

公益社団法人国土緑化推進機構

「緑と水の森林ファンド」事業助成

治山事業における新たな災害対応技術

に関する調査研究

—その課題と新しい考え方—

平成24年度報告書

平成25年5月

森林保全・管理技術研究会

## はじめに

本中間報告書は、森林保全・管理技術研究会 災害対応技術部会において平成 21 年度から進めてきた災害対応技術の普及と体制整備に関する調査・研究について、平成 24 年度までの成果をまとめたものである。

本研究事業が取り上げた課題は①災害情報連絡システムの整備、②防災施設の被災と施設配備計画の検討、③災害写真事例集の編纂発行の 3 つである。

災害情報連絡システムの整備は、広域災害などが発生した時に都道府県などの林務部署がどのように関与するべきであるかについて、現状と今後のあり方を検討することを目的としている。

防災施設の被災と施設配備計画の検討は、いろいろな施工条件が考えられる治山施設において、さまざまな規模の災害に対して、治山施設が求められている機能と耐力について検討し、被災に強い施設の構造と施設配備計画について検討することを目的としている。

災害写真事例集の編纂は過去の災害時の状況を伝える貴重な写真が、所管部署での保存期間を過ぎると廃棄されている場合が多い現状に対して、今後の災害対応技術に関する調査・研究の資料としてこれらの写真を利用できるように、収集することを目的としている。

本調査研究事業は、災害対応技術の普及と体制整備に関する調査研究の委員を中心に、委員会での討議、現地調査、都道府県へのアンケート調査等により実施した。

各都道府県での林務部署の体制や近年の災害発生状況も異なり、災害の発生場所の条件や誘因の種類や大きさ、災害による被災度も異なるために、本調査研究事業で取り扱うテーマはそれらの違いを考慮した上で検討する必要があり、多様で複雑な検討事項を多く含んでいる。このため、各委員を始めとした関係者の意見をすべて調整し、かつ合意を得て、理想的で統一的な技術指針的な内容を示すことは難しい。従って、本報告では委員会での検討結果を踏まえて各委員が個別のテーマについて検討して説明する形式を採用している。また、都道府県へのアンケート調査の結果等もテーマ毎に集計して紹介している。

本報告書の内容が、治山事業における災害対応技術の普及と体制整備に少しでも役立てば幸いである。

災害対応技術部会

## 目 次

1. 研究目的および研究内容 .....	1
1. 1 研究目的 .....	1
1. 2 調査・資料分析 .....	1
1. 3 研究項目 .....	2
1. 4 災害対応技術部会の構成 .....	2
2. 治山事業における災害情報システムの必要性と今後の活用方法 .....	3
2. 1 誘因の違いを考慮した災害情報システムの構築 (東京農工大学 石川芳治) .....	3
2. 1. 1 概要：林務関係部署の果たすべき役割とは何か .....	3
2. 1. 2 災害情報の収集伝達用機器の整備 .....	4
2. 1. 3 山地における土砂災害情報の収集・分析 .....	11
2. 2 山地災害危険度予測システムの必要性と今後の活用方法 (日本大学 阿部和時) .....	19
2. 2. 1 はじめに .....	19
2. 2. 2 これまでの山地災害危険地区調査 .....	19
2. 2. 3 統計的手法による山腹崩壊危険地区調査要領の問題点 .....	20
2. 2. 4 山地災害危険地区調査の今後の活用方法 .....	22
2. 3 山地災害危険区マップを活用した災害情報システム (静岡大学 土屋智) .....	30
2. 3. 1 林務関係部署の果たす役割 .....	30
2. 3. 2 山地災害マップの作成事例 .....	31
2. 3. 3 警戒避難のための情報伝達システム .....	41
2. 3. 4 災害情報の収集伝達用機器の整備と管理基準 .....	42
2. 3. 5 警戒避難体制の構築にあたり考慮すべき事項 .....	44
2. 3. 6 警戒避難体制の解除発令基準 .....	45
2. 3. 7 治山施設の被災事例と原因 .....	46
2. 4 いくつかの災害事例に見る情報伝達の問題点 (新潟大学 川邊 洋) .....	50
2. 4. 1 はじめに .....	50
2. 4. 2 災害種別ごとの事例に見る災害情報伝達に関わる問題点 .....	50
2. 4. 3 災害情報連絡システムの問題点の検討 .....	55
2. 5 過去の災害事例にみる災害情報システムの役割 (宇都宮大学 執印康裕) .....	57
2. 5. 1 はじめに .....	57
2. 5. 2 災害情報システムの体制整備等について .....	59
3. 災害情報連絡体制の実態 .....	64
3. 1 災害情報連絡体制の実態 (情報の伝達先と種類) .....	64
3. 2 災害情報連絡体制の実態 (事前の情報連絡体制の整備等) .....	67
4. 実態調査アンケート調査結果 (災害情報連絡システム) .....	69
4. 1 災害情報連絡システムの整備 .....	69

4. 1. 1 災害情報連絡体制の実態調査の実施結果	69
4. 2 災害情報連絡システムの改善内容検討	78
4. 2. 1 アンケート結果で判断される各県の実態	78
4. 2. 2 災害情報連絡システムの改善内容検討	78
 5. 災害に強い防災施設と施設配備計画の考え方	79
5. 1 通常の想定を越えた大規模災害への対応	(東京農工大学 石川芳治) 79
5. 1. 1 はじめに	79
5. 1. 2 大規模土砂災害の特徴	80
5. 1. 3 大規模土砂災害への対応－時間の経過からみたハードおよびソフト対策	82
5. 1. 4 ハード対策	82
5. 1. 5 フト対策	85
5. 1. 6 危機管理について	86
5. 1. 7 計画規模を超える現象への対応	87
5. 1. 8 今後の課題	88
5. 1. 9 おわりに	89
5. 2 重力式コンクリート治山ダムに作用する外力に関する課題	(日本大学 阿部和時) 90
5. 2. 1 はじめに	90
5. 2. 2 設置された重力式コンクリート治山ダムの設計外力別の個数と破壊の状況	91
5. 2. 3 重力式コンクリート治山ダムに作用する外力の測定例	91
5. 2. 4 測定結果と考察	91
5. 2. 5 おわりに	93
5. 3 いくつかの災害事例に見る防災施設の被災	(新潟大学 川邊 洋) 95
5. 3. 1 治山施設の役割	95
5. 3. 2 いくつかの災害での被災例	95
5. 4 過去の災害事例からみた防災施設の役割	(宇都宮大学 執印康裕) 98
5. 4. 1 災害に強い防災施設について	98
5. 4. 2 施設配備計画の考え方について	98
 6. 実態調査アンケート調査結果（防災施設の被災）	100
6. 1 県の林務部署を対象とした防災施設の被災実態調査の実施結果	100
6. 2 当部会で独自に実施した防災施設の被災実態調査の実施結果	107
6. 2. 1 被災した対策工の工種	107
6. 2. 2 対策工種毎の被災箇所と変状	108
6. 3 当部会で独自に実施した防災施設の劣化実態調査の実施結果	112
6. 3. 1 劣化事例の対策工の工種	112
6. 3. 2 対策工種毎の劣化状況	113

7. 治山施設の被災例から判断される治山施設の改良の考え方	114
7. 1 治山ダムの改良の考え方	(東京農工大学 石川 芳治) · 114
7. 1. 1 治山ダムの被災実態	114
7. 1. 2 治山ダムの被災形態と個別の対策	117
7. 1. 3 治山ダムの被災に対する基本的な考え方	122
7. 2 過去の被災事例から判断される治山施設の改良の考え方	(静岡大学 土屋智) · 124
7. 2. 1 静岡県葵区口坂本川源頭部の地すべり性斜面崩壊	124
7. 2. 2 長野県大鹿村小塩地すべり	127
7. 2. 3 静岡県御前崎市白羽地区の海岸構造物復旧	130
7. 3 治山堰堤及び海岸防災林の被災事例とその対策	(新潟大学 川邊 洋) · 132
7. 3. 1 治山堰堤の被災事例とその対策	132
7. 3. 2 海岸防災林の被災事例とその再生	134
7. 4 崩壊危険斜面の分布を考慮した治山施設改良の考え方	(宇都宮大学 執印 康裕) · 139
7. 4. 1 はじめに	139
7. 4. 2 治山施設の被災について	139
7. 4. 3 治山施設等の被災について	139
7. 5 当部会独自調査における各施設の改良方法に関する意見	149
7. 6 被災及び劣化に強い施設改良方法の考え方	157
7. 7 施設毎の変状項目及び改良方法	157
8. 防災及び環境にマッチした治山施設配備計画	160
8. 1 木製構造物を用いた治山施設の計画	(東京農工大学 石川 芳治) · 160
8. 2 治山構造物への木材利用の促進	(静岡大学 土屋智) · 161
8. 2. 1 間伐材等を利用した治山構造物の事例	162
8. 3 生態系への影響を最小限に抑えるための治山施設配備計画	(新潟大学 川邊 洋) · 163
8. 3. 1 治山施設の設置によって生ずる渓床の変化	164
8. 3. 2 渓床の変化が生態系に及ぼす影響	164
8. 3. 3 生態系への影響を最小限に抑えるための方策	165
9. 山腹・のり面緑化における自然生態系に配慮した手法の考え方－ 自然回復緑化 － (日本大学 阿部 和時) · 167	167
9. 1 はじめに	167
9. 2 のり面における「自然回復緑化」とは	167
9. 3 本提案で使用する用語の定義	169
9. 4 自然回復緑化の目的	173
9. 5 自然回復緑化の流れ	173
9. 6 計画段階	175
9. 6. 1 環境アセスメントの実施	175
9. 6. 2 環境区分の設定	175
9. 6. 3 初期緑化目標の設定	178

9. 7 設計段階	181
9. 7. 1 土工計画立案への関与	181
9. 7. 2 立地条件の詳細調査	182
9. 7. 3 導入植物の市場調査	182
9. 7. 4 導入植物選定上の留意点	182
9. 7. 5 緑化基礎工・植生工の設計（ハビタットの整備）	183
9. 8 実施段階	184
9. 8. 1 施工	184
9. 8. 2 竣工検査	184
9. 9 管理段階	185
9. 9. 1 管理の種類	185
9. 9. 2 植生誘導管理	185
9. 9. 3 監視的管理（順応的・適応的管理）	185
9. 10 おわりに	186
 10. 過去の災害資料の保存と活用	187
10. 1 山地災害データの収集と活用	(日本大学 阿部和時) 187
10. 1. 1 はじめに	187
10. 1. 2 データ収集方法	187
10. 1. 3 山地災害データの活用	187
10. 2 収集すべき災害資料と資料集の形態	(新潟大学 川邊 洋) 188
10. 3 過去の災害事例からみた災害資料の保存・活用	(宇都宮大学 執印康裕) 189
10. 3. 1 2004年三重県大台町（旧宮川村）で発生した災害について	189
10. 3. 2 1998年8月末宇都宮大学船生演習林内で発生した斜面崩壊について	192
10. 3. 3 過去の災害資料による検討事例のまとめ	195

# 1. 研究目的および研究内容

## 1.1 研究目的

近年、我が国でも地球温暖化の影響とも言われる豪雨に見舞われ、急峻な地形、脆弱な地質条件等により、古くから実施されてきた治山事業による森林整備や各種治山工事の実施にも拘わらず、激甚な土砂災害や洪水災害が多発している。こうした中で、最小限人的被害を回避する警戒避難体制あり方や被災地の現状把握とそれに基づく応急対策の立案等のための早期概況調査体制の整備が求められている。

このため、現行の国、地方自治体で採用されている災害時の情報の連絡体制の現状を分析し、改善点を検討し、好ましい情報連絡システムを提案する。また、災害発生時、その現況を早急に把握することが必要であるが、現場行政担当者は、被災応急対策に追われて肝腎な災害現況を掌握することが難しい。したがって、災害関連の知見を有する技術者集団による緊急概況調査支援体制のあり方を検討する。

加えて、災害時に既設の防災施設が破壊等被災する例が多々見受けられる。この原因究明と対応策立案のために、統一的な調査要領が求められている。このため、各種施設災事例の実態調査を踏まえて調査要領案を作成し、現場技術者の意見を聞き、改良を加え、統一的な汎用性の高い要領に取りまとめ、現場技術者等に供するとともに、防災と環境に配慮した今後の配備計画に資する。

併せて、防災技術の向上のために、これまでの災害時写真等の記録データを収集し、データベース化した写真集の編纂発行を目指す。

以上、災害情報の連絡システムや災害発生時の概況把握体制並びに被災施設の現況を調査分析し、今後の災害対応技術の普及と体制整備のあり方を検討する。

なお、本課題の推進に当たっては、学識経験者、関連業界関係者、森林分野技術者等からなる委員会を設置し、広く意見を伺いながら、成果を報告書にとりまとめる。

## 1.2 調査・資料分析

現行の災害情報の連絡システムや災害発生時の概況把握体制並びに被災施設の現況を現地及びアンケートにより調査分析し、問題点・課題を抽出するとともに、改良・改善点を検討し、新たなシステム、要領及び体制の整備について提言取りまとめを行う。

### 1.3 研究項目

事業期間における検討事項は以下の通りである。

#### I. 災害情報連絡システムの整備

1. 災害警戒避難情報の連絡体制の検証
2. 災害情報連絡システムの整備
3. 灾害発生時における緊急概況調査体制の整備

#### II. 防災施設の被災と施設配備計画の検討

1. 被災施設の実態調査
2. 施設災害調査要領の作成
3. 防災及び環境にマッチした施設の整備

#### III. 災害写真事例集の編纂発行

1. 企画編集委員会の設置
2. 災害写真の収集
3. 編集発行

### 1.4 災害対応技術部会の構成

委員会の構成は以下のとおりである。

#### <委員>

	氏名	フリガナ	所属
1	石川芳治	イシカワ ヨシハル	東京農工大学 環境資源共生科学部門 (教授)
2	阿部和時	アベ カズトキ	日本大学 生物資源科学部森林資源科学科 (教授)
3	土屋 智	ツチヤ サトシ	静岡大学 農学部森林防災工学研究室(教授)
4	川邊 洋	カワベ ヒロシ	新潟大学 農学部生産環境科学科 (教授)
5	執印康裕	シュウイン ヤスヒロ	宇都宮大学 農学部森林科学科 (教授)
6	大丸裕武	ダイマル ヒロム	森林総合研究所山地災害研究室 (室長)
7	河合英二	カワイ エイジ	森林・自然環境技術者教育会 (主任研究員)
8	榎田充哉	エノキダ ミツヤ	国土防災技術(株)技術本部技術部 (部長)

#### <部会員>

区分	氏名		所属
(主査)	河合英二	カワイ エイジ	森林・自然環境技術者教育会 (主任研究員)
(副主査)	榎田充哉	エノキダ ミツヤ	国土防災技術(株)技術本部技術部 (部長)
部会員	阿部和時	アベ カズトキ	日本大学生物資源科学部森林資源科学科 (教授)
部会員	大丸裕武	ダイマル ヒロム	森林総合研究所山地災害研究室 (室長)
部会員	土佐信一	トサ シンイチ	国土防災技術(株)技術本部計測グループ (グループ長)

## 2. 治山事業における災害情報システムの必要性と今後の活用方法

### 2.1 誘因の違いを考慮した災害情報システムの構築 (東京農工大学 石川芳治)

#### 2.1.1 概要：林務関係部署の果たすべき役割とは何か

豪雨、地震、火山噴火等により山地において災害が発生した場合には、迅速に災害に関する情報を収集して、それらの情報を基に的確に警戒・避難、被災者の救援、災害の拡大の防止、迅速な復旧を行うことが、国民の生命・財産を守り、安全・安心な社会を造るために重要である。このような自然災害の防災に関しては国、都道府県、市町村、各地区、住民、および防災関係の機関（例えば、電力会社、鉄道会社、情報通信会社等）がそれぞれの役割はたすことによって十分な機能が発揮されるものである。

それでは、国および都道府県の林務関係の部署が果たすべき役割とは何であろうか？一般的に自然災害の防止・軽減に関して、図 2.1.1に示すように災害発生時の役割としては大きくは①住民の警戒・避難に関する活動、②被災者の救援・救護・救助に関する活動、③災害の発生防止（緊急的なもの）、災害の拡大防止および二次災害の発生の防止に関する活動、④災害の復旧に関する活動に分けることができる。これらのうち、①警戒・避難と②救援・救護・救助に関しては主として、市町村および消防・警察が担当している。したがって、国および都道府県の林務関係の部署が主として担うべきは、③災害の拡大防止と④災害復旧に関する活動である。もちろん、①警戒・避難と②救援・救護・救助に関しても有益な情報が得られれば収集して市町村や消防・警察等に伝達することは重要である。

さらに、山地において発生する災害においても、③災害の拡大防止と④災害復旧に関する活動は林務関係の部署のみで担当している訳ではないので、国、都道府県の土木関係や市町村、消防、警察、気象台との情報の交換や共有が重要である。また、災害に関する情報、特に施設の効果や被災に関する情報は⑤災害防止・軽減のための研究・調査にとっても重要である。

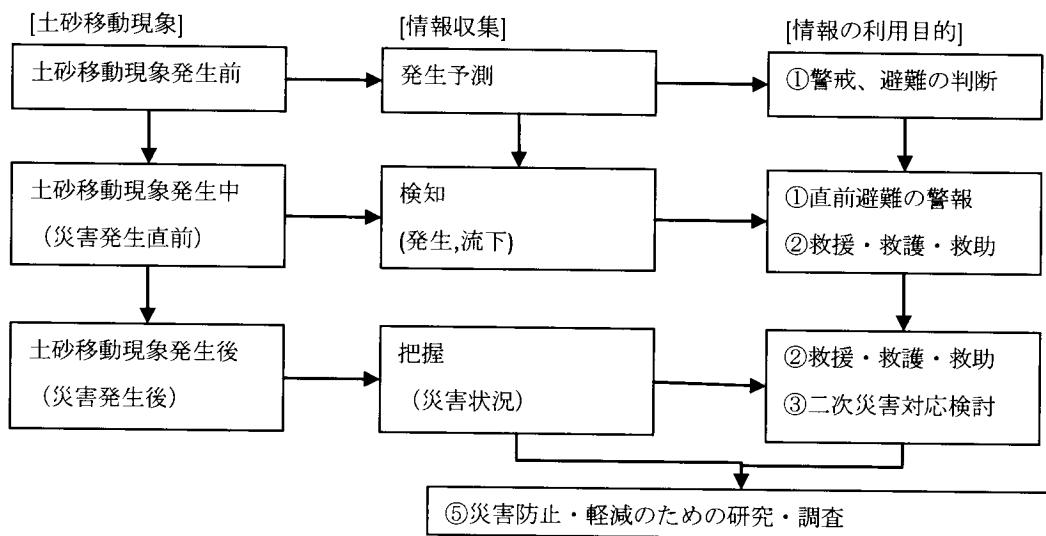


図 2.1.1 災害情報システムの目的

## 2.1.2 災害情報の収集伝達用機器の整備

### (1) 概要

#### (i) 山地における土砂移動現象の概要

山地においては降雨、火山噴火、地震等により土石流、斜面崩壊、地すべり、火碎流等の土砂移動現象が発生し、毎年、各地で甚大な被害（土砂災害）が発生し多くの人命や財産が失われている。表 2.1.1には降雨、火山噴火、地震により発生する山地における主な土砂移動現象を示す。表 2.1.1に示す土砂移動現象の他にも降雨により洪水が、火山噴火により火山ガスによる被害が、また地震により津波等の現象が発生して大きな被害をもたらしている。

表 2.1.1 山地における主な土砂移動現象

直接的な引金（誘因）		主な土砂移動現象名	特徴
主要なもの	希なもの		
降雨	地震,火山噴火(2)	土石流	溪流を流下。土砂と水の混合物
降雨	地震,火山噴火(2)	地すべり	移動速度は遅い
降雨・地震	火山噴火(2)	斜面崩壊	移動速度は速い
降雨・地震	火山噴火(1,2)	大規模崩壊	規模（土量）が大きい
降雨・地震	火山噴火(2)	天然ダムの決壊	下流に洪水の被害を与える
火山噴火(1)		火山泥流	火口湖の決壊、融雪水
火山噴火(1)		火碎流	高温、高速で流下
火山噴火(1)		溶岩流	高温、速度は小さい
火山噴火(1)		降下火碎物	広い範囲に堆積

注) 火山噴火(1)は火山の噴火により火山内部より直接噴出される土砂やガスにより発生する土砂移動現象（一次）を示す。

火山噴火(2)は火山噴火により噴出して堆積した土砂の再移動等により発生する土砂移動現象（二次）を示す。

表 2.1.1に示す土砂移動現象の概要を次に述べる。

土石流は水と土石が混じって一体となって溪流（山地の小河川）を流下するもので、一般的には降雨により発生するが、地震や融雪によても起こる。火山噴火に関連して起こる場合には火山の噴火とは直接関連しないで、山腹斜面に堆積した火山碎屑物が降雨等により流動化して発生する。土石流は突発的に発生し速度が大きく（約 5~10m/s）巨礫を含むので家屋や人命に甚大な被害を与える。なお、土石流の発生形態としては渓床堆積物が流水により流動化して土石流になる場合の他に、斜面崩壊による土砂（崩土）が渓流に流入して土石流になる場合、および斜面崩壊による土砂が渓流内に堆積して小規模な天然ダムを形成し、後にこれが決壊して土石流となる場合がある。

斜面崩壊は山腹斜面の一部が崩壊し、さらに崩土が崩落、滑動、流下する現象である。地すべりに比べて小規模であり、急傾斜の斜面で突発的に発生し崩土の流下速度も大きい。一般的には降雨によ

り発生するが、地震や融雪によっても起こる。火山噴火に関連して起こる場合には火山の噴火とは直接は関連しないでその後の降雨や地震により発生する。

地すべりは斜面の一部が比較的ゆっくりとした速度で滑動する現象である。斜面崩壊に比べて規模が大きく、緩傾斜の斜面で、土塊は比較的明確なすべり面に沿って継続的、断続的に移動する。地下水の上昇により活動が活発化する場合が多い。原因は多様で、人工的な盛土や切土、貯水池の湛水、河川の流水による浸食、降雨や地表水による間隙水圧の上昇、地震による震動、含水などによるすべり面の土質強度の低下等がある。火山噴火に関連して起こる場合には火山の噴火とは直接は関連しないでその後の降雨や地震により発生する。

大規模崩壊は山体や斜面の一部が大規模に滑落、流下する現象である。崩壊土砂の体積は  $10^6 \text{ m}^3$  以上あり、非常に速い速度で流下し、多量の岩を含むことから岩屑流や岩なだれとも呼ばれる。崩れ落ちる土砂（崩土）は 100km 以上遠方に達する場合もある。多量の崩土が海や湖に突入すると津波を発生させる場合がある。一般的には降雨により発生するが、地震や火山噴火によつても起こる。火山の噴火により直接的に発生する場合もあり山体崩壊とも呼ばれる。

天然ダムは斜面崩壊、地すべり、大規模崩壊による崩土が河川内に堆積して水流を堰き止めたものを指す。天然ダムの形成により上流に湛水が生じてこのことにより人家等が水没する場合もあるが、重大な災害は天然ダムの決壊による下流への洪水、土石流の流下により起こる。天然ダムの決壊は一般に上流からの越流水によりダムを形成している土砂が急速に浸食されることにより生じる。天然ダムの形成を生じる斜面崩壊、地すべり、大規模崩壊は降雨、地震、火山噴火により発生する。

火碎流は、溶岩塊、溶岩片等が高温（数 100 度～1,000 度）、高速(30km/hr～300km/hr)で山腹斜面を流下する現象であり、大規模のものは 100km 以上遠方にも到達する。小規模（土砂量 0.01km<sup>3</sup>以下）な火碎流の発生形態は一般に 3 種類に大別される。メラピ型火碎流は溶岩円頂丘の一部が崩壊して発生するものであり、プレー型火碎流は溶岩円頂丘の一部が噴火により側方へ吹き飛ばされて発生し、スフリエール型火碎流は火口から上方へ噴出した火山灰等の一部が直後に火口付近に落下して山腹斜面を流下するものである。

溶岩流は高温（約 1,000° C）の溶けた溶岩が地表に流れ出したものであり粘性が低いと極めて緩い勾配の斜面でも比較的速い速度で（約 30km/hr）で流下し、家屋や公共施設等を破壊、埋没、焼失する。

火山泥流は火山の噴火に伴い発生する土砂濃度の高い土砂と水の混じった流れである。火山泥流の発生形態としては火口湖の決壊によるもの、噴出した高温の火山碎屑物が付近の積雪や氷河を溶かすことによるもの、噴火とともに熱水が噴出されることによるもの、および噴出した土砂が河川や湖に突入して混じりあうことにより発生する場合がある。家屋や公共施設等を破壊、埋没する。

降下火碎物とは火山の噴火により空中へ放出された火山碎屑物（火山灰、火山礫、火山岩塊等）が周辺に落下したものであり細粒のものは広い範囲に堆積する。温度が高いまま降下すると家屋の屋根等に堆積して火災を引き起す。また、多量に屋根の上に堆積すると重みで家屋が破壊される。堆積物が冷えた物をテフラと呼ぶ。

## (ii) 山地における土砂災害の防止・軽減手法の概要

山地における土砂災害を防止・軽減する手法は図 2. 1.2 に示すように、ハードな対策とソフトな対策に分けることができる。ハードな対策とは例えば土石流対策のために治山ダムなどの施設を作つて土石流を捕捉してしまうなどのように、土砂移動現象の発生や移動そのものを抑止することである。

しかしながら、経済的な限界、技術的な限界からハード対策だけでは土砂災害を完全に防止・軽減できない場合が多い。このため、土砂災害の軽減、特に、人命を守ることを主な目的としてソフト対策が実施される。ソフト対策では土砂移動現象そのものの発生を防止したり、移動を抑制することではなく、土砂移動現象が危険な状態になる前に、危険な場所から安全な場所へ避難することなどが主な目的となる。このためには、土砂移動現象が危険な状態になる前にそのような状態を予測あるいは検知することが重要であり、そのために、計測（監視）および情報収集が必要となる。

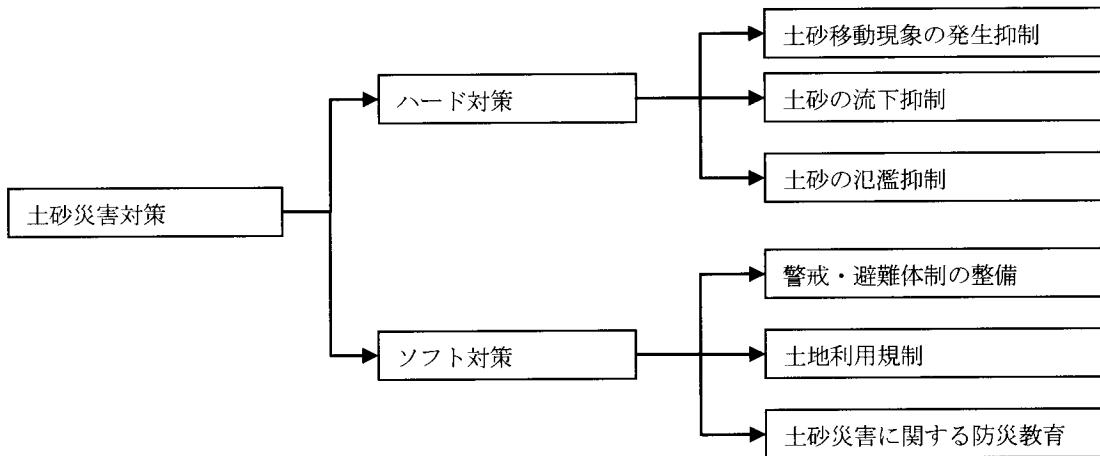


図 2.1.2 山地における土砂災害対策の概要

### (2) 計測（監視）および情報収集の目的、利用

土砂災害の防止・軽減のための計測（監視）および情報収集の目的および利用は図 2.1.1に示すように3タイプに分類できる。

- ①事前の住民警戒・避難のために土砂移動現象の発生を予測する。[発生予測]
- ②災害発生中および直後に被災した住民の救援・救護・救助を行うために土砂移動現象の検知を行う。[検知]
- ③災害発生中、発生直後に災害の拡大防止、二次災害の発生防止のための活動を行うために土砂移動現象の発生状況、災害発生状況を検知・把握する。[検知・把握]
- ④災害発生直後に災害復旧を検討する資料得るために土砂移動現象の規模、範囲を把握する。[把握]

これらの他に、⑤土砂移動現象の解明ための研究・調査のために計測（監視）および情報収集を行う、⑥工事中などで、工事および工事従事者の安全を確保するために計測（監視）および情報収集を行う場合があるが、④、⑤は①～③と重複する部分が多いので、以下では主として①～③の目的（発生予測、検知、把握）のために実施される計測（監視）および情報収集について用いられる計測（監視）機器について述べる。

次でも述べるように、目的、利用方法を明確にして計測（監視）および情報収集を行う必要がある。

### (3) 誘因別、土砂移動現象別の計測（監視）機器

土砂移動現象の発生誘因により、また土砂移動現象の種類によりその発生メカニズム、運動機構、土砂堆積形態は異なるのでこれらの予測、検知、把握のために用いられる計測（監視）機器も異なる。ここでは発生誘因別、土砂移動現象の種類別に用いられる計測（監視）機器の概要を紹介する。土砂

移動現象の種類、規模、発生場所等により、また使用する計測機器により予測・検知・把握のし易さ、計測（監視）データの有効性、費用等は異なるのでこれらを十分に検討して計測機器の設置の検討を行う必要がある。

#### (i) 降雨に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器

表 2. 1.2に降雨に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器の一覧を示す。降雨そのものの予測としては地上の観測所において気圧、気温、風向、風速、雨量、雲などを観測するとともに、気象レーダーおよび気象衛星等により雲の分布と移動、降水量の分布と雨域の移動、上空の風、水蒸気分布などを観測している。また気象観測のために高層気象観測用の気球、ウインドプロファイラ、海洋観測用のブイロボットなどが用いられている。表 2. 1.2においては土砂移動現象として大規模崩壊を記していないが、これは大規模崩壊の発生予測は現状では困難であり、発生予測はほとんど行われていないことと、流下・堆積、被害の把握に関しては基本的には通常の斜面崩壊、地すべりと共に通する部分が多いためである。また、天然ダムに関しては主として天然ダムの形成後の決壊による下流への洪水、土石流の被害の防止・軽減を対象としている。

表 2.1.2 降雨に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器

機 器	計測・監視項目	目的・利用			対象現象の種類			
		発生予測	検知	把握	土石流	地すべり	斜面崩壊	天然ダム
地上	雨量計	雨量	○	×	△	○	○	○
	レーダ雨量計	雨量、雨量の予測	○	×	△	○	○	○
	ワイヤーセンサ	泥流の流下検知	×	○	×	○	×	○
	超音波水位計	泥流の流動深さ、湛水位	△	○	△	○	×	×
	流速計(超音波,電波)	泥流の流速 流水の流速	△	○	△	○	×	×
	地震計 (振動計)	土石流流下に伴う振動	×	△	△	△	×	×
	音響センサ	土石流流下に伴う音響	×	△	△	△	×	×
	伸縮計	地表面の移動量の測定	○	△	×	×	○	△
	地盤傾斜計	地表面の傾動く	○	△	×	×	○	△
	光波測距儀	地盤の変動	○	△	△	×	○	△
	GPS	山体、地盤の変動	○	△	△	×	○	△
	光ファイバー	地盤の変動	○	△	×	×	○	△
	弦振動式 変位計	岩盤等の亀裂の幅の変化の測定	○	△	×	×	△	○
	ストレインゲージパイプ	ボーリング孔の傾斜および曲がり	○	△	×	×	○	△
	孔内傾斜計	ボーリング孔の傾斜および曲がり	○	△	×	×	○	△
	地中伸縮計	地中のすべり面付近の移動量	○	△	×	×	○	△
	地下水位計	すべり面付近の地下水位	○	△	×	×	○	△
	間隙水圧計	すべり面付近の間隙水圧	○	△	×	×	○	△
空中	AE センサ	地盤の変形、破壊に伴い発生する音	○	△	×	×	○	○
	ITV (テレビカメラ)	土砂移動現象、災害の状況	△	○	○	○	○	○
	積雪計	積雪深、融雪量	△	×	×	△	△	△
	温度計	気温 (融雪量推定)	△	×	×	△	△	△
	日射計	日射 (融雪量推定)	△	×	×	△	△	△

注： ○；よく利用されるもの，△；時々利用されるもの，×；ほとんど利用されないもの

## (ii) 火山噴火に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器

表 2. 1.3に火山噴火に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器の一覧を示す。なお、これらその他に、後に述べるようにこれらの土砂移動現象の誘因である火山の噴火自体を予測するための計測(監視)用機器として、地中ひずみ計、重力計、地磁気測定器、火山ガス測定器、地下水位計などがある。表 2. 1.3に火山噴火に伴って直接的に発生する土砂移動現象（火山泥流、火碎流、溶岩流、降下火碎物）について記したが、この他に、その後の降雨等によって起こる土石流、斜面崩壊などがあるが、これらについては降雨に起因する災害の表 2. 1.2を参照されたい。

火山の噴火自体を予測する目的で火山噴火の前兆現象を捉えるため、一般に次のような観測がなされている。**a)火山性地震の観測**：震源分布や波形を観測する事によりマグマ上昇の位置や活動を推定する。主として地震計により観測する。**b)地盤変動の観測**：マグマの上昇等に伴う火山体の膨張により地形の変化が起こるので、傾斜・歪み等を観測する。傾斜計、水準測量、光波測距儀、G P S 観測が行われる。**c)重力変化の観測**：密度の異なるマグマの上昇にともなって重力加速度が変化するのを重力計で観測する。**d)地磁気の変化の観測**：溶融したマグマと冷却した溶岩では帯磁状態が異なるのでその変化を磁力計により観測する。**e)熱（温度）の観測**：マグマの上昇に伴って地温やガスの温度が変化するのでそれを温度計や熱赤外線計で観測する。**f)火山ガス**：マグマから抜け出した火山ガスの成分や量の変化を観測する。スペクトロメータにより二酸化硫黄の放出量の遠隔観測が可能となつた。また、火山ガスを採取してその化学組成を分析することも行われている。

噴火予知には、時、場所、噴火様式、規模の4要素が必要であるが現在のところこれらを完全に予知することは一般にできていない。しかしながら、火山活動の各時点の活動状況を監視・観測してその結果を分析することにより噴火の危険性等はある程度予測でき、これにより警戒・避難等の防災体制を事前にとれば少なくとも人命の損失を防止することは可能と考えられる。

表 2.1.3 火山噴火に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器

機 器	計測・監視項目	目的・利用			対象現象の種類				
		発生予測	検知	把握	火山泥流	火碎流	溶岩流	降下火砲	
地 上	地震計 (振動計)	火山活動に伴う地震 土砂流下に伴う振動	△ ×	△ △	△ △	○ ○	○ ○	△ △ ×	
	空振計	噴火に伴う空振動 (気圧振動)	×	△	×	△	△	×	△
	ITV(テレビカメラ)	土砂移動現象、災害の状況	△	○	○	○	○	○	
	赤外線カメラ	高温の土砂移動現象	△	○	○	○	○	○	
	ドップラーレーダー	大規模で高速の土砂移動	×	△	×	△	△	×	×
	GPS	山体、地盤の変動	△	△	×	×	△	×	×
	傾斜計	山体、地盤の変動	△	△	×	×	△	×	×
	積雪計	積雪深、融雪量	△	×	×	○	×	×	×
	雨量計	雨量	△	×	×	△	×	×	×
	レーダー雨量計	雨量	△	×	×	△	×	×	×
空 中	ワイヤーセンサ	泥流の流下検知	×	○	×	○	△	×	×
	超音波水位計	泥流の流動深さ	×	○	×	○	×	×	×
	流速計(超音波,電波)	泥流の流速	×	○	×	○	×	×	×
	風向・風速計	風向、風速	×	○	△	×	○	×	○
	温度計	地表、地盤内の温度、水温、気温	△	○	△	△	○	○	△
	投下型監視装置	危険区域内にヘリコプターで投下(温度計、振動計等)	△	△	△	△	△	△	×
	放射温度計	流下・堆積土砂の温度、火碎流の温度	△	△	△	△	△	○	△
	空中写真撮影,測量	地形変化量、堆積土砂量、災害状況	△	△	○	○	○	○	○
	空中からのビデオ撮影	地形の変化、噴火状況、土砂の流下・堆積状況、被害の状況	△	○	○	○	○	○	○
	人工衛星リモートセンシング	土砂移動の範囲、被害の程度	×	×	○	○	○	○	○
	人工衛星(飛行機) SAR	地形計測、堆積物の特徴	△	×	○	△	△	△	△

注： ○；よく利用されるもの，△；時々利用されるもの，×；ほとんど利用されないもの

### (iii) 地震に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器

表 2. 1.1 に示すように、地震により起こる土砂移動現象には土石流、地すべり、斜面崩壊、大規模崩壊、天然ダムの形成と決壊等があるがこれらは降雨によって起こる土砂移動現象と共通する。従つて、表 2. 1.4 ではこれらの土砂移動現象に関する計測（監視）用機器を省略して、主として地震の予知、検知、把握のための計測（監視）用機器のみを示す。表 2. 1.4 に示す機器により得られた観測データを用いた地震の予知は未だ信頼性が低く、今後信頼性の高い予知手法を開発していく必要がある。

表 2. 1.4 地震に起因する土砂移動現象の計測（監視）用機器

機 器		計測・監視項目	目的・利用			対象現象の種類			
			発生予測	検知	把握	土石流	地すべり	斜面崩壊	天然ダム
地 上 ・ 地 中	地震計	地震動、土石流流下に伴う震動	△	○	○	△	×	×	△
	地電流(VAN法)	岩盤の歪みが大きくなる時の地電流	△	×	×	×	×	×	×
	G P S	地盤の変動	△	△	△	×	○	△	×
	傾斜計	地盤の変動	△	△	△	×	○	△	×
	地中歪み計	地盤内のひずみ	△	△	×	×	×	×	×

注 1 : ○ ; よく利用されるもの  
 △ ; 時々利用されるもの  
 × ; ほとんど利用されないもの

注 2 : 主として地震の予知に関連した、検知、把握のための計測（監視）用機器のみを示す。

### 2. 1. 3 山地における土砂災害情報の収集・分析

#### (1) 平常時における情報収集

災害時において迅速かつ的確に情報を分析して活用するためには、災害発生前（平常時）から基本的な情報を収集して利用し易いように整理しておくことが重要である。これらの情報は自らが所有・管理するものは当然であるが、他の機関が所有・管理するもの、民間が所有・管理するものについても収集して整理しておくことが望ましい。

平常時に収集すべき項目は次のとおりである。

#### (i) 管内の地形図（縮尺 1/5,000 程度）、地質図（縮尺 1/50,000 程度）

管内で発生する災害に関する事象の位置を正確に把握するために、大縮尺の地形図を準備して置く必要がある。この地形図には、次に述べる治山施設、砂防施設、河川施設、道路、主要な建物、などを記載しておく。地質図は発生した土砂災害の特徴を把握するのに重要である。

#### (ii) 管内の治山関係施設、人家、道路、公共施設等の重要施設の配置状況

治山関係施設は、施設の被災状況を調査・点検するため、また、被災施設の復旧の検討のために必要である。人家、道路、公共施設等は災害の発生状況の調査に必要である。

#### (iii) 管内の山地災害に関する危険箇所の情報の収集

山地災害の危険箇所の位置、概要、保全対象の範囲については既に調査されているため、これらの情報を収集・整理しておくと、災害調査に役立てることができる。また、類似した危険箇所（土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域、土石流危険渓流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所）の情報も収集・整理しておくと災害調査に役立つ。

#### (iv) 観測・監視体制および警戒避難体制（基準雨量を含む）に関する情報の収集

国、都道府県、市町村、気象庁などが所有している観測・監視機器の種類と位置、それらにより得られる情報の入手方法などを整理しておくと迅速に必要な情報を入手することができる。さらに市町村のもつ警戒避難体制に関する情報（危険区域、避難路、避難場所等）や情報伝達手段などに関する情報を整理しておくと、警戒・避難へ支援が可能となる。

#### (v) 過去の降雨、災害の記録等

過去の降雨は災害の発生危険度を判断する一つの材料として利用できる。過去の災害記録は災害発生場所や発生形態を推定する材料として利用できる。

#### (vi) 復旧資機材の配置と人員

災害発生直後の緊急調査（点検・巡視）や応急的な復旧を迅速に実施するためには、緊急調査や復旧工事に必要な資機材や人員の配置、数量（所属、場所、数量、人数など）などを把握して整理しておく必要がある。また、必要な資機材については予め備蓄計画をたてて準備をしておくことが望ましい。また、復旧資機材や人員等の輸送を確保するため、主な緊急輸送経路を平常時から検討しておくことが望ましい。

### (2) 災害の概況把握のための情報収集

災害の発生状況を正確かつ迅速に把握することは災害対応を検討して実施するための基本である。このため、自ら調査を行うとともに、他の部署や他の機関、民間が実施する調査も含めて広い範囲から情報を収集して整理する体制を整える必要がある。また、得られた情報を迅速かつ的確に分析して防災活動の役立てる方法を決めておくことも重要である。災害発生直後（発生中も含む）に収集すべき項目は次のとおりである。

#### (i) 災害誘因に関する情報

災害の発生位置や規模を裏付ける資料となり、調査漏れのない確実な調査が可能となる。また、調査の優先順位を決める資料としても利用できる。余震や降雨の予測に関する情報は、現地調査や復旧工事の際の安全確保に役立てることができる。

##### 1) 降雨に関する情報の収集

- ・降雨データ、降雨予測に関する情報

- ・降雨に関する災害予警報の発令・解除

## 2) 地震に関する情報の収集

- ・地震の震度（加速度）、マグニチュード、震源（震央）、地震断層、津波に関する情報
- ・地震に関する予警報、余震の予測に関する情報

### (ii) 災害の発生位置・規模・被災状況

土砂災害ならびに他の災害（河川、道路、海岸等に関するもの）の発生位置・規模・被災状況を把握することは、災害調査、二次災害防止、災害復旧を迅速かつ的確に進めるために重要である。

#### 1) 土砂生産源（斜面崩壊、地すべり、土石流、侵食）の情報

- ・位置（市町村名、字名、北緯・東経）
- ・形状（長さ、幅、深さ（厚さ）、土砂量）
- ・地形・地質（勾配、周辺地形、高さ（比高）、標高、地質、岩質、亀裂、湧水等）
- ・植生（種類、被度、林相、樹齢、樹高、胸高直径等）

#### 2) 土砂流出の情報

- ・流出形態（土石流、土砂流、崩壊、地すべり等）
- ・堆積状況（範囲、厚さ、土砂量、粒径等）

#### 3) 被災情報

- ・被災範囲・被災物件（人家、人命、建物、公共施設、田畠、森林等）
- ・被災形態（埋没、破壊、流出、損傷等）
- ・被災度（全壊、半壊、損壊、浸水等）
- ・影響（交通（道路の通行止め）、ライフラインに対する影響、地域に対する影響）
- ・避難状況（避難実施区域・人数、避難をしている場所・人数、避難理由等）

### (3) 災害拡大危険度評価(緊急評価)

#### (i) 目的と調査方法

土砂災害の発生後、余震や降雨により斜面崩壊が拡大したり、溪流に堆積した土砂が流動化したり、溪流内に形成された天然ダムが決壊して周辺および下流に被害を発生させる場合がある。このような二次災害による災害の拡大を防止・軽減するために災害発生後、早急に調査を実施して危険度を判定し、二次災害の危険性がある場合には、被害を及ぼすと想定される地域の住民を避難させたり、必要に応じて災害を防止・軽減するための緊急処置を行う必要がある。

災害発生からまもなくして二次災害が発生する可能性もあることから、二次災害の可能性の有る箇所の抽出のための調査（緊急調査）は災害発生からできるだけ短い時間のうちに実行する必要がある。広域にわたって災害が発生している場合には、短時間で緊急調査を実施するために、地上からの調査とともに、ヘリコプターやUAV（Unmanned Aerial Vehicle）を用いて空から調査をおこなったり、人工衛星画像を利用することも検討する。なおUAVは「無人航空機」のことで、全幅30メートルを越える本格的な機体から手の上に乗る小さなラジコンまでの様々な大きさのものが存在し、固定翼機と回転翼機の両方のものが実用化されている。災害調査用には機動性と費用から小型のラジコン式のものを用いる場合が殆どである。操縦は小型のラジコン式のものは基本的に無線操縦で行われ、機影を目視で見ながら操縦するものが多い。

## (ii) 災害拡大危険度評価を行う箇所の選定

土砂災害の発生箇所の状況の概略を調査（概略調査）する際には、緊急に災害拡大危険度評価のための調査（緊急調査）を行う箇所の選定（優先順位の判定）に利用できるように次の事項について着目して調査を実施する必要がある。

- ・土砂移動の規模および災害拡大が予想される規模（範囲、土砂量等）
- ・被害状況及び予想される拡大被害状況（保全対象人家戸数、公共施設等）
- ・調査時点での被害拡大の可能性（危険度）および緊急性

これらの調査結果を基に、災害拡大危険度評価を行い、短時間の内に大規模でかつ災害拡大の可能性が高いと判断される箇所については、早急に災害拡大危険度評価のための情報収集（緊急調査）および分析を行う。

## (3) 大規模斜面崩壊・地すべりによる災害拡大危険度評価のための情報収集

早急に災害拡大危険度評価のための情報収集（緊急調査）および分析を行うことが必要とされた箇所については次に示すような情報を収集する。また、本復旧が完成するまで継続的に、災害拡大に関する状況を監視し、危険度の変化を把握しておくことが重要である。大規模斜面崩壊・地すべりによる災害拡大危険度評価のための緊急調査による情報収集項目を次に示す。

- a)位置、長さ、幅、面積
- b)形状（断面形状等）
- c)崩土の到達範囲、土量
- d)斜面・法面における変状
- e)地表移動量（速度）の測定
- f)周辺地形、保全対象の分布（位置、数、種類）
- g)人的、物的被害の状況

緊急調査は、地上および空（ヘリコプター等）から調査を行う。また、前兆現象を把握するための調査および移動量の測定に用いる調査を表 2. 1.2に示す。

自ら行う調査の他にも、関係各機関（国、都道府県、市町村、警察、消防、報道機関）や他の部署が行っている調査や監視・観測情報を収集・整理し、緊急対策の計画、実施のための資料とする。

## (4) 大規模斜面崩壊・地すべりによる災害拡大危険度評価のための情報分析手法

災害拡大危険度評価のための情報収集（緊急調査）により得られたデータを基に大規模斜面崩壊・地すべりの活発化の予測とそれに伴う危険範囲の予測、二次災害による被害の予測を行う。緊急調査により得られた情報 a) ~g)を用いた危険度等の判定の方法を次に示す。

- 1)発生場所、規模、被害状況の整理：緊急調査情報 a) ~g)を用いて整理
- 2)斜面安定解析：緊急調査情報 a),b)を用いて実施
- 3)危険度概略判定：緊急調査情報 d),e)を用いて判定
- 4)危険区域の想定：緊急調査情報 a)~f)を用いて想定

特に重要な、危険度概略判定の方法としては、d)斜面・法面における変状（前兆現象）およびe)地表移動速度を利用した 方法があり、両者ともに利用される場合が多い。なお、小規模な地すべりや斜面崩壊の災害拡大危険度評価についてもこれらの手法を用いることができる場合が多い。しかしながら、地すべりや斜面崩壊の誘因やタイプによってはこれらの手法を直接的に適用できない場合もあるので注意が必要である。

危険度の概略判定手法、危険区域の予測手法については一般に次の手法が用いられている。

## ①前兆現象による災害拡大危険度の検討

ア)地すべりおよび斜面崩壊の発生の直前に現れる現象で、非常に危険な状況である。早急に避難体制をとることが必要である。

- ・落石や小崩落の発生
- ・亀裂・段差の拡大（1時間 10mm 以上）
- ・地鳴り、地面の震動
- ・根の切れる音、木の枝先のこすれ合う音

イ)地すべりおよび斜面崩壊の初期段階から発生の直前までに現れる現象で、かなり危険な状況である。避難の準備を行うことが必要である。

- ・亀裂・段差の発生、地表面での凹凸の発生
- ・擁壁のクラックや押し出し
- ・舗装道路やトンネル内のクラック
- ・電線の弛みや引っ張り
- ・建物等の変形（戸の締まりが悪くなる。壁に隙間ができる）
- ・橋などに異常が生じる
- ・家鳴り
- ・地下水位の急激な変化、地下水の濁り
- ・湧水の流量の変化、湧水の濁り
- ・新しい湧水の発生

## ②地表面の移動速度による災害拡大危険度の検討

図 2. 1.3に既往の地すべりの管理基準値を示す。この図より1日あたりの変位速度が10mm以上で応急対策を行い、50~100mm以上で避難を行っている例が多い。

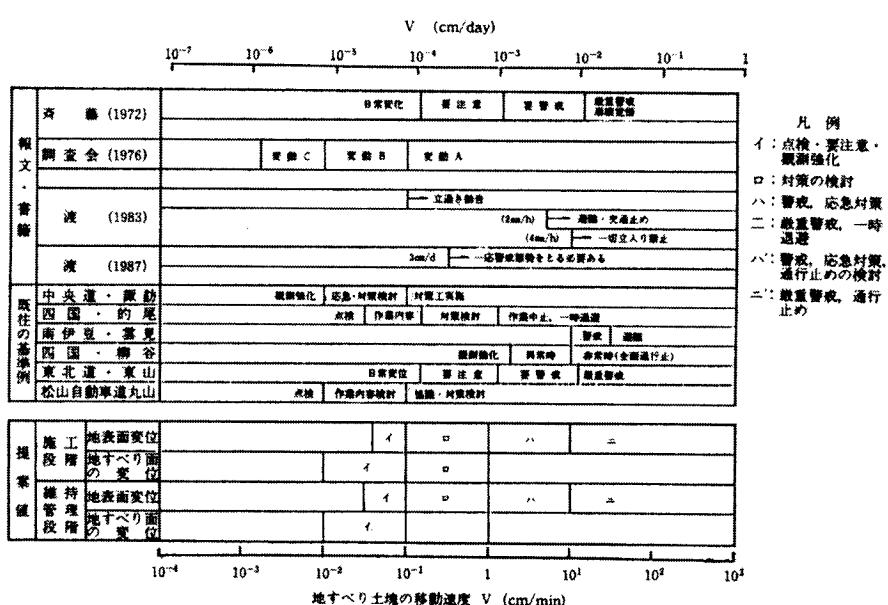


図 2. 1.3 地すべりの管理基準値

(高速道路調査会、「地すべり危険地における動態観測、施工に関する研究報告書」、1988 より)

### ③降雨量による災害拡大危険度の検討

豪雨が強くなると大規模斜面崩壊・地すべりが活発化する場合が多い。このことから大規模斜面崩壊・地すべりの運動の活発化の予測に降雨量をひとつの指標として用いる場合がある。これまでの例では時間雨量で10~20mm/時、連続雨量で50mm程度が警戒体制に入る目安とされているが、斜面の危険度により異なると考えられる。

### ④応急対策後の危険度の検討

応急対策工がほぼ完了した段階で調査を行い、監視・観測結果を基に、応急対策工の効果判定と避難の解除の検討を行う。危険度判定の方法はこれまでに述べた方法とほぼ同様である。ただし、避難の解除に当たっては、複数の伸縮計等の計器で同時に、同様な経時的な活動の減少傾向が認められることが必要である。また、斜面の変位速度等による避難の解除の基準は避難の発令基準よりも若干低めに設定することが望ましい。

### ⑤災害拡大予測区域の検討

地すべりによる崩土の堆積範囲は図2.1.4~図2.1.5に示すとおり、大部分の地すべりでは移動土塊の最大水平移動距離は地すべり発生域の最大水平距離の2倍以内となっており、堆積幅も崩壊幅の2倍以内である。また、比較的小から中規模の斜面崩壊(崖崩れ)による崩土の堆積距離は図2.1.6に示すように、斜面高の2倍以内に収まる場合が多い。これらの値が地すべりや斜面崩壊による災害危険範囲の判断の一応の目安になると考えられる。なお、危険範囲の設定にあたっては周囲の地形条件を十分に考慮する必要がある。地すべり移動土塊の堆積距離(移動距離)、幅が発生域の2倍を超えるものでは、移動土塊が渓流を閉塞し、移動土塊の含水量が増加したものが多くを占めている。また、大規模斜面崩壊では下流に長い斜面が続いている、比較的勾配が急な渓流や河川が存在する場合には、崩土の到達距離が大きくなる危険性がある。一方、既往の斜面崩壊に関する調査結果によると、図2.1.7に示すように大規模な崩壊(崩壊土砂量が約 $10^6\text{m}^3$ 以上)になるほど崩土の落下高に対する移動距離(等価摩擦係数)は大きくなることが分かっている。したがって、大規模斜面崩壊においては到達距離を想定する場合には崩壊土砂量と等価摩擦係数の関係についての検討が必要である。

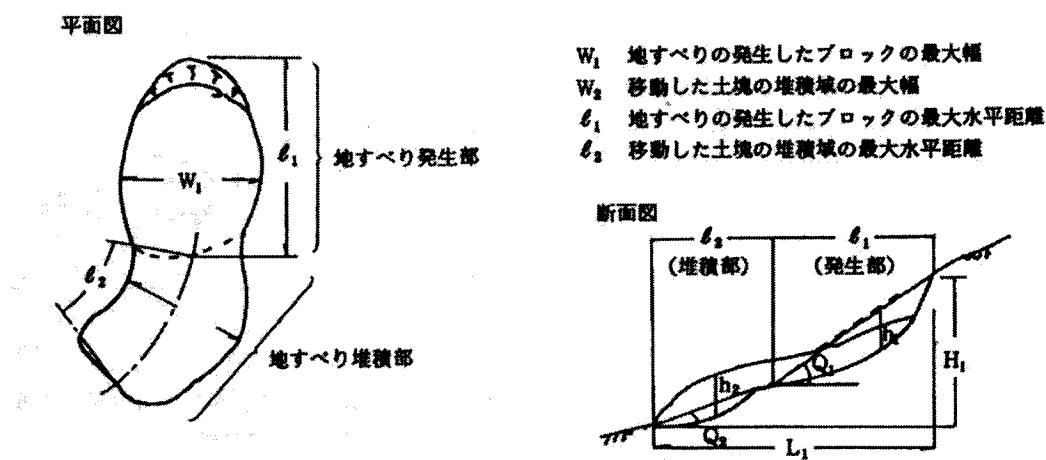


図2.1.4 既往の地すべりの調査における地すべり発生域の最大水平距離、移動土塊の最大水平移動距離、崩壊幅、堆積幅の定義

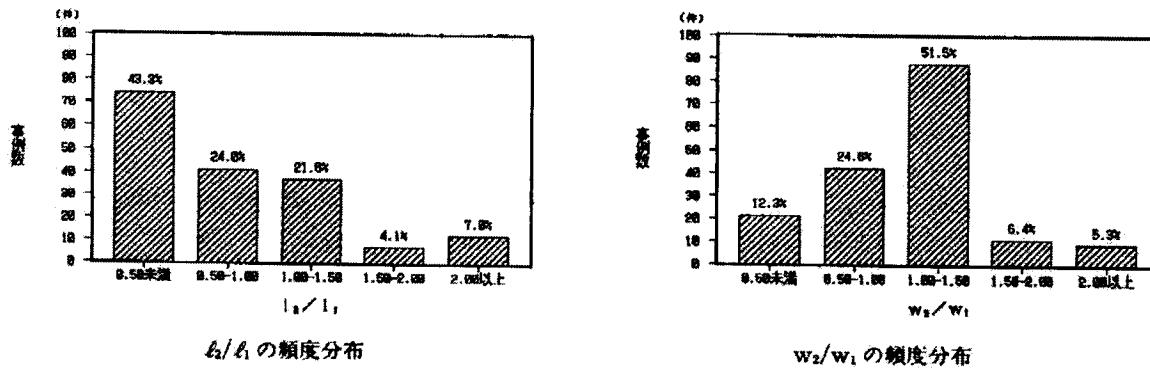


図 2.1.5 既往の地すべりにおける移動土塊の到達範囲の調査結果  
(土木研究所、地すべり研究室による、事例 171 箇所)

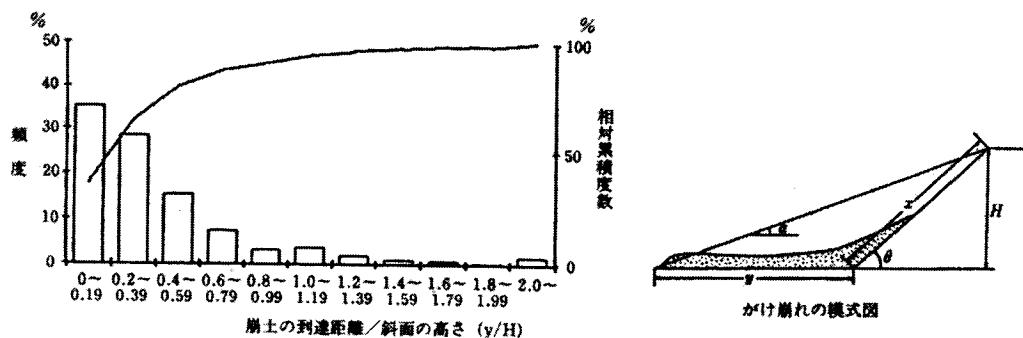


図 2.1.6 崩壊による崩土の到達距離および斜面の高さとの関係  
(土木研究所資料第 25 号、「がけ崩れ災害の実態」、1988 より)

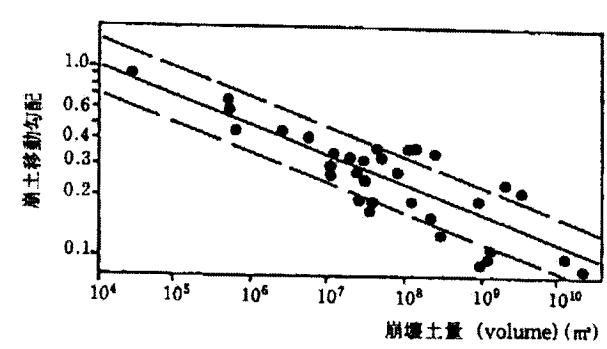


図 2.1.7 崩土の移動勾配(等価摩擦係数=鉛直落下高/水平移動距離)と崩壊土量の関係  
(scheidegger, 1973 による) (実線は回帰直線、2本の破線は標準偏差 $\sigma$ の範囲を示す)

#### (4) 災害拡大危険度評価(詳細評価)

応急復旧完了後の大規模斜面崩壊・地すべりの災害拡大危険度評価のために、詳細な調査を実施して精度のよい拡大予測(長期的な安定性の検討)および本復旧工法の選定のための分析を行う必要がある。大規模斜面崩壊・地すべりに関する詳細評価としては①斜面安定解析、②土塊の移動・堆積範囲の推定が重要である。

詳細調査により得られたデータを基に大規模斜面崩壊・地すべりの長期的な安全度(逆の意味では危険度)を検討するとともに、大規模斜面崩壊・地すべりによる被害発生範囲(崩壊土砂の到達範囲)

を精度良く推定する。大規模斜面崩壊・地すべりの短期的な危険度評価は前項で述べた図表による概略判定によるが、長期的な安定の判定においては、これらの他に、斜面安定解析を基に豪雨時あるいは地震時における斜面の安全率の変化を考慮して行うのが一般的である。なお、斜面安定解析に重要な豪雨時における地盤内の間隙水圧の変化は、長期的な現場観測によるデータを基に斜面地盤内の浸透流解析を用いて行われる。現状では長期的な安全率が不足している場合には恒久的な対策工を計画することとなる。大規模斜面崩壊・地すべりの長期的な安全性（逆の意味では危険性）を判断する安全率の値は、大規模斜面崩壊・地すべりの規模、想定している対策工の設計条件、災害が発生した場合の被害の大きさ、対策工に要する費用等を総合的に検討して決定するが、一般的には 1.05～1.20 の値を用いている場合が多く、これが対策工の安全率として用いられている。なお、一般には活動中の大規模斜面崩壊・地すべりの安全率は 0.95～1.00 の範囲で設定して土質試験結果を参考として逆算によりすべり面での平均的な強度定数を求める。0.95～1.00 の安全率の選択は活動の程度を考慮して行う。次に大規模斜面崩壊・地すべりの活発化に伴う土塊の移動・堆積範囲の精度の高い推定方法としては、物理法則を基とした、理論的な計算方法がある。この方法は一般にエネルギー保存則と質量保存則を組み合わせて、土塊と地盤との抵抗力を何らかの形で評価することにより行われる。例えば地すべり土塊の到達範囲推定シミュレーション手法を、また、崩土が土石流化した場合には土石流氾濫堆積シミュレーションを用いることができる。これらのシミュレーション手法を用いる場合には対象とする大規模斜面崩壊・地すべりと同様な地質条件等において発生した過去の大規模斜面崩壊・地すべりの事例を参考として、土質定数を決定して計算を行うことが重要である。

## 2.2 山地災害危険度予測システムの必要性と今後の活用方法（日本大学 阿部和時）

### 2.2.1 はじめに

林野庁では崩壊、地すべり、土石流等の発生の確率が高く、保全対象への被害の危険性がある地域を山地災害危険地区として抽出し、治山事業の実施により災害の未然防止に努めている。山地災害危険地区調査は治山事業の効率的な推進のために実施されてきたものであるが、山地災害の発生危険度の高い地域の住民にとっては貴重な災害情報でもある。平成19年度の山地災害危険地区は全国で183,000箇所に及んでおり、多くの地方自治体では、地域住民の安全を確保するための災害情報として、実施した山地災害危険地区調査結果を公表している。この情報により地域住民にはその地域のおかれている災害に関する状況を把握してもらっている。各地域にとって重要な防災対策の一環となっている。

