

2013

Vol.8

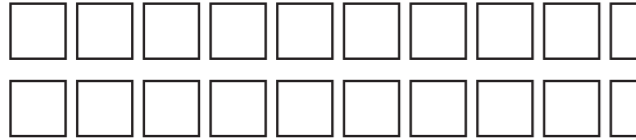
# GEO

## CONSULTANT

ANNUAL REPORT  
KANSAI GEOTECHNICAL  
CONSULTANTS ASSOCIATION



関西地質調査業協会



関西地質調査業協会 理事長 荒木 繁幸

Placeholder text consisting of multiple lines of empty boxes for a message or introduction.



五條市大塔町宇井で2011年9月4日午後3時10分、本社ヘリから三村政司撮影奥の斜面が崩れて天ノ川をせき止め、あふれた水が中央にあった民家数棟を押し流した(奈良県)

## CONTENTS

<b>特集</b> CLOSE-UP 関西地質	3
台風12号による深層崩壊の経験から	
■千木良 雅弘 京都大学防災研究所 教授	
技一徹 名物職人 ◎技術者の目線から	7
航空レーザ計測技術で探る地形情報	
■向山 栄 国際航業株式会社 技術開発部	
<b>特集</b> SPECIAL-ISSUE ◎深層崩壊	9
1. 台風12号で発生した深層崩壊に関して 地質調査に期待すること	9
■木下 篤彦 国土交通省近畿地方整備局河川部・建設専門官	
2. 紀伊半島大水害を踏まえた奈良県の取り組みについて	11
■入口 和明 奈良県土木部深層崩壊対策室 室長補佐	
3. 2011年7月19日に高知県安芸郡北川村で 発生した大規模崩壊の地形的特徴	13
■笹原 克夫 高知大学教育研究部自然科学系 教授	
4. 紀伊半島における被害の概要と研究活動への参画	15
■栃本 泰浩 川崎地質株式会社西日本支社技師長	
5. 斜面災害に備える調査技術	17
■関西地質調査業協会 技術委員会	
6. 空中電磁法を活用した地震による 深層崩壊危険箇所の抽出手法	19
■長谷川 修一、野々村 敦子 香川大学工学部	
7. 深層崩壊、そして複合土砂災害とその対策を考える	21
■藤田 正治 京都大学防災研究所附属流域災害研究センター 教授	
8. 紀伊半島大水害への対応と土砂災害への備え	23
■森川 智 和歌山県県土整備部河川・下水道局砂防課	
現場見学会報告	26
平成23年度 台風12号による大規模土砂災害の現場見学会	
■黒木 研志 キタイ設計株式会社 防災地質部	
Challenging people ◎地質調査人	27
地質調査で必要な知識を形に	
■茂木 太郎〈地質調査技士合格〉 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 関西支社 地盤技術部	27
第一回応用地形判読士を受験して	
■松村 法行〈応用地形判読士合格〉 株式会社ダイヤコンサルタント関西支社 地質・防災部 地質防災第1課 課長	28
REVIEW THE REPORT ◎最新技術レポート紹介	29
空気注入による不飽和化(脱水)で液状化対策: Air-des工法	
■岡村 未対 愛媛大学大学院理工学研究科 教授	
プロジェクトK	31
大阪駅改良工事 ～軟弱地盤上の既設構造物に近接した大規模掘削工事～	
■下野 一行 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社 土木設計本部 次長	
協会活動報告	33
関西地質調査業協会加盟会社リスト	34

# 台風12号による 深層崩壊の経験から

千木良 雅弘 京都大学防災研究所

## 1. はじめに

2011年台風12号は、9月2日から5日にかけて、四国と中国地方を横断した。そして、台風の進行方向右側にあたる紀伊山地では大量の降雨が生じ、50を超える数の深層崩壊が発生し、天然ダムが形成され、それらの内5か所では残存した天然ダムの決壊が強く懸念された。この台風の結果、奈良県と和歌山県では、土砂災害による死者47名、洪水による死者12名、その他の死者22名を含めて、合計81名の犠牲者が生じた。土砂災害による死者は、土砂の直撃を受けたものと、増水した川への土砂の突入による“津波”によるものが多かった。

これまで深層崩壊の分析は、発生後の空中写真などを用いて行われてきた。このため発生前の状況が明確になっている場合が少なく、その発生場所予測技術は確立していなかった。しかし、台風12号による深層崩壊の分析は、この点で大きな進歩をもたらした。航空レーザー計測データが、国土交通省と奈良県によって事前に取得されていたからである。これらのデータを用いた地形解析によって、深層崩壊発生前の地形的特徴が明らかになり、深層崩壊発生場の予測に大きく近づくことができた。また、複数個所の深層崩壊の発生時を特定することができ、それらの崩壊が発生するまでに降った降雨量も求めることができた。

ここでは今回の台風12号による深層崩壊の特徴について述べたうえで、深層崩壊発生前の地形と地質的特徴をとりまとめ、深層崩壊の発生場と発生時の予測への見通しに触れる。

## 2. 地形・地質概要

紀伊山地は標高1915mの八経ヶ岳を最高峰とする山地で、その中央部には熊野川と北山川が北から南に流れている。紀伊山地の大部分はこれらの水系の流域となっており、北部を西流する紀ノ川水系の流域は狭く、その流域と熊野川流域および北山川流域との流域界は北部に偏っている。紀伊山地の主体は東西に延びる中央構造線よりも南側の西南日本外帯に位置し、最北部に三波川帯と秩父帯が分布し、その南側の広い範囲は白亜紀から古第三紀の付加体が分布する四万十帯となっている。今回の災害発生時の主要部は四万十帯に位置し、北部の一部の崩壊は秩父帯に位置している。四万十帯と秩父帯とは、関東山地から中部、紀伊山地、四国山地を経て九州山地まで続く地帯であり、同様の地質地形的条件を備えている。

## 3. 深層崩壊発生と降雨

台風12号によって発生した深層崩壊で最大規模のものは、面積548500m<sup>2</sup>で体積1400万m<sup>3</sup>の栗平の崩壊、次いで赤谷の崩壊(面積423700m<sup>2</sup>、体積約820万m<sup>3</sup>)であった。栗平の崩壊体積は、2009年台湾小林村の崩壊(2500万m<sup>3</sup>)の半分強、2005年の台風14号による耳川流域の最大の崩壊(330万m<sup>3</sup>)の5倍程度であった。

8月30日17時からの総降水量は、紀伊半島の広い範囲で1000mmを超え、奈良県北山村では降り始めの8月30日から9月5日までの総雨量が2439mmを記録した。台風12号による崩壊の特徴は、表層崩壊が極めて少なく、深層崩壊が散点的に発生したことである。深層崩壊は50か所以上で発生し(図-1)、それらの内、5か所(赤谷・長殿・北股・熊野・栗平)では天然ダムが形成・残存したため、その決壊が強く懸念され、改定土砂災害防止法に基づいて、国土交通省による緊急調査が実施された。また、十津川村野尻では崩壊土砂が増水した十津川に突入し、河川水の流路を対岸に押し付け、そこにあった家屋が流失し、8名が犠牲となった。十津川村宇宮原では、やはり崩壊土砂が増水した十津川に突入し、おそらく河川を一時的にせき止め、結果的に上流に向かう“津波”を引き起こし、それが突入箇所から1km上流にある長殿発電所を破壊した。五條市宇井地区では、対岸の崩壊土砂に襲われ、11名が犠牲となった。

台風による3日間累積降雨量は、紀伊山地の東側と南側で多かったが(図-1)、深層崩壊の発生はむしろ紀伊山地の中央部、すなわち累積降雨量が相対的に少ない範囲に集中した。これは、単に累積降雨量が深層崩壊の

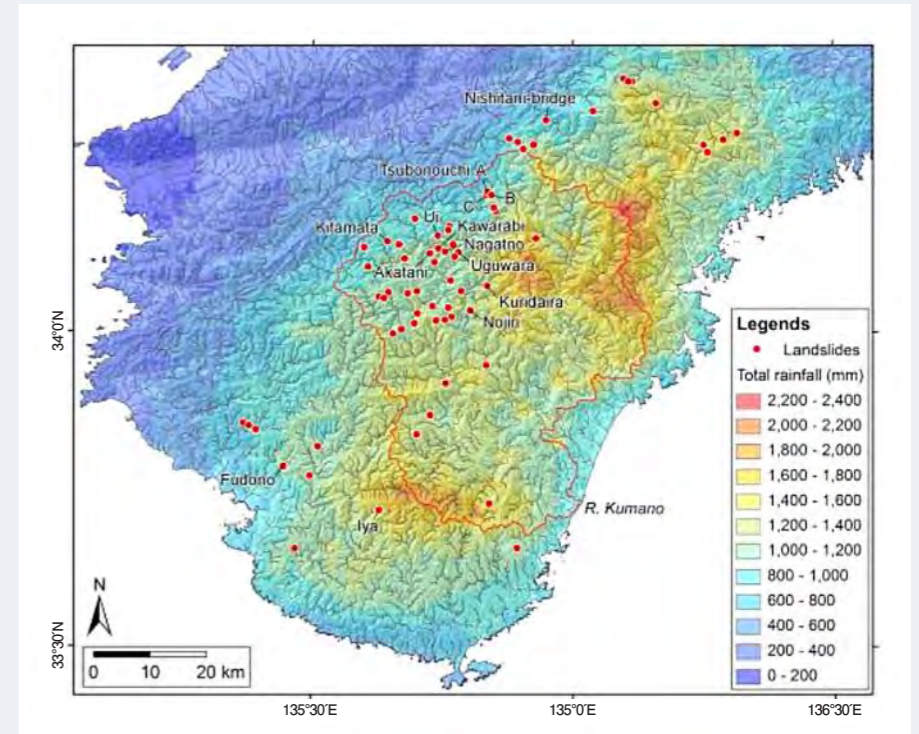


図-1 深層崩壊の分布と台風12号による累積降雨の分布(松四雄騎原図)。8月31日から9月5日。雨量はレーダーアメダス解析雨量による



図-2 発生した主要な深層崩壊(2011年9月22日千木良撮影)。A:赤谷、B:長殿、C:清水(宇井)、D:天川坪の内、E:北股、F:熊野(いや)

発生場所を決めたのではなく、地域の“雨慣れ”も反映していることを示唆している。また、これらの深層崩壊の内19の崩壊は、地震記録と聞き取り調査などにより、発生時刻が特定されている。この深層崩壊発生時までの累積雨量をレーダーアメダス解析雨量から求めると、累積雨量がおおむね700mm以上に達したあたりから深層崩壊が発生したことも明らかになった。従来、崩壊発生時刻の特定が難しかったため、崩壊が発生した時までの累積雨量が正確には求められなかったことから、このデータは貴重なものである。

#### 4. 発生前の微地形

崩壊発生前後の詳細DEMデータが取得されている9つの崩壊について、傾斜図を作成して、崩壊発生前の地形と崩壊の輪郭とを詳細に比較すると、いずれの深層崩壊もその頭部となる部分に小崖あるいは線状の凹地を伴っており、それらが崩壊の輪郭にほぼ沿っていることが明らかとなった(図-3)。これらの小崖や線状凹地は、斜面が重力によって徐々に変形して形成された地形である。つまり、深層崩壊は、何の前兆もないところに発生したのではなく、あらかじめ重力によって変形した斜面で生じたことが明確になった。言い換えれば、これらの地形に注目すれば深層崩壊の発生場所の予測に近づくことができることが初めて明確になった。これらの中には空中写真で比較的容易に重力変形地形として認識できるものもあるが、多くは空中写真ではよほど注意深くしてようやく認識できる程度のものである。つまり、それらの発見には航空レーザー計測による詳細DEMデータ取得が不可欠かつ有効であることもわかった。

上記の小崖は、規模が大きくなれば地すべ

りの滑落崖と同じものとみなせるが、今回の深層崩壊に先だったものは、いずれも小規模であった。崩壊発生前後の地形を比較し、崩壊に先だった変形量と斜面全体の大きさとの比、つまり一種の“ひずみ”を求めたところ、5～21%であった。この“ひずみ”の量については、今後の検討を待つところであるが、斜面が重力によって変形し、崩壊の直前の“限界ひずみ”状態にあった斜面が崩壊したものと理解できる。

#### 5. 地質構造

前述したように、いずれの深層崩壊も重力変形斜面に発生したものである。これらの重力斜面変形は、地形に表れていただけでなく、発生後の調査によれば特徴的な地質構造としても認められた。それらは、現地調査によれば、地質構造から次の3タイプに分けられる。くさび状分離面に沿うすべり、曲げトッピング、流れ盤の地層の座屈、である。これらはいずれも不連続面に沿うせん断を伴っているが、最も顕著な不連続面は、付加作用時に形成されたと考えられるせん断面であり、これらは鏡肌を持ち、大局的にはもとの層理面に平行であるが、湾曲・分岐・併合を繰り返す。崩壊地には、光沢をもつ湾曲面として露出し、それがすべり面となったことを示している(図-4)。このような特徴は、付加体に特有であり、それが今回の崩壊の素因となったと言える。

##### (1) くさび状分離面に沿うすべり

このタイプの重力斜面変形は最も多くの崩壊に見られた。斜面の内側に楔形の不連続面があり、その上の地層がすべり落ちるタイプである。顕著に認められたのは赤谷の崩壊で、崩壊前後の地形と崩壊後に露出した地質

から、赤谷の崩壊の最上部の小崖は、断層沿いおよび面構造沿いのずれとして生じていたことがわかった。

##### (2) 曲げトッピング

このタイプの重力斜面変形は、北股の崩壊で認められた。急傾斜する地層が斜面下方に向かってお辞儀をするように倒れかかる変形で、最上部に線状の凹地を伴うことが多い。曲げトッピングは大規模な崩壊に至らない場合も多いが、北股では線状凹地の下方延長に斜面上方の断層があったために、それがすべり面となり、急激な崩壊が発生したものと考えられる。

##### (3) 流れ盤の地層の座屈

このタイプの重力斜面変形は、斜面下方に傾斜する地層が膝を折るようして座屈したもので、大規模なものは熊野(いや)で認められた。座屈して倒れた部分(膝から下)が取り除かれると、上方の地層は不安定となり、すべり落ちる。この大規模なものは、2008年台湾の小林村の深層崩壊で認められたものである。

#### 6. おわりに

2011年の台風12号は、50以上の深層崩壊を発生し、甚大な山地災害を引き起こした。一方で、これらの崩壊は、今までの国内外の経験の中では最も詳細なデータが記録されたものであり、それらの分析は深層崩壊の発生時の予測に大きな前進をもたらした。

地形的に見ると、これらの深層崩壊はいずれも発生前に重力によって変形した斜面に発生したものであることが明らかになった。また、その変形は地表面に小規模な崖となって表れていたことから、これらの崖をもとにして

深層崩壊の発生場が予測できる見通しが得られた。これらの崖は、空中写真よりも航空レーザー計測によって詳細かつ広域的に抽出することが可能である。

特定できた深層崩壊発生時とレーダーアメダス解析雨量から、深層崩壊が累積雨量700mm程度あたりから発生したことが明らかになった。深層崩壊を発生させる雨量は、地質と地形特性に関係しており、地域によって異なると推定されるが、西南日本外帯の四万十帯では、この程度の雨量が深層崩壊発生の目安になる可能性がある。

地質構造からみると、発生した深層崩壊の多くは、楔形の不連続面(地層の層理面、面構造、断層)に沿ってすべり面を持つ「すべり」のタイプであり、一部に曲げトッピングや座屈を伴うものがあった。楔形の不連続面には、四万十帯の付加時に形成された面構造の寄与が大きい。

台風12号が引き起こした深層崩壊によって、甚大な災害と引き換えに、深層崩壊発生の際を予測できる見通しが得られたと言える。

#### 謝辞

本報告は、京都大学防災研究所の松四雄、ソウ・チンイン、山田真澄、深田地質研究所の平石成美、パシフィックコンサルタンツの松澤真との共同研究の成果に負うところが多い。本研究を進めるにあたり、国土交通省近畿地方整備局および奈良県には貴重な航空レーザー計測による1mメッシュのDEM(数値地形モデル)データを提供いただいた。また、現地調査にあたっては、五条市、十津川村、田辺市の関係各位に便宜を図っていただいた。ここに謝意を表する。

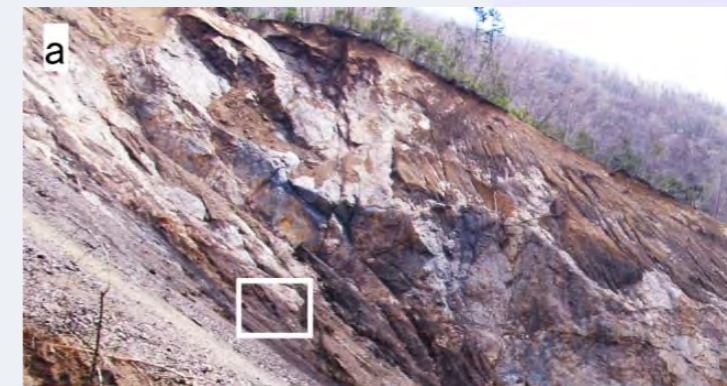


図-4 崩壊地に露出したせん断面。鏡肌を有し、湾曲・分岐・併合を繰り返す。  
a:赤谷の崩壊の向かって右上部。  
b:aの四角内。岩石は混在岩。  
c:北股の崩壊最上部。

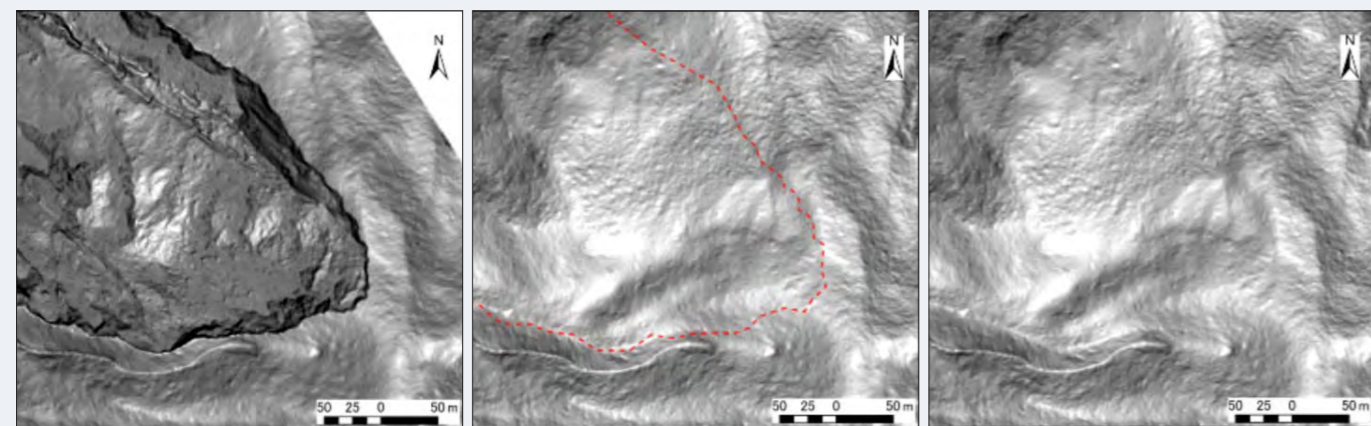


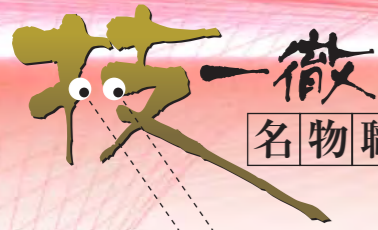
図-3 赤谷の深層崩壊最上部の傾斜図(黒い部分ほど急傾斜)。左から、発生後、発生前(崩壊の輪郭付き)、発生前(輪郭なし)。発生前にすでに崩壊の輪郭に沿って小崖(黒い筋として表現されている)が形成されていることがわかる。



千木良 雅弘  
MASAHIRO CHIKIRA

京都大学防災研究所  
1980年 東京大学大学院理学系研究科地質学専攻 修士課程終了  
同年 同上博士課程進学

1981年 財団法人電力中央研究所 入所  
ダム、発電所、送電鉄塔などの基礎的地質調査に従事するとともに、基礎的研究として岩石の風化と岩盤の重力による変形について研究。  
1997年 1月 同上退職、同年2月 京都大学防災研究所教授(現在に至る) 地盤災害研究部門にて研究を行うとともに、理学研究科地球惑星科学専攻(地球物理、環境地圏科学分科)の教員として大学院の学生の指導を行っている。



名物職人 技術者の目線から

# 航空レーザ計測技術で探る地形情報

国際航業株式会社 技術開発部 向山 栄

最近、航空レーザ計測による詳細な地形データを用いた地形解析や地形判読が広く行われるようになってきました。航空レーザ計測は、我が国では2000年ごろに実用化した地形計測手法です。GPS等によって正確な位置情報を持つ航空機から地表に向けて高密度に照射されたレーザビームの方向・角度と往復時間を計測することにより、地表面の反射点の位置を、3次元的に正確に求めることができます。現在までに公共事業によってデータが取得された範囲は、国土の約50%に達しています。

