

# 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 23 年度実施報告書

代表者：丸井 英明

新潟大学 災害・復興科学研究所・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。

2010年5月20日から25日までの間、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。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、2010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。

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。2011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。

2011年度は、月を除いて毎月述べ41人の専門家派遣を実施し、対象地域における調査・解析作業並びに観測機器の設置作業に従事した。その結果、土砂災害研究グループ(WG1)に関しては、リエカ地域のグロホボ地すべり地における地すべり移動総合モニタリング・システムの設置を完了した。また、洪水災害グループに関してもリエカ地域並びにスプリット地域における洪水観測システムの設置を完了した。

## 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、2010年度において、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。2010年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。2010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  $5\text{kgf/cm}^2$  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  $10\text{kgf/cm}^2$  までの垂直応力载荷と  $10\text{kgf/cm}^2$  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。

2011年度は、昨年度JST経費で試作した動的载荷非排水リングせん断試験機(地すべり再現試験機)の性能試験結果に基づき、所要の改良を加えクロアチアへ供与するための試験機をJICA経費で製作した。クロアチアから2名の若手研究者を2ヶ月間招聘し、共同で実験を行い、試験方法、試験結果の解釈等に関わる技術移転を推進しつつ、試験機と制御・収録ソフトの改良を行った。さらに、クロアチア側の土砂災害研究グループのリーダーとともにその試験結果の検討を行った。JICA経費で製作しクロアチアに供与する実用機を本年度末に完成させ、性能試験に基づく検収を実施した。予定通りのスケジュールで進行している。

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、2010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、2011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。

2011年4月、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を行い、9月に設置工事を完了し、伸縮計、GPS、Total Stationを組み合わせた総合モニタリング・システムが完成し、観測を開始した。

#### 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。2010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。

2011年度は、数値に基づく定量的地すべり危険度評価のためのリングせん断試験機の理論、試験方法、解析方法について、リエカ大学とザグレブ大学より招聘した2名の若手研究者及びクロアチア水利局(Croatian Water)から博士課程の大学院生として京都大学へ招聘した若手研究者1名に対して十分な技術移転を行うことができた。その成果は、第二回斜面防災世界フォーラム(2011年10月 ローマ・国連食糧農業機関にて開催)において発表された、さらに、文部科学省の科学技術外交の展開に資する国際政策対話の促進「地震・豪雨地帯の斜面災害危険度軽減に資する科学技術推進のための長期戦略企画国際集会」経費を受けて開催したICL(国際斜面災害研究機構)の10周年記念の国際シンポジウムにおいても成果発表が行われた。

#### 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)

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 月に、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た。2011 年度にアドリアーバルカン地域斜面災害研究ネットワークが構築された。

猶、動的非排水リングせん断試験機の仕様に関しては、当初の計画ではクロアチアに多発する中規模の深さの地すべりを対象に 500 kPa の垂直応力を与える試験機の開発を進めていたが、クロアチアの首都ザグレブを脅かしている深さ 60-90m と推定される大規模地すべり(コスタニック地すべり)を研究対象とすることになり、1MPa までの試験が可能な試験機とすることに変更した。この設計変更により、相当程度の修正が必要となったが、1MPa までの試験が可能となった。これまで京都大学防災研究所において開発した試験機 (DPRI-3,4,5,6,7 号機) が、せん断中に非排水状態が保てた限界は 400kPa から最高が 600kPa であったことから、この記録を塗り替えた。

#### 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。2010 年 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。実際とはほぼ近い現象が再現されている。