したがって、山地災害危険地区調査要領は科学的な根拠に基づいた手法が導入される必要があり、その調査結果には相応の精度が求められている。

### 2.2.2 これまでの山地災害危険地区調査

林野庁では、昭和47年以降、数回にわたり山地災害調査要領を見直しながら山腹崩壊、地すべり、崩壊土砂流出による災害が発生するおそれがある地区を「山地災害危険地区」として、全国的な調査を実施している。

山地災害危険地区調査の調査基準の見直しの経過については、次のとおりです。

- ① 昭和47年7月：「山地に起因する災害危険箇所の総点検について」を実施。
  - ・ 「山腹崩壊危険地区」「崩壊流出危険地区」「地すべり発生危険地区」の3種類に区分。
  - ・ 崩壊等の発生のおそれと保全対象への被害の危険性を踏まえ、治山事業の施行優先性から定性的に判断して危険度A～Cで判定した。
- ② 昭和53年7月：「山地災害危険地調査について」を実施。
  - ・ 8地区の山地災害被害地の実態調査データをもとに、数量化II類により、災害危険度を点数化した。
  - ・ 昭和57年度を始期とする第6次治山事業五箇年計画に反映した。
- ③ 昭和60年5月：「山地災害危険地区調査について」を実施。
  - ・ 昭和52～56年度及び昭和59年度に調査した19地区の山地災害被害地の調査データをもとに、数量化II類により災害危険度を点数化した（精緻化）。
  - ・ 初めて地域住民に対して公表できるものとした。
- ④ 平成3年9月：「山地災害危険地区の再点検について」を実施。
  - ・ 昭和60年の山腹崩壊危険地区調査要領に落石及び地震調査を追加し、災害危険度に加点する方式を採用した。
- ⑤ 平成7年10月：「山地災害危険地区の再点検について」を実施。
  - ・ 平成7年1月の阪神・淡路大震災を踏まえ、六甲山の実態調査データをもとに数量化II類で、地震による崩壊危険度点数表の見直しを行った。
- ⑥ 平成10年9月：「「災害弱者関連施設」に隣接した林地等の緊急点検調査の実施について」を実施。
  - ・ 平成10年に福島県西郷村をおそった豪雨により、救護施設が被災したことを受け、「災害弱者関連施設」に隣接した林地等においては、崩壊危険度が境界値以下であっても山地災害危険地区的

「準用地区」として取り扱うこととした。

⑦ 平成 18 年 7 月：「山地災害危険地区の再点検について」を実施。

- ・ 調査対象地区を、人家や公共施設等の保全対象を下流に含む集水区域すべてとし、保全対象が集水区域の最高点から高さの 5 倍に相当する距離の範囲内、又は保全対象から見て見通し角が 11 度以上ある山稜が存在する区域に保全対象が存在する地区を調査対象地区とした。
- ・ 地震調査の対象市町村について、「東南海・南海地震対策推進地域」、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域」等を追加した。
- ・ 山腹崩壊危険度点数表における地質区分について、従来の 4 区分から 6 区分に細分化し、また、調査項目は従来の 5 項目（傾斜、横断面形、土層深、樹種、齢級）に、新たに「縦断面形」を加え、各項目の区分の範囲及び配点を変更した。

以上のように、過去の山地災害データをもとに数量化 II 類により表 2. 2.1 に示した山腹崩壊危険度点数表を作成、修正を重ね、山地災害危険地区の評価精度の向上を目指してきた。

加えて、森林地帯のような広大な空間的広がりを持った地域の地理情報の解析・管理に対して、非常にすぐれた働きをする地理情報システム（GIS: Geographic Information System）の普及が近年急速に進んでおり、山地災害危険地区調査も地理情報システムを利用することで広範囲に、かつ迅速に実行できる可能性がある。現実的には GIS ソフトを活用した山地災害危険地区調査手法も多数開発されている。

また、近年の研究の進展によって、崩壊現象は物理的理論に基づいたモデル式によって解明されつつあり、危険地区判定にも将来的には統計則による手法から理論的根拠の明確な物理則による手法へと変換を考える必要があるようと思われる。

ここでは、統計的手法にもとづいた現行の山地災害危険地区調査要領のうち山腹崩壊危険地区調査要領に関する問題点と今後の展望について述べる。

### 2. 2. 3 統計的手法による山腹崩壊危険地区調査要領の問題点

#### （1）崩壊型の問題

統計的手法は判定要因の中に林況と土層深が含まれることからも分かるように、表層型崩壊が発生しやすい地点を抽出する手法である。一般に、表層型崩壊は森林生態系が形成した斜面表層の土壤層が崩壊する現象とみると多くの場合、崩壊土層深も極めて浅いものである。しかし、斜面の地質的構造は非常に複雑で、浸透水が土壤層より深い部分にまで浸透してすべり面が深い位置に生じて崩壊が発生することもけっして珍しいことではない。こうした形態の崩壊発生予測には土層深や林況の影響が評価点で示されるほど大きいとは考えにくい。具体的データはないので明言はできないが、全国各地の山地災害の際に生じた崩壊も当然表層崩壊ばかりではないと考えられる。この点は統計手法による判定精度が高くない大きな原因の一つであると考えられる。

表 2.2.1 山腹崩壊危険度点数表

調査項目	単位	区分	地質					
			第1類	第2類	第3類	第4類	第5類	第6類
1 傾斜 (等高線本数)	% (本)	0-30(3以下)	0	0	0	0	0	0
		31-50(4-5)	14	28	28	28	37	14
		51-70(6-7)	43	85	62	71	77	43
		71-90(8-9)	71	85	74	85	85	71
		91-(10以上)	85	71	85	71	71	85
2 縦断面形		凹型	28	28	28	14	14	28
		平滑	14	14	6	9	0	14
		複合	9	0	0	0	28	0
		凸型	0	14	14	28	6	0
3 横断面形 度		-150	14	28	28	28	28	28
		151-210	28	14	0	28	9	0
		211-	0	0	14	0	0	6
4 土層深	m	0.5m以下	0	0	0	0	0	0
		0.5m超-1.0m以下	9	6	6	6	6	9
		1.0m超-2.0m以下	14	14	14	14	14	14
		2.0m超	28	28	28	28	28	28
5 樹種		N	6	43	14	43	43	14
		L・NL	0	0	0	0	0	43
		その他	43	28	43	28	14	0
6 齢級		-2	28	71	71	62	57	71
		-4	0	71	57	71	71	48
		-8	23	11	11	14	28	14
		9-10	28	0	0	0	14	0
		11以上	71	14	6	0	0	14

注 地質の区分

第1類 第四紀堆積物（シラス、火山堆積物、その他第四紀堆積物）

第2類 新第三紀層の堆積岩

第3類 古第三紀以前の堆積岩（古第三紀層、中生層、古生層）

第4類・火山岩（流紋岩、石英粗面岩、安山岩、玄武岩及びそれらの溶岩）

第5類 半深成岩・深成岩

（花崗斑岩、石英斑岩、粉岩、輝緑岩、花崗岩、閃緑岩、斑れい岩等）

第6類 変成岩（動力及び接触変成岩、片岩類、蛇紋岩等）

## (2) 地域性の問題

昭和 57 年の長崎災害の直後に行われた林野庁の調査で、長崎市地域を対象にした崩壊危険地区判定調査のために崩壊因子の抽出とカテゴリー区分・評価点付けが行われた。この評価点に基づいた危険地区判定を行い、実際の崩壊発生地との照合を行うとの的中率は 15.1% に達した。平成 7 年度の山腹崩壊危険地区調査要領にもとづいた判定を以下の条件で実施した。長崎災害時の森林状態を把握できなかったので、森林全てを 9 齡級とするとの的中率（的中率は「a1、b1 メッシュのうち崩壊が発生したメッシュの数/a1、b1 メッシュの数」とした）は 11.9%、森林全てを 4 齡級とした場合には 7.3% で、的中率は下がった。

山地災害危険地区調査要領は全国を対象として設定されており、判定要因も少なく使いやすい特徴を持っているが、判定精度を重視すると地域性を考慮した判定要領の設定も考慮に値すると思われる。

## (3) 降雨の問題

統計手法は崩壊の誘因となる降雨因子を全く考慮していない。地盤と林況の持つ特性として危険度ランクが高く評価されても、降雨が少なければ崩壊は発生しないし、危険度ランクが低くても降雨が多いければ崩壊するところもある。統計的手法ではあくまでも地盤と林況の持っている崩壊に対する危

険度が評価されるという点を認識しておくことが重要である。言い換えれば、広く住民に危険度を知らせる必要があるときには誘因となる降雨の影響を含めた危険度評価を用いた方が望ましいと思われる。

#### 2.2.4 山地災害危険地区調査の今後の活用方法

地理情報システム、地理データベース、解析手法の進歩等を考えると、従来の統計的評価手法にGISを加えた調査方法、あるいは崩壊現象を評価できる物理則による調査手法によって山腹崩壊危険地区を判定する方向に進むことも考える必要があると思われる。

##### (1) GISと統計的手法の結合による山腹崩壊危険地区調査

この手法は、GISを使用して山地災害危険地区判定で取り扱う標高図・傾斜図・地質図・植生図・河川図などの地図をデジタルデータとして扱い、山腹崩壊危険地区調査要領に基づいて、メッシュごとに評価要因（地質、傾斜度、樹種、樹齢等）の点数付けや、同一メッシュにおける各評価要因の点数の合計計算を行い、山腹崩壊危険地区判定を行うものである。GISの使用により広域を対象にした危険地区判定が可能になり、さらに、判定結果によるハザードマップの作成や、使用したデータや判定結果もデジタル媒体に容易に保管・管理できる等の利点が生じる。現在、多くの危険地調査用ソフトが開発されている。

###### ① 判定作業の全体的な流れ

平成7年10月付けの「山地災害危険地区調査要領」の中の山腹崩壊危険地区調査要領を、GISを用いて実施すると、数千～数十万ヘクタール程度の広域を対象に判定を行えるが、全メッシュの評価因子の合計点数評価までで、被災対象との組み合わせで山腹崩壊危険度（a、b、c等）の評価は行えない。

山腹崩壊危険地区調査に必要な基本的データの収集から、最終的な判定結果の出力までの概略を図2.2.1に示した。

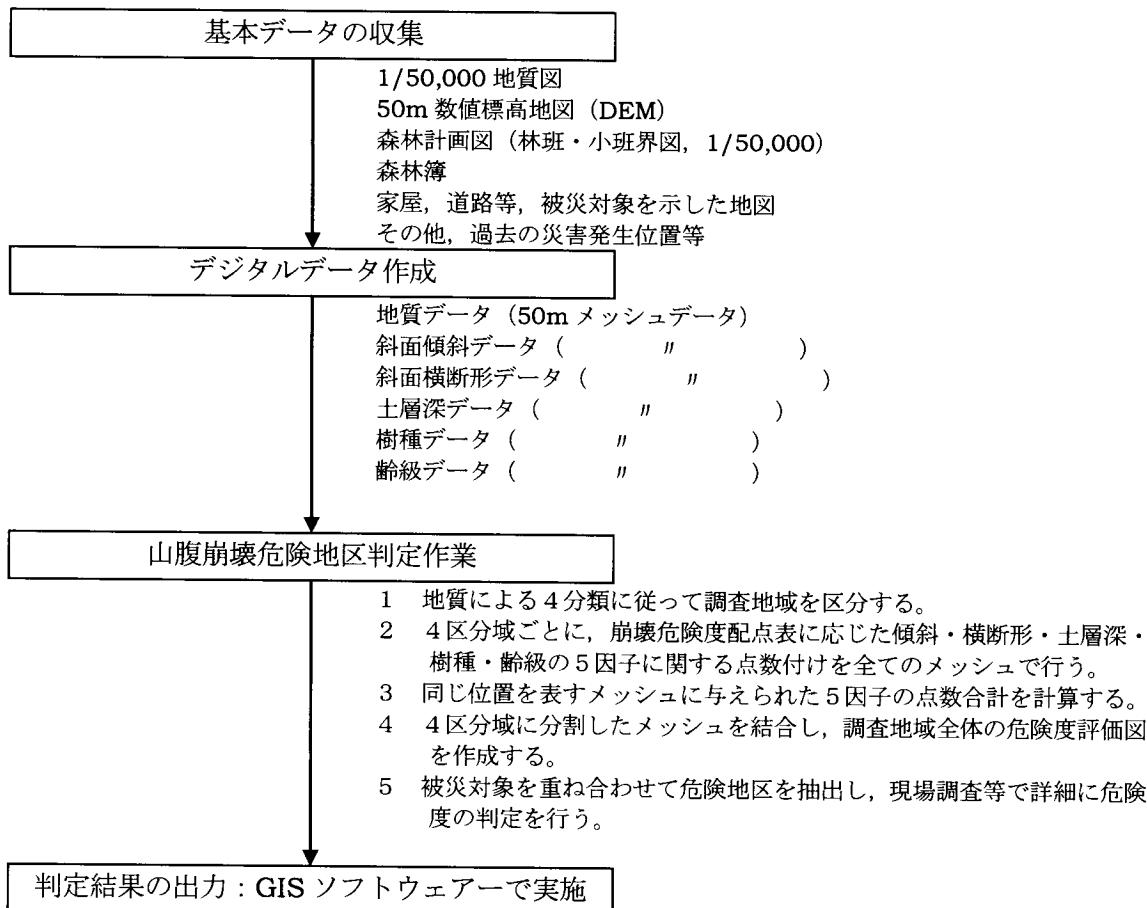


図 2.2.1 GIS を用いた山腹崩壊危険地区判定作業の全般的な流れ

基本的データとしては、地質図・50m 数値標高値図 (DEM: Digital Elevation Model)・森林計画図（林班・小班界が記載されている地図）・森林簿（デジタル化されていればそれを使用する）・被災対象物が表記された地図である。デジタルデータ作成の段階では、調査要領に明記されている地質、傾斜、斜面横断形、土層深、樹種、齡級の各要因の 100m メッシュデータを作成する。

判定作業では、調査要領通りにメッシュごとに山腹崩壊危険度点数の合計値を求め、ランク付けを行う。ただし、合計点によるランクと被災対象の位置関係で決める危険地区の判定まではこの手法では実施できない。

## ② デジタル地理データの作成と課題

山腹崩壊危険地区調査要領に用いる地質・傾斜・土層深・斜面横断形・樹種・齡級データの基本データとデジタル化の問題点を検討する。

### <地質データ>

地質データは 1/50,000 地質図が現在のところ最も詳細な地図であるが、日本全国をカバーしていないため、カバーされていない地域では 1/200,000 地質図を使用しなくてはならない。これらの地質図をデジタル化し、最後に危険地区調査を行うためにデータを 100m メッシュのラスター形式に変換する。

### <傾斜データ>

山地災害危険地区調査要領が示すように、1/5,000 地形図を使用した方が斜面傾斜や斜面横断形をより正確に表現できるが、1/5,000 地形図をデジタル化するには非常に労力を伴うので、現時点で最も精度が期待できる 50mDEM を使用する。50mDEM は 1/25,000 地形図の縦と横を 200 等分して標高を読み込んだ 200 個×200 個の標高値が並んだデータである。

近年、ヘリコプターやセスナ機に搭載したレーザースキャナーによる地形計測手法が発達し、非常に精度の高い標高地図を作成できるので、将来的にはこれを用いて地形に関するデータ作成するようになると考えられる。

#### <土層深データ>

土層深の推定に関する調査研究例は極めて少なく、現在のところ信頼性の高い推定方法は存在しない。僅かに、土層深、傾斜、谷密度の関係に関する調査例がある。

#### <斜面横断形データ>

斜面横断形データは 50mDEM をもとに計算する方法等が考えられるが、50mDEM は 1/25,000 地形図をもとに作成されているので高い精度を期待できない。精度高い斜面横断形データを作成することは重要な課題であり、前述した。レーザースキャナーによる地形データを活用して作成できるものと思われる。

#### <樹種・林齢データ>

樹種・林齢データは森林計画図と森林簿をもとに作成することができる。しかし、現在は多くの都道府県と森林管理局で森林情報のデータベース化が進んでおり、このデータをもとに樹種・林齢のデジタルデータが容易に作成できるものと思われる。

最後に、山腹崩壊危険地調査を行うために全てのデータを 100m メッシュのラスターフォーマットに変換する必要がある。

### ③ 山腹崩壊危険地調査の実施

- 1 地質による 4 分類に従って調査地域を区分する。
- 2 4 分類域ごとに、山腹崩壊危険度配点表に応じた傾斜・横断形・土層深・樹種・齢級の 5 因子について点数付けを全てのメッシュで行う。
- 3 1 つのメッシュに与えられた 5 因子の点数合計を計算する。
- 4 地質 4 分類に分割した地域（メッシュ）を結合し、調査地域全体の危険度点数・ランク評価図を作成する。
- 5 被災対象を重ね合わせて危険地区を抽出し、現場調査等で詳細に危険度の判定を行う。  
これら一連の作業は GIS ソフトウェア上で実施可能である。

### ④ 利点、欠点、判定結果の活用

GIS が普及し、デジタルデータも徐々に整備され市販されるものも増えてきたため、多分野で GIS が活用されるようになっている。山腹崩壊危険地区調査でも使用できるデータが増えてきたため、実用化の可能性を含めて検討する。

#### <利点>

GIS を用いた手法の利点として以下の点が考えられる。

- 広域を対象とした危険地区調査が容易に行える。調査に必要な地理データが準備できれば調査対

象面積は広範囲でも可能である。

- ・ 作業はきわめて迅速である。調査範囲が数万ヘクタールのオーダーになっても、従来の手作業による手法と比べれば判定作業は極めて迅速に行うことができる。
- ・ データの作成、処理、結果の描画等は全てパソコンで行うため、データの保存・解析・出力・管理も容易である。
- ・ 開発行為による土地の改変、森林の伐採、新規被災対象物の設置等、危険地区調査要因に変更が生じた場合にはデータを修正すれば再判定が容易に実施できる。

これらの利点は、現行の手作業による手法ではカバーすることのできない点であり、近い将来は GIS による判定手法が導入されるものと考えられる。

#### <欠点>

欠点としては以下の点が考えられる。

- ・ 地形に関するデータの精度を考えると、山地災害危険地区調査要領では 1/5,000 地形図を使って判定作業を行うように指示されているが、50mDEM は 1/25,000 地形図をもとに作成しているため、精度は低い。現状では国土地理院の 50mDEM を使用することが適当であると考えられるが、空中から正確な地表面の標高を測定して正確なデジタルデータを作成する技術も実用化されているので、より高精度の地形データを作成し、活用することが望ましいと考えられる。特に、住居地域が山地・森林と接して土砂災害の危険性が高い地域では、高精度の DEM の整備が必要であろう。
- ・ 地質データに関しては、地質分類域を決定する破碎帯の位置、流れ盤の斜面、火山岩の風化帯、深層風化の進んだ花崗岩地帯の情報を知ることが重要である。しかし、地質図から正確にこの情報を読み取ることは難しいので、現場調査を行ってその結果を危険地区調査に活用できるようにすることが望ましい。現在の森林簿にも地質が記載されているが、1/50,000 地質図よりも精度の高いものであれば、森林簿データを使用すべきである。

土層深の推定方法を確立することは山腹崩壊危険地区調査結果の信頼性を向上するために重要な課題であるが、現在のところこの点に関する調査研究で顕著な進展はない。したがって、土層深に関するデータの集積と土層深推定方法の研究が進捗することを期待したい。

- ・ 樹種、齢級データに関しては、都道府県、森林管理局が進めている森林データベースから作成することができ、精度も期待できる。森林データベースの作成に着手している都道府県、森林管理局は増えつつあるが、危険地区調査ばかりでなく森林管理の面で非常に有効なデータベースとなるので、全国的に早い完成が期待されている。ただし、各都道府県、森林管理局で作成している、あるいは今後作成される森林データベースが相互に利用可能なように、データのフォーマットをある程度統一するよう検討する必要がある。特に、民有林と国有林が混在する地域では、フォーマットが異なると統一したデータ処理が難しくなる可能性がある。
- ・ この手法では、データさえ入手できれば現場の状況を全く考慮しなくても調査結果が得られ、この結果だけが一人歩きしないように注意する必要がある。

この手法で得られる結果は、上で述べたように課題の残る地形や土層深、森林などのデータをパソコン内で処理したもので、崩壊発生に関連する実際の現場の状況は全く考慮されていないし、治山技術者の意見も含まれていない。したがって、当手法の調査結果だけで何らかの結論を下すには問題があることを認識しておく必要がある。

#### <判定結果の活用>

現時点で、GIS を使用した山腹崩壊危険地区調査結果は、山地災害危険地区調査を実施すべき調査

対象地の絞り込みに活用することが可能と考えている。調査要領では「調査対象地区の選定」として複数の条件があげられているが、基本的には崩壊の発生しそうな地区で調査を行うように述べている。しかし、広域を対象にして調査対象地区を選定するには難しい判断が要求されるので、GISによる判定で示された危険度の高い地区を優先して調査対象地区とすることは効果的な方法であると考えられる。

今後、地形、地質、土層深データにおいて、その精度が向上すればこの手法による判定結果の精度・信頼性も当然向上してくることが期待できる。

## (2) 降雨因子を考慮した山腹崩壊危険地区調査手法

山地災害危険地区においては、特に重点的に治山施設等防災施設を設置し、また警戒避難体制を確立するなど、災害の発生を未然に防止し、尊い人命及び財産等の保護を図る必要がある。地形、地質、森林植生等の崩壊要因だけを用いて山地災害危険地区判定を行っているこれまでの手法から、崩壊誘因である降雨因子を加えた新たな判定手法によって、山地災害危険地区調査の精度向上を図る必要がある。

近年の研究の進展、情報蓄積量の増大によって、山腹崩壊現象は物理的理論に基づいたモデル式によって再現されつつあり、山腹崩壊危険地区調査にも将来的には理論的根拠の明確な物理則による手法を利用するべきと考えられる。

こうした物理則モデルを使用すると、降雨強度、降雨量に対応した山腹崩壊危険地区が判定可能になり、実際の雨量データや確率雨量などに対応した山腹崩壊危険地区の判定が可能になる。例えば、山腹崩壊危険地区のハザードマップも現行の統計手法によって得られた結果では、単に危険と判定された地区の抽出にとどまるが、降雨因子に対応した危険地区が判定できれば、50年、あるいは100年確率時間雨量などに対応した危険地区の特定や、刻々と変化するリアルタイム降雨予測データに対応した危険地区の判定なども可能となる。したがって、危険地区の抽出にとどまらず避難基準雨量の設定をはじめ避難警戒態勢の整備、あるいは新規崩壊土砂量の予測等の治山計画分野等にも活用が可能である。

### ① 降雨因子を考慮した山腹崩壊危険地区調査手法の提案

この手法では以下のような条件を満たすことが望まれる。

- GISと組み合わせて広域を対象とした山腹崩壊危険地区判定が実施できる。
- 連続した時間雨量を入力することによって、時間経過に伴った危険地区の判定を行うことができる。
- 比較的簡易な計算プログラムで特別な知識、技術を必要としない。
- 3次元飽和不飽和浸透流解析で計算される高い精度は期待しないこととし、流域の地形・土質データも高い精度のデータは必要としない。

したがって、このモデルでは統計則モデルとGISの組み合わせで可能であった広域の危険地区調査が可能で、降雨強度データをパラメーターとして判定できる特徴を持つ。以下、このモデルを「簡易物理則モデル」と呼ぶ。

### ② 簡易物理則モデルによる山腹崩壊危険地区調査手法

簡易物理則モデルでは山腹崩壊危険地区調査対象地域（以下対象地域と呼ぶ）を100mの正方形メ

ッシュに区分し、この地域に任意の時間降雨量を任意の時間降らせた場合、各メッシュで崩壊が発生するか、あるいは安定しているかを判定することができるものとする。基本的なモデルの構成は以下の通りである。

#### <調査対象地域の地理データ作成>

- ・ メッシュ数値標高地図

対象地域全体を 100m 程度の正方形メッシュに区分する。メッシュの数に制限はないが、縦（南北方向）のメッシュ数  $m$ 、横（東西方向）のメッシュ数  $n$  の方形とする。各メッシュには標高値を記録しておく。

- ・ 斜面勾配

各メッシュの勾配を計算し記録する。この計算は各メッシュの標高値をもとに行う。GIS ソフトを使用すると簡単に計算できる。

- ・ 流線

各メッシュに降った雨は表層土中に浸透して飽和帯を形成し測方流が生じる。この測方流の流れの方向を、標高データをもとに対象地域全体で求めておく。

- ・ 表層土の厚さと粘着力、内部摩擦角、飽和透水係数

表層土の厚さは場所によって異なり、土中水の浸透計算と安定計算をする上で重要な因子となる。表層土の厚さはメッシュごとに推定することになるが、具体的な手法は提案できない。各調査地域で斜面傾斜角や斜面横断角などの地形因子で推定する方法や、あるいは現地で見られる崩壊跡地で計測するなどして、推定方法を考える必要がある。

表層土の粘着力、内部摩擦角は現場から試料を採取し、せん断試験を実施して求めることになる。あるいは現場と同種の土質の粘着力、内部摩擦角を採用することになる。

飽和透水係数も現場から試料を採取し、飽和透水試験を実施して求めることになる。あるいは現場と同種の土質の飽和透水係数を採用することになる。

- ・ その他の土質要因

斜面の安定計算を行う上で必要な表層土の単位体積重量、間隙比、初期含水比を全てのメッシュに与えておく必要がある。調査対象地域ごとに適切な値を採用する。

- ・ 森林の崩壊防止力

森林計画図に基づいて林齢データを作成して、森林が持つ表層崩壊防止力を考慮する。森林の表層崩壊防止力は「スギ」について力学的に表す手法が提案されているので、広葉樹林、ヒノキ林でもスギ林と同様の崩壊防止機能があるものと仮定して森林の崩壊防止力を計算する。その際に、崩壊すべり面の深さ（土壤層の厚さ等しい）が 1.5m より厚くなる斜面では、根がすべり面まで成長することは容易ではないと考えて、崩壊防止効果ないと仮定する。

#### <簡易物理則モデルの構成>

図 2.2.2に簡易物理則モデルの全体的な構成を示した。ここでは、気象庁から発信されるレーダーAMeDAS 6 時間降雨予測データを降雨因子として使用する場合を説明する。

この降雨データを、インターネットを介してダウンロードする。次に、降雨データと傾斜、横断角、崩壊防止機能に関するそれぞれの GIS データと、土の粘着力、内部摩擦角、単位体積重、間隙比等のデータをこのモデルに入力して、全てのメッシュで崩壊が発生するか否かを 1 時間後から 6 時間後ま

で 1 時間ごとに計算し、その結果を出力させる。

図 2. 2.3には簡易物理則モデルを使って表層崩壊危険度予測を行うためのモデルの概要を模式的にまとめた。対象地域は正方形のメッシュデータとして取り扱うようにした。はじめに、各メッシュの表層土厚さを計算する。つぎに、森林の崩壊防止力と粘着力、内部摩擦角、透水係数等の土質定数を使い、各メッシュで無限長斜面安定式により斜面安全率が 1.0 を下回るのに必要な土壤水分量  $W_0$  を予め計算しておく。なお、側方流が流れる方向は計算を行っているメッシュを取り囲んでいる 8 個のメッシュのうち、一番勾配が急な方向に位置するメッシュに集中的に流下すると仮定した。また、すべり面より下層にも土中水は浸透するように仮定した。

#### <簡易物理則モデルによる山腹崩壊危険地区調査例>

1 時間降雨強度 100mm とし、3 時間連続で与えた場合の計算結果を図 2. 2.5, 図 2. 2.4に示した。1 時間後には崩壊面積率で約 1.1%、3 時間目で 4.7% になった。

降雨因子を考慮した山腹崩壊危険地区調査方法について述べた。ここで述べた手法には改良の余地が多くあるが、降雨因子を加えることにより得られる調査結果は降雨強度や降雨量、確率雨量などに応じた山腹崩壊発生の危険性が評価されるので、治山事業の効率的な実施や、地域での防災情報としても大変有効な情報になるものと考えられる。

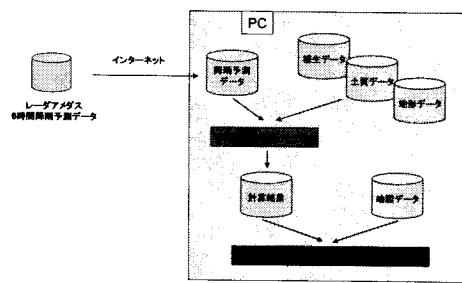


図 2.2.2 簡易物理則モデルの全体構成

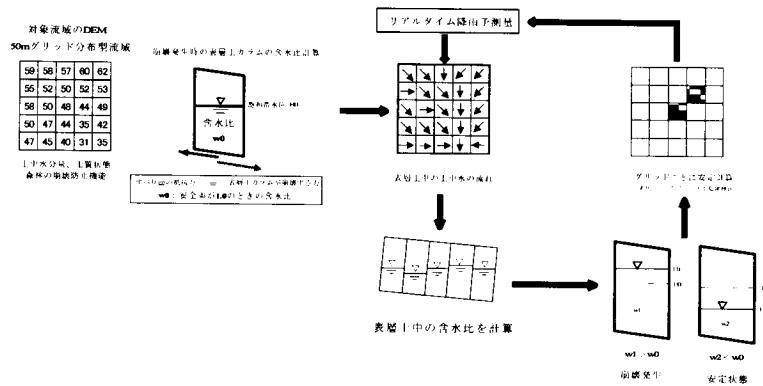


図 2.2.3 簡易物理則モデルの概要

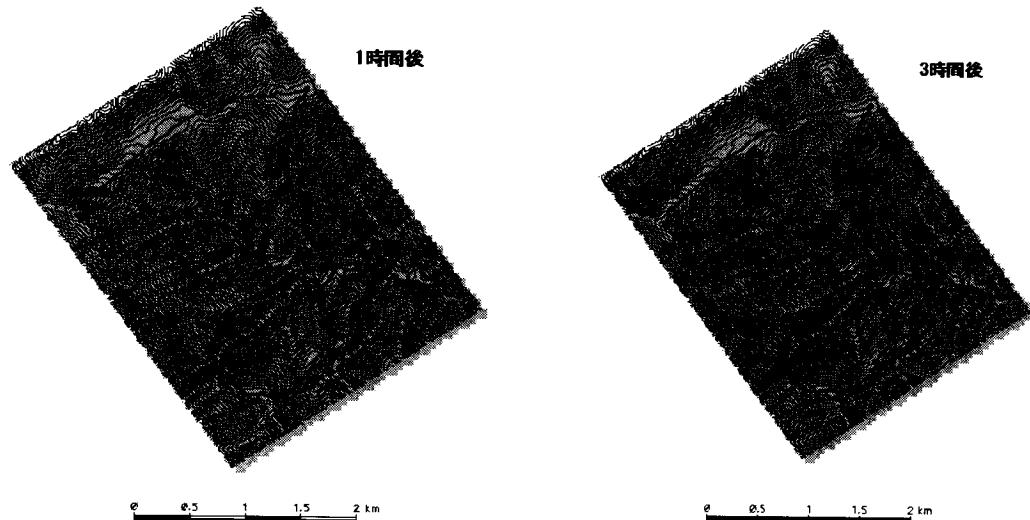


図 2.2.4 100mm/h の降雨が 1 時間続いた後の山腹崩壊危険地た

図 2.2.5 100mm/h の降雨が 3 時間続いた後の山腹崩壊危険地

## 2.3 山地災害危険区マップを活用した災害情報システム

(静岡大学 土屋智)

### 2.3.1 林務関係部署の果たす役割

#### (1) 山地災害危険区マップ

最近の土砂災害について、例えば平成18年長野県岡谷市や平成21年山口県防府市の土石流災害をみると、その発生源は森林地帯の尾根に近い場所で発生した斜面崩壊である。森林管理といった観点からは、そのような場所における斜面崩壊の発生ポテンシャルに関する情報を把握していたかが問われるのではないか。森林概況（林況）は当然として、例えば崩壊の発生と規模に関する素因として土壤性状、土壤深、斜面傾斜等がどの程度に定量化され把握していたかである。このような斜面崩壊の発生場としての素因把握は、広域にデータ取得を行う必要があり、一般的には、間接的な評価手法によるデータと現地測定したデータを組み合わせ、対象とする流域に展開するといった方法がとられる。したがって精度の問題はあるにしろ、基礎データを収集し広域に斜面災害の発生危険度を評価しておくことは不可能なことではない。

当該域での的確な避難勧告や避難指示を発するには、上記のような情報に基づいて災害ポテンシャルを評価し“危険個所マップ”を準備し公表しておくことが必要である。これらの基礎データは測定精度の向上により更新されることが想定されるし、伐採や植林などの林況変化があればこれも更新が容易に行えるようGIS化しておくことが効果的ではないかと思われる。

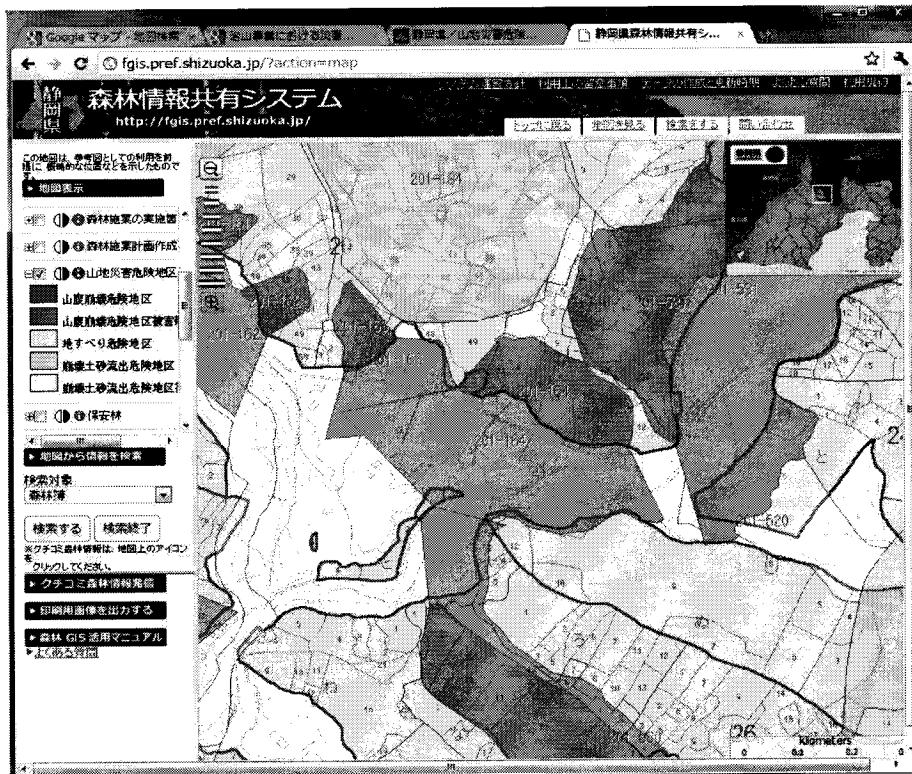


図 2.3.1 静岡県の山地災害危険区の表示

(<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-720/conservation/dangerousarea001.html>)

山腹崩壊危険地区、崩壊土砂流出危険地区、地すべり危険地区の3種類に区分されている)

林野庁では、集落等に近接する地域で実施する治山事業に加えインターネットを活用し山地災害危険地区等の情報を地域住民に提供することを進めており、に示すような山地災害危険区マップが県単位で公表されている。しかしながら、表示区域は、やや広範囲にわたる領域が色づけされており、土砂災害時の警戒避難情報として使用するには、集落に近い渓流や斜面については林況、傾斜、斜面勾

配、土壌厚などの土砂移動に関する素因を取り込んだより細やかなマップが必要であろう。このようなマップはまた、ハード対策を進める際に構造物の設置箇所に関する判断材料をも提供するため、詳細化を図る必要性は高い。災害防止のためには、素因把握のほか、誘因である降雨情報の収集と効率的な伝達も欠くことはできない。豪雨以外の融雪や積雪、火山等に関しても“危険箇所マップの森林版”の準備は必要ではないかと思われる。

## (2) 今後の山地災害危険区マップの作成

の山地災害危険区マップに地形条件、土質条件、水文条件を考慮して、どの箇所が相対的にどの程度危険であるかを評価できる詳細マップが必要ではないかと思う。当面は、集落に近い斜面を対象とすべきで、これには広域評価を可能とするモデル（水分条件から斜面安定度を評価できるモデル）を構築する必要があると考えている。例えば、当該域においてグリッド状に標高値（DEM）が与えられるならば、斜面の安全度はグリッド単位で評価できる。山地災害として表層崩壊までを対象にするのであれば、グリッドサイズは平面10m格子が望ましく、各格子点の標高値が与えられなければならない。これが準備できれば、傾斜分布、集水域、流路分布などは市販のGISソフトにより容易に解析可能である。さらに土質条件が与えられれば、広域レベルで当該域における斜面安全度の評価が可能となろう。

### 2.3.2 山地災害マップの作成事例

#### (1) はじめに

土砂災害を回避、あるいは軽減対策をより効果的に行うためには、表層崩壊や深層崩壊といった斜面崩壊の発生を予測することが求められており、そのためには危険箇所を抽出する必要がある。しかし、斜面崩壊の発生メカニズムは、地形・地質・土質・植生といった素因と降雨等の誘因が複雑に絡み合っており、斜面崩壊の発生場所と規模を予測することは極めて難しい。リアルタイムに予測しようとすれば、地下の構造や水の流れに関する膨大なデータを必要とし、限定された範囲を対象としても膨大な時間と労力、費用がかかる。広域を対象とした危険箇所の抽出は斜面崩壊地の発生予測には必ずしもダイレクトにはつながらないかも知れないが、相対的な危険度評価が可能であれば、土砂移動現象の発生ポテンシャルの高い流域をピックアップすることが可能であり、その結果を参考に詳細な調査等を行えば、治山事業の展開にとってより効率的である。

ここでは、広域を対象に降雨を起因とする土砂移動現象、とりわけ表層崩壊の発生に対して、斜面安定解析モデルの適用により、危険斜面を相対的に抽出することを試みる。本研究に適用するSINMAPはPackら(2005)によって開発され、地形条件として数値標高データ(DEM)を利用し、地質条件を加味し斜面の安定性を相対的に評価する方法である。DEMの作成には、近年の写真測量技術を応用し衛星画像を利用した。これには、作成時の測量にかかる労力を必要としないことや、航空写真を撮るための制約を受けないといった利点があることによる。

山地流域で斜面崩壊の危険性を評価するためには、少なくとも地上20m×20m以下のメッシュサイズのDEMを利用することが望ましい。2006年に打ち上げられたALOS衛星は、地上精度は2.5mで前方視、直下視、後方視の3方向撮影が可能なPRISMセンサを搭載しており、その画像から作成されるDEMは十分解析に耐えうると考えられる。ここでは、陸域地球観測技術衛星「だいち」(ALOS)のPRISMセンサにより撮影された画像からDEMを抽出し、SINMAPを適用し、安倍川上流域の土砂移動現象の発生ポテンシャルを評価し、区分された小流域の土砂災害の発生危険度を相対的に評価するこ

とを試みた。

## (2) 数値標高データ (DEM) の抽出

数値標高データ (DEM) は、地表面の地形デジタル表現であり、地理情報システム(GIS)を用いて地形の解析を行う場合、地形量の基本となるデータとして広く利用される。砂防分野における DEM の利用としては、斜面崩壊危険度の予測をはじめ、斜面崩壊跡の抽出、斜面崩壊規模の推定、土砂移動現象の発生場の特性把握などある (太田ら, 2008 ; 白石ら, 2007, 斎藤ら, 2007)。

国内における DEM 作成は、測量により得られた地形図を基に作成する方法 (「数値地図 50m メッシュ (標高)」(国土地理院), GISMAP (北海道地図株式会社) 等) が用いられていたが、近年では、航空機に搭載したレーザスキャナにより取得される三次元データを基に DEM を作成する方法や、写真測量技術を利用して航空写真や衛星画像から DEM を作成する方法も開発されており、より高解像度な DEM の作成が可能になっている。

ALOS 衛星は 2006 年 1 月 24 日に打ち上げられ、標高など地表の地形データを読みとる「パンクロマチック立体視センサ (PRISM)」、土地の表面の状態や利用状況を知るための「高性能可視近赤外放射計 2 型 (AVNIR-2)」、昼夜・天候によらず陸地の観測が可能な「フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ (PALSAR)」の 3 つのセンサが搭載されており、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源調査などへの貢献が期待されている。

衛星画像から DEM を作成する場合、高精度かつ安定した標定が必要であるが、高解像度衛星の標定においては、センサ及び軌道に関する詳細な情報が公開されていないため、中心投影モデルのような幾何学的な関係を用いるのではなく、一般化されたパラメータを用いる代数学的モデルの適用が期待される。山川ら (2002) は、IKONOS 衛星画像において 4 つの代数学的モデルを用いて標定実験を行い、軌道情報を基に算出されるパラメータが画像と共に提供されることを前提とされる RPC モデルと、軌道情報を必要としない他の 3 つのモデルが同程度の標定精度が得られることを明らかにし、中でも 2 次元アフィンモデルは少ない基準点で安定した解析特性を示すことを明らかにした。ここでは、ALOS に搭載された PRISM によって撮影された直下視と前方視の 2 枚の画像を用いて、ステレオマッチングを行い、2 次元アフィンモデル (山川ら, 2003) による標定を行い、10m × 10m メッシュの DEM を作成した。

### 1) 抽出方法

ステレオマッチングにより、直下視と前方視の 2 枚の画像で対応するピクセル座標を求める。まず、後方視画像に  $60 \times 60$  pixel の格子状に  $61 \times 67$  個、計 4087 個のポイントをタイポイントとして、それぞれのタイポイントに対応する直下視画像のピクセル位置を目視により求めた。これにより、地上のある点に対応する画像上の後方視画像ピクセル座標 ( $x_l, y_l$ ) と直下視画像ピクセル座標 ( $x_r, y_r$ ) が与えられる。

次に、タイポイント間の各ピクセルに対応する直下視画像上の対応点をウインドー相関法により自動マッチングで求めた。具体的には、後方視画像のあるピクセルを中心に  $9 \times 9$  ピクセル範囲の画像を取り出し、直下視画像上では仮定した対応点を中心に同じ  $9 \times 9$  ピクセル範囲の画像をとり、これを探索ウインドーとして縦方向に ±5 ピクセル、横方向に ±2 ピクセル移動させ、最も相関係数が高いピクセル位置を対応点として認識させた。

## 2.3 DEM の作成

DEM を作成するには、ステレオマッチングにより定めた対応点と地上座標の関係を定量化する必要がある。ここでは2次元アフィンモデルを用いて、標定パラメータを算出し、画像の各点の絶対座標を求めるにした。2次元アフィンモデルは、人工衛星画像の画角が狭く、平行投影に近いことに着目したアフィン幾何学に基づく標定モデル（服部ら, 2003）で、アフィン式を採用することにより、中心投影式で問題となるオーバーパラメタリゼーションが回避され、より少ないパラメータで安定した標定が行えるものである。

$$\begin{aligned}x_l &= a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4 \\y_l &= b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4 \\x_r &= c_1X + c_2Y + c_3Z + c_4 \\y_r &= d_1X + d_2Y + d_3Z + d_4\end{aligned}$$

ここに、 $x_l, y_l, x_r, y_r$ ：後方、直下画像のピクセル座標、 $X, Y, Z$ ：地上座標、 $a_1 \cdots a_4, b_1 \cdots b_4, c_1 \cdots c_4, d_1 \cdots d_4$ 未知係数である。ここで、右辺の未知数を左辺に移行し、それぞれを  $I$ 、 $A$ 、 $X$  とすれば下記のようになる。

$$\begin{bmatrix} x_l - a_4 \\ y_l - b_4 \\ x_r - c_4 \\ y_r - d_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \\ d_1 & d_2 & d_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad I = \begin{bmatrix} x_l - a_4 \\ y_l - b_4 \\ x_r - c_4 \\ y_r - d_4 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \\ d_1 & d_2 & d_3 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

これより、 $X, Y, Z$  は次式により求められる。

$$R = A^{-1} I$$

上記の16個の未知係数は最小二乗法を用いて定めた。これには、4点以上の基準点が必要になるため、Google Earthを用いて6点の（地上  $X, Y, Z$  座標）を取得し、対応する箇所のピクセル位置を後方、直下視画像から求めた。

### (3) 土砂移動現象に関する危険度評価

#### 1) DEM を利用した土砂移動現象

広範囲で崩壊危険度予測を行う場合、DEM を利用するのが有効で、太田ら（2006）50mDEM を用いて地形解析を行い、この精度では個々の斜面崩壊の危険性を評価することは困難であるとした。個々の斜面での斜面崩壊の危険性を評価するには、高解像度の DEM が必要で、三浦ら（2005）解像度 1m の DEM を用いて、都市域での危急傾斜崩壊危険箇所の抽出を行った。水田ら（2006）は、10m メッシュ DEM を用いて豪雨による斜面崩壊の危険度をリアルタイムで予測するシステムの試作を行った。斎藤ら（2007）は 15m メッシュ ASTER-DEM を用いて、広域の地形量と地質データから地すべりが発生する流域の特定を試み、地すべり発生流域を推定するために重要な説明変数には、主として地質、斜面形状、傾斜の寄与が大きいことを示した。

今回使用する SINMAP は分布型斜面安定解析ソフトであり、DEM の各セルに標高データなどの地形情報、土の粘着力、地盤物性値などから、安全率を基にした斜面安定指数を算出することにより、斜面の安定性を相対的に評価することができる。SINMAP は簡便に広域で表層崩壊の危険度を評価できるので、海外でも利用されている（Lan et al., 2004; Legorreta et al., 2009）。ここでは、衛星画像から抽出した DEM を SINMAP に入力し、解析対象地のセルごとの斜面安定性を評価し、土砂災害の発生危

険度を相対的に評価することを試みた。

## 2) SINMAP とその特徴

SINMAP (Pack et al., 2005) は、流域内の斜面崩壊や土石流の発生危険度を評価するため、米国ブリティッシュコロンビア州の森林部門の支援でユタ大学とコンサルティング会社が開発した危険度評価手法である。いわゆる定常モデルであり、降雨強度の時間変化を取り込んで経時に変化する危険度を与えるものではなく、斜面崩壊や土石流が何時発生するかを予測ことには適用できない。また、このモデルは流域を幾つかの小集水域 (Contributing area) に分割して、それぞれの小集水域を降雨の流出単位としている。したがって、小集水域の地形的な特徴によって異なる流出特性が組み込まれ、山地域における降雨流出特性が反映されたモデルであるといえる。

このモデルの安定度評価は、内部摩擦角と粘着力を土質強度パラメータとした無限長斜面を仮定した安定係数をベースにしている。間隙水圧は、上流側等高線に挟まれた集水域の大きさに応じた定常状態の地下水水面の深さが与えられ、安定係数は各メッシュに与えられたこれらのパラメータとともに算出される。得られた各メッシュの安定係数に応じて、クラス 1 から 5 の安全度の分類が行われ、対象流域内各メッシュの斜面崩壊や土石流の発生に関する危険度評価が行われる。

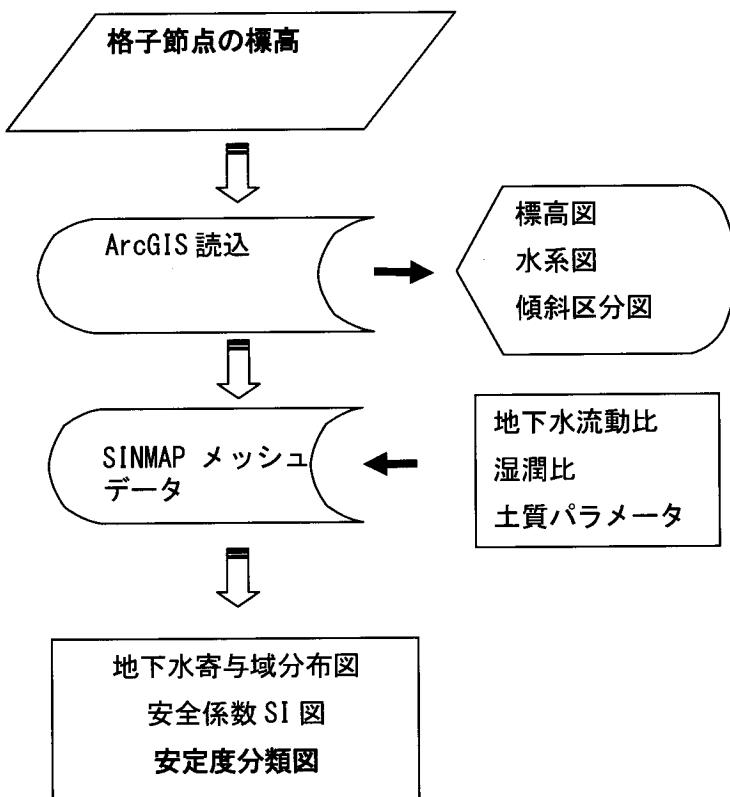


図 2.3.2 SINMAP による斜面安定度評価の流れ

この危険度評価手法の特徴は、市販 GIS ソフト (arcGIS, esri 社製) に一つのアプリケーションとして組み込まれており、水文状態の取り扱いが容易なことである。たとえば、安定係数の評価に欠くことができない地形データ (標高) の入力は、GIS ソフトが有する入力フォーマットをそのまま利用できる。また入力すべき地形データは、メッシュ区分された格子節点の標高値のみで斜面方向などは自動的に計算処理される。安定係数評価に用いる各パラメータは、透水係数比、土質定数、間隙圧比、土層深で、これらは各メッシュに与えられるパラメータで、SINMAP 経由で与える必要がある (図 2.3.2)。

#### (4) SINMAPによる斜面の危険度評価方法

##### 1) 無限長斜面安定

SINMAPによる斜面安定解析は、無限長斜面(図2.3.3)を対象にした安定解析式を適用している。

$$FS = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta \{ \rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w \} \tan \varphi}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad \dots (1)$$

ここに、 $C_r$ は根系粘着力、 $C_s$ は土の粘着力、 $\theta$ は斜面傾斜角、 $\rho_s$ は土の湿潤密度、 $\rho_w$ は水の密度、 $g$ は重力加速度( $9.81 m/s^2$ )、 $D$ は土の鉛直方向深、 $D_w$ は地下水位の鉛直方向深、 $\varphi$ は土の内部摩擦角である。 $\theta$ は斜面傾斜を示す( $\tan^{-1} S$ で求められ、 $S$ は単位水平距離に対する鉛直距離で与えられる)。

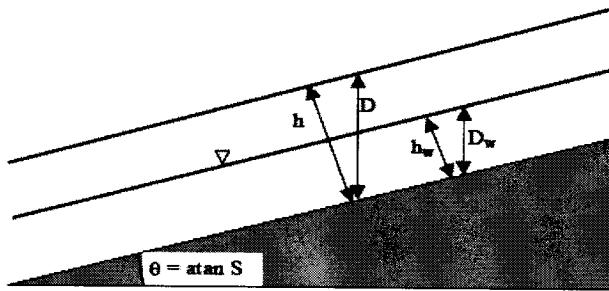


図2.3.3 無限長斜面の模式図

ここで $h = D \sin \theta$ とし、 $w$ を湿潤比として $w = D_w / D = h_w / h$ 、粘着力成分を合計、密度比を $r = \rho_w / \rho_s$ とすると以下のように(1)式が無次元化される。

$$FS = \frac{C + \cos \theta (1 - wr) \tan \varphi}{\sin \theta} \quad \dots (2)$$

式(2)からわかるように土層深はパラメータではなく、湿潤比 $w$ がその代用になっている。したがって、SINMAPから求められる安全率は、 $w$ の取り扱いが重要である。

##### 2) 湿潤比 $w$

図2.3.4に示すように、当該地点の上流側で地下水を供給する区域を $A$ 、そこでの等高線の単位長さ $b$ として、寄与域を $a = A/b$ で定義する(地下水は等高線と直角に流れるものと考えている)。ここで以下の仮定をおこなう。

- ・どの個所でも浅層での側方流動は傾斜に従って流動し、その寄与域は図2.3.4に従う。
- ・どの個所においても側方流入は、定常流入 $R$ と等しい。
- ・側方流れの深さは $T \sin \theta$ で与えられ、 $T$ は土壤透係数量で透水係数に土壤厚を乗じたものである。

上記の過程から、側方流出量 $q$ は $Ra$ で与えられる。また、深さ方向の透水係数の減少は考慮せず、平面的にも一定であるとする。これにより、湿潤比 $w$ は以下のように定義される。

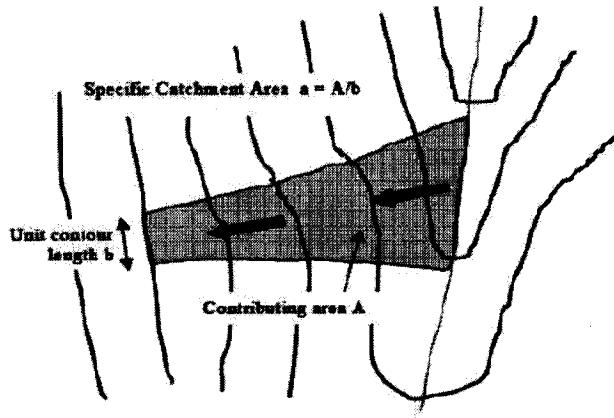


図 2.3.4 濡潤比  $w$  を定めるための寄与域の取り扱い

$$w = \min\left\{\frac{Ra}{T \sin \theta}, 1\right\} \quad \dots \quad (3)$$

濡潤比  $w$  の上限は 1 であり、過剰分は地表を流下するものとする。(3) 式における  $R/T$  比（地下水流動比）は側方流入と側方流出の容量を示している。なお、地下水の動きは定常状態を仮定しているが、 $R$  の時間は時雨量、日雨量の単位で考慮し、与えられなければならない。

### 3) 安全係数 $SI$ の定義

(1) 式で定義した安全率は、(3) 式を用いることにより、以下のように記述される。

$$FS = \frac{C + \cos \theta \{1 - \min\left\{\frac{R}{T \sin \theta}, 1\right\} r\} \tan \phi}{\sin \theta}$$

すなわち、変数は地形変化と地下水に関する  $a$ 、 $\theta$  であり、パラメータは  $C$ 、 $\tan \phi$ 、 $R/T$  で、 $r$  は一定で 0.5 と近似できる。

ここで、 $C$ 、 $\tan \phi$ 、 $R/T$  のパラメータごとに、それぞれの最小値、最大値に関する安全率係数  $FS$  の感度を調べることにする。 $C$  を  $C_1, C_2$ 、 $x$  ( $= \tan \phi$ ) を  $x_1, x_2$ 、 $t$  ( $= R/T$ ) を  $t_1, t_2$  とすると、最小の安全係数  $SI$  はで表される。

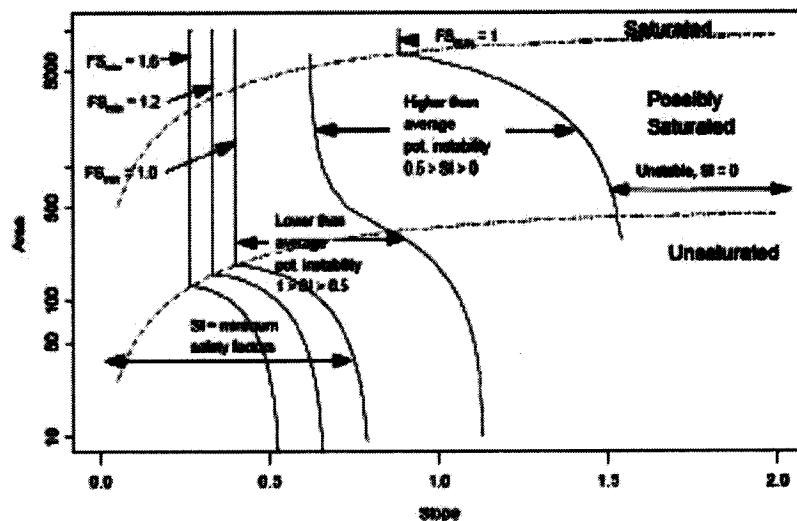


図 2.3.5 寄与域 (Area) と傾斜 (Slope) の違いによる安全係数  $SI$  の変化

表 2.3.1 斜面安定度の判断基準

分類	安定係数	斜面状態
Class 1	SI>1.5	安定斜面
Class 2	1.25<SI<1.5	比較的安定
Class 3	1.0<SI<1.25	疑似安定
Class 4	0.5<SI<1.0	低い不安定
Class 5	0.0<SI<0.5	高い不安定
Class 6	SI<0.0	不安定斜面

$$SI = FS_{\min} = \frac{C_1 + \cos \theta \{1 - \min\{x_2 \frac{a}{\sin \theta}, 1\} r\} t_1}{\sin \theta}$$

上式で安全率が 1 以下であれば崩壊が発生していることになるが、パラメータの空間的な不確実性があり、現実  $R$  は時間的変動もしている。このことを考慮して、 $FS_{\min} < 1$  の時の安全係数を  $SI = \text{Prob}(FS < 1)$  とした。最も安全度が高いケースは  $C = C_2$ ,  $x = x_1$ ,  $t = t_1$  の時であり、

$$SI = FS_{\max} = \frac{C_2 + \cos \theta \{1 - \min\{x_1 \frac{a}{\sin \theta}, 1\} r\} t_2}{\sin \theta}$$

で表される。 $FS_{\max} < 1$  の時には、安全係数を  $SI = \text{Prob}(FS > 1)$  とした。

確率表記した  $SI$  の変化を、 $a$  (Area),  $\theta$  (slope) の変化とともにグラフ化すると図 2.3.5に示す結果がえられる。図をもとに  $SI$  値の範囲を分類すると、 $SI > 1 (FS_{\min} > 1)$  の範囲、 $0 < SI < 1$  の範囲、の範囲に  $SI = 0 (FS_{\max} < 1)$  区分される。

また、図 2.3.5に基づいて安全係数  $SI$  ごとに安定度を評価・分類すると、表 2.3.1に示す基準が作成でき、対象流域の斜面安定度を評価することができる。

## (5) 解析結果

### 1) 解析対象地概要

解析対象地は図 2.3.6に示すように静岡県静岡市を流下する安倍川の上流域とした。安倍川は大谷嶺八紘嶺・安倍峠に源を発し、駿河湾に注ぐ一級河川であり、流域面積  $567 \text{ km}^2$ 、流路延長  $53.3 \text{ km}$  である。

流域面積に占める山地面積は  $90.4\%$ 、平地面積は  $5.6\%$  である。安倍川流域は急勾配な地形と複雑で脆い地質のうえ、年降水量が  $2000\sim3000 \text{ mm}$  と多く、土砂災害の発生しやすい条件がそろっている。

解析対象地は、上流は有東木から下流は門屋まで、の流域面積  $181 \text{ km}^2$  の範囲であり、玉機橋付近で支流の中河内川と合流している。他にも西河内川などの支流もあり、12 の支流がある。地質は、流域面積の大部分が瀬戸川層群に占められ、主に砂岩、頁岩、砂岩・頁岩互層、さらにタービタイト、

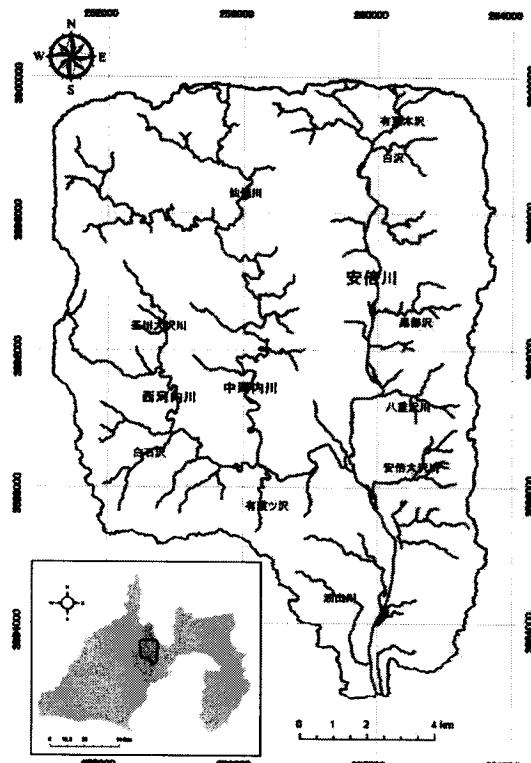


図 2.3.6 解析対象領域（安倍川上流域）

石灰岩、玄武岩質火碎岩からなる。これらの瀬戸川層群の地層は褶曲・破碎作用の結果、もろく崩れやすい地質となっている。

## 2) 解析画像と DEM 抽出結果

解析画像には陸域地球観測技術衛星「だいち」(ALOS)に搭載されているパンクロマチック立体センサ(PRISM)で撮影された画像を用いる。PRISMは可視域を観測する光学センサで、地表を 2.5m の分解能で観測することができる。標高を含む地形データを取得するために、衛星の進行方向に対して前方視、直下視、後方視の画像を同時に取得している。直下視では 70km、前方視と後方視では 35km のそれぞれの観測幅を持つ。前方視と後方視は地心方向に対して±約 24°、衛星方向に対して取り付けられており、これにより高精度の地形データを取得することが可能である。解析では、2008 年 4 月 6 日に撮影された、直下視と後方視の 2 枚の画像を用いて、ステレオマッチングを行い 2 次元アフィンモデルから 10m 精度の DEM を求めた。解析に用いた直下視画像は、伊豆半島西部から西は大井川に及ぶ範囲で、静岡市全域をほぼ網羅しており、後方視画像は、解析領域を中心と直下視画像の約半分をカバーし静岡市の領域のほとんどが含まれる。図 2.3.6 には解析領域を中心に切り出した DEM を ortho 画像として示す。

## 3) 斜面安定解析結果

一般的な入力パラメータ（表 2.3.2）とともに SINMAP により解析対象地の斜面安定解析を行うと、図 2.3.8 に示す結果が得られた。全体的に見ると、河川の流路周辺に青色 (Class 1-3) が多くみられ、山地部では赤色 (Class 4-6) と青色がまだらになっている。