高解像度の地形データとは、新たな定義が必要ですが、ここでは10mオーダーのスケールをもつ、地形学上でいう「微地形」を再現できる程度の解像度、すなわちメッシュデータでいえば、グリッドサイズが5m以下の地形データを高解像度と呼ぶことにします。実際には、活断層調査で変動地形などを抽出するために、グリッドサイズ0.5mの地形データが作成されている地域もあります。古墳などの遺跡調査のために、さらに高解像度のデータが取得されている場所もありますが、多くの地域では、グリッドサイズ1m～2mのメッシュデータが作成できる程度の計測がなされています。これらのデータから、用途に応じて1m、2m、4m、5m、あるいは12.5mなどのグリッドサイズのメッシュデータが作成され供用されています。現在、公共事業で取得したデータを公開する作業を国土地理院が進めており、一部のデータはグリッドサイズ5mのメッシュデータとして、だれでも入手できるようになっています。洪水の氾濫解析や津波の遡上シミュレーションなどには高解像度地形データは不可欠であり、さらに変動地形調査、地すべりや崩壊地の判読、

地盤沈下地域における計測、河床変動調査などにも、従来の空中写真判読や航空写真測量に替わる計測手段として航空レーザ計測による地形データが用いられるようになってきました。

私が最初に航空レーザ計測の地形データの真価を知ったのは2002年頃です。活断層の調査の際に、段丘面上の微小な起伏の判読に航空レーザ計測による2mのDEM (Digital Elevation Model) を用いて、等高線図の他、さまざまな地形表現図を作成したところ、幅1m、高低15cm程度のわずかな起伏や微小な谷地形が、実際に見えるそのままに再現されていることを、現地に行って確認することができたのです。航空レーザ計測の利点の一つは、樹木などの間を抜けて地表に到達したレーザビームの反射点から、地殻を除去した裸地状の地形モデルを作成できることですが、それ以上に、本質は高密度の点群からなる高解像度かつ一様な面的データが得られることであることを、その時私は確信しました。

この、実地形の精密な縮小モデルともいえる地形モデルの威力は、これまでの航測図化による大縮尺地形図では表現しきれない、微小な起伏の情報が面的に稠密に得られることです。従来の地形表現手法である等高線図を用いてもそれは明らかです。(図-1)に大阪府堺市のニサンザイ古墳付近の標高段彩等高線図(等高線間隔1m)を示しますが、詳細な地形図を用いて古墳の周囲の地形環境を少し広く観察すると、古墳の築造が、土木建設技術上の問題を配慮して行われたことをうかがわせる情報が得られるように思います。ニサンザイ古墳が築造されている平坦な段丘面上にも、実は微小な起伏があり、浅い谷地形がいく

つか形成されていることがわかりますが、周濠は、その端部が谷地形に隣接するように配置されているようです。これは周濠を掘削する際の湧水や表流水を排水するために、開削部を自然の谷地形に導いて排水経路として利用し、墳丘の完成後に排水路を閉じて周濠を湛水したことを示しているのではないのでしょうか。古墳の配置は、技術的理由で周到に地形を選んで計画されたように思われます。またこの図では、現在の周濠の外側にも、溝状に続く細い低地が等高線の形状から認められますが、これは周濠が二重であったことをうかがわせませす(1976年の堺市の調査により、周濠が一部では二重であったことが発掘確認されています)。

航空レーザ計測データの高密度点群データの特徴は、抜けやムラのない、均質なラスタ型データの作成できることにあります。そしてこのことが、数値データである地形量を画像として扱うことによって、さまざまな地形表現手法で地形を可視化できることに結びついています。よく知られている「赤色立体図(アジア航測株式会社)」はその嚆矢であり、それに続いて「陰陽図(朝日航洋株式会社)」、「ELSAMAP(国際航業株式会社)」などが開発されました。これらはいずれも、現在では特許登録がなされています。ELSAMAP(エルザマップ)は、標高値と傾斜度を透過合成することにより、高さや傾斜という、1地点に属する立体情報をそれぞれ独立して知覚できるように工夫した地形情報図です。い(図-2)に2004年新潟県中越地震の震源に近い魚沼丘陵の地すべり地帯のELSAMAPを示します。地すべり移動土塊の中の不規則な小起伏が、全体の地形の高低とともに、明瞭に把握できると思います。

ラスタ型地形データを画像として扱う方法では、グリッドサイズの大きい地形データを使っても、多様で効果的な地形表現ができます。(図-3)は、NASAによって公開されているスペースシャトルのレーザ計測による3秒メッシュ地形データSRTM-3を使用して、2008年にM7.9の地震が発生した中国四川盆地西縁の地形を示したものです。この図は、光源位置を西南西に固定した陰影起伏図で、チベット高原に続く急峻な山地と、四川盆地との高度差が明瞭であるとともに、山地から流出する河川が形成した巨大な扇状地帯が山地の縁に並ぶ様子が明瞭に浮かび上がります。このように、一つの地形表現法は万能ではなく、表したい地形の特徴に合わせて適切な地形表現法を取ることが重要です。現在はさまざまな工夫によってそれが可能な時代になっているといえるでしょう。

以上に述べたような、詳細地形データを加工し、地形表現として人間の視覚を最大限に利用して画像判読が行えるような技術開発の流れ

向山 栄 SAKAE MUKOUYAMA

国際航業株式会社 技術開発部  
昭和56年3月 北海道大学大学院理学研究科修士  
昭和56年4月 国際航業株式会社入社  
昭和58年より、活断層調査等、防災関連業務に従事。  
博士(理学)、技術士(応用理学・建設)



がある一方で、航空レーザ計測データによる詳細な地形量データを用いた定量的計測を、自動的に行う手法の開発も進みつつあります。広く行われているのは、多時期の計測データを用いた地形変化量の抽出で、一般的に実用化されているのは標高値の差分を取り、斜面や渓流における土砂の流出量や堆積量を求めるものです。また最近では、いったん地形量を画像化したデータを用いて、水平移動を含む地表面の移動ベクトルを比較的精度良く抽出できる技術(特許4545219号 国際航業)も開発され、地すべりや地震前後における地表面変動の計測が行われるようになってきました。これは画像マッチングの手法を応用したもので、レーザ計測のような2時期の高解像度点群計測データを用いて、地表に計測機器を置かずに、20cm程度以上の地表面の動きを面的に自動的に把握することができるものです。(図-5)に、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)で東京湾岸の埋立て造成地に発生した地盤の側方移動の状況を示します。地盤は液化化するとともに、不規則な形状の小領域が一定の方向に数10cm程度移動しています。またその移動方向は、埋立て前の埋没谷地形の形状に規制されている可能性が考えられました。

航空レーザ計測は、実地形の縮小モデルともいえるような詳細な地形データを、机の上で簡単に再現できる状況をもたらしました。地形学的には、スケールの小さい地形は、形成時間が短いことを示します。地すべり・崩壊・土石流のような災害が発生する時間間隔と時間スケールが一致した地形情報を手にすることによって、過去の災害履歴を詳細に解析して、災害の予測をよりの確に行うことができるようになると思われます。今後、詳細地形データの全国的な整備と公開によって、さまざまな分野での利用が進むことを期待しています。

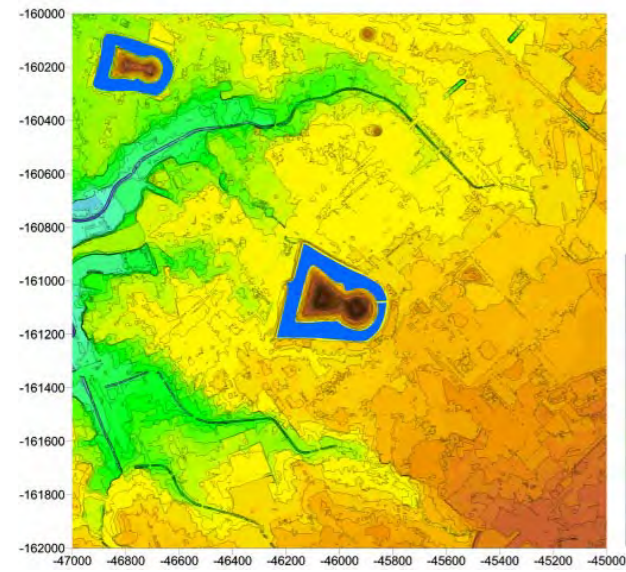


図-1 大阪府堺市のニサンザイ古墳付近の詳細地形図。等高線間隔は1m。2006年の航空レーザ計測2mDEMから作成。

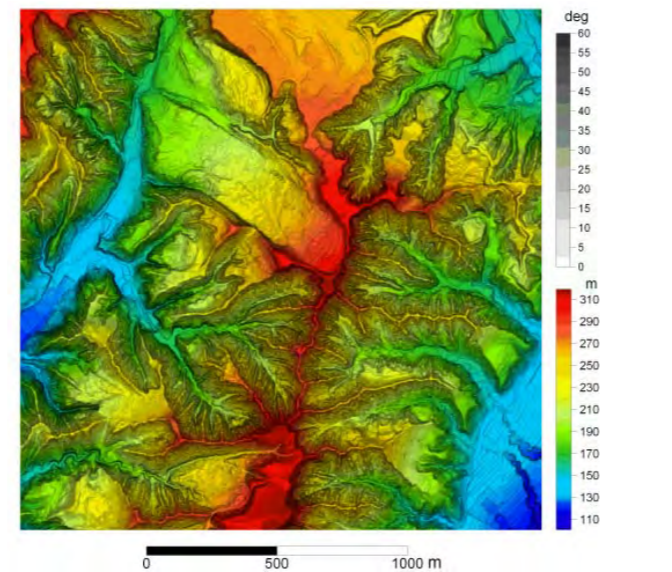


図-2 新潟県魚沼市の地すべり地帯を表現したELSAMAP。2004年の航空レーザ計測による2mDEMから作成。

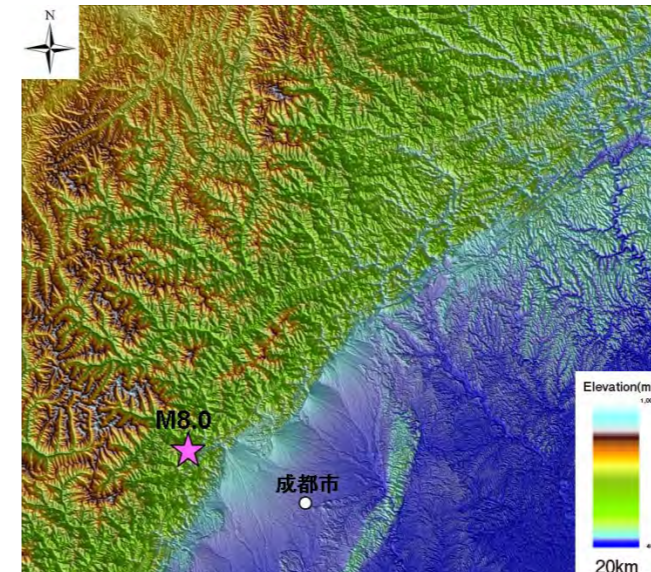


図-3 四川省成都市周辺の陰影起伏図。スペースシャトルの3秒地形データSRTM-3を用いて作成(SRTM-3は、レーザ計測ではなくレーダ計測によるもの)。

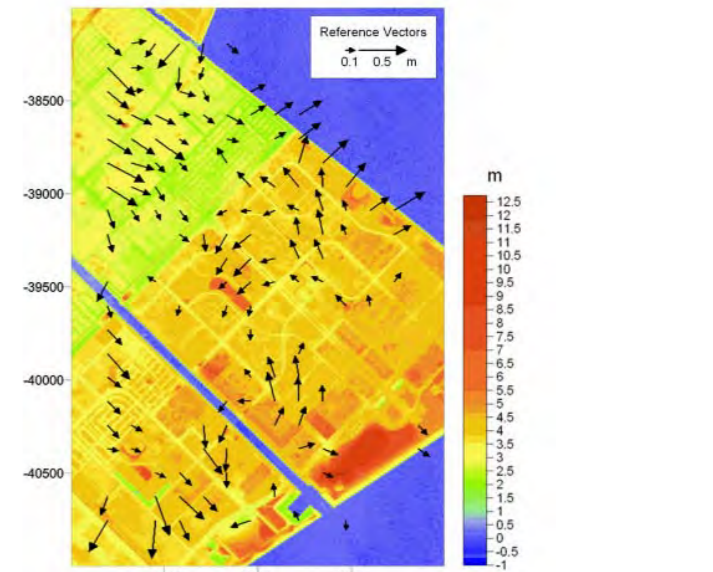


図-4 2011年東北地方太平洋沖地震で液化化が生じた東京湾岸の埋立地に見られる地盤の側方移動。2006年および2011年の地震前後の航空レーザ計測による1mDEMから計測。

# 深層崩壊

今回の特集では、「深層崩壊」をテーマとして、生活者の安全と災害に向けた対策について紹介いただきました。

## 1 台風12号で発生した深層崩壊に関して地質調査に期待すること

国土交通省近畿地方整備局河川部・建設専門官 木下 篤彦

### 1. はじめに

平成23年9月2～4日の豪雨ともなう災害では、奈良・和歌山県を中心として多数の崩壊が発生した。特に、(図-1)に示す17箇所の河道閉塞箇所による被害は地域に与える影響も大変大きかった。

なぜこのような災害が起きたのか。その答えは今のところほぼないといい、それもそのはずである。いろいろ私も調べてみたが、深層崩壊に関する知見などほとんどないのである。ボーリング調査や崩壊面の試験結果等が少ないのだから当たり前である。

昨今、深層崩壊は想定外の現象ではなく、今後は日本全国至る所で発生する恐れがある。だからこそ我々には今回の深層崩壊のメカニズムを解明し、今後の対策を考えていく使命があると考えている。

### 2. 平成23年台風12号関連における近畿地方整備局の取り組み

現在深層崩壊発生箇所のうち、河道閉塞箇所5箇所(赤谷・長殿・栗平・北股・熊野)、大規模崩壊箇所3箇所(宇井・坪内・三越)で直轄による工事を行っている。これらの工事のうち特に斜面対策については崩壊のメカニズムを調査することが対策の第一歩となる。(図-2)に調査のイメージ図を示す。現在はボーリング調査を行うとともに各種物理試験を実施している。これらの試験にあたって重要なことは、深層崩壊と地すべりは異なる現象である、ということである。地すべりは、すべり面に粘土層が存在するが、深層崩壊の崩壊面は岩が砕けたような層になっている。このため、従来の地すべり調査と同じような調査をして

いては深層崩壊のメカニズムは解明できない。また、水がどこから来てどこへ流れていくのかを把握することも重要である。現在これらを把握するための調査を実施している。

### 3. 近畿地方整備局のこれからの取り組み

今後深層崩壊等の大規模崩壊を考えていく上で重要なのは、いかに危険な箇所を把握し、リスク評価をするか、である。リスク評価については、(図-3)のようなイメージで考えており、以下の手順で実施する予定である。

- ① レーザプロファイラにより地形データの把握
- ② ボーリング孔を用いたトレーサー試験等の実施(今回深層崩壊を起こした箇所での地下水の流入経路の特定)
- ③ ①②を基に、地下水が集まりやすい地形を特定

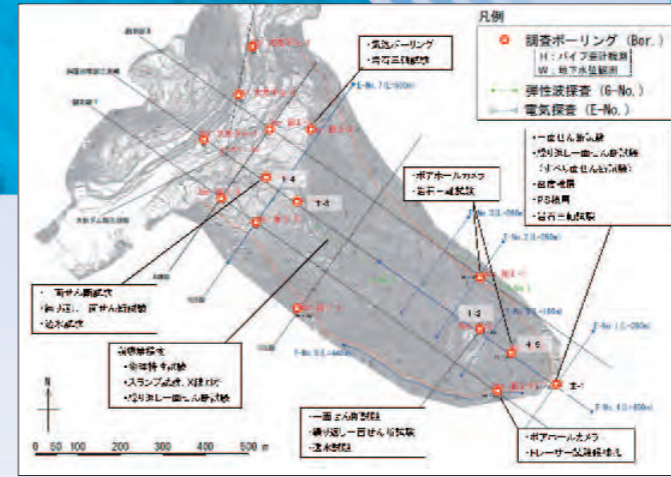


図-2 深層崩壊発生斜面におけるボーリング試験等位置図(赤谷地区の事例)

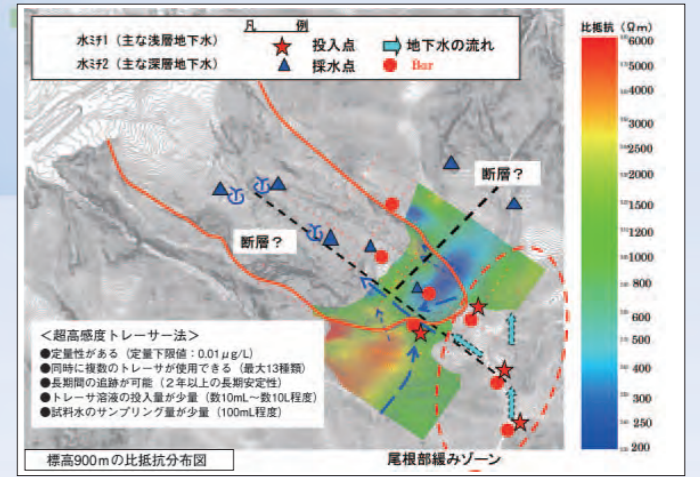


図-3 深層崩壊発生リスクの把握に向けた調査・検討の取り組み

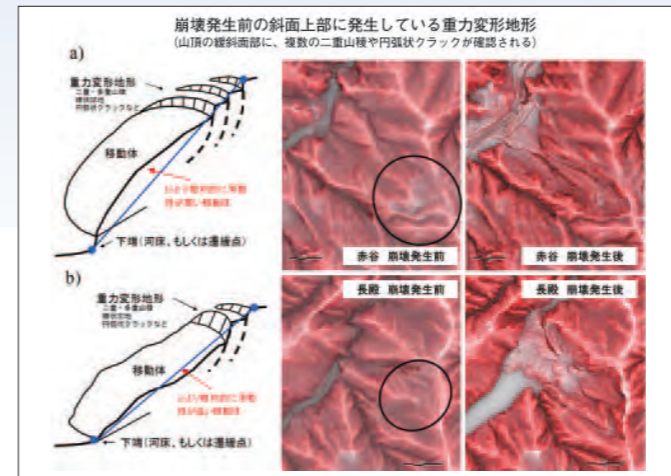


図-4 電気探査結果とトレーサー試験の一例

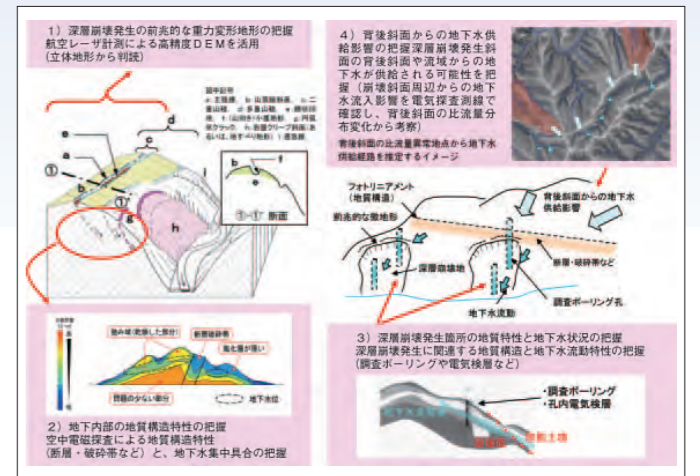


図-5 深層崩壊発生箇所での災害前に確認された斜面上部の重力変形地形



図-1 平成23年台風12号による河道閉塞発生箇所一覧(国土交通省水管理・国土保全局砂防部ホームページより)

④ レーザプロファイラから詳細な深層崩壊リスク評価を実施  
上記の手順から分かるように、私は今回の深層崩壊の一因として「崩壊斜面への過剰な地下水の流入」を考えている。そこで今後(図-4)のような地下水の動きを把握する調査を実施する予定だ。ポイントは断層付近での水の動きである。断層付近では土の粒径が小さくなって地下水の動きが遮断される。このため地下水の動きが斜面流下方向に変化して深層崩壊の一因になったのではないかと私は考えている。

また、深層崩壊のリスク評価を考える上では航空測量等との協力が欠かせない。(図-5)に今回深層崩壊が発生した斜面の発生前の地形を示す。これらの地形は既に災害前から斜面上部で重力変形を起こしていたことが分かる。

(図-6)に空中電磁法の模式図を示す。近年このような空中からの調査手法も開発されており、これらの成果も地質調査時の参考にする予定である。

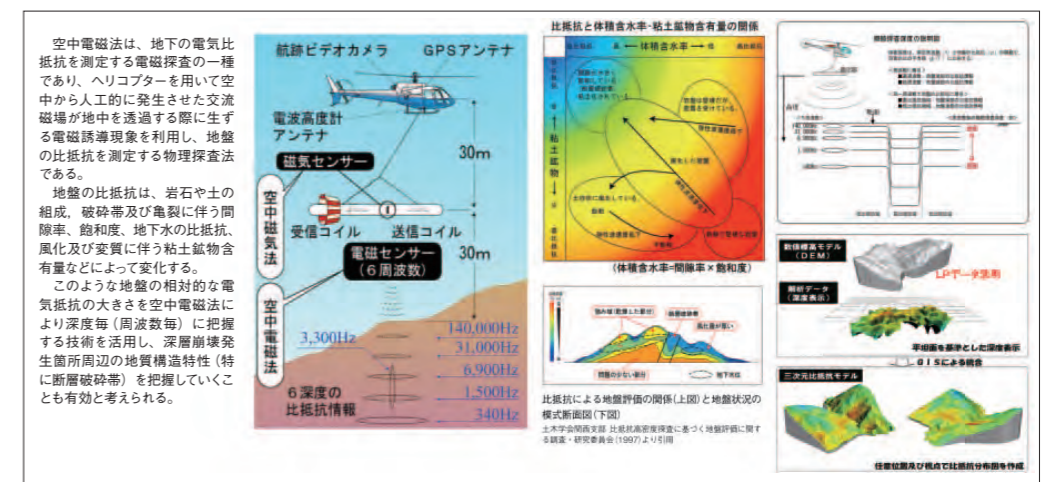


図-6 空中電磁法による深層崩壊発生に関連する地質構造の把握

### 4. おわりに

深層崩壊のメカニズム解明、リスク評価は3年が一つの区切りとなると考えている。今後さらにボーリング調査を続けるとともに根気強く地下水観測やトレーサー試験等を行っていくことが必要と考えている。今後とも多くの技術者と力を合わせて被災地の復興に取り組んでいきたいと考えている。