また、図2は、2010 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。

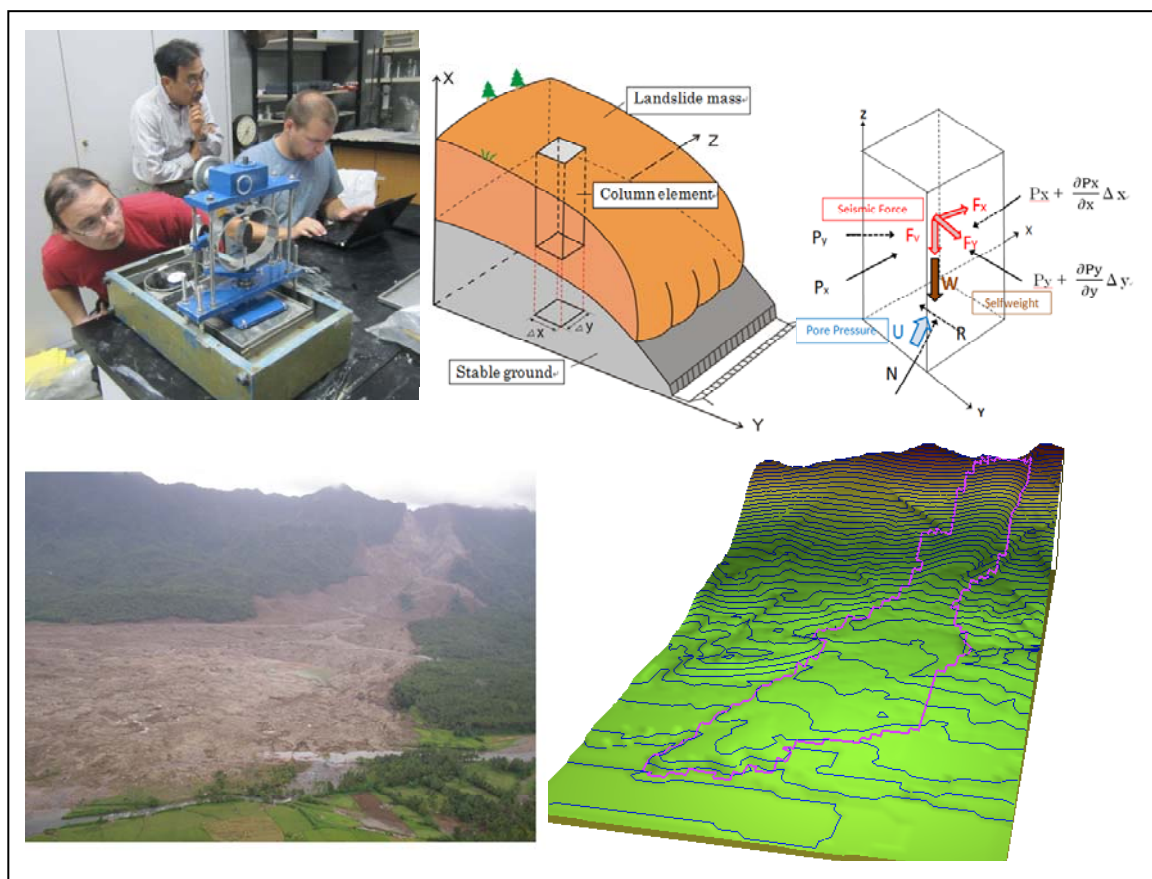
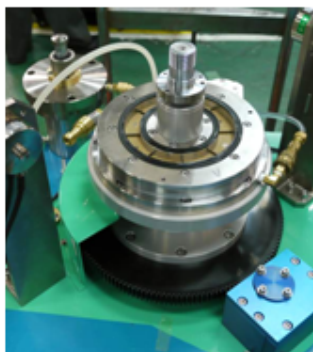


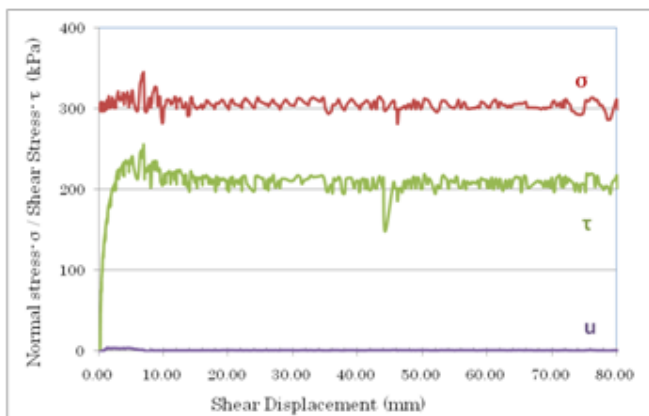
図1 地震降雨による地すべり発生運動統合シミュレーションとせん断試験実習（ザグレブ大学）

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 2010 年 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となった。JICA において早急に VAT 問題に関わる打開策を検討していただく必要が生じた。

結局 VAT 問題は、2011 年 3 月の時点で漸く解決を見た。その結果、日本からの供与機材に対してはクロアチア国内の物品税は課されないこととなった。今後、供与が予定されている主要な機材は、ザグレブ地域の Kostanjek 地すべり地に設置が予定されてる、GPS を用いた地すべり移動量モニタリング・システム、並びに地震動の影響を把握するための地震加速度計測システムである。何れも 2012 年度の上半期に設置完了予定である。



