

土砂災害警戒情報及び大規模土砂災害時の緊急調査を支える技術開発

水野正樹・山越隆雄・中谷洋明

1. はじめに

国土交通省国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）発足後の20年間も多くの激甚な土砂災害が発生した。降雨では、主なもので2004年新潟・福島豪雨、及び台風第23号、2011年台風第12号、2014年広島豪雨、2016年台風第10号等によるもの、また、地震では、主なもので新潟県中越地震(2004年)、岩手・宮城内陸地震(2008年)等によるものである。これらによる土砂災害を受けて、これまでに土砂災害防止法が複数回改正され、土砂災害に対する防災体制の強化が図られた。

国総研の土砂災害分野の研究における顕在化した諸問題への対応としては、気候変動等に伴い土砂災害分野で新たに生じた課題に対処するため、土石流対策、流木対策、土砂・洪水氾濫対策等の研究を進め、マニュアル等を整備し、現場実装したことである。特にこの20年間で大きく進展させたのは、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（以下「土砂災害防止法」という。）の改正に大きく関係する、「土砂災害警戒情報」と「河道閉塞等の大規模土砂災害時の緊急調査」である。これら2つのテーマの研究の進展経過について詳述する。

2. 土砂災害警戒情報

土砂災害警戒情報（図-1）は、降雨により土砂災害の危険が高まったときに、市町村長が避難指示等を発令する際の判断や住民の自主避難の判断を支援するため、対象となる市町村を特定して警戒を呼びかける情報で、都道府県と地方气象台が共同で発表している。土砂災害警戒情報は、2005年9月から順次発表を開始して、2008年3月に全ての都道府県への展開が完了した。国総研土砂災害研究部は、2003年からこのための研究に本格的に着手し、現在も土砂災害警戒情報の精度

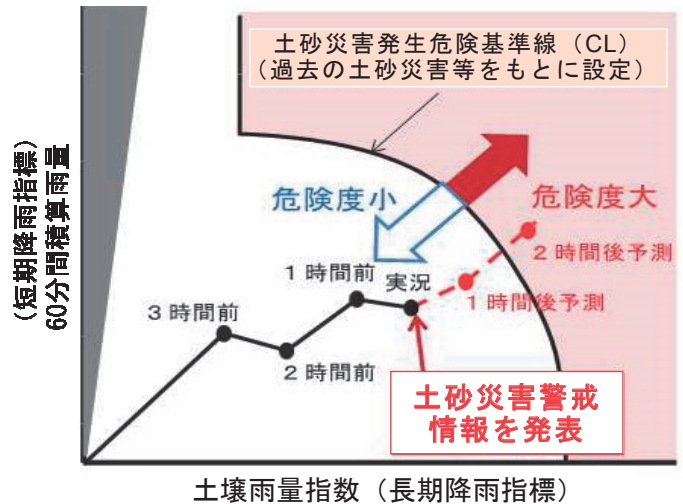


図-1 土砂災害発生危険基準線（CL）による土砂災害警戒避難基準雨量と土砂災害警戒情報
出典：国土交通省ホームページ

向上のための研究や手法に関するマニュアルの作成を継続的に行っている。

2.1 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法

土砂災害による人的被害の軽減に対しては、従来から土砂災害発生危険基準線（以下「CL」という。^{*1)}による土砂災害警戒避難基準雨量を用いた早期避難への取り組みが国土交通省及び都道府県において行われてきた。

土砂災害警戒情報のあり方について、国土交通省砂防部と気象庁予報部は、連携して2002年度に「土砂災害警戒情報に関する検討委員会」¹⁾を設置し、消防庁も参加して検討が始まった。

この「検討委員会」¹⁾のもと、土砂災害警戒情報の運用方法の確立のため、参加3省庁が連携し、2002年度からモデル県において土砂災害警戒情報の作成・伝達の試行運用を開始した。当該試行運用では、土砂災害警戒避難基準雨量の超過状況と気象庁の土壌雨量指数の履歴順位を並行して検討し、両基準が共に高い危険度を示す場合（AND条件）、もしくは両基準のいずれか一方が高い危険度を示す場合（OR条件）に作成・伝達することとしていた。しかしながら、2つの基準を並行して運用する煩雑さなどから、土砂災害警

