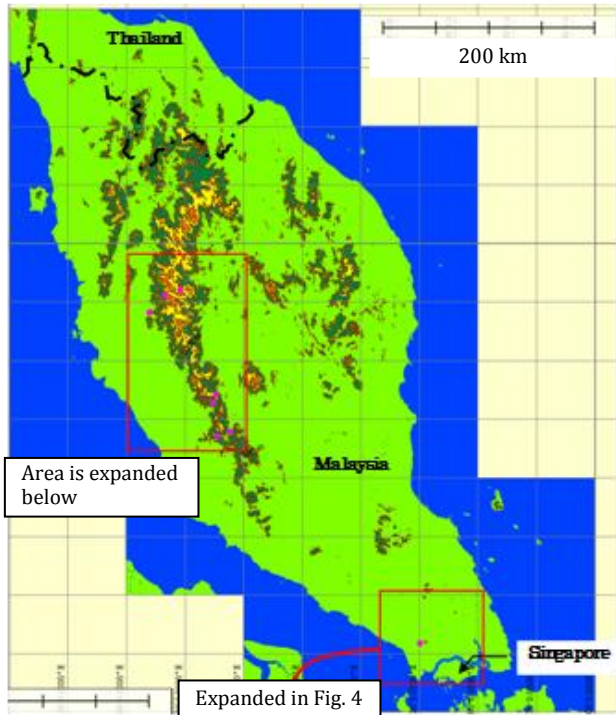


Fig. 4 Locations of the southernmost site in Gunung Pulai near Singapore. The red dots in the figure indicate the location of the rain gauges.

On the other hand, East Malaysia is mainly composed of sedimentary rocks of Tertiary based on small outcrops of Palaeozoic Formations.

Eights sites for the study are mainly located in the igneous rocks, which are described as acid granitic rocks, or near the boudary of the igneous rock and other types.

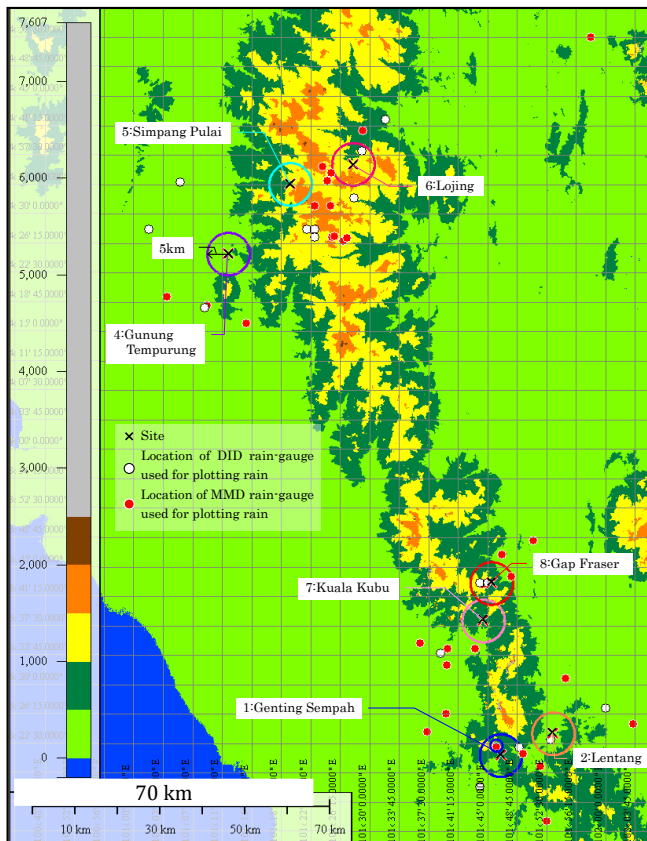


Fig. 3 Locations of the eight sites for the field investigatoin and case study. Colored circles indicate the location of the sites.

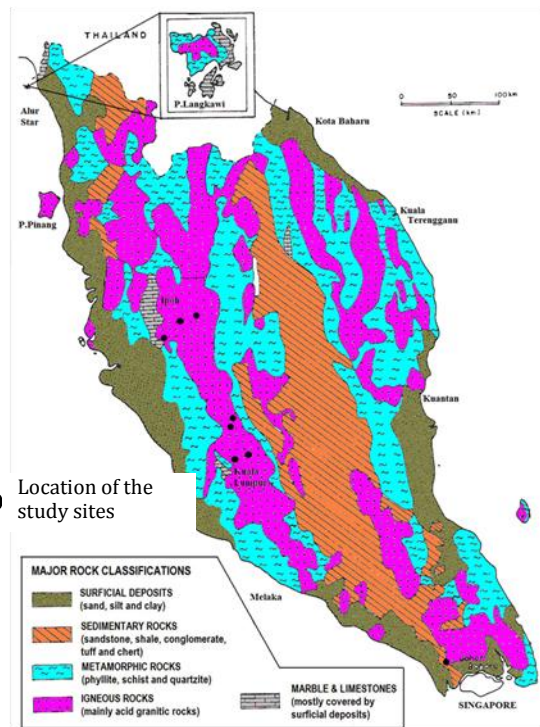


Fig. 5 Major rock classifications in peninsula Malaysia

Table 3 Geological characteristics of the eight sites. The weathering grade is based on IAEG classification.

Site Location	Geological condition	Type of rock
Genting Sempah	1)Contact of Metamorphic rock and Igneous Rock 2)The stream cut the fault boundary between two rock types	Meta-Sandstone (Yellowish) , Rhyolite (lighth grey)
Gunung Pulai	1)Contact of Sediment rock, Metamorphic rock and Igneous Rock 2)Weathering grade IV to VI	Granite (light grey) , Conglomerate , Shale, Siltstone (Sediment Rock) Hornfels (Metamorphic)
Gunung Tempurung	Contact of Metamorphic Rock and Igneous rock	Granite and Phyllite, Slate, Marble
Simpang Pulai	Contact of Metamorphic Rock and Igneous Rock	Granite, Mica – Schist, phyllite
Lentang	Colluviums / alluvium	Granite
Kuala Kubu Bharu	1)Colluviums 2)Granite with weathering grade IV-V(outcrop)	Granite
Fraser Hill	Weathering grade V- VI	Granite
Lojing	Weathering grade IV to VI	Granite

Geological conditions and the type rock found at the 8 sites are shown in Table 3, where it is indicated that the granite is the dominant rock type. Weathering grade is based on IAEG classification method, where grade IV is described as the condition more than 35% of the rock material decomposed and disintegrated to soil, V indicates that all rock material is decomposed and disintegrated to soil, and VI is equivalent of residual soil.

As shown in Fig. 7, sources of debris flow are typically found to be generated on steep slopes of 20 degrees or more in 0-order channels and the mobilized sediment appeared to have deposited on the milder slopes where the gradient is 10 degrees or less. Many debris flows occurred in basin areas of 1km² or less.

2-3 General rainfall characteristics

The seasonal variation of rainfall in Peninsular Malaysia is of three main types:

(1) Over the Peninsula with the exception of the southwest and east coastal area, the monthly rainfall pattern shows two periods of maximum rainfall separated by two periods of minimum rainfall. The periods of maximum rainfall are generally April - May

and October - November due to the influence of inter-monsoons, while the periods of minimum rainfall are January – February and June – July as shown in Fig. 6 where the mean monthly rainfall represents the above trend.

(2) The rainfall pattern over the southwest coastal area is affected by the Sumatra landmass from May to August. Consequently, the maxima and minima pattern mentioned above is different: October - November is the periods of maximum rainfall, and February is the one of minimum rainfall. The period of maximum rainfall in April - May cannot be seen.

(3) Over the east coastal area, January - November is the period of maximum rainfall, while June - July is the driest period in most districts.

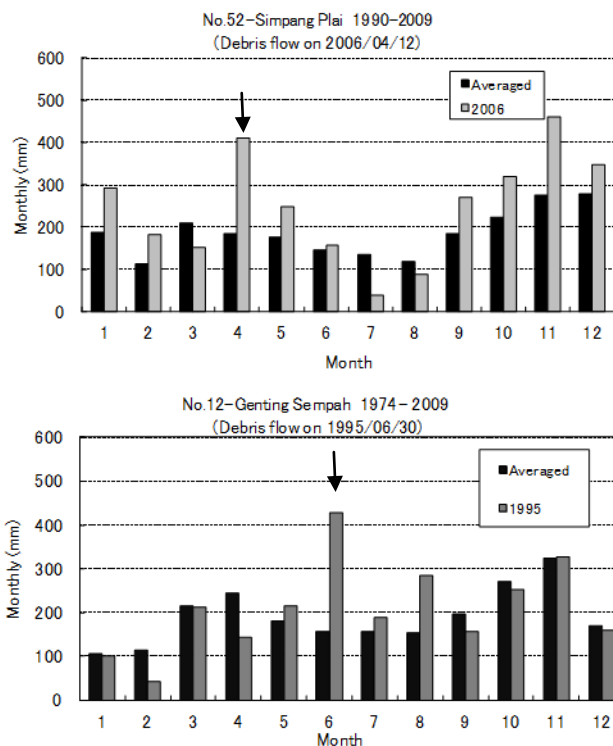


Fig. 6 Examples of monthly rainfall depths measured by the three rain gauges near Shimpang Plai and Genting Sempah. Monthly rainfall depth of the year of the debris flow event and the mean annual monthly rainfall depths are shown together. The debris flow occurred on the month indicated by the arrow mark.

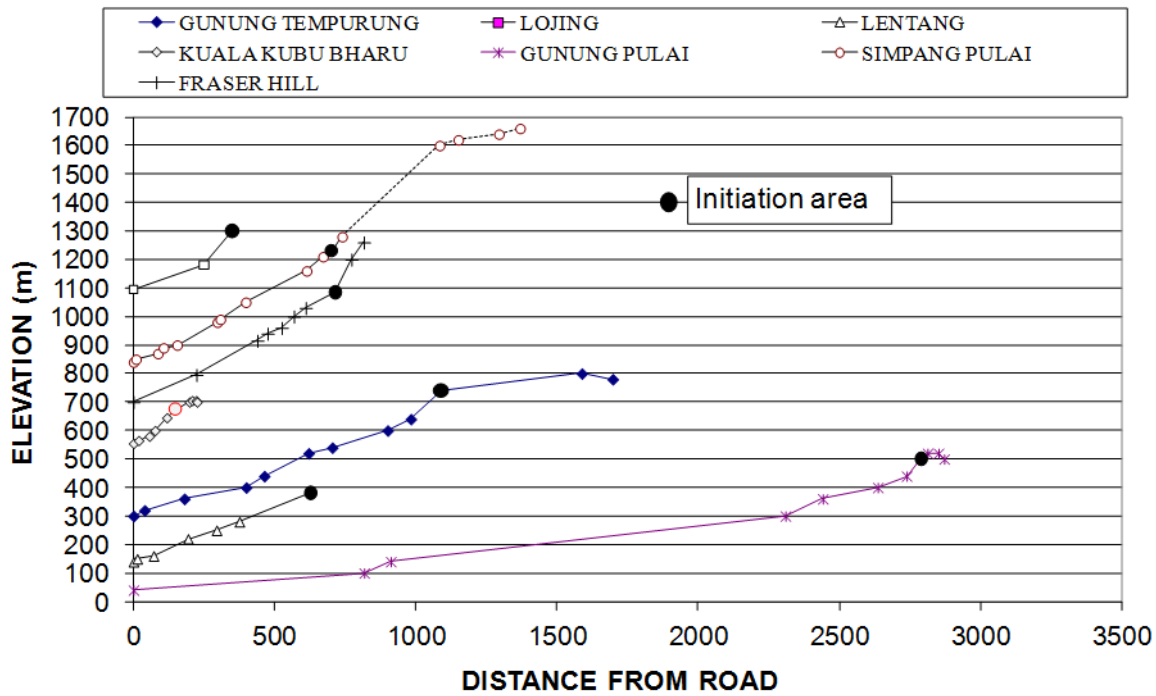


Fig. 7 Cross section taken along the channels of the seven sites. Resolution of the contour map was in general course and contour of the Genting Sempah was not available.

