

3. 3 復旧・復興対策への技術支援

3.3.1 砂防分野

3.3.1.1 土砂災害の概要

2011年3月11日に発生した平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震により、東北・関東地方では広い範囲で地すべり・斜面崩壊が確認された。3月12日から3月29日の間に実施したヘリコプターからの調査では、福島県・栃木県・茨城県にかけて複数の地すべり・斜面崩壊箇所が確認された。

土砂災害としては、東北地方太平洋沖地震に続いて3月12日に発生した長野県北部地震、3月15日に発生した静岡県東部地震等によるものも含めて土石流等13件、地すべり29件、がけ崩れ97件、雪崩2件の計141件が報告され、死者19名の人的被害が確認されている（2012年8月6日現在、国土交通省発表）。特に福島県白河市や栃木県烏山市などでは、東北地方太平洋沖地震により大規模な地すべりが発生し、大きな被害をもたらした。さらに、4月11日の福島県浜通りを震源とする地震でも、いわき市を中心に斜面崩壊等が発生した。なお、今回の一連の地震による大規模な天然ダムは形成されなかったことが確認され、また岩手・宮城内陸地震（2008年）や新潟中越地震（2004年）で天然ダムが形成された箇所についても、大きな変状は見られなかった。

国総研では、東北地方太平洋沖地震による土砂災害発生状況を広域的に把握するため、3月12日から3月29日に東北地方全域のヘリ調査を実施するとともに、東北および関東地方の衛星画像判読を行った。衛星画像判読の対象範囲は、3月11日の地震により震度5強以上を記録したエリアを含む地域（対象面積 約40,000km²）である。判読画像は、陸域観測技術衛星「だいち(ALOS)」搭載のPRISMおよびAVNIR-2により震災後に撮影(3月12日および4月10日撮影分)された光学画像、また、震災後の高分解能光学衛星画像がGoogle Earthに掲載された範囲はGoogle Earthの衛星画像(3月12日から4月6日にかけて撮影)を用いて判読した。

その結果、3月11日地震による土砂移動の可能性のある箇所として約450箇所が抽出された(3.3.1.3(2)の3)参照)。判読された崩壊地の位置を、気象庁が公表している推計震度分布図に重ねて示す(図-3.3.1.1)。小規模な崩壊は判読が困難であること、積雪や雲により状況確認が困難なエリアがあること、顕在化しない土砂移動は判読できないこと等に留意す

る必要はあるものの、広範囲で震度5強以上の強い揺れを観測したにも関わらず、斜面崩壊の発生密度はそれほど高くなかったことがうかがえる。2008年に発生した岩手・宮城内陸地震で両県県境付近を中心に約3千箇所もの斜面崩壊が発生したのとは対照的であった。また、土砂災害の発生密度が必ずしも震度とは対応していないことも今回の地震による土砂災害の特徴といえる。

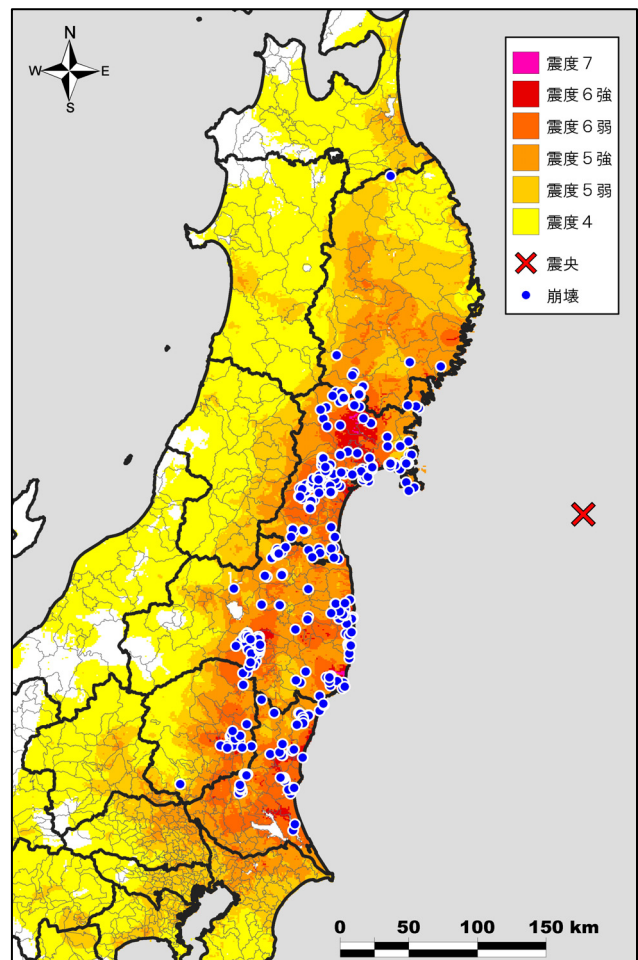


図-3.3.1.1 東北地方太平洋沖地震の推計震度分布(気象庁)と衛星判読の崩壊地分布

近年に発生した主要な地震と土砂災害の関係を表-3.3.1.1に示す。海溝型の例が一つしかないが、海溝型より内陸型の方が、崩壊密度が高い傾向にある。これには、震源までの距離、地震動の周波数、偏向性、継続時間などが影響している可能性がある。他方、内陸型地震の間における違いの原因は明確ではない。中越地震で崩壊密度が特に高いのは先行降雨の影響も考えられる。さらに、地震動特性、素因としての地質、斜面の方向、地形特性等が複雑に関係しているものと思われる。今後、地震時の崩壊に寄与する要因の整理、分析を行っていく予定である。

表-3.3.1.1 近年発生した主要地震と土砂災害の関係

主要地震	発生年月日	地震の種類	マグニチュード	最大加速度				観測所	最大震度
				南北(gal)	東西(gal)	上下(gal)	三成分合成値(gal)		
兵庫県南部(阪神淡路大震災)	1995年1月17日5時46分	内陸型	7.3	818.0	617.0	332.0	—	神戸海洋気象台	7
新潟県中越	2004年10月23日17時56分	内陸型	6.8	1716.0	850.0	564.0	1750.0	NIG021十日町	7
岩手・宮城内陸	2008年6月14日8時43分	内陸型	7.2	1143.0	1433.0	3866.0	4022.0	IWTH25一関西	6強
東北地方太平洋沖(東日本大震災)	2011年3月11日14時46分	海溝型	9.0	2700.0	1268.0	1880.0	2933.0	MYG004築館	7