安定度を示す Class の頻度分布を見ると（図 2.3.9）、Class 1 (安定斜面) が 44% と最も多く、以下、Class 4 (やや不安定) が 18%，Class 6 (不安定) が 16%，Class 5 (高い不安定) が 10%，Class 3 (やや安定) が 9%，Class 2 (比較的安定) が 3% であった。安定度 Class 1-2 をより安定な領域（以下、安定域）、Class 5-6 をより危険な領域（以下、危険域）として大きく区分すると、安定域は 47%，危険域は 26% を占める。

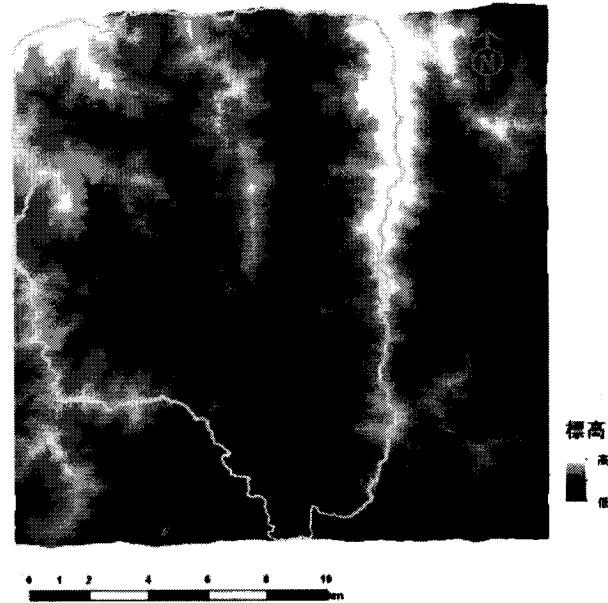


図 2.3.7 Ortho 化した DEM 画像

表 2.3.2 入力パラメータ

<b>C</b>	<b>最小値</b>	0.1
<b>C</b>	<b>最大値</b>	0.25
$\phi$	<b>最小値</b>	35°
$\phi$	<b>最大値</b>	45°
T/R	<b>最小値</b>	2000m
T/R	<b>最大値</b>	3000m
r		1/2.65

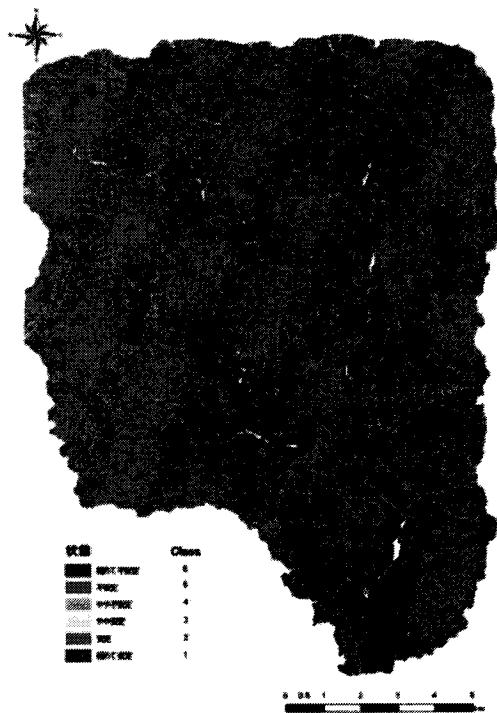


図 2.3.8 解析領域の安定解析結果

#### 4) 安倍川支流域の相対危険度の評価

解析対象地は流域面積 181k m<sup>2</sup>と広範囲にわたり、多くの支流も含んでいる。ここでは表 2.3.3のように、流域を 17 の小流域に分けて、解析対象地内で特に危険な流域を特定する。

小区分した流域ごとの安定域と危険域の頻度分布を比較すると(図 2.3.10)，安定域は小流域⑦が最も高く、小流域⑤が最も低い。危険域は小流域③が最も高く、小流域の小流域⑦が最も低くなつた。表 2.3.3から、危険域の上位 3 つと平均傾斜の上位 3 つがともに小流域①，③，④であり、また下位 3 つがともに小流域⑮，⑯，⑰となつてゐる。そこで、危険域の頻度と平均傾斜を比較してみると高い相関があることがわかる。危険域の上位は、解析対象地内の上流域のほうであり、流域の上流ほど傾斜が急な所が多く、危険度が高まる傾向になると考へられる。

上記のように解析対象地内で相対的に危険な流域は安倍川上流域、仙保川流域、有東木沢流域、白沢流域である。また、解析対象地の最下流域や安部大沢川流域は相対的に安定と評価できる。

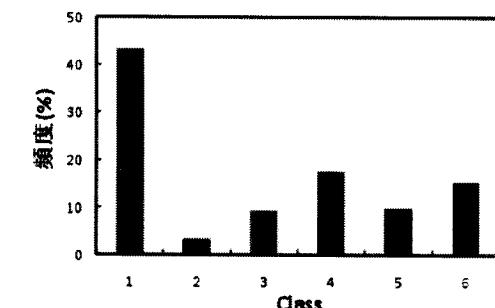


図 2.3.9 安定度を示す各 Class の頻度

表 2.3.3 小流域区分

流域番号	平均傾斜(°)	平均標高(m)	斜面方向	SI5-6(%)	説明
①	35.1	633	北東	29.8	解析対象地の安倍川最上流域
②	33.1	835	南西	27.6	有東木沢と白沢流域
③	33.5	520	南東	30.2	①と②の合流域
④	35.0	748	南西	29.2	仙保川流域
⑤	33.0	793	南西	27.4	安倍川の支流域
⑥	31.8	551	南西	27.1	③から⑯までの黒部沢と八重沢川を含む安倍川流域
⑦	32.5	759	南東	25.6	中河内川上流
⑧	32.9	486	南西	26.6	④と⑦の合流域から西河内川と合流するまでの中河内川流域
⑨	32.0	660	南東	24.8	玉川大沢川流域
⑩	31.2	674	北東	23.4	西河内川上流
⑪	30.7	396	南西	23.4	⑨と⑩の合流域から⑫に合流するまでの流域
⑫	32.3	643	北東	27.3	白石沢と西河内川支流
⑬	28.7	355	北東	21.7	西河内川と合流してから安倍川に合流するまでの中河内流域
⑭	31.1	506	北	24.1	⑫から中河内川と合流するまでの西河内川流域
⑮	27.3	289	北東	20.9	安倍川、中河内川、安部大沢川の合流域
⑯	27.9	509	南西	20.3	安部大沢川流域
⑰	26.8	321	平地	19.8	解析対象地の安倍川最下流域

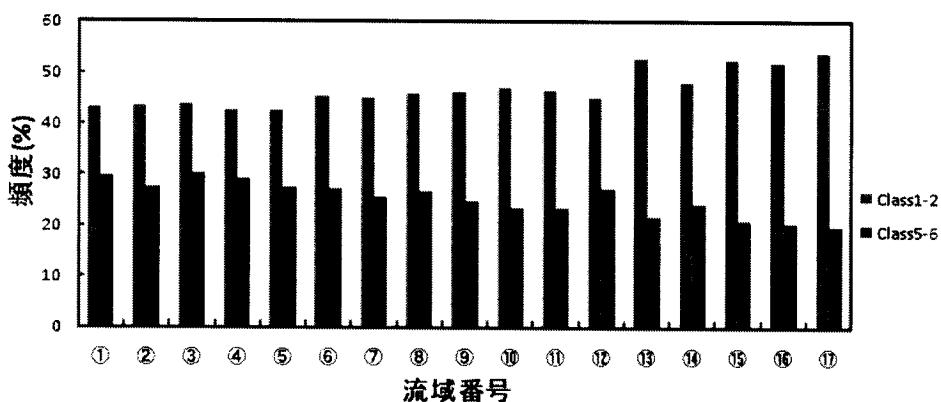


図 2.3.10 区分した小流域と安定域 (Class1-2)，危険域 (Class5-6) の占める割合

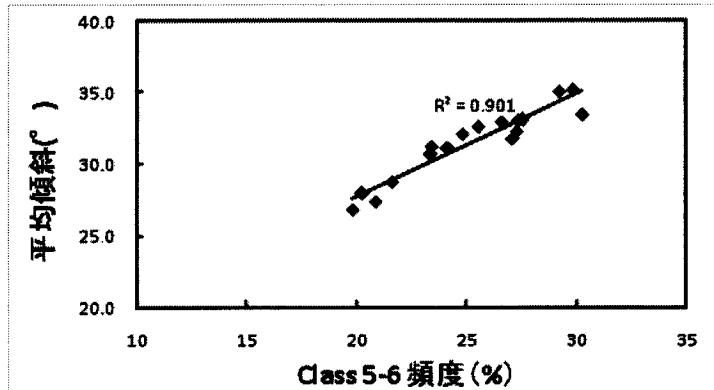


図 2.3.11 流域の平均傾斜と危険域（Class5-6）の対比

最後に、区分した解析対象地を 17 の小流域で危険域の占める割合と流域の平均傾斜を対比すると、平均傾斜が大きくなるほど、危険域の割合が多いことがわかった（図 2.3.11）。解析対象地内では、上流部ほど傾斜がきつく、相対的に危険なのは安倍川上流域と仙俣川流域、有東木流域、白沢流域で、当該下流域や大沢川流域は相対的に安定と評価された。

#### 引用文献

- 太田岳洋 (2006) : 数値地図 50m メッシュ（標高）による三浦半島における斜面崩壊地の地形的特徴に関する検討, 応用地質, Vol.46, No.6, pp.331-340.
- 太田岳洋・長谷川淳・高見智之・川村晃弘 (2008) : 土砂災害地形にかかる現地形と植生変化の影響, 応用地質, Vol.49, No.4, pp.204-216.
- 斎藤仁・中川大地・松山洋 (2007) : Decision tree による地すべり発生流域の推定とその検証—ASTER データを用いて—, 日本地すべり学会誌, Vol.44, No.1, pp.1-14.
- 白石貴司・筒井健・中川英朗・江崎哲郎 (2008) : 高分解能衛星画像を用いた台湾小雪渓流域における土石流に伴う土砂移動分析, 応用地質, Vol.49, No.1, pp.23-33.
- 服部進・山川毅・小野徹・長谷川博幸 (2003), アフィン投影に基づく衛星ラインスキャナ画像の標準法, 土木学会論文集, Vol.730, pp.1-13.
- 三浦弘之・翠川三郎・井上聰史 (2005) : 高解像度数値標高モデルを用いた都市域での急傾斜地崩壊危険箇所の抽出手法, 地域安全学会論文集, No.7, pp.299-306.
- 水田敏彦・菅原達哉 (2006) : 数値標高モデルに基づく豪雨によるリアルタイム斜面崩壊危険度予測システムの開発, 地域安全学会論文集, No.8, pp.7-14
- 山川毅・Clive Frasey・Harry Hanley (2002) : 高解像度 IKONOS 衛星画像を用いた精密 3 次元計測, 写真測量とリモートセンシング, Vol.41, No.2, pp.36-43.
- 山川毅・Clive Frasey・Harry Hanley (2003) : IKONOS 衛星画像の標定, 日本測量学会年次講演会, G-2.
- Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., Li, R.H. (2004) : Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China , Engineering Geology, Vol.76, pp.109-128.
- Legorreta, P.G. (2009) : LOGISNET: A tool for multimethod, multiple soil layers slope stability analysis, Computers & Geosciences, Vol. 35, No. 5, pp. 1007 – 1016.
- Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N. (2005): SINMAP user's manual, p.65.

### 2.3.3 警戒避難のための情報伝達システム

#### (1) 降雨観測網の構築と集中管理

山地災害危険区マップが作成され、対象とする流域内で相対的により危険な個所の抽出ができる、斜面崩壊、土石流などの土砂災害の発生予測には、時々刻々と変化する降雨量の時間変化に基づいた判断が必要である。

気象庁が実施している土砂災害警戒情報は、降雨から予測可能な土砂災害のうち避難勧告等の対応が必要な土石流や集中的に発生する急傾斜地崩壊を対象としている。この限定は、土砂災害の発生が個々の斜面における植生・地質・風化の程度、地下水の状況等に大きく影響され、災害発生箇所、時間、その規模等を詳細に特定することができないことが大きく影響しており、結局のところ土砂災害警戒情報は、降雨の実態に基づいて発せられることになる。

詳細な土砂災害情報を発信し、山村を含む森林山地内で生ずる斜面崩壊や土石流などによる土砂災害を軽減するには、現行のアメダス(AMeDAS)より狭域な雨量観測網の整備が必要である。これは、山村が位置する山地地域は、一般的に斜面の比高が大きく降雨分布には地形効果が影響するためである。降雨実態に即した警戒避難を発布するには、地形効果による雨量の違いが反映されるよう狭域(数  $\text{km}^2$  に 1 個所)の観測網を構築することが望ましい。

当該域に配置した雨量観測網はテレメータ等により伝送し集中管理することが望ましい。森林管理署、出先事業所における集中管理も考えられるが、市町の消防署とタイアップして集中管理し、警戒避難体制を構築することも考えられる。以下には、消防署独自で設置した事例を紹介する。

平成 9 年 7 月 13 日兵庫県宝塚市つつじが丘で土砂崩れが発生し、一家 4 人が犠牲になったことをうけて、宝塚市は「地域防災計画」を全面的に見直し、設置主体(国、県、市)が異なる市内の雨量計からの雨量情報を一元管理するシステムを開発し、避難勧告等の基準雨量を設定した。既存雨量計 9 個所(市街域 8 箇所、3km メッシュに 1 個所と山間部 1 箇所)をテレメータ化し、その雨量情報を市役所と(24 時間監視体制の)消防本部のカラーモニターに送信し一元管理をした。設定基準を超

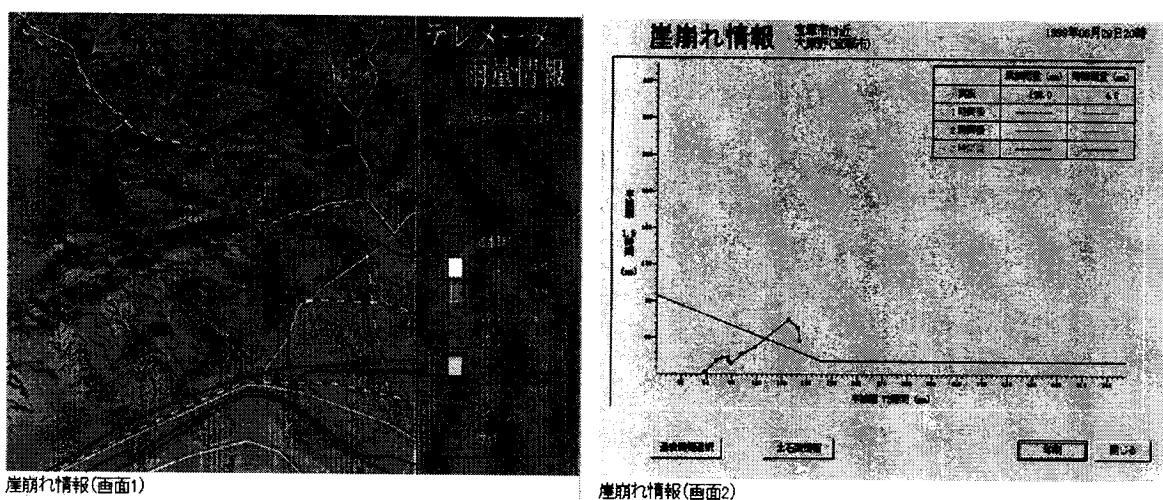


図 2.3.12 兵庫県宝塚市が消防部局と開発した雨量計集中監視システム  
([http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B742&ac2=&ac3=638&Page=hpd2\\_view](http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B742&ac2=&ac3=638&Page=hpd2_view))

える雨量があった場合は画面に表示するとともにブザー等で知らせるシステムで、各地点の時間雨量が 10 分ごとに表示されるほか、降り始めからの連続雨量や過去のデータを利用できる。これにより「崖崩れ情報」「土石流情報」が得られ、地域住民に対し適切な避難勧告が可能となっている(図 2.

3.12)。このようなシステムが運用されれば、土砂災害の発生を左右する豪雨情報が地域住民に直ちに伝達されることになり、住民の警戒避難は迅速に進むことが期待される。

## (2) 降雨以外の情報収集

土砂災害に関する雨量以外の情報には、豪雨時に刻々と発現する土砂移動現象に関する情報があげられる。土砂災害に直結する土砂移動現象には、小規模なものには住宅裏山のがけ崩れから土石流、深層崩壊、地すべりなどがあげられるが、甚大な土砂災害を発生させる恐れが高いのは、集落上流で発生した土石流や規模の大きな斜面崩壊（深層崩壊）にともなう河道閉塞であり、これに関しては素早い実態把握が欠かせない。このため、保全上重要度が高い渓流などでは、治山堰堤等を利用した流量観測を行い、上流での河道異変にともなう急激な出水・減水をキャッチし近隣の住民にブザーやパトライドで情報伝達することが望まれる。

また、地震により不安定堆積した土砂の二次移動による災害から地域住民を保護するには、被災現地に土石流センサーや監視カメラなど設置が必要である。土石流センサーは、渓流を横断するように設置されたワイヤーが土石流の通過とともに切断されると、信号が発信され警報装置（サイレン、赤色灯）が作動して、土石流が接近中であることを下流域の住民に知らせることができ、地域住民の迅速な警戒避難を支援することができる。ただし、土石流センサーの切断が土石流の通過ではない場合もあり、このため監視カメラを併設しその確認が必要である。

### 2.3.4 災害情報の収集伝達用機器の整備と管理基準

前節に紹介した「警戒避難のための情報伝達システム」を整備し実効ある体制を構築するには土砂や地盤の移動を感じるセンサーからの時々刻々の変化を把握し、その変動状況に応じた避難の準備、勧告、指示が発せられる必要がある。土砂移動現象が小規模であれば、ハード対策が可能であり比較的短期間に安定した斜面を形成することができるので、工事期間の突発的な土砂移動の把握に主点が注がれよう。しかし、地すべりのように移動土塊の規模が大きく、ハード対策が長期間に及ぶ場合や、下流側の重要な保全対象物が存在するようなところでは、警戒避難のための情報伝達システムを構築するために災害情報の収集伝達用機器の整備が必要であり、その運用を予め定めておく必要がある。ここでは、既に運用されている由比地区地すべり自動観測システム（関東森林管理局、平成13年）を紹介したい。

## (1) 導入概要

静岡県静岡市由比町今宿では、1974年（昭和49年）の地すべり災害やそれ以前の大規模な土砂災害の経験を踏まえて、抜本的な地すべり対策の必要性が高まり、3次にわたり林野庁所管の地すべり直轄対策事業として実施されてきたが、平成12年度に概成となった。これにより翌13年度から静岡県にその管理が移管された。しかし事業は概成であっても、当該地区の土砂移動の危険性が無くなつたわけではなく、来る東海沖大地震や予想を超える豪雨の際には、土砂災害の発生を拭い去ることはできず、このようなイベント時における兆候の早期把握および警戒避難体制の確立を図る必要があった。このため、地すべり挙動を監視する自動観測システムを活用し、地すべり防止施設の維持管理、豪雨や地震による地すべりの再活動、土石流、山腹崩壊等の山地災害全般を監視しこの地区の防災対策に資する目的で、由比地区地すべり自動観測システムを構築することになった。

管理基準値と対応する警戒避難は、初期警戒から避難指表示まで、  
表  
2.3.4に示すように“平常”，“注意”，“警戒”，“避難”として設定された。また、既往の地すべり自

動観測システムに導入されているセンサー類は 表 2.3.5に示すとおりであり、雨量計、間隙水圧計、地中伸縮計、孔内傾斜計、地震計による管理基準値が設定可能であった。

表 2.3.4 管理基準値と警戒避難体制

管理基準値	意味	警戒避難体制
レベル0	平常	-
レベル I	注意	第1次体制
レベル II	警戒	第2次体制
レベル III	避難	第3次体制

表 2.3.5 自動観測システムの計測センサーと管理基準値

センサー	測定データ	数量	管理基準値
雨量計	雨量	3	時間雨量・日雨量
間隙水圧計	地下水位	12	危険水位
地中伸縮計	地すべり移動量	15	時間移動量・日移動量
孔内傾斜計	動量	3x15	動量・累積移動量
地震計	地震加速度	3方向x2深度	最大加速度

## (2) 管理基準値の設定

土砂災害の規模や様相が土砂移動現象により異なることを考慮すると、管理基準値の設定方法は土砂移動現象ごとに決めることが求められる。しかしながら、各レベルの管理基準値に達した場合、警戒避難を受け取る住民側とこれを告示し運用する行政側の対応を考慮すると、土砂災害の管理基準レベルと警戒避難措置とは同様な意味合いを持たせるべきであり、土砂災害の種類が異なっても同じとすべきである。つまり、地すべりでレベル I, II, IIIに対応して警戒避難体制も第1次、2次、3次といった質量ともにレベルアップした対応になる。このことは、山腹崩壊・土石流でも同様であり、降雨以外の誘因である地震の場合も同じである。また、山腹崩壊・土石流により引き起こされる土砂災害は、誘因としての降雨や地震により地下水上升（あるいはせん断抵抗力の低下）があり、これらが山腹崩壊や土石流の発生につながっている。当該自動システムは、任意斜面の地下水変動は計測していないので、管路基準値は雨量と地震諸値による。一方、地すべりに関しては、一般に地すべり移動量が管理基準値として採用されているケースが多いが、雨量も地すべりの誘因であり、補助的な管理基準として（雨量が）利用できよう。

表 2.3.6 土砂災害管理基準とその内容

管理基準レベル	内容	地すべり		山腹崩壊・土石流		地震 地震階
		孔内傾斜計	地中伸縮計	日雨量	時間雨量	
レベル I	注意	0.3mm/日または累積移動量3mm	10.3mm/日または累積移動量12mm	100mm (70mm)	30mm (20mm)	震度 V 弱
レベル II	警戒	1mm/日	5mm/日	180mm (130mm)	50mm (35mm)	震度 V 強
レベル III	避難	0.3mm/時が2時間継続または0.6mm/時以上	0.7mm/時が2時間継続または1.6mm/時以上	400mm (280mm)	70mm (50mm)	震度 VI 弱以上

※日雨量、時間雨量の括弧内は地震後の暫定基準値とし、専門家による検討で再設定する。

一方、地すべり対応の管理基準値の項目は、一般に地すべり移動量であるが、雨量等についても地すべりの誘因となっており、補助的な管理基準値項目として利用するのが望ましい。地すべり移動量の予知については地表伸縮計データをもとに3次クリープ特性から崩壊までの時間を予測することが行われているが、由比地区の場合には、この地表伸縮計に相当するのは地中伸縮計と孔内傾斜計のデータを適用できる。また地震（水平加速度）と地すべりとの関連が不明であるため、地震と地すべり

移動量との関係による管理基準値は設定しない。

地震については、「地すべり」と「山腹崩壊・土石流」の誘因となる他、過去の震災事例からも家屋の倒壊、火災の発生を引き起こし、大規模地震の場合には人命損失に至ることが少なくない地震については、震度階または地震加速度を取り上げ、それぞれの管理基準値レベルを整理してまとめると表2.3.6のとおりである。

## 参考文献

林野庁関東森林管理局東京分局、由比地区地すべり自動観測システムに係る管理基準値設定業務報告書、平成13年3月

### 2.3.5 警戒避難体制の構築にあたり考慮すべき事項

#### (1) 避難の実際と課題

ここでは、土砂災害に遭遇し実際に住民避難を行った二つの事例（金子ら、1999；瀬尾ら、1999）を取りあげ、土砂災害の発生時の避難についてレビューし、課題を取りまとめる。

新潟県佐渡地方の事例（瀬尾ら、1999）では、区長をはじめとする地元住民が、降雨が強さを増す前に家屋の周辺や河川の状況等を自ら点検し、いち早く危険を察知することで人的被害を免れている。区長の判断指示・連絡に対し地区住民のみならず隣接地区の区長も迅速に対応しており情報伝達に関する防災活動や日常でのつき合いが防災対策上重要であることが認識される。一方、広島の事例（金子ら、1999）を被災地住民に対する災害発生後の聞き取り調査結果次のような課題が指摘されている。

- ・住民の多くはどういうときに土石流が起きるのかということを知らず、短期間の豪雨を土石流発生に結びつけることができなかつた。
- ・土石流の前兆現象を事前に把握している人もいたが、それを避難行動に結びつけることができず、結局、土石流の発生を目前に見てからとっさに逃げている。
- ・自分の住んでいる場所が危険であることを知っている人は少なく、知っていたとしても自分が被害を受けるとは思わなかつた。

したがって、行政機関は土砂災害の現象的特性、土砂災害の発生する降雨特性、土砂災害発生に伴う危険度等を具体的でわかりやすく住民に周知することが大切であるとまとめている。また佐渡地方の事例でも、区長が「どの程度の雨量で逸水、山腹崩壊が発生するのか全くわからず直感で行動せざるを得なかつたことが不安であった。」と述べていることから、土砂災害に関する具体的な知識は乏しいことが指摘されている。

#### (2) 留意事項

以上のことから水路、河川・溪流の溢水、山腹崩壊、土石流を含めた危険個所と警戒避難のための基準雨量の提示を行政サイドに求めていることがわかる。すなわち、地域住民にあっては、土石流に関する具体的な知識が不足していること、土石流の特性や前兆現象に基づいた避難がなされていないこと、土砂災害の危険性に対する認識が低いこと等があげられる。これらを総合的に勘案すると効率的な警戒避難体制を確立するには次の事項に留意する必要がある。

##### ① 管理基準値の設定と警戒避難体制の確立

土砂災害に関する管理基準値レベルを設定し、管理基準値に到達した時、住民や行政サイドがどのような対応をするかを定めておく必要がある。また実際に災害が発生した際に迅速に対応できるように自動観測システムからダミーの警報を発しシミュレーションを行う等、事前準備（避難

訓練) を行うことが有効であると考えられる。

② システムを利用した情報の伝達

警戒・避難時には危険地域のパトロールの実施など情報収集が有効であるため、情報収集方法を確立するとともにこれらを住民にフィードバックする必要がある。その際、地域住民からの情報提供の場を設け（一方通行的な情報伝達ではなく）、双方向の情報伝達手法を確立しておくことが有効である。

③ 住民への啓蒙活動

住民が、土砂災害の誘因、特性、前兆現象など土砂災害現象に対する正しい知識をもつことができるよう、地域住民に対して土砂災害に関する啓蒙活動を進めることが求められている。また災害危険区域図や避難場所を提示し、住民の災害に対する危険性の認識を高める必要がある。迅速に避難行動が取れるよう、住民のとるべき行動をまとめたパンフレット等を作成することも有効な啓蒙手段と考えられる。

### 2.3.6 警戒避難体制の解除発令基準

#### （1）地すべりの避難解除基準

地すべりの活動によりレベルⅡ、レベルⅢの状態に至り警戒避難体制が敷かれた場合、現地の当該地すべりの活動状況を勘案して、解除を判断することになる。

① 実際に地すべりが再活動した場合

- ・地すべりが停止し、再滑動の危険性がなくなったことを確認する。
- ・被災地のライフライン（交通、電気、ガス、水道等）が復旧したことを確認する。
- ・立ち入りが可能かどうかを確認する。

② 地すべりが再活動に至らなかった場合

- ・管理者による調査や専門家を交えた検討により、地すべり発生の危険性がなくなったことを確認する。
- ・降雨、地震による地すべり再滑動の危険性は専門家によって検討し、必要な場合は第1次～第2次体制を継続する。

台風や集中豪雨により時間雨量や日雨量の管理基準を超え、山腹崩壊・土石流等の土砂災害の発生危険性が高まった後に、避難を解除するには次のように行う。先ずは、現地対策本部要員により、下記項目を現地調査で確認し、災害の危険性がないと判断された段階で巡回解除を行うこととする。

① 現地状況の確認

- ・山腹崩壊が発生していないこと、土石流を発生させ得る不安定土砂がないこと。
- ・または応急対策工事が実施され災害の危険性がないこと。
- ・道路やライフラインが正常で生活に支障がないこと。

② 今後の気象情報から降雨が終結した段階であること

なお降雨、地震による土砂移動の危険性を検討し、必要な場合は第1次～第2次体制を継続する。

震度V強、震度VI弱の地震が襲った場合、現地対策本部要員による現地調査結果だけではなく、地震予知連絡会等による今後の地震活動の予測を参考に、余震による土砂災害の危険性がないと判断された段階で避難解除を行うこととする。

## ① 現地状況の確認

- ・山腹崩壊が発生していないこと、土石流を発生させ得る不安定土砂が存在しないこと。
  - ・または応急対策工事が実施され災害の危険性がないこと。
  - ・道路やライフラインが正常で生活に支障がないこと。
- ② 今後の降雨でも土砂災害の発生危険性は著しく低いことを確認。
- ③ 地震活動がほぼ終息し、震度V弱以上の余震発生の可能性が著しく低くなり、土砂災害発生の危険性がなくなったこと。

## 参考文献

- 金子正則・南 哲行・緒続英章：1999年6月29日広島市における土砂災害発生時の住民の行動実態（速報），砂防学会誌，Vol.52(4)，p.33-38，1999）
- 瀬尾克美・原口勝則・高橋幸彦：平成10年8月4日 新潟県佐渡地方の土砂災害における地元住民の対応と教訓，砂防学会誌，Vol.52(1)，p.35-40，1999）

## 2.3.7 治山施設の被災事例と原因

前線活発化や台風通過に伴う集中的豪雨により、治山施設が被災する事例が少なくない。近年の温暖化にともなって、災害が発生する経験的な降雨強度である時間50mm/時以上の発生頻度は次第に高くなり、連続降雨量1000mmを超す豪雨も度々現れるようになった。ここでは、平成22年9月

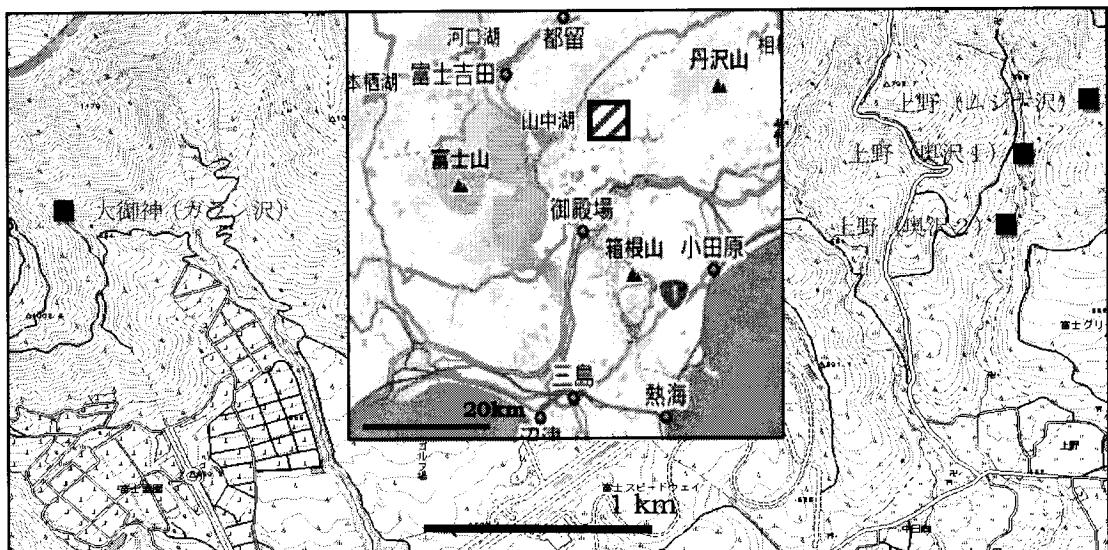


図 2.3.13 2010年9月8日台風通過による駿東郡小山町における渓間工被災位置図

に台風9号の通過により、静岡県駿東郡小山町で発生した治山施設の被災（図2.3.13）をとりあげ、その原因を考察する。

### (1) 災害概要

静岡県駿東郡小山町周辺は、平成22年9月8日台風9号の通過にともなう短時間豪雨（図 2.3.14）で斜面崩壊や洪水等の災害が発生した。小山町では9月8日の午前7時からの降雨が16時に最大時間雨量118mmを観測するとともに24時間雨量は490mmに達した。この豪雨による人的被害は生じなかつたが、小山町を流れる鮎沢川左支流域では治山施設が多量出水に伴う浸食などにより、転倒、沈下変形、袖部洗堀等を生じた。

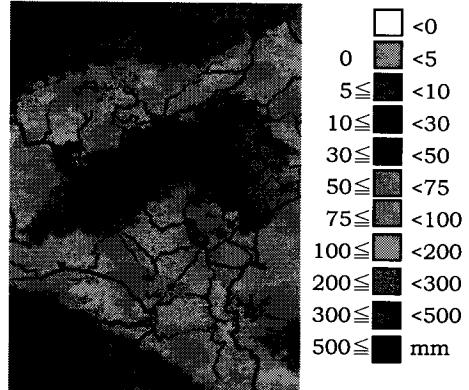


図 2.3.14 9月8日のレーダー解析雨量

### (2) 降雨と被災状況

台風9号は9月8日午前11時頃福井県敦賀市付近に上陸し日本列島を横断するように東方に進み午後3時に熱帯低気圧に変わった。この時の豪雨分布は図 2.3.13に示すように、小山町鮎沢川の左支川流域に500mmを超える豪雨をもたらした。このため、当該流域では多量出水に伴う浸食により治山施設が被災し、沈下変形や袖部洗堀から転倒した治山堰堤もあった。

### (3) 被災状況

#### 1) 大御神（ガラン沢）地区

ここでは、鋼製自在枠の堰堤群（帶工、流路工、床固工）が約40mにわたり、基礎部の洗堀とともに不等沈下で接合ボルトが破損し、堰堤機能を維持するには不可能な状態に変形した。

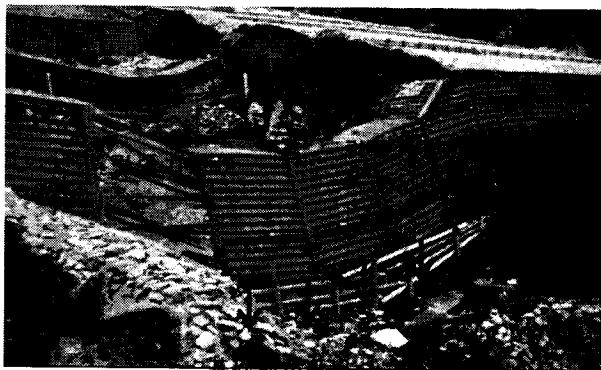


図 2.3.15 ガラン沢の鋼製枠谷止工の沈下  
鋼製自在枠の基礎部が洗掘され沈下し、両袖部分に中央部に向かう引張力が作用している。基礎地盤の洗掘の影響が少ない部分が、固定端の状態となり、接合ボルトおよび部材が破損している。)

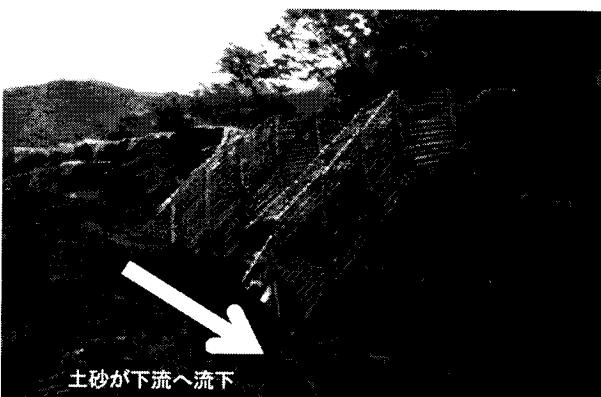


図 2.3.16 ガラン沢の鋼製枠谷止工  
の破損

（基礎部の洗掘により、鋼製自在枠の支持が失われ、破損。底スクリーン材は、変形しているものの接続は保たれた状態にあり、鋼製自在枠中詰材の底部からの流出は見られない。）

## 2) 上野（ムジナ沢）地区

ここでは、平成18年度設置の谷止工2基で挟まれた約35mの区間が、左岸側の斜面崩壊と浸食により大きく被災した。区間下流に設置された谷止工は転倒、上流の谷止工は左岸袖部が露出したほか、床固工2基と流路工も左岸側の斜面の浸食崩壊により流失・破損した。



図 2. 3.17 左岸浸食崩壊により被災した谷止工・床固工

(豪雨により左岸に浸食崩壊が発生し下流側谷止工が不安定となり、上流側谷止工間詰流出、その後下流谷止工倒壊)

## 3) 上野（奥の沢1）

上野（奥の沢1）では、平成16年に設置した谷止工が中央部から2つに折れ転倒した。これは、豪雨に伴う多量の出水で流下した立木や土砂が放水路に引っ掛かり洪水の通水を妨げたため、洪水の本体が左岸側を集中流下し破壊に至る流水力を生じたことが原因とされる。

## 4) 上野（奥の沢2）

上野（奥の沢2）では、平成20年度設置谷止工において、奥の沢1と同様に上流部から流出した倒木によって放水路が閉塞され、流水が左岸袖部に回って異常洗刷された。このため、谷止工そのものに大きな損傷はなかったが、左岸袖部が洗い出され露出した状態となつた

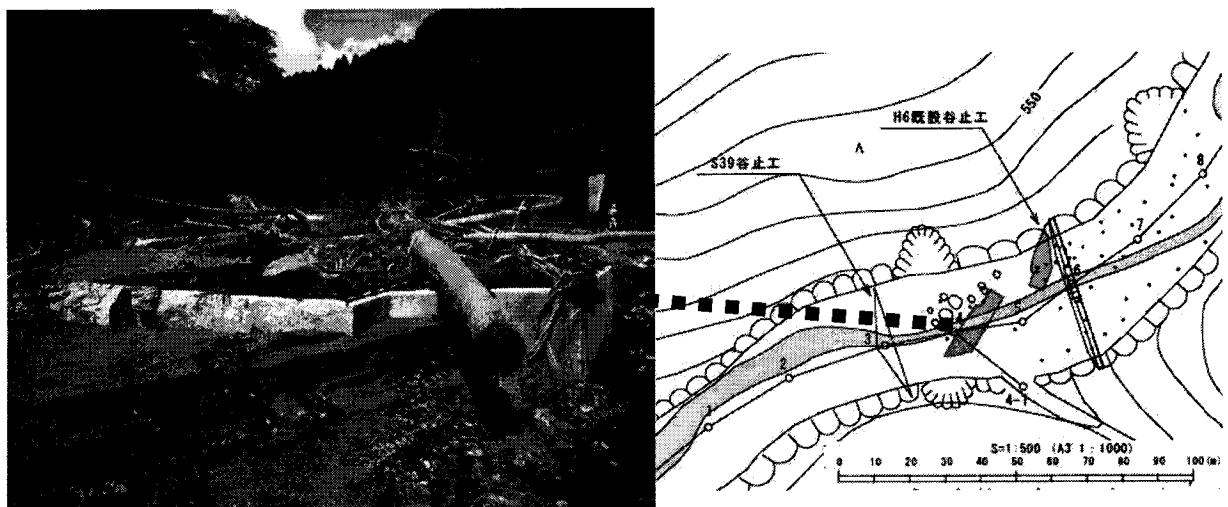


図 2. 3.18 中折れし倒壊した谷止工（平成6年施工）の左岸部

（被災直前には放水路まで満砂の状態であった。上流から流出した土砂及び流木が、谷止工の上流に堆積し放水路の通水を阻害、袖部に異常な水圧が作用して中折れ転倒ると考えられる。底部の異常浸食があったかもしれない？）

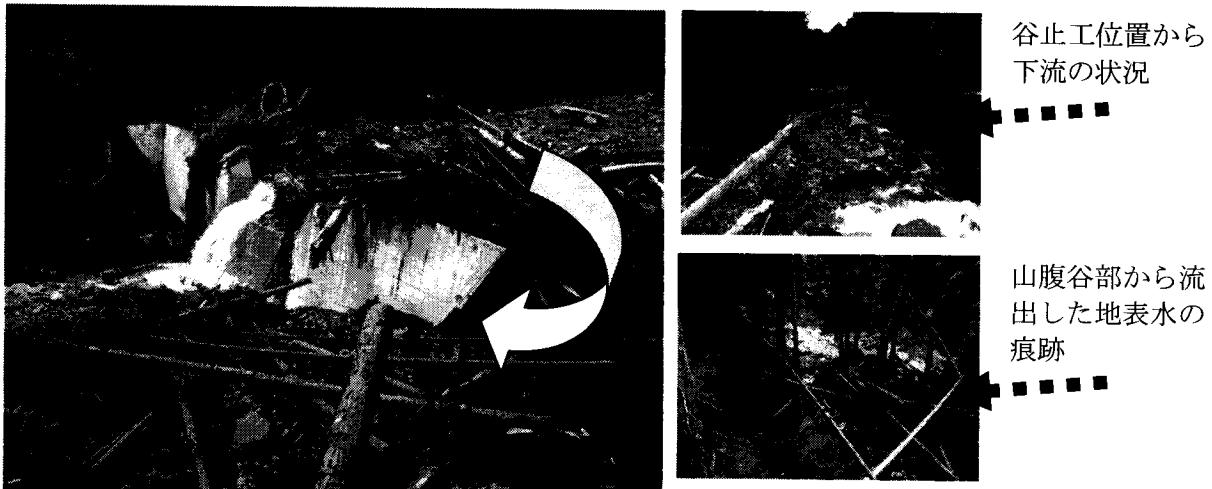


図 2.3.19 放水路の閉塞により洗堀された左岸袖部（平成 20 年度施工）  
(上流部から流出した倒木によって放水路が閉塞し、水が左岸袖部に回って洗屈された。)

#### (4) まとめ

この流域一帯では、約1600個所の斜面崩壊地が確認され、航空レーザ計測データの差分によれば、湯船川流域で崩壊面積率は0.98%、野沢川では0.92%が得られている（加納ほか、2011）。多くは表層崩壊であるが湯船川流域では最大1,270m<sup>2</sup>、野沢川流域では1,340m<sup>2</sup>のやや大きな崩壊地もあった。河道部をみると、河床との比高差が2～4m程度の土砂堆積が見られ、土砂とともに大量の流木が堆積している箇所も確認された。なお、湯船川流域と野沢川流域からは約30万m<sup>3</sup>の土砂が鮎沢川に流入したと見積もられている（加納ほか、2011）。

#### 引用文券

加納章・杉本敏彦・大野正敏・下村史郎・中戸川達矢・吉柳岳志・前佛和秀・臼杵伸浩・佐野寿聰・西村直記・土屋智：2010年9月台風9号による静岡県駿東郡小山町における土砂災害調査報告～航空レーザ計測技術を用いた土砂移動実態の把握～：平成23年度砂防学会研究発表会概要集

## 2.4 いくつかの災害事例に見る情報伝達の問題点

(新潟大学 川邊 洋)

### 2.4.1 はじめに

治山事業の本来の役割は、災害の誘因となり得る土砂移動を抑止することではなく、それらが生産されないような環境を日常的につくることである。その上で、発生した土砂を抑止する機能も併せ持つことが期待されている。

しかし、目立たない本来の役割に比べて、非常時の後者の役割がクローズアップされ、治山事業の功罪が議論されてしまうのは、災害が頻発する状況下ではやむを得ないのかもしれない。

治山事業が関わる土砂移動の発生場は、河川上流部の山奥が多い。一方、その土砂により災害を受ける住民は、中～下流部に居住し、災害に対応する行政の中核は、一般に下流部に所在している。そこに災害情報伝達の重要性と難しさがある。本節では、治山事業の中でもこの点に注目して、現状を把握する。

まず、豪雨・地震・火山の3種類の誘因別に、今までの個人的な経験および内閣府の「大雨災害における市町村の主な取組事例集」(平成22年3月)に掲載されている10事例から、災害情報伝達に注目して問題点を洗い出し、それらに若干の検討を加える。

### 2.4.2 災害種別ごとの事例に見る災害情報伝達に関する問題点

#### (1) 豪雨災害

豪雨災害の場合は、誘因である豪雨の事前予測がある程度可能であるため、事前に情報連絡体制の確認や警戒避難態勢の発動が可能である。また、他の災害と比較して、頻度が大きいため、経験から学習してシステムを構築していく機会も多い。

##### 1) 新潟豪雨と福井豪雨（平成16年7月）

新潟豪雨では、日本海から新潟県中越地方にかけて停滞した梅雨前線に温暖多湿な空気が流入し、沿岸部の出雲崎から山間部の栃尾市にわたる狭い帶状の地域で、集中的に激しい雨が降った。栃尾市では時間雨量58mm、日雨量421mmを観測した。

大雨洪水警報が発表されたのは、7月13日6時30分頃、崩壊・土石流が各地で発生し始めたのは、同日午後1時頃からであり、その間6～7時間の時間差があった。すなわち、大雨洪水警報発表から6～7時間以内に避難していれば、土砂災害に遭う危険性が小さかったということである(図2.4.1)。

一方、福井豪雨では、新潟県に豪雨を降らせた梅雨前線が南下して、日本海から福井県嶺北地方にかけて停滞した。この梅雨前線に向かって、下層の非常に暖かく湿った空気が流れ込み、足羽川沿いを中心とした幅30～50km、長さ100～120kmの限られた地域で、強い雨雲を次々と発生させた。足羽郡美山町で時間雨量96mm、日雨量285mmを観測した。

この日本海から内陸にかけて前線が停滞するパターンは、新潟と福井で酷似している。北陸地方で前線性の豪雨が発生する典型的なパターンである。

福井の場合、最初の大気洪水警報が発表されたのは7月17日16時42分、2度目の大雨洪水警報が発表されたのは18日2時34分、崩壊・土石流が各地で発生し始めたのは、18日朝7時頃からである。崩壊・土石流発生までは、最初の警報から約15時間、2度目の警報からでも5時間程度あり、山地で崩壊・土石流が発生する少なくとも5時間前には、それをある程度予測できることになる(図2.4.1)。

すなわち、新潟でも福井でも、大雨洪水警報が発表されてから、中山間地で崩壊・土石流などの災害に結び付く現象が生ずるまでに、6時間前後の猶予があった。もちろん、この両県ではこれからもそうだというわけではないが、一つの目安にはなるであろう。

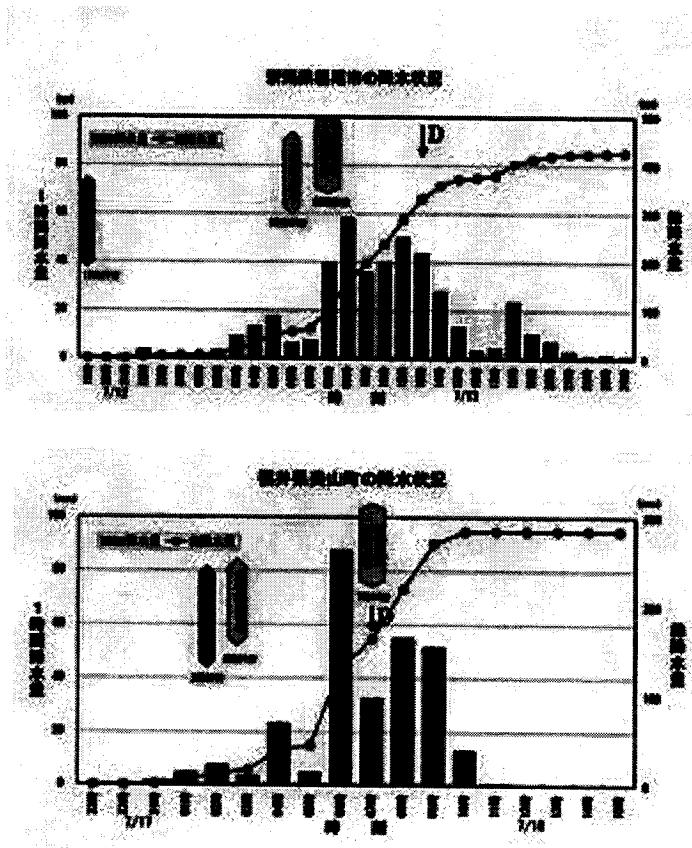


図 2.4.1 新潟豪雨と福井豪雨における雨量強度と累積雨量

福井豪雨時の情報伝達の実態について、「山間集落豪雨災害対策検討委員会報告書」（平成17年3月）をもとに検証する。

県から市町村や県民へは、土砂災害雨量情報システムにより、県下66観測局における雨量情報をインターネット配信している。また、県から市町村へは、1～2時間先の予測雨量を考慮した土石流・がけ崩れの危険度レベルを土砂災害警戒情報として、電話により自動通報している（短時間の記録的雨量のため、いきなり危険度3もあった）。この情報による避難勧告発令は市町村の判断に任せている。

なお、災害後の平成16年11月からは、福井県河川・砂防総合情報システムにより、雨量・水位情報と土砂災害警戒情報をインターネットや携帯電話を介して、市町村や県民へ提供する事業を始めている。

一方、市町村や集落間の情報伝達の実態は次のようにであった。

防災無線による屋内受信機や屋外拡声装置、集落内の有線放送等の複数の情報伝達手段がある集落は比較的確実に情報伝達がなされ、とくに有線放送が使える集落は、集落内部での情報伝達が迅速な自主避難に有効であった。

ただし、防災無線による情報伝達手段が屋外拡声装置だけの場合、豪雨による喧騒等により避難勧告などが集落住民に十分伝達されていない状況があった。

河川の急激な増水があったため、行政による避難勧告発令は、いずれも土石流・崖崩れの発生や集落による自主避難完了の後であったが、少なくとも情報伝達が確実に行われれば、自主避難を可能にする状況が生ずる。

なお、携帯電話のつながらない山間地域では、被災により固定電話も不通となり、災害後の連絡手

段がなかったことから、電話のみを情報伝達手段とすることはできず、複数の手段の中の一つとみなすべきであろう。

福井豪雨の際は、自主避難（市町村からの避難勧告発令以前）が災害を未然に防いだ例が多かつた。自主的かつ迅速な相互扶助、避難活動、復旧作業等が見られた。これを可能にするためには、自治会長などの地元リーダーの役割と地域コミュニティの機能が大きく、逆に、自治会長から市町村に対して避難勧告指示を依頼し、市町村が避難勧告発令の判断をしたケースもあった。

## 2) 鹿児島県の例

鹿児島県では「土砂災害発生予測情報システム」が2000年度に完成し、降雨情報を的確に得るための雨量観測網の整備（約36km<sup>2</sup>に1局）が進んでいる。また、土砂災害データベースをもとに、地域ブロック毎に危険（雨量）指標を設定している（危険レベル1～3）。

県土木事務所から市町村への危険情報伝達は、県土木事務所の「土砂災害情報処理装置」の端末装置で配信するか、電話やFAXによる自動通報を行っている。

一方、県土木事務所から県民への危険情報伝達は、県土木事務所の「土砂災害情報テレフォンサービス」とNTT回線による「テロップ情報」を報道機関に配信したり、TVやラジオでの情報提供を行っている。

## 3) 「大雨災害における市町村の主な取組事例集」（内閣府、平成22年3月）より

この事例集で取り上げられている例は、ほとんどが平地部での洪水災害であるが、このうち、②、⑤、⑧、⑩では土砂災害も発生しており、災害時の情報伝達の参考にはなると思われる。この事例集の中に記載されている情報伝達に関わる問題点を、箇条書きにして列挙する。

### ①平成20年8月末豪雨（愛知県岡崎市）

- ・深夜の短時間での情報伝達
- ・同報機能の強化、迅速化、多重化・輻輳化
- ・住民が普段利用し、慣れ親しんでいる情報ツールの利用
- ・地域防災力の向上
- ・災害対策本部の被災による災害情報収集機能の低下

### ②平成18年7月豪雨（長野県岡谷市）

- ・災害対策本部における情報収集体制
- ・本部と出先との情報共有
- ・防災行政無線が聞き取れない状況での情報伝達手段
- ・自主防災組織の協力体制

### ③平成17年9月台風第14号と前線（東京都杉並区）

- ・短時間での対応
- ・実効的な情報収集を困難にする災害対策本部の混乱
- ・区民からの問い合わせと区民への情報提供不足の悪循環

### ④平成16年10月台風第23号と前線（兵庫県豊岡市）

- ・自主防災組織の強化育成－行政にも限界
- ・情報の具体的かつ的確な伝達

### ⑤平成16年7月福井豪雨（福井県福井市）

- ・災害対策本部での混乱（電話集中等）による情報収集・伝達機能の低下
- ・現場職員や地域住民への的確な情報伝達機能の低下

- ・電話連絡の限界
  - ・マスメディアの積極的活用
- ⑥平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨（新潟県三条市）
- ・具体的な避難基準がないため、避難勧告発令に時間を要す
  - ・情報の周知手段が不十分—広報車での広報、自治会長への情報伝達依頼、戸別訪問
- ⑦平成 12 年 9 月前線と台風による集中豪雨（愛知県西枇杷島町）
- ・情報伝達手段が不十分—自主防災会長に電話連絡、消防車による避難勧告広報
  - ・深夜であり、雨音のため、「聞こえなかった」、「理解できなかった」との苦情
  - ・電気、ガス、水道、電話などのライフラインが停止し、情報収集・伝達が不可能に
  - ・復旧時の情報伝達は「チラシの全戸配布」、情報伝達時間にバラツキ
- ⑧平成 11 年 6 月梅雨前線と低気圧による大雨（広島県広島市）
- ・自主防災会の活性化
  - ・風水害など種別ごとの避難基準の設定
  - ・有効な避難勧告を早めに行うためのシステムの改善
  - ・情報伝達手段の多様化と複合化
- ⑨平成 11 年 6 月梅雨前線と低気圧による大雨（福岡県福岡市）
- ・迅速な情報伝達スキームの構築
  - ・避難勧告発令基準の検討
- ⑩平成 10 年 8 月末豪雨（福島県西郷村）
- ・電話等の情報通信機能がマヒしたため、現地からの情報入手が困難に
  - ・地域消防団やアマチュア無線の活用
  - ・行政↔住民の双向型の連絡体制の確立（防災行政無線や相互通報システム）
  - ・地域ごとの地理特性を把握した避難勧告発令基準の設定

## （2）地震災害

地震災害については、豪雨災害と違い、誘因発生の事前予測が事実上不可能であるため、事前に情報連絡体制の確認や警戒避難態勢の発動が不可能である。このように、一次災害発生の予測段階が欠けているが、二次災害の予測は可能である。一次災害と二次災害への対応は、地震発生直後にいきなり始動することになる。一次災害に対しては救援・復旧に関する情報、二次災害に対しては緊急の警戒避難態勢に関する情報がおもな対象になろう。ここで、地震による二次災害あるいは二次災害に発展する可能性のある現象として、以下のような種類を考えている。

- ①地震により亀裂や緩みが生じた山体の挙動観測と対策
- ②斜面災害の拡大防止のための対策と監視
- ③渓流や斜面に残存している不安定堆積物の動態観測と対策
- ④天然ダムの挙動監視と決壊対策

豪雨災害と違い、地震および一次災害が発生して始めて、災害対策活動が始動するため、迅速な被害状況の把握が重要であるが、同時に平常時からのシステム整備と災害時に速やかにそれを利用できる体制づくりも重要である。

地震災害を地震のタイプによって分類すると、直下型地震によるものと海溝型地震によるものがあり、災害の形態や対応に違いがある。

直下型地震は局所的に激しい災害を引き起こす。一般的に被災範囲はそれほど広くないが、災害の密度は濃く、その中では通信施設などの諸施設が被災するため、災害発生直後の情報伝達が困難となる。一方、海溝型巨大地震による被害は、一般に被災範囲が広域となり、通信施設などが広域に被災するため、情報伝達体制の確保はより重要になる。

とくに、広域にわたる災害発生への対応策の検討は喫緊の課題である。広域の災害に対して、被害状況の把握、被災者の救援、避難の実施、応急対策等が広域にわたり同時に行われる必要があるため、このような情報を円滑に運営できるシステムと技術の開発（リモートセンシング技術のような）が、平常時から極めて重要である。

また、災害予測や避難体制の事前整備のためには、誘因の予測が不可能な以上、素因に基づく予測に頼るしか方法がない。例えば、地形分類図や地質・地形特性から危険地域を抽出する研究が進められている。地震動に対する影響を、微動等を用いて推定する方法も有効かもしれない（図 2. 4.2）。このような方法を駆使して、地震時の土砂災害予測データベースができれば、その重要性は豪雨以上であろう。

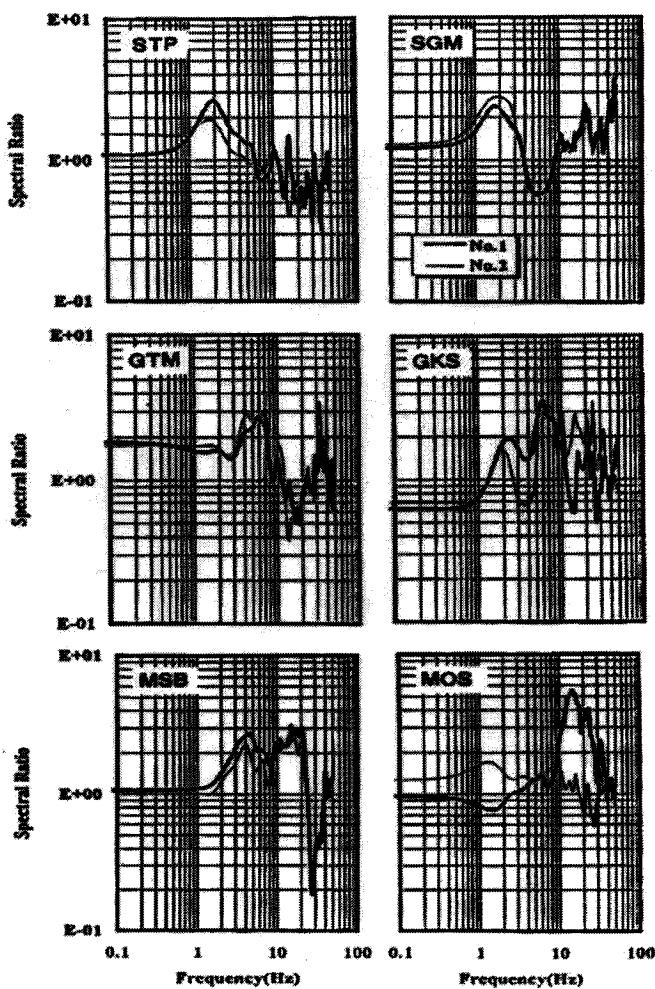


図 2. 4.2 地質ごとの微動による H/V スペクトル比  
上段：シラス（卓越周波数 2Hz）  
中段：花崗岩（卓越周波数 6Hz）  
下段：中生代四万十層群（卓越周波数 15-20Hz）

### (3) 火山災害

火山災害については、誘因（火山爆発だけではなく、活発な火山活動も含まれる）の発生や活発化がある程度予測可能になってきているが、発生する火山現象のタイプ、ひいては発生する災害のタイプを予測することは、今のところ困難である。したがって、各火山の過去の災害を参考にして、考えられ得るタイプの災害を想定し、事前に、情報連絡体制や警戒避難態勢の確認、警戒避難の判断基準となるデータを供給する観測体制の整備などをしておく必要がある。

火山災害には、火山爆発に伴うものだけではなく、通常の火山活動の影響を受けて発生する地すべりなども含まれる。その場合の主要な誘因は、激しい熱水・噴気活動である。熱水は火山体直下の火山活動の影響を直接・間接に受けて、水圧の増大など山体の安定にとってマイナスの要因となる可能性をはらんでいる。

そこで問題となるのは、推定された熱水の流動経路上で、熱水の何を観測すればよいのかということである。できるだけ変動が速く伝播し、しかも観測にかかりやすい熱水の属性は何かを見極めなければならない。伝播速度の大きさは、次のような順になるであろう。

水圧 > 水頭水圧 > 蒸気の移動 > 熱水の移動 > 溶質の拡散 > 热の伝導

水で飽和した間隙が連続的につながっているならば、圧力は僅かの時間（水中の音速）で伝わる。したがって、山体の不安定化の予測を目的とした場合、水圧の観測が直接的でもあり、変化の現れる時期も最も早い。水頭水圧は水の移動を伴うため、伝播速度は水圧に劣るが、水位や湧水量など観測は容易である。また、蒸気や熱水の流れによる同位体比や水温の変化が、各所で捉えられている。

源泉や観測井における水位・湧出量・水温・電気伝導度・同位体比などの変動が、山体内での不安定化進行を判断する一つの目安になるであろう。そして、この順番に、発令する警戒警報のレベルが上がっていく。

#### 2.4.3 災害情報連絡システムの問題点の検討

前項で個別の例をもとに、災害情報伝達に関わる問題点を抽出した。その中で共通する問題点を集約すると、以下のようになる。

- ①連絡システムの双方向化・多重化・複合化、使い慣れているツールの使用
- ②短時間に迅速に
- ③地域防災力
- ④対策本部の混乱・被災

災害情報連絡システムは、住民↔行政間、行政↔行政間、住民↔住民間のように、いくつかの異なる階層のシステムを複合化したものである。いずれも双方向の伝達手段を持っていることが必要である。

行政↔行政間には、県庁↔県出先機関や県庁↔国機関も含まれる。このシステムには多様で先進的な技術を利用するべきである。一方、住民↔行政間の中で、住民とくに山間部の住民のほとんどは、先進的な技術とは無縁と考えた方がよい。防災無線による屋内受信機や屋外拡声装置、集落内の有線放送、同報無線等、従来からのツールによる複数の情報伝達手段の組み合わせが有効である。

多重化・複合化の必要性は、防災無線が屋外拡声装置だけの場合は、豪雨等による騒音のため伝達不十分、また、通報されても切迫した状況下では聞き取る余裕がない、山間地では携帯電話はつながらず、固定電話も不通、テレビも停電で使用不可、などの状況を考えれば明らかである。一般の住民にとって、やはり頼りになるのは旧来のラジオという状況は変わらない。

行政から住民への情報伝達は段階的に行われることが望ましい。近年は、誘因の発生から短時間で災害に至ることが多く、災害発生後に避難勧告が発令されたり、段階的な情報提供が用意されていたとしても、いきなり高次の情報が伝達されたりして、時間的余裕がない場合が多い。例えば、危険度レベルが1～3に分類されている場合は、順次1から3へと情報が伝達されていき、住民にも避難準備と心構えができる時間的余裕があるのが理想的である。