Fig. 6 shows two examples of the monthly rainfall depth recorded near the sites where debris flow had occurred. The monthly rainfall in the month of the occurrence is clearly higher than the mean monthly rainfall depth.

2-4 Rainfall analysis

Rainfall data were collected and analyzed in order to find suitable methodologies to estimate the critical rainfall condition that may induce landslides and debris flow. Noting that many criteria do not differentiate the thresholds for landslide and debris flow, no distinction is made as to whether the criteria are for debris flow or landslide in this manuscript.

(1) Intensity Duration (I-D) threshold

There are various types of empirical criteria for estimating the onset of landslides, including debris flow, in Europe, U.S.A. and in Japan. Most of the empirical criterions are site specific and based on correlation between landslide occurrence and rainfall intensity which is often expressed in terms of duration and rainfall depth. Various empirical criteria proposed for global application are review by Guzzetti et al. (2008). In Guzzetti's paper, the classical criterion is cited as the one

developed by Caine (1980). Some the intensity-duration (I-D) thresholds summarized by Guzzetti et al. (2008) are listed below where I is the mean hourly rainfall (mm/hour), D is the duration of rainfall in hours. These equations imply that there is a limit as to how much the slope can absorb rainfall without failure, since $I \cdot D$ is equal to the cumulative rainfall depth.

$$\text{Caine (1980): } I=14.82 \cdot D^{-0.39} \quad \text{---- (1)}$$

(0.167 < D < 500 hrs)

$$\text{Innes (1983): } I=4.93 \cdot D^{-0.50} \quad \text{---- (2)}$$

(0.1 < D < 100 hrs)

$$\text{Clarizia et al. (1996): } I=10 \cdot D^{-0.77} \quad \text{---- (3)}$$

(0.1 < D < 1000 hrs)

$$\text{Crosta and Frattini (2001): } I=0.48+7.2 \cdot D^{-1.00} \quad \text{----(4)}$$

(0.1 < D < 1000 hrs)

$$\text{Cannon and Gartner (2005): } I=7.00 \cdot D^{-0.6} \quad \text{----(5)}$$

(0.1 < D < 3 hrs)

While these criteria can be overly conservative or optimistic without sufficient data, it may be used to examine whether a correlation exist between the rainfall intensity and the duration. If a reasonable correlation is

found, it will motivate further collection of the occurrence and no-occurrence landslide data.

Trial and error were made, using the rainfall data of the of the cases where the correlation between landslide event and the rainfall can be established, to examine whether I-D type of equation can be used as a preliminary method to estimate the threshold. It was found that if the maximum hourly rainfall is used, as proposed by Wilson (1992), which is cited by Matthias et al. (2005), four points plot close to the I-D line of Wilson as shown in Fig. 8:

$$I_p = 121.4 \cdot D^{-0.602} \quad \text{----(6)}$$

where I_p is the maximum hourly rainfall of the rainfall event.

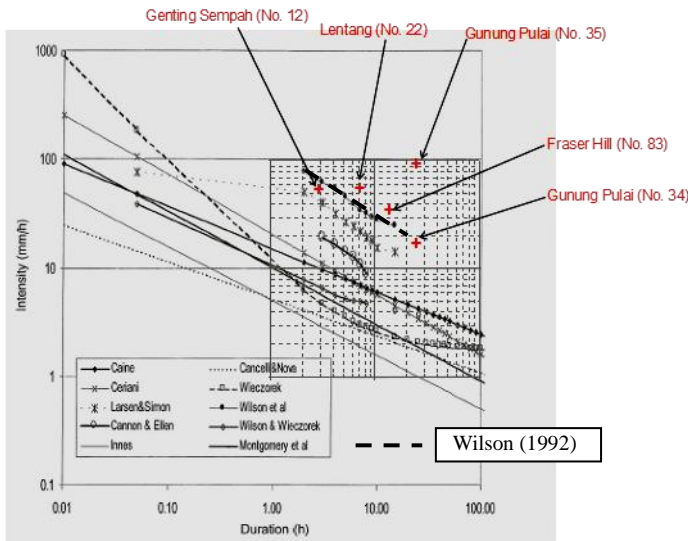


Fig. 8 I_p (Maximum hourly rainfall) and duration (D) of the four sites superposed on World wide intensity-duration threshold curves (Matthias et al. 2005).

An analysis is performed to study if there is a reason as to why I-D equations may approximate the threshold, based on water balance concept used in the tank model. Considering a tank with unit area, one drainage hole, and no evapotranspiration, the change in the height of the water in the tank at time step n can be expressed as,

$$\Delta h_n = q_n - \lambda h_{n-1} \quad \text{----(7)}$$

where Δh_n is the change in the height of water in the tank, q_n is the rainfall depth, λ is the coefficient for the

drainage rate, h_n is the height of water in the tank measured from the drainage hole.

Summation of Δh_n from the beginning of the rainfall can be expressed as,

$$\sum_{i=1}^n \Delta h_i = \sum_{i=1}^n q_i - \lambda \sum_{i=0}^{n-1} h_i \quad \text{----(8)}$$

Noting that the sum of Δh_i is h_n and expressing the sum of q_n and h_i as Q and H , respectively, equation (8) will be,

$$h_n = Q - \lambda H \quad \text{----(9)}$$

This equation simply indicates that the height of the water at time n is equal to the cumulative rainfall depth minus the total discharge. Furthermore equation (9) can be expressed with I and D of equation (6):

$$h_n = I \cdot D - \lambda H \quad \text{----(10)}$$

Therefore, if λ is a small value, I-D equation can be considered as the height of the water in the tank model. Magnitude of λ may be estimated if the drawdown rate of the groundwater level of a particular site is known, using the following equation which is the analytical expression of the height of water in a tank with one drainage hole and when there is no rainfall:

$$h = h_0 e^{-\lambda t} \quad \text{----(11)}$$

where h_0 is the initial height. For example, if it takes four days for the groundwater level to return to the height before rainfall, as shown by Thi ha etl al. (2004), λ will be approximately 0.05. In the case of Genting Sempah, D is 2hours, I is 48.5 mm and if λ is set to 0.05, $H(h_0 + h_1)$ will be 108 mm and consequently h_n is 91 mm which is close to $I \cdot D = 96.5$ mm.

Hence, I-D type of equation may be related to the height of the water of the first tank if discharge from the tank is small compared to the rainfall depth.

(2) Snake curve and Soil Water Index (SWI)

Applicability of the methods of Snake curve and Soil Water Index (SWI) were examined through analyses of the cases where the correlation between landslide event and the rainfall can be established.

The snake line curves were drawn using the working rainfall (WR) which is a rainfall depth, including the

effects of antecedent rains. In this study, half-life of the long term WR and short term WR were 72 hours and 1.5 hours, respectively.

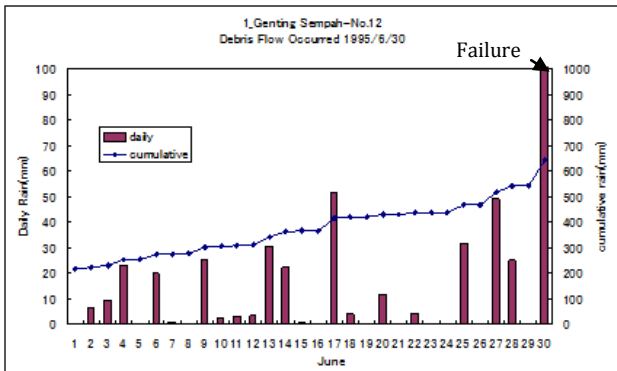


Fig. 9 Daily and cumulative rainfall depths of Genting Sempah debris flow on 30th June 1995.

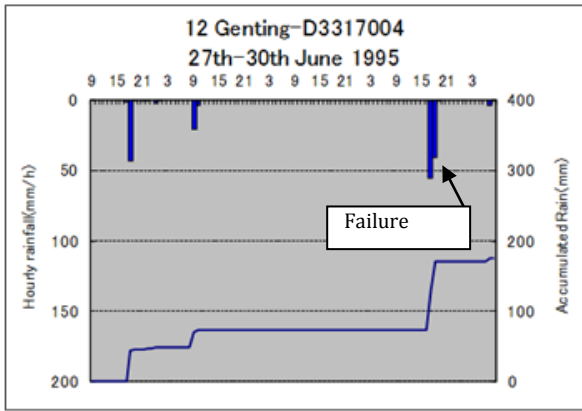


Fig. 10 Hourly rainfall depths prior to the debris flow at Genting Sempah on 30th June 1995.

Snake curves were calculated for the data of Genting Sempah and some the points corresponding to the major rainfall events and the point of failure are plotted as shown in Fig. 11. The hourly rainfall and the daily rainfall prior to the failure are shown in Fig. 9 and 10.

The failure points of Lentang and Fraser Hill were added in Fig. 11, noting that thresholds of these events can be approximated by the same intensity-duration relationship. The failure point of Gunung Plai is not added, since the distance from Genting Sempah is far greater than those of Lentang and Fraser Hill and also because the topographic features, such as catchment area and gradient of the channels, of Gunung Plai are very

different from Genting Sempah. The three failure points, shown in, appear to form a group of failure points. The Critical line may be drawn if more data can be obtained in the future.

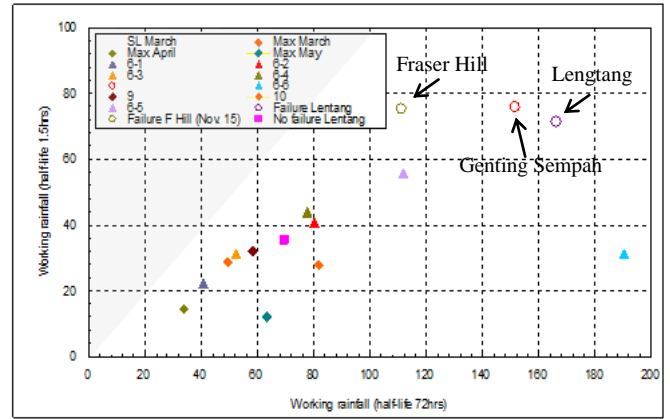


Fig. 11 Failure points of three sites calculated with WR of 72 hours half-life and 1.5 hours half-life.