※中越地震以降はK-net

主要地震	判読による崩壊			先行降雨		災害発生状況			震源深さ(km)	崩壊地エリアまでの水平距離(km)	
	崩壊地数	崩壊地調査対象面積(km ²)	崩壊地密度(箇所数/km ²)	崩壊前1週間の積算雨量	崩壊前1ヶ月の積算雨量	アメダス観測所	土砂災害件数※1	土砂災害による死者・行方不明者数			死者・行方不明者数(全体)
兵庫県南部(阪神淡路大震災)	770	120	6.4	0mm	37mm	神戸	28	40	6,437	16	30
新潟県中越	878	20	43.9	132mm	375mm	小出	225	4	67	10	5~10
岩手・宮城内陸	3,014	590	5.1	3mm	293mm	駒の湯	48	18	23	10	11
東北地方太平洋沖(東日本大震災)	172	590	0.29	12mm	77mm	駒の湯	114	19	18,131※2	24	約150

※1:崩壊・地すべり・土石流

※2:H24.9.28消防庁資料

3.3.1.2 土砂災害の現地調査、現地対応

国総研では、県や地方整備局から要請を受ける等により、災害直後から次のような現地調査を実施した。

- ① 茨城県水戸市宮町急傾斜地崩壊防止施設被災状況現地調査(危機管理技術研究センター)
- ② 宮城県沿岸地域現地調査(砂防研究室)
- ③ 福島県浜通りを震源とする地震により福島県いわき市田人町で発生した土砂災害現地調査(砂防研究室、(独)土木研究所 火山・土石流チーム)

それぞれの現地調査結果は、調査要請元に報告するとともに、公表した。以下にそれぞれの現地調査結果を記す。

(1) 茨城県水戸市宮町急傾斜地崩壊防止施設被災状況現地調査

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、茨城県水戸市にある宮町急傾斜地崩壊危険箇所では斜面および対策施設に変状が見られた。国総研は、茨城県の要請を受け、3月14日に現地調査を行った。

1) 全般状況

宮町急傾斜地崩壊危険箇所は水戸市中心市街地にある。斜面上部には水戸協同病院があり、斜面下部には人家が多く建て込んでいる。斜面高さは約15mで、昭和46年から施設整備が進んでいる。

3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、斜面および対策施設に変状が生じた。そのため、水戸市は斜面下部にある住民(30世帯58名)に対し、3月13日17:50に避難指示を発令した。

2) 被災状況

斜面上部にあたる病院敷地内に、対策区域のほぼ全域にわたりクラックの発生等が見られた。クラックの開口幅は最大で10cm、沈降高は30cm程度であった。一部では建築物壁面境(建設中)までクラックが達している(写真-3.3.1.1、写真-3.3.1.2、写真-3.3.1.3、写真-3.3.1.4、写真-3.3.1.5)。

重力式擁壁工および3段の張ブロック工で構成される施設(写真-3.3.1.6)のうち、最上部の法面が前面に向かってすべり、その影響を受けて下部の張ブロックも変形していた。最下段の擁壁には変状は見られなかった(写真-3.3.1.7)。



写真-3.3.1.1 建物沿いに入ったクラック



写真-3.3.1.2 クラックが入っている



写真-3.3.1.5 斜面下部に落下したのり
枠工の破片



写真-3.3.1.3 駐車場にもクラック
が入っている



写真-3.3.1.6 擁壁工、のり枠工、張ブロック
(擁壁に特に異常は見られず)



写真-3.3.1.4 斜面上端から斜面下方をのぞむ
(のり枠工の破片が散乱している)



写真-3.3.1.7 擁壁工、のり枠工 (擁壁に特に異常
は見られず)

(2) 宮城県沿岸地域現地調査

国総研では、2011年4月8日に、東北地方太平洋沖地震による津波の被害を大きく受けた宮城県沿岸地域の現地調査を行った。その結果は以下のとおりである。

1) 急傾斜地崩壊防止施設の地震時の崩壊に対する効果

女川町川尻地区（写真-3.3.1.8）、および石巻市吉野町地区（治山事業）（写真-3.3.1.9）の法枠工の側部では今回の一連の地震によると見られる崩落・落石が確認されたが、法枠工の構造的な破損は見られなかったことから、法枠工は地震時の斜面崩壊防止に寄与したと言える。



写真-3.3.1.8 法枠工右側の崩落（女川町）



写真-3.3.1.9 法枠工右側の崩落（石巻市）

2) 急傾斜地崩壊防止施設への津波の影響

石巻市吉野町地区（治山事業）の擁壁工は、津波の浸水範囲であったが、脚部侵食のような現象は起こっていなかった。ただし、施工目地を挟んで、地震の影響と見られる3cm程度の縦ズレが発生している箇所があった（写真-3.3.1.10、写真-3.3.1.11）。



写真-3.3.1.10 擁壁工縦ズレ箇所



写真-3.3.1.11 擁壁工縦ズレ箇所（拡大）

一方で、女川町川尻地区の法枠工は、脚部の土壌があったと思われる部分が津波により完全に流失しており、法枠工が浮き上がった状態となっている（写真-3.3.1.12）。また、施工目地部分が3～4cm程度の横ズレによるクラックが発生している箇所があった（写真-3.3.1.13）。



写真-3.3.1.12 法枠工脚部流出状況（川尻地区）



写真-3.3.1.13 法枠工目地部クラック
(川尻地区)

女川町堀切山南側斜面下部の待ち受け擁壁工のうち、斜面からやや出っ張った範囲のストーンガードは津波により上流方向の斜面側に座屈していた(写真-3.3.1.14)。また、このコンクリート擁壁の表面には擦過痕が多数認められることから、津波による浸水初期段階では、かなり大きな流速と瓦礫等による圧力が発生していたことが推測される(写真-3.3.1.15)。



写真-3.3.1.14 ストーンガード座屈状況



写真-3.3.1.15 擁壁工擦過痕

津波が到達した法枠内部は、表面の吹き付け基材が剥離・流失している部分(写真-3.3.1.16)は多く見られたが、ラスの損傷は殆ど見られず(写真-3.3.1.17)、機能低下はあまり起こっていないと考えられた(海水に浸かったことによるラスの錆びの進行は懸念された)。



写真-3.3.1.16 吹き付け基材剥離状況



写真-3.3.1.17 法枠内ラス拡大

女川町のように狭くなって行く内湾に津波が駆け上がるような地形の地域においては、脚部侵食が発生している可能性があるため、脚部侵食の程度と施設全体の安定性を確認・評価する必要があると考えられる。

