

地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域)

クロアチア土砂・洪水災害軽減基本計画構築

(クロアチア)

平成 22 年度実施報告書

代表者：丸井英明

新潟大学 災害復興科学センター 教授

<平成 20 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

本国際共同研究は、クロアチアの開発地域・社会的価値の高い地域を対象として、土砂・洪水災害を軽減するための土地利用基本計画ガイドラインを策定し、同国の発展の鍵となる持続可能な国土開発に貢献することを目的としている。クロアチアは、アドリア海に面した断層・褶曲帯にあり、複雑な地形・地質構造を有し、地震も多い。特に石灰岩、砂岩・頁岩互層（フリッシュ）、泥灰岩（マール）地域で、土砂災害・局所的洪水災害（フラッシュ・フラッド）が多発している。防災分野で世界をリードする日本の科学技術を伝達し、日本とクロアチア両国の研究者が総合的・学際的研究を実施することにより、現地の地盤構造・水文特性の科学的解明に立脚した、信頼し得る危険度評価法を確立することができ、それに基づく土砂・洪水災害軽減のための土地利用基本計画ガイドラインを策定し得る。

2009年3月27日にR/Dが締結され、本共同研究を推進する体制が構築できた。一連の現地調査の結果に基づき、今後平成22年度以降具体的な研究を推進する準備は整った。しかしながら、R/Dが締結されたにもかかわらず、クロアチア政府と日本政府間の口上書の取り交わし手続きの解決に1年を要し、2009年度中にはJSTと研究機関との間で正式契約に至らなかった。最終的に外務省がクロアチア政府との特権免除覚に関する口上書を交換したのは2010年3月9日であった。但し、2009年度中にも研究の推進のために必要な諸作業は実施し、正式契約後の速やかな研究の推進に備えた。

平成22年5月20日から25日に至るまでの間、ザグレブに最初の専門家派遣を実施した。5月24日にはクロアチア科学教育省においてクロアチア側からフックス科学教育大臣、日本側から田村大使の列席のもと、当プロジェクトのLaunching Ceremonyが開催され、公式に事業が進行する運びとなった（写真1）。また、21日にはこれまでの進捗状況を確認し、今後の計画に関し両国研究者間で認識を共有するためのワークショップを実施した。22日にはザグレブ市後背山地の調査対象地すべり地域の調査を実施した。23日並びに24日午後には、地すべり観測システムの計画・設計に関する打合せを実施した。その結果、平成22年度の研究計画並びに調査計画の概要について両国研究者間で合意を得た。



写真1 Launching Ceremony（クロアチア国・科学教育省）

さらに、7月、9月11月に専門家派遣を実施し、対象地域における調査・解析作業を推進した。猶、9月の時点で現地観測に必要な観測機材の現地調達に関連し、VAT(物品税)の免除措置を巡ってクロアチア政府との間で解決困難な問題が生じ、機材の調達が大幅に遅延した。平成23年1月にはVAT問題の早期解決のために、研究代表者がJICA本部担当者と共にクロアチア側担当官庁である科学教育省との協議に当たった。猶、本件は3月末の時点では依然として解決を見ていない。一方、3月に専門家派遣を実施し、リエカ地域を中心地として、既に本邦調達で搬送した観測機材の設置作業を進めた。また、本研究成果の社会実装を推進するために、リエカ市並びに当該郡の防災担当者の参画を得て、プロジェクト内容に関する説明会を実施した(写真2)。



写真2 プロジェクト説明会 (リエカ市議会議場)

2. 研究グループ別の実施内容

1) 土砂災害研究グループ

① 研究のねらい

クロアチアの自然条件を的確に把握し、地すべり・斜面崩壊などの発生機構を解明し、クロアチアの社会条件をも勘案して、これらの異常現象(Hazard)が災害(Disaster)を引き起こす過程を明確にする。さらに、それを基礎として、開発地域や社会的価値の高い地域を対象として土砂災害危険度を評価する技術を開発する。