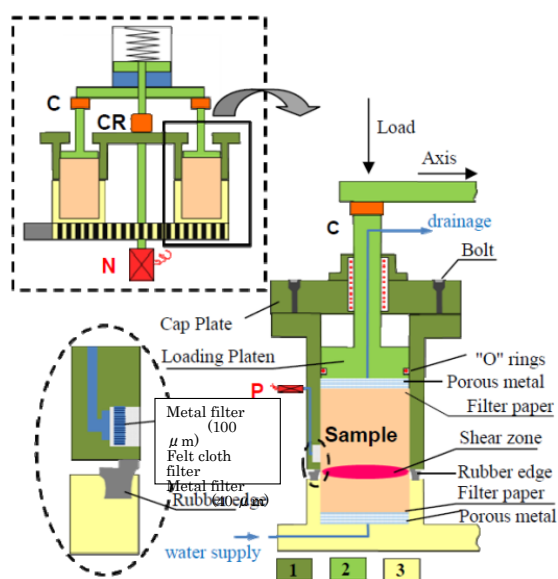
A new portable hand-driven ring shear apparatus under development by the Croatia-Japan Joint project in 2010.  
A doctoral student (Maja Ostric) invited from Croatia is handling it at the initial functioning test.



(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)

## Structure of the undrained shear box



### SHEAR BOX



図 3 ポータブル非排水リングせん断試験機用非排水せん断試料容器の構造



## 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。さらに、山岳地域における早期警戒システム構築とモデル地域への適用に向け、雨量計に加えて現地で運用可能なレーダーによる雨量予報を試みる。また、技術的に可能な範囲で降雨情報ネットワークと X バンドレーダーの適用による雨量計測を実施する。さらに、平野部と山岳部での降水量雨量強度、空間分布およびハイエトグラフの詳細な比較を行う。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。また、統合的に評価できる数値モデル Hydro-Debris3D を構築し、ハザードマップ作成に取り組む。

### 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が対応している。

2011 年度については主に次の 3 点を目的として活動を行った。

- (1) 本研究における手法を適用可能な流域を選定し、洪水災害と土石流災害双方に有用な広域ハザードマップと、早期警戒システムの構築の具体化するための手法について開発調査を行い、その結果に基づいた技術的提案を行う。
- (2) ハザードマップおよび早期警戒システム構築において重要となる学術的研究成果(土石流の水路追跡実験や、カルスト地形での洪水流出調査)について英文学術誌において情報発信を行う。
- (3) 現地におけるワークショップや国際会議(第 6 回世界水フォーラム等)において適切な成果発表を行うと同時に、関係諸外国において本技術の応用可能性が存在する場合、その成果を紹介する。

### 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。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。

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)



図 4 土石流実験用急勾配水路

### 1. Rječina river catchment area - downstream profile near landslide



Equipment installed:

Meteorological station (WS1): 04/2011  
Stream gauges (MD4, MD5 and MD6): 04/2011

図5 リエチナ川流域における観測機器の配置状況

### 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 1000km<sup>2</sup> 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 10km<sup>2</sup> 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。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。

2011 年度においては、各対象地域に関する地すべり地形判読作業に必要な航空写真を概ね調達することができた。ザグレブ市街地背後の丘陵地帯に関しては航空写真による地形判読作業を完了し、地すべり・崩壊分布図を作成した。当該地域における地すべり・崩壊は 100 数十箇所に及んでいる。一方、リエカ地域におけるグロホボ地区並びにソルトクリーク地区に関しては、判読作業は一部実施済みであるが、対象地域全域に関しては、2012 年度前半に作業を完了する予定である。

ザグレブ地域のコスタニェク地すべり地に関しては、地表踏査結果、トンネル内踏査結果、航空写真に基づく地すべりブロックの分布状況を総合的に比較検討し、3 次元地形表示・安定解析ソフト ADCALC3D を用いてクロスチェックを行った。その結果、トンネル内に現れている変位は小規模地すべりブロックの滑動を反映すると推定された。