3) 女川町堀切山特定利用斜面保全事業箇所の状況

特定利用斜面保全事業は、急傾斜地崩壊対策事業等とその他の公共公益事業の計画を調整することで、斜面の安定性を確保し、地域の基盤整備のスペースを生み出し、地域活性化を図る事業である。女川町堀切山では、特定利用斜面保全事業(急傾斜)の全国初の事業として、平成9年度に完成した。事業により造成された高台には、町立病院、地域福祉センター、老人保健施設が整備され、津波・高潮時の指定避難場所として避難用階段が整備された。

当箇所の切土面高さはEL. 16m(当初、検討段階では13m)とされているが、台地中央部に向かってやや高くなっている形状である(写真-3.3.1.18)。



写真-3.3.1.18 堀切山特定利用斜面概況



写真-3.3.1.19 老人福祉センター南側壁面

台地南側の老人福祉センター（写真-3.3.1.20）は最も標高が低い場所であり、山側の熊野神社に続く法面箇所付近では3m弱の浸水痕跡が見られた。標高の高い町立病院付近では、浸水深は1m程度であった。

老人福祉センターの建物南側の壁面には自動車数が浮いた状態で押し付けられていた（写真-3.3.1.19）。一方、台地東側（海側）の鋼製柵および生垣（写真-3.3.1.21）にはゴミが多数引っかかっていたが、大きな損傷は受けておらず、それより内側の病院および駐車場側には瓦礫が流入した状況は認められなかった（3月12日午前のヘリによる調査でも確認）。

したがって、台地上への浸水は、標高のやや低い南側の老人福祉センターから始まり、当初はやや勢いのある流れが流入してきたが、老人福祉センター建物が1～2m程度浸水した段階で、流入速度は殆どなくなり、じわじわ水深が上昇して行く状況であったと考えられる。

海側に設置された津波避難用の鋼製階段（写真-3.3.1.22）は2箇所とも破損せず残っていた。

これらのことから、津波の到達する恐れのある急傾斜地崩壊危険箇所では、急傾斜地崩壊対策施設の整備にあわせて避難のための階段・通路等を設置することや、急傾斜地の頭部を切土して平地を設け、造成した高台に重要施設を建設するなど、特定利用斜面保全事業が有効であることが確認された。



写真-3.3.1.20 老人福祉センター浸水痕（ポール先端部）



写真-3.3.1.21 台地東側鉄鋼柵および生垣



写真-3.3.1.22 津波避難用鋼製階段



写真-3.3.1.23 崩壊全景

(3) 福島県浜通りを震源とする地震により福島県いわき市田人町で発生した土砂災害

2011年4月11日17時16分頃、福島県浜通りを震源とするマグニチュード7.0の地震が発生した。震源の深さは5kmと推定され、福島県いわき市と茨城県鉾田市で最大震度6弱を観測した。この地震により、福島県いわき市を中心に斜面崩壊や地すべりが発生した。国総研および（独）土木研究所火山・土石流チームでは、東北地方整備局の要請を受け福島県いわき市田人町で発生した斜面崩壊の現地調査を2011年4月13日に行った。以下に結果を報告する。

1) 崩壊諸元

崩壊地の概略図を図-3.3.1.2 に、全景を写真-3.3.1.23 にそれぞれ示す。

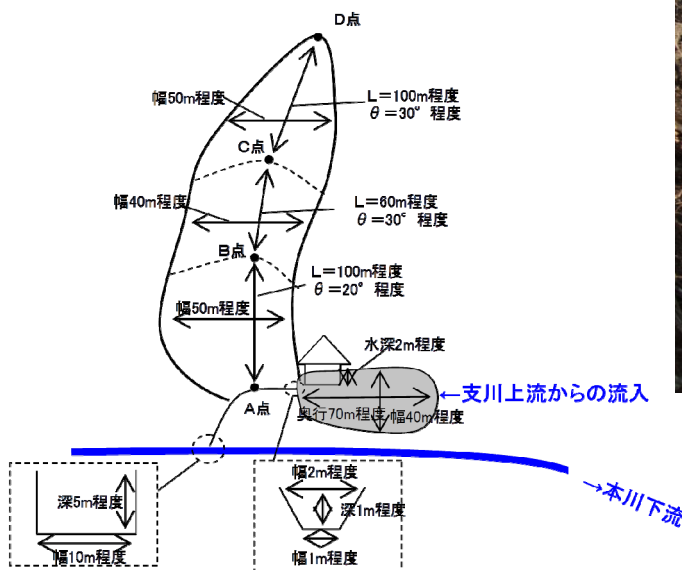


図-3.3.1.2 崩壊地概略図

2) 崩壊概況

崩壊は尾根部が、深さ4～5m程度の位置の流れ盤（ $I=30^\circ$ 程度）上で岩盤すべりを起こしたものである（写真-3.3.1.24）。崩壊頭部から比高差150m程度下の位置までの土塊が崩壊している。この150m下の位置は、尾根地形と斜面に向かって左側の谷地形が摺り付く場所（以下、摺り付き部）（写真-3.3.1.25）であり、地震動が開放される尾根部の全体が揺すられたことで崩壊・滑落が発生したものと考えられる。崩落した土塊の一部は摺り付き部のやや勾配が緩くなった（ $I=15^\circ$ 程度）テラス状地の上に停止しているが、その表面には切り株が整然と並んでいる（写真-3.3.1.26）ことから、運動形態は「すべり」であったと考えられる。



写真-3.3.1.24 崩壊源頭部
(中央部に露岩が見られる)



写真-3.3.1.25 左側の谷地形と摺り付き部



写真-3.3.1.27 人家まで到達した土砂
(崩壊中腹部のテラスから撮影)



写真-3.3.1.26 テラス状地に並ぶ切り株



写真-3.3.1.28 テラスにおける崩壊土砂

テラスから下へ流下した土砂は、攪乱されながら斜面下部の人家まで到達している（写真-3.3.1.27）。堆積土砂は、20～50cm 程度のブロック状に破碎された岩片が主体であり（写真-3.3.1.28）、粘土質のマトリクスがやや湿り気を有しているものの、通常の土石流堆積物のような含水状況ではなく、乾燥性の土砂流動と考えられる（被災人家から下流側に泥水が流れた形跡も見当たらなかった）。

堆積土砂内には切り株も散見される。根系の状況は比較的新鮮であり、一般的に言われる「伐採後10年程度で腐朽して剪断抵抗力が低下する」状況ではなかった。根系長（深さ）は30～50cm程度と浅く（写真-3.3.1.29）、この斜面の表層土厚が薄いことが分かる。頂部に近い崩壊斜面内には切り株がそのまま残っている部分もあることから（写真-3.3.1.30）、根系下部面の表層土が土壌水によって不安定になって動き出したのではなく、地震動が崩壊・滑落の主因と考えられる。

