

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災に関する研究」領域)

ベトナムにおける幹線交通網沿いの斜面災害危険度評価技術の開発

(ベトナム)

平成 25 年度実施報告書

代表者: 佐々 恭二

特定非営利活動法人国際斜面災害研究機構・研究部・学術代表

<平成 23 年度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施の概要

ベトナムやラオス・ミャンマー等の大メコン圏の山岳地域では、脆弱な地盤と雨期の激しい降雨、熱帯特有の強風化があいまって斜面災害が多発している。近年国土開発が進むベトナムでは、道路等のインフラに被害を及ぼす斜面災害の克服は重要課題である。この課題解決に向け、斜面災害の核となる地すべりの研究において世界をリードする日本の科学技術をもって、斜面災害危険度の評価技術を開発し、ベトナムの持続的発展を支援する。

平成 23 年度に4回(6, 7, 11, 3 月)ベトナム中部、東部、西北部の地すべりの調査を実施した。また、平成 24 年度に4回(7, 10, 12, 3 月)ベトナム中部の地すべり調査を実施した。また、平成 24 年秋から京都大学博士課程に1名、島根大学修士課程に1名の留学生を受け入れ、地すべり災害軽減のための勉強を始めている。さらに平成 25 年 4 月から京都大学修士課程に2名、東北学院大学博士課程に1名を受け入れ、本プロジェクトの核となる地すべり災害軽減のための人材育成を実施する。

カウンターパートであったベトナム交通省の副大臣が退官したことを受けて、共同研究計画が再度検討され、技術開発のパイロット試験地として、平成 23 年度に選定したベトナム西北部のソンラ省にある地すべり地から、ベトナムにおける交通・流通の大動脈であるベトナム国有鉄道の南北ベトナム中間駅「ハイバン駅」裏山の地すべりに移すことになった。平成 24 年度には、ベトナム中部においてハイバン駅の地すべりと国道1号線、ホーチーミン道路沿いの地すべりにおいて、地すべり調査を開始した。

日本においては、JST経費を用いて深さ 100mの大規模地すべりの試験も可能な高圧地すべり再現試験機的设计・製作を実施し、3MPaまでの載荷と間隙水圧に耐えられる非排水リングせん断試験に成功した。現在、より安定的な試験のための改良を実施中である。国内の地すべり現場に於いてハイバン駅の現場に適し、かつ早期警戒に使える長スパン伸縮計を開発中である。また、年度内にベトナムでの地すべり計測の中核となる世界最高性能のライカのトータルステーション(Total Station)を購入し、平成 25 年度にその適用方法とその他の伸縮計、GPS等との計測データの統合・転送システムを検討した。

平成 23 年 6 月にJST契約、平成 23 年7月にMM締結、平成 23 年 11 月にRD締結、平成 24 年 3 月にJICA契約、平成 24 年 12 月にベトナム政府によるProject document承認を経て、平成 25 年度にはベトナムJICA事務所および本邦において機器・空中写真の購入のための手続きが進行中であり、26 年度早々には一部機材の調達と現地への導入が開始される予定である。従って、平成 26 年度以降、地形、計測、予測班とも全面的な計画遂行が可能であり、初期の目標を達成できるものと考えている。

## 2. 研究グループ別の実施内容

### 総括及び予測グループ

- ① 研究のねらい:土質試験とコンピューターシミュレーションに基づく斜面災害危険度評価技術を開発することおよび開発された斜面災害危険度評価技術の応用のためのガイドラインを策定することを目指している。
- ② 研究実施方法:100 m の深さの大規模地すべりの危険度評価を実施するために高圧地すべり再現試験機を開発し、開発した試験機を用いて、地形・計測班が抽出した活動中の対象地すべりにおいて発生・運動機構を解明する。また、地形班・計測班とともに前兆段階にある地すべりの判定技術を開発し、前兆段階にある危険斜面の災害予測技術の構築の研究を行う。若手研究者の日本の大学院への入