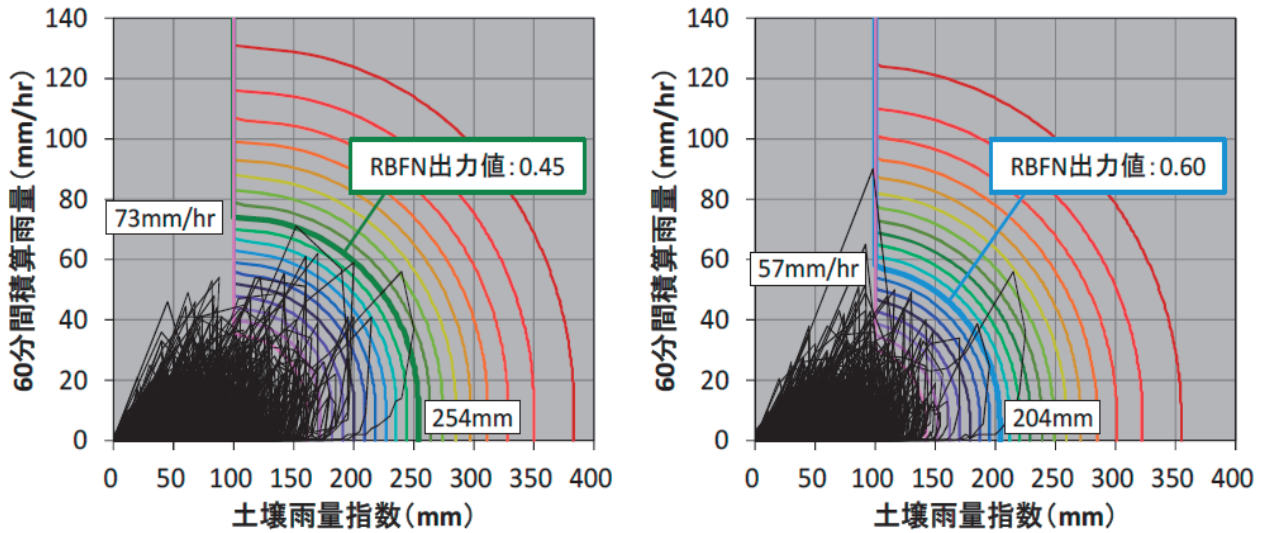


図-2 実績降雨のスネークラインとRBFN出力値の関係の例

戒情報の本運用に向けては、統一基準の策定が必要となった。

そこで国総研土砂災害研究部は、土砂災害警戒情報を都道府県砂防部局及び気象庁予報部が連携して共同で運用するために、統一基準の策定に不可欠な降雨指標を作成する検討を行った。

まず、土砂災害警戒避難基準雨量について、1982年長崎豪雨災害後に建設省砂防部が作成した「A/B案」、1993年鹿児島県8.6豪雨災害後に作成した「提言案」、気象庁予報部による土壌雨量指数を用いた履歴順位方式、等に関して文献レビューに基づいて比較検証を行った。国土交通省(建設省)方式と気象庁方式との併用(AND/OR)方式を具体的な計算機処理に適合するように判断フローとして整理し、モデル県における試行に基づいて具体的な手順案として整理した。国土交通省砂防部と気象庁の両部局の「連携案」として、縦軸の短期の降雨指標、横軸の長期の降雨指標、それぞれの候補を比較検討し、短期降雨指標として60分間雨量、長期降雨指標として土壌雨量指数が優れていることを確認した。

次に、二次元値を統合的に処理出来るよう、機械学習手法を援用してRadial Base Function Network(：動径基底関数ネットワーク、以下「RBFN」という。)手法を実証的に検討し、モデル地域での適合度を確認した。RBFN出力値とは、過去の雨量データベースから、横軸(土壌雨量指数)と縦軸(60分間積算雨量)について、ニューラルネットワークを用いて数値的に「起こりやすさ」として整理し、最大値1.0で規格化したもの