② 研究実施方法

日本が開発した地すべり・土砂災害の危険度判定・災害予測のための手法である「地震・豪雨時に発生する地すべり」のすべり面形成とその後の運動を室内で再現できる「地震時地すべり再現試験機」の発展途上国版として、実用的かつ比較的安価な試験機を開発する。

また、地形データと本試験機で得られる地すべり運動時に発揮される摩擦係数を現在改良中の地すべりシミュレーションに入れることにより、地すべり危険範囲の予測を行う。また、地すべり危険度の計測による判定のために地すべり移動計測を総合防災研究グループと共同で実施する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

すべり面形成とその後の運動を室内で再現できる「地震時地すべり再現試験機」の発展途上国版として、実用的かつ比較的安価な試験機を開発する計画に対し、本年度、クロアチアにおけるリエカ大学、ザグレブ大学など、複数の研究機関が利用できるようにバン程度の車で運搬可能な軽量・小型で、通常電源で実験でき、かつ維持経費が少ない「ポータブル非排水リングせん断試験機」の試作を行った。本試験機は、非排水状態を保つための上下せん断箱間のギャップ制御は、電動モーターと油圧を組み合わせたサーボ自動制御システムを採用しているが、垂直応力载荷とせん断応力载荷は手動で行うものである。12月に試作完了後、現在まで試用、基礎試験、改良を続けている。年度内に、Programme officer 裁量経費が求められたことから、手動試験機とつないでサーボ制御による垂直応力、せん断応力を与え、試験中の各種計測データを取り込み表示する「サーボ制御応力载荷計測システム」の試作を発注し、試作した。

当初この試験機での最大载荷垂直応力は 5kgf/cm^2 を予定していたが、深さ最大90mのコスタニク地すべりの再現試験に対するクロアチア側の要望が強く、本試験機で 10kgf/cm^2 までの垂直応力载荷と 10kgf/cm^2 までの非排水性能保持のために、上下せん断箱の加工精度上昇、ゴムエッジの研磨精度上昇、減速ギアへの負荷が大きくなって摩耗したことから、より強度の高い減速ギアへの変更など実施している。

この両者を組み合わせることによりサーボ電動制御での試験が可能になっており、その制御精度を上げるための調整・改良を実施している。

また、本試験機で得られる地すべり運動時の摩擦角を用いて、地すべり危険範囲の予測を行うために、佐々が1988年に最初に開発し、2004年に出力方法を改良したシミュレーションモデルをさらに改良し、地震・降雨による地すべりの発生過程と運動過程を統合して再現できるモデルを完成させた。その成果は、本年9月、国際ジャーナル Landslides の Vol.7, No.3, pp:219-236 に出版された。このシミュレーションモデルの使い方についてクロアチア研修生4人に対して、京都で研修を実施した。

本シミュレーションモデルを適用するには、数値地形図が必要である。衛星写真・空中写真から数値地形図を作成するための技術を地すべりグループで習得し、ザグレブ市の地すべりについて入手した航空写真より数値地形図を作成した。また、その解析法の講習を実施した。

リエカ市にあるグロホボ地すべりにおいて現地調査を実施し、伸縮計11台を斜面上部より地すべりを縦断し、対岸斜面まで到達する連続長スパン伸縮計を設置することとし、伸縮計を購入するとともにその設置位置を決定した。そして、日本側から提供した図面に基づいてクロアチア側において伸縮計の支柱の製作、斜面への運搬道路に敷設が行われ、平成23年3月後半に地すべりグループと総括グループの合同作業として設置が開始された。また、グロホボ地すべりで設置予定の連続計測 GPS と自動計測 Total Station の配置、設置方法について、地すべり計測の経験の豊富なイタリア・ライカ事務所の技術者とともに現地調査を行い、GPS と Total Station のベースをグロホボ地すべりの対岸斜面の崖際にある第二次世界大戦時の銃丸の上に取り付け、そこからリエカ大学屋上が見認できることから直接無線でデータ転送する方向で計画を作成した。現在、新潟大学からジオモス社（旧ライカ社より独立）に対して計画に沿った発注作業が進められている。