学、中心的研究者の論文博士、ベトナムでの共同研究作業を通じた人材育成活動を計測班、地形班とともに実施する。

- ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況:大規模(深さ100m)地すべり試験機の開発の一部として平成23年度に製作した「高圧载荷せん断装置」と「油圧サーボ応力制御・計測装置」両装置を組み合わせるにより大規模地すべり再現試験機を製作し、基礎試験を実施し、当初の設計通り 3MPa までの非排水リングせん断試験が実施できることを確認した。そして現在、基礎試験に基づいて試験機の改良を実施している。若手研究者の日本の大学院への入学、中心的研究者の論文博士、ベトナムでの共同研究作業を通じた人材育成活動の一部として、ベトナムから研究者を招聘し、平成24年秋から博士課程1名、修士課程1名を受け入れた。さらに3名が大学院の受験に合格し、平成25年4月から博士課程1名、修士課程2名を受け入れ、さらに平成25年10月から修士課程2名を受け入れ、合計7名の留学生が、地すべり災害軽減のための学習と研究を実施している。

- ④ カウンターパートへの技術移転の状況:ベトナム人の英語能力は極めて限られており、日本人の専門家が現地でも英語で教育する形では大きな成果は得られない。そこで地形、計測、予測班とも日本への留学による留学生の教育、並びに留学生がベトナムでの現地調査・観測に参画することによるベトナムでの実地訓練、および留学中および帰国後における彼らによるベトナム語でのベトナム在住の技術者への技術移転が、効果的である。JICAのこれまでのシステムでは日本留学生が、母国において研究を実施することを想定していないが、ベトナムでの地すべり災害軽減の技術を習得するには、下記の理由から現地での実地研修が不可欠であることが、JICAでも理解され、留学生が、日本人専門家と共に現地調査に参加することが認められた。

1. ベトナムの地すべり調査地域(ダナンーフェ間の海岸からホーチミンルート間の地域)の年間降雨量は4000-5000mmの熱帯豪雨地帯であり、日本の平均降雨量の2-3倍に達し、地すべりのメカニズム、発生予測、早期警戒とも日本のものでは役に立たないと思われる。
2. ベトナムの地盤は熱帯風化地帯であり、温帯に属する日本の風化機構、風化の進行速度、風化度の斜面土層の深さに関する分布は、全く異なると推定される。
3. 調査対象のホーチミンルートは、ベトナム戦争で用いられた山岳道路を舗装したものである。ベトナム国有鉄道は、他の迂回路がない南北ベトナムをつなぐ唯一の単線の鉄道である。ベトナムの経済状態、交通の重要性、地すべりの素因と誘因などは日本と根本的に異なり、可能な斜面保全対策やその維持方法も全く異なる。

1-3の日本と異なる要因が、日本の科学技術を活用しつつ、ベトナムとの共同研究により、ベトナムに適した交通網沿いの斜面災害危険度評価技術の共同開発を目指し、採択された理由であるが、ベトナム留学生はベトナムの地すべり災害軽減の技術を身につけるために留学しており、その修士論文、学位論文の内容もベトナムと日本の地すべり両方を対象としたものになる。

地すべりはベトナムの自然条件の下で発生し、地すべり災害とその軽減対策は、発生する地すべりの特性とベトナムの社会経済的条件によって規定される。その意味で地すべり災害軽減技術の共同開発と人材育成は、交通手段、電子機器、衣服など工業製品の生産技術の移転とは全く異なる。

本プロジェクトによる日本の科学技術外交が成果を上げ、人材の育成と、留学生の帰国後にプロジェクト成果をベトナム国内に根付かせるためには、留学生の帰国による現地実習が不可欠である。

- ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば):
1. 当初計画では、ベトナム中部のホーチミン道路と国道一号線沿いの地すべりを調査地としていたが、