(3) Snake curve and Soil Water Index (SWI)

Soil water index (SWI) is indicative of the amount of soil moisture and is calculated by adding the water heights in the three serial tanks of the Tank Model JMA (Japan meteorological Agency) has been using SWI to issue warning and evacuation. It is calculated for each 5 km by 5km grid every half hour. It is important to note that SWI alone cannot predict potential failure. The SWI needs to be compared with the maximum annual SWI for the last 10 years record. If the current SWI is among the three highest values or if it is close to the value corresponding to SWI computed for the past landslides, current SWI indicates high possibility of landslides.

Soil water index was computed with the rain depth associated with the four debris flow events to see whether the SWI becomes high when the debris flow occurred due to the effects of antecedent rain. These sites are Genting Sempah, Lentang, Gunung Plai, and Simpang Plai.

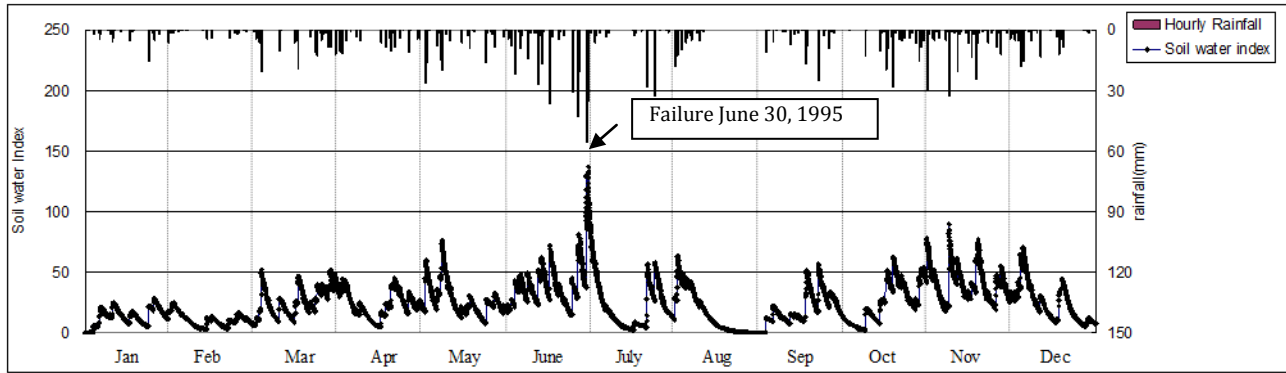


Fig. 12 Soil Water Index (SWI) calculated with the hourly rain depths of the rain gauge near Genting Sempah.

The time variation of SWI of the rain gauge near Genting Sempah shows clear increase in SWI on the day of debris flow event as shown in Fig. 12.

2-5 Example of structural countermeasures for the debris flow

During the field investigation of the 8 sites, installments of structural countermeasures were noted. Although design specifications of these structures were not obtained, brief descriptions and photos are shown as a brief introduction of chapter 4 where the fundamental design concepts of slope stabilization measures are outlined.

(1) Flexibel barrier at Gunung Tempurung and Gap-Fraser Hill

Flexible type barrier was found in the channel adjacent to the channel where debris flow occurred at Gunung Tempurung (Fig. 13). The barrier is installed close to the highway bridge.



Fig. 13 Flexible type barrier at Gunung Tempurung for capturing debris flow. Photo (a) is taken after the occurrence of debris flow on Ocotober 11, 2004; Photo (b) shows the flexible type barrier in the channel adjacent to the one shown in Fig. 12 (2012, June 28)



Another flexible barrier was found near the end of the channel of Gap Fraser Hill (Fig. 14). At this site, various forms of landslides, such as surficial failure, debris flows, massive landslides, may have intermittently occurred between November 16, 2007 and July 8, 2009, according to the chronological records of the failures and restoration works. Most distinct feature of the site is the series of retrogressive landslide which was the source of the debris flow.

The barrier is installed as a part of restoration work, including the shotcrete and sol nailing of the scarp area (Fig. 14 (b)). Close view of the barrier (Fig. 15) indicates that the barrier is similar to the one installed in the channel near the State Highway-1 of California (Fig. 16).

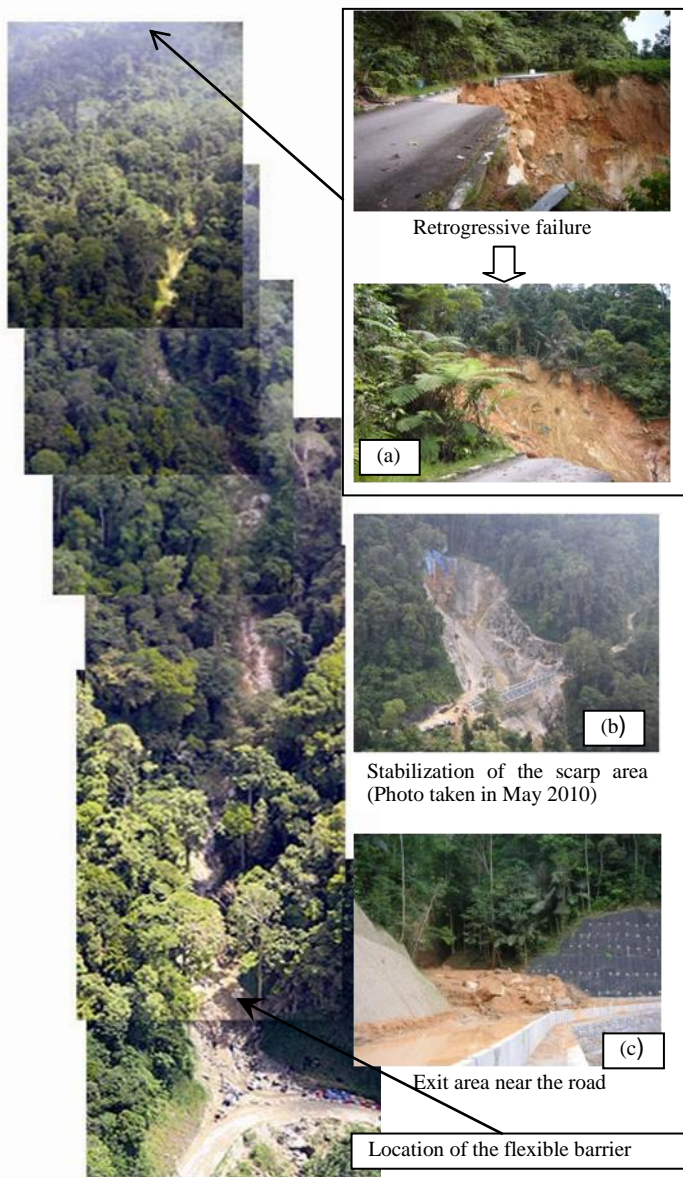


Fig. 14 Photos of the channel, initiation area, and exit point of the debris flow channel of Gap Fraser Hill. (a): Retrogressive failure that repeatedly occurred from 2007 to 2009; (b): Stabilization of the scarp area by shotcrete and soil nailing (Photo on May 2010); (c): Exit point of the channel near the road.



Fig. 15 Three meter high flexible type barrier at Gap Fraser Hill. (a): View from the road; (c) close view of the barrier showing the brakes and the ring net (Ocotober, 2010)



Fig. 16 Flexible type barrier in the channel near the State Highway-1 in California (August, 2013)

(2) Shotcrete and soil nailing at Kuala Kubu and Gap-Fraser Hill

The debris flow at the Kuala Kubu Bharu carried tons of debris comprising of boulders in various size, mud and tree trunks that deposited on the road FT55 (Fig. 17), and caused the road closure for 15 days. It is suggested that the debris flow occurred due to the surficial failure in the colluviums layer which was identified through geophysical investigation for designing the stabilization measures that are described below.

The 20 - 30m high initiation zone needed to be strengthened to prevent any future landslide. After the debris flow, most of the colluviums on the slope surface had been washed away, exposing the weathered granite layer. Based on the results of the site investigation, 9 m long soil nails with 100 mm thick shotcrete were designed to stabilize the initiation zone.



Fig. 17 Aerial photo of the stabilized scarp and the road (FT55) at Kuala Kubu.

Prior to beginning of this project, soil nailing work was observed on the East-West coast highway from Simpang Pulai to Kuala Berang as shown in Fig. 20. It is also noted that shotcrete and soil nails were used for stabilizing the head scarp of the site at the Gap Fraser Hill (Fig. 14 (b)).

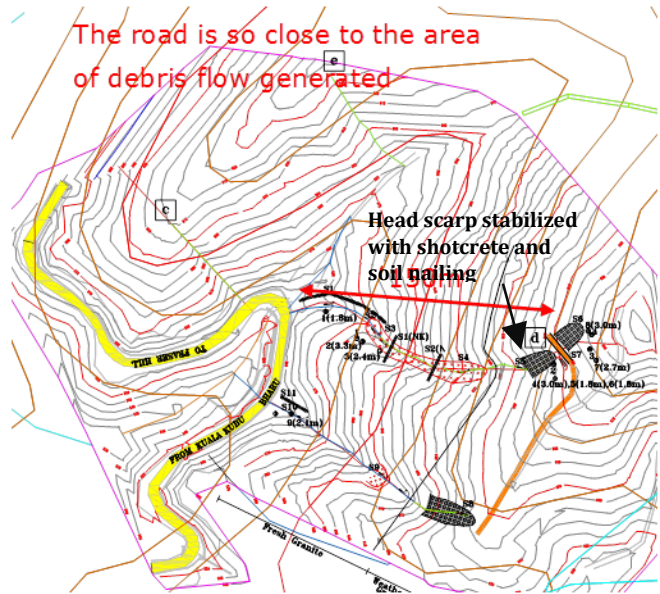


Fig. 18 Plan view of the location of the stabilized scarp area of the site at Kuala Kubu



Fig. 19 Photo of the shotcrete and soil nailings at the scarp area of the site at Kuala Kubu.



Fig. 20 Photo of the soil nail works along the East-West coast highway from Simpang Pulai to Kuala Berang (May, 2007) .

2-6 Slope design guideline

Guideline for slope design has been prepared by Slope Engineering Branch, Jabatan Kerja Raya MALAYSIA. Excerpts of the description concerning the stabilization of rock and cut slopes are shown below to note the basic design concepts and target factor of safety. The references cited in the guideline are shown in Table 4, where it can be seen that most of the references are the British standards. The “Geotechnical Manual for Slopes” contains suggestions for target Factor of Safety (FS).

(1) Rock slopes

All Rock slopes shall be analyzed and designed. Preliminary consideration can be used using 4V:1H for weathering grade I and 3V:1H for weathering grade II. If

analysis indicates that it is unstable, it shall be designed to a better gradient and/or requiring extensive stabilization measures. The type of stabilization measures to be used can be one of the following:

- permanent rock anchors
- rock dowels
- rock bolting
- buttress walls
- counter forts
- relieved drains, etc.