- 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）

平成 22 年 9 月 15 - 27 日にクロアチアに行き、地すべりグループのリーダーであるリエカ大学のアルバナス教授以下とグロホボ地すべり地における観測システムについての打合及び作業を実施した。地すべり計測に関わる測線の位置の選定、測定機の必要な精度、信頼できるデータの時間間隔（GPS 連続観測、Robotic Total Station, 伸縮計）におけるデータ解析間隔とその精度についての検討と討論を通じて、技術移転ができた。プロジェクト申請前から、招聘を検討していたクロアチア水利局（Croatian Water）からの本共同研究のメンバーが、博士課程の院生として、10月1日に京都大学大学院に入学した。そしてポータブル非排水リングせん断試験機の開発、試用、基礎実験に参画し、試験に必要な地すべりダイナミクスの学習を行っている。平成 22 年 9 月には、クロアチアにおいて、若手研究者を対象に、せん断試験の地すべり現地及び室内での実習、航空写真より数値地形図作成の実習を実施し、11月には日本において、地すべりシミュレーションの講習を実施した。

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）

本研究プロジェクトの活動をベースにして、地すべり多発に悩む西バルカン諸国（クロアチア、スロベニア、セルビア、モンテネグロ、ボスニアヘルツェゴビナ、アルバニア）においてネットワークを構築するために「防災分野における南東欧地域の協力促進に向けたワークショップ（議長：佐々恭二）」が、外務省主催で東京の三田共用会議所において開催された。クロアチア、スロベニア、ボスニアヘルツェゴビナ、セルビア、モンテネグロ、アルバニアの各国から地すべり研究者を招聘し、各国の地すべり災害とその軽減の取り組みを紹介するとともに、地すべり分野における協力ネットワークの構築に向けた議論を行った。その結果、この地域の安定した協力ネットワークとして、アドリアーバルカン地域斜面災害研究機構（Adriatic-Balkan Consortium on Landslides）を構築することについて合意がなされた。平成 23 年 3 月現在、スロベニア国リュブリアナ大学及びスロベニア地質調査所、クロアチア国リエカ大学及びザグレブ大学、アルバニア地質調査所が、すでに参画を決め、セルビア国ベオグラード大学は、学部としては参加を決め、現在科学省と協議中である。

⑥ 投入試験機並びにシミュレーション手法に関する補足説明

図 1 に関連の図と写真を紹介する。上左は、ザグレブ大学における現場せん断試験機の講習中の状況である。9 月調査期間中に機材調達が間に合わなかったため京都大学の試験機を搬入して実習を行った（現在は機材調達が完了しリエカ大学に寄贈されている）。図上右は、開発された地震豪雨地すべり発生運動統合シミュレーションの概念図である。下左の写真は、降雨の後の小規模な地震で発生し 1000 人の村人が死亡した 2006 年のフィリピンレイテ島地すべりである。下右は、この地すべりを例として、リングせん断試験機の結果と観測された地震波、地形等を入力して統合シミュレーションを適用した結果である。実際とほぼ近い現象が再現されている。

また、図 2 は、平成 22 年 12 月 12 日に開催された JICA-JST 合同報告会資料の一部であり、試作された試験機の作動テストをクロアチアからの留学生と製作会社の技術者が行っているところである。