双方向の伝達手段の有効性の一つは、住民からの情報収集のために使えることである。自治会長から市町村に対して避難勧告指示を依頼した福井豪雨での例は、この代表的なものである。

住民同士の情報伝達、言い換れば、集落内部での情報伝達として、自治会長・区長・役員などの見回りは、集落内の各戸への一斉連絡、自主的で迅速な避難に有効であり、自主防災力の向上に役立っている。また、この自主防災力向上のためには、各種ハザードマップを整備し、公表・配布することも重要なポイントである。

災害対策本部の混乱や被災は、迅速な情報伝達機能の喪失につながるが、それだけではなく、発信すべき情報を収集する緊急概況調査体制もつくることができない。このためには、被災地外の人的資源を活用するシステムを作ておく必要がある。また、発生した土砂災害の情報収集は、とくに山間部では困難が多いが、航空写真やレーザー・プロファイラが有効であることから、行政と民間航測会社との協定により、民間の情報を確実に得る制度も構築しておく必要がある。

## 2.5 過去の災害事例にみる災害情報システムの役割

(宇都宮大学 執印康裕)

### 2.5.1 はじめに

わが国が、プレート境界上に位置すること、気候区分としては湿潤温暖気候に属することによって、土砂災害発生ポテンシャルが世界の中でも極めて高い条件下にあることは周知の事実である。これらのことと背景として、河川法・森林法・砂防法・土砂災害防止法等の法整備や治山堰堤等の各種構造物によるハード対策及び近年では豪雨による警戒避難行動を支援するための土壤雨量指数の運用（ソフト対策）が進められてきており、わが国の土砂災害被害の軽減に大きく貢献している。当然のことではあるが防災対策（災害対応の普及・開発）は各事業区分で独立して行なわれるものではなく、各省庁・行政機関の連携のもとで行なわれている。例えば、土砂災害警戒避難のための土壤雨量指数の運用は、国土交通省と気象庁の連携によってはじめて有効な災害対応事業となっているものである。

このような状況の中で、いわゆる治山事業が防災対策に果たす役割というものを考えてみると、わが国の約2/3を占める山地・森林地域で発生した災害情報の共有化がより効率的に行われるよう他行政機関との連携を強めていくことが基本となるであろう。

図表1 最近発生している主な大規模災害

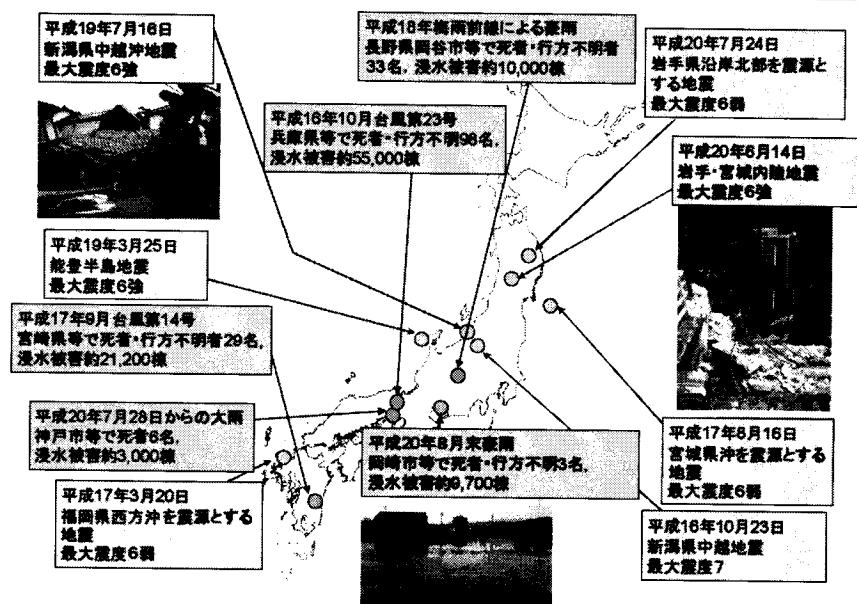


図 2.5.1 最近発生している主な大規模災害 (防災白書 H21年度版より引用)

図 2.5.1は防災白書（平成 21 年度版）より引用したものである。また以下の表は国土交通省砂防部および（財）砂防地すべり技術センターが近年において発生した都道府県別の土砂災害発生件数を公開しているものを気象庁における降雨データと併せて整理したものである。

表 2.5.1 近年の土砂災害発生状況一覧

都道府県	1981-2010 (mm) 5-10月	2005-2010 (発生件数)			
		土石流	地すべり	がけ崩れ	合計件数
北海道	548.6	18	5	44	67
青森県	622.5	1	5	30	36
岩手県	835.4	23	4	34	61
宮城県	911.3	22	8	39	69
秋田県	923.1	9	6	37	52
山形県	713.3	12	32	22	66
福島県	808.5	6	11	103	120
茨城県	891.1	0	5	24	29
栃木県	1103.8	5	0	13	18
群馬県	982.8	10	6	25	41
埼玉県	965.8	4	5	6	15
千葉県	905.5	0	4	53	57
東京都	1034.9	6	0	38	44
神奈川県	1115.8	4	2	438	444
新潟県	880.1	19	332	133	484
山梨県	796.4	15	4	7	26
長野県	713.7	119	121	74	314
富山県	1106.4	39	48	54	141
石川県	1114.3	25	38	86	149
岐阜県	1223.3	42	7	61	110
静岡県	1526.2	35	17	185	237
愛知県	1050.1	2	1	39	42
三重県	1118.6	21	2	75	98
福井県	1020.9	9	9	52	70
滋賀県	951.7	1	2	16	19
京都府	1024.4	1	1	40	42
大阪府	850.9	6	3	26	35
兵庫県	815.8	18	1	73	92
奈良県	883.6	0	10	19	29
和歌山县	874.8	14	6	57	77
鳥取県	1008.4	43	3	16	62
島根県	1007.9	31	34	384	449
岡山県	760.3	6	0	22	28
広島県	1051.4	64	2	109	175
山口県	1263.4	75	11	293	379
徳島県	1017.1	15	24	67	106
香川県	740	0	0	8	8
愛媛県	873.3	8	1	115	124
高知県	1764.9	3	4	50	57
福岡県	1099.3	5	8	68	81
佐賀県	1327.6	5	6	69	80
長崎県	1278.3	2	2	144	148
熊本県	1424.5	45	14	252	311
大分県	1189.2	14	9	135	158
宮崎県	1804.5	59	19	193	271
鹿児島県	1528.1	131	16	382	529
沖縄県	1274.1	1	24	27	52
合計		993	872	4237	6102

図 2.5.1および表 2.5.1においては、山地・森林以外の地域で発生した土砂災害も含まれているが、大半の土砂災害は山地において発生している。図 2.5.2は(財)砂防地すべりセンターによる災害報告の一例であるが、これまで公開されている災害報告の大半は発生域周辺の森林情報が欠落したものとなっているのが現状である。この現状に対して森林管理が主業務である林務関係部署としては、発生した箇所および非発生箇所を含む周辺の森林情報を提供し、関係機関と相互に連携していく必要があると考える。

## がけ崩れによる災害

### ■梅雨前線豪雨による土砂災害

発生場所 広島県呉市

発生年月日 平成 22 年 7 月 14 日

降雨状況 連続雨量 280mm  
最大時間雨量 56mm

被災状況 一部損壊家屋 8 戸

被災状況



図 2.5.2 災害報告の事例（財：砂防・地すべり技術センター：土砂災害の実態 2010 より引用）

### 2.5.2 災害情報システムの体制整備等について

災害情報システムの体制整備については、土砂災害発生状況が各県毎にことなるため、全国一律の体制整備という点では最小限のシステム整備基準を設定することが現実的であると考える。は表 2.5.1に示した 2005 年から 2010 年までの期間において各都道府県で発生した土砂災害発生件数を順に表示したものである。

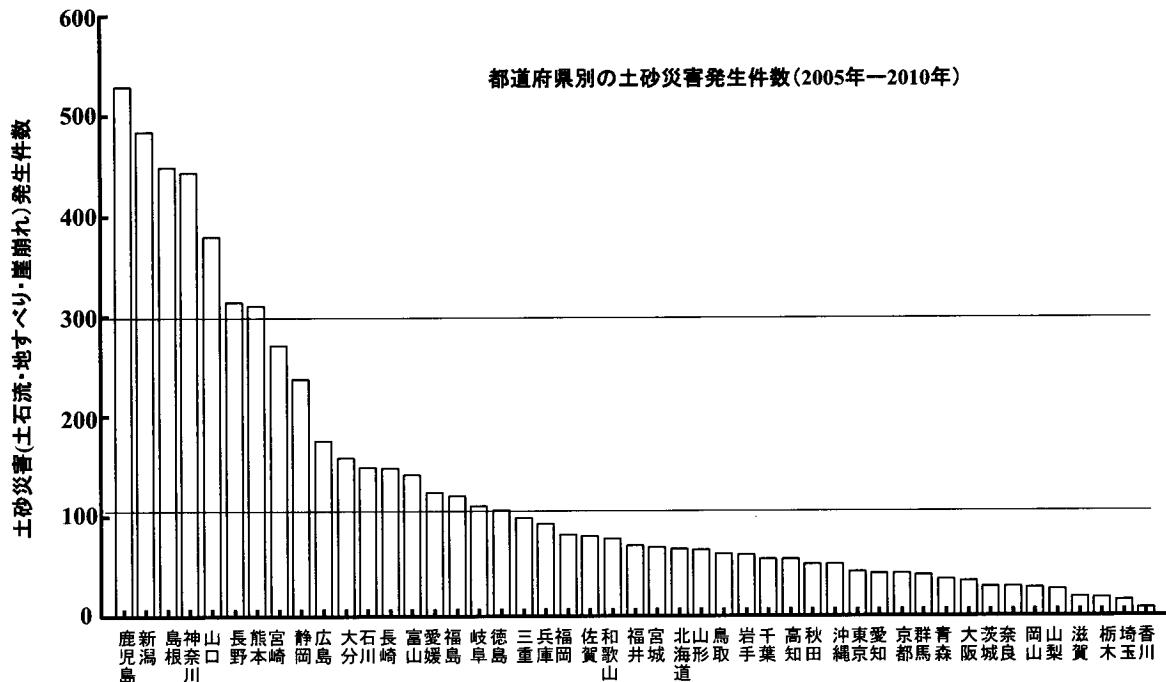


図 2.5.3 2005 年から 2010 年にかけて各都道府県において発生した土砂災害件数

からも判るように、土砂災害発生件数は各地域によって大きくばらついている。300 件以上の件数が確認されるのは、鹿児島、新潟、島根、神奈川、山口、長野、熊本の 8 県であり、逆に 30 件以下の県は茨城、奈良、岡山、山梨、滋賀、栃木、埼玉、香川の 8 県である。

災害情報システム整備の最小限のものとしては、

STEP 1：平時のシステム情報（災害危険箇所・治山施設の現況把握）

STEP 2：直前のシステム情報（災害危険箇所を中心とした遠隔モニタリング）

STEP 3：災害発生時のシステム情報（災害規模・種類・発生位置等の収集および情報の一元化）

STEP 4：災害発生後のシステム情報（災害発生情報の平時システム情報への反映）

の 4 ステップが無理なく繰り返して時間の経過とともに災害情報が蓄積され更新していくシステムであると考える。

ここで最も重要なことは、最低限の災害情報システムを継続して維持しデータを蓄積していくことであり、そのためには情報の収集も必要最小限に簡略化したもの、あるいは既往データとして整備済みのものをベースに構築できるシステムとしておく必要がある。

STEP 1 の災害危険箇所の把握においては、治山事業で既に実施されている山地災害危険地区及び国土交通省において実施調査されている土砂災害危険地区の重ね合わせが必要である。また治山施設の現況把握については、調査年、施工年、種別、最低限の現況（外観の写真数枚、治山堰堤においては亀裂の有無、底部洗掘、袖部抜け等の有無）の情報が必要である。それ以上の詳細な調査は必要に応じて各地域の判断において実施することが望ましいと考える。

ステップ 2 の遠隔地モニタリングにおいては種々の計測機器（水位センサー、変位センサー等）の

導入も考慮に入れることが出来るが、新たな測器の導入は維持管理に莫大なコストがかかること、かつデータ処理システムに過大な負荷をかける恐れがあることを考えると、出来るだけ避けることが望ましい。ここで必要とされているのは既往のデータ収集システムとの重ねあわせであり、土砂災害の誘因となる雨量データのモニタリングを主体とすべきである。雨量データにおいては気象庁のアメダス及びレーダー解析雨量がシステムとして存在しており、これを最大限に活用する体制を整備しておく必要がある。したがって仮に新たな測器の導入を検討するとすれば治山事業が対象としている山間地域（アメダス観測点は都市部と比較して少ない）の雨量モニタリングである。ここで治山堰堤に設置する場合林外雨の捕捉が困難であることから正確な林外雨の情報がモニタリング出来ないと危惧をいだくことがあるかもしれないが、多少の精度は落ちたとしても雨量計の受水口が目詰まりしていない限り、災害が発生する可能性の高い豪雨の場合には充分な情報を提供することを考慮に入れておく必要がある。特に山間地域においてはレーダー解析雨量の情報と比較して寧ろ現況をより良く反映しているものである。流量及び変位センサー等の測器は雨量計と比較して数段に維持管理が困難であることから、研究の面からは有益な情報を与えるものではあるが、災害対応に求められる面的な広がりをもった情報として活用することは現実的なものではない。

ステップ3の災害発生時の情報収集については、各関係機関との情報共有体制の整備が必要である。長野県においては治山と砂防の連携が良好になされているが災害多発県以外においても、このような体制が整備される必要がある。基本的には災害情報は個別部署において別個に収集するものではなく、情報の一元化が容易にできるような関係を構じておくことは、災害情報収集の労力を大幅に軽減し、かつ効率的な災害対応が実施できることに繋がる。

ステップ4はステップ3において収集された情報をステップ1につなげる部分であり、災害情報システムの中で最も重要な位置を占めるものである。ここでも留意すべき点は、過度に詳細な情報をシステムの中に取り込まないことである。特に災害発生地点のみに着目して詳細な情報をシステムに取り込むことは避ける必要がある。図2.5.2に（財）砂防・地すべり技術センターの災害報告の事例を示しているが、災害発生地点においては基本的に

- ・ 災害の形態（土石流・地すべり・がけ崩れ）
- ・ 灾害発生場所
- ・ 灾害発生日時
- ・ 誘因（降雨等の状況）
- ・ 被害状況

の5種類であり、それ以上の情報（崩壊面積・深さ、土砂の堆積範囲等）は必要に応じてシステムに取り込むことを考慮すればよい。ただしこれだけでは災害発生地点の情報のみであり、森林状況についての情報が不足している。さらには周囲の面的な状況についての情報が不十分である。災害報告は被害が発生してはじめて報告される性質のものではあるが、山地・森林においては周辺の土砂移動現象の情報についても付記する必要がある。例えば図2.5.2に示した情報のみでは、この箇所のみにおいて、がけ崩れが発生したのか、あるいは他の箇所においても人的あるいはインフラ等の被害は発生していないが崩落が発生したのかが不明である。詳細な情報は必要としないが、被害が発生した周辺地域（例えば10km×10kmの領域）において崩壊現象が認められた箇所数と崩壊形態が記載されていれば、今後の災害対応時において有用な情報となるものである。したがって

- ・ 災害の形態（土石流・地すべり・がけ崩れ）
- ・ 灾害発生場所

- ・ 災害発生日時
  - ・ 誘因（降雨等の状況）
  - ・ 被害状況
- +
- ・ 災害発生地点及び周辺の森林概況
  - ・ 周辺の土砂移動現象（災害報告にはカウントされない？）（箇所数、土砂移動形態、発生位置）
- の7項目の情報が蓄積更新されていくシステムが必要であろう。森林概況については既に多くの県で整備されている森林GISの情報の一部（林種、人工林であれば林齢および施業履歴）を活用すれば労力の削減にも繋がるし、また周辺の土砂移動現象については、林道からの目視でも充分である。なお、情報システムに記載すべき災害形態の分類としては、国土交通省による土石流・地すべり・がけ崩れの3種類を共通して使用することが望ましい。分類を多くしそうると煩雑となり逆に使いにくい情報となるし、また災害情報の一元化という面からも全く無意味である。

災害情報システムにおいて考慮すべき点をまとめると、

1. 面的な情報が必要であり、そのためには詳細な情報を取り込むことは極力さける。
2. 既存の情報収集システムを最大限活用するものであること。
3. そのことによってデータの更新・蓄積が簡便に行なえるものにする。
4. 収集されたデータは一元管理のもと関係機関と共有できる体制を整備すること。

以上の4点である。

**(備考)** 災害形態（土石流・地すべり・がけ崩れ）の3種類と降雨の関係について。

先に災害形態の分類は上記下線の3種類に区分すべきであり、特に降雨情報のモニタリングが重要である旨を述べたが、3種類の降雨状況との関係を以下に示す。

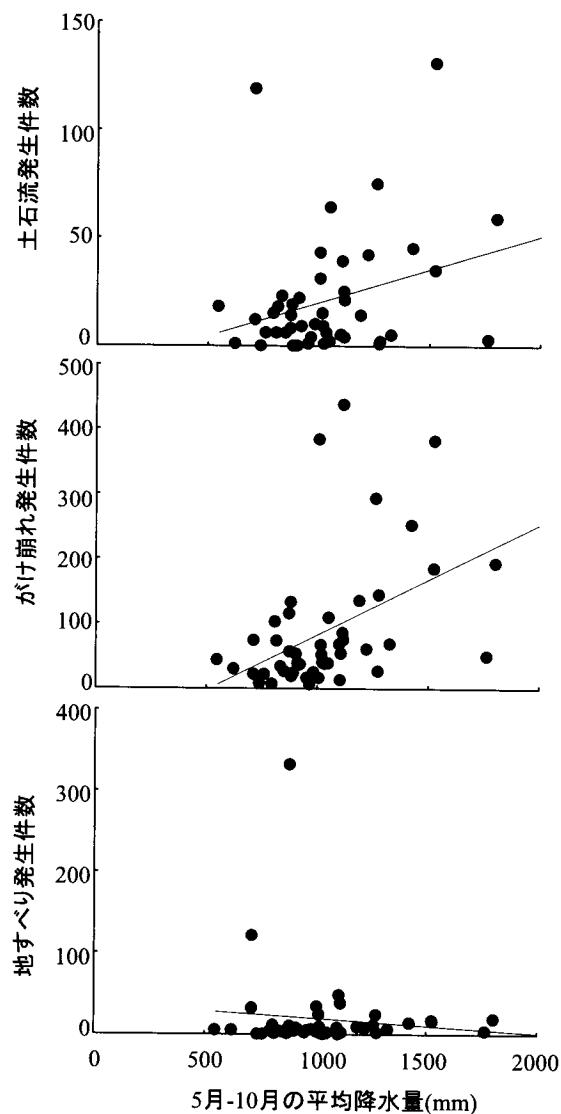


図 2.5.4 各都道府県庁所在地における 5月-10月の平均降水量と災害発生件数の関係

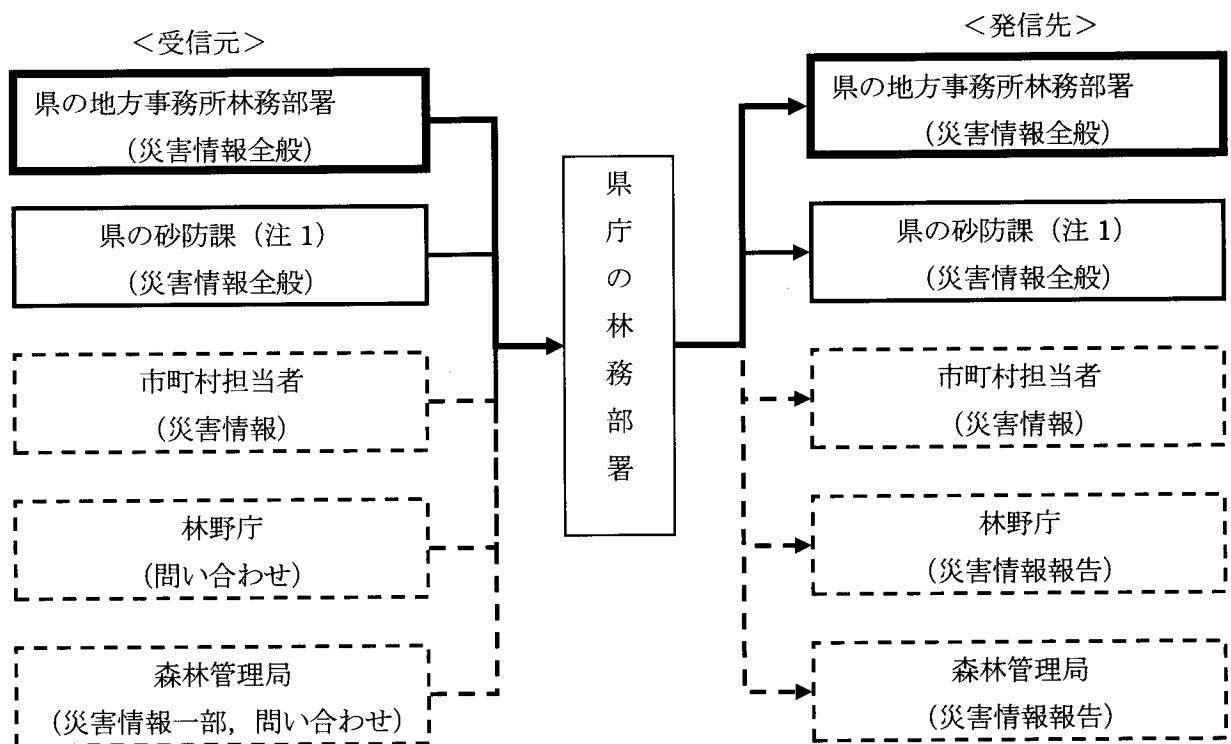
図 2.5.4は表 2.5.1に示した災害発生件数と平均降水量の関係を示したものである。平均降水量は必ずしも災害発生地点のものではないため、精度という面では劣るが、従来指摘されている降雨と災害形態の関係性を良好に示している。このことは精度を犠牲にしてでも山地における降水量の観測点を整備することの重要性を示唆しているものである。

### 3. 災害情報連絡体制の実態

平成22年度の聞き取り調査の結果から都道府県の災害情報連絡システムの実態についてまとめた。

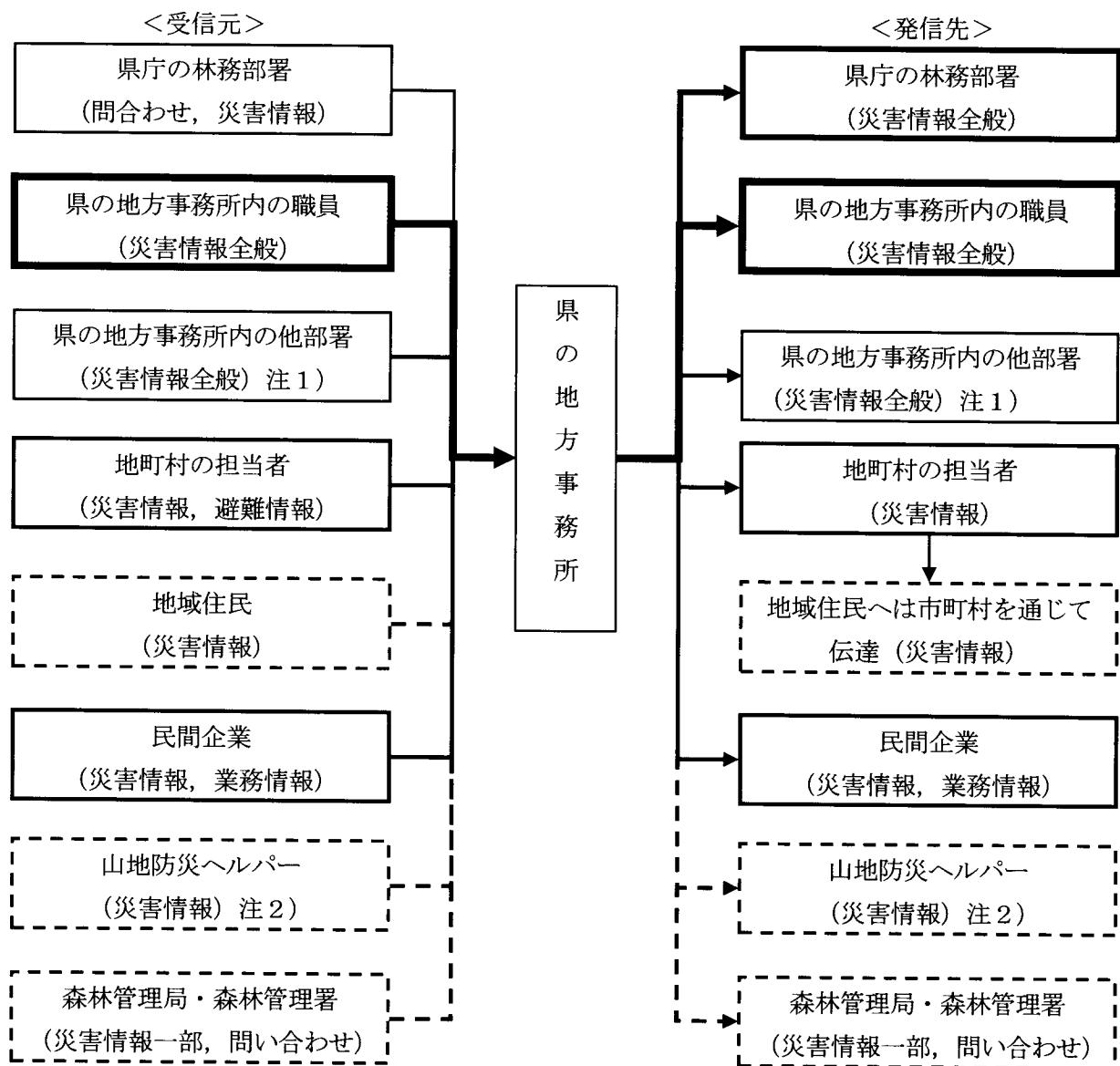
#### 3.1 災害情報連絡体制の実態（情報の伝達先と種類）

昨年度実施した実態調査の内容を整理すると、各県の県庁、県の地方事務所、県の地方事務所の分室、それぞれの災害情報連絡体制は以下のように整理できる。



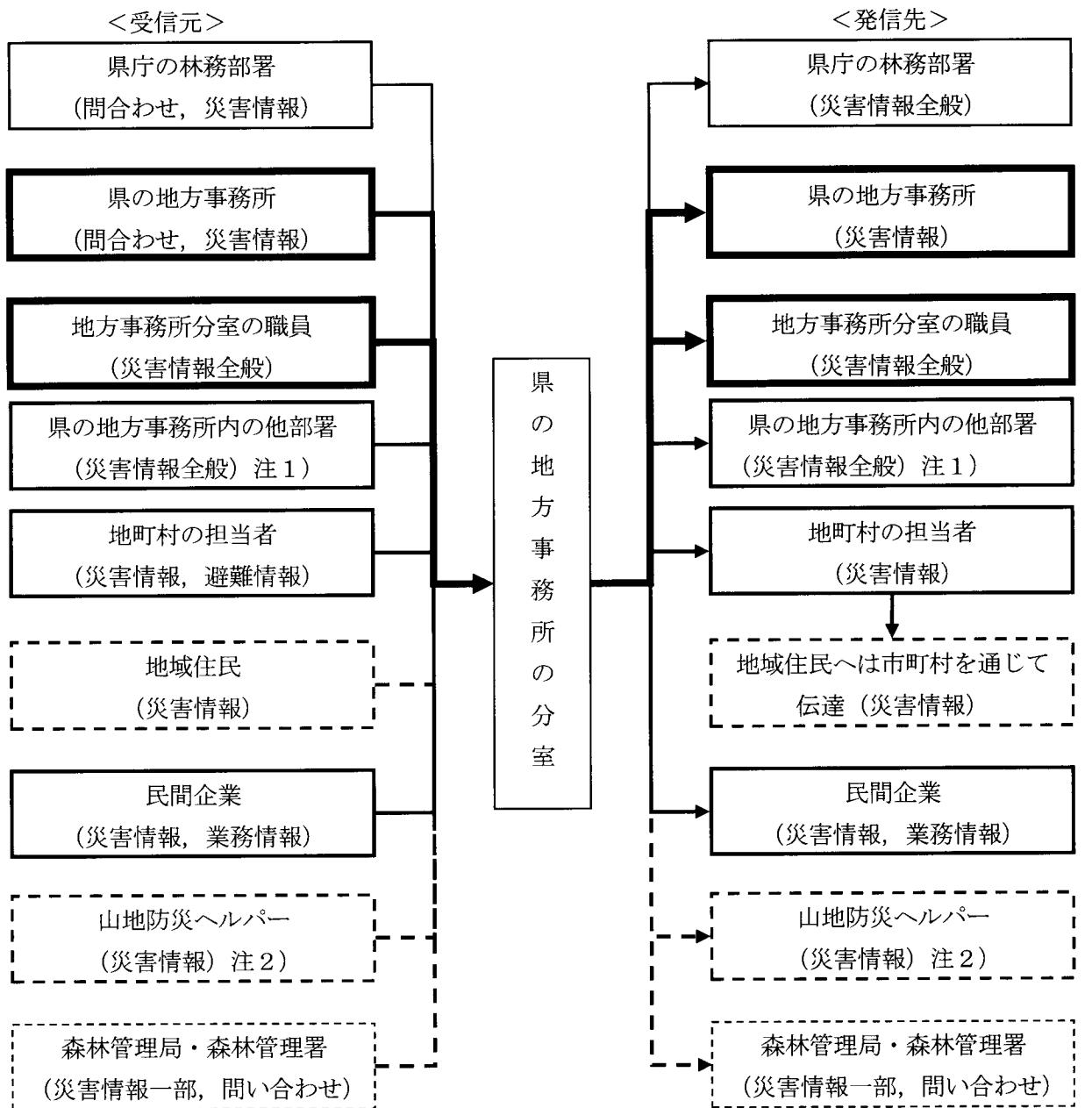
注1) 砂防部署等との情報共有に関する事前の取り決めがある場合は、すべての情報の送受信があるが、それがないと関係のある災害情報のみの送受信となる。

図 3.1.1 県庁の林務部署における災害情報連絡体制



注1) 砂防部署等との情報共有に関する事前の取り決めがある場合は、すべての情報の送受信があるが、それがないと関係のある災害情報のみの送受信となる。

図 3. 1.2 県庁の地方事務所における災害情報連絡体制



注1) 砂防部署等との情報共有に関する事前の取り決めがある場合は、すべての情報の送受信があるが、それがないと関係のある災害情報のみの送受信となる。

図 3.1.3 県庁の地方事務所の分室における災害情報連絡体制

### 3.2 災害情報連絡体制の実態（事前の情報連絡体制の整備等）

実態調査の結果から林務部署が取り扱う事前の情報連絡体制の整備に関する各県の考え方を以下にとりまとめた。

表 3.2.1 連絡体制の整備の実態

No.	区分	特徴
1	災害対応先進県	① 県が関連する全ての災害の種類別に連絡体制図が整備されている。 ② 県の全部署、市町村、消防などを含めた連絡体制図となっている。 ③ 災害報告書の様式も砂防と同一仕様とし、全ての災害情報を共有するシステムができている。
2	通常の県	① 特定の災害の連絡体制図とその他の災害全般の連絡体制図が整備されている。 ② 基本的には県内の林務部署内の連絡体制図で、砂防・土木などの部署、市町村、消防などの連絡先は記載されていない。 ③ 災害報告書の様式は県の林務オリジナルで、砂防や道路の災害情報などは、林務に関連したものののみ伝達される。

表 3.2.2 山地防災ヘルパーの活用の実態

No.	区分	特徴
1	対応が進んでいる県	① 現地情報に詳しい眞のヘルパーの育成を模索している。 ② 認定制度の実施や講習会に力を入れている。 ③ GPSなどの調査機器の貸与も検討している。
2	通常の県	① ヘルパーを活用する取り組みを実施している。 ② 調査機器の貸与などは考えていない。
3	対応が遅れている県	① その実態を県職員が把握していない。

表 3.2.3 林務部署からの災害関連情報の積極的な発信に関する考え方

No.	対応県	特徴
1	A県	① “山くずれ予知システム”として山間地の雨量計設置を進めた事例があるが、それらの管理は市町村に移管され、維持管理が継続している市町村と維持管理費が無いために放置されているものがある。維持管理されている雨量計は有効である。 ② 山地毎の雨水の浸透・流出機構を調べて、豪雨時に地下水が流れる位置を把握し、その情報を発信したい。 ③ 地域に密着した山地防災ヘルパーによる、災害事前情報を入手と発信。
2	B県	① 雨量計の設置は良いことだと考えるが設置箇所が多すぎて対応できない。
3	C県	① 治山ダム位置などに設置する雨量計は林内雨量の観測となるので意味がない。治山ダム位置での流量の観測システムが有効である。

表 3.2.4 災害情報連絡体制の課題に関する各県の考え方

No.	区分	特 徴
1	災害情報の把握	<p>① 台風などで山間地に広域災害などが発生してもそれをすぐに知ることができない。森林管理局などが撮影した航空写真も通常は入手できない。広域災害の時には、撮影した航空写真などを関連する都道府県や市町村で共有できるシステムがほしい（栃木県）。</p> <p>② 防災の一元的なフロントは管理で山地災害は砂防の方へ集約されつつある。砂防情報ステーションや土壤雨量指標の活用。しかし、それでは十分に管理できていない特殊環境を持った山間地があるのでそれをどのように補間するかが課題である（長野県）。</p>
2	災害情報連絡システムの脆弱性	<p>① H23/3/11 の東日本大震災では5日間程度、停電が続いた。衛星電話に対応した防災無線だけは使えたが、その他は携帯もインターネットも何も使えなかつた。長時間停電時でも対応できる災害情報連絡体制ようのインフラの整備が必要である（茨城県）。</p>
3	情報の共有化	<p>① 出先事務所に伝達される県全体の災害情報は県庁の林務部署から断片的に入ってくる程度で十分な情報が入ってこない。双方向の十分な情報伝達が必要（茨城県）。</p>
4	観測機器配置の効率化	<p>① 雨量計は国の各機関や都道府県、市町村がそれぞれ管理し、同じような位置に重複しているものがある。効率よい配置が望まれる（栃木県）。</p>

#### (1) 委員会における意見の取りまとめ

委員会における委員の主な意見を以下に示す。

- ① 長野県のような災害対策先進県の事例を集める。災害形態も異なるので、1県のみでなく他の事例も集める（山口県など災害の多いところ）。
- ② 災害時の連絡体制は二重化を考えてもよい。例えば、災害が少ない県用のもの（最低限のもの）と大規模災害時（全てに共通）とで分ける方法や、理想形を作成して災害が少ない県では取捨選択する方法もある。
- ③ 長野県などの災害時対応マニュアルを集め、災害時にそのように動いたかを確認する。  
(群馬県、静岡県にもマニュアルはあると思われる。)

## 4. 実態調査アンケート調査結果（災害情報連絡システム）

### 4.1 災害情報連絡システムの整備

#### 4.1.1 災害情報連絡体制の実態調査の実施結果

##### （1）実態調査の期間

平成24年4月16日（月）～5月31日（木）

##### （2）アンケート用紙を配布した都道府県

近年の10年間に山地災害が発生した県を中心に以下の県に調査票を配布した。

###### <東北地方>

青森県、岩手県、秋田県、山形県、宮城県、福島県

###### <関東・甲信越地方>

群馬県、栃木県、千葉県、長野県、新潟県、山梨県、静岡県

###### <東海・関西・北陸地方>

福井県、愛知県、三重県、岐阜県、和歌山県、兵庫県、富山県、京都府

###### <中国・四国地方>

高知県、徳島県

###### <九州地方>

熊本県、佐賀県、長崎県、宮崎県

##### （3）回答府県

以下の15府県から回答を頂いている。県庁内部署の他地方事務所からも回答が寄せられており回答数は全部で19件である。

###### <東北地方>

青森県、岩手県、福島県、宮城県

###### <関東・甲信越地方>

千葉県、新潟県、静岡県、

###### <東海・関西・北陸地方>

岐阜県、和歌山県、富山県、京都府

###### <中国・四国地方>

高知県、徳島県

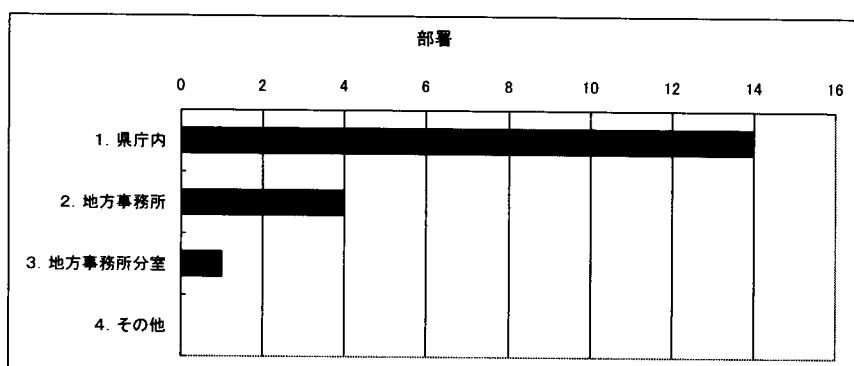
###### <九州地方>

長崎県、大分県

#### 部署

選択肢	回答数
1. 県庁内	14
2. 地方事務所	4
3. 地方事務所分室	1
4. その他	0
計	19

#### 部署



(4) 回答内容

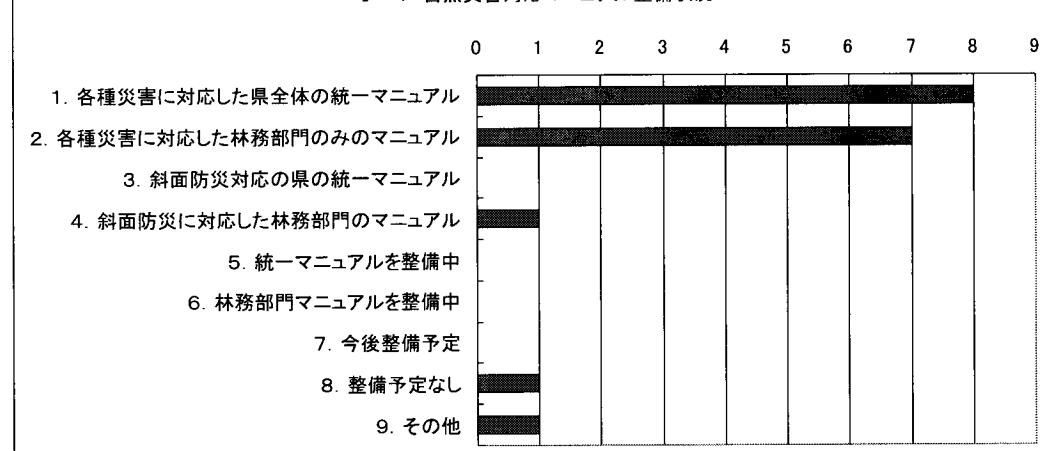
I-1 自然災害対応マニュアル整備状況

選択肢	回答数
1. 各種災害に対応した県全体の統一マニュアル	8 A・B・C・D・G・H・M・O
2. 各種災害に対応した林務部門のみのマニュアル	7 E・F・J・L・N・N・Q・S
3. 斜面防災対応の県の統一マニュアル	0
4. 斜面防災に対応した林務部門のマニュアル	1 R
5. 統一マニュアルを整備中	0
6. 林務部門マニュアルを整備中	0
7. 今後整備予定	0
8. 整備予定なし	1 P
9. その他	1 T①
計	18

無回答:K

①設問のマニュアルは、他部局(土木・農政)では整備が行われているが、治山関係のマニュアルは現時点で整備され

I-1 自然災害対応マニュアル整備状況



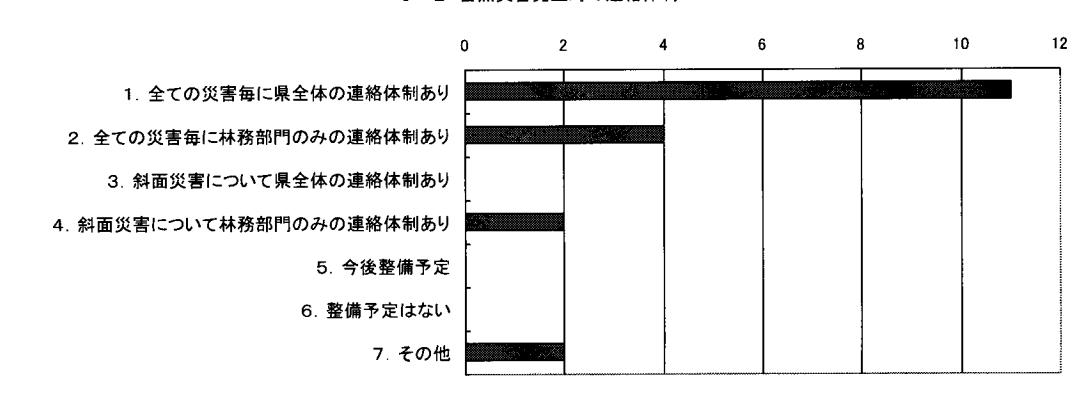
I-2 自然災害発生時の連絡体制

選択肢	回答数
1. 全ての災害毎に県全体の連絡体制あり	11
2. 全ての災害毎に林務部門のみの連絡体制あり	4 J・E・F・N
3. 斜面災害について県全体の連絡体制あり	0
4. 斜面災害について林務部門のみの連絡体制あり	2 R・L
5. 今後整備予定	0
6. 整備予定はない	0
7. その他	2 P①, S②
計	19

①農林水産部における連絡体制を定めている

②災害の種類毎ではないが、県全体の連絡体制が整備されている。

I-2 自然災害発生時の連絡体制



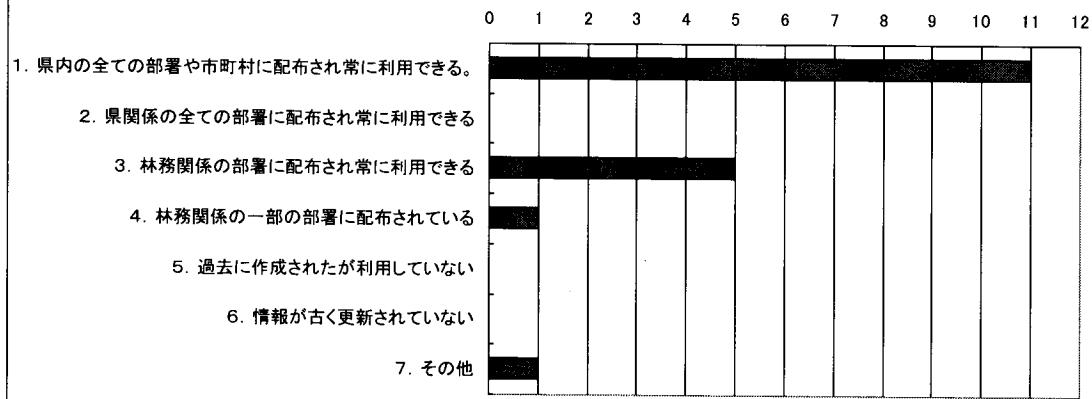
### I-3 連絡体制図等の配備状況

選択肢	回答数
1. 県内の全ての部署や市町村に配布され常に利用できる。	11
2. 県関係の全ての部署に配布され常に利用できる	0
3. 林務関係の部署に配布され常に利用できる	5 E・F・J・N・R
4. 林務関係の一部の部署に配布されている	1 L
5. 過去に作成されたが利用していない	0
6. 情報が古く更新されていない	0
7. その他	1 G①
計	18

無回答:K

①各部署配布済み、全県体制図は未配布

### I-3 連絡体制図等の配備状況

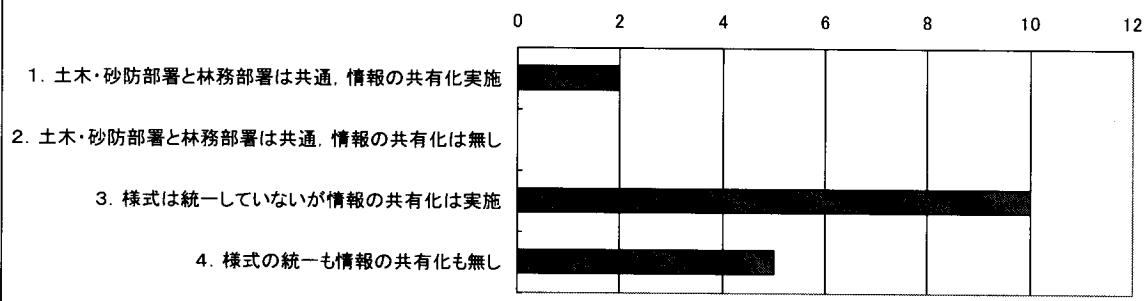


### I-4 災害報告の統一様式

選択肢	回答数
1. 土木・砂防部署と林務部署は共通、情報の共有化実施	2 F・T
2. 土木・砂防部署と林務部署は共通、情報の共有化は無し	0
3. 様式は統一していないが情報の共有化は実施	10
4. 様式の統一も情報の共有化も無し	5 D・H・J・Q・S
計	17

無回答:K, P

### I-4 災害報告の統一様式



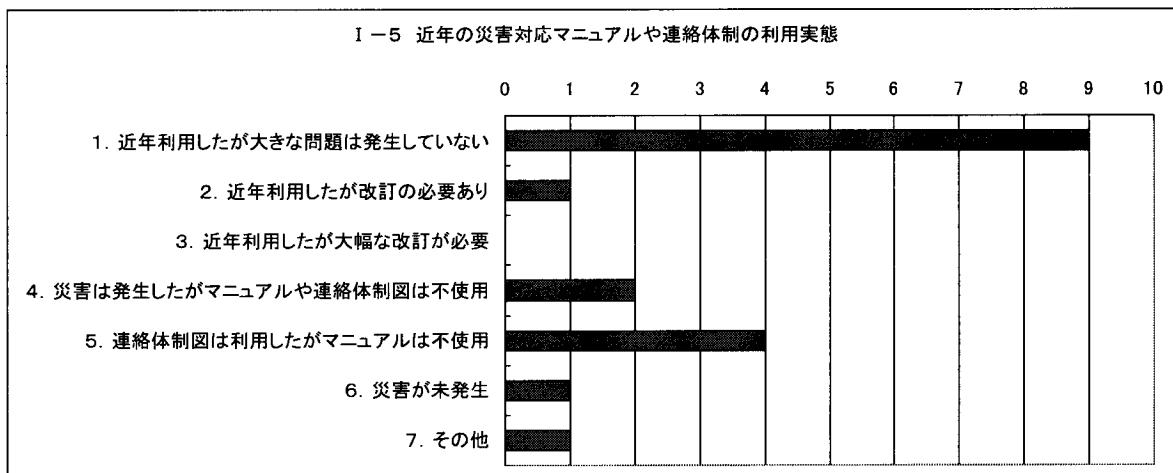
I-5 近年の災害対応マニュアルや連絡体制の利用実態

選択肢	回答数
1. 近年利用したが大きな問題は発生していない	9
2. 近年利用したが改訂の必要あり	1 B
3. 近年利用したが大幅な改訂が必要	0
4. 災害は発生したがマニュアルや連絡体制図は不使用	2 F・L
5. 連絡体制図は利用したがマニュアルは不使用	4 A・J・K・R
6. 災害が未発生	1 H
7. その他	1 G①
計	18

無回答:P

①防災訓練時にも利用

I-5 近年の災害対応マニュアルや連絡体制の利用実態



#### I-6 自治体・住民・メディアなどとの情報伝達と連携

県名	意見	改善策
A	山間僻地で発生する災害については、現地被害状況の迅速かつ的確な情報収集が必要であるが、その現状把握の情報伝達に相当の時間を要することから、メディア等への情報提供に遅れが生じることがある。	山地災害の発生の危険性が高い地域の住民の方を「地域密着型山地防災ヘルパー」に認定し、情報をいち早く提供してもらえる体制を構築することで、山間部におけるきめ細かな防災・減災対策が可能となる。 山地防災ヘルパー制度の拡充により、山間部の災害情報の収集を強化する。
G	都市化、高齢化、国際化、情報化等社会構造の変化による災害脆弱化の高まり。また、ライフライン、コンピューター、情報通信ネットワーク、交通ネットワーク等への依存度の増大。	情報通信施設の耐災化の推進、非常用電源の配備、通信路の多ルート化等とともに、無線通信ネットワークの整備・拡充、ITの積極的活用、補完的機能の充実が必要である。また、防災意識の向上とともに自主防衛組織の育成による地域における防災行動力の向上が望まれる。
K	大規模に複合的な災害が発生した場合を想定したことがなく、複合災害が発生し、本部機能が失われた場合、対応できない状況となっている。また、本部が立ち上がってもその職員に対する食事等の問題も大きくあった。	現在の災害対応は、本部機能（県庁、役場等）が被害を受けない想定で対応しており、最悪条件の下でも対応できる体制の整備が必要。具体的には、本部機能の二重化、大規模複合災害における連携、対応職員が活動するための環境（食料、宿舎等）、災害援助物品の備蓄（現物備蓄）、燃料の確保等通常の予算では確保困難なものに対して対応が必要である。
Q	災害発生箇所の付近の住民にとって、災害復旧事業の実施は、生命・財産の安全に直接関わることから関心が高いので、定期的な情報の提供等を市町村と連携の上実施していくことが必要である。	1 地区に複数の機関が災害復旧を行う場合、各機関が地元住民に説明を行うが、地元住民にとっては似たような事業をする各機関の情報をバラバラに提供されてもわかりにくく、一元化した内容で提供してほしいとの声があったことから、改善の必要があると考える。
T		平成 23 年度に各種自然災害の情報を市町村で共有できる「防災G I S」を構築し、平成 24 年度から運用予定である。

## I-7 情報の共有化・一元管理に関する取り組み

県名	意見
A	県の危機管理部門において、情報を一元的管理している。
B	各振興局で取りまとめた情報（災害報告）を、本庁にて一括管理している。
D	治山地理情報システムを利用し、災害報告を迅速に行えるようにしている。また、災害箇所の一元管理を行っている。
F	土木部（砂防課）と情報の共有を図り、双方で法指定等の確認を行い、対応する所管を決定している。
G	災害対策本部への情報機器の集中設置や地図等による面的把握、大型掲示により情報の一元化を実施。また、県総合防災情報システムにより、各防災関係機関に対して、気象情報や河川情報、土砂災害危険情報等の災害関連情報を一元管理するとともに、GISを活用し視覚的に提供している。 県民に対しては公式記者発表やG県防災WEB（インターネット）、ケーブルテレビ（防災チャンネル）、FM放送、無線、有線、新聞、広報車等により共有情報を提供。
K	林地崩壊箇所における復旧については、砂防部局と調整を行い、一元的に復旧に取り組めるよう情報の共有化を図っている。
M	・危機管理部において、県内発生の災害関係情報を一元管理 ・個々の災害箇所については、各部局の担当課において詳細情報を把握
N	土木事務所など関係する出先機関と連絡を密に取り、本庁に速やかに報告する。
R	災害発生時連絡体制表の作成、連絡体制に基づく電話・メール連絡の報告事項の規格化・箇条化。
O	農林水産業に係わる被害は、「O県農林水産業被害報告取りまとめ要領」により、市町村から県の出先機関である地域農林水産部が報告を受け、本庁の関係課を経由し農林水産政策課が取りまとめる。 農林水産政策課から防災消防課へ報告され、広域災害は「O県防災ホームページ」で公表する。
P	各部毎（事業担当部局など）に情報を集約し、防災関連を総括する部局に報告、一元管理する体制としている。
Q	1 地区に複数の機関が災害復旧を行う場合、各機関が地元住民に説明を行うが、地元住民にとっては似たような事業をする各機関の情報をバラバラに提供されてもわかりにくく、一元化した内容で提供してほしいとの声があったことから、改善の必要があると考える。
S	災害対策本部を設置し、農林水産部門や土木部門等各部門における被害状況を整理収集することとしている。

## I-8 情報連絡体制での林務部署の役割と課題

県名	意見
A	上記 I-6 と内容は重複（山間地域の災害情報の収集とその把握に相当の時間を要する。）
B	役割：林地崩壊箇所や既存治山施設被害状況の把握。県内の市町村と連携を図り、林道被災箇所等の情報共有。 課題：災害箇所調査時において、アクセス道が通行出来ない・山間部奥地での発生等々、全体を把握するまでに時間を要する。
D	早期の状況把握と早期対応を図るための人員（職員）が不足している。
E	林野災害の情報収集には時間を要する場合が多く、災害対応が遅れがちであるため、山地防災ヘルパー等を活用するなど早期の情報収集が必要である。
G	情報連絡体制において林務部署の役割は特段決まっていないが、山地・林地・土木施設について概括的な情報も含め多くの被害情報を収集し、被害規模を早期に把握することが不可欠であり、その情報を体制的に上層部へ報告することとなる。併せて、関係防災機関との連絡調整を実施。 市町村、消防、警察、参集職員等からの情報が第1次情報となりえるが、人命・人家・重要な保全施設・公共施設等が優先されるため、山地にかかる情報は後回しとなることが考えられる。
J	山地防災ヘルパーから、地域の建設業協会との災害協定に移行中
K	大規模災害が発生した場合、直接人命等に影響する箇所以外の林地については、市町村の対応職員の不足から十分に調査が実施されない状況となっている。そのため、早急に被害状況を把握するために市町村の状況を踏まえ、県職員が調査を実施するなど行っている。
M	林務部署が所管する山林（県内 50 万 ha）は、余りに広大で災害情報を速やかに収集することが困難
N	山間部における見つけにくい災害の発生や発生の危険性について、他の部署への情報提供を行い、情報の共有化を図る。
R	役割：発生山地災害の箇所・規模・保全対象の被災状況等をいち早く把握し、現地調査を早期実施し復旧のための方法と概算の予算を算出する。 課題：被災箇所の担当部署と重複した場合、他所管との線引き、範囲の早期分割。
O	林道・林地被害、林産物及び林産施設被害について、市町村から県の出先機関である地域農林水産部が報告を受ける。
Q	各市町村からの災害情報を取りまとめ、県としての被害状況を把握し、関係機関に被害状況を報告する。また、速やかに災害復旧事業が実施されるよう、現地調査・計画書作成などの業務を迅速に実行する必要がある。

### I-9 山地防災ヘルパーとの交流・連携

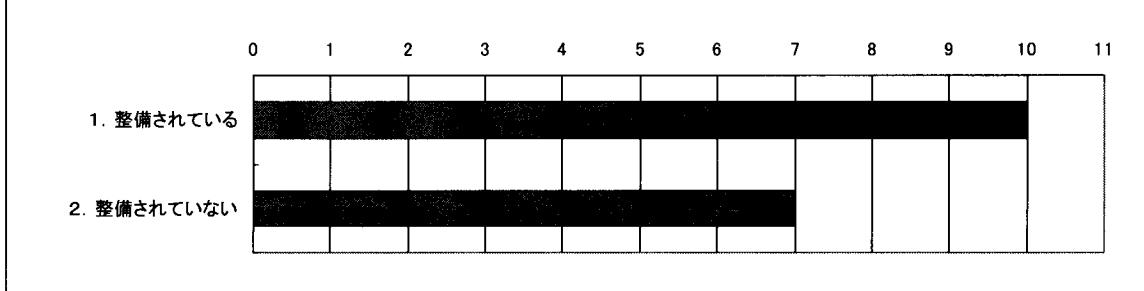
県名	意見
A	平常時に危険地のパトロールを実施するとともに、山地防災ヘルパーに対し、講習会を開催し、山地防災分野に関する知識を深めてもらう。
D	災害発生時、平常時において、治山施設に異常があった場合は連絡を受ける仕組みになっている。
E	年に1回程度研修会を開催し、防災ヘルパーとしての能力の向上や災害に対する情報収集等が迅速に行えるよう体制の強化を図っている。
F	毎年行われている山地灾害防止キャンペーン期間中に、ヘルパー講習会を実施している。
G	山地灾害防止キャンペーン中や梅雨期、台風等集中豪雨時は集中的に現地調査を実施。また、不定期に講習会や現地研修会を開催している。
H	平時：県主催による山地防災ヘルパーの研修会を開催している。
K	大規模災害発生時においては、山地防災ヘルパー自身の安全確保後について、現地調査等の協力をお願いしている。平常時においては、年1回程度、研修会を開催している。
M	県OB等を中心に山地防災ヘルパーを組織しており、平常時には各地元の災害復旧対策の計画時等にアドバイスを受けている。
L	山地防災ヘルパーより、異状箇所の報告がある。
R	制度化はしているが殆ど機能していないのが現況である。
O	「県山地防災ヘルパー認定要領」により43名を認定。 山地災害情報を市町村や県に伝達したり、山地防災意識の普及・啓蒙活動を行っている。
Q	山地防災ヘルパーとは定期的に連絡を取り、現状の把握に努めるとともに、災害発生箇所を発見した場合は速やかに報告がなされるよう連携を図っている。
S	S県では、平成19年から山地防災ヘルパーを廃止、『S森林保全協力員』を募集、18団体と97人のボランティアに協力してもらい、年に一度講習を開催し森林の巡視等に協力してもらっている。
T	本県の山地防災ヘルパーの大半が市町村職員であり、災害発生時には各市町村の災害対策組織の指揮下に入るため、現実にはヘルパーに個別の対応を依頼することは困難である。(有事に治山サイド(県側)からヘルパーに指示する権限がない) 平常時の活動として、年1回の研修会を開催し、山地災害や治山に対する知識の普及等を図っている。

### I-10 緊急調査マニュアルの整備状況

選択肢	回答数
1. 整備されている	10
2. 整備されていない	7 E·G·H·J·P·S·T
計	17

無回答:A, C

### I-10 緊急調査マニュアルの整備状況



### I-11 緊急調査の実施体制・支援体制の現状

県名	意見
A	市町村・県職員による被害地の調査を実施し、その後、必要に応じてコンサル等の専門分野へ支援を要請する。
B	実施体制：各振興局林務課において、現地調査班と災害情報収集班にわかれ、災害情報の整理を実施。 支援体制：比較的被害の少なかった振興局より、現地調査人員の補充。
D	基本的に直営にて、調査測量を行っている。
E	市町村等からの災害情報を受けた後、保全対象等が重要な箇所から順次現地の状況を確認し、所定の様式により本庁に報告している。
F	豪雨災害、地震災害等の自然災害が発生した時に、林野庁所管の山地災害危険地区及び治山施設の緊急調査を実施する。また、大規模災害により、所管の地域職員では対応できない場合は、被災軽微な地域機関から支援を行う。支援態勢については、毎年4月に支援員を選定している。
G	地震、風水害等の災害時には、県地域防災計画に基づき「災害時における応急対策業務に関する協定書」を（社）斜面防災対策技術協会G支部や（社）G県建設業協会等の防災関係機関と協定を締結しており、応急対策業務を実施している。
H	災害が発生した場所を管轄する出先機関が調査を行うが、災害の規模に応じて本庁及び他の出先機関より人員を派遣する。
K	社団法人K森林・林業・緑化協会との間で「災害時における被害状況調査の応援に関する協定」を締結しており、その協定に基づき、実施している。
M	発生直後より、各農林事務所の治山担当職員が調査に着手するが、規模が大きい場合は、所内その他部内の職員、他事務所職員等の応援を調整する。さらに不足する場合は、林野庁を通じて他県への依頼等を調整する。
L	事前配備体制、発生時配備体制を事務所で作成し、対応している。 配備体制を活用しない場合は、市町からの報告に基づき、隨時調査を行っている。
N	各市町・関係機関からの情報収集し、市町職員とともに調査を実施する。 結果をもとに、土木事務所等関係機関と対応について協議する。
R	各々被災箇所の状況に応じた概況調査等を行っている。
O	県の出先機関である地域農林水産部の担当職員が現地調査し概況報告を行う。
P	各事務所の担当者により現地調査を実施するとともに、適宜、災害が発生しなかった事務所からの支援体制を組むなどの対応としている。
Q	各市町村担当者が被災個所の情報収集を行い、被害状況を把握の上、被災個所の調査を実施。被災個所調査が多い場合には本庁・各振興局担当者が支援している。
T	初動体制としては、地方機関（振興局）が現地調査を行うが、被災規模が大きい場合や人的被害等を伴う場合は必要に応じ、本庁（森林保全課）も合同で調査を行う。 その他、広域的に甚大な被害が発生した場合等は、林野庁・森林管理局への協力依頼を行うことも可能となっている。

## 4.2 災害情報連絡システムの改善内容検討

### 4.2.1 アンケート結果で判断される各県の実態

- ①現時点での回答があった県は、主に県職員を対象とした自然災害対応マニュアルはすでに整備されている。
- ②同様の事情から災害発生時の連絡体制図も市町村を含む県全体のものが整備され、近年の災害でも大きな問題はなく機能している。
- ③緊急調査マニュアルも多くの県ですでに整備されている。
- ④緊急調査における実施体制や支援体制についても各県でそれぞれの対応を行っており、概ね機能していると思われる。
- ⑤上記の結果から多くの県では災害情報連絡システムがうまく機能しているとみることができる。今回アンケートに回答して頂いた 13 県はいずれも山地災害に関する意識の強い県が多かったとも考えられる。

### 4.2.2 災害情報連絡システムの改善内容検討

アンケート結果からは多くの県で災害情報連絡システムが既に構築されており、ある程度機能していること思われる。ただし、以下のような点も明かとなった。

- ①全ての災害に対応したマニュアルが整備されていない県が多少存在する。
- ②自然災害時の連絡体制も林務部門のみに限定している県が多少存在する。
- ③災害報告の情報は共有しているが報告書の様式を統一していない県が多い。

よって、このようにまだ災害時連絡システムの改善の余地のある県に対して、今回のアンケート結果のような現状の他県の整備状況を示して、より良い災害情報連絡システムの構築のために必要な内容を示すことが有効であると考える。