リエカ地域のグロホボ地すべりに関しては、3 次元安定解析により地内に分布する多数の小規模地すべりブロックの相対的な安定性の比較を行った。また、同地すべりが崩落した際に、一時天然ダムを形成し決壊する場合並びに直接土石流化する場合の二つのシナリオを想定し、土石流の流動シミュレーションを行った。

さらに、土砂洪水統合ハザードマップ構築の前段階として必要な、階層構造分析 (AHP) 法による地すべり危険度評価を行うための評価基準をグロホボ地すべりを対象として作成した。

#### 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。

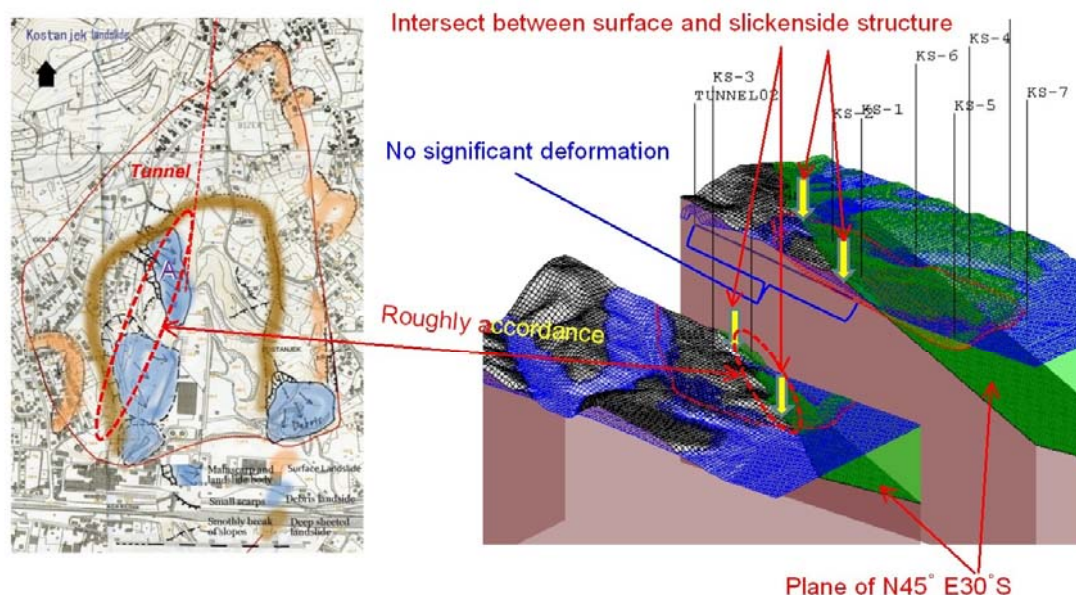
2011年度においても、10月初旬から2ヶ月間、クロアチアの若手研究者2名が来日し、地すべり地形判読、AHPによる危険度評価、ADCALC3Dソフトによる安定解析等に関する研修を実施した。

2011年12月15日から17日に掛けてRijeka大学土木工学部において、第2回国際ワークショップを実施した。此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を始めとし、周辺諸国を含め計11カ国から多数の参加を得、有効な技術伝達が行うことができた。また、2011年10月に2週間、リエカ大学教授1名及びザグレブ大学教授1名を招聘し、仙台、山形及び新潟において地すべり地形解析、地すべり危険度評価に関する意見交換を行った。

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概要に関しても高い期待が表明された。

### Comparison between photo interpretation, confirmation work, and 3D modeling



Landslides locate west of excavation are roughly seemed relation to geological structure. Former sliding surface doesn't exist or not active after tunnel construction. It seems that deformation of the tunnel is caused by activation of the slide "A".

図6 コスタニェク地すべり地における、地表踏査結果、トンネル内踏査結果、航空写真判読結果の照合。(3次元地形表示・安定解析ソフト ADCALC3D による表示)

Stereo pair and micro landform feature of landslide		Inspection record sheet for landslide risk evaluation (Level I)			AHP score
Level II	Level III	Unstable factor			sum
		Large (High)	Middle	Small (Low)	
Micro Landform features in the landslide body	Mechanism of landslide	10 	5 	2 	
	Changes of landform micro-topography	30 	15 	5 	
Level of edge and/or deformation of marginal zone	clarity of main area	10 	5 	2 	
	clarity of toe area	20 	5 	2 	
Location features	Erodibility of toe part of landslide mass	20 	10 	5 	
	Stability of toe part of landslide mass	10 	5 	2 	
Landslide Risk based on your own experience		Large → Middle → Small			
Remarks					Reference No. Name of Map

図7 グロホゴ地すべりを対象として作成された、AHPによる危険度評価基準

### 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 10 件): “accepted”、“to be published”、“in press”
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 11 件)
- ③ 論文詳細情報(著者名、発表論文タイトル、掲載誌(誌名、巻、号、発表年)などを発行日順に記載して下さい。)。なお、同一の論文は一報として記載して下さい(グループ毎の重複記載は不要)。

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.