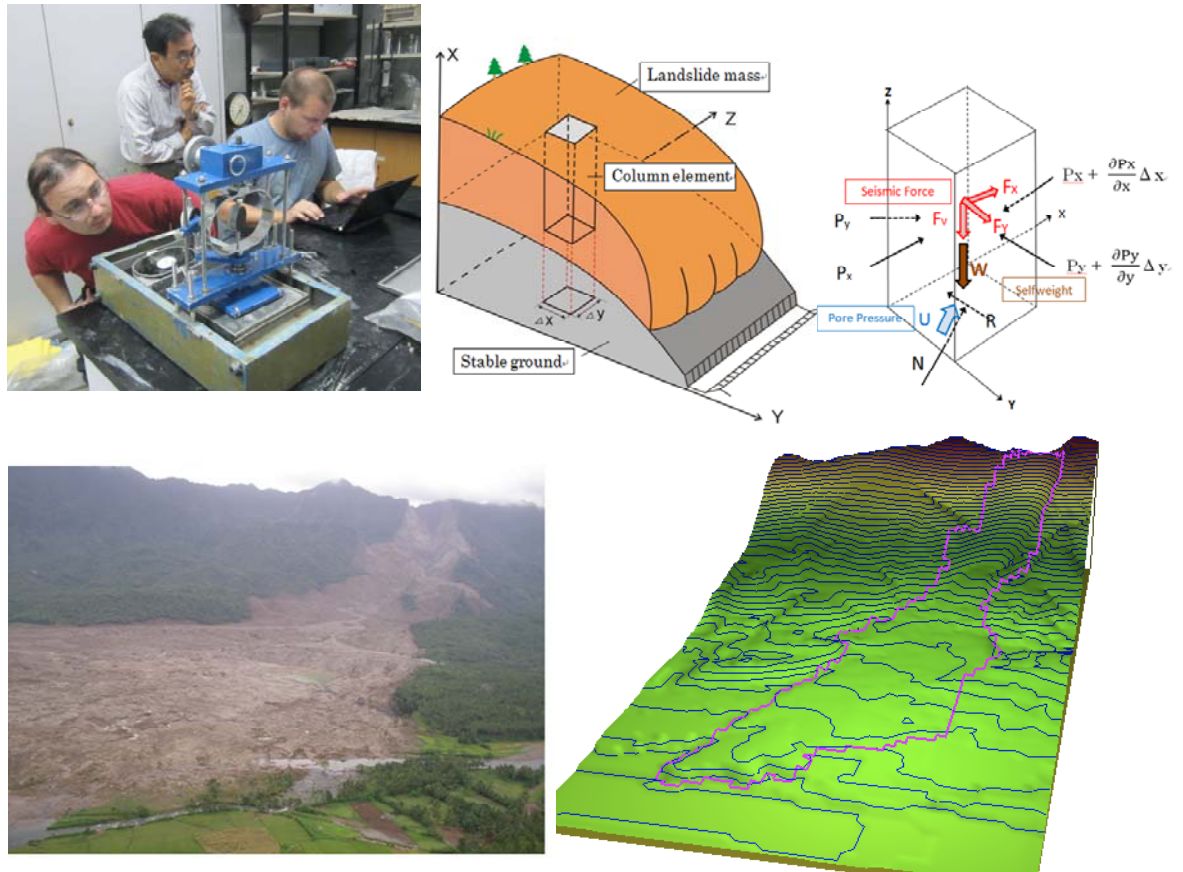
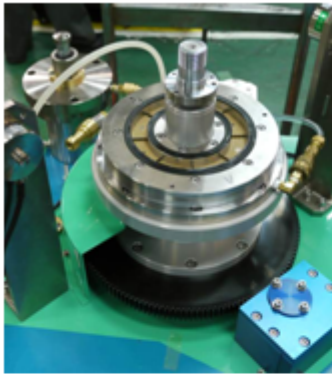