レーザー測距による計測結果から全崩壊土砂量 25,000m³程度（内訳として、崩壊残土22,000m³程度、河道閉塞を引き起こした土砂量3,000m³程度）と推測された。なお、本川への土砂流出は見られなかった。



写真-3.3.1.29 根系長の浅い切り株



写真-3.3.1.30 頂部に近い斜面内の切り株
(頂部から撮影)

3) 崩壊地周辺の土砂の状況

崩壊地周辺の斜面自体にはクラック等の不安定さを示すものは見当たらなかったが、一部、不安定な状態の土砂が存在した。崩壊斜面最上部右側には幅5m、長さ10m、厚さ1m程度の落ち残りのブロック(写真-3.3.1.31)があり、崩壊斜面両側の作業道には崩壊方向に垂直なクラックが多数見られた(写真-3.3.1.32)。

崩壊斜面両側には、自然堤防的な土砂の高まり(H=1~2m程度)がある。現在、斜面上に停止している土砂は、 $I=20^\circ$ 程度に堆積しており、比較的ポーラスな状態であることから、集散的に流動する可能性は小さいと考えられる。



写真-3.3.1.31 最上部右側落ち残りのブロック



写真-3.3.1.32 斜面左側の作業道に見られたクラック

4) 河道閉塞の状況

土砂が幅(横断方向)50m程度、長さ30m程度の範囲で流路工(深さ3m程度、幅3m程度)を含めて河道を閉塞した(写真-3.3.1.33)。土砂量は $3,000\text{m}^3$ 程度と推測される。右岸側の家屋は1m程度浸水していた。湛水量は $5,600\text{m}^3$ 程度(推定値)であった(幅(横断方向)40m程度×奥(縦断方向)70m程度×深さ2m程度)(写真-3.3.1.34)。土砂が流路工を閉塞した箇所は深さ1m程度、幅(河床)1m程度の断面で既に開削されていた(写真-3.3.1.35)。



写真-3.3.1.33 崩壊地中腹から見た河道閉塞

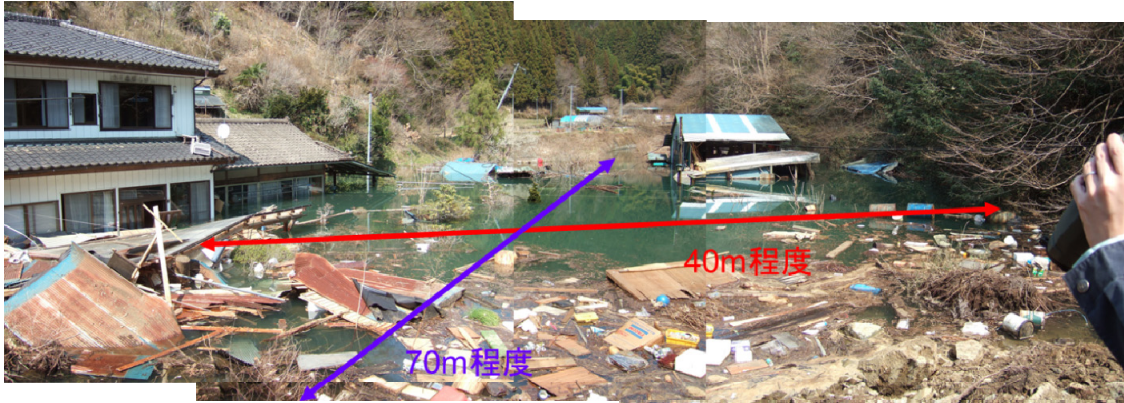


写真-3.3.1.34 湛水池の状況



写真-3.3.1.35 開削された水路の断面（写真奥側下流）

(4) 現地調査のまとめ

- ① 急傾斜地崩壊対策施設は津波により擁壁上部のストーンガードが座掘するなど変状が見られたが、地震動による大きな損傷は見られず、斜面崩壊を防止する本来の機能を発揮したことが確認された。
- ② 津波の到達する区域において、急傾斜地崩壊対策施設を整備する際は、避難路をあわせて整備することが有効である。
- ③ 崩壊箇所は尾根状斜面、平行斜面、盛土部が多いという、地震時の斜面崩壊の一般的な傾向と概ね同様であった。
- ④ 内陸直下型の余震によって、本震よりも小さな震度（加速度）でも崩壊現象が発生する事例があった。
- ⑤ 地震による斜面崩壊は尾根部で発生するものも多く、崩壊規模も大きくなる場合もあるため、通常の土砂災害危険箇所として把握されていない場所での災害にも注意する必要がある。

3.3.1.3 光学衛星画像を用いた大規模崩壊地調査

(1) 調査の概要

東北沖を震源とした東日本大震災では沿岸部において津波による甚大な被害が発生したが、宮城県栗原市で震度7に達するなど、内陸部においても強い震度が広い地域で観測された。

その結果、葉の木平地すべり等の土砂災害により被害が生じた。

そこで、国総研は、斜面崩壊、地すべり、河道閉塞等の地震による大規模な土砂災害の発生状況について確認するため、JAXAから提供を受けたALOS（だいち）のAVNIR-2 / PRISM画像やその他光学画像を用いて、広域にわたる画像目視判読を実施した。

その調査結果は、以下のとおりである。

(2) 衛星画像目視判読による土砂災害箇所の抽出¹⁾

1) 判読対象範囲及び使用データ

・判読資料

表-3.3.1.2に判読資料の一覧を示す。表-3.3.1.3にALOS光学センサの概要を示す。

・判読対象地域と画像撮影状況

震度5強以上の地域では、斜面崩壊等の土砂災害が発生する可能性が高いとされている。そこで、判読対象地域は、気象庁発表の推計震度分布で「震度6弱以上の地域を網羅し、かつ震度5強以上とされた地域が概ね含まれるエリア」を崩壊地判読対象の範囲（東西約100km、南北約450kmのエリア）とした（図-3.3.1.3）。