## 5. 災害に強い防災施設と施設配備計画の考え方

### 5.1 通常の想定を越えた大規模災害への対応 (東京農工大学 石川芳治)

#### 5.1.1 はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に、M9.0 の海溝型の巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生し、激しい地震動とそれに続く想定を上回る津波により東北、関東地方を中心として死者・行方不明者が約 2 万 3 千名、全壊家屋数約 10 万戸（警察庁調、5 月 28 日時点）にのぼる甚大な被害が発生した。この地震により斜面崩壊、地すべり、土石流等の土砂災害が広い範囲にわたり発生しており（図 5.1.1、図 5.1.2）、死者 19 名（国土交通省砂防部調、5 月 28 日時点）の被害が発生している。

我が国では、最近、平成 7 年の兵庫県南部地震、平成 12 年の三宅島および有珠山の噴火、平成 16 年の新潟県中越地震、平成 16 年の梅雨前線豪雨と相次ぐ台風による豪雨、平成 20 年の岩手・宮城内陸地震、さらに本年（平成 23 年）3 月の東北地方太平洋沖地震及び余震により大規模な土砂災害が発生している。さらに、隣国の台湾では平成 11 年（1999）に集集大地震により、また中国では平成 20 年（2008）の汶川大地震（四川地震）により大規模な土砂災害が発生している。さらに、台湾では平成 21 年 8 月のモーラコット台風に伴う豪雨により、高雄県の小林村で大規模な深層崩壊が発生して、500 名以上の住民が犠牲となっており、この小林村における大規模な深層崩壊を中心とした災害を取り上げた NHK のテレビ番組「深層崩壊が日本を襲う」が平成 22 年 6 月に放送されたことにより、大規模な深層崩壊に関する一般国民の関心が急速に高まっている。

このような大規模な土砂災害が発生すると広い地域にわたって壊滅的な被害が発生し、多数の生命が失われる可能性が高く、災害も長期化し、地域の経済や社会に対しても大きな損害を与える。大規模な土砂災害は通常の豪雨に伴い発生する土砂災害（土石流、がけ崩れ、地すべり）に比べて発生する頻度が低いこともあり発生予測や対策等に関する研究は遅れており、現状では大規模土砂災害の発生予測は困難な状況にあり、発生後の二次災害対策についても明確な方針が示されていない。我が国では、近い将来、東北地方太平洋沖地震と同じ海溝型の巨大地震であるマグニチュード 8 クラスの東海地震、東南海地震、南海地震が発生する確率が高い。さらに、最近、桜島、浅間山、霧島山新燃岳の火山活動も活発化している。また、気候変動により近い将来には超大型台風が発生し日本を襲う可能性が高まっているとも言われている。このようなことから、大地震や火山噴火ならびに超大型台風に伴う未曾有の豪雨により通常想定される規模を超えた大規模な土砂災害の発生が増加する可能性が高く、早急に対策手法を検討して、対策を講じて行く必要がある。



図 5.1.1 東北地方太平洋沖地震による福島県白河市「葉の木平地区」の斜面崩壊  
規模：幅約 100m、斜面長約 130m、堆積部長さ：約 100m、崩壊部の地質：ローム、スコリア、死者：13名



図 5.1.2 福島県いわき市「田人町石住地区」の斜面崩壊  
発生原因：平成 23 年 4 月 11 日発生の余震による、崩壊部規模：幅約 50m、斜面長約 250m、地質：第三紀 砂岩、泥岩（堆積岩）、死者：3名

### 5.1.2 大規模土砂災害の特徴

土砂災害を引き起こす現象としては、狭義には、土石流、地すべり、斜面崩壊（がけ崩れ、急傾斜地崩壊）の 3 種類を指す場合が多いが、広義には、天然ダムの形成と決壊、火山噴火にともなう火山泥流、溶岩流、火碎流、山体崩壊および火山灰堆積直後の豪雨による土石流などが含まれる。「大規模」な災害としては、個々の現象の規模の大きさとともに、土砂災害全体としての影響範囲の広さ・被害の大きさにより判断される場合が多いが、個々の現象の規模の面では、一般に土砂量により判断される場合が多い。例えば、斜面崩壊（地すべり）は移動する土砂量により表 5.1.1 のように分類される場合が多い。

図 5.1.3 に示すように土砂災害を引き起こす個々の現象は一般に規模が大きくなるほど、発生数は少なくなる。すなわち、①大規模な土砂災害は小規模な土砂災害と比較すると発生頻度は低いといえる。このことは、発生予測や対策についても大きな影響を与えており、事例が少ないために発生予測手法

の開発や効果的な対策手法の開発は小規模な現象に比べて遅れている。また、同一地域で発生する確率はかなり低くなるために住民の災害体験が風化されやすく、防災意識が根付きにくい。さらに、大規模な土砂移動現象は、小規模な土砂移動現象と比較して、②発生メカニズムも多様であり地質構造や地形などの影響を強く受けるため地域による変化が大きい。また、斜面崩壊の土砂量が大きくなると等価摩擦係数が小さくなることは広く知られており、流動（到達）範囲も広くなるために③被害の影響範囲は広くなり、被害の規模も大きくなる。さらに、規模が大きいために④事前・事後のハード対策ならびにソフト対策も困難さが増大する。費用の面から⑤大規模になるほどハード対策よりもソフト対策の重要性が増すこととなる。

表 5.1.1 斜面崩壊（地すべり）の規模による区分

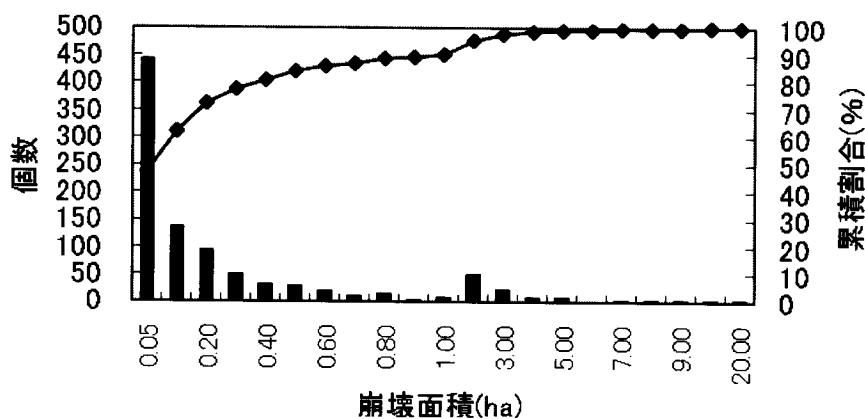
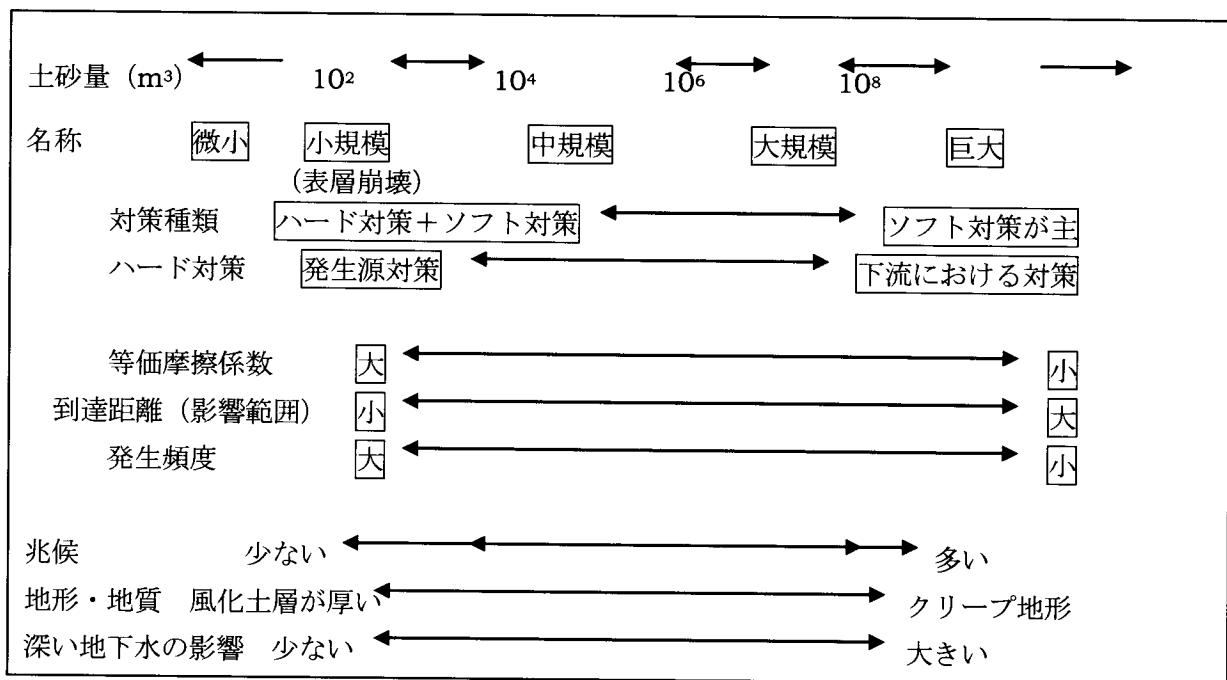


図 5.1.3 岩手宮城内陸地震による斜面崩壊の崩壊面積別の発生個数  
(一迫川、二迫川、三迫川流域内で発生した斜面崩壊)

### 5.1.3 大規模土砂災害への対応－時間の経過からみたハードおよびソフト対策

大規模土砂災害の種類は多様であり、また現象の発生原因も、地震、豪雨（台風）、火山噴火、融雪等があり多様である。以下では主として地震や豪雨による大規模土砂災害のうち、大規模な斜面崩壊（以下、地すべりも含む）とそれに伴う天然ダムの形成・決壊による土砂災害について述べる。

大規模斜面崩壊および天然ダムの対応については、基本的にハード対策とソフト対策を組み合わせて行われる。さらに表 5.1.2に示すように対策には、事前対策として①斜面崩壊が発生する前に実施する平常時の対策、②斜面崩壊の発生の危険度が高まった段階での緊急対策、また、事後対策として③斜面崩壊発生直後の二次災害（斜面崩壊拡大、天然ダムの決壊・湛水）防止のための応急対策、④斜面崩壊発生後の恒久的な安全性を確保するための対策がある。

表 5.1.1に示すように対策にはハード対策とソフト対策があり、発生場所および下流の被害発生域の社会・経済的な条件により異なるが、一般的に、経済的な面から、発生の可能性が高く（予測の確度が高く）、個々の斜面崩壊の土砂量が約 10 万 m<sup>3</sup>未満の場合には発生前のハード対策が有効であり、予測の確度が低く、土砂量が約 10 万 m<sup>3</sup>を超える場合には発生前はソフト対策を重点にして対応をとる場合が多い。さらに、ハード対策としては事前対策の内①および事後対策の③の対策を実施することが効果的でありソフト対策は事前対策の①、②および事後対策の③により実施することが効果的である。

表 5.1.2 時間の経過に応じた斜面崩壊対策

事前対策	①常時の対策（事前対策）	斜面崩壊発生前（平常時）に実施する。
	②緊急対策	斜面崩壊発生の危険性が高まった時に実施。
事後対策	③応急対策（発生直後）	斜面崩壊発生直後の二次災害の防止。災害拡大防止。豪雨対策。余震対策。
	④恒久対策（復旧）	発生後の恒久的な安定工事。ソフト対策。

### 5.1.4 ハード対策

#### (1) 発生場所と対策

ハード対策は、発生源における対策と下流における対策に大別される（図 5.1.4）。発生源における対策は、斜面とその周辺に施工されるもので、斜面崩壊の発生そのものを防止するために実施する。一方、下流における対策は、斜面崩壊が発生した場合に崩壊土砂がそのまま土石流化して下流に流下・氾濫して被害を与えたり、崩壊土砂が天然ダムを形成し、この天然ダムが決壊することにより下流に土石流や土砂流が流下して被害を与えることを防止・軽減するために実施する。発生前の発生源対策は、これまでの地すべり防止工および急傾斜地崩壊対策工事と基本的には同じであるが、大規模な斜面崩壊に関しては発生源におけるハード対策は経済的に見ても困難があり、崩壊土砂による土石流や天然ダムの形成・決壊による災害を防止・軽減するために下流におけるハード対策が主となると考えられる。

#### (2) 発生源におけるハード対策

発生源におけるハード対策（表 5.1.2の①、②、③、④）は斜面崩壊の発生機構により適する工法が異なると考えられる。豪雨による斜面崩壊は谷地形の源頭部（0次谷）で発生することが多く、一方地震による斜面崩壊は急勾配な尾根部や遷急線の付近で発生数する場合が多いと言われている。また、大規模な斜面崩壊では特有のクリープ地形が見られる場合が多いと言われている。地形・地質構造から斜面崩壊の可能性の高い斜面を抽出して、このような斜面に対して事前にアンカー工や杭工で

斜面の安定度を向上させる方法がある。豪雨による斜面崩壊は当然のことであるが、地震による斜面崩壊でも、地下水の影響を受けている場合が多いので、降雨により発生する斜面崩壊と同様に地下水排除工も対策として効果がある。なお、斜面の下端が河川に接しており、この部分の侵食により斜面が不安定化している場合には、斜面下端の侵食を防止するための護岸工・水制工・砂防えん堤による堆砂などが有効であると考えられる。

特に豪雨や地震により発生した斜面崩壊の周辺での斜面崩壊の拡大や、地震により亀裂等が発生した斜面における崩壊を防止するための二次災害の防止のための応急対策（表 5. 1.2の③）としては雨水の浸透を防止して、地下水位（間隙水圧）の上昇を軽減するために、地表水排除工や地下水排除工が有効と思われる。

### （3）下流におけるハード対策

山地において斜面崩壊が発生すると斜面崩壊部直下の渓流・河川では天然ダムが形成されたり、崩壊土砂がそのまま土石流となって渓流や河川を流下する場合がある。したがって下流におけるハード対策は(i)天然ダムに対処する場合と(ii)土石流に対処する場合に分類される。この2つの対策は特に発生直後の③応急対策において方法が異なる。すなわち、(i)天然ダムの形成に対しては、迅速に湛水位を低下させて、決壊を防止するか、決壊した場合でも下流に流下する土石流や洪水の規模を減少させて下流の被害を防止・軽減する方法が採られる。このために天然ダム上や天然ダムの脇（地山）に排水路を開削したり、排水ポンプで湛水した水を排水して湛水位を下げるなどの対策（表 5. 1.2）が実施される場合が多い。一方(ii)土石流による被害の拡大に対しては、下流の砂防えん堤の除石や仮設導流堤（堤防のかさ上げ）などが実施される。しかしながら、平常時の対策（事前対策）（表 5. 1.2の①）あるいは事後の恒久対策（表 5. 1.2の④）では天然ダムと土石流ではほぼ同様であり、下流に治山えん堤・遊砂地等を設置して流下してくる土石流を捕捉したり、導流堤、床固工、護岸工を設置して土石流や土砂流の氾濫を防止・軽減するなどの対策が採られる。

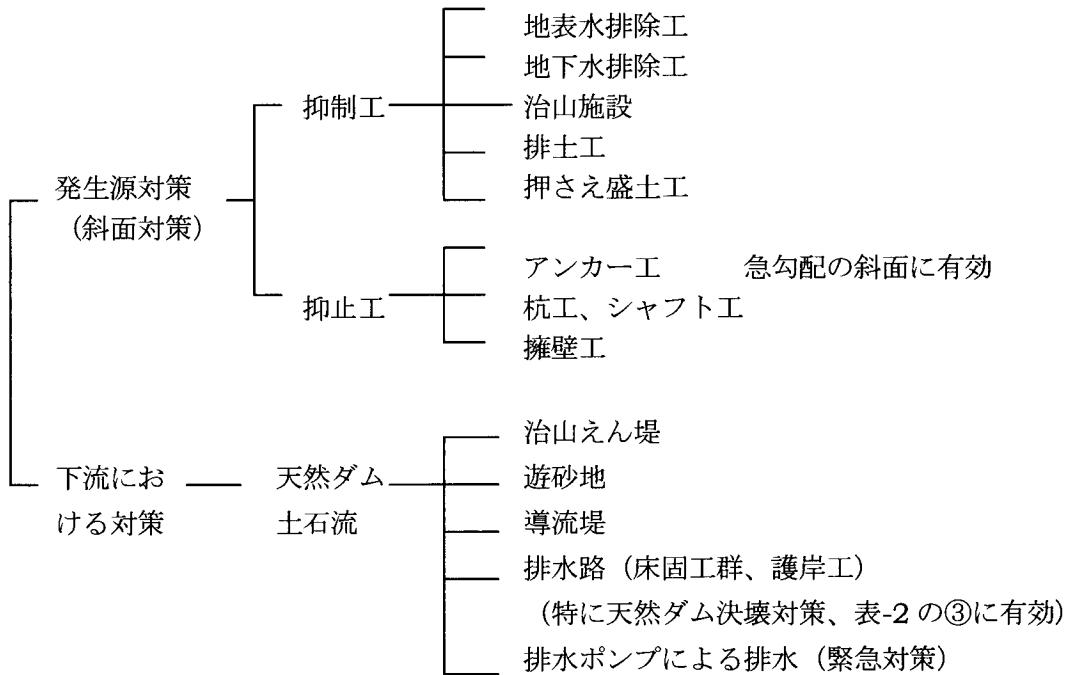


図 5.1.5 平成 16 年の新潟県中越地震による東竹沢の天然ダムと応急対策工  
(ポンプによる排水と排水路の設置) 高さ 30m、湛水量約 260 万 m<sup>3</sup>、河床勾配 1/60

## 5.1.5 フト対策

### (1) 時間の経過に応じたソフト対策

ソフト対策については、降雨による土砂災害と地震による土砂災害とでは異なる。また、表 5.1.2、表 5.1.3に示すように対策を実施する時期に応じて、平常時の対策（事前対策）、緊急対策（発生直前）、応急対策（発生直後）、恒久対策に分かれる。さらにハード対策と同様に発生源（斜面）における対策と下流における対策に分ける事ができる。これらのうち、時間の経過により必要な対策の内容が大きくなるので、時間の経過に応じた対応が特に重要である。

### (2) 平常時の対策（表 5.1.2の①）

平常時の対策としては、土砂移動現象の発生誘因（豪雨、地震、火山噴火、融雪等）、土砂移動現象の種類（斜面崩壊、地すべり、土石流等）、発生場所（位置）、規模を予測し、土砂移動現象により被害の発生する範囲、被害の程度を予測し、ハザードマップを作成し、関係住民に公表する必要がある。例えば斜面崩壊による被害を予測する際には、斜面崩壊と人家や施設等の距離（位置関係）および崩壊土量が重要であり、この距離が短く、崩壊土量が大きいほど被害を受ける危険性は高くなる。さらに斜面崩壊による崩壊土砂により天然ダムが形成される場合にはその規模や上流への湛水範囲、天然ダムが決壊した場合に発生する土石流や洪水の下流での影響範囲を予測しておく必要がある。また、発生源（斜面）においては平常時における地表面の亀裂・変状、下流においては渓流・河川の水位・流量・水質を観測しておき、これらのデータを整理して緊急時に備える必要がある。また、都道府県や市町村では、地震等による土砂災害に対応した災害対策基本計画を作成し、備えておく必要がある。

### (3) 緊急対策（表 5.1.2の②）

豪雨による緊急時とは「土砂災害警戒情報」等が発表される場合であり、地震による土砂災害の緊急時とは、大規模地震対策特別措置法第 33 条に基づき、気象庁から発表される「東海地震注意情報」、「東海地震予知情報」、内閣総理大臣により発せられる「地震災害に関する警戒宣言」などが発表される場合を指す。緊急時には、予め崩壊の危険性がある斜面について、当該地域の降雨量、予想震度、斜面における地表面・地中の変状、地下水位等の観測データを基に斜面崩壊の発生およびそれに伴う天然ダムの形成の危険性が高いと判断される場合にはそれらに関する情報を関係する機関に連絡して、市町村長ならびに住民の避難のための判断資料とする必要がある。

### (4) 応急対策（表 5.1.2の③）

斜面崩壊発生直後の応急対策時には、まず、斜面崩壊の発生状況を迅速に把握し、場所、規模、被害、天然ダムの形成の有無等に関する情報を得る必要がある。斜面崩壊等による直接的な被害が発生している可能性がある場合には迅速に人命の救助・救護・救援等を行う必要がある。さらに斜面崩壊が拡大することや、崩壊土砂により形成された天然ダムの形成や決壊による二次災害の危険性が高いかどうかを判断するための調査を迅速に行う必要がある。二次災害による住民の生命に対する危険性が高い場合には都道府県や市町村などの関係部署に情報を迅速に伝達して市町村長による避難勧告等の判断の資料を提供する必要がある。大規模な土砂災害が発生する場合には、山岳地の道路は斜面・のり面崩壊等により交通止めとなっている場合が多いので、また、被害の範囲は広域である場合が多いので応急調査にはヘリコプターや UVA(無人航空機)等を活用して行う必要がある。

### (5) 恒久対策（表 5.1.2の④）

斜面崩壊発生後の長期的な住民の安全を図るためのソフト対策は、基本的には2.3.5.2の平常時の対策と同様であるが、斜面崩壊発生前とは斜面や下流の地形や土砂の堆積状況、場合によっては人家の配置や施設の配置も異なるために、これらを考慮して、ハザードマップの再検討、情報伝達体制の再検討などを行い、ソフト対策を再構築する必要がある。

表 5.1.3 ソフト対策の種類

区分	対策の種類
平常時の対策	危険区域（ハザードマップ）の設定・公表 警戒・避難体制の整備 TVカメラ、雨量計、水位計、変位計、量水計等の設置、観測、水質の観測 土地利用計画・土地利用規制
緊急時の対策	当該地域の震度予測 地下水位の監視・予測 斜面の変位量の監視・予測 警戒・避難（情報収集・伝達、避難勧告等）
応急時の対策	発生箇所の把握（位置、規模、被害） 救援・避難 二次災害の危険度調査 ハザードマップの修正 警戒・避難（情報収集・伝達、避難勧告等）
復旧対策 (恒久対策)	危険区域（ハザードマップ）の再設定・公表 警戒・避難体制の再整備 TVカメラ、雨量計、水位計、変位計、量水計等の設置、観測、水質の観測 土地利用計画・土地利用規制

### 5.1.6 危機管理について

#### (1) 現象発生直後の調査

大規模な土砂災害が発生した場合に、土砂災害の形態、発生場所、規模、被害の状況等を迅速に把握することは、被災者の救助・救援のみならず、二次災害の防止・軽減、応急対策の迅速な実施にとっても極めて重要である。例えば天然ダムの位置や規模を事前に想定したとしても、実際に発生する天然ダムの位置や規模は想定とは異なる可能性が高い。このため、事前に想定していた天然ダムの決壊にともなう土石流・洪水の危険区域と実際に起こる天然ダムの決壊に伴う土石流・洪水の危険区域とは異なる可能性も高い。したがって、実際に起きた天然ダムの決壊にともなう土石流・洪水による危険区域を的確に予測するためには実際に発生した天然ダムの位置や規模、形状、堆積崩土の材料（粒径）等を発生直後に調査して危険区域の再検討を行う必要がある。さらに、天然ダムの決壊時刻の予測についても天然ダムの形状、流入流量、堆積土砂の透水性などに関する現地での詳細な調査データが不可欠である。また、地滑りについても、事前に想定している現象と実際に発生する現象とは異なる場合があるので、実際に変状が発生してから調査を行うことが重要となる。このような大規模な土砂災害の予測については、原因となる現象が発生してからの調査が極めて重要である。

大規模な土砂災害が発生するような場合には山岳部の道路は斜面・のり面崩壊により通行止めになる場合が多い。このため、災害発生後の調査を迅速におこなうためにはヘリコプター、UAV等による空からの調査を実施する必要がある。さらに、危険な区域での土砂試料の採取や観測計器の設置のためには、遠隔操作の無人ロボットに搭載した調査機器の使用が望まれる。

## (2) 応急ハード対策

大規模な土砂災害が発生し、斜面崩壊の拡大や形成された天然ダムの決壊により二次災害が発生する危険性がある場合には迅速に危険な区域から住民を避難させるとともに斜面崩壊の拡大防止や天然ダムの決壊防止あるいは下流への影響の軽減のための応急的なハード対策を実施する必要がある。応急のハード対策としては、下流の治山ダムにおける除石や天然ダム上流の水位を下げるための、ポンプによる排水、排水路の設置などが行われる。このようなハード対策は降雨や余震による斜面崩壊の拡大、天然ダムの決壊による土石流の危険性のある中で行なわれる場合が多いため、工事担当者の安全を検討し、安全性が確保し難い場合には、無人化施工による方法を採用する必要がある。このため、事前に無人化施工に適する施設の設計や施工法の検討、無人化施工に必要な機材や人材のデータ等を整備しておく必要がある。

さらに、前述したように、大規模な土砂災害が発生するような場合には山岳道路は通行止めになる可能性が高く、また復旧も遅くなる場合が多いので、応急対策を行うための機材はヘリコプターを用いて運搬する必要がある。特に、ハード対策には大型の重機の運搬が必要となるので、迅速な運搬と工事実施を考えると、重機を分解しないで運搬できるような大型のヘリコプターの配備が必要である。

### 5.1.7 計画規模を超える現象への対応

一般に土砂災害対策は発生する現象の種類や規模を想定して計画、設計されている。例えば、豪雨による土石流対策などでは対象降雨の年超過確率（通常は100年確率降雨）にもとづいて規模を想定してハードおよびソフト対策が計画されている。火山噴火による土砂災害では噴火の規模や形態、期間などを想定し、それに応じた土砂移動現象を想定して火山泥流や溶岩流等の規模や流下範囲を算定してハザードマップを作成し、ハードおよびソフト対策を計画する。このため、対策施設の効果には限界があるため、計画規模を超えるような現象が発生した場合には大きな被害が発生することが考えられる。平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により発生した津波の規模は想定していた津波の規模を超えていたために防潮堤が破壊されたり、避難場所が破壊されて人命や財産に大きな被害を与えることとなった。このため、このような超過規模の災害にどのように対処するかが大きな課題となっている。

ダムの耐震設計では、地域的に一定の設計震度を設定した震度法により行われているが、それを超えるような大地震に対処するため、現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動を想定した「レベル2地震動」を用いて耐震性能を検討することとしている（「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」、国土交通省河川局）。すなわち、レベル2地震動に対するダムの耐震性能としては、貯水機能が維持されるとともに、生じた損傷が修復可能な範囲に留まることとしている。このような考え方を用いれば、通常の想定レベルを超えるような、過去に発生した最大規模のレベルを新たに設定して、そのような場合にも壊滅的な被害を発生させないハードおよびソフトの対策を実施することが重要と考えられる。すなわち通常の想定レベル（レベル1）の対策と、それを超えるような最大規模のレベル（レベル2）に対応する対策を実施する、2段階（場合によっては3段階）の対策を講じることが必要と考えられる。

段階的なハード対策としては例えば、大規模治山施設の耐震設計においても、設計震度を2段階に設定して、レベル1では通常想定される設計震度を用いて、レベル2ではまれに起こるような大規模の地震で起こる地震動を用いて耐震性能を照査するようとする。

段階的な地震対策としては、想定される土砂移動現象についても、通常想定される規模の地震（M7

クラスまで)によるものと大規模な地震 (M8-9 クラス) によるものの 2 段階で土砂災害の発生予測を行い、道路等の被害の発生状況も考慮して応急的なソフトおよびハード対策を検討して計画する必要がある。豪雨による土砂災害についても、計画に用いる年超過確率を 2 段階（レベル 1 とレベル 2）とする必要がある。例えば、施設の設計においても、通常想定される豪雨（レベル 1；100 年確率降雨）により発生する斜面崩壊や土石流に対して破壊されないように設計するだけでなく、まれにしか起こらない豪雨（レベル 2；例えば 1000 年確率降雨）により発生する降雨や土石流に対しても施設の機能を喪失しないような設計を行う必要がある。また、ソフト対策における避難についても通常想定される豪雨（レベル 1）では近所の避難所に避難し、まれにしか起こらないような豪雨（レベル 2）になると判断される場合には遠方であるが安全度の高い避難所あるいは居住性は悪いが安全度の高い避難所に避難するように計画するなどの対応を考えられる。

### 5.1.8 今後の課題

土砂災害なかでも斜面崩壊に関する今後の調査・研究の主な項目を表 5.1.4 に示す。今後の調査・研究の課題としては、まず、①斜面崩壊等の土砂災害の発生予測手法であり、予測の内容としては、場所、規模、発生時刻、形態である。さらに、斜面崩壊による崩壊土砂は、天然ダムを形成したり、そのまま土石流となって渓流を流下して下流に被害を与える場合があることから、天然ダムの形成・決壊、土石流の流下を含めた②崩壊土砂の流下・堆積予測手法、それらによる被害の発生予測に関する研究が必要である。また、③効果的なハード対策手法の開発（事前、直後、恒久対策）、④効果的なソフト対策手法の開発（事前、直前、直後、恒久対策）が必要である。また、ハード対策・ソフト対策についてはこれらの効果の評価も今後の検討課題と考えられる。

特に大規模土砂災害については発生直前の監視、発生直後の調査、ならびに発生直後のハード対策（二次災害防止のための応急対策）が重要になると考えられる。これらの調査や対策工事の施工に当たっては迅速に調査や施工を行うことと、調査者や施工者の安全性を確保することが重要である。このため人工衛星や航空機・ヘリコプター・UAV 等による方法、無人化施工重機による方法、遠隔操作のロボットを用いた方法等を今後、積極的に開発していく必要がある。

表 5.1.4 今後の斜面崩壊による災害対策に関する調査・研究の項目

区分	調査・研究の項目	
①斜面崩壊の発生予測手法	発生機構の調査・研究	地形図、地質図 地上からの地形・地質調査
	地形・地質調査	地形図、地質図 地上からの地形・地質調査
	地上の観測による方法	地下水位観測、水位・流量観測 雨量観測、変位観測、水質観測
	リモートセンシングによる方法	SAR, LP計測 UAVによる調査、ラドン測定
②崩壊土砂の流下・堆積予測手法	崩壊土砂の運動機構（天然ダム、土石流を含む） 数値シミュレーション手法 被害の発生予測、被害の評価	
③効果的なハード対策手法	試験施工・現地観測 事前の対策 応急時の対策、二次災害対策 (無人化施工、ヘリコプターによる運搬) 被害の軽減効果の評価	
④効果的なソフト対策手法	必要な情報の収集・整理・伝達手法、ハザードマップ作成 事前の対策、緊急時の対策、応急時の対策、二次災害対策 (無人化ロボットによる調査、空中からの調査) 被害の軽減効果の評価	

### 5.1.9 おわりに

東北地方太平洋沖地震により斜面崩壊、地すべり、土石流等の土砂災害が広い範囲にわたり発生しており多大な被害が発生している。地震後に梅雨期を迎え、地盤が緩んだり、亀裂が生じている斜面や地すべり地では、崩壊が拡大したり、新たに斜面崩壊が発生したり、地すべりが再活動をおこなう可能性が高まっている。

平成23年1月末から噴火活動が活発化している霧島山新燃岳の噴火も継続しており、多量の火山灰が周辺地域に堆積している。梅雨期や台風期を迎えて土石流の発生する危険性が高まっている。さらに、近い将来、気候変動の影響により、豪雨や巨大な台風が頻発することが予想されておりこれまでとは異なった大規模な砂災害が発生する可能性もある。

大規模土砂災害は小規模な土砂災害に比べて発生頻度は少ないものの、一度発生すると広い範囲で多数の家屋が破壊されて、多くの人命が失われる。さらに、交通手段や通信手段の途絶により地域の経済や社会にも大きな被害を与え、災害時の避難、災害後の救助、復旧、復興も困難になる。このため、大規模土砂災害対策は我が国における防災において喫緊な課題であり、そのための対策を日頃から十分に検討して着実に実施していく必要がある。

## 5.2 重力式コンクリート治山ダムに作用する外力に関する課題（日本大学 阿部和時）

### 5.2.1 はじめに

重力式コンクリート治山ダム設計に用いる設計外力は、地震動および土石流を考慮しない場合には次の5通りに区分されている。

#### 1型：水圧+水中土圧

砂礫がルーズで短期間に堆積し、水圧と水中土圧が作用すると予測される場合。

#### 2型：水圧

ダム完成まで堆積せず、水圧が作用すると予想される場合。

#### 3型：2/3水圧+1/3土圧

堤高の1/3まで水締めされた土砂が堆積し、その上部に水圧が作用すると予想される場合。

#### 4型：1/2水圧+1/2土圧

堤高の1/2まで水締めされた土砂が堆積し、その上部に水圧が作用すると予測される場合。

#### 5型：土圧

ダムの完成までに天端まで水締めされた土砂が堆積すると予想される場合。

このうち、3, 4, 5型では堤体の一部、あるいは全体に土圧が作用すると設定しており、この場合には2型の全水圧よりも小さい外力が算出される。

しかし、平成8年12月、長野県を流れる姫川支流の蒲原沢で発生した土石流によって治山工事・砂防工事に従事していた14名の方々が犠牲となった。この際に、建設中の治山ダムが破壊されたことから災害直後に発足した「12.6蒲原沢土石流災害調査委員会」から、重力式コンクリート治山ダムの設計に対して次のような提言が出された。

「ある程度流域面積を有し水量が多い溪流に重力式コンクリート治山ダムを建設する場合には、堆砂内の浸透水による水圧の影響や、堤体背面に土砂が堆積する前に洪水に襲われる場合等が考えられることから、堤高全体に水圧を考慮する設計が必要。」

この提言は、現行の重力式コンクリート治山ダムの設計に用いている外力に関する5つの基準のうち、ダムの一部、あるいは全体に土圧を用いている3, 4, 5型の基準に対して、安全面での再検討を要求するものとなっている。全ての重力式コンクリート治山ダムの設計で全水圧を外力とした場合にはダム体積が大きくなり、その影響は大きい。

重力式コンクリート治山ダムに作用する外力を実際に計測した例はわずかであり、実際の外力を正確に評価するには到っていない。今後、この外力の測定、研究が必要であると思われる。ここでは、これまでの調査事例を紹介する。

## 5.2.2 設置された重力式コンクリート治山ダムの設計外力別の個数と破壊の状況

表 5.2.1 平成 7 年度、全国に設置された重力式コンクリート治山ダムのタイプ別個数

高さ区分 (m)	総数	タイプ別個数				
		I 型	II 型	III 型	IV 型	V 型
-3	524	12	0	0	34	478
3 - 4	663	5	1	4	106	547
4 - 5	1230	6	1	3	413	807
5 - 6	1587	9	3	23	876	676
6 - 7	1629	19	2	41	1137	430
7 - 8	1153	5	1	32	902	213
8 - 9	449	5	1	19	361	63
9 - 10	134	5	2	9	103	15
10 - 11	38	3	0	3	27	5
11 - 12	12	0	0	5	6	1
12 - 13	19	0	1	2	15	1
13 - 14	5	0	0	0	5	0
14 - 15	4	0	0	3	1	0
15 -	2	0	0	0	2	0
合計	7449	69	12	144	3988	3236

平成 7 年度、全国で施工された重力式コンクリート治山ダムについて、5 通りの設計外力による区分を行い集計した結果を表 5.2.1 に示した。これによると全水圧を設計外力に用いている 1, 2 型は 1.1% にすぎず、土圧を用いている 3, 4, 5 型は約 98.9% にも及んでいることが明らかになった。また、重力式コンクリート治山ダムの破壊状況を調査したところ、平成 5~9 年までの 5 年間に上記調査委員会が提言の中で指摘したダム背面堆砂内の水圧や堆砂する前の出水によるダムの破壊は皆無であることがわかった。

## 5.2.3 重力式コンクリート治山ダムに作用する外力の測定例

静岡県内の大井川支流大玉沢、平成 10 年度に施工された重力式コンクリート治山ダムで外力の測定が行われた。このダムは全土圧で設計された 5 型の重力式コンクリート治山ダムである。

大玉沢流域内には荒廃斜面が多く土砂流出が激しい流域である。外力測定に使用されたダムは有効高 5m で、放水路天端から 1.5m 間隔で 3 段に、水圧計が 1 列、土圧計が 2 列、上流側ダム壁面に設置された。計測は 1 時間間隔で行われた。同時にダムの袖に雨量計を設置し 10 分間隔で測定された。

土圧計の受圧部は直径 16cm で、この部分をダム上流側壁面と一致させ、受圧面に接触する土粒子と土中水によって及ぼされる圧力を土圧として測定できる。水圧計の受感部には堆砂内の土中水だけが接触できるようになっており、土中水による間隙水圧が測定できる。

## 5.2.4 測定結果と考察

### ① 土圧、間隙水圧の状況

大玉沢の治山ダムで計測した土圧・水圧データの一部を紹介する。図 5.2.2 には土圧計のデータを、図 5.2.1 には水圧計のデータを、図 5.2.3 には日雨量データを計測開始から 11 月上旬までの分を示す。

した。

図 5.2.2に示した土圧計データは、6月19~26日にかけて降雨によると思われる高い値を示している（後述）。6月28, 29日の埋め戻し作業では深さ1.5mの土圧計データが他の土圧計データよりも大きい上昇を示し、比較的浅い部分で土工機械による締め固めの影響が表れているとみられている。その後、深度1.5mの値は徐々に減少して、7月28日に土圧は急減してゼロになった。このとき同時に深度4.5, 3.0mの土圧も急減しているので、土圧計に近接した部分の堆積土砂が再移動したものと推定している。8月に入ってからは3深度のデータともに比較的安定した値を示している。深さ4.5mの土圧計は0.21~0.24, 深さ3.0mでは0.05~0.08, 深さ1.5mでは0.02kgf/cm<sup>2</sup>程度の値を示している。

図 5.2.1に示した水圧計データは、埋め戻し前の6月19~26日にかけて高い値を示している。土圧計データにも同じ傾向が表れているが、水圧データと値がほぼ等しいことから、この高い値は出水による水圧で生じたものと考えられる。その後、埋め戻しが行われたが、水圧計データは深度4.5mで約0.13kgf/cm<sup>2</sup>, 深度3.0mと1.5mでほぼ0kgf/cm<sup>2</sup>となって安定した値を示している。この原因は、ダムに設けた直径約0.5mの2つの水抜きの中心が深さ3.0mの位置にあり、埋め戻し後も閉塞していなかったので、深さ4.5mの位置では約0.12~0.13mの土中水位が常に存在するため、また水抜きより上の堆砂内の土中水は水抜きから流出してしまうためと思われる。なお、この期間中ダム背面の埋め戻し堆砂土砂上には常に渓流水が存在したが、水圧計を設置した1.5mと3.0mの深さで無降雨日には間隙水圧が生じておらず、渓流水があっても堆砂内が飽和している状況にはなっていないと考えられる。

8月下旬から10月にかけて間隙水圧データはたびたび高い値を示している。特に、深さ4.5mと3.0mの水圧計でこの傾向が顕著である。この急激な間隙水圧の上昇は日雨量データと照合すると、明らかに多量の降雨があった時間と一致していることがわかる。すなわち、多量の水の供給で堆砂内への浸透水が増え、堆砂土砂内部では下部から飽和帯が形成されてきて、深いところほど高い間隙水圧が作用することになる。しかし、8月28日の150.5mmの日雨量を筆頭にこの期間中たびたび豪雨に見舞われたにもかかわらず、深さ1.5mでは2回しか間隙水圧が発生せず、飽和帯は2回しか1.5mまで上昇しなかったことになる。これは上述のように水抜きの影響によるものと思われる。

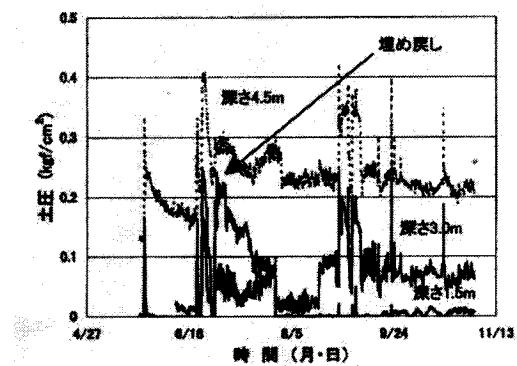


図 5.2.1 深さ4.5, 3.0, 1.5mに作用する  
土圧の変動

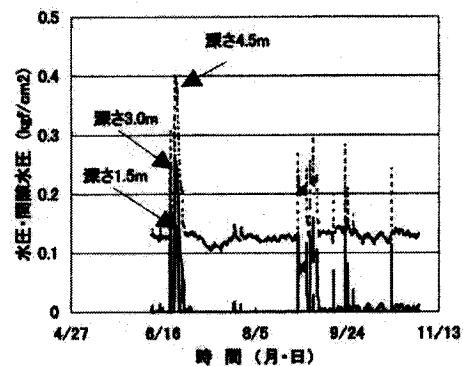


図 5.2.2 深さ4.5, 3.0, 1.5mに作用する  
水圧・間隙水圧の変動

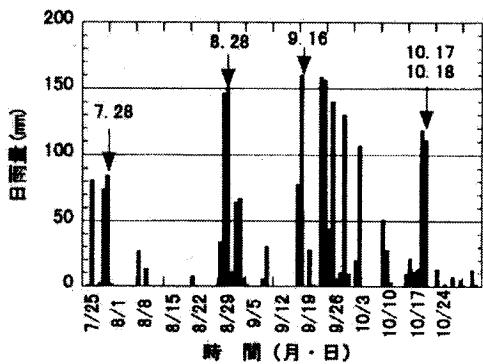


図 5.2.3 計測期間中の日雨量

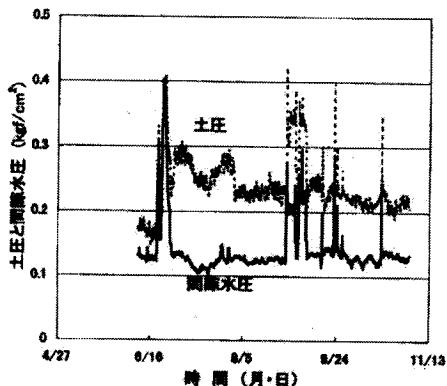


図 5.2.4 深さ 4.5m における土圧と間隙水圧の変動

## ② 設計土圧と実測土圧の比較

このダムの設計外力を重力式コンクリートダム断面表の設計条件に基づき、堆砂の内部摩擦角  $30^\circ$ 、堆砂の単位体積重量  $1.8\text{tonf/m}^3$ 、越流水深  $1.0\text{m}$ 、越流水の単位体積重量  $1.2\text{ tonf/m}^3$  としてランキンの土圧式で計算した結果、深さ  $4.5$ ,  $3.0$ ,  $1.5\text{m}$  でそれぞれ  $0.40$ ,  $0.31$ ,  $0.21\text{kgf/cm}^2$  となった。これらの値は無降雨日に測定された土圧データと比べると大きく、ダムは非常に安定した状態であることが示されている。

次に、降雨時の土圧、間隙水圧をみてみる。8月以降には降雨に対応した土圧、間隙水圧の急激な上昇が数回生じている。8月28日の日雨量  $150.5\text{mm}$  によって深さ  $4.5\text{m}$  と  $3.0\text{m}$  の土圧データは、この期間中最大の  $0.42$ ,  $0.24\text{ kgf/cm}^2$  をそれぞれ示している。ただし、深さ  $1.5\text{m}$  の土圧はゼロである。これらの実測値と設計外力を比べると、深さ  $4.5\text{m}$  の値は実測値が  $0.02\text{ kgf/cm}^2$  上回ったが、深さ  $3.0\text{m}$  と  $1.5\text{m}$  では設計外力の方が大きく、ダム全体に作用する外力としては設計外力を超えていない状態であった。次に、土圧の最大値が表れたときの深さ  $4.5\text{m}$  における土圧と間隙水圧の状況を調べてみると、土圧は  $0.23\text{ kgf/cm}^2$  から  $0.42\text{ kgf/cm}^2$  に  $0.19\text{ kgf/cm}^2$  上昇したことになる。間隙水圧は  $0.12\text{ kgf/cm}^2$  から  $0.27\text{ kgf/cm}^2$  に  $0.15\text{ kgf/cm}^2$  上昇している。したがって、出水時の土圧の上昇は大部分が間隙水圧の上昇によってもたらされたものと考えられる。これ以後の土圧データの急上昇も、同様に間隙水圧の上昇で生じていることが、土圧と間隙水圧を比較した図 5.2.4から判断できる。

以上のように、この調査地の場合ダムに作用する外力は堆砂内の土中水がもたらす間隙水圧により大きく変動することが示された。したがって、豪雨時の出水による土中水の作用を明らかにして、その影響を設計外力に反映できるよう検討する必要があると考えている。

## 5.2.5 おわりに

ここで紹介した大井川支流の大玉沢流域は中生代の堆積岩が激しい破碎作用を受けた地質で、溪床には角張った岩礫が多く、ダム背面の堆砂の透水性は相当高いとみられる。この土質の特徴によって堆砂内の閾値水圧が降雨量に対応して敏感に増減すると考えられる。しかし、土質特性が異なり透水性が低ければ、このような結果が生じない可能性も十分に考えられる。

治山ダムに作用する外力の測定事例はほとんどなく、今後様々な立地条件下に設置されている治山ダムを用いて外力の実態を明らかにする必要があると考えている。現状では上述したように、外力を

全土圧として設計しても静圧によってダムが破壊された事例はないようであるが、ダムに作用している実際の外力をデータとして把握しておくことは重要と思われる。

## 5.3 いくつかの災害事例に見る防災施設の被災

(新潟大学 川邊 洋)

### 5.3.1 治山施設の役割

治山施設の本来の目的は、災害に結びつく物質移動を防ぐことではなく、物質移動を起こさないことがある。したがって、治山施設はたとえ破壊されても、物質移動を抑えることができれば、その目的を達成したことになる。治山施設の設計や配備計画を考える際には、このことを常に念頭に置いておく必要がある。

### 5.3.2 いくつかの災害での被災例

#### (1) 豪雨災害

平成16年の福井豪雨を例に、治山施設の効果と被災の状況を見てみる。

まず、治山施設（治山ダム）には次のような効果が見られた。

①流出土砂の捕捉・・・異常な降雨により新たな崩壊地や渓流荒廃が発生し、大量の土砂や流木等が下方へ流出したが、治山ダムの整備箇所（12箇所）においては、1箇所当たり $120\sim2,153\text{m}^3$ の土砂等を捕捉した。

②山脚の固定および不安定土砂の抑止・・・流出土砂の抑止により山脚の固定が図られ、山腹崩壊の拡大を防止している例が見られた（今立町西河内など）。

③ダム群による縦横侵食の防止・・・美山町蔵作では、階段状に設置されたダム群により、流出土砂を抑止（捕捉）するとともに、縦横侵食の防止が図られ、渓岸崩壊はほとんど見られなかった。また、階段状にダムを設置することで、渓床勾配が緩和され、土石等の流下速度が抑制されたものと推察される。

④面的整備による土砂生産量の軽減・・・鯖江市上河内町において、治山ダムが6基整備されている流域（流域①）と、治山ダムが整備されていない流域（流域②）におけるha当りの土砂生産量を比較した結果、流域①の $786\text{m}^3/\text{ha}$ に対して、流域②では $1,152\text{m}^3/\text{ha}$ であり、流域①の方が32%（ $366\text{m}^3/\text{ha}$ ）土砂生産が少なかった。また、流域外へのha当りの流下土砂量を比較すると、流域①の方が土砂の流出を43%（ $497\text{m}^3/\text{ha}$ ）軽減していた。条件は同一ではないが、治山ダムの面的整備により、土砂生産が軽減され、渓床の安定化が図られたことが伺える。

次に、治山施設の被害状況は次の通りである。

今回の豪雨による治山施設の被害には、治山ダムの局所洗掘（6箇所）、拡大崩壊に伴う山腹施設の被災（6箇所）、護岸工の被災（2か所）および治山ダムの異常堆積（1箇所）が見られるものの、全体としては少なく、その意味では治山施設としての効果は十分に発揮されたものと思われる。

#### (2) 地震災害

##### 1) 兵庫県南部地震

治山施工物で完全に決壊したものはなかった。しかし、一部に横クラックと縦クラックの発生が見受けられた。横クラックは横方向からの土体応力の発生によるもの、縦クラックは、断層の縦ずれ、またはダムと直交方向の横ずれ等による応力の発生によるものと推定される。

##### 2) 新潟県中越地震

小屋柄川流域に位置する魚沼市（旧広神村）水沢新田地区は、昭和44年に融雪による土砂災害に見

舞われたところである。災害後に建設された堰堤（高さ5m、天端幅1.5m）では、今回の地震により、コンクリートの打ち継ぎ目を境に、上部ブロック（袖部）が25cmほど下流側に移動していた（図 5.3.1）。上流側の堆砂敷には25cmほどのクラックが入っており、かつコンクリートの目地がこの移動により欠損していた。かなり瞬間的なブロックの移動があったものと考えられる。

この例は、地震動による堰堤の損壊というより、地震動により発生した上流側堆砂敷の土圧によるずれと考えられ、堆砂敷の滑りを抑制した堰堤の効果とみなせるものである。



図 5.3.1 堤堰袖部のずれ（魚沼市広神地区水沢新田）

新潟県中越地方は積雪深が普段でも2mを越える豪雪地帯である。このため、道路や集落を保全対象とした雪崩対策施設が数多く設置されている。雪崩対策施設で代表的なものは、斜面の積雪の移動を押さえて雪崩の発生を未然に防ぐための雪崩予防柵である。同地方には多くの雪崩予防柵が斜面に設置されているが、その多くは無事に残り、あるものは崩落した土砂や樹木（倒木）を止めていたものもあった。一部には、今回の地震により、斜面の崩落とともに破損あるいは落下しているものが見られた。

### 3) 能登半島沖地震

急傾斜地崩壊防止施設の被害が3箇所で発生した。いずれも震央に近い輪島市門前町の旧市街地周辺で発生しており、擁壁のクラック、枠組土留め擁壁の変位、法枠の亀裂やずれ、アンカーの破断（11本中3本）などの被害が確認された。

### 4) 岩手・宮城内陸地震

施工済みの地すべり対策箇所（奥州市尻前川地すべり）で、集水井のせん断破壊とアンカーの破壊が見られた程度である。

## （3）火山災害

長崎県雲仙岳周辺を管轄する長崎県林務課の治山対策を例に、火山地域での治山対策について概説する。

火山特有の災害の特徴として、次の項目が挙げられる。

- ① 火山周辺の森林は、火碎流・熱風・火山ガスなどにより焼失・枯損等著しい被害を受けている。
  - ② 山体が火山灰で覆われ、雨水等の地中への浸透能が著しく低下している。このため、降雨のたびに地表流が発生し、山腹は浸食され、林地の荒廃が急激に進行する。
  - ③ 溪流に流出・堆積した土砂および火山噴出物は、降雨により発生する土石流の元凶となる。
- このような災害に対して、治山計画の基本方針は次のとおりである。
- ① 山腹荒廃地
- ・浸透能の回復および浸食の抑制のため、航空実播工により早期全面緑化を図る。

- ・火碎流跡地については、降雨の集中流下を防ぎ、流水を拡散させることにより、土砂の流出を防止するため、土留工、緑化工を計画する。
  - ・山腹凹部においては、大雨時の浸食防止のため、水路工を計画する。
- ② 溪流荒廃地
- ・溪間に堆積した火山灰等の浸食、流出を抑制し、土石流を防止するため、治山ダム群を階段状に連続配置する。
  - ・流路を固定し、溪岸の浸食を防止するため、主要区間に流路工を計画する。
- ③ 森林立枯地域
- ・火山活動終息後、植生を早期に回復・維持させるため、木柵工、緑化工等を計画する。
- ④ 森林変色地域
- ・広葉樹については自然回復が期待できることから、今後、その維持を見守ることとする。
  - ・ヒノキ等の針葉樹については、回復の見込みが少ないとことから、森林の造成を計画する。

## 2. 4. 3 被災施設の調査要領について

既設の防災施設が被災した場合、被災施設の実態調査を通して原因究明と対応策を立案するために、統一的な調査要領が必要となる。そのような要領を作成する際の注意点を以下に挙げる。

- (1) 防災施設の被災が誘因によるものか、誘因による土砂の移動によるものかを判定する必要がある。土砂の移動による施設の変形は、変形することによって二次災害を抑止したとも解釈することができる。このような場合と、施設が被災して防災の役目を果たすことができなかった場合とは区別するべきである。
- (2) 誘因が豪雨か地震かよりも、施設被災の直接の原因が何か—地盤の変形、崩壊・地すべり、土石流、あるいは地震力—が問題である。
- (3) 被災施設の実態調査として、どのような内容の調査が必要であるかを、過去の事例から収集する。被災事例の収集は、官学民から出されている主要災害時の報告書をもとに行う。災害対応のまずさを検証した報告書が官から出されるなど、時代が変わったとは言え、官へのアンケートや聞き取りからは、積極的な情報開示を期待することは難しいかもしれない。
- (4) 調査マニュアルをどのように整備していくか。被災形態などに関する調査要項は、可能な限り客観的に記載できる内容とする。被災したことによって、二次災害を誘発したのか、二次災害を抑止したのか、が重要な観点となる。
- (5) 設計基準の見直しよりも施設配置計画の検討を重視するべきである。設計基準はせいぜい耐震設計を導入するかどうかに留め、個々の施設で災害に対処するより、水系あるいは流域全体で考えるべきである。

## 5.4 過去の災害事例からみた防災施設の役割

(宇都宮大学 執印康裕)

### 5.4.1 災害に強い防災施設について

災害に強い防災施設ということであるが、そもそも災害に弱い防災施設は言葉の定義上においても存在し得ない。すべての防災施設は、想定した（あるいは想定されうる）外力等に対して、充分な防災効果を発揮するように設計・設置されていることを前提としている。ここで問題となりうるのは

① 想定外力設定の妥当性

② 防災施設の経年劣化

の2点である。

②の防災施設の経年劣化という観点からは、既に前章の〔2. 災害情報システムの体制整備等について〕において、平常時における防災施設の調査年、施工年、種別、最低限の現況（外観の写真数枚、治山堰堤においては亀裂の有無、底部洗掘、袖部抜け等の有無）の現況把握が必要であることを記述した。また過去に設置された防災施設については設計・施工基準が現在の基準を満たしていない事例（石積み等）もあるため、必要に応じて改修等の手段を講じる必要がある。新規の防災施設を新たな設計基準で施工することも場合によっては必要であるが、基本的には既存施設の維持・管理に重点をおくことが現実的である。

①の外力設定に関しては、数百年に一度の規模の外力を設定することは現実的ではなくそのような規模の外力によって発生する可能性のある災害については、施設によるハード対策よりも基本的に警戒・避難対策等のソフト対策によって行なう必要がある。ただし、設計当初の想定外力が妥当であったとしても、防災施設による効果が期待されている保全対象区域の経時変化を考慮して外力の設定を検討しなおす場合も考慮しておく必要がある。すなわち保全対象区域内に発生した災害が広域かつ長期に渡って極めて甚大な影響を周辺地域にあたえる場合等が想定される場合においては、極めて限定的ではあるが設定外力の見直しを行なう必要があると考える。ただしその場合も基本的にはソフト対策が主であり、その場合のソフト対策とは、警戒・避難対策は当然であるとしても、主として災害が発生した後の事後対策について検討を進めておく必要がある。

### 5.4.2 施設配備計画の考え方について

施設配備計画の考え方の原則は以下のとおりであり、当然のことではあるが、従来と根本的には変わるものではない。

（原則1）施設配備によって保全対象地域の災害発生を未然に防止すること。

（原則2）施設配備によって保全対象地域内に災害が発生したとしても、減災効果を発揮すること。

（原則3）上記2原則が効果的に発揮されるよう施設配備がなされること。

上記の3原則について、施設効果の定量的評価という面から多くの検討事例が存在している。防災施設の種類は、山腹工等の土砂生産域対策、治山・砂防堰堤等の土砂生産源・土砂流送域対策、渓流保全工等の土砂堆積域の3種類に大別されるが、検討事例の多くは、土砂流送域における土砂調節効果について報告されているものであり、土砂生産源における施設効果について報告されているものは少ない。これは、土砂流送域における施設効果は、空間的には渓流としての線としての評価が重要であるのに対して、生産源における施設効果は流域としての面的な評価が重要であることに起因している。また土砂堆積域における施設効果については、数値計算技術の発達によって、土砂の氾濫・堆積シミュレーションが広く行なわれており、ある程度まで面的な施設効果の定量的な評価が可能になっている。しかしながら、土砂堆積・氾濫シミュレーションにおいて、生産源および流送域によって規定さ

る入力条件としての土砂ハイドログラフの設定が施設効果を評価する上での重要な要素であることは自明である。以上に述べたことの概略を図 5.4.1に示す。

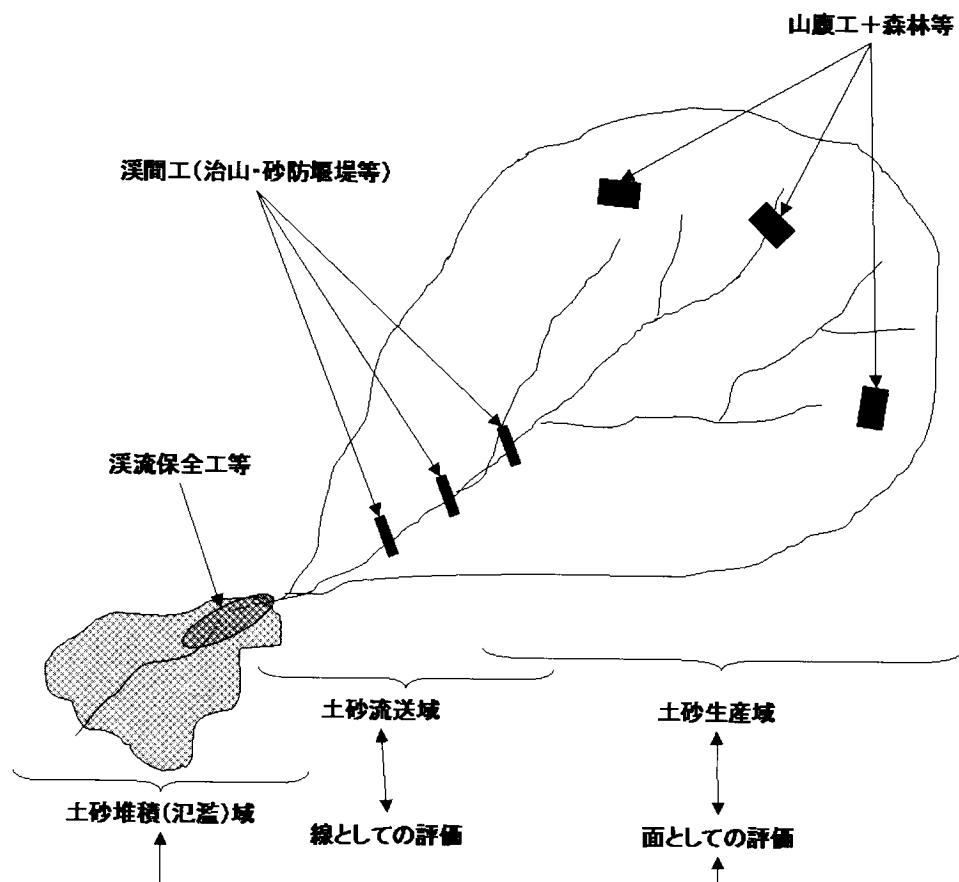


図 5.4.1 防災施設の空間評価概略

図 5.4.1には土砂生産域の対策施設の代表的なものとして山腹工に加えて、より面的な評価が必要なものとして森林を記載している。研究の面からみると、古くは禿山からの森林回復過程が土砂生産に与える影響から検討され、禿山が存在しなくなった現代では森林管理状態の違いが土砂生産に与える影響から検討されている。なお主として研究面から検討されている土砂生産は主として土壌侵食によるものである。また森林と崩壊の関係についても、人工林では林相と崩壊発生機構の関係性について古くからの研究が行なわれていることは周知の事実である。すなわち研究面からの知見は積み重ねられているが、そこで得られた知見をより広域に展開し施設配備計画の中に実務的に取り入られる段階にはなっていないのが現状である。以上のように見ていくと、治山事業においては土砂流送域における施設配備計画と合わせて、土砂生産域での面的な施設（森林を含んだ）効果を考慮した上で配備計画が今後さらに重要になると考える。

## 6. 実態調査アンケート調査結果（防災施設の被災）

### 6.1 県の林務部署を対象とした防災施設の被災実態調査の実施結果

#### (1) 実態調査の期間

平成 24 年 4 月 16 日（月）～5 月 31 日（木）

#### (2) アンケート用紙を配布した都道府県

近年の 10 年間に山地災害が発生した県を中心に以下の県に調査票を配布した。

<東北地方>

青森県、岩手県、秋田県、山形県、宮城県、福島県

<関東・甲信越地方>

群馬県、栃木県、千葉県、長野県、新潟県、山梨県、静岡県

<東海・関西・北陸地方>

福井県、愛知県、三重県、岐阜県、和歌山県、兵庫県、京都府

<中国・四国地方>

高知県、徳島県

<九州地方>

熊本県、佐賀県、長崎県、宮崎県

#### (3) 回答府県

以下の 15 府県から回答を頂いている。県庁内部署の他地方事務所からも回答が寄せられており回答数は全部で 19 件である。

<東北地方>

青森県、岩手県、福島県、宮城県

<関東・甲信越地方>

千葉県、新潟県、静岡県、

<東海・関西・北陸地方>

岐阜県、和歌山県、富山県、京都府

<中国・四国地方>

高知県、徳島県

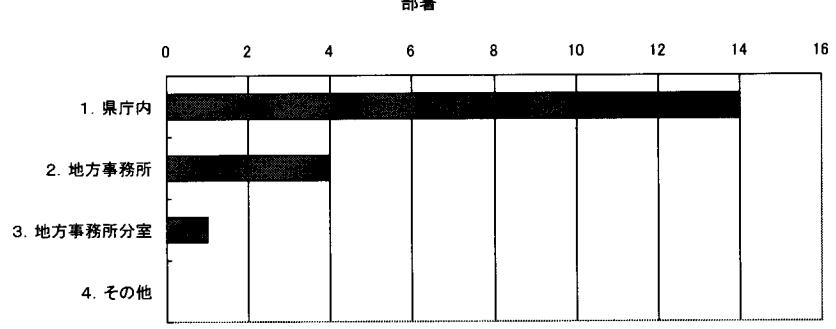
<九州地方>

長崎県、大分県

部署

選択肢	回答数
1. 県庁内	14
2. 地方事務所	4
3. 地方事務所分室	1
4. その他	0
計	19

部署



#### (4) 回答内容

施設災害調査マニュアルに関する各県の整備状況を以下に示す。“その他”とした県もその具体的な内容を見ると調査マニュアルを整備しているということであり、ほとんどの県すでに整備されていることが分かる。整備予定が無い県は2県のみである。