である。曲線が外側に行くほど「稀」な事象となる。例えば、RBFN等値線で0.1であれば、使用した過去データに基づけば3～4年に1度超過するおそれがある。このRBFN出力値を用いて土砂災害非発生降雨の降雨量に基づく複数のCLを設定し(図-2)、各CLの土砂災害発生・非発生降雨に対する適中^{※2}率、空振り^{※3}率、見逃し^{※4}率を比較・検討した。比較は、「長期降雨指標のみ」、「短期降雨指標と長期降雨指標の組み合わせ」に



図-3 CLの設定フロー

ついて行い、その結果、「短期降雨指標と長期降雨指標の組み合わせ」が有効であることを示した。また、短期降雨指標、長期降雨指標に対しては、それぞれ10分間雨量、土壌雨量指数の組み合わせの精度が最も高くなることを示した。このほか、気象庁の予測雨量を用いた実運用に向けての適用性の検討を行い、これらの結果を踏まえて、CLの設定手法（図-3 参照）を取りまとめ、2005年に「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（案）」²⁾を作成した。

同時に、設定されたCLを用いて発表される土砂災害警戒情報（図-1）に関して、国土交通省砂防部と気象庁が、「都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き」³⁾を通知した。

- ※1 「CL」とは、Critical Line、土砂災害発生危険基準線。警戒避難のための二軸雨量法での発表有無の境界線。過去事象の発生・非発生に対応して統計的に定める。
- ※2 「適中」とは、発表した際に事象を伴った警報等のこと。
- ※3 「空振り」とは、発表した際に事象を伴ったと確認出来なかった警報等のこと。
- ※4 「見逃し」とは、事象発生の際に警報等発表を伴わなかった場合のこと。

2.2 土砂災害警戒避難基準雨量への地域特性の反映

土砂災害警戒避難基準雨量は、気象庁が提供する「60分間積算雨量」と直列3段タンクモデルを利用した「土壌雨量指数」の2指標を用いて設定することとしている。このうち、土壌雨量指数に用いられているタンクのパラメータは、花崗岩の山地流域を対象とした値を全国で適用している。基準の精度向上を図るためには、対象地域ごとに地域特性を反映したパラメータを設定することが適切である。そこで、既知の水文観測データを基に簡易かつ精度良く同定する手法を開発した。

広島市・鹿児島市等モデル地域において上記2指標を用いた基準雨量を設定し、各指標の傾向を把握すると共に、地質別8箇所の水文観測データを用いて上記2指標のタンクモデルのパラメータセットを検証した。また、研究結果を踏まえて関係都道府県へ技術的助言を行った。

3. 河道閉塞等の土砂災害時の緊急調査

2004年、2008年、2011年と地震や豪雨により深層崩壊・河道閉塞（天然ダム）による土砂災害が相次いで発生し、そのような大規模土砂災害への対応と危機管理の必要性が強く再認識された。

国総研土砂災害研究部は、それらの災害に砂防研究者を派遣して現地の対応を支援するとともに、対応を通じて得られた知見に基づく技術開発と対応マニュアルの作成、また、集中的な調査研究および河道閉塞（天然ダム）災害等に対応できる人材の育成を継続的に行ってきた。

3.1 大規模河道閉塞対応技術指針類の整備

2007年3月「大規模土砂災害危機管理検討委員会」⁴⁾は、大規模土砂災害への危機管理体制整備の必要性について提言した。併せて、砂防研究者派遣等の国の支援のあり方、新たな資機材開発の必要性等について指摘があった。後の2008年岩手・宮城内陸地震の際（図-4）には、国立研究開発法人土木研究所（以下「土研」という。）土砂管理研究グループによって新たに開発された資機材が活用された一方で、大規模土砂災害への対応技術に関する課題が改めて浮き彫りとなった。