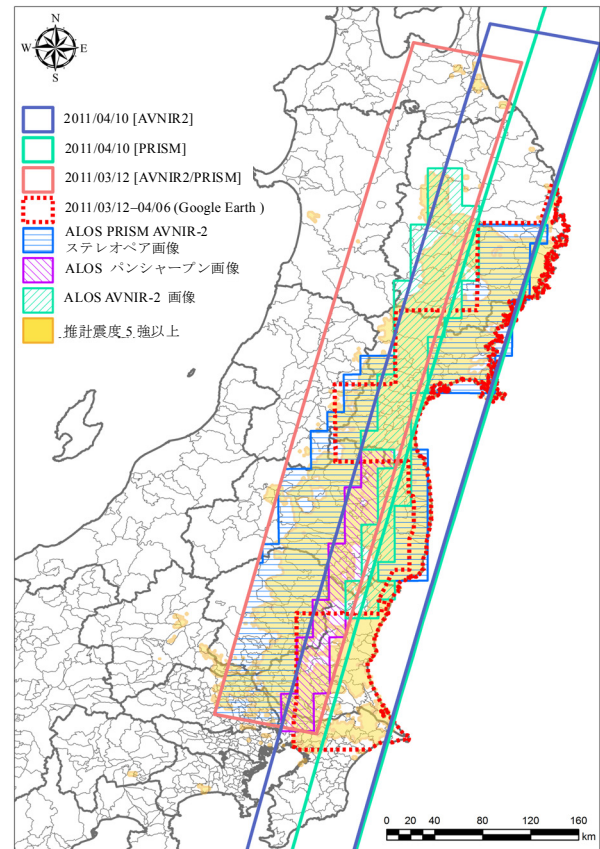


図-3.3.1.3 震度5強以上の地域と判読対象地域及び使用した衛星画像の種別

表-3.3.1.2 判読資料の一覧

画像名	ALOS AVNIR-2 画像	ALOS パンシャープン画像	ALOS ステレオセット(ペア)画像	Google Earth 画像
センサ名称	・ALOS AVNIR-2	・ALOS AVNIR-2 ・ALOS PRISM 直下視	・ALOS AVNIR-2 ・ALOS PRISM 直下視 ・ALOS PRISM 前方視(又は後方視)	・GeoEye-1、 IKONOS、 WorldView-1 等
地上分解能	10m	2.5m	2.5m	概ね 1m 以下

表-3.3.1.3 ALOS 光学センサの概要

センサ名称	AVNIR-2	PRISM 直下視	PRISM 前方視 PRISM 後方視
正式名称	高性能可視近赤外放射計2型センサ	パングロマチック立体視センサ	パングロマチック立体視センサ
地上分解能	10m	2.5m	2.5m
観測幅	70km	70km	35km
備考	カラー画像	白黒画像	白黒画像

判読画像の優先順位は、分解能が高い順である、Google Earth画像 (GeoEye-1、IKONOS、WorldView-1)、ALOSステレオペア、ALOSパンシャープン画像、ALOS AVNIR-2の順とした。

Google MapやGoogle Earthの画像は、東日本大震災発生後、東北地方の沿岸部や仙台市街地を中心に撮影されたが、内陸の山間部については撮影されなかった (図-3.3.1.3の赤点線)。

なお、光学衛星の中で、崩壊地判読対象の震度5強以上の山間部全域を網羅して撮影していたのは、ALOS AVNIR-2のみであった。

崩壊地判読対象は震度5強以上の広い地域であったが、ALOS AVNIR-2は観測幅が70kmあり、3月12日直下視と3月14日の2回のパスの光学撮影で概ね対象地域が網羅されて早期に被災の概況が把握できた。ALOS画像は、その後も画像が撮影されたので、分解能が最も良いと考えられる直下視の画像を用いて崩壊地判読を実施した。

2) 判読の状況

分解能が1mより高い高分解能衛星による画像は、拡大すると斜面崩壊に伴い発生する粒状の岩塊等が判読出来るため、崩壊地かどうかの区別が容易となる。2.5m程度より低い分解能の画像では、斜面崩壊した岩塊の粒までの判別が困難である。このように崩壊幅50m程度の小規模な崩壊地の判別を行うには、1mより高い分解能の画像が必要である。

衛星画像の中に表れる崩壊地は、日照の有無により、色調が大きく異なり、日陰の場所では崩壊地の見逃しが生じやすい。日陰が生じるような急峻な谷地形では、河道閉塞 (天然ダム) が生ずるような崩壊等を見逃さないように、色調補正を行いながら、川沿いに崩壊地判読を進める必要がある。

また、ALOS パンシャープン画像単独による判読よりも、PRISM前方視も合わせて使うALOSステレオペアによる判読の方が、崩壊地の起伏が判り判読精度が向上した。

3) 判読結果

衛星画像を用いた崩壊地判読は、災害直後と、Google Earth画像の掲載が増えた後の再度判読の計2回実施した。

災害直後の崩壊地判読では、土砂移動の可能性のある約200箇所が抽出され、地震直後のヘリ調査等によって既に把握されていた白河市葉ノ木平等の地すべり

や小規模な崩壊が認められたものの、天然ダムを形成するような大規模な崩壊は存在しないことが確認できた。

再度判読では、Google Earth高分解能画像の掲載範囲や枚数の増加により、明度や分解能が良好な画像の比較選択が可能となったことから、判読精度が向上した。このため、既存裸地 (伐採跡地等) 等を判別除外するとともに、画像改善したエリアの崩壊地が新たに抽出でき、判読結果として土砂移動の可能性のある箇所が約450箇所抽出された。再度判読によって得られた崩壊地箇所を図-3.3.1.4に示す。

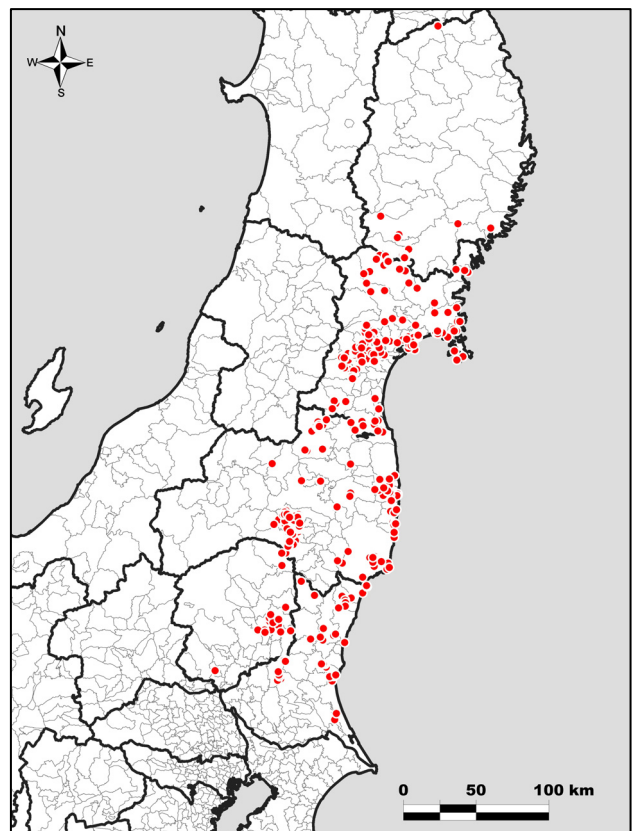


図-3.3.1.4 崩壊地判読結果

(3) 衛星調査のまとめ

東日本大震災において、土砂災害調査のため広域的な衛星画像判読を実施した。これらの分析によれば、土砂災害の空間分布を明確にする迅速な調査のための衛星リモートセンシングの適用可能性と今後の課題は次のとおり要約される。