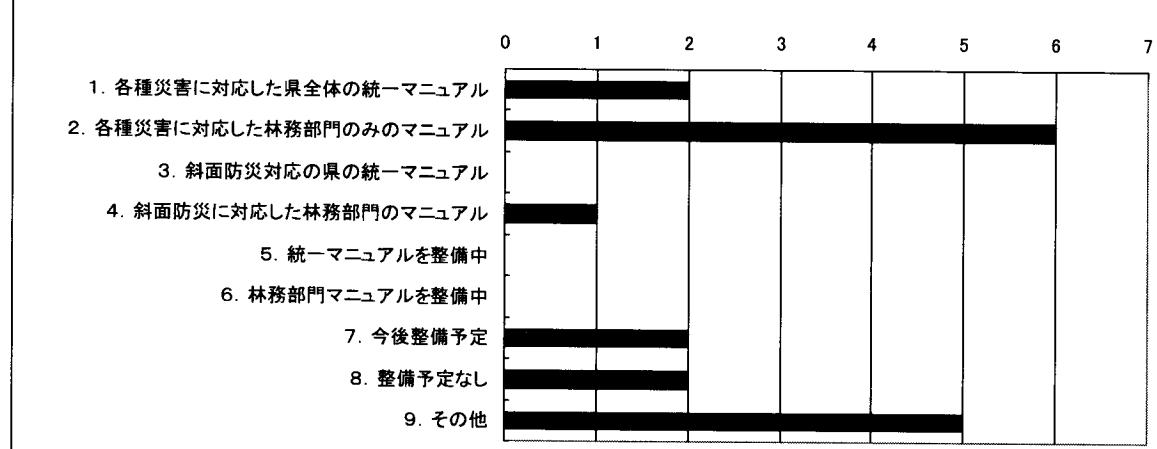
I-1 施設災害調査マニュアル整備状況

選択肢	回答数
1. 各種災害に対応した県全体の統一マニュアル	2 B・G
2. 各種災害に対応した林務部門のみのマニュアル	6 E・F・M・O・Q・S
3. 斜面防災対応の県の統一マニュアル	0
4. 斜面防災に対応した林務部門のマニュアル	1 R
5. 統一マニュアルを整備中	0
6. 林務部門マニュアルを整備中	0
7. 今後整備予定	2 D・J
8. 整備予定なし	2 H・P
9. その他	5 A①・K②・L③・N④・T⑤
計	18

無回答:C

- ①民有林補助治山事業実施要領の制定について(治山必携)に基づき、施設点検表を作成し、GISシステムにより管理している。
- ②各種災害に対応したマニュアルが各部門ごとに整備されている
- ③林務部門有。他部局の詳細は当事務所では分からぬが作成されているはずである。
- ④災害対応マニュアルで対応
- ⑤設問のマニュアルは、他部局(土木・農政)では整備が行われているが、治山関係のマニュアルは現時点では整備されていない。

I-1 施設災害調査マニュアル整備状況

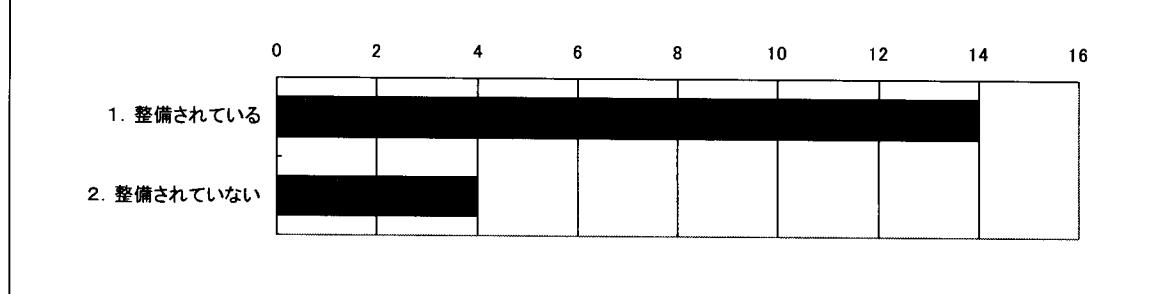


I-2 施設点検の様式整備状況

選択肢	回答数
1. 整備されている	14
2. 整備されていない	4 H・J・P・T
計	18

無回答:C

I-2 施設点検の様式整備状況



### I-3 施設点検の頻度

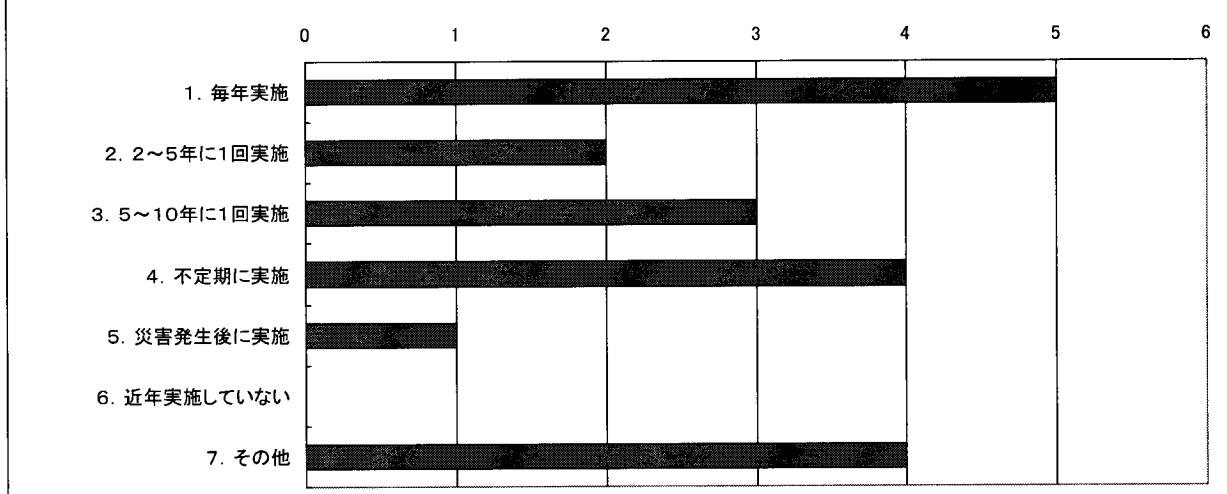
選択肢	回答数
1. 毎年実施	5
2. 2~5年に1回実施	2
3. 5~10年に1回実施	3
4. 不定期に実施	4
5. 災害発生後に実施	1
6. 近年実施していない	0
7. その他	4
計	19

①近年ではH23において、海岸保全施設の点検を実施

②大規模災害発生後の一斉点検、現場監督時に隣接箇所の確認、委託事業等により不足期に実

③施設点検の頻度については特に定めていないが、平成21年度～23年度にかけて「ふるさと雇用再生特別基金事業」を活用した施設の調査点検を実施し、平成24年度は残りの施設について県単独事業により調査中である。

I-3 施設点検の頻度

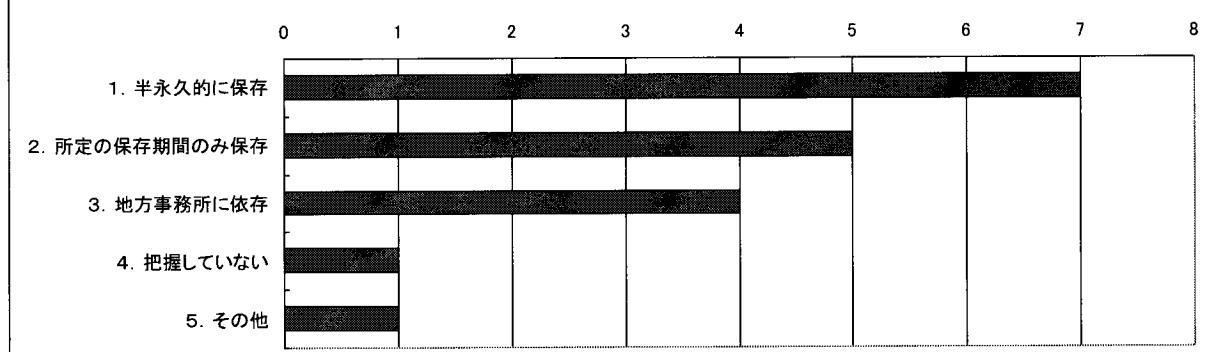


### I-4 施設点検結果の整理・管理状況

選択肢	回答数
1. 半永久的に保存	7
2. 所定の保存期間のみ保存	5
3. 地方事務所に依存	4
4. 把握していない	1
5. その他	1
計	18

無回答:C

I-4 施設点検結果の整理・管理状況

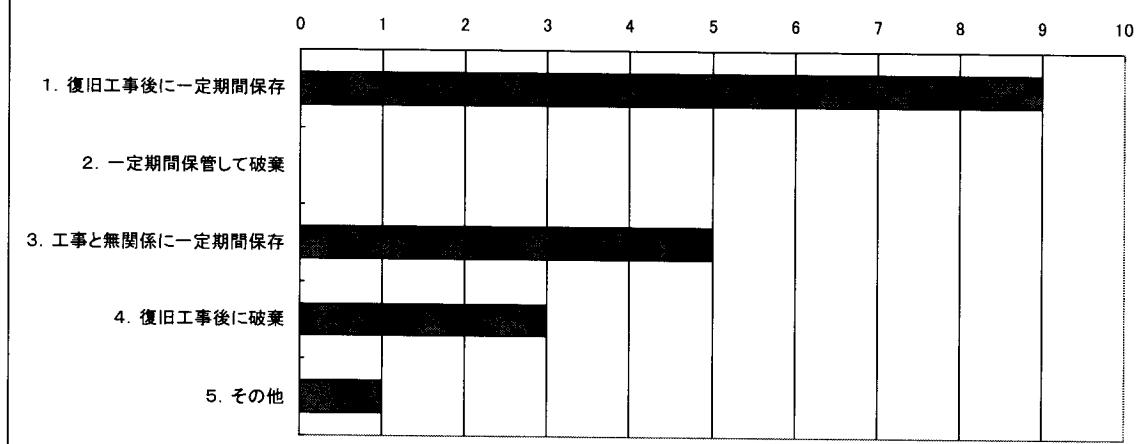


I-5 施設被災状況調査結果の整理・管理状況

選択肢	回答数
1. 復旧工事後に一定期間保存	9
2. 一定期間保管して破棄	0
3. 工事と無関係に一定期間保存	5 B・E・K・R・T
4. 復旧工事後に破棄	3 G・H・P
5. その他	1 L
計	18

無回答:C

I-5 施設被災状況調査結果の整理・管理状況



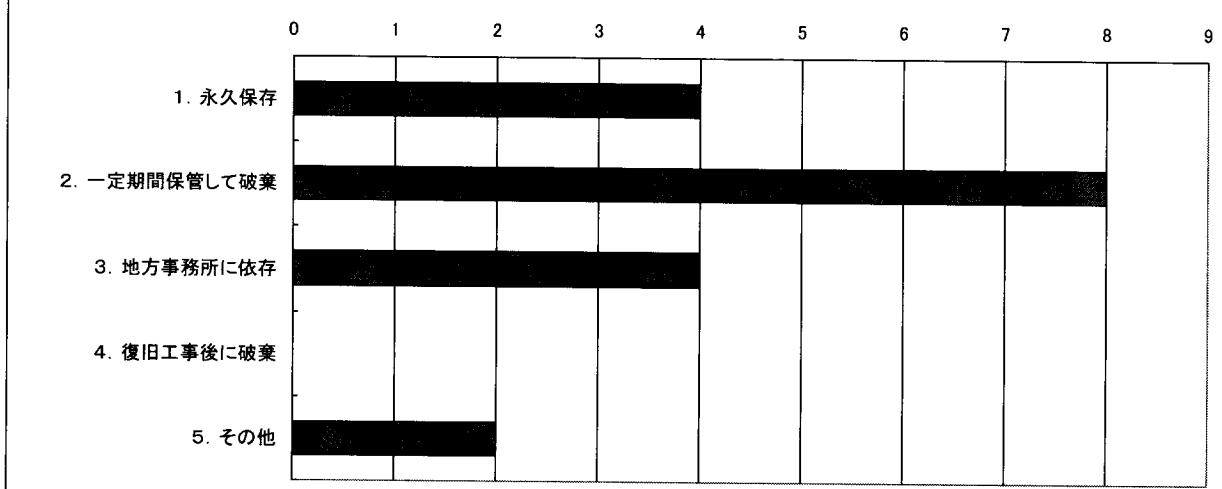
I-6 過去の災害写真、災害資料の整理・管理状況

選択肢	回答数
1. 永久保存	4 A・D・R・S
2. 一定期間保管して破棄	8
3. 地方事務所に依存	4 H・K・N・P
4. 復旧工事後に破棄	0
5. その他	2 G①・T
計	18

無回答:C

- ①災害によって資料があつたり、なかつたり、バラバラで整理されていない。
- ②昭和50年代後半以降の災害関係資料については、平成22年度～23年度にかけて電子化を行つたため、当該データについては、今後ほぼ永久保存となる見込みである。

I-6 過去の災害写真、災害資料の整理・管理状況



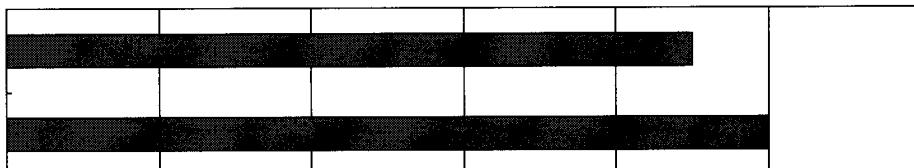
I-7 災害資料や災害写真の提供

選択肢	回答数
1. 提供可能	9 A・H・K・L・N・O・P・S・T
2. 不可能	10
計	19

I-7 災害資料や災害写真の提供

0 2 4 6 8 10 12

1. 提供可能



2. 不可能



災害資料や災害写真の提供：自由意見

提供可否	No	自由意見	回答数
可能	1	可能です。ただし、近年に発生した災害の記録を冊子にまとめたものです。	1
	2	可能ではあるが、情報公開条例に基づいて個別案件事の対応となる	1
	3	保存期間を超過したものについては、文書学事課で処分されている状況であり、寄贈は可能と考えられる。 資料については、分冊されていないことから、該当箇所だけ分別するなどの処理が必要な場合がある。	1
	4	保存期間超過したものは破棄している。現存するものであれば可能。	1
	5	開示はできると思います	1
	6	過去の災害写真が散逸するおそれはあるが、デジタルデータ化していないこともあり、研究会においてテーマが決定されればその都度連絡いただきたい。	1
不可能	7	保存期間を超過した時点で、廃棄しているので不可能です。	2
	8	複製なら可。本県においては、保管・保存されていても整理されておらず、検索が困難。	1
	9	永年保存のため、寄贈は不可能。	1

I-8 過去の報告書の提供

選択肢	回答数
1. 提供可能	9 A・H・K・N・O・P・R・S・T
2. 不可能	10
計	19

I-8 過去の報告書の提供

0 2 4 6 8 10 12

1. 提供可能



2. 不可能



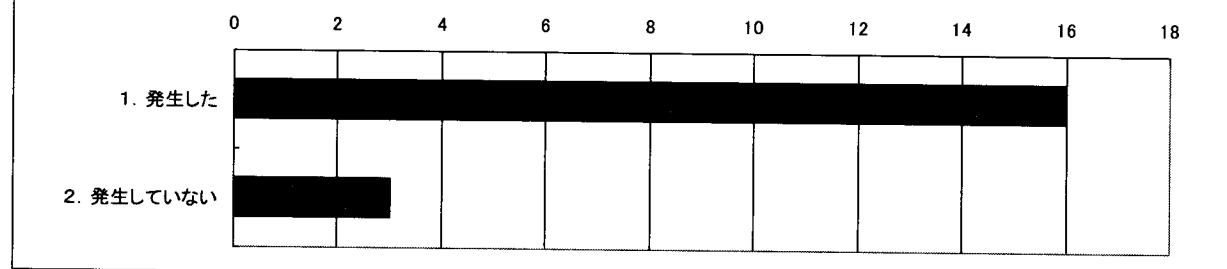
過去の報告書の提供：自由意見

提供可否	No	自由意見	回答数
可能	1	可能です。ただし、近年に発生した災害箇所の一部だけです。	1
	2	可能ではあるが、情報公開条例に基づいて個別案件事の対応となる	1
	3	保存期間を超過したものについては、文書学事課で処分されている状況であり、寄贈は可能と考えられる。 資料については、分冊されていないことから、該当箇所だけ分別するなどの処理が必要な場合がある。	1
	4	開示はできると思います	1
	5	研究会においてテーマが決定されればその都度連絡をいただきたい。	1
	6	可能(部数の関係でコピーをとる必要がある可能性がある)	1
	7	寄贈は不可能ですが、公文書開示請求を行うことで写の提供は可能です。 (開示のための手数料がかかります。)	1
	8	個人情報（土地所有者等）を含まないものであれば可能	1
不可能	8	保存期間を超過した時点で、廃棄しているので不可能です。	2
	9	本県において災害調査に関する報告書はない。	1
	10	災害時は早期復旧のため詳細調査の時間がないことから測量程度の委託しか実施していない。	1

I-9 治山施設が被災する災害

選択肢	回答数
1. 発生した	16
2. 発生していない	3 D・L・Q
計	19

I-9 治山施設が被災する災害



<施設災害が発生した県の被災後の施設点検シートが存在する県と被災施設>

- E (谷止工, 床固工, 護岸工)
- F (谷止工, 土留工, 水路工, 法枠工, ポーリング暗渠工, 集水井工, アンカーワーク, 防潮堤, 消波工)
- G (谷止工, 土留工, 水路工)
- B (谷止工, 床固工, 護岸工)
- R (谷止工, 護岸工, 流路工, 土留工, 水路工, 吹付工)
- S (堰堤工, 谷止工, 床固工, 護岸工, 流路工, 土留工, 水路工, アンカーワーク, 法枠工, 吹付工, 落石防止工, ポーリング暗渠工, 集水井工, 予防策, 海岸防災林, 防潮堤・防潮護岸工, 消波工・消波堤, 突堤・根固工)

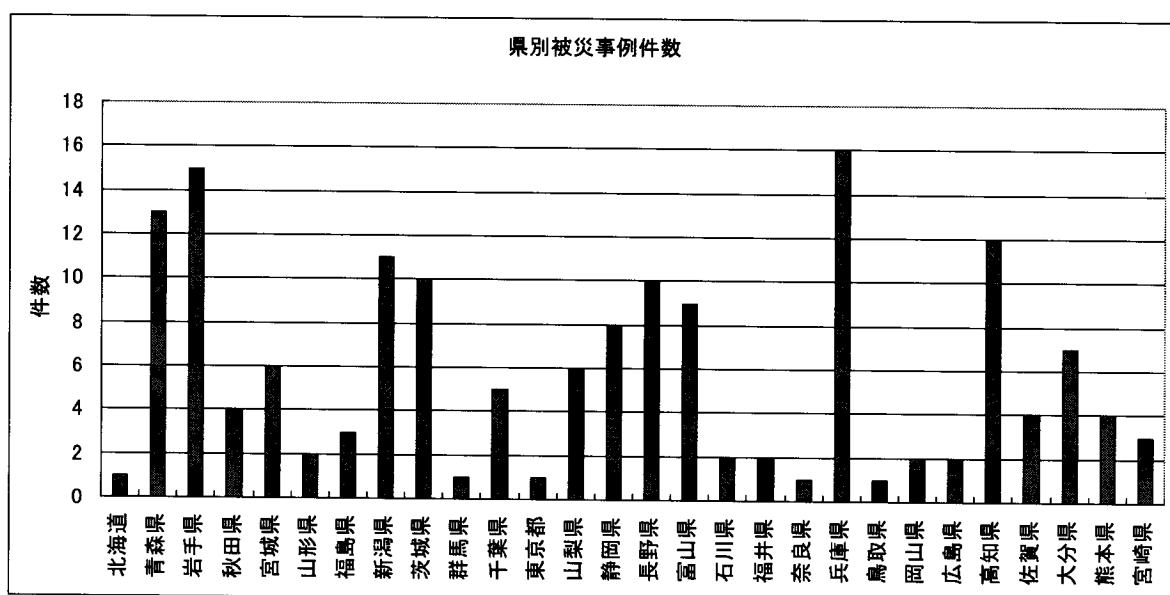
## (5) 県回答内容の傾向

- ① 施設点検の所定の様式はほとんどの県で整備されており、施設災害調査マニュアルも何らかの形で整備されている県が多い。
- ② 施設点検は毎年実施している県が多い。2～10年に1回定期的に実施している県や不定期に実施している県を合わせるとほとんどの県で実施されている。
- ③ 施設点検結果は半永久的に保存している県と所定の期間保存している県が多数を占める。
- ④ 施設被災状況調査結果は一定期間保存した後に破棄する県が多い。
- ⑤ 過去の災害写真は永久保存の県もあるが、一定期間保管して破棄する県が若干多い。
- ⑥ 過去の災害写真や報告書の提供については不可能とする回答が多いが、提供可能とする県もあり、協力して頂ける可能性がある。
- ⑦ 近年の災害で治山施設の被災が発生した県は多いが、その時の施設の被災状況の点検シートを保管している県は少ない。保管している県でも限られた工種が多く、溪間工関連では保管されている傾向がある。

災害情報連絡体制と同様であるが、今回アンケートに回答した都道府県は山地災害に関しての関心が高く、普段からそれに備えた体制作りがなされている県であると考えられる。

## 6.2 当部会で独自に実施した防災施設の被災実態調査の実施結果

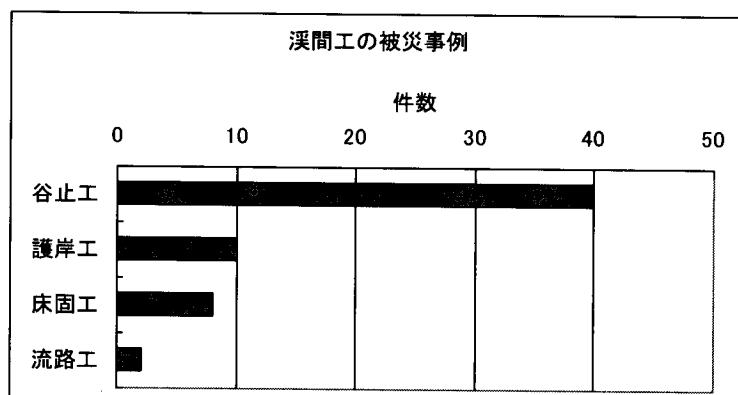
災害対応技術部会独自で実施した調査結果を以下に示す。被災施設の事例は28都道府県で176事例であった。都道府県毎の被災事例件数は以下の通りである。



### 6.2.1 被災した対策工の工種

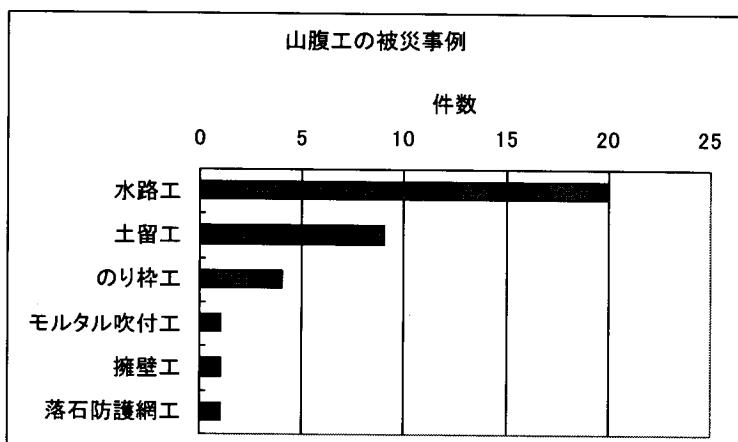
#### 溪間工

工種	回答数
谷止工	40
護岸工	10
床固工	8
流路工	2



#### 山腹工

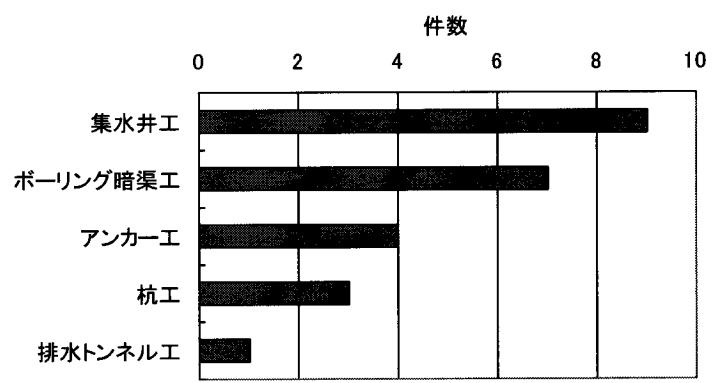
工種	回答数
水路工	20
土留工	9
のり枠工	4
モルタル吹付工	1
擁壁工	1
落石防護網工	1



### 地すべり対策工

工種	回答数
集水井工	9
ボーリング暗渠工	7
アンカーエ	4
杭工	3
排水トンネル工	1

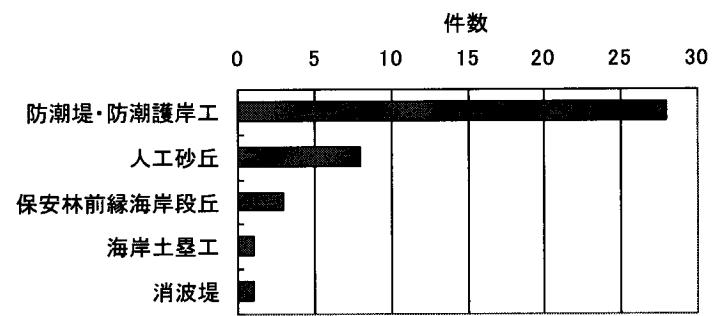
地すべり対策工の被災事例



### 海岸防災林

工種	回答数
防潮堤・防潮護岸工	28
人工砂丘	8
保安林前縁海岸段丘	3
海岸土壌工	1
消波堤	1

海岸防災林の被災事例

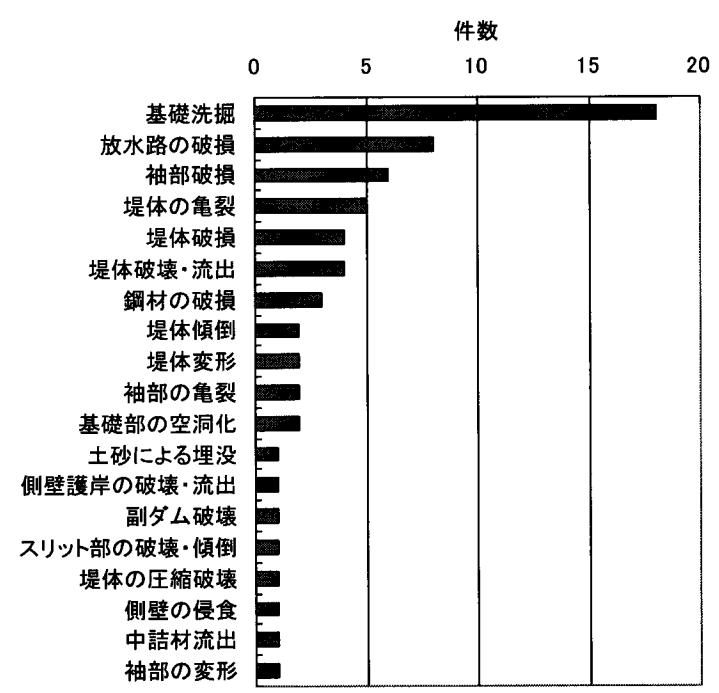


### 6.2.2 対策工種毎の被災箇所と変状

#### 谷止工・床固工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	18
放水路の破損	8
袖部破損	6
堤体の亀裂	5
堤体破損	4
堤体破壊・流出	4
鋼材の破損	3
堤体傾倒	2
堤体変形	2
袖部の亀裂	2
基礎部の空洞化	2
土砂による埋没	1
側壁護岸の破壊・流出	1
副ダム破壊	1
スリット部の破壊・傾倒	1
堤体の圧縮破壊	1
側壁の侵食	1
中詰材流出	1
袖部の変形	1

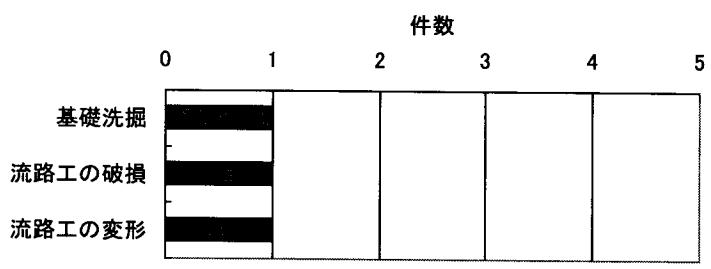
谷止工・床固工の被災箇所と変状



### 流路工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	1
流路工の破損	1
流路工の変形	1

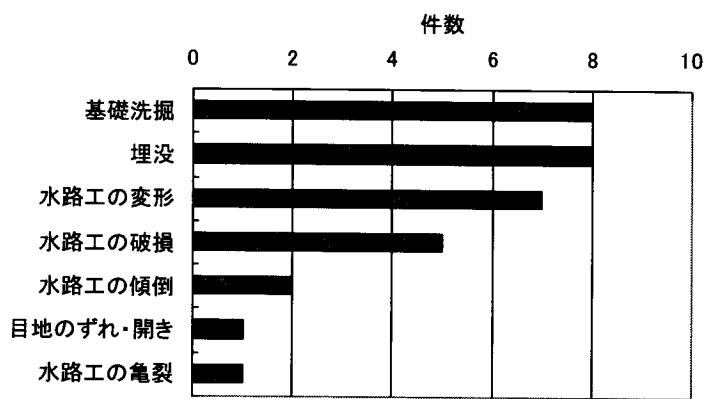
流路工の被災箇所と変状



### 水路工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	8
埋没	8
水路工の変形	7
水路工の破損	5
水路工の傾倒	2
目地のずれ・開き	1
水路工の亀裂	1

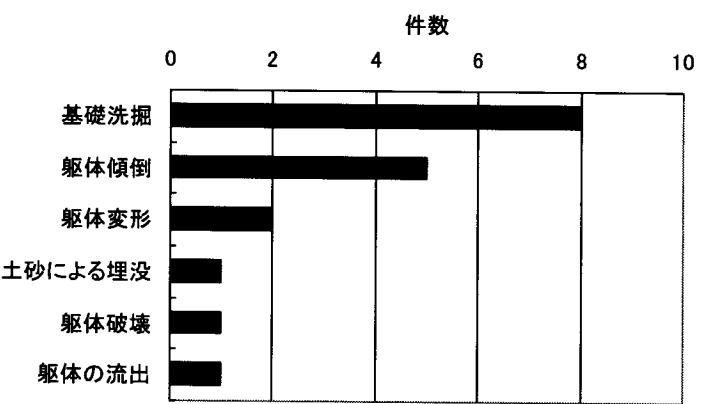
水路工の被災箇所と変状



### 護岸工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	8
躯体傾倒	5
躯体変形	2
土砂による埋没	1
躯体破壊	1
躯体の流出	1

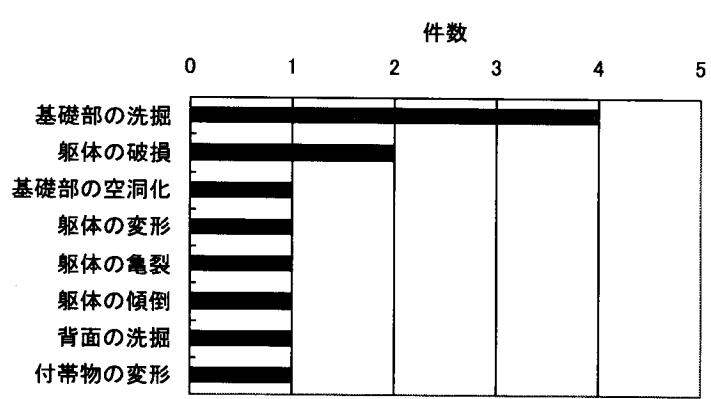
護岸工の被災箇所と変状



### 土留工

変状の種類	回答数
基礎部の洗掘	4
躯体の破損	2
基礎部の空洞化	1
躯体の変形	1
躯体の亀裂	1
躯体の傾倒	1
背面の洗掘	1
付帯物の変形	1

土留工の被災箇所と変状



### のり枠工

変状の種類	回答数
背面の洗掘・空洞化	2
のり枠の崩落	2

### モルタル吹付工

変状の種類	回答数
モルタルの亀裂	1
モルタルの座屈	1

### 擁壁工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	1

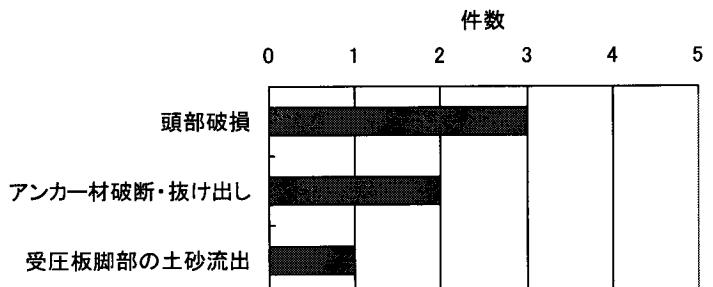
### 落石防護網工

変状の種類	回答数
全体が崩落	1

### アンカーア工

変状の種類	回答数
頭部破損	3
アンカーア材破断・抜け	2
受圧板脚部の土砂流出	1

### アンカーア工の被災箇所と変状



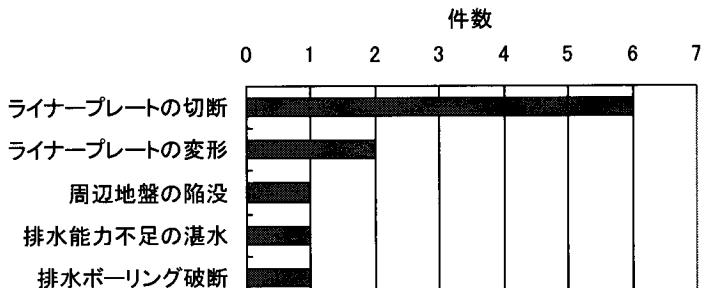
### 杭工

変状の種類	回答数
移動土塊の中抜け	1
杭頭の横ずれ	1
部分崩壊による杭の	1

### 集水井工

変状の種類	回答数
ライナープレートの切	6
ライナープレートの変	2
周辺地盤の陥没	1
排水能力不足の湛水	1
排水ボーリング破断	1

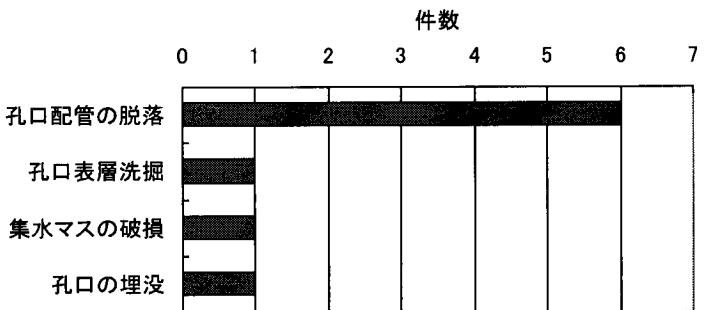
### 集水井工の被災箇所と変状



### ボーリング暗渠工

変状の種類	回答数
孔口配管の脱落	6
孔口表層洗掘	1
集水マスの破損	1
孔口の埋没	1

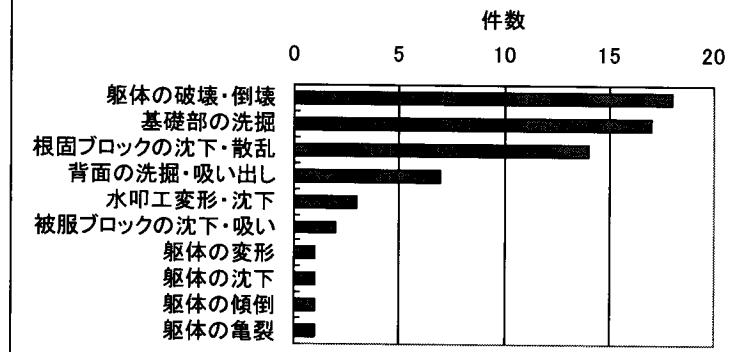
### ボーリング暗渠工の被災箇所と変状



### 防潮護岸工・防潮堤

変状の種類	回答数
躯体の破壊・倒壊	18
基礎部の洗掘	17
根固ブロックの沈下・散乱	14
背面の洗掘・吸い出し	7
水叩工変形・沈下	3
被服ブロックの沈下・吸い出し	2
躯体の変形	1
躯体の沈下	1
躯体の傾倒	1
躯体の亀裂	1

### 防潮護岸工・防潮堤の被災箇所と変状



### 消波堤

変状の種類	回答数
消波堤の沈下	1

### 人工砂丘

変状の種類	回答数
砂丘のり面の侵食・沈下	8

### 海岸土塁工

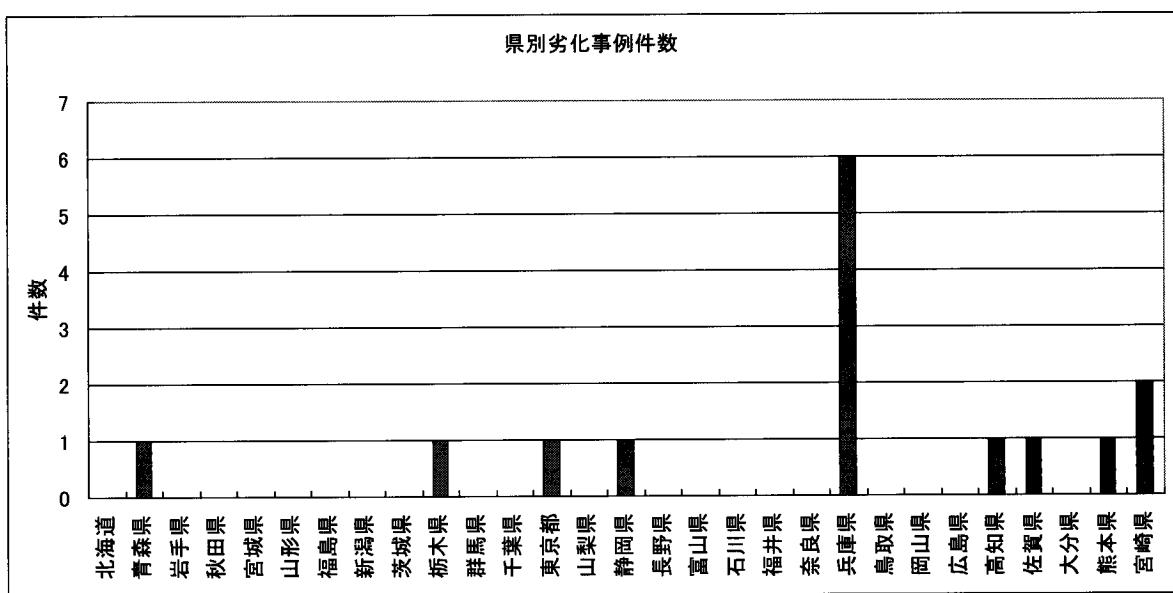
変状の種類	回答数
土塁工の侵食	1

### 保安林前縁海岸段丘

変状の種類	回答数
段丘面の侵食	3

### 6.3 当部会で独自に実施した防災施設の劣化実態調査の実施結果

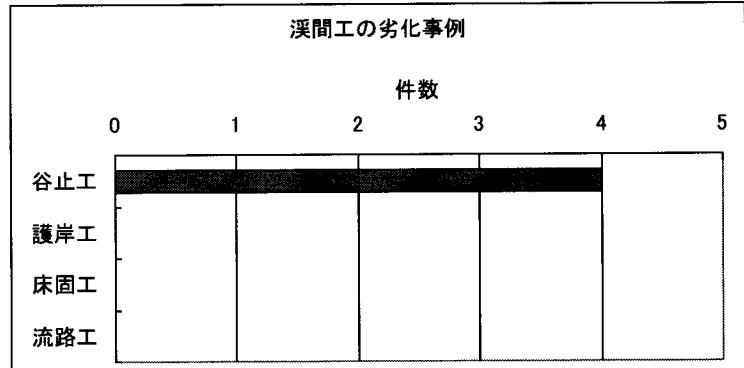
防災施設の劣化状況に関して収集した事例件数は以下の通りで被災事例に比べると少ない。



#### 6.3.1 劣化事例の対策工の工種

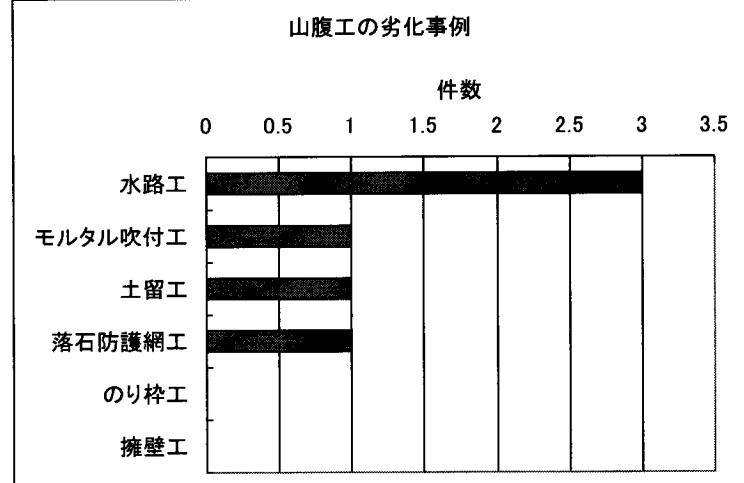
##### 渓間工

工種	回答数
谷止工	4
護岸工	0
床固工	0
流路工	0



##### 山腹工

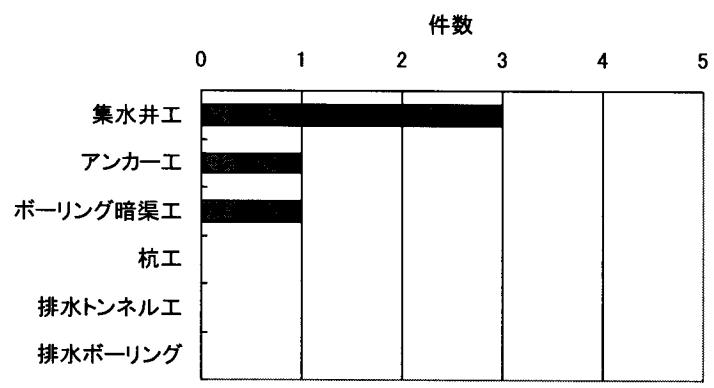
工種	回答数
水路工	3
モルタル吹付工	1
土留工	1
落石防護網工	1
のり枠工	0
擁壁工	0



### 地すべり対策工

工種	回答数
集水井工	3
アンカーア	1
ボーリング暗渠工	1
杭工	0
排水トンネル工	0
排水ボーリング	0

### 地すべり対策工の劣化事例



### 海岸防災林

工種	回答数
護岸工	0
防潮堤	0
海岸土壠工	0
消波堤	0
人工砂丘	0
保安林前縁海岸段丘	0

### 6.3.2 対策工種毎の劣化状況

今回収集した防災施設の劣化状況をまとめると以下のようになる。

対策工	劣化の内容	回答数
水路工	水路の腐食と基礎部の洗掘	1
	コルゲートの腐食	2
谷止工	袖コンクリートの亀裂、鋼製部材の腐食破損・脱落	1
	基礎部の洗掘と鋼製部の腐食	1
	放水路天端の摩耗	1
ダブルウォールえん堤	鋼材の腐食	1
モルタル吹付工	表面の無数の亀裂	1
土留工	斜面表層崩壊に伴う土留擁壁の崩落、コンクリート腐食による劣化	1
落石防護柵工	ラス・ロープの錆、破れ、基礎工のヒビ割れ、H鋼ボルト破断・H鋼腐食	1
アンカーア	23基のアンカーキャップをアンカープレートの腐食	1
集水井工	ライナープレートの腐食	2
	天蓋の腐食	1
ボーリング暗渠工	保孔管の劣化と目詰まり	1

## 7. 治山施設の被災例から判断される治山施設の改良の考え方

### 7.1 治山ダムの改良の考え方

(東京農工大学 石川 芳治)

#### 7.1.1 治山ダムの被災実態

##### (1) 昭和 63 年広島県北西部地域土石流災害による治山ダムの被災実態

昭和 63 年 7 月 20 日から 21 日にかけて広島県北西部は豪雨に見舞われ、土石流などによる大災害が発生した。特に広島県山県郡加計町では太田川に注ぐ多くの渓流で土石流が発生し、死者 11 名、負傷者 10 名、全壊家屋 22 戸、半壊家屋 14 戸を始めとして道路、鉄道、砂防・治山施設などにも大きな被害が発生した(図 7.1.1)。これらの土石流により治山ダムもいくつか被害を受けている。被災した治山ダムの被害概要を表 7.1.1、被災した治山ダムの破損状況を図 7.1.2、図 7.1.4~図 7.1.7 に示す。

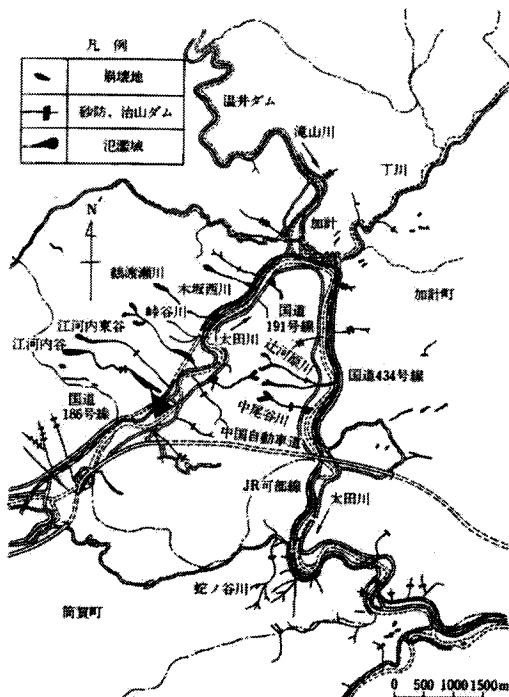


図 7.1.1 昭和 63 年広島県北西部地域災害における崩壊、土石流の発生分布

表 7.1.1 治山ダムの被災状況 (昭和 63 年広島県北西部地域土石流災害)

	渓流名	被災状況	天端幅	ダム上流の勾配	ダム地点への流出土砂量
1.	江河内谷川	右岸袖部および天端の一部の破損	1.4m	8°	46,470m <sup>3</sup>
2.	中西平谷川	左岸袖部の破損	1.5m	27°	4,930m <sup>3</sup>
3.	上原谷川	天端(下流側)の一部の破損	1.5m	29°	2,580m <sup>3</sup>
4.	中尾谷川	両岸袖部天端の一部および両岸下流側壁	1.5m	15°	12,760m <sup>3</sup>

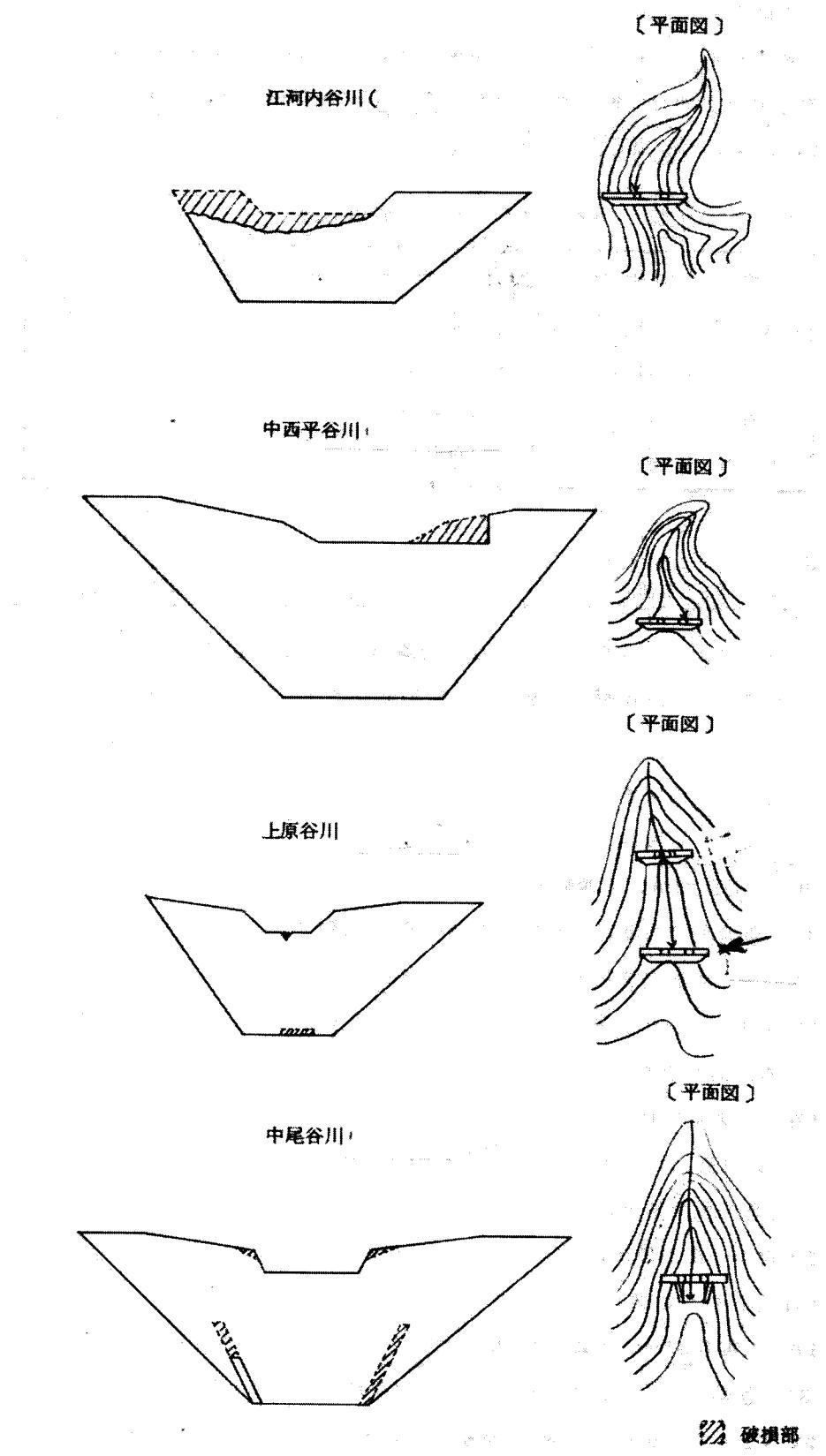


図 7.1.2 被災した治山ダムの破損状況

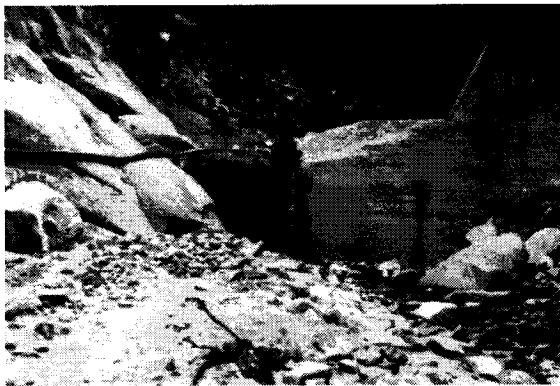


図 7.1.4 江河内谷川の治山ダムの破損状況



図 7.1.3 中西平谷川の治山ダムの破損状況



図 7.1.6 中西平谷川の治山ダムの破損状況

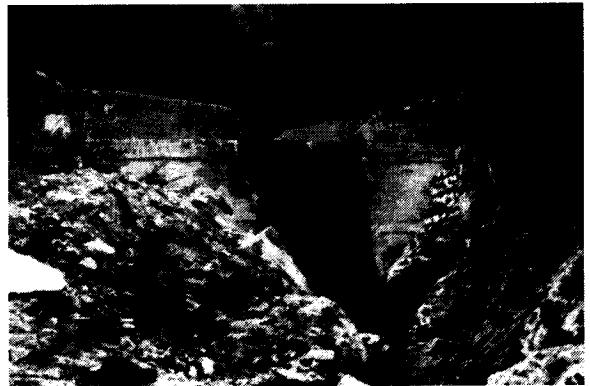


図 7.1.5 上原谷川の治山ダムの破損状況



図 7.1.7 中尾谷川の治山ダムの破損状況

#### (i) 江河内谷川の治山ダムの被災状況（図 7.1.4）

有効高 4.0m、堤長 16m の治山ダムである。ダム地点上流の勾配は  $8^{\circ}$ 、元河床勾配は  $9^{\circ}$  と土石流の流下区間であり、ダム地点の上流が曲折部で流下方向がダムの右岸側になったため、土石流が右岸袖部を直撃して右岸袖部および天端の一部が破損、流出したと思われる。破損したダムの一部は、同ダムの左岸袖部下流および 130m 下流の治山ダムの左岸袖部の上流側まで流下した。

なお、治山ダムの下流には施工中の砂防ダム（有効高 7.5m、堤長 46.5m）があったが目立った被害は発生していなかった。土石流の衝撃力には大差はなかったと考えられ、破損した治山ダムと破損しなかった砂防ダムの違いは、主として、治山ダムの天端幅が 1.4m であったのに対して、砂防ダムでは天端幅 3.0m と治山ダムに対しておおよそ倍の厚さがあったためと考えられる。

### (ii) 中西平谷川の治山ダムの被災状況（図 7.1.3, 図 7.1.6）

有効高 7.0m、堤長 23m の治山ダムである。ダム地点上流の勾配は  $27^\circ$ 、元河床勾配は  $24^\circ$  と急勾配であり、堆砂地上流端には基岩が露出しており、すべり台状になっている。また、ダム地点の上流が緩い曲折部で流下方向がダムの左岸側になったため、土石流が左岸袖部を直撃して左岸袖部および天端の一部が破損、流出したと思われる。破損したダムの一部は、同ダム地点の下流 150m 付近の右岸側まで流下した。

### (iii) 上原谷川の治山ダムの被災状況（図 7.1.5）

有効高 4.6m、堤長 15m の治山ダムである。ダム地点上流の勾配は  $29^\circ$ 、元河床勾配は  $18^\circ$  と急勾配であり、上流側の治山ダムとの距離は 30m である。ダムの放水路天端の一部が破損、流出した。

### (iv) 中尾谷川の治山ダムの被災状況（図 7.1.7）

有効高 6.0m、堤長 22m の治山ダムである。ダム地点上流の勾配は  $15^\circ$ 、元河床勾配は  $13^\circ$  と急勾配であり、土石流は両岸袖部を越流（袖天端に土砂が堆積している）したものと推定され、ダムの両岸袖部天端の一部および両岸下流側壁が土石流により破損、流出した。

## 7.1.2 治山ダムの被災形態と個別の対策

過去の治山ダムの被災形態として多いのは、(1)本体袖部の損傷、(2)放水路の損傷、(3)前庭部（本堤下流部）の損傷・渓床洗掘、(4)本体部の破壊などがある。これらの被災形態の個別的な対策について述べる。

### (1) 本堤袖部の損傷

#### (i) 概要

過去の被災事例が多く、また、一般の人から見たら治山えん堤が破壊されていると感じられ、イメージ的に悪いのが、本堤袖部の損傷である。袖部の損傷としては、欠損、摩耗、コンクリートの剥離がある。

#### (ii) 被災状態と改良の考え方

##### (a) 袖部の欠損

##### (被災状況と原因)

袖部において欠損が発生しやすいのは放水路近くの袖部である。激しい場合には、袖部の大部分が破壊されて流出してしまうことになる。袖部の欠損の直接的な原因是(a)想定（計画・設計）を上回る規模の土石流や洪水の衝突、想定を上回る巨礫の衝突により設計よりも過大な流体力や衝撃力が作用したことによると考えられる。別の原因としては、(b)本体と袖部のコンクリート打ち継ぎ目（面）の接着強度が不足している場合が考えられる。

##### (対策)

想定（計画・設計）を上回る流体力や衝撃力、巨礫が発生、流下する場合もあることから、袖部の安全率（安全度）を向上させる必要がある。具体的には、計画・設計の条件について通常をレベル I として、超過洪水時をレベル II として、レベル II では 1 ランク上の洪水流量や礫径を用いるなどが考えられる。この結果として(a)袖部の厚さ（本体天端厚）を増大させることが考えられる。(b)コンクリート打ち継ぎ目の接着強度の不足に対しては、打ち継ぎ面の施工管理を徹底する（場合によってはコアを採取して割裂試験を行う）、あるいは(c)鉄筋をいれて、鉄筋コンクリートとして補強する、(d)袖

部の打ち継ぎ目を鍵型にしてせん断されにくくする。(e)袖部の上流に土石流の衝撃力を弱めるために緩衝材や盛り土を設置する、などが考えられる。

### (b) 袖部の摩耗

#### (被災状況と原因)

袖部上流部の摩耗が起きやすい箇所は、土石流流下の影響を受けやすい本体に近い袖部下部、ならびに放水路部付近である。摩耗の原因は多量の礫のあるいは大きな礫の繰り返しの衝突によるものと思われる。軽微な摩耗であれば問題ないが、土石流の発生頻度が高い、流量が大きいなどにより摩耗の量が大きい場合には袖部の安定が損なわれるので何らかの対策が必要である。

#### (対策)

対策として、従来から行われてきたのが、(a)高強度コンクリートを用いる、(b)鉄板により覆う、(c)ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、(d)自然石を貼る、などがある。このうち、摩耗が激しい箇所では、経済的には高いが、ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、自然石を貼る、などが有効である。自然石を貼り込む場合は堅い石を選別して、天端を揃えて貼るなどとする必要があるため手間がかかり、現場作業の工期が長くなることや、経費がふくらむなどの課題がある。

### (c) 袖部コンクリートの剥離

#### (被災状況と原因)

袖部の下流（放水路付近）のコンクリート表面が剥離（深さ 10cm 程度）する場合がある。原因としては袖部の放水路側付近への礫の衝突が考えられるが、この他に施工時にコンクリートの表面に二次的にコンクリートを貼ったためなどが考えられる。

#### (対策)

基本的には上述した(a)高強度コンクリートを用いる、(b)鉄板により覆う、(c)ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、(d)自然石を貼る、などが有効と考えられるが、(e)コンクリートの施工時に袖部の一体性を確保するように施工するなどが必要と考えられる。

## (2) 放水路の損傷

### (i) 概要

過去の被災事例が多く、また、一般の人から見たても目立つのが、放水路の損傷である。放水路の損傷としては、欠損、摩耗、コンクリートの剥離がある。放水路部の摩耗ぐらいであれば治山ダムの機能上の問題は少ないが、放水路下部（本体の天端部）が破壊されて流出してしまうと結果的に治山ダムの高さが減少してしまうために渓床の固定や堆砂機能に影響を与えることになる。

### (ii) 状態と改良の考え方

#### (a) 放水路の欠損

#### (被災状況と原因)

放水路において欠損が発生しやすいのは放水路下部（本体の天端部）である。激しい場合には、放水路下部（本体の天端部）が破壊されて流出してしまうことになる。放水路下部（本体の天端部）の欠損の直接的な原因は(a)想定（計画・設計）を上回る規模の土石流や洪水の衝突、想定を上回る巨礫の衝突により設計よりも過大な流体力や衝撃力が作用したことによると考えられる。別の原因として

は、(b)放水路下部（本体の天端部）付近のコンクリート打ち継ぎ目（面）の接着強度が不足している場合を考えられる。

#### (対策)

想定（計画・設計）を上回る流体力や衝撃力、巨礫が発生、流下する場合もあることから、放水路下部（本体の天端部）の安全率（安全度）を向上させる必要がある。具体的には、計画・設計の条件について通常をレベルⅠとして、超過洪水時をレベルⅡとして、レベルⅡの場合には放水路下部（本体の天端部）については1ランク上の洪水流量や礫径を用いるなどが考えられる。この結果として(a)放水路部の厚さ（本体天端厚、袖部の厚さ）を増大させる。(b)コンクリート打ち継ぎ目の接着強度の不足に対しては、打ち継ぎ面の施工管理を徹底する（場合によってはコアを採取して割裂試験を行う）、あるいは(c)鉄筋コンクリートとして補強する、(d)袖部の打ち継ぎ目を鍵型にしてせん断されにくくする。(e) 放水路下部（本体の天端部）の上流に土石流の衝撃力を弱めるために緩衝材や盛り土を設置する、などが考えられる。

#### (b) 放水路下部（本体の天端部）の摩耗

##### (被災状況と原因)

摩耗が起きやすいのは、土石流流下の影響を受けやすい本体に近い放水路下部（本体の天端部）である。摩耗の原因は多量の礫のあるいは大きな礫の繰り返しの衝突によるものと思われる。軽微な摩耗であれば問題ないが、土石流の発生頻度が高い、流量が大きいなどにより摩耗の量が大きい場合には治山ダムの高さが減少してしまうので何らかの対策が必要である。

##### (対策)

対策として、従来から行われてきたのが、(a)放水路部には高強度コンクリートを用いる、(b)鉄板により覆う、(c)ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、(d)自然石を貼る、などがある。このうち、摩耗が激しい箇所では、経済的には高いが、ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、自然石を貼る、などが有効である。自然石を貼り込む場合は堅い石を選別して、天端を揃えて貼るなどの手間がかかり、現場作業の工期が長くなることや、経費がふくらむなどの課題がある。