**木下 篤彦**  
ATSUHIKO KINOSHITA

国土交通省近畿地方整備局河川部・建設専門官  
山口県宇部市出身。京都大学大学院農学研究所博士課程修了。農学博士(山地保全学)。  
平成18年に北陸地方整備局湯沢砂防事務所にて平成16年新潟県中越地震で被災した芋川流域の調査・設計・工事担当となり、地質調査の重要性を認識したことがきっかけで地質調査に多く携わるようになる。



# 2 紀伊半島大水害を踏まえた 奈良県の取り組みについて

奈良県土木部深層崩壊対策室 室長補佐 入口 和明

## 1. はじめに

2011年9月の台風12号により、奈良県南部では2000mmを超える豪雨を記録しました。県全域で約1800カ所の斜面崩壊が発生し、紀伊半島各地でも大規模な土砂災害が発生しました(以下、災害名称:紀伊半島大水害)。

この紀伊半島大水害では、紀伊山系で約1億m<sup>3</sup>(東京ドーム80杯分)の山腹崩壊があり、そのうち約9割が奈良県域というものでした。これは災害による崩壊土砂量としては歴代第4位の記録であり、豪雨によるものは戦後最大の規模と推定されています(表-1)。

また、「深層崩壊」の多発も特徴として挙げられます(写真-1)。奈良県内で発生した深層崩壊は、崩壊面積1万m<sup>2</sup>以上かつ崩壊深10m以上の崩壊だけでも54箇所を記録しました。河道閉塞も発生し、五條市大塔町赤谷、十津川村長殿、十津川村栗平、野迫川村北股の4箇所は全閉塞状態となり、国土交通省により土砂災害防止法に基づく緊急調査が実施されました。

## 2. 被害の状況

この紀伊半島大水害における本県の被害の全容は、2012年8月24日現在、人的被害は死者・行方不明者24名、建物被害は170棟、公共土木施設の被害は道路の被災297箇所、河川および砂防の被災は134箇所

所となっています。被災総額は約178億円という甚大な規模となりました。

また、2011年9月5日のピーク時には、1市7村において避難359世帯、避難938名に達し、7箇所に応急仮設住宅を設置しており、2012年8月24日現在も1市2村において、170世帯、346名が避難中(自主避難を含む)の状況です。

現在、被災箇所における復旧工事を進めていますが、本稿では、再度の大規模災害防止のために、本県が取り組んでいる事例を紹介します。

## 3. 奈良県の復旧・復興計画

本県では、2011年10月7日に知事を本部長とする紀伊半島大水害災害復旧・復興推進本部を設置し、百年の計に立ち「災害に強く、希望の持てる」地域を目指すという基本方針のもと、計画期間10年間の「紀伊半島大水害復旧・復興計画」を2012年3月26日に策定しました。特に平成23～26年(2011～2014年)度は集中復旧・復興期間と位置づけ、復旧事業を迅速に進めるとともに、今後の大規模土砂災害に備えるソフト対策として、安全・安心のための新たなシステムの構築を目指し、

- ①監視・警戒・避難のシステムづくり
- ②深層崩壊のメカニズム解明と対策研究
- ③記録の整備、次世代への継承を進めることとしました(図-1)。なお、これ

らの取り組みは、紀伊半島大水害で被災した三県(三重県、和歌山県、奈良県)からの国への共同提案(2011年10月31日)にも含まれています。

## 4. 大規模土砂災害対策の取り組み

### 4.1 大規模土砂災害の監視・警戒・避難のシステムづくり

#### (1) 検討体制とこれまでの取り組み

深層崩壊等の大規模土砂災害におけるソフト対策の検討を進めるため、2011年12月に「大規模土砂災害監視・警戒・避難システム検討会(以下:システム検討会)」を設置しました。システム検討会は、学識経験者、国・県・市町村の防災担当の行政関係者から構成され、奈良県の被災箇所の分析を通じ、現象の分析、各機関が対応すべき項目の検討を進めています。

#### ○システム検討会の開催状況

- 2011年12月15日:第1回システム検討会開催
- 2012年2月9日:第2回システム検討会(深層崩壊セミナー)開催
- 2012年4月17日:第3回システム検討会開催
- 2012年6月13日:第4回システム検討会において中間とりまとめ(写真-2 深層崩壊セミナー・パネルディスカッションの状況)

#### (2) 中間とりまとめ

2011年6月には、被災後、初めての出水期を迎えるにあたり、注意喚起と検討内容の中間としての取りまとめを行い、ホームページ等で公表しました。

- 中間とりまとめのポイントは次のとおりです。
  - ・河道閉塞箇所および大規模崩壊箇所におけるそれぞれの災害現象に応じた安全対策
  - ・土砂災害(特に深層崩壊)の危険性が降雨ピーク後も続くこと(長雨の後、一定期間は警戒が必要であること)の周知・啓発・徹底
  - ・本災害で得た知見も含めて、災害の伝承を継続
  - ・警戒避難情報を行政から住民に確実に伝達し、住民からも行政が情報を受け取ることができる体制の構築
  - ・避難路が安全な状態のうちに早期避難する情報の提供体制、避難所等との情報伝達体制を確保
  - ・避難情報の提供(早期避難・避難解除)の有効な判断基準として、土砂災害警戒情報の活用など

## 4.2 深層崩壊のメカニズム解明と対策研究

### (1) 検討体制と検討項目

紀伊半島大水害で発生した大規模な斜面崩壊は深層崩壊と考えられるものが多く、監視・警戒・避難の検討を進めていく上で深層崩壊のメカニズム解明が必要不可欠となります。そのため、学識経験者や砂防学会、国土交通省研究機関等と連携し、2012年2月に「深層崩壊研究会」を設置し、モデル的な崩壊箇所について、降雨、水位、地質データなどの分析や現地調査を実施し、その結果を大規模土砂災害アーカイブとして構築する取り組みを進めています。あわせて、国との連携により全国に先駆け、深層崩壊が多発した奈良県

南部地域で集中的な調査を行い、危険な溪流の判定と対策の研究を推進することで、「深層崩壊マップ」の作成等を目指しています。また深層崩壊研究会の検討内容は、システム検討会等に反映しています(図-2)。

#### ○深層崩壊研究会の活動状況

- 2012年2月1日:研究会を設置
- 2012年2月9日:研究会設立会議(深層崩壊セミナー)開催
- 2012年9月10日:紀伊半島大水害で発生した深層崩壊の箇所数発表
- 2012年10月5日:「紀伊半島大水害・大規模土砂災害アーカイブ」のホームページ開設

#### (2) 深層崩壊マップの作成

深層崩壊の全国マップについては、2010年8月には国土交通省から第一弾の深層崩壊推定頻度マップが公表されており、その後の追加調査も実施されています。また、2012年9月10日には第二弾となる深層崩壊に関する溪流(小流域)レベルの調査の深層崩壊溪流レベル評価マップ、深層崩壊跡地密度マップが公表されました。

紀伊半島大水害を受けた奈良県では、地域の防災対応に深層崩壊の危険性を加え、警戒避難等の安全・安心の備えを充実させるため、上記の国土交通省のマップを活用し、地域の自然条件・社会条件等を踏まえた「深層崩壊マップ(奈良県版)」の作成を検討しているところです。

### (3) 紀伊半島大水害による大規模土砂災害アーカイブの構築

深層崩壊の現象発生は稀であり、紀伊半島大水害で集中的に発生した深層崩壊のデータを正確に把握し蓄積することは、今後の深層崩壊の発生予測やその精度向上のために有用であると考えています。そのため、降雨、水文、地形、河床変動、植生、地質のデータのみならず、代表的な被災箇所の避難実態調査結果、過去の災害記録等について資料を収集・整理し、紀伊半島大水害による大規模土砂災害アーカイブ構築を進めているところです。

整理した資料については、各種研究や防災教育等に活用していただくことを目的に、2012年10月5日から「紀伊半島大水害・大規模土砂災害アーカイブ」としてホームページで順次公開しています。

## 4.3 記録の整備、次世代への継承

紀伊半島南部地域は、123年前の1889年(明治22年)8月に「明治十津川大水害」という同様な大規模崩壊をともなう災害が発生しています。その当時の宇智吉野郡役所が①地域の情報、②災害場所、③時間的経過、④災害の状況、⑤対応の状況等について「吉野郡水災誌」という全11巻からなる詳細な災害資料を残しており、土砂災害の検証でも大

変貴重な資料となっています。今回の紀伊半島大水害についても、これらの5項目を中心にできる限りの資料を収集・整理し、上述の大規模土砂災害アーカイブと併せて、地域の実態に即した防災教育・啓発の推進、行政をはじめ地域の自主防災組織などの多様な主体の防災力の向上に反映できるものにしていきたいと考えています。

## 5. おわりに

紀伊半島の山間部は、地形が複雑で土地利用や災害時の避難路が限られるとともに、人口減少と高齢化が進み、避難の移動にも時間を要する地域が多いことから、今回のように大規模な土砂災害が発生した場合、孤立化する可能性がある集落も少なくはありません。今回の被災経験を踏まえ、より地域に合致した地域防災の仕組みづくりを早急に整えることが必要と考えています。今後とも、地域の安全・安心の推進のため、関係者が一体となり、地域の復興と防災体制の整備を進めていく所存です。

また、2014年11月には、奈良県において、洪水・土石流・地すべり等による災害の防止・軽減に関する研究の促進や防災技術・知識の普及を目的に、世界の防災関係行政機関や大学等の研究者が参加し、土砂災害に関する研究成果の発表や対策等について議論する総合的な国際学会であるインタープリバントが開催されます。本県が現在進めている大規模土砂災害への取り組みについても、このインタープリバントが開催される2014年には、参加者の方々にその成果を確認いただけるようにしたいと考えています。ぜひ御参加ください。

最後に、ご指導ご鞭撻を賜っております、システム検討会・深層崩壊研究会の委員、国土交通省及び市町村等の皆様方に感謝を申し上げるとともに、今後とも関係各位のさらなるご協力ご支援をお願い申し上げます。



表-1 過去の崩壊土砂ランキング

順位	災害名	発生年	土砂量
1位	明治の十津川大水害(豪雨)	M22	約2億m <sup>3</sup>
2位	岩手・宮城内陸地震	H20	1.3億m <sup>3</sup>
3位	新潟県中越地震	H18	約1億m <sup>3</sup>
④	4位 台風12号による大規模土砂災害(豪雨)	H23	約1億m <sup>3</sup>
..	..	..	..



写真-1 深層崩壊の集中発生地域(五條市境～十津川村境)

## 「奈良県 紀伊半島大水害復旧・復興計画」の骨子

◆基本方針 百年の計に立ち、「災害に強く、希望の持てる」地域を目指す。

◆計画期間:平成23年度～32年度までの10年間  
 集中復旧・復興期間:平成23年度～26年度 中・長期:平成27年度～32年度

◆復旧・復興に向けた取組方針

①被災地域の迅速な立ち直し/回復

- 地域住民が被災前の日常生活を一日も早く取り戻すことを目指します。
- ・道路等の応急復旧、土砂ダム対策
- ・避難者、被災者支援
- ・生業・産業支援

②地域再生・再興

- 過疎化や高齢化が進む被災地域が、将来にわたり希望を持ち、安全に安心して住み続けることを目指します。
- ・災害に強いインフラづくり
- ・新しい集落づくり
- ・産業・雇用の創造(林業、観光等)
- ・くらしづくり(教育、医療、福祉等)

③安全・安心への備え

- 紀伊半島大水害の経験を踏まえ、今後の災害に備え、安全・安心のための新たなシステムづくりを目指します。
- ・監視・警戒・避難のシステムづくり
- ・深層崩壊のメカニズム解明と対策研究
- ・記録の整備、次世代への継承

- 【復旧・復興の7つのポイント】
- ・長期避難者の早期解消
  - ・安全・安心の備え
  - ・新しい集落づくり
  - ・地域経済を支える産業に対する支援
  - ・紀伊半島アンカー・ルールの整備
  - ・ふるさと復興協力隊
  - ・森林資源を活用した地域づくり



写真-2 パネルディスカッションの状況

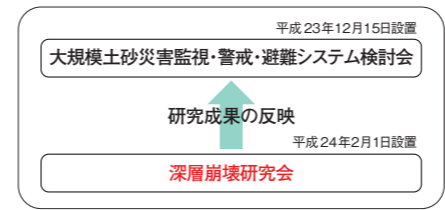


図-2 2つの検討体制

### 入口 和明

KAZUAKI IRIGUCHI

奈良県土木部深層崩壊対策室 室長補佐  
 昭和61年4月 奈良県採用  
 平成22年4月 砂防課 課長補佐  
 紀伊半島大水害の復旧・復興事業を担当し、  
 平成23年4月より現職を兼務。

# 3 2011年7月19日に高知県安芸郡北川村で発生した大規模崩壊の地形的特徴

高知大学教育研究部自然科学系 教授 笹原 克夫

## 1. はじめに

2011年7月19日に台風6号にともなう豪雨により、高知県東部の安芸郡北川村において複数の大規模崩壊が発生した。幸い人的被害はなかったものの、4km×2kmという狭い範囲で深層崩壊が3箇所が発生したという特徴がある。ここではこれらの大規模崩壊が発生した気象および地形的条件について述べる。

当地域は新生代第三紀に形成された四万十層群室戸半島層群の奈半利川層の地域に属すると考えられる<sup>1)</sup>。砂岩・泥岩の互層が分布し、北東～南西方向に走る断層が地層を多くの箇所区切り、区切られた地層内で褶曲が発達する<sup>1)</sup>。現地調査では溪流内、そして崩壊地内にもサイズの異なる多数の微褶曲が認められた。

所における18日午後8時～19日午後8時の時間雨量の経時変化を図-2に示す。これを見ると最大時間雨量は64mmとそれほど大きくないものの、ほぼ時間雨量20mm/h以上の降雨が24時間継続し、時間雨量30mm/h程度より大きな降雨がほぼ13時間継続したことがわかる。これが今回の降雨の特徴といえる。地元住民からの聞き取り<sup>2)</sup>によると、時間雨量30mmの降雨が長時間継続した後の19日午後5～7時の間に崩壊が発生したようである。

## 2. 地域特性と気象条件

### (1) 地質および地形

大規模崩壊が発生した位置を図-1)に示す。地形的には奈半利川とそれに平行する標高600～1000m程度の稜線があり、今回の崩壊は奈半利川の支流で発生している。この地域において4箇所の大規模崩壊が確認された。

### (2) 降雨状況

今回の斜面崩壊は2012年台風6号にともなう降雨により発生した。この台風により、高知県和田観測所では17日午後7時から20日午前3時までの連続雨量1015mm、最大24時間雨量755mm(18日午後8時～19日午後8時)、最大時間雨量64mm(19日午前2時～3時)を記録した。高知県和田観測

### 3. 平鍋地区の大規模崩壊

平鍋地区では溪流合流点から上部1.5kmの右岸側に大規模な崩壊が発生し、崩壊土砂が土石流となって溪流を下り、奈半利川本川に流入した(写真-1)。これにより、溪流合流点の下流0.8kmある平鍋ダムでは、段波が堤体を越流し、このため操作系統が故障してゲートの開閉が不可能となった。

山腹斜面の崩壊は、幅90m、水平長200m、比高160mにわたり発生した(写真-2)。鉛直方向の最大崩壊深は20m程度である。崩壊脚部から崩壊頂部を見上げる見通し角は36°である。崩壊地周辺の地形図を図-3)に示す。これを見ると崩壊地は尾根状地形の中下部で発生したことがわかる。また崩壊源頭部の等高線間隔がやや広く、小規模な緩斜面であることもわかる。ただし斜面崩壊に関与するそれ以上の地形的特徴は読み取れない。

次に航空レーザー計測結果から、崩壊地周辺の、崩壊発生前の地形を見る(図-4)。航空レーザー測量は、国土交通省四国山地砂防事務所が実施し、その結果を1mメッシュで整理した。そして標高を色分けし、かつ斜面の傾斜を色の濃淡で表したELSA MAP(国際航業(株))で表した。色が濃くなるほど斜面傾斜が大きくなることを示す。つまり斜面上部から下部にかけて色が急激に濃くなる部分は遷急線とその直下の斜面である。逆に斜面の傾斜が徐々に緩くなる場合は、色が徐々に薄くな

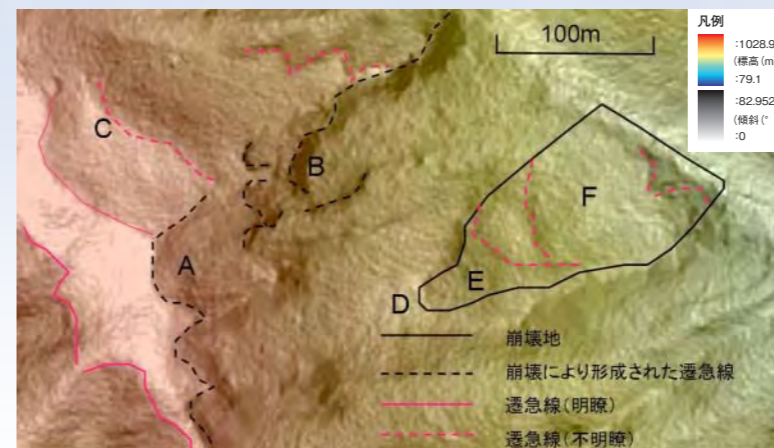


図-4 平鍋地区大規模崩壊周辺の微地形(崩壊前)

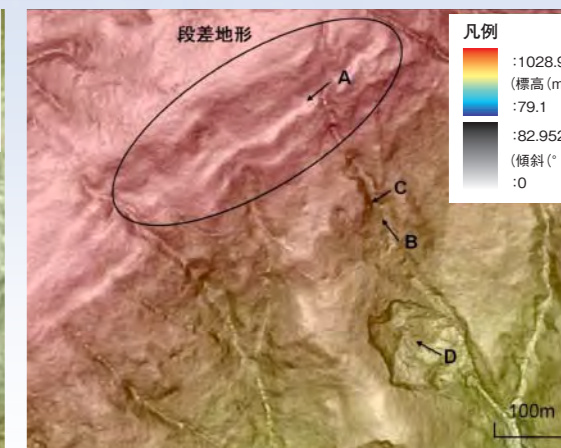


図-5 小島地区大規模崩壊周辺の微地形

る。(図-4)を見ると今回の崩壊地の周辺には多くの遷急線が確認されるが、それらは弧状に分布するため崩壊跡地の冠頭部を示すと考えられる。このような崩壊跡地は斜面上部の稜線上の山頂緩斜面の辺縁部(A)に存在するものと、今回の崩壊地の北方に隣接する浅い谷状斜面の内部に存在するもの(B)がある。稜線上の緩斜面は上下2段の遷急線を有している(C)ことから、山体が重力変形し、緩斜面が下方へクリープしていることを示すと考えられる。稜線付近の崩壊跡地(A)はこの変形により生じた大規模な崩壊の痕跡ではないかと推測される。また後者(B)は上記の大規模崩壊により生産された土砂が、谷状斜面に堆積して形成された崖錐が崩壊したと推測される。今回の崩壊にあたる部分を見ると、崩壊したのは小尾根末端に広がる斜面であり、直上の小尾根上には小規模な緩斜面(D)が存在する。崩壊源頭部にあたる部分は急斜面(E)となっていて、中腹部には不明瞭な2本の遷急線を挟んで、その下部斜面の傾斜は緩い。これらの遷急線は過去に崩壊が発生した際の崩壊冠頭部であり、その下に崩壊土砂が堆積して崖錐斜面(F)を形成したと考えられる。

このように今回の崩壊では、斜面上部に存在する緩斜面の辺縁部が崩壊し、それによって形成された斜面下部の崖錐が再度崩壊したことが、1mメッシュで地形を表現した航空レーザー計測の結果から推察される。そして地形的な特徴としては、稜線付近ないしは斜面中上部に存在する緩斜面とその直下に急斜面が存在することである。また緩斜面は既に侵食が進み、稜線から溪流側に伸びる尾根上のコル地形として残存している場合も多い。この場合この緩斜面の残存部は稜線より標高の低い斜面中腹に存在する。これらの緩斜面は山体のクリープにより形成され、急斜面は上部の山体クリープにより圧力を受け崩壊を繰り返す、いわば「崩壊前線」であることが推察される。またこれらの微地形レベルの特徴は、地形図では判読し得ず、1mメッシュの航空レーザー計測結果を用いることによって把握することができる。