共同研究者が多数いるハノイから車で行ける範囲で対象地を選ぶこと、現在、活動中であり、比較的短期間に計測結果がでることなどから、ベトナム西北部のソンラ省を試験地とすることにした。しかしカウンタートパートの交通省の副大臣、ベトナム交通科学技術研究所(ITST)所長が退官したことから、共同研究計画が再度検討され、ベトナム社会や交通省に影響の大きな南北ベトナム中間の山岳地域を通るベトナム国鉄、国道1号線、ホーチーミン道路をプロジェクトの最重要地点として、その中にパイロット試験地をもうけることになった。また、ベトナム交通省側の経費負担が交通省の当初の想定額の8倍に及んだことからその減額のための調整に時間を要し、ベトナム政府による Project document の承認が、平成24年12月になった。

2. Project documents が承認後、平成25年に南北ベトナム中間の山岳地域を通るベトナム国鉄、国道1号線、ホーチーミン道路を詳細に調査した結果、パイロット試験地としてベトナム国鉄のハイバン駅の裏山斜面をパイロット試験機として選んだ。その理由は、ハイバン駅の裏山斜面は、過去に地すべりを起こし、現在も変形が進行しているようであり、地すべり計測のできる地すべり地であること、ベトナム唯一の鉄道の南北ベトナムの中間駅を脅かしている大規模地すべりであり、その社会的重要性が極めて高いこと、ハイバン峠の山脈が海まで続いているところであり周囲に人家や道路がなく、計測機器の盗難の恐れが少ないこと、さらに ITST のダナン支所から遠くないことも調査・計測に便利であることである。
3. Project document に引き続いて、機器を購入するには免税手続きを進めるためにA4 Form と称する寄贈機材リストを作成しなければならない。日本側研究者と ITST との検討の後、交通省(MOT)の承認を得なければならないが、極めて長い時間がかかり、いったん承認すると変更が困難とのことで、可能性のあるものをリストに掲載し、研究の進行により購入しない場合もあることを条件に平成26年1月に承認を得た。当初機材の多くはJICAベトナム事務所での調達する計画であったが、国内調達に比べてほとんどの機材が2倍程度高くなり、そのままでは当初計画が達成できないため、多くの機材を国内調達に切り替えた。そして設置時や観測時のトラブルに対処するため各機材の専門家に調査班に参加してもらった。
4. 当初計画では、地すべり教材作成をベトナムでの人材育成の経験を通じてプロジェクトの後半に実施する予定であったが、文部科学省の平成24年度政府開発援助ユネスコ活動費補助金「アジア・太平洋地域等における開発途上国の教育、科学、または文化の普及・発展のための交流・協力事業」に応募し、「アジア地域を対象とする地すべり災害軽減のための教材開発—2006年東京行動計画推進のためのUNESCO-ICL覚書の一環として—」とのテーマで経費を得ることができたことから、ベトナム研究グループを中心に、アジア諸国(インドネシア、タイ、ベトナム、インド、台湾)、ニュージーランド、クロアチア、イタリア等の研究者の協力をえて、ICL Landslide Teaching Tools(フルカラー405頁)を平成24年度中に製作することができた。これは新たに作成した文章(Text tool)、すでに作成されているガイドライン、マニュアル、テキスト、法律などのPDF(PDF tool)、講義用のパワーポイント(PPT tool)からなり、PDF toolとPPT toolは、DVDに収録している。今後本プロジェクトで、これを基礎として改良・拡充し、世界で広く使われうる実用的な地すべり教材に発展させる。

#### 計測グループ

- ① 研究のねらい:降雨—地下水—斜面変動を統合した自動計測システムを開発するとともに、地すべり変動モニタリングにより熱帯モンスーン地域に最適化した地すべり危険度評価と早期警戒システムを構