これら明らかになった課題を踏まえて、迅速かつ効果的な河道閉塞（天然ダム）対応を行うことを目的に、近年の地震を起因とした土砂災害への対応を通じて蓄積された知見等に基づいて河道閉塞（天然ダム）対応技術の基本的な考え方を整理



図-4 2008年岩手・宮城内陸地震で発生した湯ノ倉の河道閉塞（天然ダム）

して既存の対応マニュアルを更新し、東北地方整備局や土研土砂管理研究グループと共に、河道閉塞（天然ダム）対応の技術指針として、「天然ダム形成時対応の基本的考え方(案)」、「天然ダム監視技術マニュアル(案)」⁵⁾、「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」等を取りまとめた。

3.2 土砂災害防止法に基づく緊急調査のための技術開発と人材育成（2009～）

2010年改正前の土砂災害防止法は、河道閉塞



図-5 2011年台風第12号による豪雨で発生した河道閉塞（天然ダム）（熊野川流域五條市 赤谷 2011.9.6土研土砂管理研究グループ撮影）

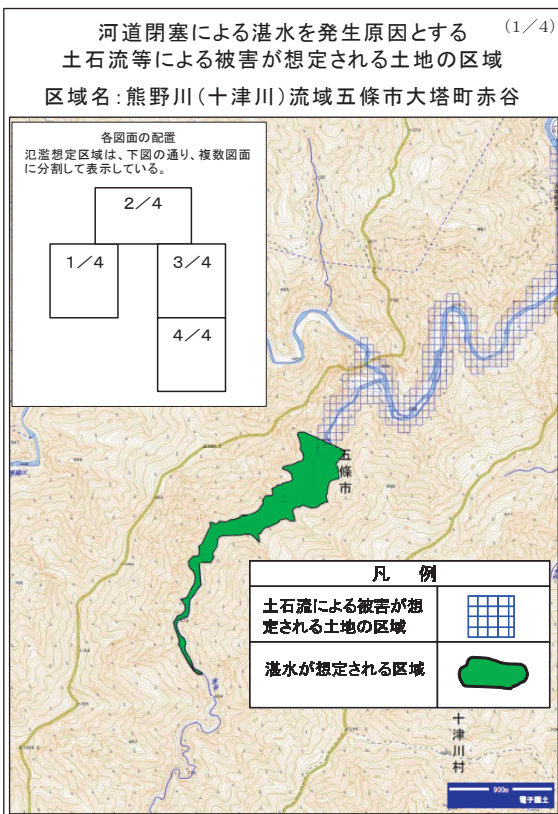


図-6 緊急調査の結果の例（河道閉塞による湛水を発生原因とする土石流等による被害が想定される土地の区域）（近畿地方整備局 2011年9月熊野川流域五條市 赤谷）

のような進行性の現象に対応する高度な技術を要する特殊な土砂災害を念頭においた内容ではなかった。また、市町村長が避難指示の発令等を行うに当たって、国等が市町村長を支援するための規定がないこと等が指摘されたこと等から、国土交通省は土砂災害防止法を改正し、河道閉塞等の特殊な土砂災害時において、市町村長を支援するための国による緊急調査や土砂災害緊急情報の提供等を法的に位置付けた。これを受けて、国土交通省砂防部、国総研土砂災害研究部、土研土砂管理研究グループは、土砂災害緊急調査の手引き、及び河道閉塞（天然ダム）等を原因とする土石流による被害範囲を推定するための数値計算プログラムを作成した。

改正土砂災害防止法の施行（2011年5月）直後の同年9月に台風第12号により紀伊半島で深層崩壊による河道閉塞（図-5）が発生したために、大規模な5箇所の河道閉塞を対象として土砂災害防止法に基づく国の緊急調査が初めて実施され、近