### 4. 小島地区の大規模崩壊

本地区では北東から南西に延びる主稜線から、南東に伸びる不明瞭な尾根の東向きの側面で深層崩壊が発生した。水平長200m程度、幅100m程度、比高130mで傾斜は35°程度であった。(図-5)に崩壊発生後の、主稜線から崩壊地周辺のELSA MAPを示す。これを見ると主稜線の山頂緩斜面の南東側(谷側)に、主稜線と平行に平坦地と急斜面が交互に存在する段差地形が明瞭に確認される。最も明瞭な平坦地の写真(図-5中の地点A)が(写真-3)である。写真左方(谷側)が高くなっていることから、この平坦地は陥没地形であり、山体クリープにより形成されたことも考えられる。(図-5)中の地点C付近では遷急線が発達するが、これは上部斜面の山体クリープにより段差地形を含む山頂緩斜面辺縁部が崩壊して形成されたと考えられる。今回の崩壊は地点Dで発生したが、この部分は山頂緩斜面辺縁部の崩壊土砂が堆積して形成された崖錐である。実際現地においては、地点Bより下方には直径数十cm以上の角礫の堆積が確認された。つまり小島地区においても、平鍋地区と同様に、山体クリープによって形成された山頂緩斜面より下方の崖錐地形が崩壊するというメカニズムが考えられる。



写真-3 小島地区地点Aの平坦地

り形成されたものであるとも考えられる。小島地区でも同様に山体クリープにより形成された山頂緩斜面の下方の崖錐斜面が崩壊した。  
(3) 上記のような微地形レベルの特徴は、1mメッシュの航空レーザー計測の結果によって把握できるものである。

※参考文献  
1) 四国地方土木地質図編纂委員会(1988):四国地方土木地質図、(財)国土開発技術研究センター  
2) 高知新聞(2011):2011年7月20日夕刊

### 5. まとめ

2011年7月19日に高知県北川村で群発した3箇所の深層崩壊について、航空レーザー計測結果と地表踏査によりその状況を把握するとともに、発生メカニズムを推定した。  
(1) これらの深層崩壊は連続雨量1015mm、最大24時間雨量755mm、最大時間雨量64mmの豪雨で発生した。24時間雨量が大きいこと、そして時間雨量30mm以上の降雨が13時間継続したことが特徴である。  
(2) 平鍋地区の深層崩壊は尾根上斜面の中腹に形成された緩斜面の直下の急斜面と、その下の崖錐が崩壊した。尾根状地形中腹の緩斜面は、クリープ変形によ



図-1 大規模崩壊の分布

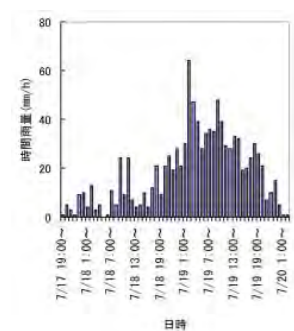


図-2 和田観測所における降雨状況



写真-1 平鍋地区の溪流全景



写真-2 平鍋地区の大規模崩壊



図-3 平鍋地区周辺の地形図

**笹原 克夫**  
KATSUO SASAHARA

高知大学教育研究部自然科学系 教授  
平成元年3月 京都大学大学院農学研究科 修士課程修了  
平成元年4月 新潟県土木部技師  
平成3年4月 土木研究所砂防部研究員  
平成13年10月 国土交通省河川局砂防部課長補佐  
平成16年4月 同土砂管理研究グループ上席研究員  
平成17年4月より現職





# 4 紀伊半島における被害の概要と研究活動への参画

川崎地質株式会社西日本支社技師長 梶本 泰浩

## 1. 台風12号災害による被害の概要

### (1) 豪雨

平成23年8月30日から9月4日にかけて、台風12号の停滞にともなう激しい雨が続き、奈良・和歌山・三重を中心とする紀伊半島全体に大きな被害をもたらした。降雨の特徴として総雨量の多さが挙げられ、奈良県上北山村では降り始めからの総雨量が1800mmを超え、72時間雨量は1652.5mmで国内観測史上最多雨量を記録した。このような大量の降雨をもたらした長雨により、河川や斜面などにおいて多大な被害が生じた。

### (2) 災害協定に基づく対応

「災害時における近畿地方整備局所管施設の緊急災害対応策業務に関する協定書」（平成17年9月28日締結）に基づき、(社)建設コンサルタント協会と協同して、発災直後から協定業者による緊急調査が行われた。協会としては、熊野川堤防被害に対する緊急調査、那智川水系における土石流発生現場での緊急地質調査について、ボーリング調査などの対応を行った。



土石流発生溪流(那智川水系樋口川)



協定に基づく緊急調査状況(那智川水系)

### (2) 被害

人的被害は、死者が奈良県14名、和歌山県55名、三重県2名、行方不明者が奈良県10名、和歌山県5名、三重県1名、重傷者が奈良県5名、和歌山県5名、三重県5名であった(消防庁第18報)。住宅被害は、全壊が奈良県48棟、和歌山県239棟、三重県81棟、半壊が奈良県62棟、和歌山県1742棟、三重県1076棟であった(消防庁第18報)。あらためて、お亡くなりになられた方のご冥福をお祈りするとともに、被災された方、未だに不自由な生活を強いられている方に対して、心よりお見舞い申し上げます。

### (3) 出水

出水被害は熊野川水系において際立っており、計画規模(19,000m<sup>3</sup>/s)を超える洪水が発生し、堤防の越水、市街地への浸水が発生した。相野谷川では輪中堤が水没した。

### (4) 土砂災害

大規模斜面崩壊とそれともなう河道閉塞が多発した。崩壊土砂総量は約1億m<sup>3</sup>に達し、豪雨による土砂災害としては戦後最大規模を記録した。また、河道閉塞にともなう、天然ダム形成、その上流域での浸水被害が発生したことも大きな特徴である。

## 2. 災害対応の概要

### (1) 改正土砂災害防止法の適用

規模の大きな河道閉塞が発生した5箇所(赤谷、長殿、栗平、熊野、北股)については、平成23年5月に改正された土砂災害防止法に基づき、法改正後初めて国土交通省が直轄対応することとなり、緊急調査、天然ダム決壊予測および緊急工事が進められた。



合同調査現場(川原樋川沿い:長殿北)

## 3. 学会合同委員会の活動

### (1) 目的、組織

災害直後の合同調査を踏まえ、活動を継続させる主旨で、立命館大学の深川良一先生を委員長とする、(公社)地盤工学会関西支部、(一社)日本応用地質学会関西支部、関西地質調査業協会、中部地質調査業協会の4団体からなる合同の「『想定外』豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会」を立ち上げ、平成24年5月から活動を開始し、3年間の活動を予定している。

この委員会は、平成23年台風12号によって発生した地盤災害に対して、より詳細なデータを収集して地盤災害の特性やメカニズムについて調査研究を行い、想定を超えるような豪雨に対する地盤災害の減災に向けた提言を行うこと、さらに調査研究を進める上で明らかになった知見を広く社会にわかりやすく発信することにより、市民の防災意識の向上および防災行政の一助とすることを目的としている。

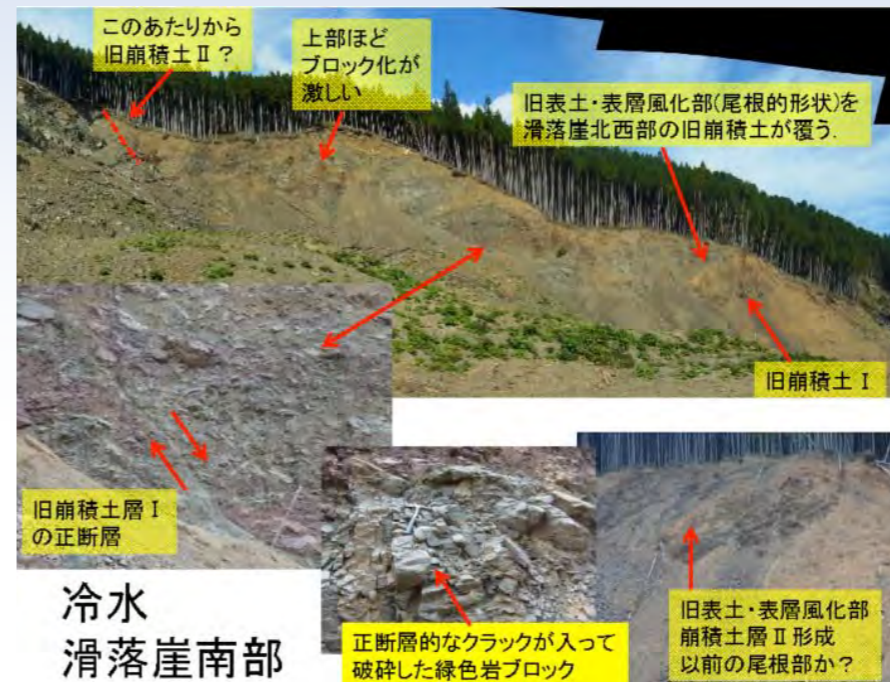
### (2) 活動状況

現在は活動1年目であり、『想定外』の定義や委員会活動方針などについて全体会議で議論し、各地域に分かれて活動を行っている。

### 奈良地域

(地域長:大阪市立大学の三田村宗樹先生)

大規模斜面崩壊および表層崩壊について、被災実態の解明(現象の把握)、斜面崩壊メカニズムの解明(現象の理解)、警戒・監視システムへの活用(減災社会・地域づくりへの提案)という方針・内容で活動を開始した。現在は、国土交通省および奈良県のご協力をいただき、吉野郡天川村坪内地区において現地調査を行っている。同地区では、3箇所の大規模斜面崩壊と、それともなう河道閉塞および閉塞箇所の上流域における浸水被害が発生した。3箇所のうちの冷水地区の崩壊斜面の調査結果によると、滑落崖には旧崩積土が分布し、過去にも大規模な斜面変動があり、その時の滑動時に生じたと思われる正断層が発達していたり、クリープ的重力滑動を示唆する亀裂の発達などが認められ、これらを踏まえて地形・地質・水文的な見地から崩壊現象の解明や機構解析を進めている。今後、他の災害現場でも、リモートセンシングデータ、レーザプロファイラデータ、降雨・河川水位データなども含めて、崩壊機構解析、大規模崩壊と表層崩壊の比較、明治22年災害との比較などの検討、ならびに地域向け講習会の



冷水地区調査状況

企画を進める予定である。

### 和歌山地域

(地域長:和歌山大学の江種伸之先生)

和歌山大学の防災プロジェクトと協同する形で、斜面崩壊や河川災害に関する実態説明・メカニズム解明を行い、減災に向けた提案をとりまとめに行くことを目的として活動を開始した。また一般社会への情報発信として、平成24年9月21日に新宮市において「平成23年台風12号で何が起きたか〜豪雨による地盤災害への対応を考えよう〜」と題する地域向け講演会を開催したところ、多数の参加者があり活発な意見交換が行われた。

### 三重地域

(地域長:三重大学の酒井俊典先生)

奈良・和歌山と同様に大規模斜面崩壊や河川災害が発生し、一部にグラウンドアンカー等のり面施設の被災も見られた。そこで、地形地質および降雨パターンの相違による崩壊形態の明確化、施設被害の原因とその対策についてのとりまとめ、防災および災害時対応に関する自助・共助・公助への提言を目的とし



平成24年9月21日和歌山地域講習会(新宮市)

て、地形解析、現地調査、平成16年9月の台風21号災害との比較、施設被害状況把握と原因究明などの活動を開始した。また、一般社会への情報発信として、平成24年9月25日に三重大学において「平成23年台風12号による三重県の災害に学ぶー地盤災害の減災に向けてー」と題する地域向け講演会を開催したところ、多数の参加者があり活発な意見交換が行われた。

全体活動:活動期間の前半は各地域に分かれて調査・研究を進め、後半は各地域の横断的な整理・とりまとめも行って予定である。平成24年度は7月14日に第47回地盤工学会研究発表会(八戸)の「地盤防災ー台



新宮市講習会を報じる熊野新聞記事

風12号地盤災害」セッション(座長:深川先生)で計7編の発表を行った。また10月17日に「近年の『想定外』豪雨による災害について考えるシンポジウム」を大阪で開催し、パネルディスカッションでは、平成21年台風9号と平成23年台風12号における災害の比較、構造物による被害軽減効果が認められたこと、今後設計の想定を超える外力の作用に対してどのように対応するべきかなどについて、熱心な議論が展開された。また当協会の「平成24年度技術見学会」として、11月2日〜3日に、奈良県十津川村、和歌山県那智勝浦町・田辺市の災害現場を訪れ、立命館大学の里深好文先生と和歌山大学の江種伸之先生に案内をお願いして見学を行った。



平成24年10月17日シンポジウム(パネルディスカッション)

### 今後の活動方針

委員会活動において、平成24年11月7日に、国土交通省近畿地方整備局(田中総括防災調整官(委員会にも参加)・岡山地域河川調整官・木下建設専門官・臼井防災課係長)、奈良県(永田深層崩壊対策室長)、和歌山県(久田砂防課副課長)と、合同委員会委員長・各地域長・構成団体幹事・各地域幹事による、行政との意見交換会を開催した。そこでは、委員会の方針である地域社会への研究活動成果の還元(単に危険な箇所を指摘することに留まらず、地域の自主防災組織の意識高揚やいざという時の判断・行動に役立つような提言など)について相互確認するとともに、調査データ利用に関する協力関係について確認した。今後も、このような意見交換の場を設けるとともに、各地域で現地調査などを重ね、さらには地盤モデルの構築とシミュレーション解析等も踏まえて、研究活動を推進していく予定である。

梶本 泰浩

YASUHIRO TOCHIMOTO



川崎地質株式会社西日本支社技師長  
1983年4月、川崎地質株式会社に入社。  
主に土木地質調査、防災調査に従事。

# 5 斜面災害に備える調査技術

関西地質調査業協会 技術委員会

## 1. はじめに

最近の気象状況の変化などを考えると、地滑りや土石流、深層崩壊などの斜面災害は、今後、そのリスクが高まっていくものと考えられます。そして、斜面災害に対する防災・減災を考える場合、現状の斜面や山地の地盤状況を把握し、そのリスクを評価した上で、ハード・ソフト両面からの対策を施すことが重要です。ここでは、地盤や斜面災害のリスク評価に重要な役割を果たすことができる3つの技術を紹介します。

1つ目は、地形や地質などを実際に目で見る技術です。これは、一見、単純で古典的な調査方法のようにも思えますが、調査技術の中では、最も重要で、評価の基礎となる大切な情報を捉えることができるのです。

そして2つ目に、物理探査技術です。これは、医療に置き換えるとレントゲンのような技術で、掘らずに地下を可視化する技術です。地下に隠れている斜面災害の要因を推定する

のに役立ちます。

3つ目は、モニタリング技術です。斜面の防災・減災では、地面の動きを監視することで災害の発生を事前に予測し、適切に避難することも重要です。ここでは、山の動きを監視する技術をご紹介します。

## 2. 斜面災害に備える調査技術

### 2.1 地形判読、地表地質踏査、ボーリング調査

図-1に切土法面・自然斜面における着目点の位置とその要因を示します。

地形判読や地表地質踏査は(図-1)に示す着目点などを踏まえて実施します。地形判読は地形図や空中写真を用いて地形の特徴(地形的問題点など)を抽出します。この判読結果の確認とともに、現場にて取得できる(現場ではないと取得できない)情報を地表地質踏査にて捉えていきます。地形判読および地

表地質踏査は、地質調査(斜面災害に備える調査)にとって基本的かつ重要な内容です。

ボーリング調査は、これらから得られた地形地質情報を元に位置を選定して実施されることが多く、地表のみでは確認できない地下深部の地質情報を取得することが可能です。ボーリングでは(写真-1)に示すように直接地盤を確認できます。また、標準貫入試験などの孔内試験や検層を行うことで、地盤の性状を把握することができます。さらに、斜面災害にとって重要な情報である地下水位の状況についても確認できます。

### 2.2 物理探査技術

物理探査とは、地盤を伝わる振動や電気の流れる様子、電磁波を発信したときの応答などを捉えて、地下を可視化する技術です。物理探査には、さまざまな手法がありますが、斜面災害に備える調査では、例えば、以下のような調査が実施されます。

空中物理探査は、ヘリコプターなどにセンサを搭載し、空中で信号を観測することにより、地下の大まかな情報を可視化する技術です。センサなどを地表面に設置して行うほかの物理探査手法とは異なり、短時間で広域の調査を行うことができます。精密な調査はできませんが、広大な対象エリアの中で、どこがより危険かといったことをスクリーニングするための調査などに使用されます。なお、空中物理探査については、本誌20ページに活用の一例が紹介されています。

弾性波探査は、地盤中を伝わる振動(地震波)を用いた物理探査手法です。地震波は、地盤の硬さや割れ目の状態によって、伝わる速度が異なります。弾性波探査では、人工的に発生させた地震波を地表に設置した複数のセンサで観測し、そのデータを解析することで、地下の地震波の伝わる速さを求めます。こうして求められた結果は、地下の地盤の硬さや割れ目の状態などを現しています。

電気探査は、地表から地中に電気を流し、その応答を計測・解析することで、地下の電気抵抗の分布を求める物理探査手法です。地下の電気抵抗は一律ではなく、地質の違いや地下水の状況などによって変化します。したがって、地下の電気抵抗の分布から、地質の違いや地下水の状況が推定できます。(図-2)

なお、物理探査は、比較的広い範囲の地下の状況を可視化できるという利点がある一方、状態を直接確認できるボーリング調査などに比べて、得られる結果にあいまいさが含まれます。したがって、地形判読や地表地質踏査、ボーリング調査など組み合わせた調査をすることが重要となります。

## 2.3 最新の計測・モニタリング

地すべり地などでは、変位計測や地下水観測など、多くの現場計測が実施されています。最近では、計測技術、通信技術などの発達とともに、現場で発生するさまざまな現象を、長期にわたり安定して自動計測化することが可能になっています。

地質調査に関連した計測技術に関しては、まず、IC技術、電子計測技術の発達にともなう、センサや記録装置の小型・軽量化、省電力化が実現されています。また、センサや記録装置の高性能化については、特に、レーザ計測技術、光ファイバセンサ(後述)の発達などがあげられます。光ファイバはメタルケーブルに代わる信号伝達媒体として使用されるだけでなく、新しいセンサとしても使用されています。一方、センサや記録装置の高性能化にともない、従来の計測方法や内容も変わりつつあります。

また、IT技術、通信技術の発達、整備により、計測現場に行かなくとも事務所などで計測データを受信し、計測条件の変更もできるようにになりました。これにより計測の連続化、リアルタイムモニタリングが可能となっ

ています。さらに、連続的に大量のデータを取得できるようになったことから、統計処理などにより質の高い計測結果が得られるようになりました。このように、センサおよび収録装置の発達は、高密度計測をもたらし、点の計測から線の計測、線の計測から面の計測へと、そのあり方を変えつつあります。

一方で、環境保全に対する社会要請が高まり、土壌・地下水汚染などの調査も増えました。その結果、計測内容も変位や力などの力学的な物理量に加えて、化学物質の存在量までもが計測対象となっています。

### 【光ファイバ計測】

技術の発達にともない、従来、専門的な知識を要した計測が、身近なものになってきています。しかし、適切な計測計画を立案・実行することや結果を解釈・判断することの重要性は従来と変わりはありません。高度な計測機器を導入するだけで、質の高い結果が得られるわけではありません。目的に応じた、適切な計測を行うことが肝要です。

ここでは、比較的新しい計測技術として、光ファイバ計測を紹介します。

光ファイバは、電線と同様の情報伝達機能

に加えて、光ファイバ自体が変位、振動や温度などの物理量を感知できるセンサとしての機能を有しています。(表-1)は、実用化されています。このように、センサおよび収録装置の発達は、高密度計測をもたらし、点の計測から線の計測、線の計測から面の計測へと、そのあり方を変えつつあります。また、土木・建設分野における適用対応についても、コンクリート構造物、斜面、トンネル、ダム、河川堤防など広範囲にわたっています。特に、センサとして線の・面的な設置が可能であるという特徴を生かして、光ファイバによる斜面崩壊の効率的なモニタリングが期待されています。(表-2)には、光ファイバセンサと従来型センサとの比較表を示します。

なお、独立行政法人土木研究所では、「光ファイバセンサを用いた斜面崩壊モニタリングシステム導入から運用時までの考え方を解説した「光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリングシステムの導入・運用マニュアル(改訂版)」を民間14社との協同研究成果として作成しています(平成19年3月)。

### — 光ファイバセンサの特徴 —

- ・光ファイバ自体をセンサとして用いるラインセンサです。(※計測可能距離は各種条件によります)
- ・光ファイバの数mごとの区間(あるいは箇所)について、ひずみ量を計測できます。ひずみ発生箇所の位置とひずみの程度が把握可能です。
- ・通常、路線長10km程度を計測できます。(※各種条件によります)
- ・絶縁性に優れるため、雷などの電磁ノイズに強く、故障が少ないのが特長です。
- ・センサ部は比較的単純で故障しにくい構造です。
- ・国土交通省で国道沿いに整備されている道路管理用光ファイバケーブル網(情報ボックス)に接続して展開が可能です(情報ボックスの活用)。
- ・従来のセンサでは対応が困難であった、多数の箇所・広い範囲の計測(線の計測・面的計測)が可能です。
- ・このため、表層崩壊等の災害発生箇所の絞り込みが困難であった現象に対しても、対応可能です。