- ① 分解能は、今回のALOSパンシャープン程度の分解能 (分解能2.5m) でも、大規模崩壊地 (幅>50m) の空間分布は判読することが出来た。しかしながら、衛星光学画像を用いて小規模崩壊地 (幅<50m) の判読を行うためには、斜面崩壊で発生した粒状の岩

塊が判別可能で、伐採跡地や採石場等と崩壊地が明確に区別出来るように、1m以上の超高分解能画像が必要である。

また、分解能の20～30倍程度より大規模な崩壊地は、より確実に判読抽出できる。それより小さな崩壊地は、判読出来ず見落としが生じやすい。

そして、ステレオペア画像による立体視は崩壊地の判別に有効であった。

② 今回の衛星崩壊地判読で抽出した約450箇所は比較的大規模な面積の崩壊地であり、災害被害が生じなかった大面積崩壊地も含まれている。このため、小規模でも被害が生じた箇所について報告される「土砂災害の発生箇所」の分布とは、箇所数や位置が異なっている。

③ 目標地域は非常に広域であったが、衛星光学画像の判読は大規模崩壊地の空間分布を速く把握できた。

判読の主な資料としたALOS AVNIR-2の地上分解能が10mであることから、抽出できた崩壊地は比較的大規模な面積の崩壊に限定され、小規模な崩壊については判読することができなかったが、今回のように巨大な地震で、調査対象となる強震度地域が非常に広域である中において、「天然ダムを形成するような大規模な崩壊の発生有無を全域で速やかに確認する」という目的は達成できた。

特に広域調査の場合は、ヘリ調査等でも飛行ルートが限られ、調査の空白地域や見落としが生じる可能性も否定できないため、画像として隙間無く全域を見渡せる光学衛星画像は非常に有用であった。

④ 崩壊密度の高いエリアが、必ずしも本震の震度の大きな地域というわけではなかった。

3.3.1.4 地震による斜面崩壊の危険度評価

国総研では、地震による山腹斜面の崩壊危険度を評価するため、平成7（1995）年兵庫県南部地震における崩壊実績をもとに、「地震による斜面崩壊危険度評価判別式」（以下、「判別式」と呼ぶ）を開発した²⁾。この式は、勾配、平均曲率、最大加速度という一般的に入手可能なデータを用いることで、地震による斜面崩壊実績がない箇所においても、崩壊危険度を簡便に評価できる実務的な手法である。ただし、同判別式は花崗岩地域である六甲山系で発生した比較的小規模な表層崩壊を対象に作成された式であるため、比較的大規模な崩壊や、複雑な地質の地域でも精度良く評価できるかや、海溝型地震においても判別式を適用できるかということが課題であった。

これまで、兵庫県南部地震以外にも神津島地震、新潟中越地震、鹿児島北部地震、宮城県北部地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震の7地震について判別式を適用しその精度を確認してきた。その結果、ほかの地震でも六甲山系と同程度の精度で崩壊危険度を評価することが出来た。

そこでここでは、判別式の海溝型地震への適用性を検証すべく、平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震により斜面崩壊が多く発生した栗駒地区を対象に判別式を適用し、その精度を定量的に評価することとした。また、同地区における岩手・宮城内陸地震への適用結果との比較分析を行った。以上により、海溝型地震である東北地方太平洋沖地震に対する判別式適用の妥当性を評価した。最後に、これまで判別式の適用性を検証した9地震への適用結果を比較・検討することにより、判別式の適用性について考察するとともに、今後の研究方針について紹介する。

(1) 東北地方太平洋沖地震への判別式の適用

1) 判別式の概要

判別式は、判別分析手法により導かれた評価式である。判別分析手法とは、説明変数を図-3.3.1.5のようにプロットし、崩壊が発生したグループと発生しなかったグループとに分離する境界線を導くことにより崩壊を予測する手法であり、判別式から求められる判別得点が高いメッシュは崩壊が起りやすく、低いメッシュは崩壊が起りにくいと判断される。平成7年（1995年）兵庫県南部地震における崩壊実績をもとに導いた判別式は、素因データに勾配と平均曲率、誘因データに最大加速度を用いて、以下のように表される²⁾。

$$F=0.075I-8.92C+0.006A-3.228 \quad \dots (1)$$

ここに、F：判別得点、I：勾配（°）、C：平均曲率、A：最大加速度（cm/s²）である。六甲山系での判別式による評価結果を図-3.3.1.6に示す。図中の黒三角が実際の崩壊地点である。一般に、地震による崩壊は、勾配が大きい（ただし、60°以上になると堅固な岩盤斜面である等の理由で少なくなる）ほど、平均曲率が小さい（地形的に凸斜面）ほど、最大加速度が大きいほど起りやすい傾向がある³⁾。式(1)は、このような特徴を反映した式と言える。

2) 方法

式(1)を用いて判別得点を算出するのに必要な各データのうち、素因データである勾配と平均曲率については、国土地理院基盤地図情報10 mメッシュから算出した。また、誘因データである最大加速度は、防災科学技術研究所が発表した断層モデルに基づき、距離減衰式を用いて算出した。距離減衰式は以下のように表される⁴⁾。

$$\log_{10} A=0.42M_w-\log_{10} (R+0.025 \cdot 100.42M_w) -0.0033R+1.22 \quad \dots (2)$$