図-7 土砂災害研究部及びTEC-FORCEによる河道閉塞（天然ダム）箇所の詳細調査



図-8 「高度な土砂災害対策に従事する地方整備局職員の育成支援プログラム」の実施状況（ヘリの機内からレーザ距離計で河道閉塞〔天然ダム〕の高さを計測する様子）

畿地方整備局長から地元県知事と首長へ土砂災害緊急情報が通知された（図-6）。この際に、国総研土砂災害研究部等で作成した手引きやプログラムが実際に活用された。この災害においても、国総研土砂災害研究部と土研土砂管理研究グループは砂防研究者を数多く派遣し（図-7）、近畿地方整備局の対応を技術的に支援した。

一方で、大規模な河道閉塞（天然ダム）が複数発生する等、災害の規模が大きき場合には、被災地を管轄する地方整備局だけでは緊急調査に精通した職員が不足している状況も明らかになった。そこで、緊急調査の内容、実施手法等に精通した地方整備局職員を増やすため、その育成を支援することを目的に、土研土砂管理研究グループの協力を得て、「高度な土砂災害対策に従事する地方整備局職員の育成支援プログラム」（図-8）を2013年度から開始し、筑波山での実地研修も含めた研修を行っている。2018年からは砂防担当者に加えて道路担当者も参加して研修を行っている。

3.3 深層崩壊対策（平常時と緊急時）に関する研究

河道閉塞（天然ダム）は、多くの場合、地震あるいは豪雨時に深層崩壊と呼ばれる大規模な斜面崩壊が発生することによって生じる。深層崩壊は、発生頻度は通常の土砂災害に比べて小さいものの、規模が非常に大きく、被害は甚大になる。そこで、国総研土砂災害研究部は、深層崩壊対策技術に関する研究を進め、2014年に「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」⁶⁾として、技術的な基本事項についてとりまとめるとともに、深層崩壊による被害予測に関してもさらに研究を進め「深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定に関する手法」⁷⁾をとりまとめた。

現在、これらの技術資料に基づいて、全国の直

轄砂防事業区域で設定したモデル地区において、地方整備局等が災害シナリオの検討等を進めている。

3.4 大規模土砂災害対策技術センターの設置及び研究の実施（2014～）

2011年台風第12号では、紀伊半島の72箇所で大規模崩壊が発生した。この地域では過去にも同様の災害が発生している。また、深層崩壊に伴う土砂動態は未解明であり、綿密かつ継続的に、地形変化計測、河川流量、地下水、湧水等の水文観測、降雨毎の土砂移動現象の把握を実施する必要がある。このため、近畿地方整備局は、大規模土砂災害対策技術センター（図-9）を2014年和歌山県那智勝浦町に設置した。国総研土砂災害研究部は、2017年から研究者（主任研究官）を一名常駐させ、深層崩壊の発生メカニズム等の研究を行っている。

3.5 衛星SAR観測を利用した調査に関する研究

日本の陸域観測技術衛星「だいち（ALOS）」が2006年に打ち上げられたことから、「だいち（ALOS）」等の観測データを砂防流域モニタリングに活用する研究を行った。また、特に夜間や悪天候時にも観測可能で位相情報が含まれる合成開口レーダ（以下「SAR」という。）によるデータが、大規模な斜面崩壊が発生した場所を把握する情報として有効であったことから、豪雨時や地震発生時に迅速な初動対応を可能にするため、「だいち2号（ALOS-2、2014年打ち上げ）」等の衛星SARの強度画像や干渉画像を用いて、土砂災害の発生地域等を特定する方法について研究開発を行った。これらの研究成果を基に国総研資料⁸⁾、⁹⁾、¹⁰⁾、¹¹⁾を取りまとめた。

並行して、JAXA（国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構）との共同研究及び、JAXAとの「土砂WG会合」への参加により、衛星SAR画像等の利用に関する研究の進捗を図った。

4. 今後の展望（まとめ）

土砂災害研究部は、土砂災害の発生状況や今後の国土交通省の施策の動向等を踏まえ、豪雨、地震等に起因した土砂災害による被害を防止・軽減する研究を担務しており、引き続き、土砂災害の発生メカニズムの解明、効果的な砂防施設整備のあり方、また警戒避難や監視体制等ソフト対策に