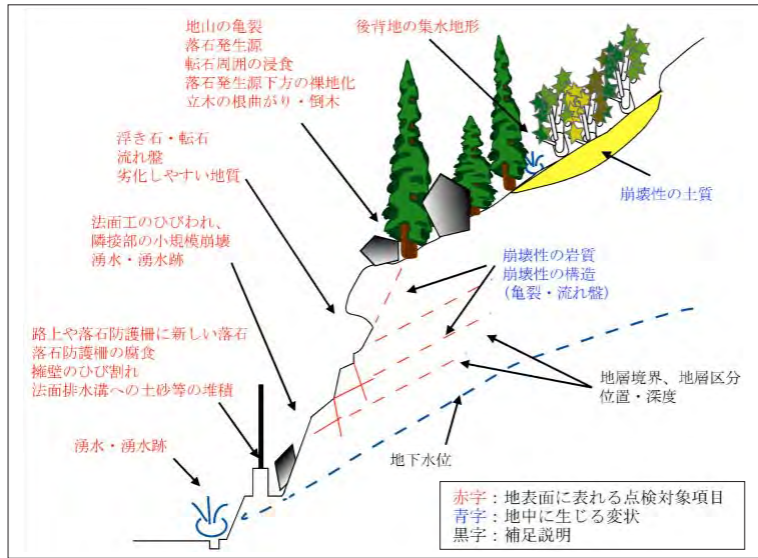


図-1 切土法面・自然斜面における着目点の位置とその要因(「国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所:道路法面維持管理のためのハンドブック(案), H21.10, p10」から引用)



写真-1 滑り地のコア(砂、シルト)  
(北海道地質調査業協会HPから引用)



写真-2 空中探査 実施状況

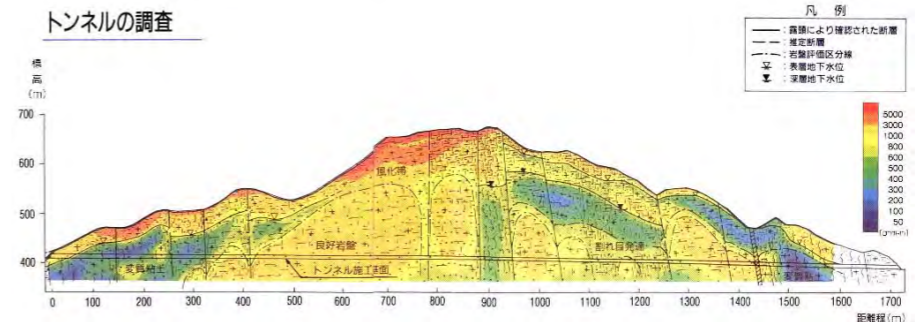


図-2 2次元電気探査の解析結果例(応用地質株式会社バンフレットより)

表-1 実用化されている光ファイバセンサの例

	OSMOS	SOFO	FBG	ファブリーペロー	OTDR	BOTDR	ROTDR
測定現象	変位	変位	歪み	歪み	光損失	歪み分布	温度分布
原理	マイクロベンディング	光干渉(マイケルソン干渉計)	ブラッグ格子	光干渉(ファブリーペロー間隙)	光曲げ損失	後方散乱光(ブリルアン光)	後方散乱光(ラマン光)
センサ	光学ストランド(2.5,10m)	光学ゲージ(25cm~10m)	光ファイバ単芯線(長さ1cm)	φ12.7×7mm	光ファイバ線	光ファイバ線	光ファイバ線
測定範囲	センサ長の0.5%	センサ長に対して最大50mm	5000με	5000με	6デシベル	±6%ε	-50~150℃
精度	±0.02mm	測定値の0.2%	±4με	±5με	機種による	±100με	±1℃
測定時間	20Hz	7s	250Hz	500Hz	10s	約10min	約1min

表-2 光ファイバセンサと従来型センサの比較

項目	従来型センサ	光ファイバセンサ		
		B-OTDR	FBG	MDM
電磁誘導の影響	受ける	受けない		
センサ部の電源	現場に電源必要	電源不要		
計測体制	線的計測。計測範囲の連続性が低い。	広範囲なエリアの線または面的な計測に優れる	小~中規模なエリアの線または面的な計測に優れる	
管理施設	現場毎に計測管理施設が必要	遠隔地より複数現場の一括管理が可		
計測時間	リアルタイム(自動計測可の場合)	5~10分間隔(距離による)	リアルタイム	

# 6 空中電磁法を活用した地震による深層崩壊危険箇所の抽出手法

香川大学工学部 長谷川 修一 野々村 敦子

## 1. はじめに

南海トラフの巨大地震は約100年に一度発生しており、今後数十年の間に高い確率で再び発生すると予測されている。また、Mw9.0に達した東北地方太平洋沖地震の発生を受け、内閣府の中央防災会議は、南海トラフで最大級の巨大地震(Mw9.0)が発生したときの震度分布を2012年3月と8月に公表した。これによると、四国山地、紀伊山地、赤石山脈および周辺地域は、震度6強～6弱に達する数分間の激震に襲われることが想定されている(図-1)<sup>1)</sup>。この被害想定では、太平洋沿岸域が10m以上の巨大津波によって壊滅的な被害が発生することが想定されているが、津波だけでなく地震による斜面崩壊によっても道路ネットワークが長期間寸断され、地震や津波から生き残った人々の救援がままならなくなることが懸念される。

過去の南海トラフ巨大地震の際には、山間部では大規模な斜面崩壊が発生し、瞬間的に膨大な量の土砂が発生するだけでなく、崩壊地から長期間にわたり発生する土砂が下流域に甚大な被害を及ぼしてきた。特に、過去最大級とされる1707年の宝永地震では、「大谷崩れ」や「加奈木の崩え」(高知県：発生土砂量 $3 \times 10^7 \text{m}^3$ )が発生した(例えば千木良ら、1998)<sup>2)</sup>。このような大規模崩壊が発生するような震源域では、より小規模の深層崩壊が

多発することが想定される。地震による深層崩壊によって早期復旧できない道路区間を減らすためには、大規模崩壊の危険性のある箇所を推定し、事前にトンネル等によって迂回路を確保し、早期復旧をめざした道路啓開計画が不可欠である。

## 2. 研究方法

本研究では、過去の南海トラフの巨大地震で深層崩壊が発生した高知県室戸市加奈木の崩え周辺斜面(図-2、図-3)をモデルケースとして、地震による深層崩壊の危険箇所を抽出する手法を開発した。過去の南海トラフの巨大地震の震源域では、四万十帯の堆積岩からなる岩盤が地表付近でくの字に折れ曲がるトッピング(図-3)によって著しく緩んだ斜面で深層崩壊が発生していることが明らかにされている<sup>2)</sup>。

トッピングによって著しく岩盤が緩んでいる斜面は、周辺斜面と比較して高比抵抗であると予想されるので、広域において比抵抗情報の取得に優れた空中電磁探査を実施した。比抵抗データは岩石の電気的性質に関連した物理量で、岩質、風化・変質、間隙、粘土などの電気的鉱物および地下水に関するさまざまな情報を含んでいる。低比抵抗帯は地下水を胚胎し、粘土化が進行した地質脆弱部と解釈されるが、本研究では地下水位より上位に

ある高比抵抗部分をターゲットとした。これによって地下水の影響についての考慮は不要となる。また、比抵抗は地質(岩石)の違いにも影響を受けるため、砂岩や泥岩の区別なく周辺よりも相対的に比抵抗が高くなる斜面を抽出するため、比抵抗凹凸度を考案した。そして、深さ5～30mの比抵抗分布データに基づいて作成した比抵抗凹凸度分布図から、トッピングによって著しく岩盤が緩んだ斜面を抽出することができた。これらの斜面に地震動が大きくなる尾根部や急傾斜等の地形効果を加味して地震による深層崩壊危険度分布図を作成した。

## 3. 航空レーザ計測によるトッピング斜面の抽出

航空レーザ計測による1mDEMから作成した加奈木の崩え周辺の赤色立体図(図-3(a))に示す。航空レーザ計測は、アジア航測株式会社に委託した。赤色立体図によって、植林に覆われた山向き小崖や線状凹地等のトッピングによる山体変形を高精度に抽出することができた。トッピングによって岩盤が転倒している山頂緩斜面と尾根には線状凹地が形成され、現地調査によって転倒構造を確認した(図-3(b))

## 4. 空中電磁法を用いたトッピングによる緩み斜面の抽出

空中電磁探査は大日本コンサルタントに委託し、ヘリコプターを使って140kHz～340Hzの6周波の電磁波を斜面に放射し、電場と磁場の变化から得られた斜面の比抵抗値を解析した。空中電磁法による周波数(140kHz)を用いた地表約5～30mの比抵抗平面図から、トッピングが発達した斜面が高比抵抗であることが確認できた(図-4)。この比抵抗平面図では、砂岩層が高比抵抗に、泥岩は低比抵抗に表現されている可能性があるため、千葉ら(2007)の尾根谷度を比抵抗値に適用し、相対的に比抵抗の高低を表現する比抵抗凹凸度を考案した。比抵抗凹凸度図によって基盤岩の種類によらず、周辺と比較してトッピングによって緩みの発達した斜面を抽出することができた(図-5)。比抵抗凹凸度が大きな斜面は、緩みの発達した斜面は地震による深層崩壊の要素をもつ斜面である。(図-5)から千木良(2000)が図示した加奈木の崩えの北部が宝永地震時は大規模に崩壊し、緩み岩盤がほとんど残っていないのに対して、南部は一部の尾根に緩み岩盤が残っていると推定される。

## 5. 地震による表層崩壊危険度

地震の際に地形効果によって地震動が増幅し、表層崩壊の発生しやすい斜面の抽出には、内田ら(2004)による表層崩壊危険度F値が実用的である。そこで比抵抗凹凸度とF値を掛け合わせた値を地震による深層崩壊危険度と定義した。計算にあたっては、比抵抗凹凸度およびF値が0以下を0とした。なお、F値の計算にあたっては、国土地理院の10

**長谷川 修一**  
SHUICHI HASEGAWA

香川大学工学部安全システム建設工学科教授・香川大学危機管理研究センター研究員  
博士(理学)(1993年東京大学・技術士(応用理学)  
1980年3月 東京大学理学系研究科地質学  
専門課程(修士課程)修了  
1980年4月 四国電力株式会社入社  
2000年 香川大学工学部安全システム建設工学科助教授  
2002年 香川大学工学部教授(現在に至る)  
専門分野は地質学、地盤災害、地域防災



**野々村 敦子**  
ATSUKO NONOMURA

香川大学工学部安全システム建設工学科准教授・香川大学危機管理研究センター研究員  
博士(学術)  
2003年3月 三重大学大学院生物資源学  
研究科博士後期課程修了  
2003年4月 香川大学工学部  
安全システム建設工学科 助手  
2009年4月 香川大学工学部安全システム建設工学科 准教授(現在に至る)  
専門分野は空間情報工学、防災・環境情報解析学



m DEMを利用し、加速度は300galと設定した。これによって、周辺と比較してトッピングによって緩みの発達した斜面の中でかつ地震動によって崩壊しやすい斜面を絞り込むことができた(図-6)。また、宝永地震で大規模に崩壊した加奈木の崩えは、再び同様な大規模崩壊を発生させないと評価される。

## 6. おわりに

本研究で検討した一連の調査・解析手法を用いれば、南海トラフ巨大地震によって深層崩壊する可能性のある斜面が抽出できるものと考えている。本手法は、空中電磁法を活用しているため、広域的な深層崩壊危険斜面の抽出に有効である。現時点では、地震発生時における検証がなされておらず、どの程度の深層崩壊危険度でどの程度の確率で深層崩壊が発生するかを示すことができていない。しかし、事前に深層崩壊危険箇所の候補が抽出できれば、現地調査によってその可

能性を評価し、迂回路等の検討が可能になるのではないだろうか。

なお、本研究は平成20～22年度国土交通省建設技術研究開発助成を受けて実施した。大日本コンサルタント株式会社ならびにアジア航測株式会社には、測量・データ処理にご尽力いただいたことをここに記して深く感謝申し上げる次第である。

### ※参考文献

- 1) 内閣府ホームページ：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)強震断層モデル編。  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai\\_trough/pdf/20120829\\_2nd\\_report05.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/pdf/20120829_2nd_report05.pdf)
- 2) 千木良雅弘・長谷川修一・村田明広：四国の四万十帯にある加奈木崩れの地質・地形特性。日本応用地質学会平成10年度研究発表会講演論文集、pp. 61-64、1998。
- 3) 千葉達朗・鈴木雄介・平松孝晋：地形表現手法の諸問題と赤色立体地図。日本国際地図学会(地図)Vol.45、No1、pp.30-34、2007。
- 4) 内田太郎・片山正次郎・岩男忠明・松尾修・寺田秀樹・中野泰雄・杉浦信男・小山内信智：地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究。国土技術政策総合研究所資料、204、p.91、2004。

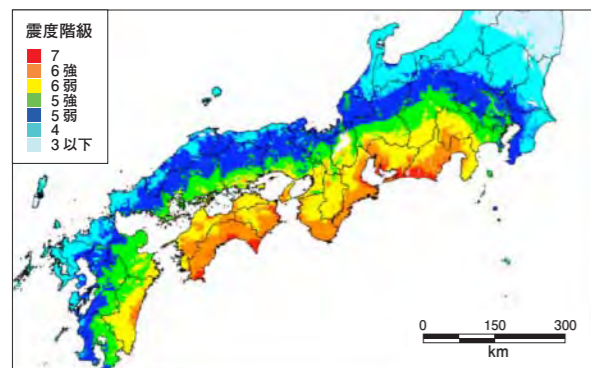


図-1 南海トラフ最大級地震による震度の最大値分布図(内閣府,2012.8.29)

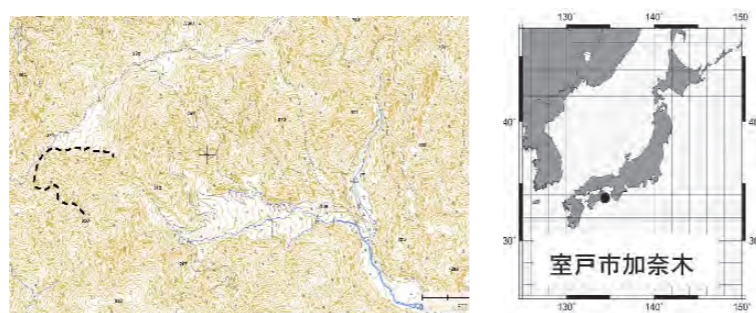


図-2 加奈木の崩えの崩壊地形と崩壊堆積物の地形

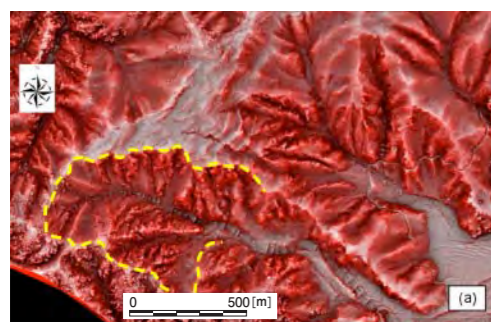


図-3 (a) 航空レーザ計測データから作成した加奈木の崩え周辺の赤色立体図。黄色の破線は加奈木崩えの崩壊跡地、緑の破線で囲んだ範囲はトッピングによって岩盤が転倒している斜面を示す。

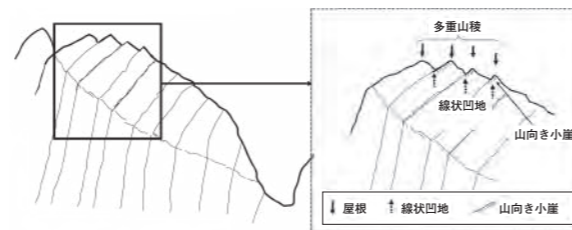


図-3 (b) 転倒構造の断面図

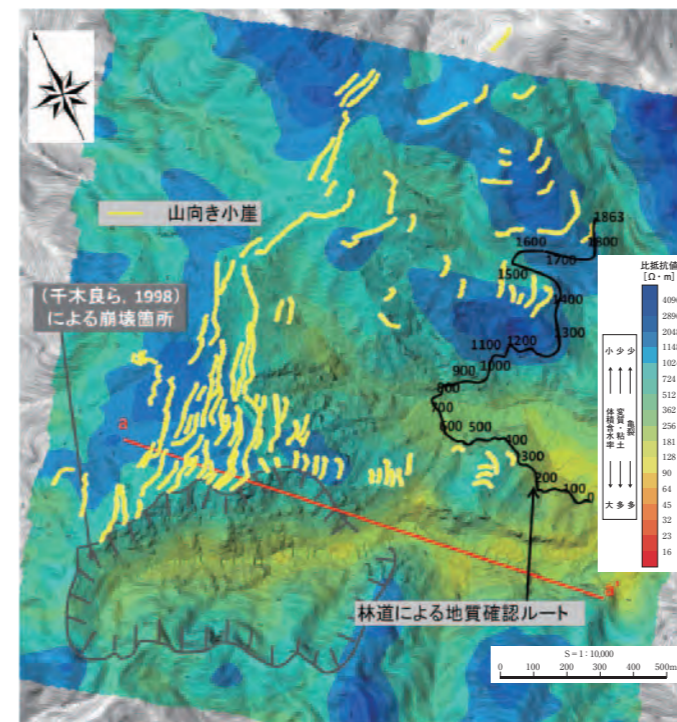


図-4 周波数140kHzを用いて測定した地表付近(深さ約5～30m)の比抵抗平面図

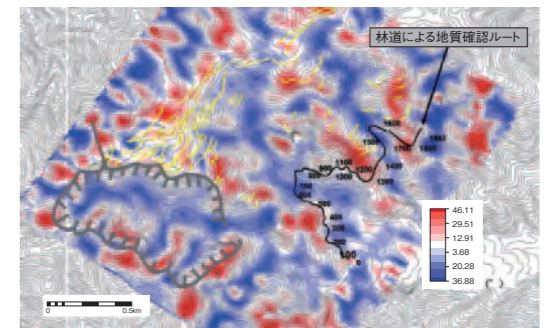


図-5 岩盤の緩みの著しい斜面を表示した比抵抗凹凸度分布

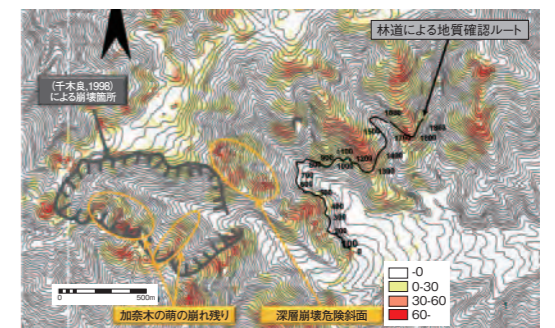


図-6 地震による崩れやすさおよび地形による地震動増幅効果を考慮した南海トラフ地震(300gal)による深層崩壊危険度

# 7 深層崩壊、そして複合土砂災害とその対策を考える

京都大学防災研究所附属流域災害研究センター 藤田 正治

## 1. 複合土砂災害とは

1792年の「島原大変肥後迷惑」と呼ばれる災害は、山体崩壊とそれが海域に突入することによる津波によって発生した。1858年、立山では飛越地震により麓山が大崩壊して河川を堰き止め、その決壊により土石流が発生し大災害を引き起こした。2009年、台湾高雄県小林村では、台風MORAKOTによる豪雨での小規模な土砂災害、洪水氾濫により避難行動が困難になる状況で深層崩壊が発生し、その崩土によって天然ダム形成と決壊が続き、一夜にして集落が消滅した。このように、さまざまな規模の複数の現象が避難行動などにも影響しながら、複合的に甚大な災害をも

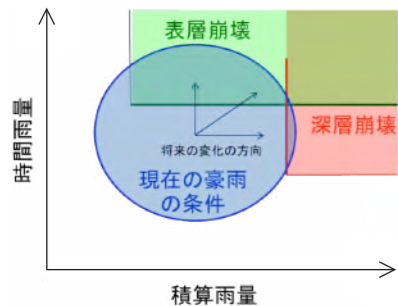


図-1 南海トラフ最大級地震による震度の最大値分布図(内閣府,2012.8.29)

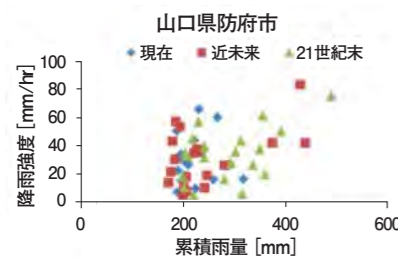


図-2 降雨条件の将来予測

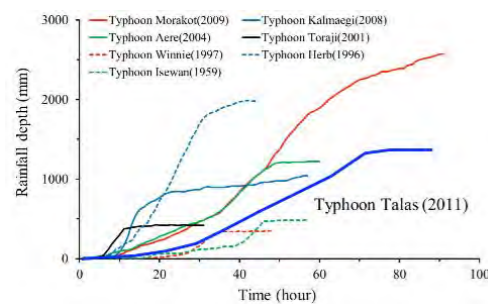


図-3 台風MORAKOT、TALAS等の積算降雨量

たらすような事例は歴史的に数多く起こっている。最近では、前述の台風MORAKOT災害や2011年の紀伊半島における台風12号(TALAS)による土砂災害のように、長時間続く豪雨イベントの中で、最終段階に深層崩壊が生じるような大規模災害がしばしば起こっている。今後も、降雨の極端現象の発生頻度が増加し、このような豪雨が増加すると懸念されている。同様の複合土砂災害の発生が多発することが予想されており、複合土砂災害に対する対策を早急に確立することが望まれる。

## 2. 気候変化の動向と土砂災害の形態

深層崩壊の発生には地盤への多量の降雨の供給が必要であり、個々の斜面での深層崩壊発生条件は積算雨量と強く関係している。一方、表層崩壊の発生には表層内の地下水面勾配を増加させる必要があり、その発生には降雨強度が強く影響している。両者の基準値を決めることは難しいが、時間雨量と積算雨量の平面上に表層崩壊と深層崩壊の発生領域は概念的に(図-1)のように表される。現在の我が国の豪雨の条件は同図に示すように、深層崩壊の発生頻度は小さくむしろ表層崩壊の危険性が高いのが現状である。しかし、この豪雨条件が右の方にシフトすれば深層崩壊の危険性が増し、右上にシフトすれば両方の崩壊が同時に多発するような複合土砂災害の発生が危惧される。(図-2)は21世紀気候変動予測革新モデルにおいて将来の降雨予測が行われた結果の一例<sup>1)</sup>を示したもので、この図に示す防府市では、総降雨量が以前より大きい降雨イベントの発生頻度が増加している。もしもそうなれば、深層崩壊をとまなう複合土砂災害の危険性が高くなると予想される。2011年の台風TALASはこの気候変化を