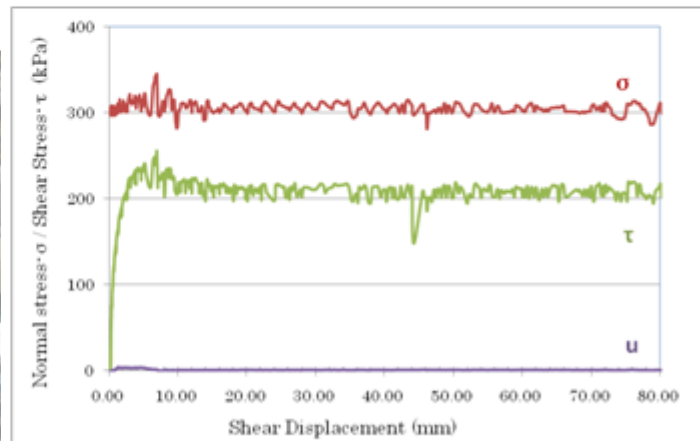
図1 地震降雨による地すべり発生運動統合シミュレーションとせん断試験実習（ザグレブ大学）

一方、本グループの研究の重要な部分を構成する、現地観測に関連して必要な機材の現地調達が大幅に遅延したことは極めて重大な問題である。上述の様に、リエカ市近郊 Grohovo 地すべり地において、連続計測 GPS と自動計測 Total Station の配置、設置方法について、既に7月の時点で策定を終えているにも拘わらず、VAT 等の問題が新たに浮上し、現地調達から本邦調達に変更する事態に至ったために、機材調達手続きが極度に複雑になっている。JICA において早急に打開策を見いだして頂くよう強く要望する次第である。



A new portable hand-driven ring shear apparatus under development by the Croatia-Japan Joint project in 2010.

A doctoral student (Maja Ostric) invited from Croatia is handling it at the initial functioning test.



(M.Ostric, K. Sassa, T. Nakasono)

図 2 試作試験中のポータブル非排水リングせん断試験 (JICA-JST 報告会資料より)

2) 洪水災害研究グループ

① 研究のねらい

クロアチアの自然条件を的確に把握し、洪水・土石流などの発生機構を解明し、クロアチアの社会条件を勘案して、これらの異常現象 (Hazard) が災害 (Disaster) を引き起こす過程を明確にする。さらに、それを基礎として、開発地域や社会的価値の高い地域を対象として土砂災害危険度を評価する技術を開発する。

② 研究実施方法

フラッシュ・フラッドの発生地域の類型分類を行う。対象流域の条件を考慮した、岩盤浸透モデルと山地河川に合わせた分布型流出モデルと組み合わせて洪水の予測流出量を見積もる。土石流に関しては、発生機構の解明のため水路実験を実施する。

③ 当初の計画 (全体計画) に対する現在の進捗状況

現在までにザグレブ地域・リエカ地域・スプリット地域それぞれについて現地の洪水発生状況の把握、モニタリング対象サイトの決定等を終えている。ザグレブ地域については特定の観測サイトを設定せず、過去の洪水被害状況、ザグレブ市当局による洪水対策状況、特にサバ川およびその支流における洪水対策状況について現地調査並びに既往資料調査を実施した。収集した資料に基づき、洪水リスク疑似体験ツール (VRET) を作成した。リエカ地域については、DUBRACINA 川流域の Salt Creek、Rjecina 川流域の Grohovo 地区、さらにはイストリア半島の

Moscenicka Draga 流域において、リエカ大学のオザニッチ教授および大学院生らと共同観測を実施するための対象サイトを設定し、観測機器設置の準備を終えた。ただし、Grohovo 地区の地すべり斜面に関する観測は地すべりグループに委ねることとした。スプリット地域については、Cetina 川上流の Sutina 川流域を観測対象地域とし、カルスト地形地域における水文観測を実施する計画であり、観測機器設置の準備を終えた。本地域においてはスプリット大学のボナッチ教授および大学院生らに対応している。

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）

2010年7月にクロアチア側の洪水グループのリーダーであるリエカ大学のオザニッチ教授以下とリエカ地域での観測システムについての打ち合わせと現地調査を通じて、洪水観測に関わる観測機器の選定、配置などについて検討と討論を通じて、多少の技術移転ができた。