図-9 大規模土砂災害対策技術センター（写真は和歌山県土砂災害啓発センター。同センター内に設置）

関する研究等を推進する。

特に、以下については、今後重点的に取り組んでいきたい。

(1)気候変動に伴う土砂災害への対応

2020年6月の気候変動を踏まえた砂防技術検討会 中間取りまとめ（座長：藤田正治京都大学防災研究所教授）での指摘を踏まえ、降雨特性の変化が土砂災害に及ぼす影響の評価手法の構築、顕在化する土砂・洪水氾濫や深層崩壊等大規模土砂災害の危険性評価手法の構築を進めていく。

(2)土砂・洪水氾濫対策の推進

2019年3月の河川砂防技術基準（計画編）の改定に伴い、土砂・洪水氾濫対策計画における土砂処理計画は、河床変動計算、氾濫解析等に基づき策定するように、砂防計画の立て方が大きく変化した。この改定を契機として、現在、土砂・洪水氾濫対策計画のうち、中期（土砂流出活発期）土砂流出対策検討については、昨年度発刊された国総研資料に基づき、全国の直轄事務所で見直しが進められている。国総研土砂災害研究部は、この新しい技術基準による計画立案の考え方に適した生産土砂量の想定手法や、施設配置計画の立て方等について、必要な技術開発を進めていきたい。また、土砂・洪水氾濫の主な発生要因の類型化を進めるとともに、氾濫開始地点の地形・氾濫形態と土砂・洪水氾濫にともなう土砂・泥水等の流出によって生じた家屋被害の被害形態等の実態把握を進め、数値計算に基づく被害想定手法の研究開発を進めていく。

参考文献

- 1) 土砂災害警戒情報に関する検討委員会、国土交通省砂防部、気象庁予報部：平成14年度土砂災害警戒情報のあり方と今後の施策に関する報告書、2003.6.4
https://www.mlit.go.jp/river/press_blog/past_press/press/200301_06/030604/index.html
- 2) 国土交通省河川局砂防部、気象庁予報部、国土技術政策総合研究所：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)、2005.6
- 3) 国土交通省砂防部砂防計画課、気象庁予報部業務課：都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き(改訂版)、2019.6
https://www.mlit.go.jp/river/sabo/seisaku/tebiki_r106.pdf
- 4) 大規模土砂災害危機管理検討委員会、国土交通省：大規模土砂災害に対する危機管理のあり方について（提言）、2007.3
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/link_daikibo.html
- 5) 土木研究所火山・土石流チーム：天然ダム監視技術マニュアル（案）、土木研究所資料第4121号、2008.12
- 6) 蒲原潤一、内田太郎：深層崩壊対策技術に関する基本的事項、国総研資料、No.807、2014
- 7) 内田太郎、桜井亘、鈴木清敬、萬徳昌明：深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定手法、国総研資料、No.983、2017
- 8) 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤匠、蒲原潤一、林真一郎：単偏波の高分解能SAR画像による河道閉塞箇所判読調査手法（案）、国総研資料、No.760、2013
- 9) 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤匠、蒲原潤一：2偏波SAR画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法(案)、国総研資料、No.791、2014
- 10) 鈴木大和、松田昌之、瀧口茂隆、野村康裕、山下久美子、中谷洋明：合成開口レーダ（SAR）画像による土砂災害判読の手引き、国総研資料、No.1110、2020
- 11) 鈴木大和、松田昌之、中谷洋明：災害時における合成開口レーダ（SAR）の散乱変化事例解説集、国総研資料、No.1159、2021

水野正樹



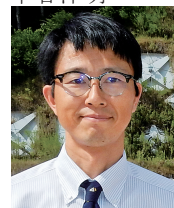
国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部 深層崩壊対策研究官、博士（学術）
Dr.MIZUNO Masaki

山越隆雄



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部 砂防研究室長、博士（農学）
Dr.YAMAKOSHI Takao

中谷洋明



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部 土砂災害研究室長、博士（農学）
Dr.NAKAYA Hiroaki