ここに、M_w：モーメントマグニチュード、R：断層からの距離（km）である。

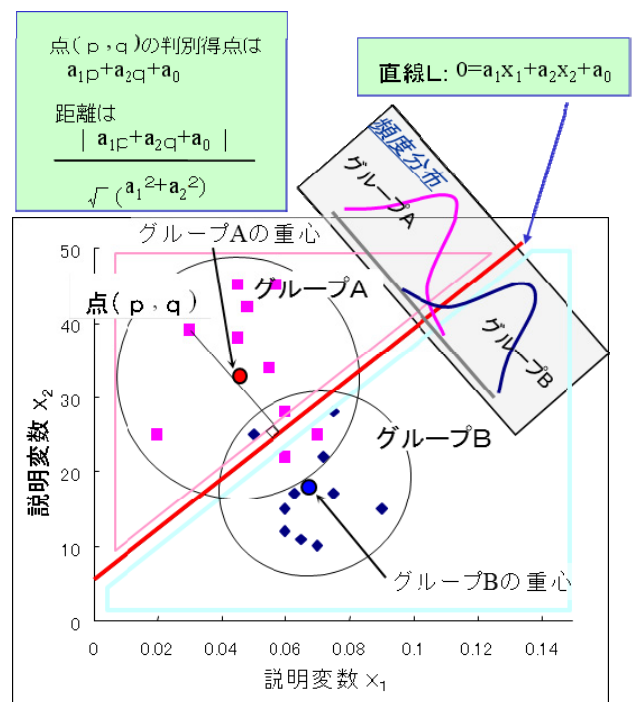


図-3.3.1.5 判別分析の概念図

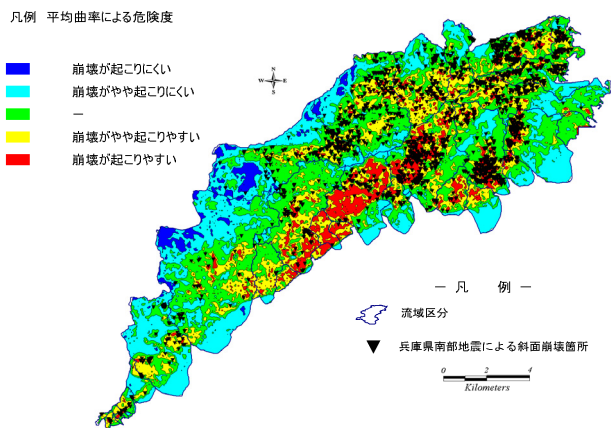


図-3.3.1.6 判別式の六甲山系への適用結果

3) 崩壊地の判読結果

栗駒地区において、距離減衰式による推計加速度分布と空中写真判読による崩壊地分布を重ね合わせた結果を図-3.3.1.7に示す。崩壊地判読では、国土地理院により地震後H23年5～10月に撮影された空中写真とH20年岩手・宮城内陸地震後のH22年11月に撮影され

た空中写真を比較し、主な崩壊地の発生状況を確認したところ、新規・拡大崩壊が約330箇所判読できた。これらを東北地方太平洋沖地震により発生した崩壊と推定した。なお、岩手・宮城内陸地震による同地区の崩壊地は約2,060箇所である。

4) 判別式の適用結果

栗駒地区の中から判別式を適用するエリア10km四方(100km²)を選定し、式(1)により算出された判別得点の分布と、実際の崩壊地の分布を図-3.3.1.8に重ね合わせて示す。図-3.3.1.8から、判別式により崩壊危険度が高いと予測された箇所(赤色)が実際の崩壊地(赤点)と概ね対応していることが分かる。

精度を定量的に評価するため、的中率と見逃し率を算出した。的中率とは、崩壊および非崩壊を正しく予測できたメッシュの割合であり、見逃し率とは、非崩壊と予測されたにもかかわらず実際には崩壊が発生したメッシュの割合である(表-3.3.1.4)。ただし、崩壊が発生したメッシュの定義は、これまでのほかの地震での評価手法と同様、崩壊地ポリゴンデータの源頭部に位置する1メッシュのみとした。

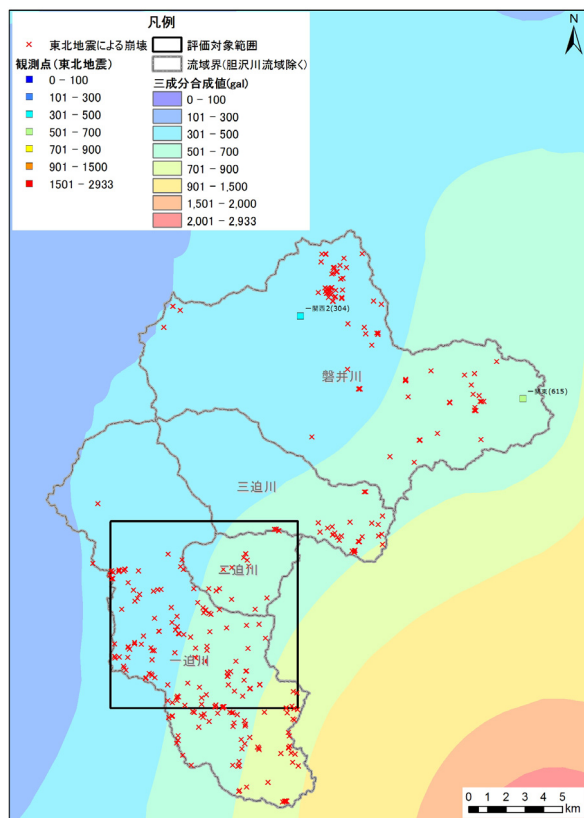


図-3.3.1.7 栗駒地区での東北地震の加速度と崩壊地の分布

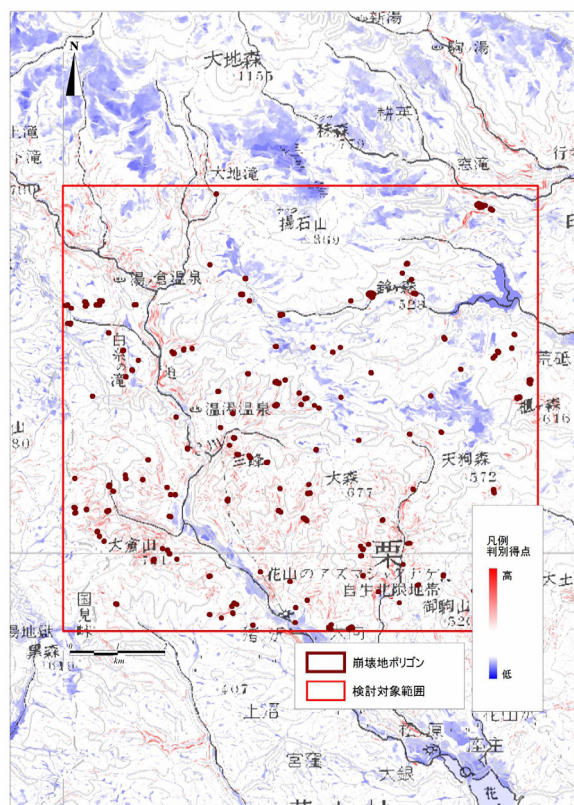


図-3.3.1.8 栗駒地区対象地域における判別評価結果

表-3.3.1.4 栗駒地区での判別結果とほかの地震との比較

	兵庫県南部	鹿児島県北部	神津島	宮城県北部	中越	能登半島	中越沖	岩手・宮城	東北
的中率(%)	64.2	49.0	68.4	57.2	52.8	73.1	78.6	69.0	50.2
見逃し率(%)	20.8	48.7	30.0	35.0	36.3	15.5	18.3	25.1	41.3