2010年11月にクロアチアの若手研究者を対象に、土石流実験並びに洪水解析シミュレーションに関する実習を京都大学防災研究所において実施した。

2011年3月に気象データおよび河川流量等に関する観測機器の設置をリエカ地域並びにスプリット地域において実施した（写真3）。2011年4月ないしは5月には全ての観測機器の設置を完了する予定である。



写真3 水位計設置状況（スプリット地域）

3) 総括合同研究グループ

① 研究のねらい

クロアチアの自然条件を的確に把握し、地すべり・斜面崩壊などの発生機構を解明し、クロアチアの社会条件をも勘案して、これらの異常現象 (Hazard) が災害 (Disaster) を引き起こす過程を明確にする。さらに、それを基礎として、開発地域や社会的価値の高い地域を対象として土砂災害危険度を評価する技術を開発する。

② 研究実施方法

ザグレブ市後背産地ならびにリエカ市周辺地域、さらにスプリット市周辺地域において 1000km² 規模の広域調査対象地域を選定し、さらに対象地域内に詳細検討のため数 10km² 規模のモデル流域を抽出する。モデル流域について航空写真を用いた概略地形判読により第一段階の地すべり危険度評価を行う。

③ 当初の計画 (全体計画) に対する現在の進捗状況

2010 年 9 月に、10 日間の日程でザグレブ、リエカ、スプリットの 3 地域においてクロアチア側研究者 (グループ代表者ミハリツ博士) との共同調査、意見交換などを行った。特にリエカ近郊の Rjecina 川流域に関しては、既に取得している空中写真を用いて地すべり地形の判読を行っており、地形判読図と照合しつつ現地調査を実施した。さらに、ザグレブ地域においては最大規模の Kostanjek 地すべりと、北部丘陵地の住宅地の地すべりを調査した (図 3)。住宅地の地すべりは小規模であるために、地形判読に際してはより解像度の高い空中写真を必要とする。早急に調達を進める方針である。スプリット地域においては、落石危険度評価に関する調査を中心課題として来年度から取り組むこととした。

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)

2010 年 9 月の共同調査において日本側で作成した地すべり地形判読図と現地で観察される地すべり状況との照合作業を実施できたことは、極めて有効であった。

また、2010 年 10 月下旬に、クロアチアの若手研究者 4 名が来日し、2 ヶ月に及ぶ研修の一環として、1 週間に亘り仙台において研修を行った。主な項目は空中写真判読による地すべり地形抽出手法、地すべり解析・表示ソフトウェアの使用方法などに関するレクチャー、仙台周辺地域の地すべり地視察、土質試験室の訪問、(社) 日本地すべり学会東北支部主催による十和田地域の地すべり地に関する現地検討会への参加研修などである。実践的な技術習得を目標とした研修は極めて有効であった。

2010 年 11 月 22 日から 24 日に掛けて Dubrovnik において、周辺諸国からの研究者、専門家の参加を得て国際ワークショップを実施した。本プロジェクトの意義、内容、進行状況に関してアピールすると同時に、周辺諸国における地すべりあるいは洪水災害の現況に関する報告を受けた。このワークショップには、日本及びクロアチアのプロジェクト関係者はもとより、ボスニアヘルツェゴビナ、ブルガリア、マケドニア、セルビア、スロベニア、コソボ等の国々から約 50 名の参加を得て、有効な技術伝達が行われた。

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)

2011 年 3 月の調査に際して、駐サラエボ日本大使館並びに JICA 事務所を介して、ボスニアヘルツェゴビナ治安省の要請を受け、研究代表者が同国の地すべり発生状況に関する情報収集並

びに今後の地すべり対策に関する提言を行った。同国の専門家の中には上記の Dubrovnik のワークショップに参加した専門家も含まれており、本プロジェクトの成果の同国への摘要に関しても高い期待が表明された。