#### (c) 放水路下部（本体の天端部）のコンクリートの剥離

##### (被災状況と原因)

放水路下部（本体の天端部）の下流（放水路付近）のコンクリート表面が剥離する場合がある。原因としては放水路下部（本体の天端部）付近への礫の衝突が考えられるが、施工時にコンクリートの表面に二次的に貼ったなどが考えられる。

##### (対策)

基本的には上述した(a)高強度コンクリートを用いる、(b)鉄板により覆う、(c)ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、(d)自然石を貼る、などが有効と考えられるが、コンクリートの施工時に放水路下部（本体の天端部）の一体性を確保するように施工するなどが必要と考えられる。

### (3) 前庭部（本堤下流部）の損傷・洗掘

#### (i) 概要

過去の被災事例が多く、また、本堤の転倒などの重大な被災につながる可能性が高いのが、前庭部（本堤下流部）の損傷・洗掘である。前庭部（本堤下流部）には水叩きと側壁護岸が施工されている

場合が多いが、水叩き（一般にコンクリート）が施工されていない場合もある。まれに、水叩き（一般にコンクリート）が施工されていないで副ダムが施工されている場合がある。施工されている水叩き、側壁が損傷（欠損、摩耗）する場合が多いが、まれに副ダムの損傷（欠損、摩耗）が起こる場合がある。本堤下流前庭部に水叩きや副ダムが施工されていない場合には、本堤下流前庭部の渓床が洗掘されて、本堤の底部が露出したり、さらに本堤底部の基礎部の土砂が流出してしまうと本堤の安定性が脅かされて、最悪の場合には、本堤の転倒などの破壊につながる。前庭部（本堤下流部）の損傷・洗掘は本堤の破壊につながる可能性も高いために未然に防止する必要がある。

## (ii) 状態と改良の考え方

### (a) 水叩き部の欠損・摩耗・漏水

#### (被災状況と原因)

水叩き部の損傷内容としては、水叩きコンクリートの欠損・摩耗・水叩きコンクリートからの漏水がある。さらに水叩き下流部の渓床が洗掘・侵食されて、水叩き部（垂直壁部）が不安定になる場合もある。水叩き部の欠損・摩耗の直接的な原因は(a)想定（計画・設計）を上回る規模の土石流や洪水中の石礫の衝突、想定を上回る巨礫の衝突により設計より、過大な衝撃力や過大な（多量の）石礫の衝突が作用したことによると考えられる。別の原因としては、(b)水叩き部のコンクリートの強度が不足している場合が考えられる。(c)水叩き部コンクリートからの漏水の原因としては、コンクリート打ち継ぎ目の接着強度の不足やコンクリートの厚さや強度が不足してクラックが発生するなどが考えられる。

#### (対策)

想定（計画・設計）を上回る量の石礫の衝突、想定を上回る巨礫が発生、流下する場合もあることから、水叩き部の安全率（安全度）を向上させる必要がある。具体的には、計画・設計の条件について通常をレベルIとして、超過洪水時をレベルIIとして、水叩き部については(a)1ランク上のコンクリート厚さを用いる（欠損、摩耗代を見込む）、(b)自然石を貼る、(c)ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、(d)下流に副ダムを設置して水禦池を設けるなどが考えられる。(e)水叩きコンクリートの強度が不足する場合には、高強度のコンクリートを用いるなどの対策が考えられる。水叩き部コンクリートからの漏水の対策としては、(d)コンクリート打ち継ぎ面の施工管理を徹底し、接着強度を増す。(f)打ち継ぎ面に止水板を設置するなどが考えられる。

### (b) 本堤下流渓床部の洗掘（侵食）

#### (被災状況と原因)

水叩きコンクリートや副ダムが設置されていない場合には、本堤下流の渓床部の洗掘や侵食が発生し、それが激しく起こると、洗掘面が本堤や側壁の底部まで達して、本堤や側壁の安定を脅かすことになる。本堤下流渓床部の洗掘（侵食）の原因是(a)想定（計画・設計）を上回る規模の土石流や洪水の流下により、想定を上回る過大な流体力が作用したことによると考えられる。別の原因としては、(b)副ダムの損傷による渓床低下、(c)下流河床の全体的な低下がある。なお、(c)下流河床の全体的な低下の原因としては、上流からの土砂の供給不足による場合や、下流の治山ダムの破壊、計画河床勾配が急過ぎるなどがある。

#### (対策)

想定（計画・設計）を上回る規模の土石流や洪水が流下する場合があるので、具体的には、土石流

や洪水の規模を大きくする、計画・設計の条件について通常をレベルⅠとして、超過洪水時をレベルⅡとして、本邸下流部の洗掘対策の安全率（安全度）を向上させる必要がある。具体的には本堤下流部の洗掘対策については1ランク上の洪水流量対策として(a)水叩きコンクリートや副ダムを設置するなどが考えられる。(b)副ダムの損傷による渓床低下については、次で述べる副ダムの欠損・摩耗対策を行う。(c)下流河床の全体的な低下の対策としては下流の計画渓床勾配をより緩くする、上流からの土砂の供給を維持するために、透過型えん堤を設置する。下流の治山ダムの安全度を向上させるなどの対策が考えられる。また、(d)えん堤の根入れを深くする。(e)えん堤の基礎を深くするために基礎杭を設置するなどが考えられる。

#### (c) 側壁の欠損・摩耗・基礎の洗掘

##### (被災状況と原因)

側壁の損傷内容としては、側壁の欠損・摩耗がある。さらに側壁基礎の渓床や側壁の裏側（地山側）の土砂が洗掘・侵食されて、側壁自体が不安定になる（転倒、沈下の危険性が高くなる）場合もある。側壁の欠損・摩耗、基礎の洗掘の直接的な原因は(a)想定（計画・設計）を上回る規模の土石流や洪水中の石礫の衝突、想定を上回る巨礫の衝突により設計より、過大な衝撃力や過大な（多量の）石礫の衝突が作用したことによると考えられる。別の原因としては、(b)側壁の強度が不足している場合が考えられる。側壁基礎の渓床や側壁の裏側（地山側）の土砂の洗掘・侵食の原因としては、(c)想定（計画・設計）を上回る規模（流量）の土石流や洪水の流下により渓床が激しく洗掘されたり、(d)土石流や洪水が側壁の裏側を流れることによると考えられる。また、(e)本堤下流渓床部の洗掘（侵食）や水叩き部の破損、副ダムの破損等がある。

##### (対策)

想定（計画・設計）を上回る量の石礫の衝突、想定を上回る巨礫が発生、流下する場合もあることから、側壁部の安全率（安全度）を向上させる必要がある。具体的には、計画・設計の条件を、通常をレベルⅠとして、超過洪水時をレベルⅡとして、側壁部については1ランク上の強度を与えるために(a)高強度のコンクリートを用いる、(b)自然石を貼る、(c)裏込めコンクリート厚さ厚くする、などの対策が考えられる。本堤下流渓床部の洗掘（侵食）や水叩き部の破損、副ダムの破損等による側壁基礎の渓床や側壁の裏側（地山側）の土砂の洗掘・侵食に対しては、(d)水叩き、副ダムの設置を行ったり、すでに設置してある場合には、(e)補強や堤高を上げるなどの対策を行う。また、側壁の裏側の洗掘・侵食に対しては、(f)側壁の裏側の天端をコンクリートで張るなどの対策を行うことが考えられる。

#### (d) 副ダムの欠損・摩耗

##### (被災状況と原因)

副ダムの欠損・摩耗は本堤部の袖部、放水路部の欠損・摩耗と同様の状況であり、その原因も基本的には本堤部の袖部、放水路部の欠損・摩耗と同様である。

##### (対策)

基本的には本堤部の袖部、放水路部の欠損・摩耗に対する対策と同様に放水路部や袖部に(a)高強度コンクリートを用いる、(b)鉄板により覆う、(c)ゴム張り鉄板（ラバースチール）で覆う、(d)自然石を貼る、などが有効と考えられるが、(f)コンクリートの施工時に副ダム袖部の一体性を確保するように施工するなどが必要と考えられる。また、副ダムは本堤に比べてコンクリート（放水路天端部）の

厚さを小さくする場合が多いのでこのために破壊されやすくなる。欠損の対策として(g)本堤と同様のコンクリート（放水路天端部）の厚さにする（厚さを増す）ことも検討する必要がある。また、(h)副ダムの高さを増して水褥池を深くするなどが考えられる。

#### (4) 本体部の破壊

##### (i) 概要

過去の被災事例は少ないが、本体部の破壊は治山ダムの機能の喪失を意味するので避ける必要がある

##### (ii) 被災状態と改良の考え方

###### (被災状況と原因)

本体部の破壊の直接的な原因は(a)想定（計画・設計）を上回る規模の土石流や洪水の衝突、想定を上回る巨礫の衝突により設計よりも過大な流体力や衝撃力が作用したことによると考えられる。別の原因としては、(b)本体と袖部のコンクリート打ち継ぎ目（面）の接着強度が不足している場合、(c)施設の老朽化が考えられる。

###### (対策)

想定（計画・設計）を上回る流体力や衝撃力、巨礫が発生、流下する場合もあることから、袖部の安全率（安全度）を向上させる必要がある。具体的には、計画・設計の条件について通常をレベルⅠとして、超過洪水時をレベルⅡとして、レベルⅡでは1ランク上の洪水流量や礫径を用いるなどが考えられる。この結果として(a)本体部の厚さを増大させることが考えられる。(b)コンクリート打ち継ぎ目の接着強度の不足に対しては、打ち継ぎ面の施工管理を徹底する（場合によってはコアを採取して割裂試験を行う）、あるいは(c)鉄筋をいれて、鉄筋コンクリートとして補強する、(d)打ち継ぎ目を鍵型にしてせん断されにくくする。(e)本体部の上流に土石流の衝撃力を弱めるために緩衝材を設置したり、予め人工的に堆砂させるなどが考えられる。

### 7.1.3 治山ダムの被災に対する基本的な考え方

治山ダムの被災を防止するためには上記2.に記載したような対策を全て実施すれば良いのであるが、これらの対策を完璧に行おうとすれば、そのための費用も増大することとなり、場合によっては過大な設計が行われる可能性も高くなる。

人家等に対して災害が発生するような豪雨が発生した場合には、土石流や土砂流出により治山ダムが損傷を受ける（被災する）場合もあるが、通常の（計画規模程度の）災害においては、損傷を受けずに、その機能を発揮している場合の方が圧倒的に多い。全体の数からすれば損傷を受ける事例は極めて少ない。重大な損傷を受ける場合は、想定を上回るようの規模の土石流や土砂流出により過大な流体力や衝撃力および渓床の洗掘を受けて被災する場合が殆どと言える。

このような被災を防止するためには設計の前提となる作用外力（土石流や土砂流出の規模）を適切に想定することが重要である。しかしながら、平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震における津波の規模と防潮堤の被災事例からも分かるように、自然現象は時として想定を遙かに超える規模で起こることもあり、このような巨大規模の現象に対しても被災しないような施設を計画・設計・施工することは、ある意味で不経済でもあり過大な対応となると考えられる。巨大規模の災害に対しては、本来はソフト対策を主体として、事前の避難を行う等の対応を行なうことが良く、全てハードで対

応しようとするのは経済的にも無理な場合が多い。

しかしながら、巨大規模の現象にたいしてもハード対策が要望されていることも事実である。このような場合には、施設の設計を表 7. 1.2に示すように、従来と同様の規模（100年確率規模）の想定によるレベルⅠと、それを大幅に上回る想定できる最大級の規模（1000年確率規模程度）に対してもその基本的な機能を失わないレベルⅡに分けて計画・設計することを提案する。

表 7. 1.2 治山施設の計画レベルと機能

レベル	計画規模	施設の機能	計画設置箇所
レベルⅠ	通常の計画規模 (100年確率)	通常の計画規模の現象については大きな損傷を受けない。	通常の溪流
レベルⅡ	想定できる最大規模 (1000年程度の確率)	最大規模の現象に対しては、局部的には破損はしてもその機能の喪失になるような全体の破壊は起きない。	①人家・重要施設の直上流 ②階段治山ダム群の最下流の基幹ダム

表 7. 1.2のレベルⅠの施設は、レベルⅡの規模の現象に対しては破壊して、機能を喪失することも考えられるが、そのような事例は確率的には低いことが予想される。このため、人家に近く、その破壊が家屋や人命に大きな影響を与える地点に設置する施設については最下流の治山ダムのみをレベルⅡで計画する。あるいは、階段状に計画された治山ダム群の最下流の基幹ダムのみはレベルⅡで設計するなどの重要度を考慮した計画・設計が必要と考えられる。

また、被災の程度からみれば、最も避ける必要があるのは(1)本体部の破壊であり、次にこれに直接繋がる可能性が高い、(2)本堤下流の溪床洗掘（本堤の基礎が浮き上がる程度）である。このような重大な被害は避けるような対策を講じる必要がある。次に重大のものとしては、(3)袖部の損傷、(4)放水路の損傷、(5)前庭部の損傷・軽微な洗掘がある。これらは被害を受けても治山ダムの本来の機能の喪失とまでは言えないので、ある程度の確率（レベルⅠで計画・設計された施設において、レベルⅠの現象については全体の5～10%、レベルⅡの現象については90%）程度で発生することはやむを得ないとする考え方を取り入れる必要がある。このような考え方を定着させるためには、治山施設の被災実態を詳細に調査して、災害の規模（発生確率）と治山施設の被災度（確率）およびそれにより生じた施設の効果の減少（災害の程度）の影響に関する調査を行い、科学的なデータを基に、合理的な施設の計画・設計手法を開発する必要がある。

## 7.2 過去の被災事例から判断される治山施設の改良の考え方 (静岡大学 土屋智)

森林地帯を対象とする治山事業は、農山村集落の近隣を対象とする場合が多く、時には生産源対策と渓床安定対策を同時に進めなければならない場合もある。源流部の土砂生産源から活発な土砂供給が認められれば、発生源対策として山腹工、渓床堆積物の異常流出の防止には渓間工が設置される。このような場所で恒久的な斜面安定と土砂流出防止を求めるることは現実的ではないかもしれない。すなわち、大規模な構造物対策は、経済的なバランスを欠き効果的ではなく対症療法的ではあるが、斜面や渓床での土砂移動状況に応じた短期的で即効性が高い対策が求められる。ここで取り上げた静岡県葵区坂本川治山事業は、その典型的な事例で、急勾配で広大な斜面を有し、過去から幾度となく、小崩壊や地すべり的な地表変動と共に伴う土砂生産を生じてきた場所における被災と復旧事例である。

もう一つの事例として、大規模で長期間にわたる地すべり対策事業をとりあげた。地すべり対策では、その活動を鎮静化させるため、多くのケースで集水井による地下水排除が実施される。地すべり規模が大きく集水井のみでは効果が低いと判断される場合には、効率的に地下水排除を行うため恒久的な対策あるトンネル排水が実施されることもある。このような大規模な地すべりでは、所定の地下水位まで低下させるのに必要な集水井は相当数が必要で、工事期間は長期にわたる。このため、活発ではないが移動が認められる活動ブロックにおいても集水井を設置し、着々と地下水排除を進めなければならぬ場合もある。長野県大鹿村小塙地すべりでは、過去30年にわたり地下水排除工を実施し、その活動を平穩化させてきた。しかしながら、この間に集水井を中心とする地下水排除工が被災し、その機能が十分に発揮できなくなった構造物も数多く確認されている。ただし被災した構造物であっても、補修により機能回復を図ればその効果は十分に期待できる場合が多いので、被災状況を考慮した補修工法により機能発揮を図ることが大切である。また、補修による機能回復は費用対効果の観点からも説得力があるといえる。

さらに、海岸における護岸工の被災と復旧事例として、静岡県御前崎市白羽地区の事例を取り上げた。被災したコンクリート製防潮護岸工の形式は、「傾斜型もたれ式」の防潮護岸で、復旧では汀線部に設けられる基礎の洗掘防止、護岸全体の安定性、既設護岸への接続性、施工性、経済性に対して十分な対応が求められた。このため、護岸の上部構造は、隣接する既設護岸と同様の勾配1:1.5の傾斜型もたれ式とし、下部構造は勾配1:0.3の直立型重力式である「混成型」を採用した。また、直立型重力堤体に対する土圧を均等に分散させるため、その背後を裏込栗石構造とし、局所洗掘とパイピング等による堤体の変位防止を図るために、止水鋼矢板を設置することとした。既設護岸との接続性については、上部のもたれ式構造は隣接する既設護岸と同じ勾配で下端位置も同一になることから良好と判断し、施工性については、堤体の海側への張り出し幅を小さくし、掘削底面を既往構造物と同じ位置においてことからより効率的な工法と判断した。以下に3事例について、被災経緯も含め簡単に紹介する。

### 7.2.1 静岡県葵区口坂本川源頭部の地すべり性斜面崩壊

#### (1) 災害概要

口坂本地区は静岡市を貫流する安倍川水系中河内川支流口坂本川の上流に位置し、糸魚川-静岡構造線と中央構造線に挟まれた西南日本外帯の四万十帯に属する。当該域における四万十帯は、赤石山脈の主稜部を占め、ほぼ南北方向に通過する笠山構造線によって西側の三倉層群と東側の瀬戸川帯に

分けられ、坂本川はこの笹山構造線に沿って流下している。流域内は砂岩・泥岩・砂岩と泥岩の互層と左岸側に紡錘状に分布する蛇紋岩により構成される脆弱な地質基盤を有する流域である。

坂本川の源流部には、規模の大きな斜面崩壊地が存在し、これまで幾度も豪雨のたびに山腹崩落を繰り返し、渓床に不安定土砂を供給してきた。平成 10 年 7 月 28 日には、長雨にともなう豪雨（7 月 10 日～28 日まで累積 455mm）により大規模な拡大崩壊が生じ、その一部が土石流下し口坂本集落に達したため、集落のうち 4 世帯 9 人が緊急避難を余儀なくされた。

平成 10 年には、このような災害状況に対処するため、災害関連緊急治山事業により谷止工 2 基を施工するとともに法切工により崩壊地内に残存する不安定土砂を排除した。また翌年の平成 11 年度から、復旧治山事業により、崩壊斜面の早期緑化安定を図るため、緊急性の高い箇所から山腹対策工を実施してきた。調査地では、平成 14 年度に学識経験者による検討会が開催され、整備方針、全体復旧計画等が検討されてきた。整備方針は、将来的には当該崩壊地からの生産土砂をほぼ全量抑制することを目的とするが、山腹工については「切土・アンカーワーク等による抑止ではなく、崩壊の抑制を主体とすること」、また「施工は長期に渡るため、その間の集中豪雨等による突発的な拡大崩壊、堆積土砂の二次崩壊が発生する可能性がある」として、土砂捕捉を目的とした渓間工と併せて整備する必要があるとした。

このため当地区では、山腹崩壊とその後の山腹工（土留工、編柵工）の整備により、表層部の不安定土砂が取り除かれたため、平成 10 年度以降しばらくは安定を保っていた。しかしながら、平成 21 年 12 月に至り、斜面左岸側に設置した土留工の目地部の開口が確認され、約 2箇月後には土留工としての機能を発揮できないほどの大きなズレを伴う変状が生じた（図 7.2.2）。

滑動斜面内では、退行的な崩壊性の地すべり滑動が生じており、その動きの特徴から、下部滑動ブロック（コンクリート土留工を含むブロック）、その上部に位置する退行性ブロック（フトン篠土留工を含む）に区分された（図 7.2.3）。



図 7.2.1 口坂本地区の位置図（楕円表示、国土地理院電子ポータルにより作成）



図 7.2.2 平成 18 年設置コンクリート土留工（3 段目）の変状

下部滑動ブロック内に設置された構造物は、ほとんど機能を失っており（図 7.2.3），斜面安定性を確保するには、ブロック全体にわたる安定化対策が必要と判断された。

これらの地すべり性の移動ブロック規模は、深さが約8m（平成20年地質調査結果）、ブロック幅は、退行性ブロックで約30m、下部滑動ブロックでは40～60mと大きい。

## （2）再滑動の原因とその機構

平成10年度以降は、山腹工の施工により不安定土塊が除去された以降はしばらく安定を保っていたと考えられる。しかしながら、その後の出水時には、斜面末端部を流下する坂本川の河床低下や側岸侵食が末端斜面の不安定化を招き、再滑動が生じたと考えられる。加えて、平成21年8月に県内を襲った駿河沖地震が斜面の不安定化に作用したことも一因としてあげられよう。

再活動ブロックに設置した地表伸縮計の動きによれば、降雨時に移動量・移動速度とも増大する傾向は顕著であるものの、微量ながら常時も断続的な変動が継続する傾向がみられた。これには、再活動を生じた平成21年までの期間において、斜面末端部（図7.2.4）の土砂崩落等に伴い、地すべりブロック全体のバランスが崩れた状態にあることを示している。末端部の崖錐堆積物は、固結程度が低く安定勾配に達するまで堆積量が増加しないと、その上部に位置する不安定ブロックの地すべり活動は収束しない可能性が高いと判断された。

なお、当該斜面の地盤は、亀裂に富み透水性が高い地盤であり、降雨時のすべり面に作用する間隙水圧の上昇がせん断抵抗力の低下を招き地すべり現象が発生といった一般的な地すべり発生機構は想定しにくい。しかし、降雨時に地盤変動が活性化することは観測結果から明かであることから、降雨が地盤浸透に伴って土塊重量を増加させ、不安定化を助長したことが考えられる。

## （3）対策工概要

滑動した斜面はやや広大で、不安土塊の除去には相当程度の掘削と排土が求められるが、下流域への土砂供給は土石流の発生材料そのものを増大させることになり、許される状況ではなかった。このため、排土工を主体とする対策工は適当ではないと判断された。対象とする地すべりブロックの規模は、下部滑動ブロックが幅約70m、斜面長約155m、移動土塊の層厚は10～20m程度、その上部にある退行性ブロック



図 7.2.3 坂本川源頭部の斜面崩壊地の全景と平成21年滑動ブロック



図 7.2.4 再活動した斜面末端部の状況

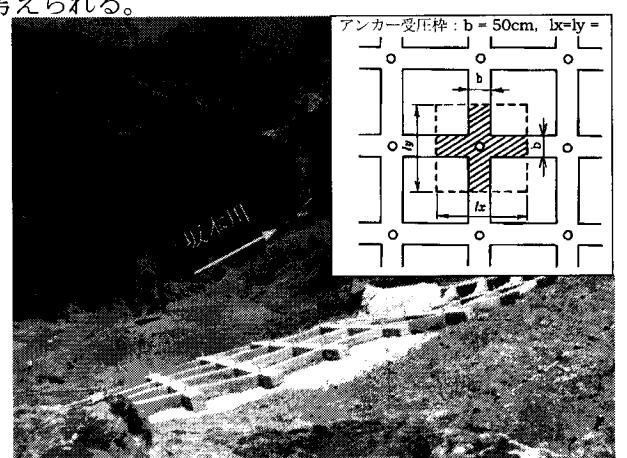


図 7.2.5 対策工に用いたアンカー法枠工

クでは幅約45m、斜面長約80m、最大層厚7m程度と比較的規模が大きく、平成11年から設置したコンクリート土留工、柵工といった山腹工施設の原形復旧対策では、その効果を期待できない。

したがって、平成14年度の検討会による整備方針を一部修正し、山腹崩壊の抑止工法による抜本的な対策を講じる必要があると判断した。また、抑止対策である杭工は、斜面勾配が急であるため、経済的に不利となる「抑え杭」となるため不適と判断され、仮設資材、施工機器、材料等の運搬を考慮した結果、「法枠アンカーアー工」を選択することになった。アンカーアー受圧板は、施工性や作業中の安全性、表層部の不安定土塊の移動防止といった副次的效果を重視して、「吹付法枠工受圧板」工法(図7.2.5)を採用した。

### 7.2.2 長野県大鹿村小塩地すべり

#### (1) 地すべり概要

小塩地すべりは長野県大鹿村小塩地区の国道152線に沿って流れる鹿塩川の左岸側に位置する(図7.2.6)。地すべりの源頭部は標高約1500m、末端部は標高約900m、上部域は約1000mの幅を有し、図7.2.6に示す地形図においても、頭部付近の等高線の膨らみが認められる大規模な地すべりである。

当該地区では、大規模な地質構造線である中央構造線が鹿塩川に沿ってほぼ南北方向に走り、東側には三波川変成岩類、西側には領家変成岩類が分布する。小塩地すべりは、三波川変成岩類(黒色片岩、緑色片岩からなる

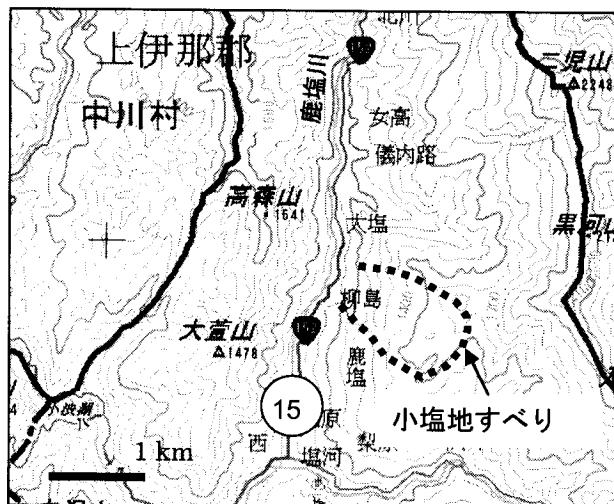


図7.2.6 小塩地すべりの位置図  
国土地理院電子ポータルにより作成

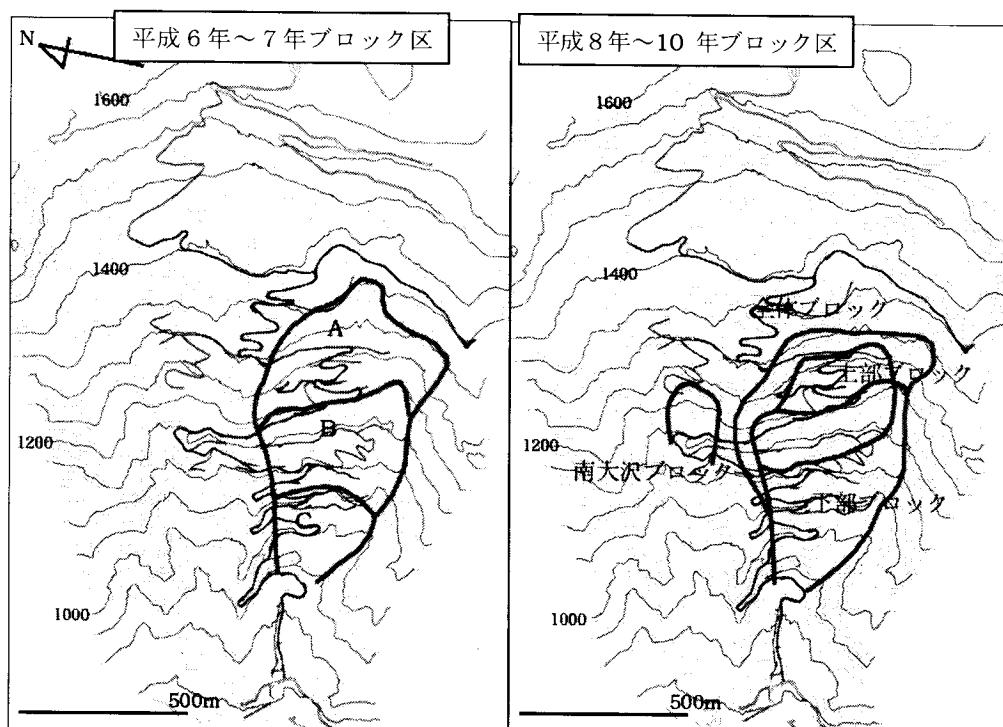


図7.2.7 小塩地すべりのブロック区分の変更(1)

結晶片岩)から成る脆弱な地質構造帯にあり、古くから活発な地すべり活動を繰り返してきた経緯がある。

## (2) 地すべりブロックと対策工

当地区の地すべり調査は昭和43年に始まり、地すべり概況の把握のために弾性波探査、電気探査、調査ボーリングが数年間にわたり実施され、地すべりのブロック区分が行われた。また、昭和45年頃から地すべりの下端から谷止堰堤工が整備され始めた。その後、ブロック間の移動量の違いからブロック区分が見直され、標高1200m付近で上部・下部の2つのブロックが設定された(図7.2.7左)。平成6年には、両ブロックの地下水排除を目的とした排水トンネルが施工され、平成8年に竣工したが、竣工後坑口から80m地点で破断面が生じた。これにより、平成8年から上部・下部ブロックの北側に南大沢ブロック(図7.2.7右)を区分し、各ブロックの地すべり移動に関する調査とともに、集水井、排水トンネルを中心とする地下水排除工が実施された。これにより、当初300mm/年以上の変動を生じていた上部・下部ブロックの移動量は、平成11年度には100mm/年以下までに低下するに至った。その後、平成11年から14年にかけては、比較的移動量が大きい上部ブロック(後の本体ブロック)の浅層すべりを対象とした地下水排除工の導入を行った。これらにより、平成17年度までに、集水井61基、地上ボーリング暗渠工11群、トンネル2本延長1585m、渓間工15個所、アンカーアー工64基、治山運搬路1路線が設置された。

平成15年～16年には、それまでの地すべり調査の結果を勘案して図7.2.8の左側に示すブロック区分が行われ、本体ブロックには浅層すべりが区分された。さらに平成20年には、標高1300から1600m地帯に存在する緩傾斜斜面の動きと図7.2.8の左図に示される地すべりブロックの動きを

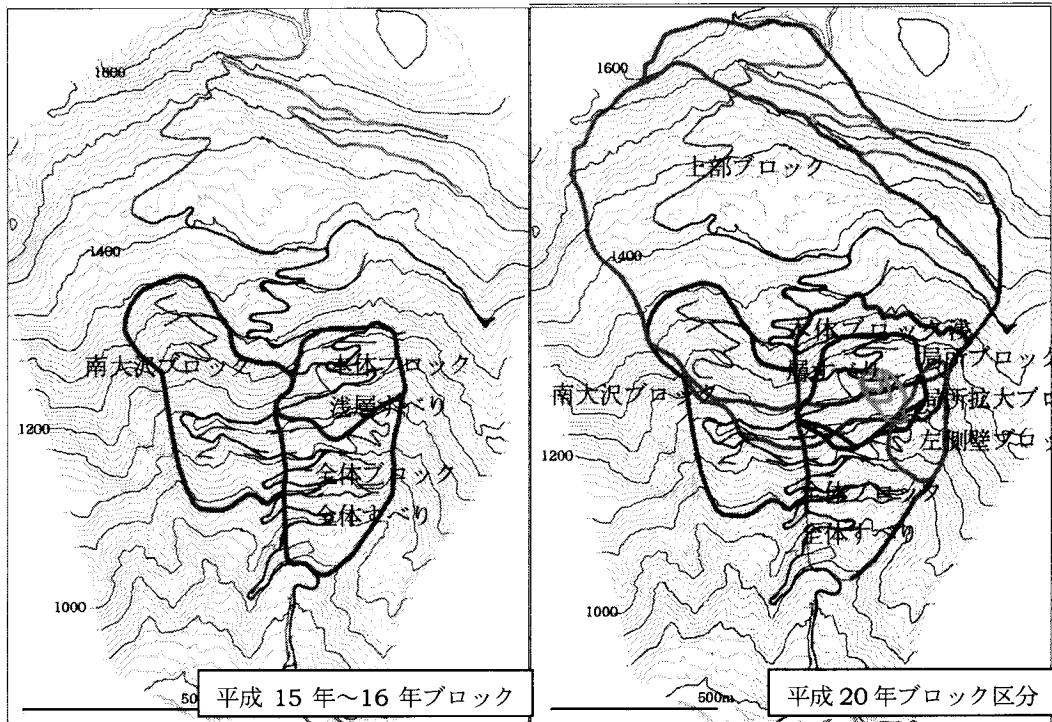


図7.2.8 小塩地すべりのブロック区分の変更(2)

総合的に検討し、この緩傾斜斜面を新たに「上部ブロック」と定義し、現在に至っている。

## (3)既設対策工の被災

平成17年度までに設置された対策構造物には、設置後の地すべり活動の活性化によりその機能を

十分に発揮できなくなったものが認められていた。このため、設置された地すべり対策構造物を点検し、構造物の変状とその機能発揮に関する調査が平成 17 年、20 年、22 年に実施された。対象とした構造物のうち、集水井と排水トンネル、渓間工についての調査結果は以下に示すとおりである。

#### ・集水井

設置された 61 基のうち、機能不全のため修理が必要と判断されたものは平成 17 年 7 基、平成 20 年 16 基、平成 22 年 21 基であり、対策が必要なものは平成 17 年 2 基、平成 20 年 1 基、平成 22 年 1 基で、異常がないものは平成 17 年 27 基、平成 20 年 23 基、平成 22 年 13 基であった。

#### ・排水トンネル

平成 8 年に地すべり上部ブロック（図 7.2.7）の排水トンネルが破断したため、新たな抗口を南大沢ブロック側に設け破断面まで再掘削し接合した。平成 22 年の調査によれば、この上部ブロック対応の排水トンネルは、建て上げ集水ボーリングが切断されていた。また排水量は少ないものの、下部ブロックに設置した排水トンネルは良好に機能していた。

#### ・渓間工

渓間工は 15 個所のうち 7 個所で被災が認められ、機能不全と判断されたものは 2 個所であった。

### （4）被災した集水井の補修について

小塩地すべりのように活動規模が大きい地すべりでは、抑制工としての地下水排除が効果的に行われその活動の静穏化を図る必要がある。このため当該地では、昭和 45 年頃から平成 17 年にかけて地下水排除工として 61 基の集水井を設置したが、平成 22 年の調査によれば「機能不全で補修が必要」と判断された集水井は 21 基もカウントされた。このため、先ずは変形・被災した既存の集水井を補修により再活用しその機能を回復することが求められた。また、補修にあっては、原形復旧に留まらずその後の被災に強い構造を有すること、再度被災しても地すべり活動を活性化させることがないこともあわせて考慮することが望ましい。このため、被災した集水井をその変形度合いに応じて「天端地上部の補修」、「排水ボーリングの再掘削」、「補修」に区分しそれぞれについて補修方法を以下のように検討した。

#### ・天端地上部の補修

目視から集水井天端付近の変形は軽微で、しかも集水井本体の損傷も軽微で井内集水ボーリングが機能しているケース。この場合は、集水井周辺の埋め戻しや堆積した土砂の除去を行う。

#### ・排水ボーリングの再掘削

井内集水ボーリングが機能しているが、集水井内部は湛水しており、明らかに排水ボーリングが破断したと判断されるケース。ポンプによる揚水を行い排水ボーリングが機能していないことによることが確認されれば、排水ボーリングを再掘削する。

#### ・補修

集水井本体が途中でせん断されているか、変形が進み機能不全となっているケース。この場合は、集水井本体の変形部から 1~2m 上部を切断し、下部を礫詰めして埋め戻し、上部を不完全井（浮き井戸）形式として底面を遮水し仕上げ、排水ボーリングは新たに掘削する。集水井底面の遮水には土木分野で活用されている止水ゴムを用いる。このケースの補修方法を摸式

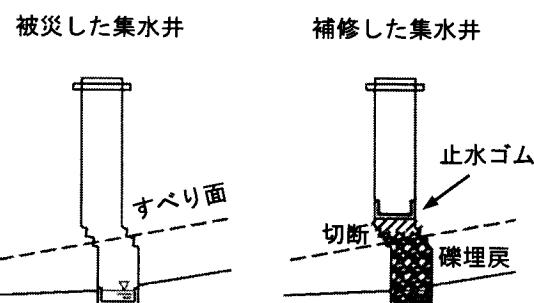


図 7.2.9 集水井の変形と補修例

的に表すと図 7.2.9に示すとおりである。

### 7.2.3 静岡県御前崎市白羽地区の海岸構造物復旧

被災したコンクリート製防潮護岸工の形式は「傾斜型もたれ式」の防潮護岸である。復旧に当たっては、汀線部に設けられる基礎の洗掘防止、護岸全体の安定性、既設護岸への接続性、施工性、経済性に対して十分な対応が求められる。このため、護岸の上部構造は、隣接する既設護岸と同様の勾配 1 : 1.5 の傾斜型もたれ式とし、下部構造は勾配 1 : 0.3 の直立型重力式である「混成型」を採用した。また、直立型重力堤体に対する土圧を均等に分散させるため、その背後を裏込栗石構造とし、局部洗掘とパイピング等による堤体の変位防止を図るために、止水鋼矢板を設置することとした。既設護岸との接続性については、上部のもたれ式構造は隣接する既設護岸と同じ勾配で下端位置も同一になることから良好で、施工性については、堤体の海側への張り出し幅を小さくし、掘削底面を既往構造物と同じ位置においたことからベータな工法といえる。

#### (1) 災害概要

平成 21 年 10 月 8 日台風 18 号による暴風と異常波浪による波力の増大で、御前崎市白羽地区（図 7.2.10）の防潮護岸工（コンクリート被覆式）が約 110m にわたり被災し護岸の倒壊、土堤の崩壊が生じた。当該地区は、昭和 54 年 10 月に上陸した台風 20 号の通過に伴う異常波浪、海岸浸食で、護岸と人工砂丘が被災し、コンクリート式護岸と根固工で、昭和 56 年に復旧した経緯がある。また、周辺沿岸域は、長期的な浸食傾向にあり、汀線位置は徐々に後退し 60 年前に比べ 50m 以上も後退し砂浜もほとんど残っていない。このため高波が減衰しないで護岸工まで到達したことが予想される。

図 7.2.11 に示すように、被災箇所を横断方向に見ると、砂丘前面部を覆っていたコンクリート製防潮護岸工の基礎が洗堀をうけ不等沈下を生ずるとともに強風時の異常強波が襲い、これらが護岸構造物の倒壊を招いたと判断される。

被災地の背後は、工場や民家、農地など日常的に人々が活動する場であり、防風防砂と防潮（塩）

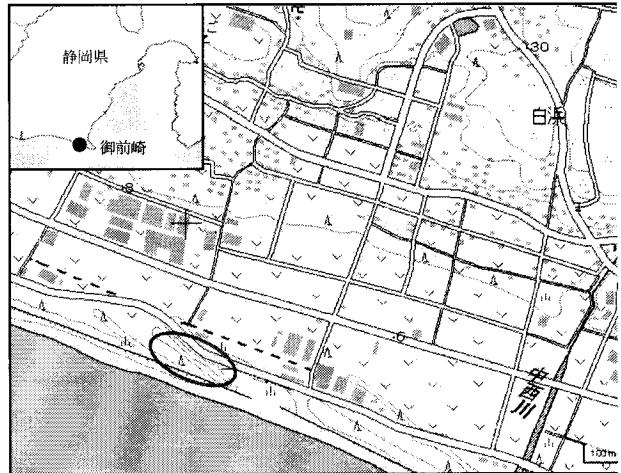


図 7.2.10 海岸構造物が被災した白羽地区の位置  
(橿円表示、国土地理院電子ポータルにより作成)



図 7.2.11 被災海岸構造物の実態  
(上：汀線側、下：陸側)

に海岸林帯が果たす役割は大きい。よって、波浪による侵食・決壊から海岸を保全し、この林帯が今後も十分な機能を発揮できるよう被災した護岸工を早急に復旧することが求められた。

## (2) 復旧工法の概要

被災したコンクリート製防潮護岸工の形式は「傾斜型もたれ式」の防潮護岸である。復旧に当たっては、汀線部に設けられる基礎の洗掘防止、護岸全体の安定性、既設護岸への接続性、施工性、経済性に対して十分な対応が求められる。

このため、護岸の上部構造は、隣接する既設護岸と同様の勾配  $1:1.5$  の傾斜型もたれ式とし、下部構造は勾配  $1:0.3$  の直立型重力式である「混成型」を採用することにした。また、直立型重力堤体に対する土圧を均等に分散させるため、その背後を裏込栗石構造とし、局所洗掘とパイピング等による堤体の変位防止を図るため、止水鋼矢板を設置することにした。

これにより、次のような効果が期待できる。基礎洗掘に対しては、重力式護岸底面から最低地盤面まで  $1m$  の根入深さを確保し洗掘に備え、上部のもたれ式の斜長を短くし護岸の安定性を高めた。接続性については、上部のもたれ式構造は隣接する既設護岸と同じ勾配で下端位置も同一になることから接続性は最も良い。また、施工性については、堤体の海側への張り出し幅を小さくし、掘削底面を既往構造物と同じ位置においたため施工性は良好である。

図 7.2.12には、被災前の護岸構造と復旧工法として採用された「重力式ともたれ式の混成工法」による護岸構造を対比して示す。これより、越波量をベースに算定され天端高は、余裕高（ $0.07m$ ）をみて既設と同様で、被災しなかった既設護岸との連続施設としての機能発揮が期待できることになった。また、基礎コンクリートは、幅  $1m$  高さ  $1m$  の場所打ちコンクリートとし、延長  $3m$  の止水工（鋼矢板）を設置し、局所的な洗掘およびパイピングに対する安定性の確保することにした。

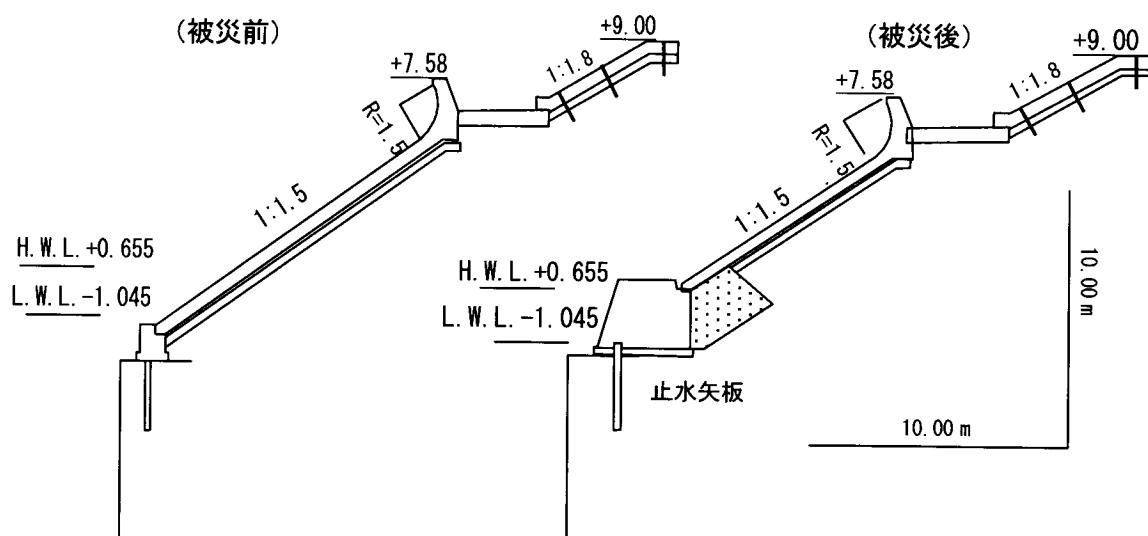


図 7.2.12 被災前護岸と復旧工法として採用された「重力式ともたれ式の混成工法」

## 7.3 治山堰堤及び海岸防災林の被災事例とその対策

(新潟大学 川邊 洋)

### 7.3.1 治山堰堤の被災事例とその対策

被災した治山施設の復旧は、被災前の状態に戻す「原形復旧」が原則になっている。調査検討された被災原因を対策に役立てられるのは、次に施設を計画するときになってしまふが、これには、災害復旧の手続きや日程上、施設の被災原因を究明し、同形施設の構造面の対策を講じる時間的余裕がないという実情が関係しているものと思われる。しかし一方では、原形に復旧することが困難な場合には、これに代わるべき必要な施設を設置することは災害復旧事業とみなされ、一定の範囲内で改良的要素を加味してもよい柔軟な事業となっている。

治山施設の構造や配置については、現地の条件を踏まえて、防災上必要なものを計画するのが基本であり、その上でさらに、コスト面、施工の安全性の確保、治山事業施行地の奥地化、工法の多様化などを考えて、近年は施工性や維持管理のしやすさも求められている。

ところで、治山施設の本来の役割は、災害に結びつく物質移動を起こさないこと、移動してしまった場合はその移動を抑止することで、そのためにたとえ治山施設が被災しても、災害を未然に防いだことでその目的を達成したことになる。治山施設の点検、設計や配置計画を考える際には、このことを常に念頭に置いておく必要がある。

地震災害の場合は、治山施設の被災が誘因（地震力）によるものか、誘因による土砂の移動（地盤の変形、崩壊・地すべり、土石流など）によるものかを判定する必要がある。地震力による場合は耐震性を考慮しなければならないかもしれない。また、土砂の移動による場合は、施設が変形あるいは破壊することによって土砂移動のエネルギーを削ぎ、二次災害を防止したのかもしれない。このような場合と、施設が被災して防災の役目を果たすことができなかつた場合とは区別するべきである。

図 7.3.1は新潟県中越地震で変形した堰堤である。当地区は昭和40年代に融雪による土砂災害に見舞われ、災害後に建設された堰堤（高さ5m、天端幅1.5m）では、新潟県中越地震により、コンクリートの打ち継ぎ目を境に、上部ブロック（袖部）が25cmほど下流側に移動していた。上流側の堆砂敷には25cmほどのクラックが入っており、かつコンクリートの目地がこの移動により欠損していたことから、かなり瞬間的なブロックの移動があったものと考えられる。



図 7.3.1 新潟県中越地震による堰堤袖部のずれ

この例は、地震動そのものによる堰堤の損壊というより、地震動により発生した上流側堆砂敷の土圧によるずれが原因と考えられ、堆砂敷の滑りを抑制した堰堤の効果とみなすこともできる。とは言え、堰堤の損壊を防止できるに越したことはない。

堆砂敷あるいは側岸からの土圧により、堤体に大きな圧力がかかることが想定される場合は、まず

堤体の増厚や高強度コンクリートの利用が考えられる。一方、堤体の破壊を極力防ぎ、堤体の変形によって粘り強く効果を持続させるために、コンクリート枠や蛇籠など使ったフレキシブルな構造の堰堤が作られている。

図 7.3.1のような打継面でのずれ（ずれがさらに進行すれば破壊）に対処するため、新潟県では相欠き方式による打継面処理が多用されてきた。平成16年度には林野庁治山課から、挿し筋方式による打継面処理の通知があったため、新潟県農林水産部治山課では、両方式の優劣について、いくつかの面から、実際の施工を通して比較検討された（森 英昭：治山ダムにおける水平打継面の施工性について、新潟県治山林道研究発表会報、第7号、新潟県農林水産部林政課・治山課、2007年3月）。ここでは、両方式の施工性、経済性および構造物の安定性について、同報告をもとに紹介する。

比較検討の対象とした打継面処理のタイプは、図 7.3.2の3通りである。平成17年度と平成18年度の2年間の施工数は、「相欠き方式」7基、「挿し筋方式」4基、「相欠き+挿し筋方式」16基の計27基となっている。

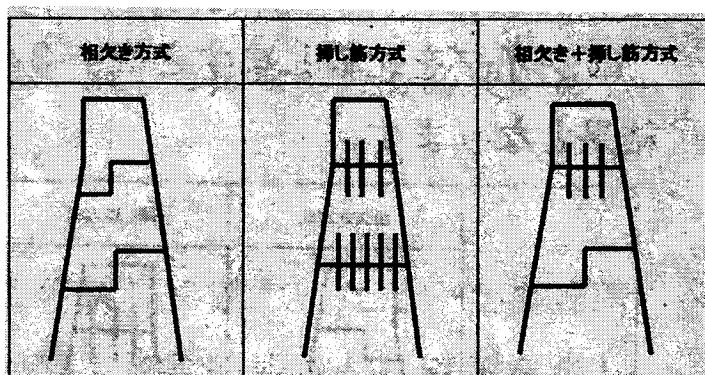


図 7.3.2 比較検討の対象とした打継面処理のタイプ

施工性についての利点と欠点は次の通りである。

相欠き方式 (利点) • 作業床の確保が容易

- レイタンス除去が容易
- 打継面処理が容易
- コンクリート養生が容易

(欠点) • 相欠き部への浮き型枠の設置が手間

- 打設時のコールドジョイントへの対処が必要

挿し筋方式 (利点) • 打設リフトを一気にあげることが可能

- (底幅が狭ければ) 挿し筋は施工自体容易

(欠点) • 挿し筋の突起が安全施工に支障

- 挿し筋時の孔への対処（再度の表面均し）が必要

- (底幅が広ければ) 長大な足場が必要

- レイタンスおよび打継面処理時に挿し筋が支障

相欠き+挿し筋方式では、それぞれの方式の施工部分で、上記の利点・欠点が現れてくる。

上記のように、両方式それぞれに利点・欠点があり、施工性については優劣が付けられない。

次に経済性であるが、新潟県治山課で実績の多い規模の堰堤を仮定し、各方式による単価比較を実施した。その結果、「相欠き方式」74,269 円、「挿し筋方式」87,318 円、「相欠き+挿し筋方式」66,591 円となり、「相欠き+挿し筋方式」が最も安価な施工方法であった。

構造物の安定性については、模型実験から、堰堤を一体で打設した場合を 100%として、水平打継方式で 92~96%、相欠き方式で 99~109%、挿し筋方式で 104~121%と報告されており、挿し筋方式が最も剪断抵抗力を持っている。したがって、相欠き+挿し筋方式は、本体部（相欠き方式）で 99~109%、袖部（挿し筋方式）で 104~121%の剪断強度を持っていることになる。

以上の結果から、打継面処理方式の 3 タイプを比較すると、表 7.3.1 のようになる。相欠き+挿し筋方式が推奨される結果となった。

表 7.3.1 打継面処理方式 3 タイプの比較

方 式	相欠き方式	挿し筋方式	相欠き+挿し筋方式
施工性	○	○	○
経済性	○	△	◎
構造物の安定性	△	◎	○
総合評価	△	○	◎

優劣が付けられなかった施工性を、相欠き+挿し筋方式についてもう少し細かく見ると、相欠き方式は堤体幅の比較的広い部分に、挿し筋方式は袖部の堤体幅が狭い部分に施工され、両方式とも利点を生かし、欠点を補うような個所に施工されるようになっている。

また、構造物の安定性では、本体部は背面の堆砂敷の土砂を安定に支えられる最低限の強度を有していればいい、一方袖部は土砂の衝撃で破壊されない強固な構造でなければならないと考えれば、本体が相欠き方式、袖部が挿し筋方式の相欠き+挿し筋方式は理に適った工法ということができる。

ただ、この提案は大半を堆砂している堰堤を対象としたものであり、実際には、それぞれの堰堤計画地点の土砂の流出状況、その土砂の管理に関する治山計画などを勘案して、最も効果的な施工方法を採用することが肝要である。現在、新潟県では、重力式コンクリート治山堰堤の水平打継目は、原則として挿し筋式で補強することとしている。

なお、本節については、新潟県農林水産部治山課の明田川晋課長補佐との話し合いの中で受けた示唆や、提供していただいた資料をもとにまとめたものである。明田川課長補佐ならびに治山課の皆様に感謝の意を表します。

### 7.3.2 海岸防災林の被災事例とその再生

東北地方太平洋沖地震では津波による被害が甚大で、それに伴い海岸防災林の被災と効果に注目が集まっている。本来、海岸防災林は、津波や高潮に対する潮害防備だけではなく、飛砂害・風害・霧害の防備等の災害防止機能を有しており、地域の生活環境の保全に重要な役割を果たしている森林である。ここでは、防潮林としての機能に注目し、同地震で発生した津波による海岸防災林の被災とその再生について、「今後における海岸防災林の再生について」（東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会、平成 24 年 2 月）をもとに概説する。

なお、津波災害と海岸防災林の関係を論ずる際に注意しなければならないのは、治山堰堤のところで述べたのと同様、海岸防災林が被災したかどうかよりも、海岸防災林の存在によって後背地が保全できたかどうかが問題だということである。海岸防災林も無傷、後背地も被害なしという状況が最も

望ましいが、保全対象物の前面に立って、たとえ海岸防災林は被災しても、後背地を津波から守ることができれば、海岸防災林としての機能を果たせたことになる。ここでは、治山施設としての海岸防災林の被災とその再生にのみ注目する。

海岸防災林は、津波の規模や地形等により、多様な被災状況を示している。また現在、表面的には被害を受けていないように見える海岸防災林も、塩害による樹木の枯損、樹勢の衰えに伴う松くい虫等の病虫害の発生など、さらに被害が激甚化する恐れがある。

今回の海岸防災林の被害を大別すると、以下の通りである。

- ① 防潮堤等の施設が存在せず、林帯のみが被災
- ② 防潮堤等の施設のみが被災
- ③ 津波が防潮堤等の施設を越える等により林帯のみが被災
- ④ 防潮堤等の施設と林帯がともに被災（今回の津波被害の大部分を占めている）

さらに被災状況を詳細に見ると、地盤高が低く、地下水位が高い個所では、樹木の根が地中深くまで伸びず、根の緊縛力が弱かったことから根返りし（津波底面の剪断力、地表面の浸食に伴って起こる）、流木化したものが多数存在していることが確認された。また、地盤沈下が確認されるとともに、液状化が発生していた可能性も指摘されている。

一方、場所によっては、根の緊縛力が強く、根返りはしていないが、樹冠部分にかかる津波の流体力に耐えられずに幹折れし、流木化したものも多数存在していることが確認された。

これらの根返りや幹折れで生じた流木により、海岸防災林の後背地の被害が助長されたことも考えられる。また、根返りや幹折れには至らずに傾倒しただけの樹木も見られ、これらは流木化はしなかつたが、塩水を被ったことによる影響は出てくるであろう。

前述した通り、海岸防災林は飛砂・風害の防備等の災害防止機能を有し、地域の生活環境の保全に重要な役割を果たしてきているとともに、過去および今回の津波による被災事例においても、津波自身を完全に抑止することはできないものの、津波エネルギーの減衰効果、到達時間の遅延効果、漂流物の捕捉効果等の被害軽減効果が見られることから、まちづくりの観点において多重防御の一つとして位置づけることができる。

以上のことから、今回の津波による甚大な被災状況を踏まえ、地域の防災機能の確保を図る観点から、飛砂・風害の防備等の災害防止機能に加え、津波に対する被害軽減効果も考慮した海岸防災林の復旧・再生を検討していく必要がある。

基本的な再生の方向性としては、大別して以下の4パターンが想定され、単独パターンやこれらパターンの組み合わせにより、海岸防災林の再生を図っていく必要がある。

① 主にリアス式海岸部など林帯幅が狭い個所や施設のみの被災個所

- a. 林帯を再生しつつ、従来通りの規模による施設の原形復旧により、必要な機能を確保。
- b. 林帯を再生しつつ、防潮堤等施設の改良により、必要な機能を確保。

② 主に平野部など林帯幅が確保できる個所

- c. 林帯幅の確保により、必要な機能を確保。
- d. 林帯幅の確保に加えて、人工盛土の造成により、必要な機能を確保。

なお、林帯幅については、後背地の土地利用状況など、地域の実情を十分踏まえて検討する必要がある。また、上記②dの人工盛土の造成については、人工盛土を造成・整備する十分な土地と盛土材を確保できることが前提であるが、盛土による津波エネルギーの減衰効果が期待されるとともに、盛土上に森林造成することにより、根返りによる被害を防止する効果も期待される。さらに、東日本大

震災の被災地域では、大量に発生した災害廃棄物のうち、無害化処理された再生資材や建設発生土などを盛土材として有効利用できるという効果も付け加わる。

今後も今回の津波と同程度の巨大津波が襲来する可能性があることを前提に、海岸防災林の再生を検討するに当たって、留意すべき事項は次の通りである。

#### (1) 地域の復興計画等との整合

海岸防災林の効果や役割について、地域住民の十分な理解を得た上で、地域の復興計画等との整合を図るよう検討される必要がある。

#### (2) 林帯の配置

平常時は飛砂防備や防風等の防災機能が期待される。これまでの研究成果では、飛砂防備等の機能面から、50m程度以上の林帯幅が必要とされている。しかし、海浜部は飛砂・塩害等樹林にとっては厳しい生育環境であることから、これらの影響の程度に応じて、概ね150～250m程度の林帯幅が望ましいとされている。

また、津波エネルギーの減衰効果の観点からは、これまでの研究によると、津波高3mなど一定条件下での数値シミュレーション結果ではあるが、林帯幅50m程度以上で、家屋破壊などに影響する津波の流体力（流速、水流圧力等）を半分以下に低減し、林帯幅200m以上から、津波の到達距離、浸水深の低減に高い効果がみられるとの知見がある。

さらに、津波高6.5mなどの一定条件での数値シミュレーションでは、林帯幅の広さに応じてその効果が発揮され、林帯幅が200mの海岸防災林が存在した場合には、流体力が3割程度減少する結果となっている。

なお、これらは、幹折れ等の樹木の被害が生じない場合の知見であり、津波エネルギーの減衰効果は、津波の規模や地形、林分構造等により異なることから、必要に応じ、個所ごとにその効果を検証することが望ましい。

これらの知見を踏まえ、飛砂・風害防備等の災害防止機能に加え、津波に対する被害軽減効果も考慮して海岸防災林を復旧・再生する場合は、広い林帯幅とすることが望ましい。しかしながら、地域の復興計画や土地利用計画等の検討結果によっては、望ましい林帯幅の確保が難しい場合も考えられる。このような場合には、森林の構成により機能を高めることも検討する必要がある。

林帶に疎開した部分や欠如した部分があると、そのような場所に流水の圧力が集中してしまうので、十分な管理が必要である。同様の理由から、林内にある道も海水の侵入路となり、被害を増加させる恐れが大きいので、S字形に曲げるなどの工夫が必要である。また、どうしても林帯を切断せざるを得ない河口では、河岸に沿ってかなり上流まで林帯を設けることが望ましい。

海岸林だけでは海水の侵入を阻止できない、また平地が狭くて十分な幅の林帯が造れないなどの場合は、防潮堤などの人工構造物との併用を考える。図7.3.3に望ましい防潮施設の配置模式図を示す。図7.3.3の海岸防災林は、防潮堤の前面で漂流物を阻止し、高さに限界のある防潮堤を保護する役目もある。また、堤高を越す高波にも効果的である。低林帯から砂草帯までは、高波や漂流物の作用が直接海岸防災林に働くのを避け、一種の緩衝作用を持たせている。高頻度の波高の低い高波は、この帶で阻止することが期待される。

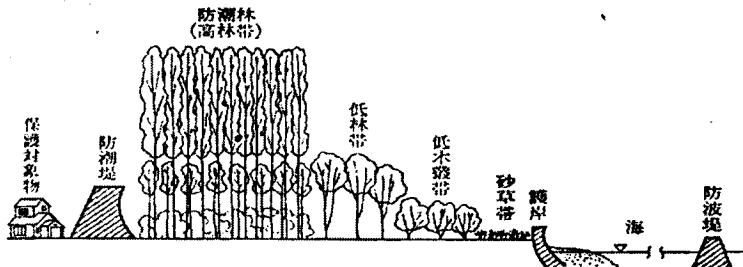


図 7.3.3 望ましい防潮施設の配置模式図

### (3) 生育基盤の造成

微地形が津波エネルギーの減衰や樹木の成長に影響していると考えられることから、微地形にも着目して検討する必要がある。

とくに、地盤高が低く、地下水位が高い個所では、樹木の根が地中深くに伸びず、根の緊縛力が弱かつたことから、根返りし流木化したものが多数存在していることが確認された。

また、現地調査の結果では、十分な樹高を有し被害を受けずに残った樹木は、地下水位より上位の土層深が3m程度の個所で生育しており、また、幹折れしたが根返りはしなかった樹木は、地下水位より上位の土層深が2m程度の個所で生育していることが確認された。

このため、飛砂・風害の防備等に必要な樹高を有する樹木の根系の健全な成長を確保し、さらに津波に対して根返りしにくく林帯を造成するために、植栽木の生育基盤の造成する際に、地下水位から2～3m程度の地盤高さを確保するための盛土を実施することが望ましい。

また、地震による地盤沈下と液状化により、樹木の根の緊縛力が低下し、津波により根返りし流木化したと推定されるものが多数存在していることから、地震による地盤条件の変化に着目して検討する必要もある。

### (4) 人工盛土の造成

人工盛土は、従来から背後の林帯を風や飛砂等から保護することを目的に造成されてきたが、津波エネルギーの減衰により、幹折れ被害を抑制する効果もあると考えられる。人工盛土の高さは、これらの効果が発揮できるように決定されるのが望ましい。

人工盛土の法面については、海側は、飛砂・風害防備の発揮や土量・盛土面積の抑制のため、1：2程度の勾配とし、陸側は、越水した際の法面侵食や法尻洗掘の抑制を図るため緩傾斜とし、砂草もしくは張芝で表面を被覆するなどの表面侵食対策を施すことが望ましい。

人工盛土は背後の林帯を保全するために造成するものであり、林帯の前面（海側）に配置するべきである。ただし、人工盛土を造成することにより、林帯幅が確保できなくなる場合もあることから、地域の実情を十分勘案しなければならない。

人工盛土は連続して造成されることが望ましいが、市街地等の保全対象との関係を考慮し、孤塁の単独もしくは千鳥格子状の配置も考えられる。孤塁でも、津波に対する被害軽減効果は期待できると思われるが、その際、人工盛土の周辺に津波の流れが集中することが確認されているため、保全対象と林帯の配置の関係にも留意する必要がある。

### (5) 森林の構成

津波に関連したこれまでの研究成果や今回の実態調査により、以下の知見が得られており、これらを踏まえて森林の構成を検討することが望ましい。

- ①根系が発達し、胸高直径が太く、頑丈な幹を持つ樹木は、津波の被害を受けにくい。
- ②枝下高の高い樹木は、樹冠部分への津波の影響が少ないため、津波の被害を受ける可能性が低い。一方、津波エネルギーの減衰効果は、幹だけではなく枝や葉の効果も確認されており、枝下高が低い方が津波エネルギーの減衰効果を期待できる。
- ③小径木は、津波被害を受けても、傾いてその場にとどまることが多いことから、被災した場合でも津波エネルギーの減衰効果を期待できる。