(WG1)

Maja Ostric, Kyoji Sassa, Bin He, Kaoru Takara and Yosuke Yamashiki (2011). Portable Ring Shear Apparatus and its application. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Landslide Science and Practice (Eds: Margottini, Canuti and Sassa), Vol. II - Early warning, instrumentation and monitoring, Springer (in Press).

Bin He, Kyoji Sassa, Maja Ostric, Kaoru Takara and Yosuke Yamashiki (2011). Effects of parameters in landslide simulation model LS-RAPID on the dynamic behaviour of earthquake-induced rapid landslides. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Landslide

Science and Practice (Eds: Margottini, Canuti and Sassa), Vol. III – Spatial analysis and modelling, Springer (in Press).

Maja Ostric, Kristijan Ljutic, Martin Krkac, Hendy Setiawan, Bin He, and Kyoji Sassa (2012).

Undrained Ring Shear Tests Performed on Samples from Kostanjek and Grohovo Landslide.

Proceedings of IPL Symposium (Eds: Sassa, Takara, He), Kyoto, 2012, pp:47-52.

Zeljiko Arbanas, Kyoji Sassa, Hideaki Marui, Snjezana Mihalic (2012). Comprehensive monitoring system on the Grohovo Landslide, Croatia. Proceedings of 11<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Banff, Canada (in press).

(WG2)

Yosuke YAMASHIKI, Mohd Remy Rozainy MAZ, Taku MATSUMOTO, Tamotsu TAKAHASHI, Kaoru TAKARA. 2012. EXPERIMENTAL STUDY OF DEBRIS PARTICLES MOVEMENT CHARACTERISTICS AT LOW AND HIGH SLOPE. Journal of Global Environmental Engineering, JSCE. In press. Vol.17, pp.9-18, 2012.

Maja Ostric, Yosuke Yamashiki, Kaoru Takara, Tamotsu Takahashi, 2011. POSSIBLE MASSIVE SCALE LANDSLIDE OCCURRENCE AND RESULTING MASSIVE SCALE DEBRIS FLOW OCCURRENCE ON THE EXAMPLE OF GROHOVO LANDSLIDE (RJEKINA RIVER CATCHMENT< CROATIA), Proceedings for JSCE International Summer Symposium, JSCE.

(WG3)

Snjezana Mihalic, Hideaki Marui, Osamu Nagai, Hiroshi Yagi, Toyohiko Miyagi. Landslide Inventory in the area of Zagreb City: Effectiveness of Using LiDAR DEM. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Landslide Science and Practice (Eds: Margottini, Canuti and Sassa), Springer (in Press).

Chunxiang Wang, Željko Arbanas, Snjezana Mihalčić, Hideaki Marui. Three dimensional stability analysis of the Grohovo landslide in Croatia. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Landslide Science and Practice (Eds: Margottini, Canuti and Sassa), Springer (in Press).

Chunxiang Wang, Hideaki Marui, Gen Furuya and Naoki Watanabe. Two integrated models simulating dynamic process of landslide using GIS. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Landslide Science and Practice (Eds: Margottini, Canuti and Sassa), Springer (in Press).

Martin Krkač, Snjezana Mihalčić, Pavle Ferić, Laszlo Podolszki, Aleksandar Toševski and Željko Arbanas Japanese - Croatian Project: Preliminary Investigations of the Kostanjek Landslide. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Landslide Science and Practice (Eds: Margottini, Canuti and Sassa), Springer (in Press).

Gen Furuya, Tatsuo Katayama, Akira Suemine, Takayuki Kozato, Takahiro Watanabe and Hideaki Marui.

Application of the Frequency Domain Electromagnetic Method survey in a landslide area. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Landslide Science and Practice (Eds: Margottini, Canuti and Sassa), Springer (in Press).

## (2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳 該当なし
- ② 本プロジェクト期間累積件数 該当なし

## 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