(2) Cut slopes

These include cut slopes in residual soils and in completely decomposed rock. All untreated slopes shall be designed with minimum of 2m berm width and maximum 6m berm height with a Factor of Safety greater than 1.3. Stabilization measures can be considered when the design is inadequate. Stabilization measures may include the following:

- soil nailing with slope surface protection
- permanent ground anchors
- retaining walls, etc.

The minimum global Factor of Safety for treated slopes shall be 1.5.

Table 4 References given the guideline for slope stabilization (Slope Engineering Branch, Jabatan Kerja Raya MALAYSIA, 2010)

1	GEO (1993). Geotechnical Manual for Slopes. Hong Kong Government, 295p
2	GEO(1987). Guide to Retaining Wall Design, Hong Kong Government Printer, 254p
3	British Standard Institution (1999). Code of Practices for Site Investigation (BS 5930:1999)
4	British Standard Institution (1999). Code of Practices for Site Investigation (BS 5930:1999)
5	British Standard Institution (1994). Code of Practices for Earth Retaining Structures (BS 8002:1994). British Standard Institution, London, 110p
6	British Standard Institution (1989). Code of Practices for Ground Anchorages (BS 8081:1989).
7	British Standard Institution, London, 176p
8	British Standard Institution (1989). Code of Practices for Foundations (BS 8004:1986). British Standard Institution, London, 125p
9	British Standard Institution (1995). Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills (BS 8006:1995). British Standard Institution, London, 176p

3. Monitoring and countermeasures for the landslide in El Salvador

Field investigation, monitoring, and drainage work of the landslide which occurred along one of the main highways of El Salvador, are described. The particular interest of this report is to present the results of the monitored displacement rates that markedly increased during the high rainfall period and reduced to almost negligible rates during the next rainfall period, owing to the installation of the horizontal drainage pipes. The first section briefly describes the basic geographical features and the background that are related to the landslide. Second chapter describes the results of borehole logging and monitoring to estimate the sliding surfaces and the groundwater levels. The subsequent sections present the results of the monitoring of displacements and groundwater level and discussion on the effects of rainfall and drainage works on the movements of the landslide.

These works were conducted as a part of technical support project of JICA (Japan International Cooperation Agency), aiming to strengthen the local government organization to better cope with natural disasters.

3-1 Geographical and geological outline of El Salvador

El Salvador is located in Central America with an approximate surface area of 20,742 km² which is similar to that of Shikoku in Japan. The North West border is Guatemala and Honduras is on the North east side.

The climatic condition of El Salvador is characterized by a tropical weather with two main seasons: *Invierno* (winter in Spanish) and *Verano* (summer in Spanish). Annual average rainfall is 1800 mm (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011). The mean monthly rainfall depth shown in Fig. 22 shows the typical trend. Unusually high monthly rainfall depths, shown in Fig. 22 to Fig. 24, correspond to the major tropical storms and depressions.

Central America, including El Salvador, is surrounded by Tectonic Faults and volcanic activity. Hence the area is prone to earthquake induced disasters, of which ‘January 13, 2001 Off the Coast of El Salvador Earthquake ‘ had caused large number of landslides that

lead to loss of precious lives and various structures (Konagai et al. 2004).

Volcanic and igneous rocks, such as basalts, andesites, rhyolites, lavas and pyroclastic rocks, are distributed nation-wide in El Salvador. Most of El Salvador Metropolitan area is covered with Tierra blanca which is an erodible and dispersive glassy fragment material of pyroclastic flow deposits, resulting from the eruption during A.D.410-535 (E. Hernandez, 2004). The period of the pyroclastic flow was estimated by the carbon isotope measurements of plant residue covered or embedded in the “tierra blanca” (Dull, R. et al, 2001). The Tierra blanca layer in the Metropolitan area originated from Ilopango Caldera.

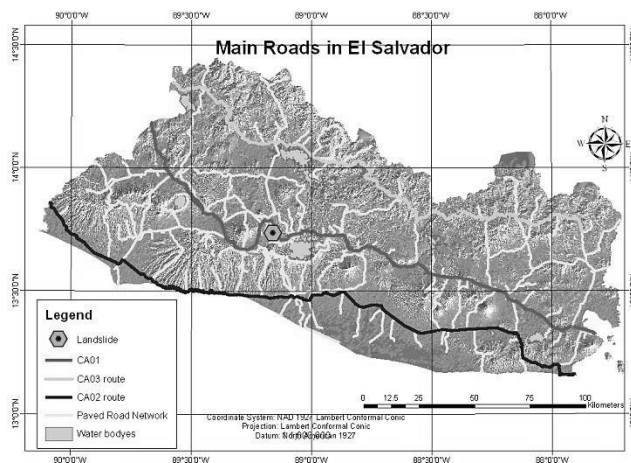


Fig. 21 Main roads and highways in El Salvador. The landslide on CA01E, 18.5 kilometer is highlighted.

El Salvador has longitudinal roads that cross the country from North West to South East interconnecting cities and villages as shown in Fig. 21. (Mapa Geológico Nacional, 1960). The three main longitudinal roads are: (1) CA01 that crosses the country through the most important cities, Santa Ana, San Salvador, which is El Salvador’s capital, and San Miguel, (2) CA02 that runs along the coast, allowing commercial activity and access to national harbors, beaches, (3) CA03 that crosses the country by the northern side and connect villages, such as Chalatenango, Morazán and La Unio, that are the main area of agricultural activities.

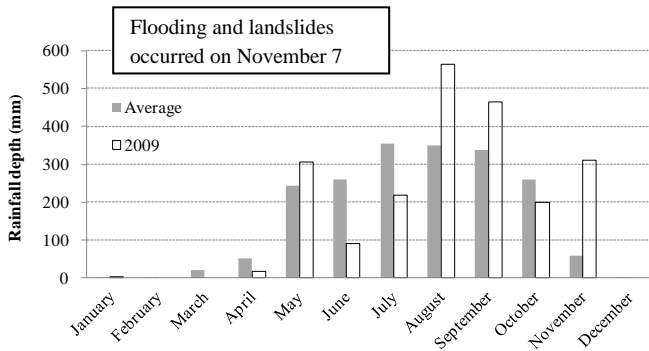


Fig. 22 Monthly rainfall depth of 2009, recorded by the rain gauge at Ilopango plotted with the mean monthly rainfall from 2003 to 2011. Unusually high rainfall can be seen in November in part reflecting the impact of Hurricane Ida (Nov. 7-8, 2009).

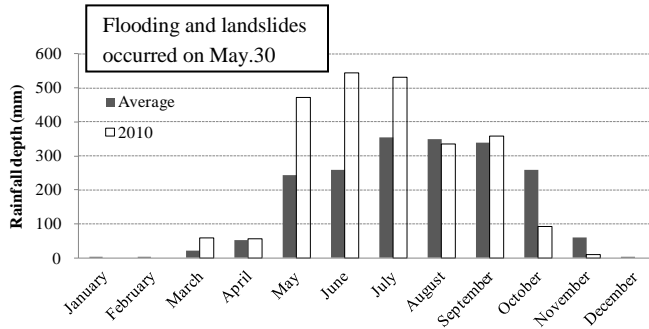


Fig. 23 Monthly rainfall depth of 2010 plotted with the mean monthly rainfall from 2003 to 2011. High rainfall can be seen in May due to the impact of tropical storm Agatha (May 29-30, 2010).

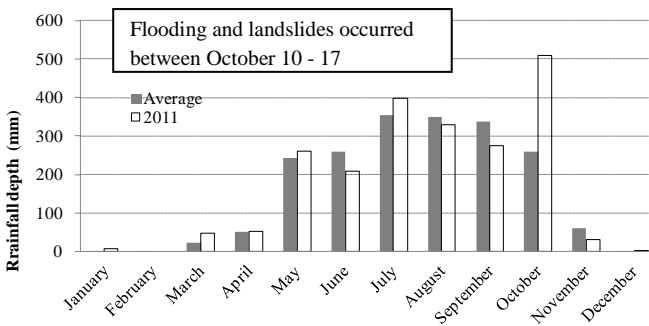


Fig. 24 Monthly rainfall depth of 2011 plotted with the mean monthly rainfall from 2003 to 2011. High rainfall can be seen in October due to the impact of Tropical Depression Twelve-E (October 10-17, 2011).

3-2 Background of the landslide

Road construction was performed from August 2002 to January 2004, in order to improve the traffic efficiency between San Salvador and Ilopango cities. The name of the project is; “Paquete III: Construcción de Carretera (CA:1), entre (CA:4) Troncal del Norte y Calle a Tonacatepeque. On September 2003, a precursor of landslides were found on the 18.5 kilometer (Measured from the center of the capital), which lead to redesign of the road alignment and road embankments (DTI S.A. de C.V., 2012). The main mass movement occurred on January 15 of 2009, blocking the two lanes in the East to West direction (Fig. 25). The mass movement cannot be directly attributed to rainfall, since January is part of the dry season. However, high water content was observed in the displaced mass, implying that the groundwater is likely the triggering source. The landslide had a height of approximately 65 meters, 140 meters length and 120 meters width, and the volume of approximately 130,000 m³. The landslide mass mainly consists of two pyroclastic strata: the lower blown strata and the upper white or grey strata. The upper part of the blown strata is heavily weathered with high clay contents, implying low permeability.



Fig. 25 Bird’s eye photo of the landslide and CA01E taken on January, 2009. (The road is heading towards West).

3-3 Borehole logging and monitoring

(1) Outline of the borehole logging

In May 2012, two vertical drillings were performed: Borehole 1 (BH1, 25 m deep) and Borehole 2 (BH2, 23 m deep) as shown in Fig. 28 . These boreholes served

for three main purposes: (1) determine characteristics of materials, (2) install PVC pipes instrumented with strain gauges and (3) monitor groundwater level.



Fig. 26 Photos of the landslide taken on June 11, 2012: (a) bird's eye view; (b) toe of the landslide facing Ca01E.

derived from the pyroclastic flow deposits. In some cases, these soft rocks are present as an intrusive tuff dyke with steep dip. The fundamental factors contributing to the landslide activity is considered as follows. Firstly, the paleosol clay, which is the top portion of the Tobas color café, has very low shear strength under saturated conditions. Secondly, the boundary of Tierra blanca and Tobas color café exhibit “dip slope” towards the scarp of the landslide (Fig. 28). Thirdly, this boundary acts as an impervious clay layer with spoon-like concave formation such that groundwater tends to cumulate inside the landslide. Hence, the boundary, consisting of paleosol clay, is thought to be the sliding surface which is confirmed by the vertical strain profile of the PVC pipes.

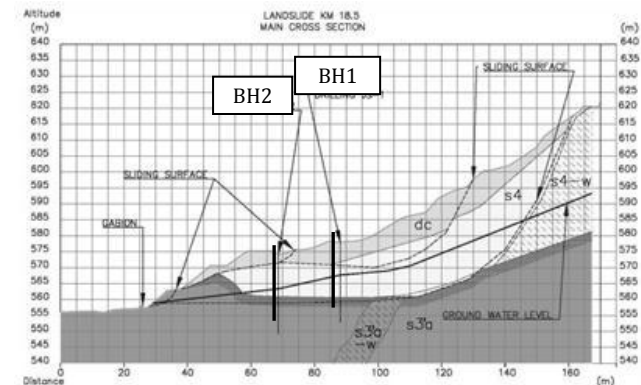


Fig. 28 Main cross section of the landslide with the main geological stratigraphy that is given in Table 5.