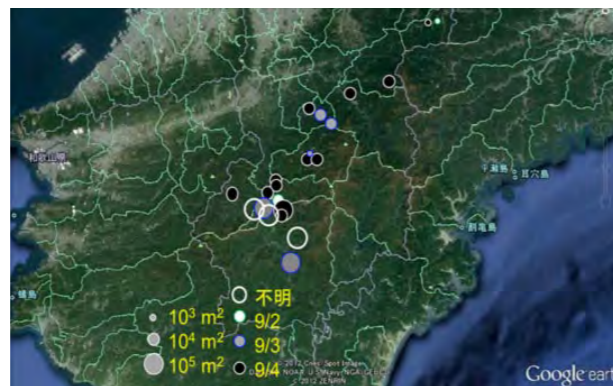


図-4 周波数140kHzを用いて測定した地表付近(深さ約5~30m)の比抵抗平面図

感じさせる豪雨であった。台風MORAKOTも台湾に大災害をもたらしたが、両者の共通点は豪雨が長時間継続し、過剰な総降雨量をもたらした点である。この原因の一つは台風の移動速度にあり、台風MORAKOTは台湾を通過した直後時速5km程度の歩くような速度で進んだことで降雨量が極めて大きくなった。台風TALASは時速約10kmで進み、約3日間豪雨が継続した。(図-3)は台湾での主な台風、台風MORAKOTおよび台風TALASの積算雨量の時間変化を示したもので、台風TALASは台風MORAKOTより総降雨量は小さいが、それに匹敵するものであることがわかる。

このような多量の雨は深層崩壊の発生を引き起こす。(図-4)は奈良県内の主な崩壊が発生した個所を崩壊面積別、発生日別に示したものである<sup>2)</sup>。ここで深層崩壊は崩壊面積が104m<sup>2</sup>以上とすると、多数の深層崩壊が発生し、崩壊のほとんどは降雨イベントの最終段階の9月4日に起こっている。(図-5)は奈良県内の崩壊発生場所付近の解析雨量と崩壊発生時刻の調査結果<sup>2)</sup>を用いて、大規模な崩壊発生までの積算雨量の確率分布を示したものである。積算雨量が500mmを超えれば崩壊が発生し始め、積算雨量が増えたとともにほぼ同程度の割合で崩壊が発生しているが、600mmおよび800mmを越えれば崩壊の発生率が増加している(写真-1)は奈良県五條市の赤谷の深層崩壊と天然ダムの水位を下げるための緊急対策、(写真-2)は和歌山県田辺市熊野の深層崩壊と土石流の通過区間を示したものである。

## 3. 深層崩壊を伴う複合土砂災害

深層崩壊が発生するような場合は長時間強い降雨が継続しているので、深層崩壊発生までに表層崩壊、がけ崩れ、土石流、洪水氾濫

などが生じる。深層崩壊が集落を襲えば甚大な被害が発生するが、それからの避難はこのような中小の現象が大きく影響する。

小林村では台風MORAKOTによって500名近くの命が失われた。深層崩壊が発生したのは、土石流に対する避難警報が出てから約30時間後であったが、さまざまな現象により避難が困難な状況になるのは20時間後であり、村外のより安全な場所へ避難を決心するのは、この時間帯であった。2011年の紀伊半島での災害では深層崩壊が多発したにもかかわらず、小林村のような大規模な災害は見られなかった。しかし、大災害になるかどうかは、外力と防災力の力加減だけでなく、崩壊や避難のタイミング、集落や避難場所と土砂移動現象の位置関係などによるので、台風TALASによっても小林村のような災害の危険性は十分あったと思われる。(図-6)は個々の大規模な崩壊の発生時刻、発生地域で土砂災害警戒情報の発表時刻、付近の道路が土砂流出で遮断された時刻を示したものである<sup>2)</sup>。場所によって異なるが土砂災害警戒情報が発表されてから、約半日後土砂流出により道路が遮断され通行不能になり、その1日後深層崩壊などの大規模な崩壊が発生している。この不通箇所が深層崩壊が集落を襲っていたら、小林村と同様の災害が発生したかもしれない。



写真-1 台風12号による赤谷の深層崩壊と緊急対策



写真-2 台風12号による熊野の深層崩壊と土石流通過区間

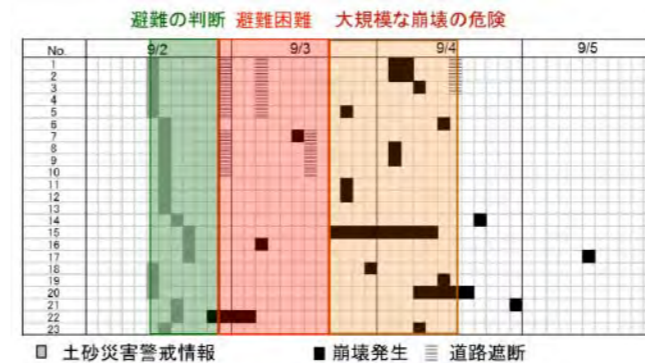


図-6 地震による崩れやすさおよび地形による地震動増幅効果を考慮した南海トラフ地震(300gal)による深層崩壊危険度

## 4. 対策についての提言

小林村の災害のように、深層崩壊や天然ダムの決壊などの大規模現象から直前に逃れることは不可能である。豪雨が長時間にわたる場合、土砂災害の危険な状態が長く続き、大規模な崩壊が発生する前に地域外への避難が困難になっている場合が多いと考えられる。したがって、避難のために深層崩壊が発生するかどうかを判断するのは、深層崩壊の危険性がまだ低い状態の時であり、この時点で危険性をどの程度認識できるかが重要である。(図-7)は土砂災害警戒情報の発表のための土砂災害発生時の基準線とスネーク曲線の模式図であるが、降雨AとBでは起こる現象が違い危険の質も異なる。予想される状況に応じた対策を行うことが重要である。また、深層崩壊はソフト対策が基本となるが、避難時の安全の確保を考えると、それを可能にする中小規模の災害に対するハード対策は十分行うことが重要である。

## 5. 総合的土砂管理の問題

大規模土砂災害発生後は、(写真-3)のように河川に過剰な土砂堆積が生じ、河床上昇による氾濫災害、貯水池堆砂の急速な進行の問題などが発生する。この土砂の処理は地域の復旧・復興に影響する重要な事項であり、

※参考文献

- 1) M. Fujita, D.Tsutsumi, S.Ohshio, S. Ikkanda: A Slope Failure Index and a Warning System for Slope Failures at an Extreme Rainfall Event under Climate Change, Proceedings of the 3rd International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, Tainan, Taiwan, 2011
- 2) 奈良県・大規模土砂災害の監視・警戒・避難のシステム検討会資料, 2012

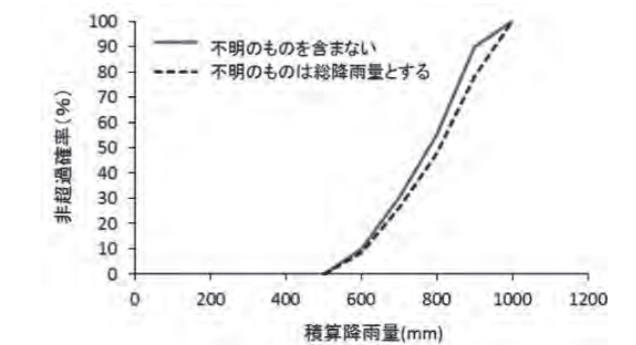


図-5 岩盤の緩みの著しい斜面を表示した比抵抗平面分布

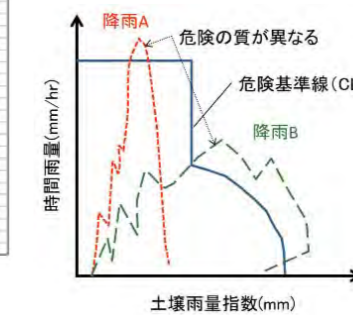


図-7 土砂災害の予測



藤田 正治  
MASAHARU FUJITA

京都大学防災研究所附属流域災害研究センター  
昭和60年 京都大学防災研究所助手  
昭和62年 鳥取大学工学部助教授  
平成7年 京都大学農学部助教授  
平成14年 京都大学防災研究所助教授  
平成17年 京都大学防災研究所教授  
現在に至る  
主な研究テーマは、土砂災害の防止軽減、土砂資源管理

不安定な土砂の安定化と河道の堆積土砂の掘削が基本的な対策であるが、掘削した土砂の処理が非常に大きな問題になっているのが現状である。山地域では土砂を捨てる場所を確保することが難しく、また、土砂のトラック輸送は物理的にも環境的にも容易ではない。日常的にも一つの地域の土砂の問題をその他の地域に広げることには反発が多い。しかし、深層崩壊による多量の土砂も長期的視点から見ると貴重な土砂資源となる場合もあり、そのような視点から流砂系の総合的土砂管理を考える必要もある。



写真-3 十津川における土砂堆

# 8 紀伊半島大水害への対応と土砂災害への備え

和歌山県土整備部河川・下水道局砂防課 森川 智

## 1. はじめに

和歌山県南部の山岳地域は年間降水量が約3500mmと全国有数の多雨地域であるとともに台風の常襲地帯に位置しています。2011年の12号台風では県南部の大杉観測局において8月30日18時から9月4日24時の5日間において1998mmの降雨を記録する等、記録的な降雨が観測されました(図-1)。

この降雨により、田辺市、新宮市、那智勝浦町を中心として大規模崩壊(深層崩壊)や土砂ダム(河道閉塞)、土石流等の土砂災害が多発するとともに、一級河川熊野川や二級河

川日高川、古座川等の流域では洪水による浸水被害が広範囲に発生しました。一例として伏菟野地区における大規模崩壊を(写真-1)に、熊野川の洪水被害の状況を(写真-2)に示します。

次に、台風12号による人的および家屋被害の状況を(表-1)に示します。この紀伊半島大水害と呼ばれる災害は、本県においては1953年(昭和28年)の有田川災害以来の未曾有の被害をもたらしました。

本稿では、紀伊半島大水害における県の対応と今後の土砂災害への備えに関して、私見を交えながら述べたいと思います。

## 2. 和歌山県のソフト対策

本県には土石流、地すべり、がけ崩れによる災害のおそれのある箇所(土砂災害危険箇所)が約18500箇所存在します。このため土砂災害防止施設の整備による人命・財産の保全を図っておりますが、人家5戸以上を対象とした施設の整備率は20%以下と極めて低い状況にあります。近年の気象変動による土砂災害の発生状況を勘案した場合、ハード面(災害防止施設)の整備には長期間を要するため、本県では砂防事業の展開にあたり人命の保護を第一とし、ハード・ソフトが一体となった土砂災害対策を実施してきました。

特にソフト対策としては、

- 1) 土砂災害のおそれのある「場所」の情報を伝えるための土砂災害危険箇所の公表
- 2) 土砂災害に対する警戒避難体制の整備を進めるための土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域等の指定
- 3) 土砂災害が発生する可能性のある「時間」の情報を伝えるための土砂災害警戒情報の発表

表-1 人的及び家屋被害

人的被害		
死者	行方不明者	負傷者
56名	5名	9名

家屋被害					
全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	浸水被害
371戸	1842戸	171戸	2680戸	3147戸	1592戸

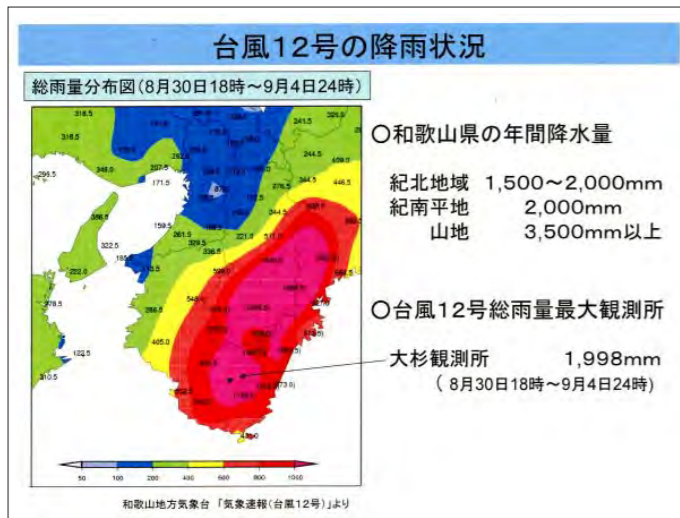


図-1 台風12号来襲時の降雨状況



写真-1 田辺市伏菟野地区大規模崩壊



写真-2 新宮市熊野川町の洪水状況

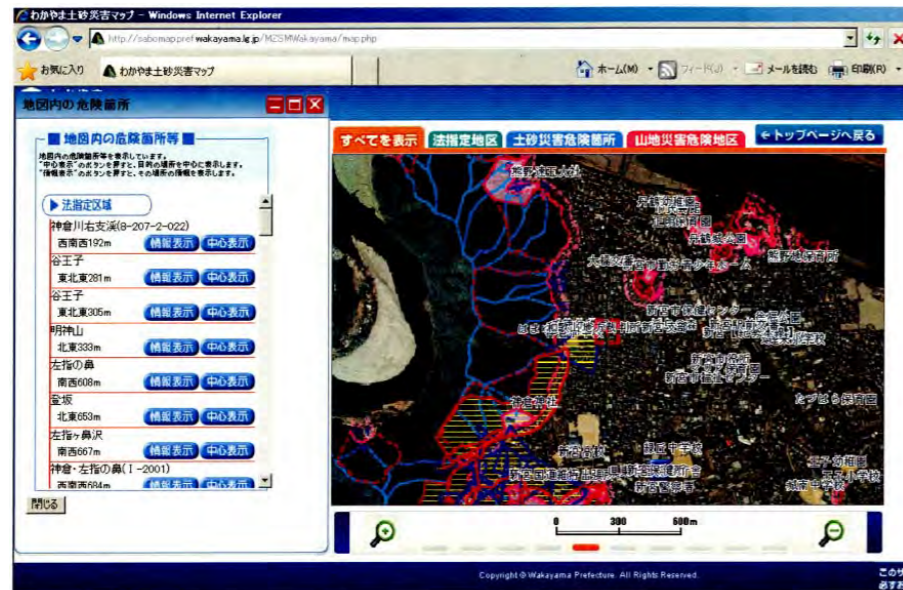


図-2 わかやま土砂災害マップ

4) その他、「土砂災害に関する知識」を普及するための活動等があります。

情報の公開にあたっては、インターネットやデジタル放送等を活用して住民が直接情報を入手できるように配慮しております(図-2)。

インターネットのアドレスを下記に示しますのでご覧下さい。

土砂災害危険箇所に関する情報  
(わかやま土砂災害マップ)  
<http://sabomap.pref.wakayama.lg.jp/>

降雨状況に関する情報  
(和歌山県ホームページ)  
<http://kasensabo01.pref.wakayama.lg.jp/>

## 3. 紀伊半島大水害時の対応

砂防課では台風12号来襲に伴い県下の降雨状況を監視するとともに、和歌山地方気象台と連携を図りながら土砂災害警戒情報の発表を行いました。市町村ごとの土砂災害警戒情報発表状況を(表-2)に示します。

甚大な土砂災害が発生した田辺市、新宮市、那智勝浦町では2日以上にわたり土砂災害警戒情報が継続されており、この大水害での降雨状況の激しさを物語っております。

また、この災害では大規模崩壊に伴う河道埋塞が発生し、改正土砂災害防止法の施行後、初めて国土交通省による緊急調査が実施されるとともに土砂災害緊急情報が発表されました(図-3)。県では同年5月に近畿地方整備局と協力しながら市町村の砂防と防災の両部局の担当者に対し、土砂災害防止法の改正内容と新たな役割についての研修を実施してまいりましたが、いきなりの実戦となりました。このため土砂災害警戒情報の伝達ルートを用い、砂防・防災両部局間の連携を普段より一層密にして情報伝達を行いました。被害調査や応急対応等、非常に混乱した状況ではありましたが、関係者が個々の役割を果たすことにより緊急情報に関する業務を無事に遂行できました。

また、この災害では、電源の水没による情報連絡手段の途絶や道路の通行不能に伴う孤立集落の発生、谷底平野における避難所や避難路の選定等、さまざまな課題が明らかになり、平常時における備えの重要性が再認識されました。

## 4. 土砂災害から人命を守るために

紀伊半島大水害は、本県における土砂災害としては、1995年の新宮市磐盾地区における土石流災害以来の人命被害をもたらしまし

表-2 土砂災害警戒情報発表状況

土砂災害警戒情報発表状況 (●:発表, ▲:解除)

市町村	9月2日	9月3日	9月4日	9月5日
和歌山市	11:45 21:50 23:20	1:55 6:30 8:15	8:30 11:30 12:05 13:45 14:45 17:15 19:30 21:10 23:05	8:30 10:45 11:50
海南市				
紀伊勢町				
岩出市				
紀の川市				
橋本町				
かつらぎ町				
九度山町				
高野町				
有田市				
津田町				
美浜町				
日高町				
由良町				
日高川町				
印南町				
みなべ町				
田辺市				
上富田町				
白浜町				
すさみ町				
串本町				
古座川町				
新宮市				
那智勝浦町				
太地町				
北山村				

河道閉塞による湛水を発生原因とする土石流等による被害が想定される土地の区域 別:

区域名: 日置川流域 田辺市熊野

この図は、日置川流域 田辺市熊野において、台風12号の豪雨により大規模な河道閉塞が形成され、上流に湛水が発生しており、今後、土石流の発生が想定されることから、平成23年9月5日~7日に実施したヘリコプターによる上空からの河道において堆積した土砂等の高さ等の調査結果を踏まえ、河道閉塞部における越流によって発生する土石流により被害が生じるおそれのある区域を、以下の条件のもとで数値シミュレーションにより明らかにしたものです。

別紙-2 重大な土砂災害が想定される時期 (平成23年9月8日17時現在)

河道閉塞の確認場所	重大な土砂災害が想定される時期	避難について	河道閉塞高さまで満水になるまでの推定累積雨量
和歌山県田辺市熊野	早ければ今夜	避難が必要であると考えられます。	—

※ ただし、今後の降雨の状況等によって土石流の発生が早まることも予想されます。

図-3 土砂災害緊急情報

現場見学会報告

平成24年度技術見学会に参加して  
平成23年度台風12号による  
大規模土砂災害の現場見学会



集合写真(那智大社にて)

平成24年11月2日～3日に開催された技術見学会「平成23年度 台風12号による大規模土砂災害の現場見学会」に参加しました。初日は肌寒い気候でしたが、2日間とも雨に見舞われることなく現場をまわる事ができました。

今回の見学会では、講師として立命館大学の里深好文先生と和歌山大学の江種伸之先生が同行していただき、災害現場や移動中のバスで災害の起こった経緯や状況について解説していただきました。

見学会の初日は和歌山県の橋本駅を出発し、国道168号線を南下しながら奈良県の被災現場を見学しました。大規模崩壊地として全国的に有名な辻堂・宇井・赤谷・田長瀬・野尻とまわり、中でも赤谷の現場が印象的でした。赤谷は高さ約600m、長さ約1100m、幅約450m、深さ約30mにも及び大規模な崩壊地で、発生から1年経った現在も崩壊土砂の移動が確認されているとのこと。ここまでの規模の崩壊を目の前にすると、普段目にしての崩壊の規模が小さく思えてしまう程でした。国道沿いにもいくつもの崩壊地が見られ、台風爪痕が今もなお残っていました。

初日の夜には温泉、夕御飯で寒さや疲れを癒した後、勉強会を開催していただきました。江種先生をはじめ、中央開発(株)の宇都氏、矢野氏による災害現場についての解説の後、里深先生から総括をいただきました。意見交換の場としても活気があり、大変意義のある機会であったと思います。

初日のバスの中や勉強会で、見た目は同じような谷なのに、崩壊が起こっている箇所とそうでない箇所があるのはなぜだろうという声が上がりました。これはまさに今後の課題であり、崩壊が起こりそうな箇所を見つけ出し、被害を軽減・回避することが調査業の重要な役割であることを改めて認識しました。

2日目は那智大社周辺の災害現場を見学しつつ、被災者をしのび全員で那智大社に参拝しました。国道311号線を通り和歌山県内の災害現場を見学しました。主に河川が氾濫した現場をまわったのですが、災害から約1年で堤防は改修されていた。しかし、もともと畑や田んぼだった農地は未だ荒れたままで、完全に元通りというのはやはり時間がかかるものだと痛感しました。

今回の見学会で、改めて自然の脅威・災害の深刻さを目の当たりにしました。こういった深刻な被害を少しでも軽減・回避することが出来るよう、尽力していきたいと思えます。

最後に、このような意義のある素晴らしい見学会を開催していただいたスタッフの皆様と、参加者の質問に丁寧に答えてくださった里深先生、江種先生に厚く御礼申し上げます。



宇井の崩壊地前にて



赤谷の崩壊地



切目川の復旧状況



図-4 土砂災害警戒判定図

た。本県では人命被害ゼロを目標に土砂災害対策を推進してきましたが、今回の災害を受けて「今後どのような対応が必要か」について考えたいと思います。

○「場所」情報の重要性の再周知と「時間」情報の進化

大水害後、市町村に対し「わかやま土砂災害マップ」について再度説明するとともに、土砂災害警戒区域等の指定の重要性を説明しました。その結果、災害前の指定が約1300箇所であったのが1年後の2012年9月には約4500箇所と大幅に増加しました。今後は、さらなる指定の推進を図るとともに、市町村に対し土砂災害ハザードマップの作成を支援してまいります。