予測	崩壊		非崩壊		的中率： $(A+D)/(A+B+C+D)$
	A	B	C	D	
実際	崩壊	A	B	C	見逃し率： $B/(A+B)$
	非崩壊	D	C	D	空振り率： $C/(A+C)$
					スレットスコア： $A/(A+B+C)$

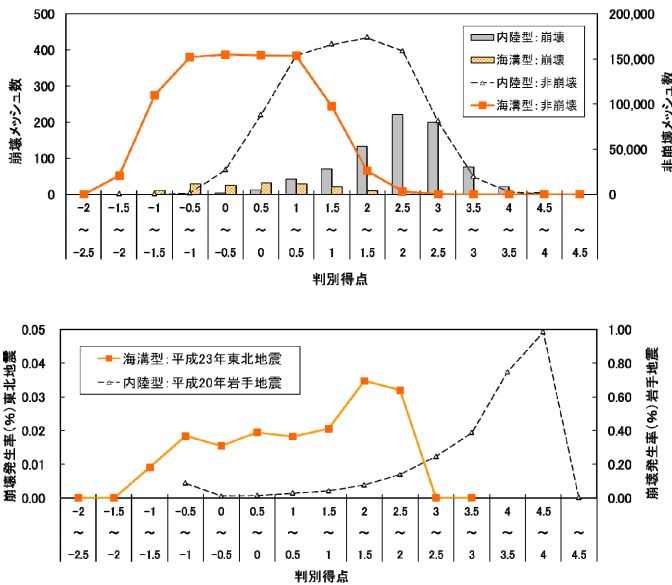


図-3.3.1.9 判別得点ごとの崩壊発生率

その結果、図-3.3.1.9のように、判別得点が高くなるに従い各得点レンジ毎の崩壊発生率が増加する傾向が見られたが、岩手・宮城内陸地震の結果ほど明瞭なものではなかった。また、的中率と見逃し率を計算したところ、的中率は50.2%、見逃し率は41.3%となり、図-3.3.1.10から他の内陸型地震と比べ精度があまり高くないと言える。図-3.3.1.8から定性的には概ね崩壊地を捕捉出来ているものの、崩壊発生箇所数が少なく、崩壊発生率が非常に低かったことから判別得点による明確な判別には至らなかったものと考えられる。

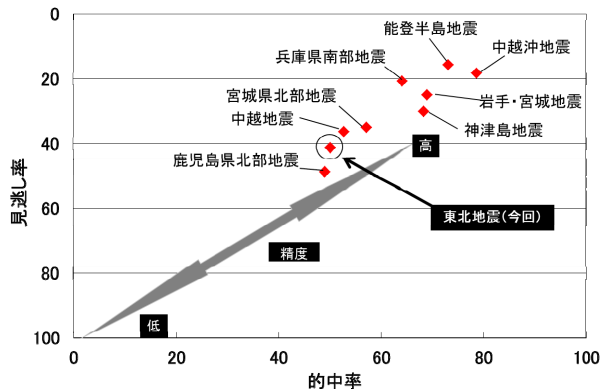


図-3.3.1.10 栗駒地区での判別結果の相対的評価

(2)まとめ

兵庫県南部地震による六甲山系での斜面崩壊をもとに算出された判別式を、海溝型地震である東北地方太平洋沖地震で崩壊が発生した栗駒地区に適用した結果、判別得点が高くなるにつれて崩壊発生率が上昇する傾向はみられたが、的中率、空振り率は、過去の内陸型地震と比べて低かった。対象エリアの崩壊発生率の低さに起因している可能性があり、海溝型地震への判別式の適用性については今後さらなる検討が必要である。

現在、国総研では、地震後の斜面崩壊危険度評価という観点から、地震後の斜面の緩みを定量的に評価する手法について研究を進めている。また、国交省・気象庁で運用している土砂災害警戒情報における地震後の暫定基準では、震度5強以上の地震発生地域において、地震動による斜面の緩みを考慮し通常基準の5～8割で運用することとしている。実際、東北地方太平洋沖地震直後の平成23年4月には全国17都県240市区町村で暫定基準が設定された。そこで、東北地方太平洋沖地震発生後の平成23年3月11日～平成23年10月31日の間に発生した土砂災害について降雨データを収集し、暫定基準の有効性について検証を行っている(図-3.3.1.11)。今後も地震による斜面崩壊の危険度評価に関し、新たなデータを収集しつつ評価手法の精度向上に努めていきたい。

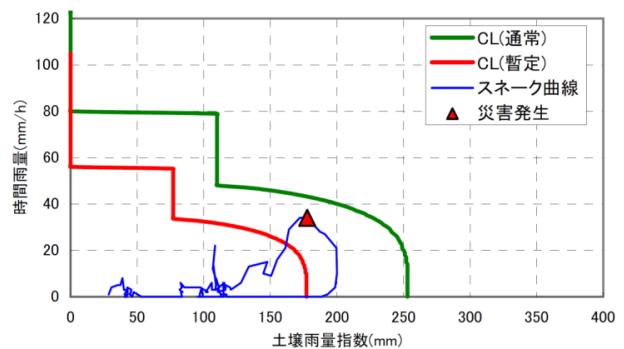


図-3.3.1.11 土砂災害警戒情報暫定基準による災害捕捉イメージ

謝辞

本節をまとめるにあたり、気象庁の推計震度分布図を使用させていただいた。また、衛星画像を用いた崩壊地調査では、共同研究を実施しているJAXAから共同研究の一環としてALOS光学画像を提供していただいた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) Mizuno, M., Sato, T., Hayashi, S., Nishi, M., Katsura, S. and Nakagawa, K., Investigation of Landslides Caused by the 2011 Tohoku Earthquake Using Optical Satellite Images, International Journal of Erosion Control Engineering Vol. 4, No. 2, pp.48-56, 2011
- 2) 内田太郎、片岡正次郎、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No. 204、pp. 91、2004
- 3) 中村浩之、土屋智、井上公夫、石川芳治編：地震砂防、古今書院、pp. 190、2000
- 4) 福島美光、田中貞二：新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂、地震学会講演予稿集、p. 116、1992