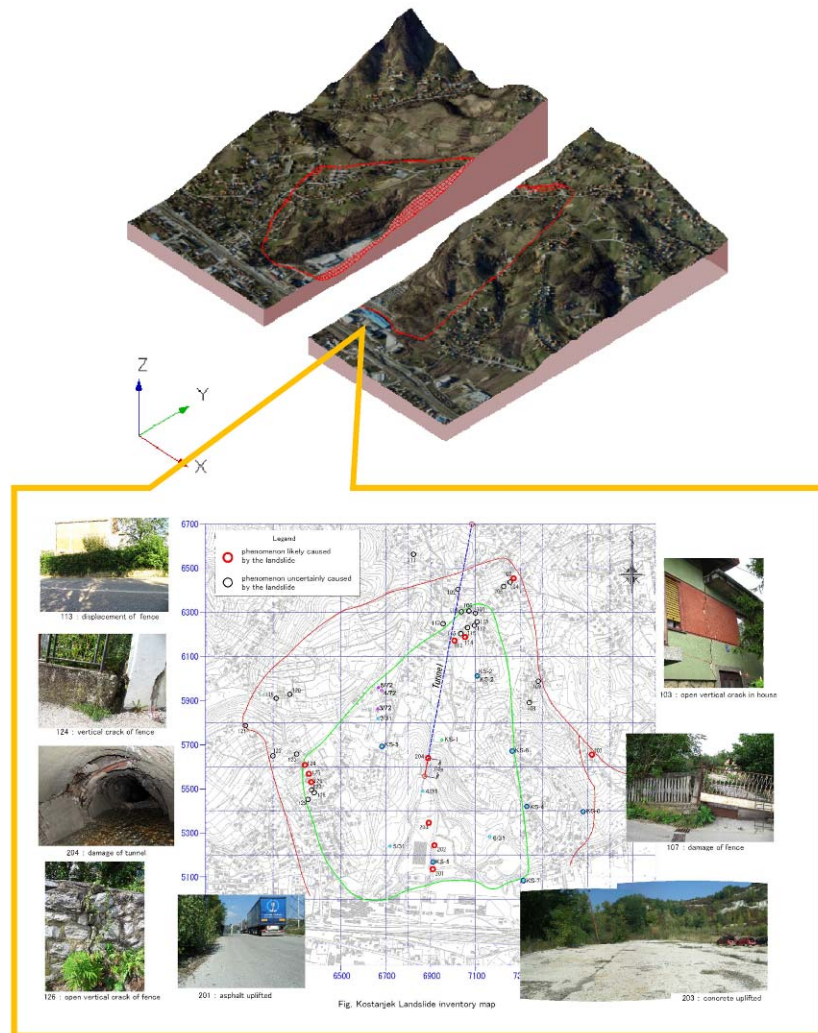


図 3 Kostanjek 地すべりの踏査結果例

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 1 件）
- ② 本プロジェクト期間累積件数（国内 0 件、海外 1 件）
- ③ 論文詳細情報

Kyoji Sassa, O. Nagai, R. Solidum, Y Yamazaki and H Ohta (2010): An integrated model simulating the initiation and motion of earthquake & rain induced rapid landslides and its application to the 2006 Leyte landslide. *Landslides*, Vol.7, No.3, pp:219-236.

(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) 「総括合同研究」グループ

- ① 研究グループリーダー： 丸井 英明（新潟大学・教授）
- ② 研究項目

統合ハザードマップ作成、災害軽減基本計画構築、地球化学的地下水挙動解析、土質・水質調査、GIS を用いた画像解析、地すべり地形判読、地すべり危険度評価、持続可能な開発計画

(2) 「土砂災害研究」グループ

- ① 研究グループリーダー： 佐々 恭二（特定非営利活動法人 ICL・学術代表）
- ② 研究項目

地すべり動力学、土砂災害危険度判定技術の開発、地すべり危険地域特定、斜面変動観測、土砂災害調査

(3) 「洪水災害研究」グループ

- ① 研究グループリーダー： 山敷 庸亮（京都大学防災研究所・准教授）
- ② 研究項目

土石流調査、洪水シミュレーション、洪水災害防止軽減

以上