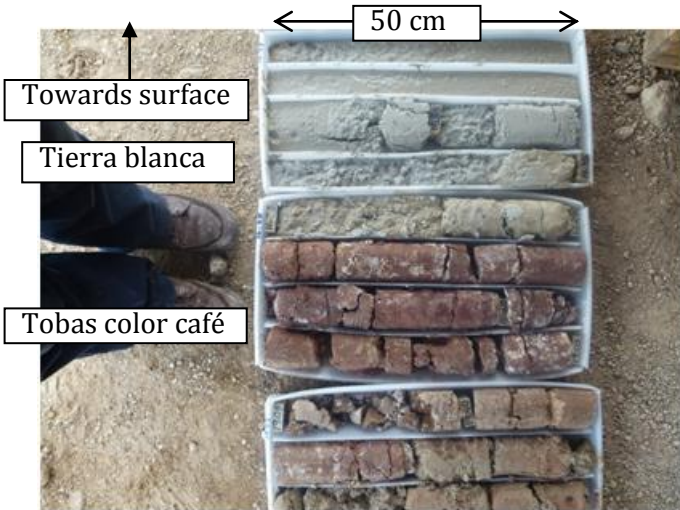


Fig. 27 Example of core sample from the borehole BH1, showing transition from the Tierra blanca to the underlying Paleosol of Tobas color café (Table 5) at the depth of 16.75 m.

(2) Stratigraphy

Two main strata were identified as shown in Fig. 27 and Table 5: (1) Pyroclastic soil (tierra blanca), showing silt to silty sand characteristics and (2) Silty clay and partially cemented Tobas color café, which is Holocene blown pyroclastic flow deposits from San Salvador Volcano. Both strata contain weakly welded soft rock

(3) Monitoring of vertical strain profile

Deformation of the landslide mass in the depth direction was measured by two PVC pipes (diameter: 2 inches) instrumented with strain gauges attached at 1 m interval on the external side of the pipe. The pipe was perforated so that the groundwater can be also monitored. This pipe will be referred to as the strain-pipe meter in this report.

Results of the two strain-pipe meters, installed in borehole-1 (BH1) are shown in Fig. 29 . As shown in Fig. 29 , the strain at 18.5 m depth of BH1 started to markedly increase from May 11th to July. This trend suggests that pipe is subjected to shear deformation across the sliding surface which is likely located at the depth of 18.5 m. After July 6 sudden increase was observed with the strain at the depth of 7.5 m, indicating possibility of another shallow sliding surface.

A similar trend is found with the strains measured with the pipe in BH: the strain at the depth of 15.5 m started to show large increase from May 11th to July.

Table 5 Stratigraphy of the Landslide CA1E-18.5 km Landslide

Age	Symbol	Geologic formation	Description
Holocene	dc	depósito coluvial	Colluvial deposit of weathered pyroclastic, volcanic product with some plant residue and/or organic matter.
	s4 s4-w	Tierra blanca	White to light grey, acidic pyroclastic, volcanic effusive deposit, portion of non-welding (s4) and partially weakly welded and soft rock (s4-w). Generally, permeable to semi-permeable, partially impermeable due to weak-welding.
	s3a	Paleosol of Tobas color café	Brown clay of highly-plastic, with some fragment of volcanic product.
	s3a s3a	Tobas color café	Brown, acidic to intermediate pyroclastic, volcanic effusive deposit, partially weakly welded and soft rock. Top portion of averaging three-meters thickness from boundary of "tierra blanca" is highly-weathered clay of paleosol and low permeable.

Note: s4 *tierra blanca*, s3'a *tobas color café* are referred from Mapa Geológico, 1987

(4) Monitoring of groundwater level

The groundwater level was manually monitored, using the perforated PVC pipes in BH1 and BH2, since May 12 of 2012 to examine the response of the groundwater level with respect to the effects of the rainfall and the drainage works. The groundwater level was measured several times a week during the rainy season and it was measured weekly during the dry season. Therefore, rapid response to the rainfall may not have been captured.

The rainfall data was obtained from the Illopongo-station which is 6.2 km distant from the landslide. The groundwater profile is estimated using the monitored groundwater levels that was in the old borehole before the occurrence of landslide (Fig. 36).

As shown in Fig. 30 , the groundwater level of BH1 increased by 2 m at the beginning of measurement. However, the groundwater levels of BH1 and BH2 do

not show significant response to the subsequent rainfall, where working rainfall with 3 days half-life and cumulative rainfall depth of 1 year are also shown. It is also noted that the groundwater level does not decrease during the dry season. These trends imply that the flow of the groundwater near the borehole is stagnant.

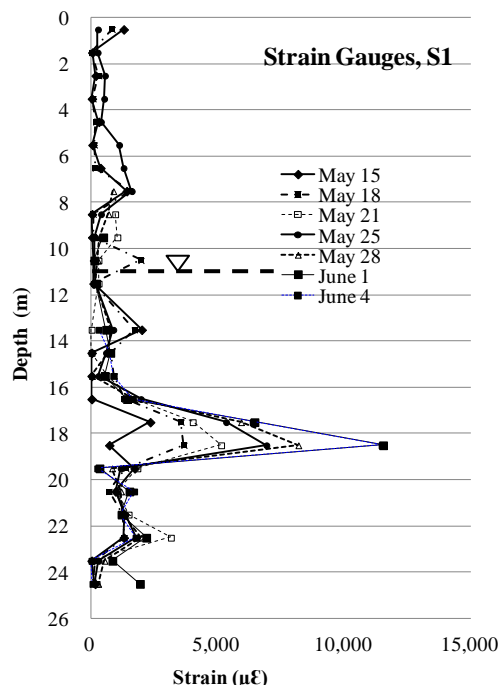


Fig. 29 Vertical strain profile of the pipe-strain meter in Borehole 1 (BH1)

(5) Monitoring of displacements by electric distance measurement

Displacements of control points, installed within the landslide mass, were manually monitored by the electronic distance measurement (EDM). The control points are made of wooden dowels (50 mm in diameter) which were knocked into the ground until it is stable. The locations of the control points and the bench mark are shown in Fig. 35 together with the axis of coordinates in X and Y directions. The axis in the vertical direction is defined as the Z-axis

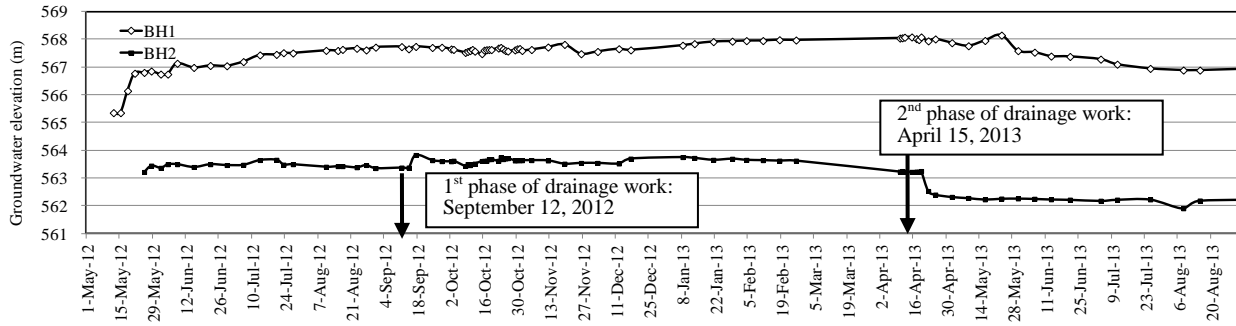


Fig. 30 Groundwater level from May 1 2012 to September 1, 2013.

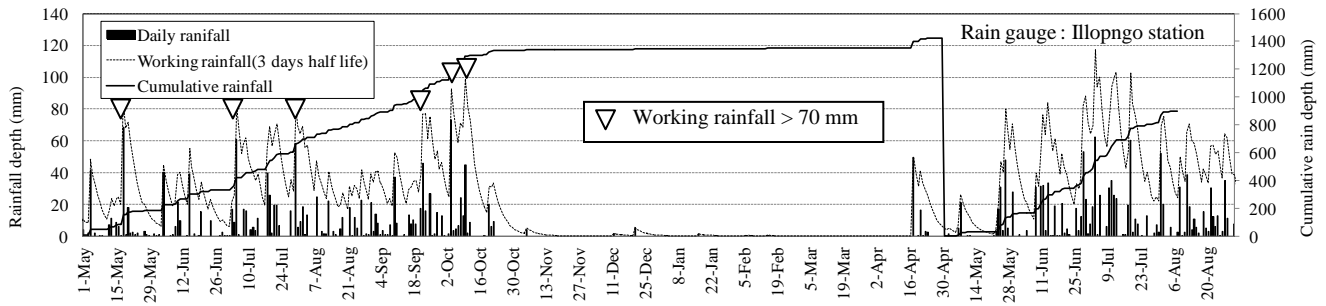


Fig. 31 Rainfall depth, working rainfall, and cumulative rainfall May 1, 2012 to September 1, 2013

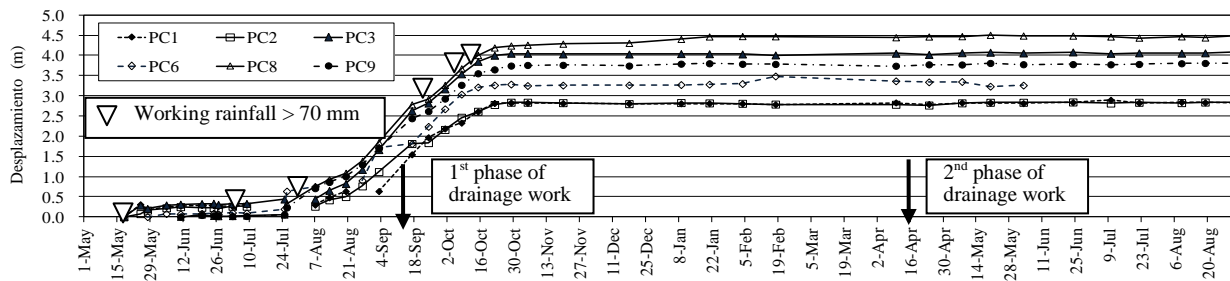


Fig. 32 Displacements (m) measured by electronic distance measurement (EDM)