- 築する。
- ② 研究実施方法: 人工斜面と降雨装置による崩壊実験施設を設置し、降雨－地下水－斜面変動を統合した自動計測システムを開発するとともに、地すべり地において、トータルステーションにより地すべり全体の挙動モニタリングを行うとともに、特に活動的な箇所伸縮計を設置して早期警戒システムを構築する。
  - ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況: 試験地の再変更のため現地での観測開始が遅れているものの、変更後の試験地であるハイバン駅背後の地すべりの移動状況を確認するため、比較的簡易な手法であるワイヤー式の移動量計(伸縮計)を1基と雨量計を5月に設置し、雨による変位を確認している。これが、地すべり全体の動きを反映したものであるかどうか確認のため増設を計画中である。ハノイのベトナム交通科学技術研究所における崩壊実験施設の建設計画を前倒しにして、平成 25 年度には崩壊実験を実施する建屋の具体的な設計に着手し、年度内に完成した。今後、さらに実験斜面の製作に着手し年度内の実験着手を計画している。これらによって全体的な計画の進捗状況の回復を試みる。
  - ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む): 現地観測についてカウンターパートとの協議により、計測グループから島根大学留学中に森林総研九州支所にて伸縮計の研修を行ったカウンターパートを、平成26年度森林総合研究所の斜面崩壊実験装置を用いて実験手法習得のための研修を開始する。また、ベトナム交通科学技術研究所の若手技術者数名を日本に派遣し、日本地すべり学会の全国大会他に出席させる等現地すべり観測技術を中心に研修を計画している。
  - ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば): 当初計画では、ベトナム中部ホーチミン道路と国道一号線沿いの地すべりを調査地としていたが、平成 23 年度中にベトナム北西部のソラ省の地すべり地に変更され、さらに平成 24 年度当初にダナン近郊の地すべり地に再変更された。これにあわせて観測体制の計画を再変更したものの、平成 25 年中に雨量計・伸縮計により現地観測の一部開始を実現している。

### 地形グループ

- ① 研究のねらい: 活動的な地すべりの背後には、その数十倍の地すべり危険箇所が存在する。急速に幹線交通網が整備されるベトナムで、潜在的な、また前兆段階にある危険箇所の活動可能性を把握し、その危険度の評価手法を開発する。
- ② 研究実施方法: 空中写真と各種衛星画像などを併用して、ベトナム側からの強い要望が寄せられた中部地区(ダナン市近郊ハイバン峠周辺地区、ホーチミンルート沿いたンミーアルオイ間)を対象に、地すべり地形マッピングをパイロット的に実施したが、今年度は広域マッピングを実施する。実施方法は、空中写真の実体視判読、関連資料の収集、現地調査、地形計測、土質定数決定に資するサンプル取得と実験、各種画像データをもとにした DSM の作成などによる。特に、今年度からは、GIS 担当者と画像解析(SfM)担当者を増強し、成果の可視化と前兆現象にある危険箇所把握に挑戦する。  
危険度評価手法の開発は、ホーチミンルート沿いの詳細な地質調査がほぼ終了し、地質特性と斜面災害特性の対応を評価できる状態になった。現在は、AHP や Fuzzy によるより確度の高い危険度評価が試みられる。併せて、ハノイ近郊のホアビン省(国道 6 号線)の地すべり多発地帯において、地質調査と地形測量を行う。国道 7 号線、6 号線、北西部サパ、北部ハイフォンなどで多数の地すべり災害が

発生しているという情報がもたらされ、マッピングと危険度評価有用性が更に強く支持されることとなった。地形グループは、広域のマッピングを強力に推進すると同時に、DSM (Digital Surface Model) を用いて地すべり前兆現象の把握を試み、AHP・Fuzzy などによる危険度評価手法を開発・改良する。さらに、「ベトナム化」のキーワードを掲げて、地すべり防止・抑止・減災のあり方を考える。現地調査と判読作業・意見交換を繰り返して、湿潤熱帯強風化地域に適用可能な地すべり危険度評価手法を構築するために必要なパラメータを特定する。この過程で、現地側への技術移転が実現することが期待され、平成24年度から学位取得を志す大学院博士後期課程に1名が留学し、論文博士希望の短期研修生2名を受け入れている。

- ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況:計画調書作成の時点から今次点までで、調査地自体の決定は転変している。理由が、先の佐々代表の記載にある通りである。ただ、技術移転の観点からも、ハノイ近郊の、教科書的な規模様式を有する地すべりを対象とした研究の有用性も指摘され、ハノイから150 km内外の距離にある国道6号線沿線の地すべりをも対象としている。調査地の変更があったものの、昨年度からは研究遂行の必須資料である空中写真とデジタル地図は7割程度確保され、年に4回程度実施される共同現地調査は調整員の献身もあって、極めて順調である。こうした状況にあり、今年度は広域地すべりマッピングのまとまった成果を目指し、空中写真を用いた多様な新技術による細密DSM(ピクセルサイズ30cm~100cm)を作成し、地すべり前兆現象の可視化に挑むことが可能となった。現状での現地調査の成果であるが、中部ホーチミンルートでは、南北約200 kmに渡り、地すべり災害の発生状況と地形地質特性の対応が明確化できるまでに揃ってきた。中部ハイバン駅周辺の地すべり分布状況の予察成果は出たが、そもそも花崗岩類での地すべり発生の地質要因を解明することが出来ていない。

中部の北端部国道7号線沿線では正に教科書的な地すべり破壊が複数見出され、Teaching Tool に使われることが期待されるが、RDには対象とされていない。RDに記載された調査地で、明確な目標の達成を促進し、その後の展開可能性の一つとして示した。

- ④ カウンターパートへの技術移転状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む):現地側研究者・技術者との現場での意見交換、日本側グループリーダーによる3回のレクチャー、留学生受け入れ、若手技術者の短期研修を実施している。次年度5月に実施予定の現地調査時には、日越混成の調査チームを複数組織し、現地踏査とそれに続くWSを行って、共同で調査カルテの試作版を作成する計画を構築した。加えて、京都大学防災研究所、島根大学に留学している関係者を東北学院大学に招へいし、空中写真判読の講習も実施している。ベトナム側技術者の人材育成と研究遂行、ベトナム化は三身一帯の関係にある。WG2では、学位取得者の支援を担当する日本側支援体制も整えている。
- ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば):当初は、ベトナム中部での先行調査研究を行い、その成果を北西部や南部に展開する計画であったが、ベトナム側との調整により中部ハイバン峠周辺、中部ホーチミンルート、ハノイ近郊の3地区に調査地は確定され、これらにおいて鋭意調査研究が実施されている。

### 3. 成果発表等

#### (1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0 件、国際 12 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 1 件、国際 24 件)

#### (2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

### 4. プロジェクト実施体制

#### (1) 予測グループ(土質試験とシミュレーションに基づく斜面災害予測技術の開発及び研究総括・教育・広報)

① グループリーダー名: 佐々恭二(国際斜面災害研究機構・学術代表)

##### ② 研究項目

- ・ 高圧地すべり再現試験機の開発
- ・ 抽出された対象地すべりにおける発生・運動機構の解明
- ・ 前兆段階にある地すべりの災害予測技術の構築
- ・ プロジェクトの研究総括・教育・広報

#### (2) 計測グループ(地すべり計測による危険度評価と早期警戒システムの構築)

① グループリーダー名: 落合博貴(森林総合研究所・研究コーディネータ)

##### ② 研究項目

- ・ 現地調査に基づく最適計測試験地の決定
- ・ 降雨・地下水・斜面変動統合自動計測システムの構築
- ・ モデル試験装置を用いた地すべり再現試験による地域の条件に適した早期警戒技術の構築

#### (3) 地形グループ(広域地すべりマッピングによる地すべり危険斜面の抽出)

① グループリーダー名: 宮城豊彦(東北学院大学・教授)

##### ② 研究項目

- ・ 衛星写真・空中写真からの既往地すべり地形の判読
- ・ 前兆段階にある地すべり危険斜面の抽出
- ・ 現地精査及び階層構造分析法等による地すべり危険斜面分布図の作成
- ・ 地すべり特性、内部の可視化技術の構築

以上