また、避難の目安となる「時間」の情報ですが、土砂災害警戒情報の基準である「土砂災害警戒判定分布図」をテレビ和歌山のデジタル放送で公開することにより、住民一人一人が土砂災害のおそれのある時間に関する情報を今まで以上に入手しやすいようにしました(図-4)。これは、土砂災害から住民の早期の自主避難を期待するものです。

○行政と住民の協働が不可欠

土砂災害対策のうちソフト対策を総合化した法律である土砂災害防止法の第3条に規定された土砂災害防止対策基本指針では、土砂災害の防止のための対策に関する基本的な事項として、行政の「知らせる努力」と住民の「知る努力」とが相乗的に働く社会システムの構築が基本理念として明示されております。これは、土砂災害防止施設の整備に長期間を要する現状において、土砂災害から生命及び身体を守るためにはソフト対策が必要であること、そしてソフト対策とは土砂災害に対して警戒避難等を行うことであり、ソフト対策の実施には住民と行政との協働が不可欠であることから示された基本理念であると考えております。

現実の土砂災害に対する警戒避難では、行動を起こすのは住民であり、行政がさまざまな情報を発信したとしても住民の避難行動が伴わなければ土砂災害から人命を守ることは不可能です。反対に住民が避難する場合、安全な「避難所」、的確な「タイミング」等に関する情報が必要であり、行政が平常時からそれらに関する情報を発信しなければ住民の適時・的確な避難は不可能です。

このように、住民と行政がおのおのの役割に応じた努力を行うことで、初めて土砂災害から人命を守ることができると思えます。

実際、両者の協働で早期避難が実施されることで土砂災害を免れた事例が国土交通省や全国治水砂防協会により紹介されております。また、施設整備というハード対策について

も住民と行政の協働が不可欠です。災害が発生した被災地において、復旧・復興に行政が第一線で対策を行うことが必要であることは明確ですが、災害を予防する観点で施設整備を行う場合、莫大な数が存在する土砂災害危険箇所に対して、「どの箇所から施設整備を実施すべきか」等を考える上で、各地域の持つ現状や課題等の地域の実情に応じた優先付けが計画的な施設整備を図る上で必要となります。この地域の実情の把握には住民と行政の協働が欠かせません。

このように、住民と行政の協働は土砂災害対策の推進には不可欠なものであり、紀伊半島大水害による人命被害が発生したことを教訓として、住民と行政がより一層協働しながら土砂災害対策を推進できるシステムの構築に取り組みが必要であると考えます。

○キーワード「地域防災」

私は上記のシステム構築のキーワードとなるのは「地域防災」であると考えております。「地域防災」という言葉には多種多様な意味が含まれており、行政でも担当部局によって捉え方は異なると思いますが、私は今後の土砂災害対策の推進に当たっては、市町村の地域防災計画をもっと活用する必要があるという考えを持っております。

地域防災計画の活用としては、ある集落(コミュニティ)において複数の土砂災害危険箇所が存在する場合、避難所(地域防災拠点)を優先的にハード対策で保全し、ソフト対策により地域住民を避難させるなどの対策により、集落の安全・安心を確保する施策を行うことが一例として挙げられると思います。

また、県が市町村の地域防災計画策定に今まで以上の助言を行うことも災害防止の観点からは必要であると考えます。その他、国が

発展途上国に対し技術援助で行った地域防災の事例をフィードバックして、住民と協働しながら地域の実状に応じたアレンジを加えて土砂災害防止活動を行う方法もあると思います。

以上、今後はいろいろな情報や知識を活用しながら土砂災害対策を進めてゆく必要があると考えております。

5. おわりに

紀伊半島大水害では、発災直後より国やコンサルタントをはじめ、各方面の方々よりあたたかいご支援を賜り、本当にありがとうございました。

今後は一日も早い復旧・復興に向け全力で取り組むとともに、紀伊半島大水害による教訓を活かして人命と地域を守る土砂災害対策事業を推進してまいります。

森川 智

SATOSHI MORIKAWA

和歌山県県土整備部河川・下水道局砂防課 保全班長  
昭和63年和歌山県入庁  
平成11年9月より2年半にわたり国際協力機構(JICA)専門家としてネパールに派遣土砂災害軽減に関する技術指導を担当  
帰国後、和歌山県砂防課、有田振興局建設部を経て  
平成21年4月より現職



黒木 研志

KENJI KUROKI

キタイ設計株式会社 防災地質部  
平成元年生まれ。平成19年に立命館大学理工学部都市システム工学科に入学、土木分野を学ぶ。平成23年に同学科を卒業し、キタイ設計株式会社に入社。現在入社2年目。

# Challenging people 地質調査人

地質調査技士 合格

## 地質調査で 必要な知識を形に

私はこの度、地質調査技士の「現場技術・管理部門（地質調査コース）」を受験し、合格することができました。以下、拙い文章ではありますが、今後受験される方々の参考になれば幸いです。

私は2009年に入社して以来、地質調査関連の仕事に携わっています。現場作業としては、軟弱地盤におけるボーリング調査や水文調査、物理探査やその他原位置試験などを担当しつつ、内業としては、河川堤防の耐震・浸透や道路盛土の圧密沈下などに関する地盤解析業務を担当しています。2012年で入社4年目にあたる私は、これら実務を通して地質調査に関する知識・技術を少しずつ身につけてまいりました。

資格に関しては、取得できそうなものは何でもチャレンジしてみようといった心持ちです。地質調査技士の受験資格を満たす3年の実務経験を経た2012年に早速受験してみようと決めていました。しかし、弊社において必須ともいえるこの資格試験に、もしも落第したら…と思うとかなり不安でした。

落第するわけにはいかないと気が焦りながらも、結局、勉強できたのは試験の数日前からでした。それでも合格できた要因としては、協会主催の「事前講習会」に参加して基本的な試験内容が確認できたこと、実業務を通じて得た知識の再確認、過去問の演習を行ったことかと思えます。

### ◆試験内容の確認

試験は、大枠で8部門からなり、択一式と記述式の問題で筆記試験のみとなります（事前講習会への参加などは受講加点があるのでこれは必須だろうと思います）。8部門の内容は、調査技術・現場技術・解析手法・管理技法など個人的に業務で慣れ親しんだものから社会一般・建設行政・入札といったものまで多岐にわたります。最初はかなり構えていましたが、例年、過去の試験問題に似通った内容が出題されるため、とにかく事前講習会への参加と過去問題の演習さえ行えばなん

とかなるかもしれません。

ただし、何問かは新規内容の問題が出題されます。今年度に関して言えば、74問目「平成24年1月に厚生労働省が〜東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための〜規則」が新しく、これらについては普段から新しいトピックなどに気を配っておく必要があります。

### ◆事前講習会

事前講習会は「試験の総得点に加算されるから有利」という程度の動機で参加しましたが、講習を受けてみてその意義を実感しました。まず、試験勉強といっても初めはどこから手をつけたらよいかわからなかった私にとって、事前に試験内容を把握できることは大きなメリットでした。部門ごとに講師の方が過去問を例に、時間の許す限り詳細に説明してくださるため、出題内容の整理が体系的に行えました。これによって自ずと得手不得手の分野がはっきりして、何を勉強すればよいか把握できました。また、忙しい中勉強している方々と机を並べることで、試験に対するモチベーションも上がりました。

### ◆基礎知識の確認

（参考図書：ボーリングポケットブック）

事前講習会に参加したことで、「ボーリング機器・掘進技術」が私の課題の一つだと認識できました。普段の業務でボーリング調査を担当しているため、ほぼ問題ないだろうと高を括っていましたが、いざ過去問にあたってみると、ボーリングマシンの機構（巻上装置・変速装置・せん孔装置・伝達装置）といった機器・掘進技術に関する詳細な内容が出題されていたため、これはしっかり勉強しなければと思いました。対策としては、「ボーリングポケットブック（第4版）、（社）全国地質調査業協会連合会」を入社当時と同様に再熟読しようと思いました。ただ、すべて読破する時間はなかったので、過去問でわからなかった箇所を重点的に調べ、理解に努めました。

## 茂木 太郎

（もぎ たろう）

基礎地盤コンサルタンツ株式会社  
関西支社 地盤技術部  
2009年入社。軟弱地盤の技術者として、ボーリング・水文などの調査業務や耐震・浸透・圧密などに関する地盤解析業務を担当。



### ◆過去問の演習

最も有効な試験対策として、過去問の演習が挙げられるかと思えます。さすがにまったく同じ出題はありませんが、問い方を変えた「ほぼ同様の問題」は出題されます。過去問で出題されていた内容を理解さえすれば、概ね得点は稼げるかと思えます。事前講習会の講師の方々は地質調査技士のプロフェッショナルであり、試験傾向もしっかり把握されています。その講師の方々が「この問題は重要だから必ず出題される!」とおっしゃった問題は必読です。

また、毎年出題されている「業務経験」を問う問題に関しては、事前に整理しておく必要があります。字数制限を考えるとその場でいきなり書くとなると厳しいでしょう。業務経験以外の記述式問題に関しても、ある程度問題を想定して事前に整理しておいた方がよいかも

かもしれません。試験では、普段の業務で接する機会の多い内容が出題されるので、地質調査に携わっている方々にとっては、簡単な印象を持たれるかもしれません。しかし、うる覚えのままでは正答にたどり着けないような問い方がされるため、過去問・事前講習会を行った上で、ボーリングポケットブックなどの参考資料で細かい内容を理解する作業は大なり小なり必要になるかと思えます。

### ◆最後に

試験勉強をしてみて、「理解しているつもり」がいかに多いか気づかされました。普段の業務では、わからないことは誰かに聞けばよいし、調べればよいとしていましたが、それだけでは技術力は身につけません。せっかく業務で知識・経験をえているのだから、自らの技術力として引き出しを作らなければと思いました。地質調査に関する技術力の向上という点で、「地質調査技士」は最も有効な資格の登竜門であろうと思います。今回は、「現場技術・管理部門（地質調査コース）」を受験しましたが、今後は他部門も受験し、さらなる技術力の向上を図りたいと思います。

プロフェッショナルへの関門をくぐり抜けた合格体験記は、資格をめざして格闘中の若きチャレンジャーにとってはいい刺激と受験のためのヒントを提供してくれることでしょう。

応用地形判読士 合格

今年から応用地形判読士資格検定試験制度が始まりました。今回、1次試験を受験する機会があったので報告します。

## 第一回 応用地形判読士を 受験して

### ◆資格創設の背景

我々コンサルタントが地質調査に着手する際には、地形図や空中写真を用いた地形判読を必ず行います。それは地形から地質構造や性状、地形・地質リスクが想定でき、効率的な現地調査計画の立案に有効だからです。しかし、これほど重要な地形判読技術ですが、参考書を見ながら「見よう見まね」で地形を判読してきた方も多かったのではないのでしょうか？今回、応用地形判読士の資格が創設されたことにより、地形判読技術者の育成やその技術の普及に役立つことが期待されます。

### ◆試験の概要

試験は技術士試験のように1次試験と2次試験に別れています。さらに、1次試験の合格者は以下の2つに区分されます。

- 応用地形マスターⅠ級（正答率70%以上）……「応用地形判読士補」（「補」が付いている）に登録後に2次試験（応用地形判読士）を受験できる。（2次試験が不合格でも5年間は1次試験免除）
- 応用地形マスターⅡ級（正答率50%以上）……特に何もなし。理解度ポチポチという自己満足。

また、2次試験（応用地形判読士）の受験資格は「応用地形判読士補」なので、まずは1次試験でマスターⅠ級に合格して、応用地形判読士補に登録しなくてはなりません。

### ◆受験動機

会社（関西支社）から「地質技術者全員が受験するように」との「業務命令」があり、また資格試験は初回が合格しやすいという「うわさ」で、軽い気持ちで受験を申し込みました。さらに、私自身が日頃から地形図を見るのが好きだったこともあり、自分の実力がどれほどのものか「腕試し」のつもりでもありました。

### ◆受験勉強

今回が第一回の試験であることから、どんな問題が出されるのか不安でしたが、事前に全地連のHPに1次試験の模擬問題が発表されていました。問題の内容は地形の知識だけでなく、地質学の知識も求めるものが多く、まるで大学入試の「共通一次試験」(古い!)の地学の問題みたいな印象を受けました。また、地質が趣味な「一般人」が合格するのは難しいのではないかと感じました。

全地連のHPには参考図書も提示されていたため、その中から会社にあった参考本を眺めながら、自分の知識や理解度を確認しました。参考図書では、鈴木隆介著「建設技術者のための地形図読図入門1〜4」が最も参考になったと感じました。4冊をマジメに読むのは大変なので、本文中の図を眺めるだけでも大いに参考になると思います。

### ◆受験会場

私は大阪会場を受験しました。受験生は中高年から若者まで約80名でした。午前の試験は多肢択一式マークシートでしたが、午後は完全記述式（800字×2問）で、技術士の2次試験のような試験でした。

試験時間にあまり余裕はなかったと感じました（特に午後は2時間しかない）。また、午後の記述式は総合的な知識がないと文章を続けることが難しく、とても苦労しましたが、要点を箇条書きにしたり、図や表を書き込んだりすることで、なるべく空白を埋めるように努めました。

後日、解答が発表された多肢択一式マークシートについては約8割の正答率でした。記述式の解答は発表されていませんでしたが、最後の行まで書ききったので「まあ、なんとかできたかな？」という感じでした（技術士の受験後も同じような感覚でしたが、こっちはなかなか合格できない……）。

## 松村 法行

（まつむらのりゆき）

株式会社 ダイアコンサルタント関西支社  
地質・防災部 地質防災第1課 課長  
1994年3月 山口大学理学部地質学鉱物科学科卒業  
同年4月 株式会社 ダイアコンサルタント入社。ダム、道路、農地すべり、斜面崩壊などの調査業務を重ねる。  
2001〜2002年度（平成13〜14年度）農水省直轄地すべり事務所  
に現場技術員として出向。2004年より関西支社在勤。神戸支店兼務。



### ◆合格発表

発表当日の朝（6時頃）に携帯で全地連のHPを見ると、すでに合格発表が出ていました。しかし、合格者数が予想以上に少ないことに驚きました。大阪会場では約80人も受験していたのにマスターⅠ級合格者はたったの7名で、マスターⅡ級でも11名しかいません。「これはやばいかも……」と焦りましたが、受験票は会社に置いていたので自分の受験番号が分からず、合格しているのかわからないまま、ドキドキしながら会社に向かいました。結果はみごとマスターⅠ級合格。弊社の関西支社では3名がマスターⅠ級に合格できました。

### ◆2次試験に向けて

2次試験は実体鏡を使用する実技試験とすることです。机を2つ使用することや、試験で使用する実体鏡は事前に郵送も可ということから、大型の実体鏡を使用するほど本格的な(?)空中写真判読が試されるものと考えられます。

### ◆おまけ

2次試験は12月1日（土）10時から。会場は東京駅周辺ではなく小平市なので、関西からの当日乗り込みでは間に合わず前泊になります。せっかく（会社の金で）東京に行けるので、2次試験の準備のことよりもどこに行こうか考え中です。やっぱりスカイツリー？AKB劇場？銀座チャンスセンターで年末ジャンボ？ですかね。ありがとうございました。

おわり

# 空気注入による不飽和化(脱水)で液状化対策: Air-des 工法

愛媛大学大学院理工学研究科 教授 岡村 未対

## 1. はじめに

我が国の人口と資産のほとんどは、ひとたび地震が発生すれば液状化する可能性の高い低平地に集中している。地盤の液状化は、直接人命に影響することは少ないが、電気や通信、上下水道などのライフライン、海岸や河川堤防などの防災施設、空港や港湾、道路を始めとする物流施設などの構造物や社会インフラに致命的な被害を及ぼす。地震による液状化の被災リスクを低減することは、安全安心な社会を構築するために推進すべき重要な事項の一つである。しかしながら、液状化リスクの高い地域の面積は広大で、そこには膨大な数や延長の構造物が存在する上、それらのほとんどは液状化対策がなされていないのが現状である。1995年の兵庫県南部地震以降、重要構造物に対する液状化対策が進められてきたが、今日に至るまでの対策進捗率は決して高くない。

地盤の液状化対策工事は概して非常に高価である。上部構造物の建設費よりも地盤改良費の方が高くなることも希ではない。また、既存構造物を使用しながらその直下地盤を改良するのは容易ではなく、さらに工費も高価である。地震による被災リスクを確実に低下させて

ゆくためには、耐震対策を進めることが有力な手段であることは間違いないが、これまでも、そして今後も対策を進める上での大きな障害となるのが対策コストである。液状化対策コストを大幅に削減し、対策が必要とされる多数の構造物に液状化対策を実施できるようにすること、特にインフラ整備政策が新規建設から維持管理に重点を移している現状を鑑み、既存構造物直下地盤の液状化対策の大幅なコストダウンを実現すること、それが本工法開発の一つの大きな動機である。例えば高速道路盛土は地震で損傷しても比較的短期間で修復できることや、全国に膨大な延長の盛土が存在することなどから液状化対策はほとんど成されてこなかったが、液状化対策工法が格段にコストダウンすれば、地震後の緊急輸送路など重要な路線から順に液状化対策をすることが可能になるのである。

## 2. 液状化対策工法のコスト感

我が国ではこれまでに多くの液状化対策工法が研究・開発され、実用に供されている。その結果、液状化対策が施工された地盤が強い地震動を受けた事例が数多く蓄積されてきている。例えば設計地震動より強い地震動

を受けたにもかかわらず、液状化対策を施した構造物がほとんど無被害であったものなど、対策技術の実効性も確認されてきた。

一方、液状化対策工法はこれまでもコストダウンが図られてきたが、前述の通り安価であるとは言えない。液状化対策工法を更地の地盤に対して行うものと、構造物直下の地盤に対して行うものに大別すると、その費用は(図-1)のようになる。更地に適用する工法は概ね地盤1m<sup>3</sup>あたり千円のオーダーであるが、構造物直下の場合にはワンオーダー高い1万円円のオーダーである。そこで構造物直下の液状化対策を、既存工法のおよそ1/10である1m<sup>3</sup>あたり千円のオーダーで実施できる工法として、以下3.で述べる Air-des 工法を開発した(図-1の青い実線の矢印)。また、現状の対策技術には、環境基準等には触れないものの化学物質を用いることにより地盤や周辺への環境負荷を与えたり、地下水環境を改変する可能性のあるものが多く、逆に近接する住宅のある狭いスペースで施工できる工法は極めて少ない点が課題といえる。なお、Air-des 工法の名称は、空気 (air) による脱水・不飽和化 (desaturation) からとったものである。

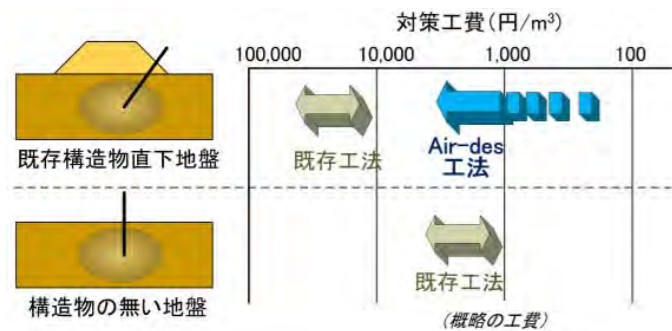


図-1 液状化対策工の概略費用

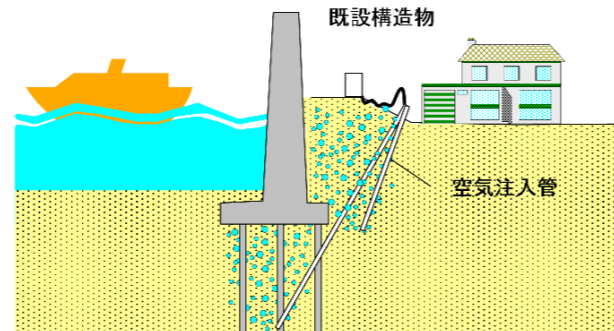


図-2 Air-des工法の空気注入中のイメージ

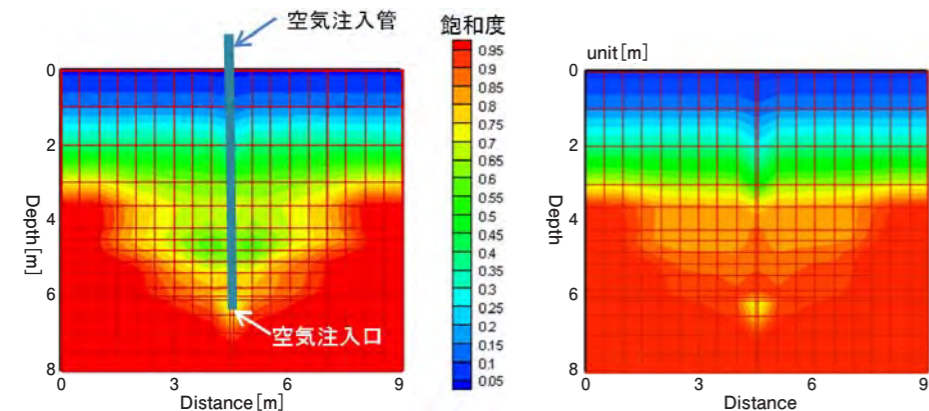


図-3 現場実験での空気注入中及び注入終了後の地盤の飽和度分布

## 3. 空気注入による液状化対策工法と効果の概要

空気注入による液状化対策工法(以下、Air-des 工法という)のイメージを(図-2)に示す。まず液状化層にパイプを設置し、適切な圧力と時間で空気を地盤に注入することで、注入管周りの地盤をまんべんなく脱水したことを確認し、空気注入を終了する。すると余剰な気泡は地盤中から抜け、比較的小さな安定した気泡が地盤中に残存する。このときの飽和度はおよそ 85-95% 程度となる(図-3)。