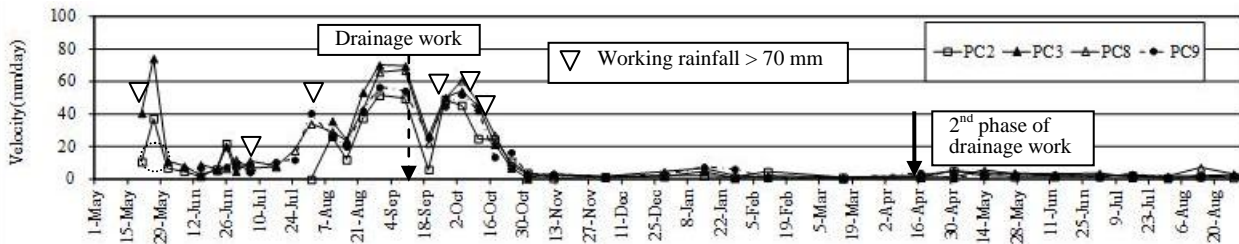


Fig. 33 Velocities (mm/day) of four control points that show close similarity

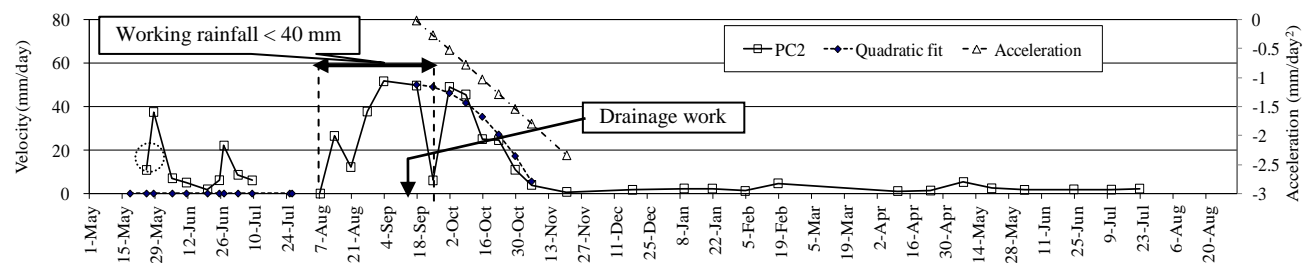


Fig. 34 Approximation of velocity (PC2) by quadratic equation and the acceleration calculated from the quadratic equation

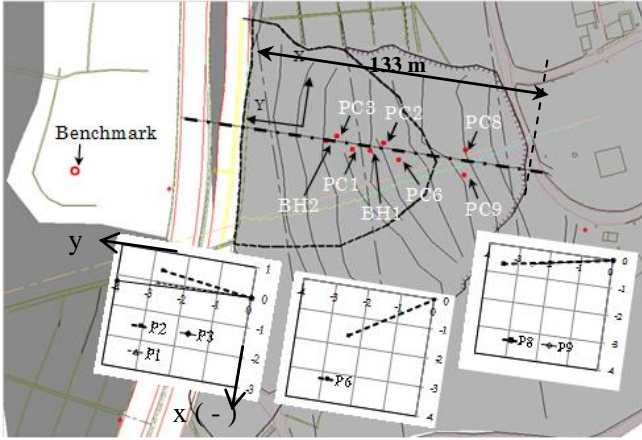


Fig. 35 Locations of control points for monitoring of movements by the electronic distance measurement. Displacement vectors from September 2012 to December 2012 are also indicated in unit of m.

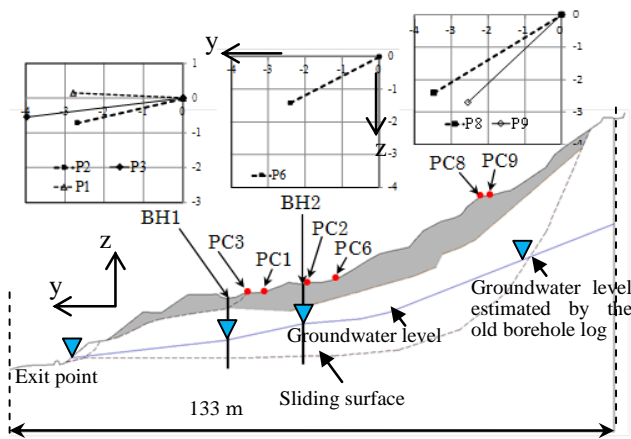


Fig. 36 Cross section of the landslide along the dashed line shown in Fig. 35. Displacement vectors are based on displacement components in Y and Z directions from May 15 to Nov. 20 of 2012.

The time variation of the displacements, shown in Fig. 32, is obtained by computing the lengths between the initial and the subsequent coordinates. These control points started to move on May 15th followed by a steady movement and marked acceleration in August of 2012. The movement stops at the end the rainy season of 2012. These trends clearly indicate that the rainfall is the main trigger of the movement.

A close similarity in the velocities of control points, P2, P3, P8, and P9 (Fig. 33) suggest that the landslide was moving as single mass. The displacement vectors in the X-Y plane, corresponding to the maximum displacement of 2012, are plotted in Fig. 35. The orientations of the vectors are close to the gradients of the surficial contour lines adjacent to the each control point, implying that movements of the control points are affected by the local topography. The displacement vectors in the Y-Z plane show that the gradients of the vectors become planer towards the toe of the landslide, reflecting the geometric characteristics of the sliding surface (Fig. 36).

Although working rainfall exceeding 70 mm in May and July appear to have induced the active movements, the working rainfall is relatively low when the velocities reach the peak values. This may be due to differences in the rainfall depths at the site and the measured station that is 6 km away. Moreover, no significant increase in the groundwater level is observed when there is significant increase in the velocities. This may be due to the fact that the peak of the groundwater level may not have been captured by the manual measurement as mentioned earlier.

The high velocity in the range of 50 to 70 mm/day had induced localized failures near the toe region (Fig. 37) and has become a concern for the safety of the traffic and the prevention works were performed as described in the following section.



Fig. 37 Toe region of the landslide showing localized surficial failures (Photo taken on September 11, 2012)

3-4 Rainfall analysis

As soon as the landslide was found to become active, early warning and quick implementation of the stabilization work had become the concern of the engineers and the administrations. Installation of the horizontal drainage pipes was the selected as the quick stabilization measure which will be described in section 3-6.

Rainfall depth was one of the limited options to issue the warning, since automatic data logging and data transfer from the site to the administration office were not feasible. Although only daily rainfall depth was available from the rain gauge located at 6 km distance from the site, rainfall data was collected to assess the possibility to use the daily rainfall depth as a way to issue warning.

Use of the daily rainfall was proposed by Lumb (1975) who published a chart, showing the set of threshold classes defined as “Isolated”, “Minor”, “Severe” and “Disaster” which were established based on the landslide events in Hong Kong (Fig. 38). In this chart, 1-day and 15-day rainfall depths are considered to express the short and long term effects of the rainfall, respectively.

One-day and 15-days rainfall depths are plotted, using the data from 2003 to 2012 taken at Illopango station which is 6 km distant from the landslide (Fig. 39). The dates in the plot correspond to the major tropical depression or storms that are described in the Figure caption.

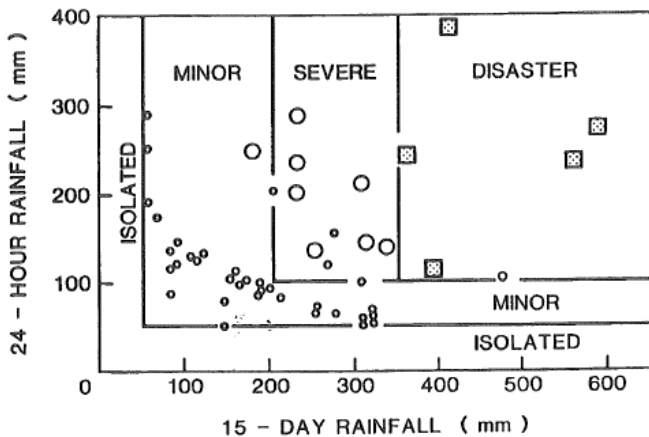


Fig. 38 Chart of rainfall threshold for landslide in Hong Kong proposed by Lumb (1975).

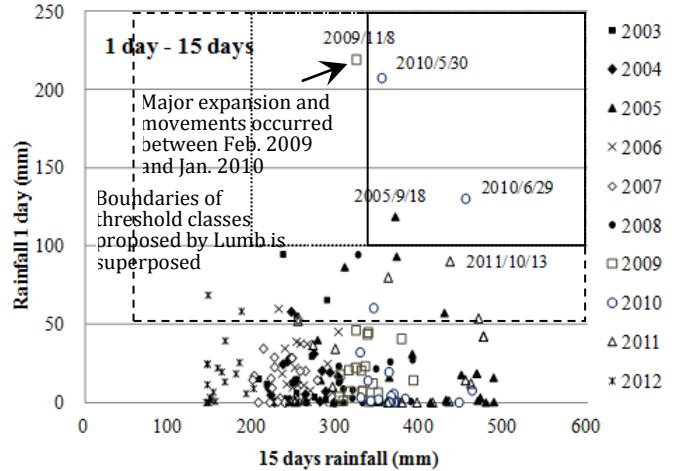


Fig. 39 Plot of 1-day and 15-days rainfall depths of the station at Illopango, using the data from 2003 to 2012. Solid and dashed envelopes correspond to the threshold classes proposed by Lumb (1975). The dates in the plot correspond to the major tropical depression or storms: Tropical storm Stan on 2005/9/18; Low pressure system on 2009/11/7 to 8 following Tropical storm Ida; Tropical storm Agatha on 2010/5/30; tropical depression 12E on 2011/10/13.

As shown in Fig. 39 , except for the tropical depression 12E, three major events are inside the “Severe” class. It is noted that a major expansion and movements of the landslide can be seen by comparing the two aerial photos of the Google Earth dated February 2, 2009 and January 27, 2010. Hence, even though the Illopango station is 6 km away from the landslide, this type of analysis and data collection can be helpful in improving the warning method.

A similar plot is made with the same rainfall data, using the 1-day WR (working rainfall) and 15-day as shown in Fig. 40 . A cluster of points appears to be formed as the differences in the values of 1-day WR between the normal rainfalls and the strong tropical storm and depression become more pronounced (Fig. 41). The extreme two points corresponding to 2009/11/8 and 2010/5/30 are the common trend in Fig. 39 and Fig. 40 . If these points can be correlated with the landslide events through further collection of rainfall data from different rain gauge stations

together with the landslide events, a classification method similar to the one proposed by Lumb (1975) may be developed. Furthermore, additional study is needed in finding the relevant ways to express the short and long term effects of the rainfall.

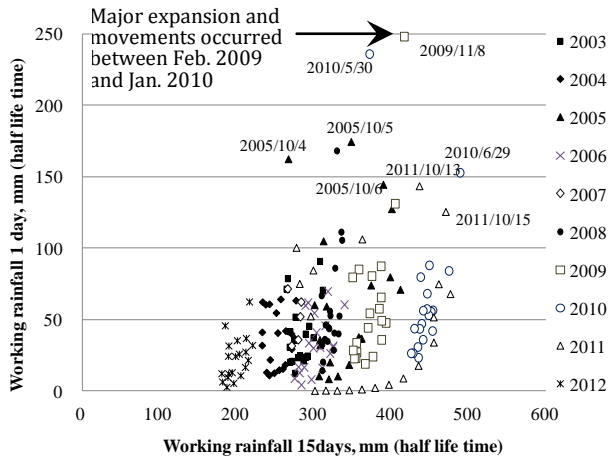


Fig. 40 Plot of WR(working rainfall) with 1-day half life and 15- days half-life. Dates for the points corresponding to the major tropical storm and notably high values are shown.

3-5 Relationship between factor of safety and groundwater level

Variation of the factor of safety (FS) was calculated with respect to change in the groundwater level. Firstly, the cohesion and internal friction angle were back calculated with a hypothetical factor of safety according to the guideline published by Japan Road Association (2009). Guide line indicates that the cohesion may be assumed to be proportional to the maximum thickness of the landslide mass.

The internal friction angle was back calculated, using Morgenstern-Price and Fellenius methods. The hypothetical factor of safety was assumed to be 1.0, corresponding to the steady state conditions of early June of 2012. The results shown in Table 6 indicate that Fellenius method gives higher friction angle than that obtained with the Morgenstern-Price method. Higher friction gives higher sensitivity in FS against variation in groundwater level.

The range of variation of FS versus the groundwater level measured in BH2 indicated that the FS varies

approximately 0.01 when the groundwater level varies by 200 mm.

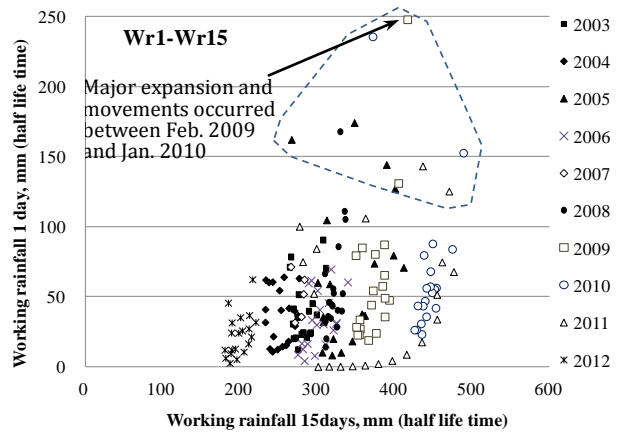


Fig. 41 Plot of 1 day WR(working rainfall) versus 15-days WR. Dates for the points corresponding to the major tropical storm and notably high values are shown

Table 6 Back calculated strength parameters of the sliding surface

Computation Formula	c' (kPa)	ϕ' (°)	ISF
Morgansten-Price	15	18.23°	1.000
Fellenius	15	20.55°	1.000

3-6 Prevention work by the horizontal drainage

Drainage work was the prevention works of choice, since rainfall is the main trigger of the landslide. Among various drainage methods, horizontal drainage pipes was planned in order to extract the groundwater above the sliding surface. This method allows safe working condition by setting the drilling machine outside the toe area of the landslide. It was a new approach to be applied in El Salvador.

The horizontal drillings were performed in two phases. During the first phase, which took place on September 12 of 2012, 50 meter long perforated PVC pipes were installed in 7 different locations. In the second phase, the length of the drainage pipes were increased to a maximum of 100 m. Total of 220 m pipes (pipes Pipe 10, 11 and 12 in Fig. 42) were installed at three locations on April 15 of 2013. Additional pipes with lengths varying from 0.8 to 14

meters have been drilled with manual equipment to measure the seepage rate at the toe of the landslide.

Although the sudden decrease in the velocity of the 4 control points, found on September 18 of 2012, may be reflecting the effects of the first phase of the drainage work, it did not show clear effects in reducing the landslide movements during the subsequent rainfalls (Fig. 33). The effect of the drainage work was examined in more detail by analyzing the variation in the velocity. It was assumed that the variation of the velocity can be approximated with a quadratic equation. The quadratic equation was fit to the variation of velocity of PC2 observed after September 16th (Fig. 34). The results of the analysis are thought to be applicable for PC3, PC8, and PC9 as well. The quadratic equation fit to the variation of velocity is;

$$\text{Velocity} = a(\text{time} - p)^2 + q \quad \text{---- (11)}$$

where, a, p, and q are constants that are determined with the three given time and velocities. Then from equation (11), the acceleration can be obtained by;

$$\text{Acceleration} = 2a(\text{time} - p) \quad \text{---- (12)}$$

As shown in Fig. 34 , the acceleration calculated from the equation shows decelerating trend, implying that the driving force has become less than the resistance force. Hence, reduction in the velocity from September 16th to October 10th, corresponding to the working rainfall that exceeds 70 mm, may be in part due to the effect of drainage work.

The second drainage work, on the other hand, clearly reduced the effects of rainfall on the landslide movements as can be seen in Fig. 33 , where no significant movement was observed during the rainy season of 2013. It is also noted that the groundwater level of BH1 (lower side) rapidly decreased by 1 meter soon after the installation of the drainage pipe (Fig. 30). The groundwater level in BH2, on other hand, slowly decreased about 1 m, from April to August which corresponds to the rainy season (Fig. 30). The differences in the decreasing rate of the groundwater levels imply that there are heterogeneous flow paths within the landslide, i.e., there may have been flow paths near BH1 and the drainage pipes.

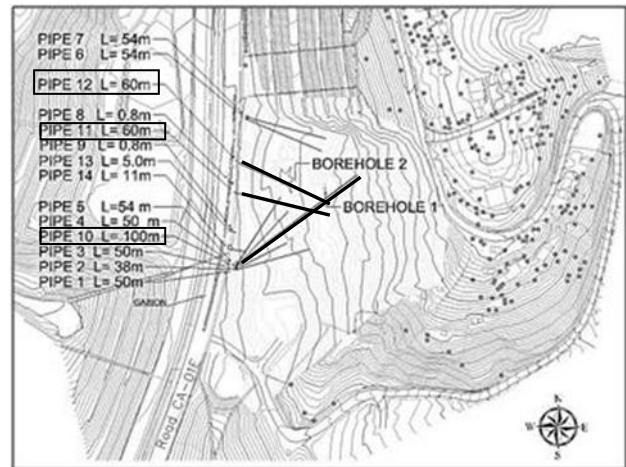


Fig. 42 Plan view of the horizontal drainage works done at the landslide site. The drilling number in the second phase of the project is marked with square and thick line.

4. Discussion on the early warning method and review of fundamental design concepts for slope stabilization

This manuscript outlines some of the contents of the technological transfer projects performed in peninsula Malaysia and El Salvador. Discussion and some of the noteworthy remarks for the early warning and slope stabilization measures are described below.

4-1 Early warning by monitoring of Rainfall

Applicability of the methods using the working rainfall, Soil Water Index (SWI), and Intensity-Duration equations were examined for the 8 locations in Malaysia where the debris flow had occurred. It was found that SWI is not readily applicable, since it requires 10 years of hourly rainfall data for the specific area of interest. However, in some cases the index showed a marked increase prior to the failure, thus implying that SWI can be regarded as the precursor of approaching the limiting state.

In the case of analysis performed for the site in El Salvador, there was almost no hourly rainfall data such that neither Caine's method nor the methods used in Japan could be applied. Therefore, Lumb's method, based on daily rainfall for the landslides in Hong Kong, was assessed. The method of Lumb

showed that the extreme value of Nov. 8th, 2009 is classified as “Severe”. Based on the observation of the two photos of Google Earth taken at different periods, it is likely that there was a major expansion and movements of the landslide on this date. Thus, in the absence of hourly rainfall data, efforts placed in collecting and analyzing the daily rainfall could help understand the general trend of landslide occurrences with respect to the rainfall patterns.

If hourly rainfall data are available but lacking long term records, worldwide Intensity-Duration equations of the type developed by Caine (1980) may be applied. While there are a number of similar equations, most of these equations have only two parameters which is appealing in using it as a preliminary criterion prior to developing a relevant criterion for the local conditions. Intensity duration data corresponding to the landslides that occurred in the weathered granitic slopes in Japan, 4 sites in Malaysia, and one data available from Illoponago station during the tropical storm, are plotted together as shown in Fig. 43 . It is noted that the I-D of Malaysia in this Figure is the mean intensity, whereas the intensity shown in Fig. 8 was the peak value. The points from different sources tend to be scattered, whereas the points within Hiroshima region tend to cluster around the curve given by Ceriani and Cane. The points obtained from Malaysia have become more scattered in comparison with the case, using the peak intensity. The single point of Illoponago station is near the curve given by Larsen and Simon. These trends suggest that there is no universal threshold curve that is applicable for different regions even within the same country. However, as discussed before, the threshold intensity calculated with the duration is close to the height of water in the tank of the tank model, if the discharge is negligibly small compared to the rain depth. Hence, it can also be regarded as a rough approximation of the amount of water retained in the ground. If all the other factors controlling the stability are the same, the amount of water that the ground can store without failure can be considered the same. Therefore, if I-D criterion is calibrated for each region with different geomorphological, hydrological, and geological conditions, it can potentially be used to help issuing the early warning.

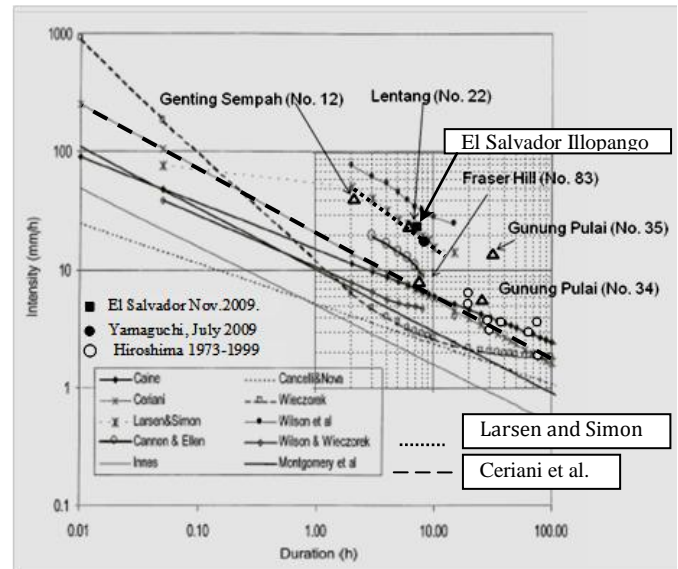


Fig. 43 Intensity-Duration data of failed slopes in Hiroshima-prefec (1999). and Ymaguchi-prefec (2009). Japan, 4 sites in Malaysia, and one data of Illoponago station are superposed on I-D curves. Intensity of Illoponago is the mean taken from the beginning of the continuous rainfall to the peak hourly data.

$$\text{Larsen and Simon (1993): } I = 91.46 \cdot D^{-0.82} \quad (13)$$

$$\text{Ceriani et al. (1992): } I = 20.1 \cdot D^{-0.55} \quad (14)$$

4-2 Remarks on the structural countermeasures

While conducting the field investigation in Malaysia stabilization measures of cut slopes and barriers to capture debris flows were notable. In El Salvador, a significantly large retaining structure, that protects the road foundation from losing stability due to erosion of the river, was found near the border to Guatemala. The bottom part of the concrete wall is supported by micro piles and the ground anchors are installed to pull the wall. These observation raised interest in studying the design concepts and the guidelines used in these countries.