不飽和化した土の液状化強度増加メカニズムを(図-4)に示す。飽和した土塊は非圧縮であるが、隙間に空気がトラップされた不飽和砂質土では、地震によるせん断応力が作用した場合、隙間の空気が圧縮することで過剰間隙水圧の上昇が抑制されるため、液状化に対する抵抗が増す。これにより、ある程度大きな地震力までは土粒子がお互いに接触を保ちながら噛み合った状態が保持されるため、土の強度・剛性が失われないのである。もともと土骨格の圧縮性はあまり大きくないので、土中の空気は比較的少量でもクッション材としての間隙水圧抑制効果が発揮される。土中空気圧縮によって生じ得る土の体積圧縮ひずみは、飽和度の他、有効度被り圧や地下水位によって変わることがわかっている。(図-5)は液状化強度が飽和度の低下によってどのように増加するかを示したものである。これより、地盤表面近くの有効度被り圧が小さいところでは飽和度低下の効果は小さく、逆に5m以上の深部ではわずか数%の飽和度の低下によって液状化強度が1.5~2倍以上になることがわかる。このことより、地盤の深部や盛土などの重い構造物直下地盤の液状化

対策において本工法は有効であることがわかる。一方で不飽和化による液状化強度は最大でも不飽和化前の3倍以下であり、あまりにも液状化強度が小さい地盤の改良には向かない(例えばFL値が0.5未満の場合など)。

Air-des 工法による対策効果を検証した事例を(図-6)に示す。この実験では、緩い飽和地盤上の高さ2mの盛土の液状化対策効果を遠心模型実験により調べたものである<sup>1)</sup>。約300galの正弦波加振により、無対策地盤は液状化して変形し盛土が大きく沈下した。一方、対策地盤では盛土天端直下の地盤底部から空気を注入し、盛土天端とほぼ同じ幅の地盤に空気が侵入してこの部分が不飽和化された(写真-6の盛土直下地盤の、わずかに白っぽくなった領域)。空気注入を停止した後に加振したところ、盛土の沈下量は無対策地盤の1/7まで減少した。不飽和領域内だけでなく、不飽和領域近傍の飽和領域においても顕著な間隙水圧の低下が見られ、不飽和化領域外まで効果が及ぶことを確認した。

## 4. おわりに

Air-des 工法は、複数の現場実験を含む詳細な検討と、有識者による外部委員会による検討を経て、2012年3月に設計施工マニュアルを発行し、実用化した<sup>2)</sup>。しかしながら膨大な液状化リスクの高い膨大な社会資本ストックを考えると、1m<sup>3</sup>あたり千円のオーダーという工費はまだ高価である。例えば幅50mの盛土の液状化対策をするためには、液状化層厚を10mと仮定すると1kmあたりざっと10億円の工費を要することになる。日本全国の高速道路や1級河川だけでも総延長は数万キロに及ぶことを考えると、さらなる

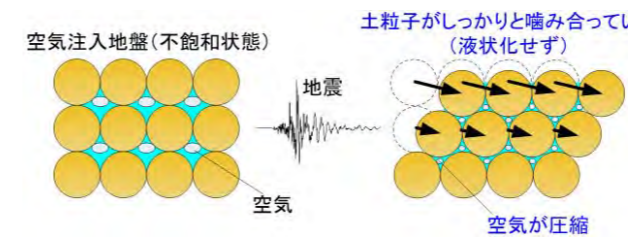


図-4 不飽和化した地盤の液状化強度増加メカニズム

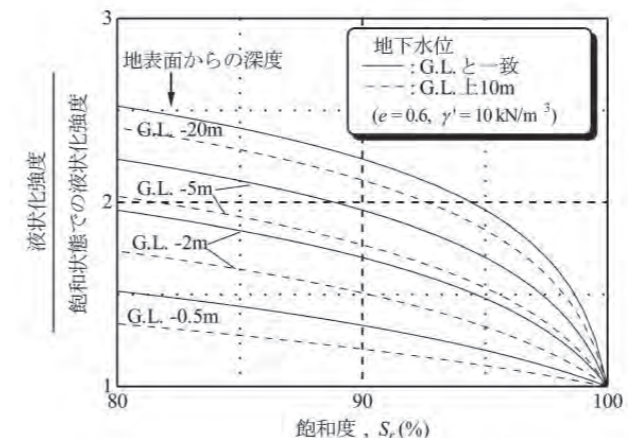


図-5 液状化強度増加率と飽和度の関係

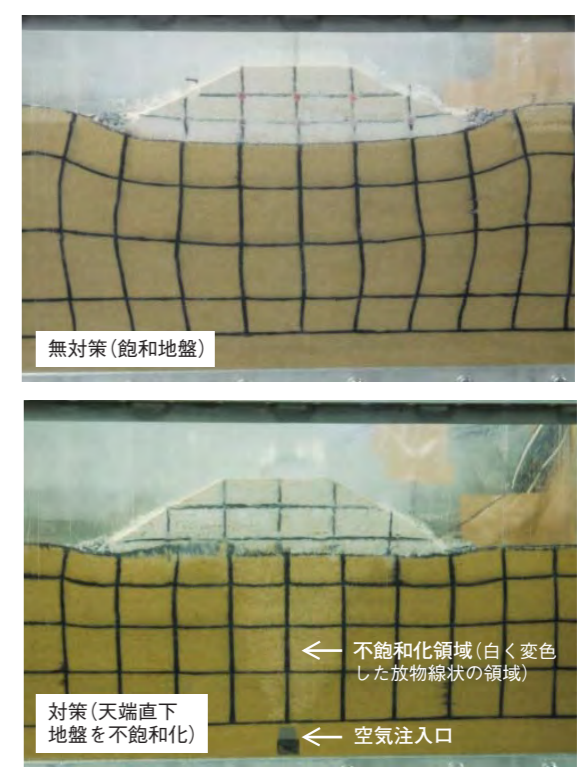


図-6 遠心模型実験による不飽和化の効果の検証。加振後の変形状況。

岡村 未対



XXXXXXXXXXXX

愛媛大学大学院理工学研究科 教授(博士(工学))  
 1993年 東京工業大学理工学研究科博士課程修了  
 1993年 東京工業大学工学部助手(1997年 米国レンセラー工科大学客員研究員)  
 1997年 建設省土木研究所主任研究員  
 2001年 独立行政法人土木研究所技術推進部主任研究員(2001年 JICA 専門家としてドネシア派遣)  
 2004年 愛媛大学工学部 助教授  
 2009年 4月から現職  
 地盤の液状化、河川堤防をはじめ種々の構造物の液状化対策、遠心模型実験に関する研究などを行ってきた。

大幅なコストダウンが必要なことは明白である。既にそのための研究や現場での実証実験の準備に取りかかっており、それが実現すれば(図-1)の破線で示されるコストも十分可能になる。

本報では Air-des 工法の紹介をさせていただいたが、これに限らず今後多くの革新的な技術が生み出されることで液状化対策工法の工費が低下し、近い将来には、液状化対策が重要構造物だけに適用される高値の花でなくなることを望みたい。

※参考文献

- 1) 富田雄一ら: 道路盛土直下への空気注入による液状化対策効果の実験的検討, 第47回地盤工学研究発表会, 2012年
- 2) Air-des 工法研究会: 空気注入不飽和加工法 (Air-des 工法) 設計施工マニュアル, 参考資料, 2012年



# 加外K 大阪駅改良工事

～ 軟弱地盤上の既設構造物に近接した大規模掘削工事～

ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社 下野 一行  
土木設計本部 次長

写真-1

## 1. はじめに

大阪駅は、1日約1500本の列車が発着し、80万人を超えるお客様が利用されるJR西日本最大のターミナルである。当該地域では新しいまちづくりが進められており、大阪駅を将来にわたって大阪の玄関口にふさわしい、快適で利便性が高く賑わいに満ちたターミナルとするため、駅の改良工事ならびに大阪駅新北ビル（現在の「ノースゲートビル」）新築工事を実施した。このうちビル建設にともなう地下工事においては、深さ20m、横断幅約30～60m、延長280mの大規模掘削を行うが、既設の鉄道高架橋に近接しており地盤も軟弱なため、構造物に変状が生じないように細心の注意を払って施工を進める必要があった（図-1、図-2）。

## 2. 施工方法の選定

### (1) 施工条件

大阪駅付近の土質柱状図および土留め壁の施工手順を（図-3）に示す。地盤は地表から約30m下に透水層である天満砂礫層（洪積砂礫層；Dg1）があり、その上には10数m

の厚さをもつ梅田粘土層（沖積粘土層；Ac1～Ac3）がある。梅田粘土層は比較的鋭敏で高塑性の軟弱粘土層であり、上層（Ac1）はシルト質砂および砂質シルト、中層（Ac2）はシルト質粘土、下層（Ac3）はシルト質粘土および砂質粘土から構成されている。

土留め壁は、近接する昭和初期竣工の鉄道高架橋に対して沈下や傾斜による悪影響を極力抑制するため、鉄道高架側について壁長44m、壁厚は1.2mのRC地中連続壁を本体として利用した。土留め壁の施工および掘削は軟弱な地盤での施工かつ鉄道高架橋に非常に近接した施工となるため、RC地中連続壁施工時の溝壁防護として、改良幅480mm以上（柱列式連続壁φ550@450）で地表面から深度12mまでの改良を行った。

掘削の概要を（図-4）に示す。掘削は、本設地下躯体の梁・床版を支保工の一部として利用できる逆打ち工法を採用した。また斜め切梁にはプレロードを導入することにより、土留め壁の変形の低減を目指した。

### (2) 補助工法の検討

地下部分の施工は既設高架橋との最小離隔が1.3mと非常に近接している。また既設高架橋の杭は長さ5～6m程度の不完全な支持杭であり近接施工の判定では要対策範囲となることから、先の溝壁防護のほか、補助工法の採用を検討した。

本工事における影響検討としては、土留め壁の変形量を弾塑性法で求め、得られた変形量を地盤のFEM弾性解析に強制変位として与えることで求めた。この結果、掘削段階で既設高架橋の沈下におよぼす影響が大きいことがわかった。そこで掘削にともなう土留め壁の発生変位を抑制するため、補助工法としてソイルパットレス工法を採用した。ソイルパットレス工法は土留め壁の掘削側に控え壁方式で改良体を構築することで地盤改良し、土留め壁の変形を抑制するものである。イメージを（図-5）に示す。

適用するソイルパットレスの最適な形状・仕様を決定するため、土留め変形に与える影響を指標としパラメトリックスタディーを行った。仕様を決定する要素として改良体の長さ、幅、

間隔の3項目を設定した。ソイルパットレスは平面的にRC地中連続壁のジョイント部分に配置させるため、間隔は連壁のパネル割りにより自動的に決定される。そこで残りの2要素（長さ、幅）を変化させて、その変形抑制効果を評価することとした。

ここで土留め変形量の目安は、土留め変形にともなう地盤変形量をFEM解析により計算し、既設高架橋の管理値を満たす35mmとした。

パラメーター（長さ、幅）は（図-6）の通り設定した。この時、同程度の変形抑制効果が期待できる仕様について、3種類で検討を行った。パットレス長さ土留め壁の最大変形量の関係を（図-7）に示す。（図-7）により、同程度の変形抑制効果が期待できる仕様について比較を行った。その結果、（表-1）で示すように、φ900×1列の仕様が、工期、経済性ともに最良となることがわかり採用した。

## 3. 既設構造物の計測管理と計測結果

### (1) 既設構造物の計測管理

既設の鉄道高架橋に対する計測は、「列車の安全な運行の確保」「構造物の安全性の確保」、そして「情報化施工による安全性の確保」の面から管理を進めた。

「列車の安全な運行の確保」および「構造物の安全性の確保」については、土留め壁の変形にともなう背面地盤の変状による高架橋および軌道の変状を管理する。特に高架橋の変状は、工事着手前は設計で求めた値を限界値として定めて進めていた。その後工事の進捗により得られた情報や知見を取り入れることで、実際に生じる事象との乖離を補い計測管理を

継続した。また「情報化施工による安全性の確保」は、（図-4）による各次掘削の終了後、逆解析を行って以降の掘削による高架橋の変位を予測し、施工時の安全管理に活用した。これら計測管理により、大規模掘削の施工による構造物および列車走行の安全を確保した。

### (2) 計測結果

#### ① 高架橋変位と軌道変位の関係

3次掘削完了時における新北ビルに近接するR通りの高架橋沈下計測結果と10番線軌道検測結果（高低）を（図-8）に示す。高架橋では東西方向になだらかな沈下傾向を示しており、最大値は29通り柱でおよそ17.7mmの沈下となっている。軌道検測結果は、工事着手前（青）と3次掘削完了時（赤）を示している。これらの比較より、工事着手前からの変動は±3mm以内であった。したがって軌道は高架橋が「大だるみ」的な沈下はするが大きな変動はなく、さらに軌道整備基準値以内に収まっていることから、列車の安全な運行には支障がないことがわかった。

#### ② 計測の終了

最終計測時（2010年12月）における高架橋の計測結果の一例（柱間の相対変位）を（図-9）に示す。大規模掘削工事が完了したのは2010年2月であった。しかし大阪駅周辺の地盤が非常に軟弱なことから沈下の終了を確認するまで計測を続けた。最終的な沈下量は約38mmであったが、3次掘削以降も同様な「大だるみ」的な傾向により、高架橋や列車の運行に支障することはなかった。また柱間の相対変位最大値は約10mmであり、ひび割れ調査を行ったが、発生・伸展はないことを確認した。こうして、すべての計測を終了した。

下野 一行  
KAZUYUKI SHIMONO



ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社  
土木設計本部 構造物設計部 次長  
平成19年6月 西日本旅客鉄道株式会社 大阪  
工事事務所 大阪駅改良工事所  
担当所長  
平成23年6月 西日本旅客鉄道株式会社 大阪  
工事事務所 大阪駅事務所 担当所長  
平成24年6月 西日本旅客鉄道株式会社から  
出向し現職

## 4. おわりに

工事では、軟弱な地盤条件のもと、既設高架橋に講じたこれらの対策が、「駅」という公共的な役割を損なうことなく、多くのお客様や発着する列車の安全確保に寄与した。工事はその後、ノースゲートビルの本格的な建設から始まり、連絡橋工事、ドーム屋根工事と確実に進んだ（写真-1）。

2011年5月4日のグランドオープンを迎え、約50万人のお客様がOSAKA STATION CITYに訪れ、新しい「まち」を体感し、「感動」を発見したものと確信している。こうして大阪の玄関口にふさわしいターミナルとして誕生しただけでなく、駅周辺地域のまちづくりに寄与するという役割を果たした。

最後に、これら大規模掘削にともなう技術的な課題の解決は、工事関係者の苦労や学識経験者のご指導もあり達成できたものである。多くの関係者に感謝する次第である。

### 新北ビル地下工事

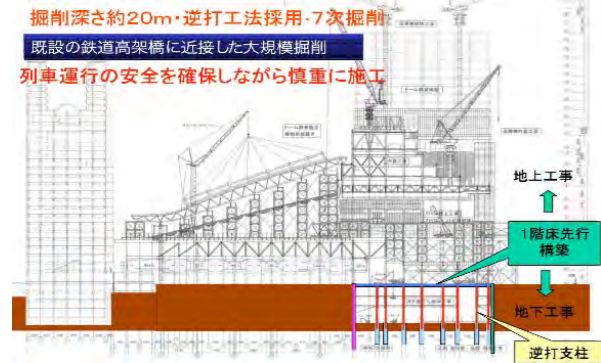


図-1 断面図

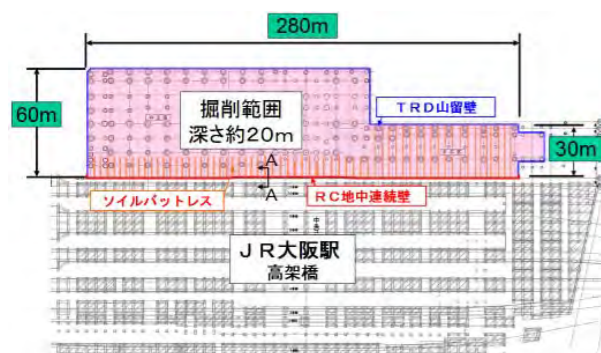


図-2 平面図

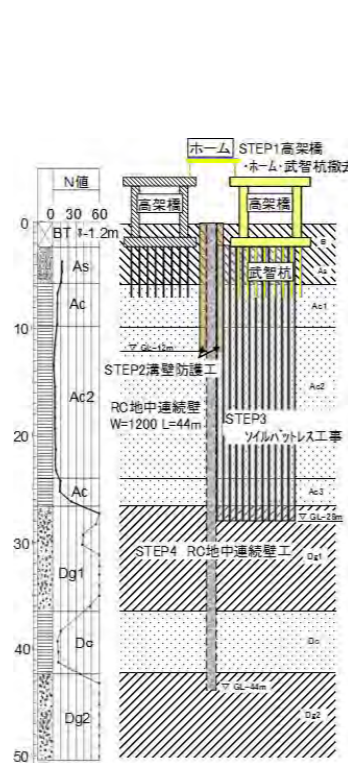


図-3 土留め壁施工手順

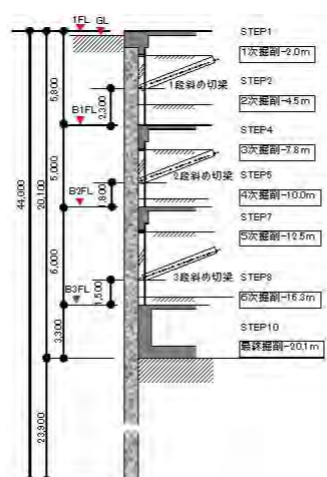


図-4 掘削の施工手順(A-A断面)

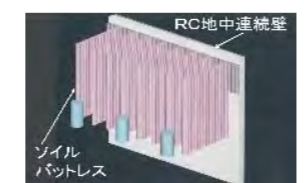


図-5 ソイルパットレス工法イメージ図

有効幅W	0.48m	0.8m	1.6m
撈拌径	φ550	φ900	φ900
列数	1列	1列	2列
間隔	4.5m	4.5m	4.5m
長さB	7.2～20.4m	7.2～20.4m	7.2～20.4m
模式図			

図-6 ソイルパットレス検討パターン

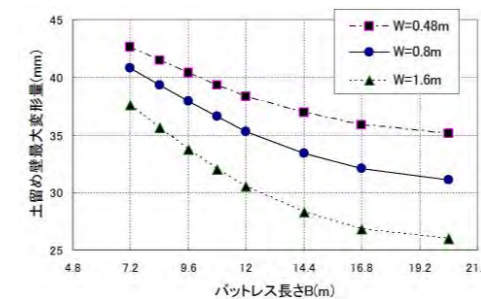


図-7 土留め壁最大変形量とパットレス長さの関係

表-1 検討パターンの比較 ※工程、経済性：「φ900×1列」を100として比較

パットレス	有効幅	長さ	改良面積	工程	経済性
φ900×2列	1.6m	8.4m	13.4㎡	140	140
φ900×1列	0.8m	12.0m	9.6㎡	100	100
φ550×1列	0.48m	16.8m	8.1㎡	140	110

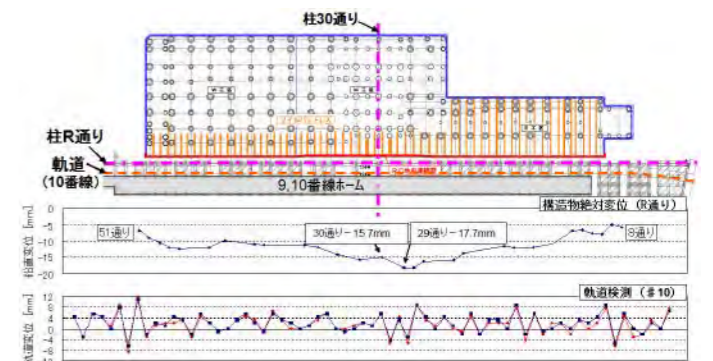


図-8 高架橋・軌道計測結果(3次掘削完了時)

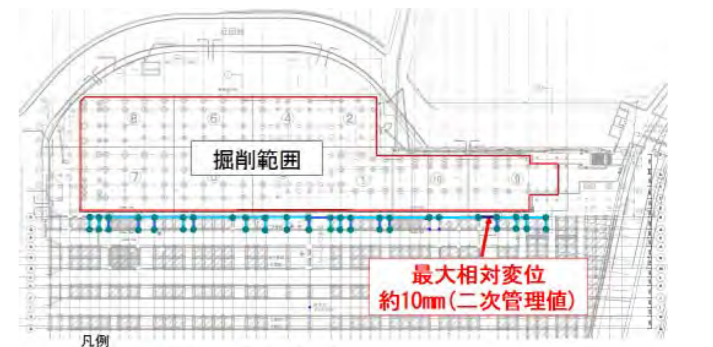


図-9 高架橋相対変位計測結果(平成22年12月24日)