In this manuscript concepts and suggested values of the Factor of Safety (FS) and the methods of stability analysis are reviewed as a preliminary study. Review of these concepts was limited to the public sources

that can be found on the internet. Three documents that outline the design guideline of slopes in Malaysia, U.S. department of transportation Federal Highway Administration, Geotechnical Office of Hong Kong were found (Table 7). At this point, no attempt was made to collect the design guidelines for the slope stabilization in El Salvador.

As shown in Table 7, the basic definition of FS, common to these three documents, is based on the definition given by Bishop in 1955: Ratio of average available shear strength of the soil along the critical slip surface to that required maintaining equilibrium.

The methods to determine the target FS described in the manual of Hong Kong Government is different from the rest of the two documents in that the designers need to take into account the return period of the rainfall and also the severity of the potential damages as shown in Table 8 and Table 9. The Factor of Safety required for the new slope tends to be higher than that required for the existing slope. This distinction is similar with the guideline of Malaysia. Although no detail is given in the publication of U.S. Federal Highway administration, it is implied that FS lower than 1.2 is not recommended in case of using ground anchors for stabilization.

Suggested methods of stability analysis for designing stabilization measures are summarized in the manual of Hong Kong Government: For circular and non-circular failure surface, Moegenstern-Price, Janbu, Bishop, and Sarma are listed while Fellenius method is not included. The publication of the U.S. Federal Highway Administration indicates that the preferred choice of the method is the limit equilibrium method that satisfies both moment and force equilibrium. Although no specific recommendation is made in the guideline of Malaysia, reference is made to the Geotechnical manual of Hong Kong government, implying that the methods should conform to those given in the manual of Hong Kong government.

Although no rigorous comparison of concepts and suggested target FS between the cited three documents and the Japanese guidelines are made at this point, a remark on the back calculation of shear strength is noted: procedure to back calculate the shear strengths with a hypothetical FS is briefly mentioned in the supplementary notes of Table 9.

However, the suggested hypothetical FS is limited to 1.0 and no other values of FS are given. Furthermore, no description is given as to how to determine the two unknowns: internal friction angle and the cohesion.

Acknowledgments

For the project performed in Malaysia authors wish to express sincere appreciation to the engineers and administrators of the Slope Engineering Branch, Jabatan Kerja Raya MALAYSIA of for financing and directing the project. Special thanks are due to Dr. Che Hassandi Abdullah for his kind advices and leading the project with valuable guidance. Authors are also grateful for the engineers and managers of Kumplan IKRAM SDN BHD for conducting the field investigation as well as providing kind assistance in managing and performing the project.

For the project performed in El Salvador, authors are grateful for the valuable financial and technical supports provided by the Japan International Cooperation Agency, JICA, and the Japanese experts through the project GENSAI: The Project for Capacity Development of the Department of Climate Change Adaptation and Strategic Risk Management for Strengthening of Public Infrastructure to the development of this work. Authors are most grateful for the dedicated efforts of DACGER team of MOP (Ministerio de Obras Públicas) in carry out the projects and promoting the technology transfer.

Table 7 Definition and suggested Factor of Safety give in the three guidelines

	Guidelines for Slope Design: Slope Engineering Brach, Public Works Department Malaysia (2010):	Geotechnical Manual for Slopes GEO (2011): Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong	Geotechnical Engineering Circular No. 4, Ground anchors and anchored systems (1999): U.S. Federal Highway Administration
Definition of FS	Adopted Factor of Safety from international standard such as GEO Hong Kong and British Standard.	Ratio of average available shear strength of the soil along the critical slip surface to that required to maintain equilibrium.	FS is based on the ratio of the soil strength available to the soil strength required for the equilibrium(FHWA-RD 98-065, 1998, Bishop 1955)
Suggested FS	Cut slopes: The minimum global Factor of Safety for treated cut slopes shall be 1.5	Table 8 and Table 9	The target slope stability factor of safety for slopes and landslide stabilization systems is typically 1.2to 1.3.
Method of stability analysis	Refers to Geotechnical Manual for Slopes by Hong Kong Government	For circular and non-circular failure surface, Moegenstern&Price, Janbu, Bishop, and Sarma are listed	If available, a limit equilibrium method that satisfies both moment and force equilibrium should be used.

Table 8 Recommended Factors of safety for New Slopes for a Ten-year Return Period Rainfall (Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong)

ECONOMIC RISK \ RISK TO LIFE		Recommended Factors of safety against loss of life for a Ten-year Return Period Rainfall		
		Negligible	Low	High
Recommended Factor of Safety against economic loss for a Ten-year Return Period Rainfall	Negligible	>1.0	1.2	1.4
	Low	1.2	1.2	1.4
	High	1.4	1.4	1.4

- (a) In addition to a factor of safety of 1.4 for a ten-year return period rainfall, a slope in the high risk-to-life category should have a factor of safety of 1.1 for the predicted worst groundwater conditions.
- (b) The factors of safety given in this Table are recommended values. Higher or lower factors of safety might be warranted in particular situations in respect of economic loss.

Table 9 Recommended Factors of safety for the Analysis of Existing Slope and for Remedial and Preventive Works to Slopes and for a Ten-year Return Period Rainfall (Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong)

Risk to Life	Recommended Factor of Safety Against Loss of Life for a Ten-year Return Period Rainfall		
	Negligible	Low	High
	>1.0	1.1	1.2

- (a) These factors of safety are minimum values to be used only where rigorous geological and geotechnical studies have been carried out, where the slope has been sanding for a considerable time, and where the loading conditions, the groundwater regime and the basic form of the modified slope remain substantially the same as those of the existing slope.
- (b) Should the back-analysis approach be adopted for the design of remedial or preventive works, it may be assumed that the existing slope had a minimum factor of safety of 1.0 for the worst known loading and groundwater conditions.

- (c) For a failed or distressed slope, the causes of the failure or distress must be specifically identified and taken into the design of the remedial works.

References

- Alfaro, A.A., D. I., Cortés,D.I, Calderón,S.C., Kuraoka, S., Mori,M., A. Montoya, A. (2012): Identification of Sliding Plane and Effectiveness Study of Drilled Underground Drains in a Landslide, Tegucigalpa, Honduras. 5.
- Cortés, D. I. and Alfaro,A.A. (2012): Geotechnical Problems in El Salvador Related to Tropical Depression 12E, First Central American and Caribbean Landslide Congress, Tegucigalpa, Honduras.
- DTI S.A. de C.V. (2012): Estudio Diseño Final Construcción de las Obras de Estabilización en zona de deslizamiento de Talud Kilómetro 3+800 – 4+100 L.D. Paquete III: Calle a Tonacatepeque – Carretera Troncal del Norte, San Salvador, El Salvador.
- Dull, Robert A.; Southon, John R.; Sheets, Payson (2001): Volcanism, Ecology and Culture: A Reassessment of the Volcan Ilopango Tbj eruption in the Southern Maya Realm. Latin American Antiquity (Latin American Antiquity, Vol. 12, No. 1) 12 (1), pp.25–44.
- Estado de El Salvador (2010): Versión actualizada del documento base que forma parte integrante de los informes de los Estados partes, El Salvador.
- Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong (2011): Geotechnical Manual for Slopes, Fifth print, 302p.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C. (2008): The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update, Landslides, 5, pp.3- 17.
- Hernandez, E.W. (2004): Caracterización Geomecánica de las Tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador, Madrid, Spain.
- Japan Road Association (2009): Guide to Road Earth Works- Slope Cutting and Slope Stability Works, Japan.
- Konagai, K., Jorgen, J., Paola, M., Uzuoka, R., Yamamoto, T., Miyajima, M., Nelson, P., Sassa, K., Fukuoka, H., Duran, F. (2004): Las Colinas Landslide: rapid and long-travelling soil flow caused by the January 13, 2001, El Salvador earthquake, Geological Society of America, Special Paper 375, pp. 39 – 53.
- Lumb P. (1975): Slope failures in Hong Kong. Quart. J. Engng Ceo 1., 1975, 8, pp.31—65.
- Mapa Geológico Nacional, Geological Nacional Map, (1987): Proyección Cónica Conformal de Lambert Datum Norteamericano de 1927, color, elaborated by Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ministry of Environment and Natural Resources).
- Mapa Red Vial Nacional, National Road Network Map, (2011): Conical Conformal Projection Lambert North American Datum 1927, color, elaborated by Ministerio de Obras Públicas (Ministry of Public Works).
- Matthias, J. and Hungr, O (2005): Debris-flow Hazards and Related Phenomena, Springer.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN, (2011): Descripción y cronología de la Depresión Tropical 12E y sistema Depresionario sobre El Salvador, 10 a 19 de octubre de 2011.
- Slope Engineering Brach, Public Works Department Malaysia (2010): Guidelines for Slope Design
- Safeland Deliverable D1.5 Statistical and empirical models for prediction of precipitation-induced landslides.
- Thi Ha, Sasaki, Y. and Unegawa Y. (2004): Simplified method to calculate the groundwater level inside a hillside slope during rainfall, Bulletin of the Graduate School of Engineering, Hiroshima University, Vol. 5, No.1. pp.43 – 51.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (1999): Geotechnical Engineering Circular No. 4, Ground anchors and anchored systems, Publication No. FHWA-IF-99-015, 176p.

(公社)日本地すべり学会関西支部協賛会員名簿

平成26年4月1日現在 26社

(五十音・口数順)

(会社名)	(電話番号)	(口数)
有限会社 太田ジオリサーチ	078-907-3120	3
中央復建コンサルタンツ株式会社 情報マネジメント室	06-6160-1121	3
日本工営株式会社 大阪支店	06-7177-9500	3
アジア航測株式会社 西日本コンサルタント部	06-4801-2250	2
株式会社 荒谷建設コンサルタント 総合技術部	082-292-5481	2
株式会社 宇部建設コンサルタント	0836-72-0392	2
株式会社 エイト日本技術開発	086-252-8917	2
応用地質株式会社 四国支社	089-925-9516	2
河井建設工業株式会社	0868-26-3787	2
川崎地質株式会社 西日本支社	06-6768-1166	2
株式会社 クボタ	06-6648-2322	2
国土防災技術株式会社 大阪支店	06-6136-9911	2
国土防災技術株式会社 高知営業所	088-882-7110	2
株式会社 コスモ建設コンサルタント	0853-72-1171	2
株式会社 四国トライ	088-883-5908	2
株式会社 エス・ビー・シー	0883-52-1621	2
島建コンサルタント株式会社	0853-53-3251	2
株式会社 相愛	088-846-6700	2
株式会社 ダイヤコンサルタント 関西支社	06-6339-9141	2
株式会社 地圏総合コンサルタント 四国支店	0897-33-3123	2
中央開発株式会社 関西支社	06-6386-3691	2
株式会社 東建ジオテック	089-945-3328	2
株式会社 ナイバ	0878-62-5121	2
日本工営株式会社 四国支店	087-811-2660	2
明治コンサルタント株式会社 大阪支店	072-751-1659	2
株式会社 四電技術コンサルタント	087-845-8881	2