時間経過とともに、樹木の密度や成長およびそれに伴う林分構造が変化するため、発揮される災害防止効果も変化することに留意し、施工順序も含めた森林の造成や維持管理を検討する必要がある。例えば、大径木化を目指して先に造成する区域や、上木の成長に合わせて下層に広葉樹を植栽する区域など、ゾーニングを検討することが有効である。

植栽樹種については、海岸の最前線は、飛砂、潮風、寒風等の害に十分耐え得るもの、陸側は、防風効果を高めるために、保全対象に対し十分な樹高をもつものから選定する必要がある。さらに、自然条件や地域のニーズを踏まえた多様な森づくり、生物多様性の保全も求められていることから、植栽地の状況に合った広葉樹の導入についても配慮することが望ましい。

海岸防災林の植栽密度は、10,000本/haが標準とされているが、飛砂、潮風の樹木への影響を低減できる場合は、植栽地の環境に応じて植栽密度を減らすことができる。また、根系が健全に発達できるように留意する必要がある。

## 7.4 崩壊危険斜面の分布を考慮した治山施設改良の考え方（宇都宮大学 執印 康裕）

### 7.4.1 はじめに

治山施設改良にあたっては過去の施設被災事例の収集整理が必要であり、山林施設災害復旧等事業（林野庁）のデータが基本となる。山林施設災害復旧の事業数（あるいは箇所数等）については県毎に集計されているが、個別被災事例についての報告書等の詳細資料は現段階では入手していない。さらに個別技術的な改良手法（渓間工であれば、嵩上げ、増厚等）については、各地域の属性を反映した実務レベルでの対策が必要であることから、本論では、治山施設が被災した場合の検討の枠組みについて私案を記述するものとする。

### 7.4.2 治山施設の被災について

ここでは、治山施設の中でも主として治山ダム・砂防ダム等に代表される渓間工について取り上げる。被災規模の大きい順に並べるとおよそ以下のようになる。

#### 規模1：

流出（全壊）→規模2：転倒→規模3：袖部破壊→規模4：変形等

被災規模の1から3までは主として土砂災害発生時において引き起こされる事象であり、規模4は施設の材料特性等による経年劣化、施設の立地条件が主たる要因となって起こる事象である。したがって規模1から3までの施設被災において、今後の施設改良を検討するにあたっては、発生した土砂災害規模及びこれに主として直接的に関与する降雨外力に基づいた検討が必要であると考える。以下に検討のフレームを示す。

#### 降雨外力→土砂災害発生→災害及び治山施設の被災状況調査→施設改良・配置見直し

次節以降においては、土砂災害により治山施設が被災した事例を取り上げ、検討した結果について記述する。

### 7.4.3 治山施設等の被災について

#### （1）対象とした被災事例の概況

対象とした被災事例は、1990年7月2日豪雨によって熊本県阿蘇郡一の宮町において発生した土砂災害によるものである。本災害は根子岳に源を発する古恵川流域を中心に発生した。災害の特徴として流木による被害が著しいことが多くの既往調査によって示され（例えば石川・志田：1990）、ここで得られた知見は現在に至るまで流木対策施設等に活かされている。また発生した崩壊・土石流により治山・砂防えん堤群の一部が破壊されたことが報告されている。図7.4.1、図7.4.2に村田・渋谷（1992）によって報告された崩壊・土石流の発生状況及び古恵川に配置された治山・砂防えん堤の配置および被災状況の概略を示す。

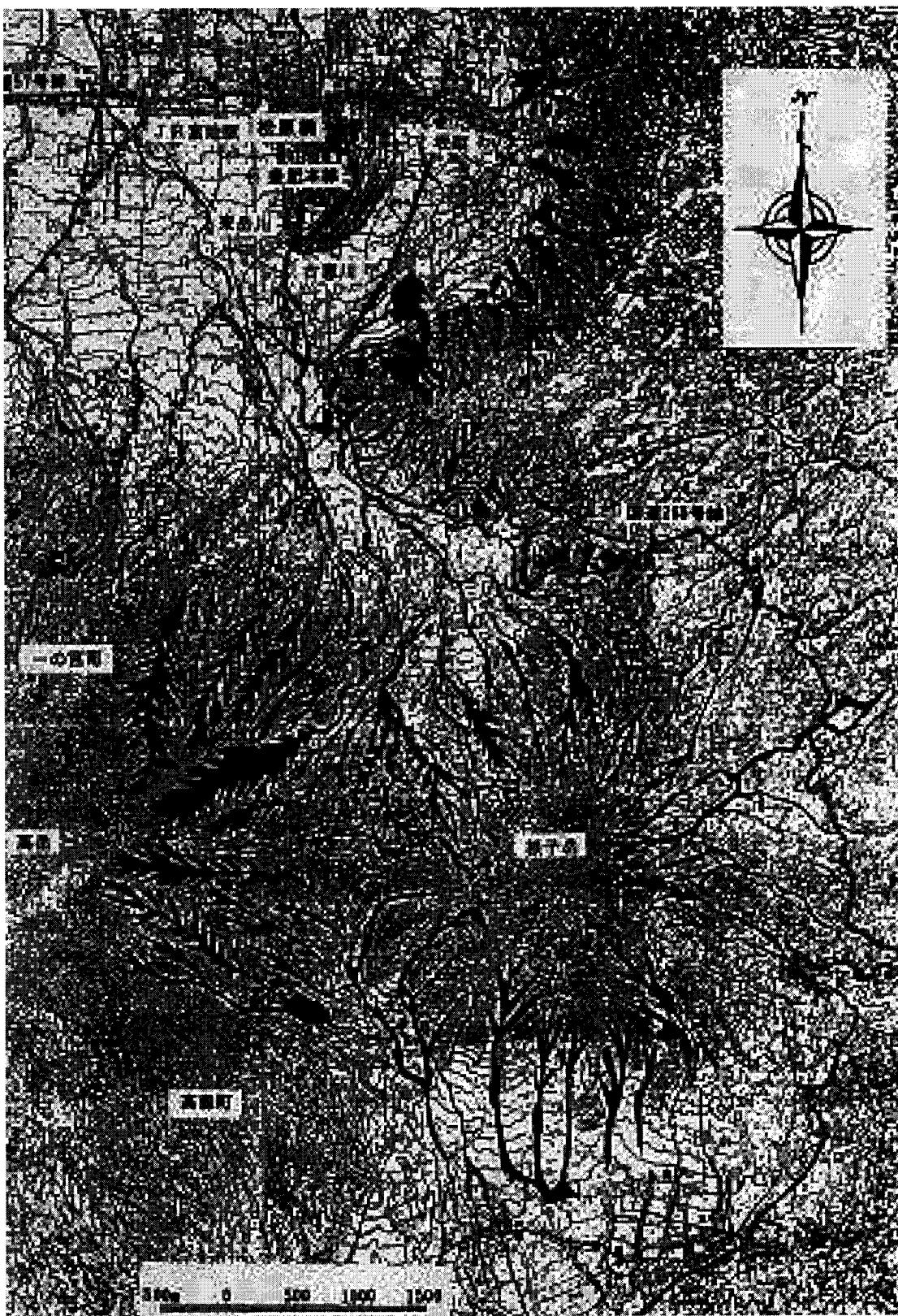


図 7.4.1 1990年7月2日豪雨による崩壊・土石流の発生状況（黒塗り部分）  
(村田・渋谷：1992より引用)

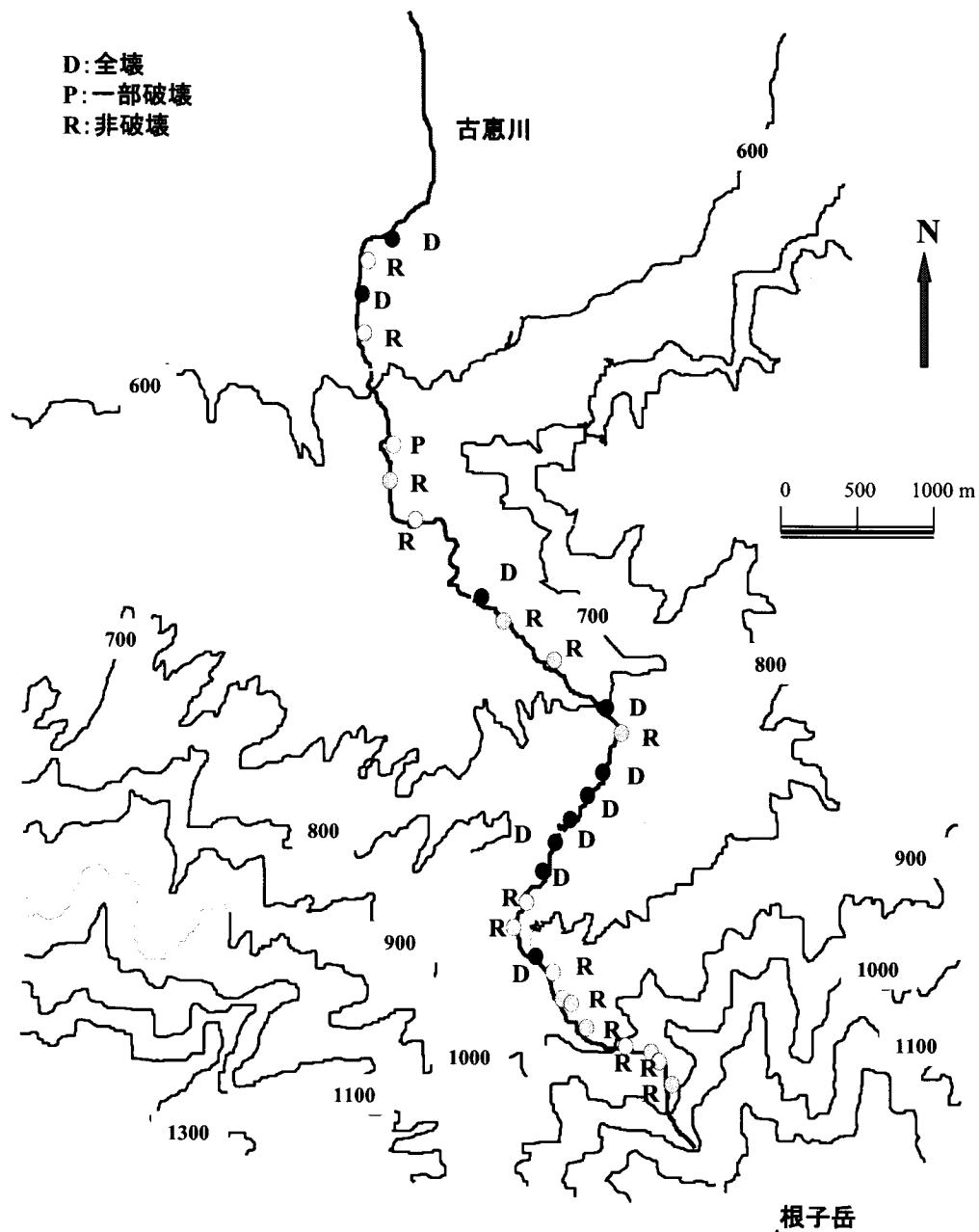


図 7.4.2 1990年7月2日豪雨による治山・砂防えん堤の被災状況

(村田・渋谷：1992より改変引用)

また古恵川に配置された32基の治山・砂防えん堤のうち約1/3が流下した土石流によって破壊されたことが分かる。

図7.4.3に災害発生の7月2日を含む1990年5月から10月までの降水量およびわが国で土砂災害警戒・避難基準の指標の一つとして使用されている土壤雨量指数の経時変化を示す。

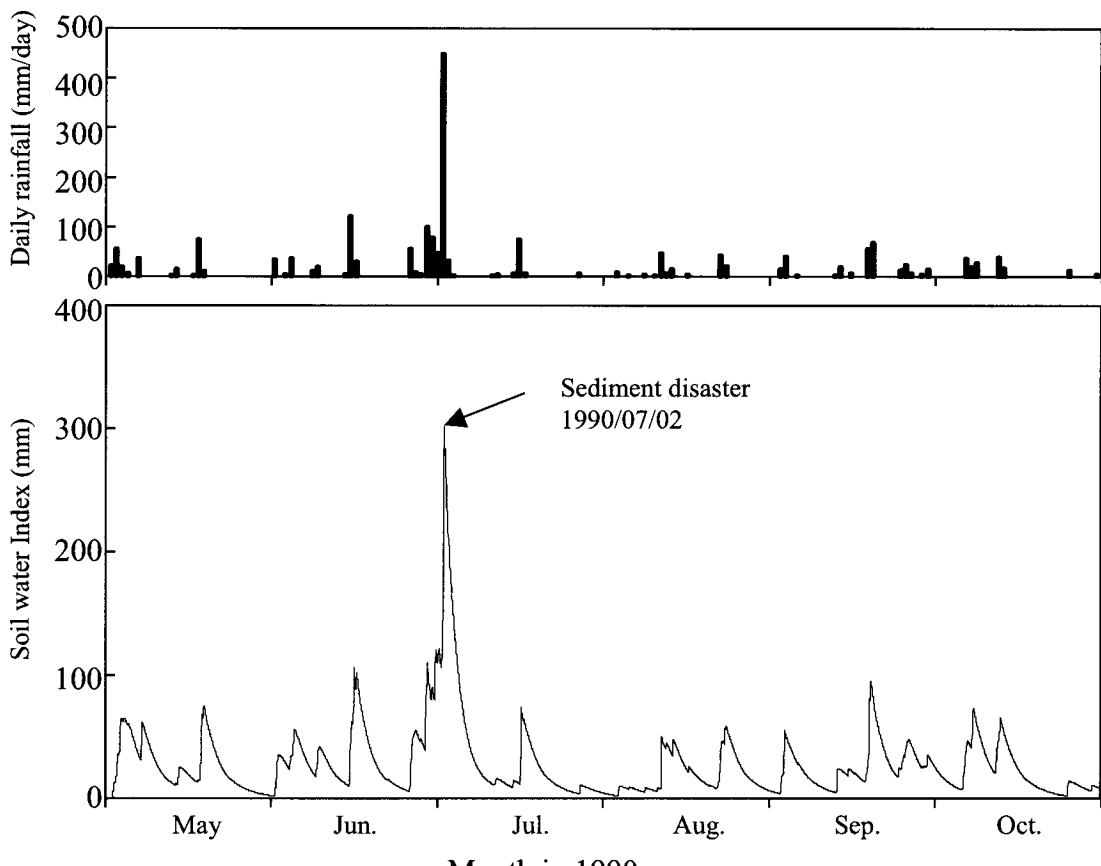


図 7.4.3 1990年5月—10月の降雨及び土壤雨量指数の経時変化

本図より7月2日の日降水量（観測地点：阿蘇乙姫アメダス）は448mmであり、また土壤雨量指数の値は最大で300mmを超えていることが確認される。同地域で日降水量が400mmを超えた事例は昭和28年の白川大水害の時のみであること（村田・渋谷：1992）、また土壤雨量指数の値は一般に警戒・避難の目安とされている約200mmを大きく超えていることが分かる。このことは豪雨における崩壊・土石流発生誘因としての降雨外力が極めて大きいこと、それに従って治山施設の被災規模もかなりのものになったこと（図7.4.1、図7.4.2）が容易に理解されるものであるが、次節以降においては、このことについて、ある程度まで定量的に検討した結果について示す。

## (2) 被災事例の検討モデル概略

検討にあたっては、降雨の時間変化に対応した崩壊危険地の抽出が可能な分布型崩壊モデルを用いた。本モデルは、地形による地下水の側方流動過程を考慮した Okimura and Ichikawa (1985)によって提示されたモデルを基本としており降雨—地下水位変換過程及び崩壊危険斜面抽出過程の2つを基本要素としている。降雨—地下水変換過程は Darcy 則に準拠して計算し、また崩壊危険斜面の抽出には無限長斜面安定解析を使用している。モデルの適用にあたっては、DEM（数値標高地図）の存在が必要であるが、これには国土地理院発行の50mメッシュ標高データを使用した。対象範囲は、阿蘇根子岳を含む東西5.0km南北7.5kmの範囲である。この範囲を東西100セル南北150セル（総セル数1万5000：各セル領域50m×50m）に分割し、阿蘇乙姫アメダスにおいて観測された1981年から1990年までの10年間の5月から10月までの時間降雨データを入力値として計算をおこなった。図7.4.4に対象範囲の傾斜分布マップを、図7.4.5に対象範囲において計算された1990年6

月 29 日から 7 月 3 日までの崩壊危険斜面の時系列変化を示す。

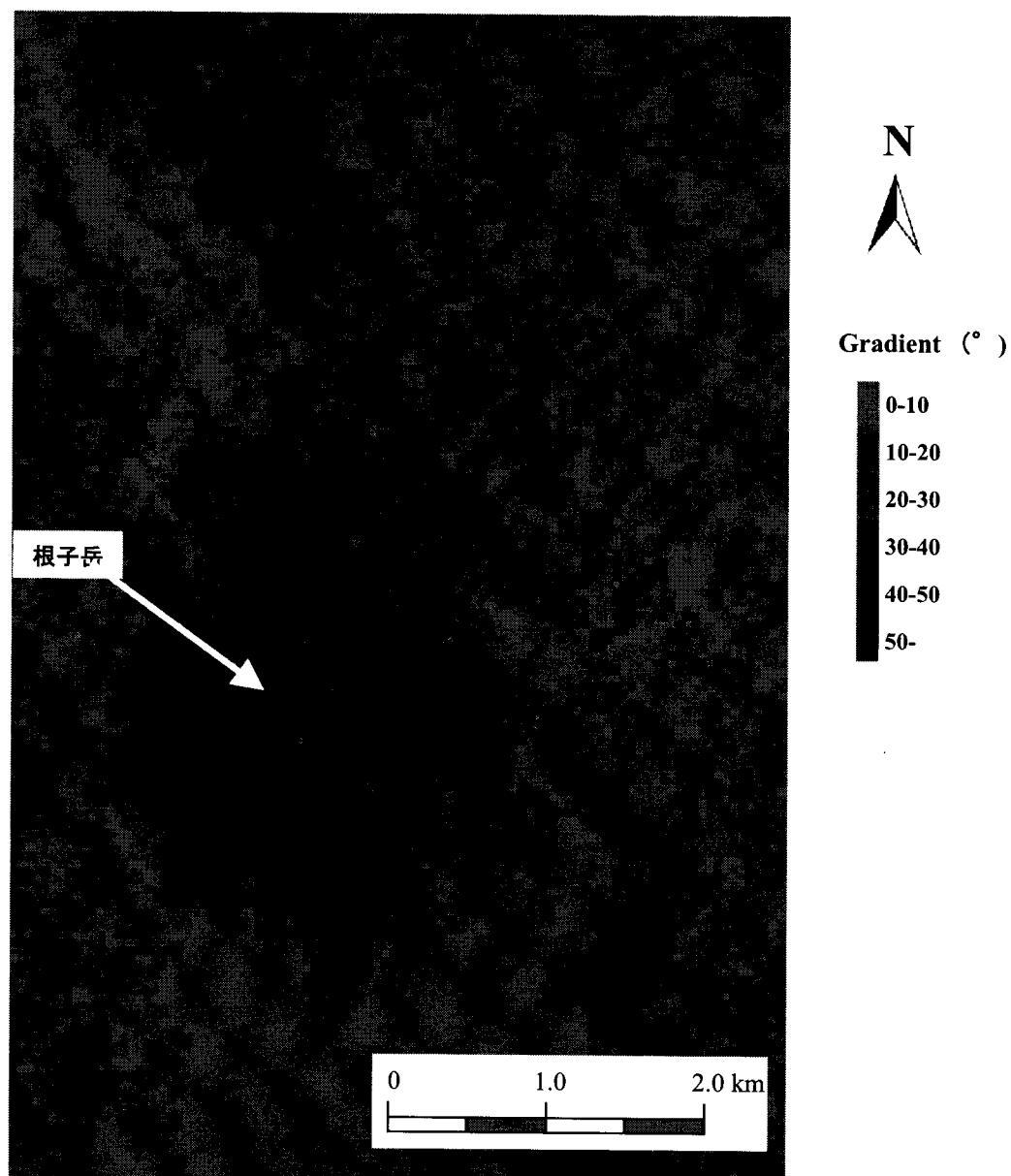


図 7.4.4 分布型崩壊モデルの適用領域及び傾斜分布図

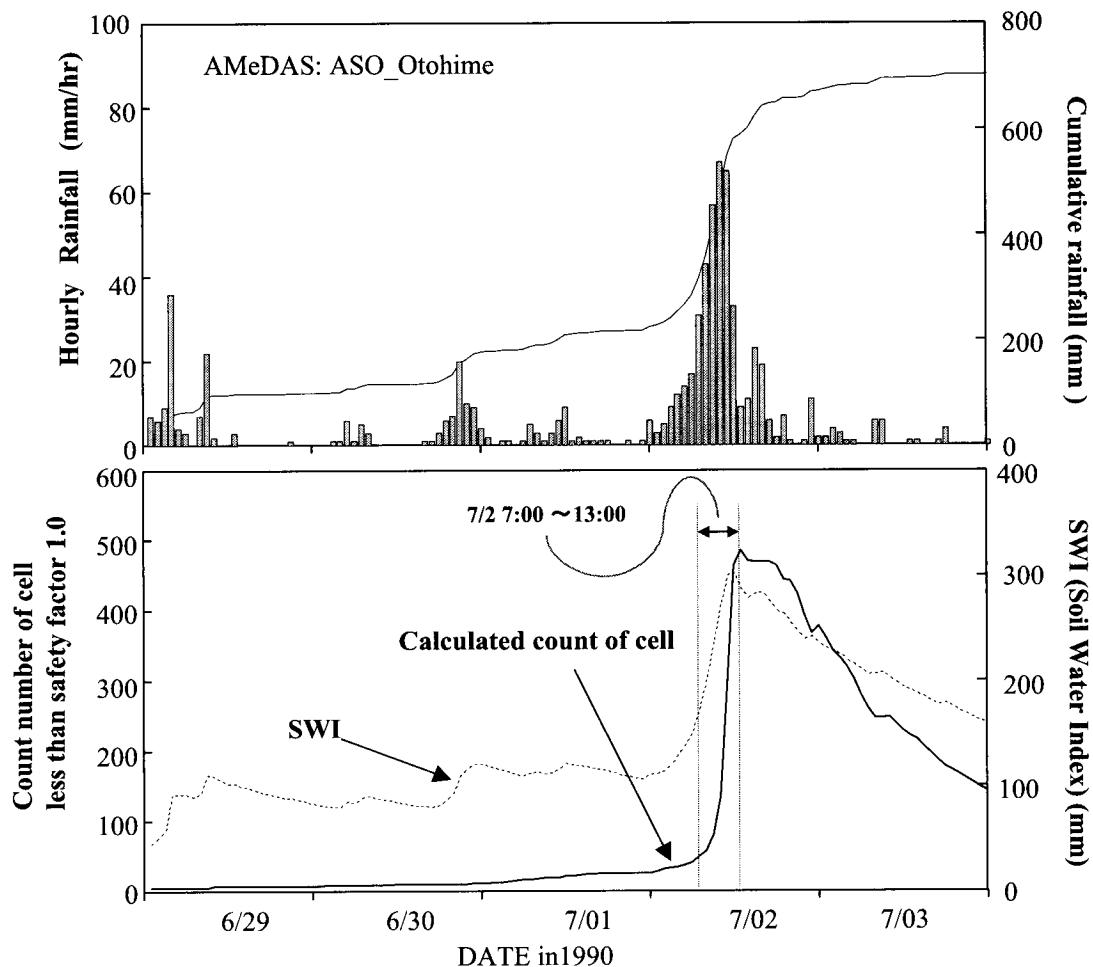


図 7.4.5 分布型崩壊モデルによる計算結果一例（1990年6月29日-7月3日）

本図より崩壊危険斜面数が7月2日7時から13時にかけて急激に増大していることが分かる。最初に災害が確認された時刻は7月2日の10時過ぎであり、これは図7.4.5に示した急激な危険斜面数の増加時期と重なっている。また図7.4.6に本豪雨による最大危険斜面（白抜き部分）の分布を図7.4.4の傾斜分布図の上に重ねたものを示す。図7.4.6からも分かるように、根子岳及び東側の外輪山斜面の殆どが崩壊危険斜面として計算されており、図7.4.1に示した崩壊発生状況と、ほぼ対応していることが確認される。

### (3) 検討手順の概略

検討手順として、災害を発生させた降雨外力規模の評価のために、1981年から1990年までの5月から10月の期間における豪雨イベントを抽出し、そのイベント期間に計算される崩壊危険斜面数の最大値との比較検討を行なった。豪雨の基準としては、各降雨期間に区分（24時間無降雨イベントが継続した時をイベントの区切りとする）し、各期間で計算されている土壤雨量指数の最大値の上位20位までを抽出した。また降雨外力の規模評価には回帰年を使用している。

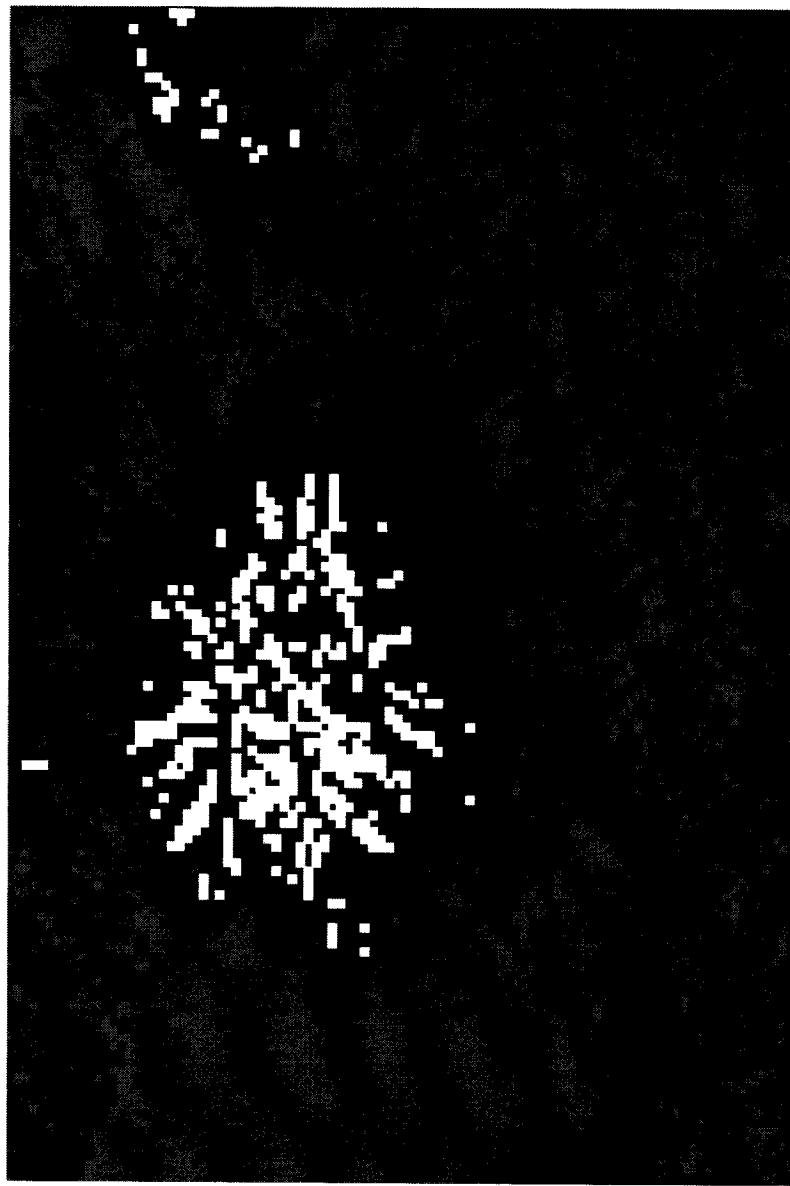


図 7.4.6 1990年7月2日における危険斜面（白抜き）の分布図

#### (4) 検討結果

1980年から1990年の5月から10月までの期間に発生した降雨イベント数は全部で353イベントであり、そのうち土壤雨量指数が上位20位までの降雨イベントを表7.4.1に示す。降雨番号は発生順に付してあるが、降雨番号329が、7月2日の災害に対応しており、土壤雨量指指数値が302mm、崩壊危険斜面数（表中ではPLAI\_MAXと表記）が485と豪雨イベントの中でもいずれも最大値を示していることが確認される。表7.4.1中には、豪雨イベント期間の最大24時間雨量およびそれに対応した回帰年の値を併せて示しているが（計算にあたっては一般化極値分布による確率降雨強度式のFair式を採用）、この回帰年に対応した各豪雨イベントの崩壊危険斜面数との対応関係を図7.4.7に示す。

表 7.4.1 各豪雨イベントの特性一覧

EVENT No.	TOTAL (mm)	Hourly_MAX (mm/hr)	24hours_MAX (mm/24hr)	Return period 24hours (year)	SWI_MAX (mm)	RANK	PLAI_MAX (count)
11	187	29	138	0.2	130	19	31
32	221	31	188	0.8	154	8	35
50	928	35	198	1.0	205	3	167
51	448	58	383	11.9	239	2	339
82	209	42	209	1.2	156	6	30
120	360	41	125	0.2	140	14	57
158	391	31	212	1.2	177	5	93
159	224	17	126	0.2	130	18	51
161	205	26	153	0.4	131	17	38
191	230	28	109	0.1	152	10	62
192	319	20	139	0.2	135	16	65
194	229	27	115	0.1	149	12	39
202	224	34	154	0.4	155	7	26
227	369	21	181	0.7	153	9	75
229	568	61	283	3.7	201	4	158
231	245	27	105	0.1	129	20	27
255	202	43	170	0.5	139	15	27
286	213	25	199	1.0	143	13	35
299	248	23	179	0.6	149	11	41
329	773	67	452	22.6	302	1	485

(観測所：阿蘇乙姫アメダス、期間：1980年－1990年)

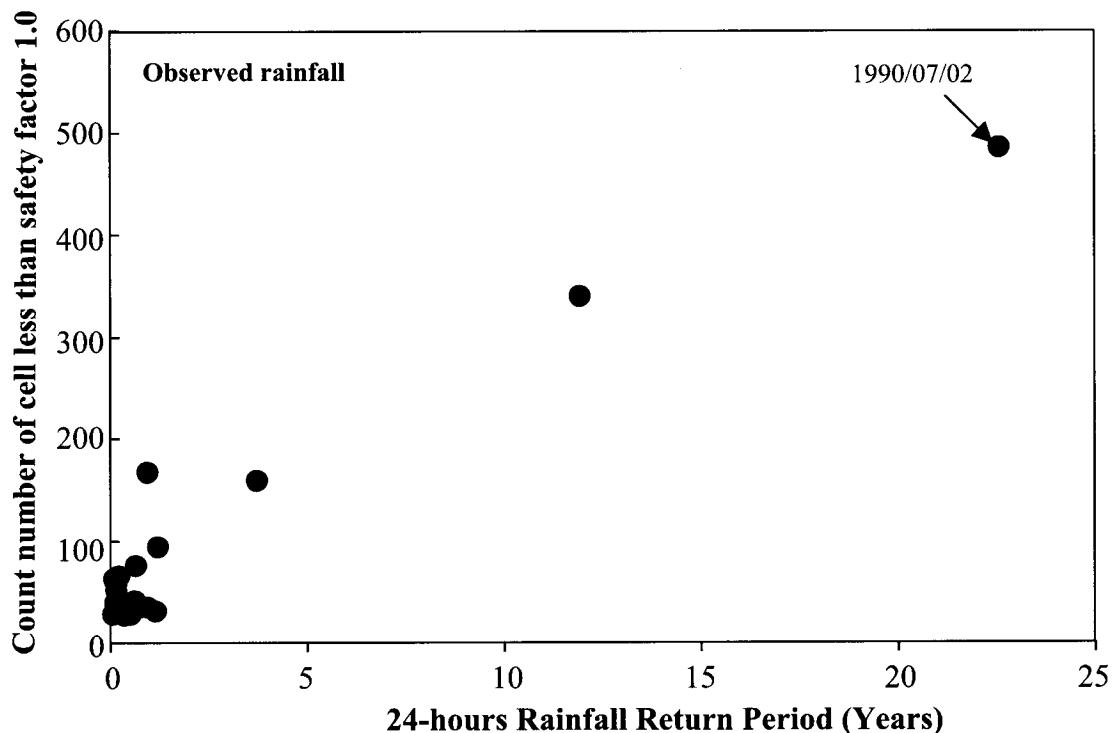


図 7.4.7 降雨回帰年（実測）と危険斜面数の関係

図 7.4.7より降雨回帰年と崩壊危険斜面数には良好な相関関係があることが確認される。また災害を発生させた7月2日降雨の24時間雨量の回帰年は約23年であり、10年間の中で最大であり、次いでイベント番号51番の約12年であることが表1より判る。ただし降雨特性の指標としての回帰年が同一であっても、降雨の変動パターンの違いによって発生する崩壊規模が異なることが指摘されてい

る。(Bovolo and Bathurst : 2011)。そこで、24時間一定の降雨強度で降雨が継続した場合のモデル降雨を対象地域に与え場合について検討した。結果を図 7.4.8に示す。

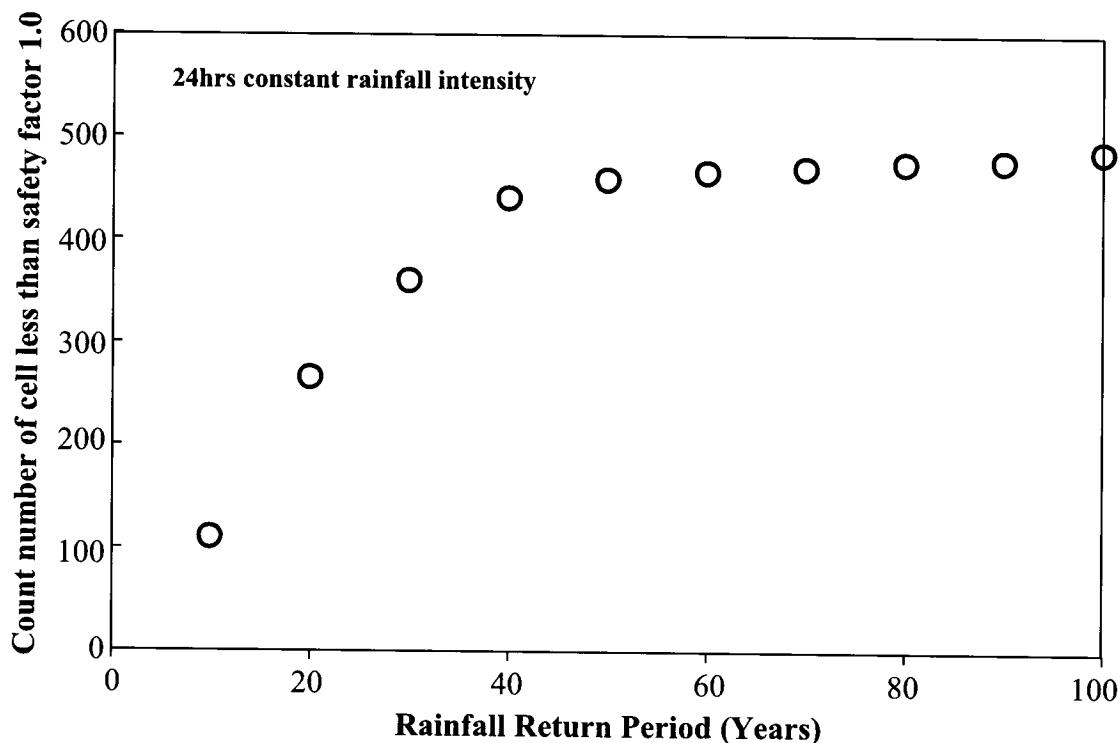


図 7.4.8 降雨回帰年（定常 24 時間降雨）と危険斜面数の関係

図 7.4.8は 10 年から 100 年までの回帰年の 24 時間降雨（降雨強度一定）を 10 年刻みで与えた場合の降雨回帰年と崩壊危険斜面数の関係を示しているが、本図より回帰年 50 年以内の範囲で崩壊危険斜面数は増大し、それ以降は、ほぼ一定の値に近づくことが分かる。また回帰年 100 年での崩壊危険斜面数の値は 486 であり、降雨番号 329（災害発生降雨）を与えた場合と、ほぼ同じ値を示していることが確認された。

この崩壊危険斜面数の値を流域からの生産・流出土砂量の指標とみなし、この指標とモデル降雨による回帰年との対応関係を模式化したものを図 7.4.9に示す。図 7.4.9において、領域 A, B, C は各々、小規模・中規模・大規模降雨外力の範囲に対応するものと見なすことが出来る。また土砂災害対策としては領域 A が防災施設等のハード対策をメインとする部分であり領域 C にいくにしたがって施設による対策だけでは不十分になることを意味している。今回対象とした地域の災害発生降雨外力は領域 C の大規模降雨外力に相当していることから治山施設等の機能強化だけでは充分な減災効果を期待することは出来ない。言い換えれば、この規模の降雨外力において治山施設が一定の割合で被災することは不可避の事象であり、施設被災率を 0 にする意味での増厚、嵩上げによる防災施設の機能強化を計画することは意味がないともいえる。施設の改良を図る必要があるのは領域 A, B, 特に領域 Aにおいて施設が被災した場合である。1.1 節において、「治山施設の改良においては、山林施設災害復旧等事業（林野庁）のデータが基本となる」と記述したが、各被災事例において、今回、記述した手法等を用いて評価しておくことは、今後の治山施設の改良を検討する上で必要であろう。

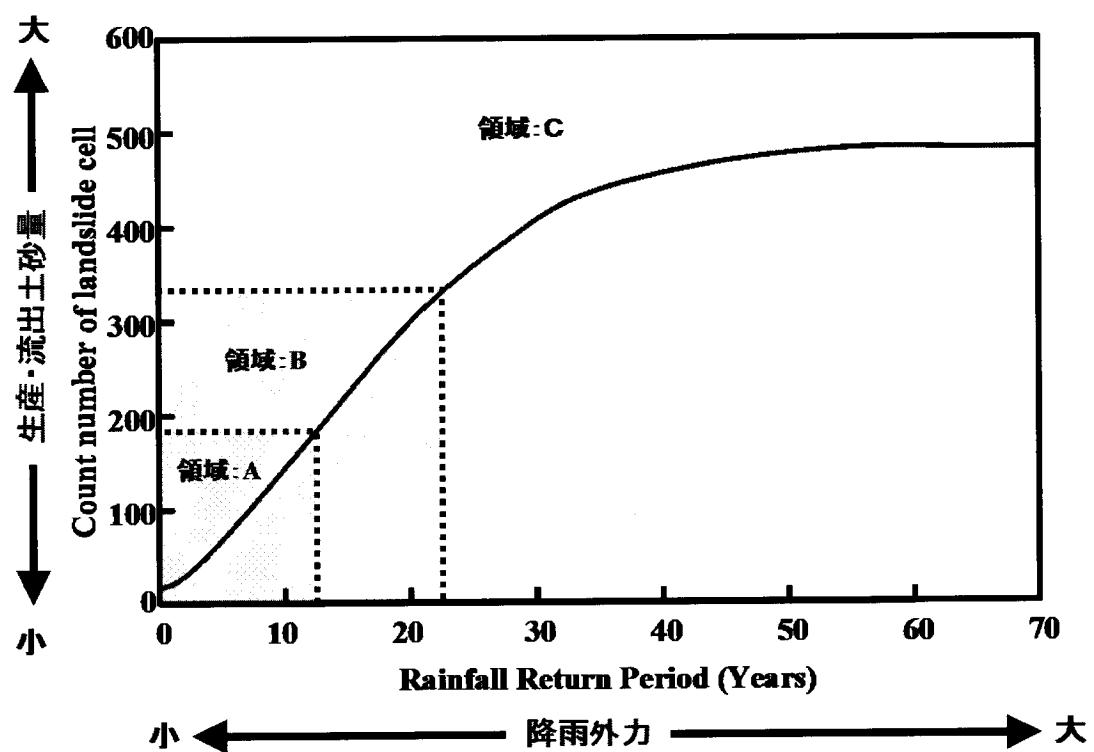


図 7.4.9 降雨外力と生産・流出土砂量の関係模式図

#### 参考文献

- Okimura, T. and Ichikawa, R. (1985): A prediction method for surface failures by movements of infiltrated water in surface soil layer. *Journal of Natural Disaster Science* Vol. 7, 41-51
- 石川芳治・志田武司(1990)：平成2年7月2日熊本県一の宮町で発生した泥流・流木災害について，  
砂防学会誌 43(2), 63-66
- 村田重之・渋谷秀昭 (1992) : 1990年7月豪雨による熊本県阿蘇郡一の宮町古恵川の砂防・治山ダムの破壊と流出土砂量, *自然災害科学* 11(3), 175-185
- Bovolo, C.I. and J.C. Bathurst (2011): Modelling catchment-scale shallow landslide occurrence and sediment yield as a function of rainfall return period. *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.8158

## 7.5 当部会独自調査における各施設の改良方法に関する意見

### (1) 溪間工一堰堤工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	増厚。前庭保護工の設置。水通し部などには石張りや、高強度のコンクリートを部分的に使用。	増厚（一番楽ではないでしょうか。繰り返し実施することになりますが）
2	設計時：袖部・堤底の十分な根入れ確保、コンクリート：耐久性の高いコンクリート混和剤投入、 鋼製：重防食処理 改良時：堤体の増厚、嵩上げ等 鋼製→コンクリートによる被覆	腐食は必ず発生→治山施設の導入により、森林に復元させることが最善
3	増厚や嵩上、基数の増、再施工。 護床工による渓床勾配の規制。	コンクリート以外の材料を使用する。 コンクリートの場合は腐食を考慮し、厚みに余裕を持たす。
4	土石流対応等の設計を適用するしか思い付きませんが、“想定外”の災害が頻発する昨今においては、“躊躇”の感を否めません。	
5	構造的にどうこうではなく、設計時の想定・検討の問題。災害規模・形態の想定、位置、形状、製品の選定など。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようとする。バッファゾーン的な区間を設ける。
6	洗掘：十分な根入れと水叩き工の設置 打継：補強鉄筋 放水路天端：高強度コンクリート or 鉄板	
7	増厚	
8	増厚による補強を行う。 アンカーによる補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。 放水路部は高強度コンクリートを増厚する。

(2) 溪間工一谷止工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	増厚。前庭保護工の設置	増厚
2	設計時：袖部・堤底の十分な根入れ確保、コンクリート：耐久性の高いコンクリート混和剤投入、鋼製：重防食処理 改良時：堤体の増厚、嵩上げ等 鋼製→コンクリートによる被覆	腐食は必ず発生→治山施設の導入により、森林に復元させることが最善
3	増厚や嵩上、基数の増、再施工。 護床工による渓床勾配の規制。	コンクリート以外の材料を使用する。 コンクリートの場合は腐食を考慮し、厚みに余裕を持たす。
4	土石流対応等の設計を適用するしか思い付きませんが、“想定外”の災害が頻発する昨今においては、“躊躇感”の感を否めません。	
5	構造的にどうこうではなく、設計時の想定・検討の問題。災害規模・形態の想定、位置、形状、製品の選定など。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようとする。バッファゾーン的な区間を設ける。
6	基礎や袖部は地盤調査で十分な根入れを確保する。	
7	いずれも機能喪失・復旧困難のため、下流側に代替施設を施工する。	
8	洗掘：十分な根入れと水叩き工の設置 打継：補強鉄筋 放水路天端：高強度コンクリート or 鉄板	
9	増厚	
10	増厚による補強を行う。 アンカーによる補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。 放水路部は高強度コンクリートを増厚する。

### (3) 溪間工－床固工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1		増厚
2	設計時：袖部・堤底の十分な根入れ確保、コンクリート：耐久性の高いコンクリート混和剤投入、鋼製：重防食処理 改良時：堤体の増厚、嵩上げ等 鋼製→コンクリートによる被覆	腐食は必ず発生→治山施設の導入により、森林に復元させることが最善
3	根継工による基礎部洗掘防止	
4	増厚や嵩上、基数の増、再施工。 護床工による渓床勾配の規制。	コンクリート以外の材料を使用する。 コンクリートの場合は腐食を考慮し、厚みに余裕を持たす。
5	土石流対応等の設計を適用するしか思い付かせんが、“想定外”の災害が頻発する昨今においては、“躊躇感”的な感を否めません。	
6	構造的にどうこうではなく、設計時の想定・検討の問題。災害規模・形態の想定、位置、形状、製品の選定など。	腐食に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
7	カゴ系の床固工（流路工）は洗掘等による変形は致命的となるため、護床工（叩き等）の設置が必須と考える。	
8	増厚	
9	増厚による補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。 放水路部は高強度コンクリートを増厚する。

### (4) 溪間工－護岸工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1		増厚
2	設計時：袖部・堤底の十分な根入れ確保、コンクリート：耐久性の高いコンクリート混和剤投入、鋼製：重防食処理 改良時：堤体の増厚、嵩上げ等 鋼製→コンクリートによる被覆	腐食は必ず発生→治山施設の導入により、森林に復元させることが最善
3	材料の変更	
4	増厚や嵩上、基数の増、再施工。 護床工による渓床勾配の規制。	コンクリート以外の材料を使用する。 コンクリートの場合は腐食を考慮し、厚みに余裕を持たす。
5	構造的にどうこうではなく、設計時の想定・検討の問題。災害規模・形態の想定、位置、形状、製品の選定など。	腐食に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
6	地域により異なるが、豪雪地帯では融雪期の増水で計画勾配に対して予想以上の洗掘となるため、このような地域では安定勾配の考え方（安定渓床の2/3等）を修正する必要がある。	
7	増厚	
8	アンカーによる補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。

### (5) 溪間工－水制工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1		増厚
2	設計時：袖部・堤底の十分な根入れ確保、コンクリート：耐久性の高いコンクリート混和剤投入、 鋼製：重防食処理 改良時：堤体の増厚、嵩上げ等 鋼製→コンクリートによる被覆	腐食は必ず発生→治山施設の導入により、森林に復元させることが最善
3	増厚や嵩上、基数の増、再施工。 護床工による渓床勾配の規制。	コンクリート以外の材料を使用する。 コンクリートの場合は腐食を考慮し、厚みに余裕を持たす。
4	構造的にどうこうではなく、設計時の想定・検討の問題。災害規模・形態の想定、位置、形状、製品の選定など。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
5	アンカーによる補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。

### (6) 溪間工－流路工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1		増厚
2	設計時：袖部・堤底の十分な根入れ確保、コンクリート：耐久性の高いコンクリート混和剤投入、 鋼製：重防食処理 改良時：堤体の増厚、嵩上げ等 鋼製→コンクリートによる被覆	腐食は必ず発生→治山施設の導入により、森林に復元させることが最善
3	増厚や嵩上、基数の増、再施工。 護床工による渓床勾配の規制。	コンクリート以外の材料を使用する。 コンクリートの場合は腐食を考慮し、厚みに余裕を持たす。
4	構造的にどうこうではなく、設計時の想定・検討の問題。災害規模・形態の想定、位置、形状、製品の選定など。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようする。バッファゾーン的な区間を設ける。
5	増厚	
6	アンカーによる補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。

### (7) 山腹工－土留工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	鋼製→コンクリートによる被覆	
2	増厚や取り壊し。	増厚や取り壊し。材料を変える。
3	特になし。設計時の検討の問題かと思います。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようする。バッファゾーン的な区間を設ける。
4	水路工と併用する土留工は、最下流部の流末処理をしっかりしないと（おっ放し状態はダメ）増水時に洗掘を受ける。	
5	根継工の追加実施	
6	フレキシブルな構造	
7	アンカーによる補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。

### (8) 山腹工－水路工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	集水枠と水路の接続部（水が地中を潜って地表水は伏流し、被災するケース多い）→接続部の十分なモルタルの充填	
2	作り直す。材料を変える。	作り直す。材料を変える。
3	コンクリート製のU字フリュームは変形に弱く、継ぎ目での損壊・逸水が多い。よりフレキシブルな樹脂製の適用。しかし、高額となる。	亜鉛メッキも限界あり。耐風化性の強い樹脂製の適用。
4	特に変形事例が多いと思う。 フレキシブルな素材・構造のものを主流にする必要がある。縦断方向の場合、側部が洗掘される事例が多い。予め掘り込んで設置する、洗掘防止を設ける等の工夫が必要。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
5		ポリエチレン製の水路を使用する
6	フレキシブルな材料を使用する	
7	アンカーによる補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。
8	コルゲートフリューム切梁補強	ポリエチレン水路を使用

### (9) 山腹工－のり枠工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	鉄筋挿入工による補強。	法枠工以外の腐食を受けない軽量受圧板による補強。
2		ラスをメッキ量が多い製品に変えて提案した事例有り（海岸に近い現場）
3	鉄筋挿入工の併用	
4	ロックボルト、アンカー打設による補強	コンクリート表面をコーティングする。

### (10) 山腹工－吹付工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	モルタル吹付：ラス、水抜き孔の設置。この材料を設置していないケースあり。	
2	上からネットや軽量受圧板による補強土工の施工。	取り壊して腐食を受けない材料（軽量受圧板など）による補強。
3	モルタル吹付の場合、背面の湧水処理不足、経年劣化の問題が顕著。	
4	ロックボルト、アンカー打設による補強	酸性に強い植生を選定する。転炉スラグ等による下地処理を行う。

### (11) 山腹工一落石防止工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	落石防護柵背面に間伐材を設置→落石による衝撃を緩和	
2	腐食効果の高い材料に取り替える。 タフコーティッド（東京製綱）など。	腐食効果の高い材料に取り替える。 タフコーティッド（東京製綱）など。
3	豪雪域では、積雪で損壊しているものがある。= 積雪荷重を考慮した設計の適用→経年的な修復費を考慮すれば、トータルコストとして安価となる。	
4	ある程度破壊・変形・摩耗を許容するものが多い	
5	ロックボルト、アンカー打設による補強	部材に防食処理（ライニング等）を行う。

### (12) 地すべり対策工一地下水排除工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	高強度、耐腐食管の採用	高強度、耐腐食管の採用
2	作り直す。材料を変える。	作り直す。材料を変える。
3	コンクリート製のU字フリュームは変形に弱く、継ぎ目での損壊・逸水が多い。よりフレキシブルな樹脂製の適用。しかし、高額となる。	亜鉛メッキも限界あり。耐風化性の強い樹脂製の適用。
4	経年劣化とメンテナンスが課題と考えます。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
5	SGP管や波形ハイストローグ等、強度を有し、耐衝撃性に優れた集水管を選定する。	波形ハイストローグ等、VP管より耐浸食・耐酸性に優れた集水管を使用する。

### (13) 地すべり対策工一集水井工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	パーティカルやラテラルストラットによる補強。	環境にあった材料での補強。 コンクリート、ライナープレートのどちらが適正なのか判断が必要。
2	経年劣化とメンテナンスが課題と考えます。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
3	複数の井戸を連結させる場合、終点井戸には水位計を設置して湛水チェックが必要。融雪期に4~5m井内水位が上昇している例もあり。	
4	RCセグメント	RCセグメント
5	ラティラル、パーティカルによる補強	ライナープレートに防食処理（ライニング等）を行う。コンクリートセグメントを使用

(14) 地すべり対策工－排水トンネル工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	バーティカルやラテラルストラットによる補強。 ・ロックボルトによる補強。	環境にあった材料での補強。 ・コンクリート、ライナープレートのどちらが適正なのか判断が必要。
2	経年劣化とメンテナンスが課題と考えます。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
3	不動地への設置	
4	補強リングのピッチを狭くする。ロックボルトの打設。腹起し、切梁の設置	ライナープレートに防食処理（ライニング等）を行う。

(15) 地すべり対策工－排土工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	補強土工やアンカー工による補強。	腐食を受けない軽量受圧板の使用を検討する。
2		腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
3	安定勾配及び法面工の併用	
4	切土補強土工による法面の崩壊防止対策を行う	法面保護のため酸性に強い植生を選定する。転炉スラグ等による下地処理を行う。

(16) 地すべり対策工－押さえ盛土工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	軽量発砲スチロール等の使用	軽量発砲スチロール等の使用
2		腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
3	ジオテキスタイルによる盛土補強	法面保護のため酸性に強い植生を選定する。転炉スラグ等による下地処理を行う。

(17) 地すべり対策工－杭工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	増し打ち	杭材に腐食しろを見込む
2	地震動による影響を考慮した設計手法を確立する必要がある。	腐蝕に強い素材の製品を使用する。 直接強酸性土や酸性水に触れないようにする。バッファゾーン的な区間を設ける。
3	杭の増打ち	杭の周辺に薬液注入を行う。

(18) 地すべり対策工－アンカーエ

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	増し打ち	材料の変更して増し打ち。MN アンカーや FFU 受圧板など。
2	地震動による影響を考慮した設計手法を確立する必要がある。	
3		ステンレス、セラミック等の材質を使用
4	アンカーの増打ち	NM アンカー等、耐酸性材料を使用して増打ちする。

(19) 地すべり対策工－シャフト工

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	杭工やアンカーエによる補強の検討	材料の変更
2	地震動による影響を考慮した設計手法を確立する必要がある。	
3	杭工を併用した補強	杭の周辺に薬液注入を行う。

(20) 雪崩防止工－予防柵

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	古い施設の老朽化が進んでいると見受けられるが、斜面崩壊や落石対象の防災施設に比して、施設点検や健全性のデータベース化やカルテ作成の業務が少ないよう感じる。 =雪崩による被災事例が、落石等に比して少ないから？	
2	アンカー、ワイヤーによる補強を行う。ヤラズによる補強	部材に防食処理（ライニング等）を行う。

(21) 雪崩防止工－予防杭

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	アンカー、ワイヤーによる補強を行う。	部材に防食処理（ライニング等）を行う。

(22) 海岸防災林－海岸防災林

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	防潮堤・防潮護岸工を併用する。	塩害に強い樹種を使用する。

(23) 海岸防災林－防潮護岸工・防潮堤

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	増厚による補強を行う。	コンクリート表面をコーティングする。

(24) 海岸防災林－防止林

No	被災に強い改良方法	劣化に強い改良方法
1	適切な樹種の選定。雪崩防止柵を併用する。	適切な樹種の選定をする。

## 7.6 被災及び劣化に強い施設改良方法の考え方

表 7.6.1 治山施設の被災原因と改良方法に関する一般的な考え方

区分	内容
被災原因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・想定外の荷重（土石流、礫・流木の衝突、地すべり、地震、津波）</li> <li>・不安定な基礎地盤</li> <li>・砂礫の恒常的な流出</li> <li>・強酸性、高温環境</li> <li>・材料の品質（粗石コンクリート造など古い施設）</li> </ul>
改良計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・場の設定（設計荷重、基礎地盤、流下礫径、流木サイズ、腐食環境など）</li> <li>・施設材料の把握</li> </ul>
改良設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・（一般に摩耗には、）鉄材、ゴム、高強度コンクリート、石材、増厚</li> <li>・（一般に荷重には、）増厚、アンカー、杭</li> <li>・（一般に劣悪環境には、）増厚、富配合コンクリート、塗装</li> <li>・設計の工夫           <ul style="list-style-type: none"> <li>摩耗対策 一設計の時点で角部をなくしておく（施工は面倒）</li> <li>想定外外力 一設計手法の見直し、場の設定に沿った条件設定</li> <li>支持地盤 一支持地盤の調査（簡易な調査方法の確立）</li> </ul> </li> <li>・施工の工夫           <ul style="list-style-type: none"> <li>打ち継ぎ目位置（ダム袖部など）</li> <li>ダム袖上流に余盛りしておく</li> </ul> </li> <li>・維持管理の工夫           <ul style="list-style-type: none"> <li>補修しやすい構造</li> <li>管理道の設置</li> </ul> </li> </ul>

## 7.7 施設毎の変状項目及び改良方法

治山施設点検調査シートを元に施設毎の変状項目を以下に示す。

工種区分	施設	主な変状項目	改良方法
渓間工	えん堤工 谷止工 床固工	基礎部の洗掘・空洞化	十分な根入れと水叩き工の設置 根継工による洗掘防止
		放水路の破損	石張り構造、高強度コンクリートの部分使用、鉄板の使用
		袖部の破損・亀裂	増厚、打ち継ぎ目位置の変更
		堤体の亀裂・破損・破壊	増厚
		堤体の流出	良質な地盤への根入の確保
		堤体の傾倒	良質な地盤への根入の確保 洗掘防止策の採用
		堤体の変形	堤体構造の変更
		鋼材の破損	堤体構造の変更
	護岸工	基礎部の洗掘	十分な根入の確保
		躯体傾倒	十分な根入の確保 アンカーによる補強
		躯体変形	構造の変更
		躯体の破壊	十分な根入の確保 増厚
		躯体の流出	十分な根入の確保

工種区分	施設	主な変状項目	改良方法
山腹工	土留工	基礎部の洗掘・空洞化	十分な根入の確保、根継工の導入
		法線異常	
		軀体の変形	構造変更
		軀体の破損	増厚、構造変更
		背面の洗掘	
	水路工	法線曲り・ねじれ	材料・構造の変更、アンカーによる補強
		水路本体破損	材料・構造の変更
		基礎部洗掘	明暗きょ化、
		側部洗掘	
		集水マスとの接続部の漏水	接続部のモルタル補強
	法枠工	全体の下方移動	鉄筋挿入工の併用、アンカー工併用
		枠部材の切断	
		枠内吹付材の流出	鉄筋挿入工の併用
		ロックボルトの破損	鉄筋規格の見直し
		背面の空洞化	背面の湧水処理
	モルタル吹付工	モルタルの亀裂	ネットや軽量受圧板による補強
		モルタルの座屈	ネットや軽量受圧板による補強
		吹付内部の空洞化	背面の湧水処理
		吹付法面からの異常出水	背面の湧水処理

工種区分	施設	主な変状項目	改良方法
地すべり防止工	ボーリング暗渠工	目詰まり	保孔管の材質・開孔率の見直し
		保孔壁の破損	
		孔口（流末処理部）の破損	継ぎ目の強化・フレキシブル化
		集水マスの破損	マス構造の強化
	集水井工	本体の変形	RCセグメントの適用
		本体の途中深度での横ずれ	
		井内水位の異常上昇	
		排水口の異常	
		周辺地盤の異常	
	アンカーワーク	受圧板の変形・沈下	背面地盤の改良
		アンカーヘッドの異常	頭部構造の強化
		アンカーワークの破断	アンカーワーク・本数の見直し
	杭工	杭頭露出	施工位置・鋼材規格の見直し
		杭頭乱杭	施工位置・鋼材規格の見直し
		杭頭周辺地山亀裂	施工位置・鋼材規格の見直し

工種区分	施設	主な変状項目	改良方法
海岸構造物	防潮堤・防潮護岸	本体の傾倒	十分な根入の確保
		本体の沈下	十分な根入の確保
		底部洗掘	十分な根入の確保、根固ブロック追加
		表面の破壊	
		背面の吸い出し	
		根固ブロックの沈下・散乱	構造の見直し
	消波工・消波堤	本体の沈下	
		本体の変形	
		流失	
	突堤・根固工	本体の沈下	
		本体の変形	
		流失	
	海岸防災林	倒木	
		流出	

工種区分	施設	主な変状項目	改良方法
雪崩防止工	予防柵工 防護柵工	縦部材の異常	
		横部材の異常	
		基礎の変形	
		基礎の亀裂	
		基礎の根入異常	
	誘導工	盛土の異常	
		法面保護工の異常	
		補強土壁の異常	
		防雪柵の異常	
		排水路の異常	

## 8. 防災及び環境にマッチした治山施設配備計画

### 8.1 木製構造物を用いた治山施設の計画

(東京農工大学 石川 芳治)

治山施設は防災の目的で設置されるものであり、防災機能を十分に発揮するものでなければならない。その上で、周辺の環境に調和し、周辺の環境を保全する事が期待される。このため、施設の材料を従来のコンクリートから木材や自然石を用いる方法、自然石に似せた化粧型枠を用いる方法等がこれまで多く採られてきた。しかしながら、景観だけの対応では不十分であり、渓流における生態系への保全にも効果のある施設の計画・設置が必要とされている。このような点で最も要望が高いのは渓流における魚類の遡上や降下を阻害しないような治山施設の設置である。このために、通常は治山ダムに魚道を設置して、魚類の遡上、降下を阻害しないような方法がとられてきている。しかしながら、土砂流出の多い渓流に魚道を設置すると、魚道内に土砂や流木が堆積したり、濁筋の変化により魚道の出入口に水が流れないと現象が起こり、機能を十分に発揮できていない魚道も多い。このような魚道の欠点を克服する目的で新しいタイプの魚道が検討されており、治山ダムの下流の勾配を緩くした全断面魚道のような施設も計画・設置されてきている。このように魚道は長い間使用され検討されてきているが、いまだ発展段階にあり、より魚が登りやすく、維持管理が容易で、かつ防災機能も十分に発揮できる施設の開発が要望されている。

这样的ことから、常時流水があり、魚類が生息している渓流では、木製の小落差の（階段式）床固工により渓床や渓岸の侵食を防止する（従来のコンクリート床固工・治山ダムの代わりに）手法（図 8.1.1）を提案する。具体的には渓流における異常な土砂流出による災害を防止するための床固工について、階段式の小落差を採用することにより魚類の遡上や降下を容易にできるとともに、床固工の上下流の侵食も軽減でき洪水や土石流による損壊を防止できる。さらに、渓床の水が掛かる部分に木材を用いることで腐朽を抑制でき、耐久性も向上する。なお、腐朽し易い袖部・護岸部には木材保存材を加圧注入した高耐久処理木材（木材保存剤を加圧注入した木材）を用いる。さらに、通常の木製構造物の部材はボルトにより接合されているが、施工に手間がかかり、ボルトの費用もかかり工事費が高くなる。この欠点を克服するため、木材の切り欠きを用いて部材を接合する「校倉式」の接合方法を採用して、経費の削減を目指す。このようなハイブリッド治山構造物を開発して全国的に普及することにより山地災害が防止・軽減され、渓流や森林における生態系の保全に寄与し、木材の利用が促進され、コストも低減できると考えられる。なお、このハイブリッド治山構造物の開発に関する研究は平成24年度「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」に採択されて3カ年計画で研究を実施中である。

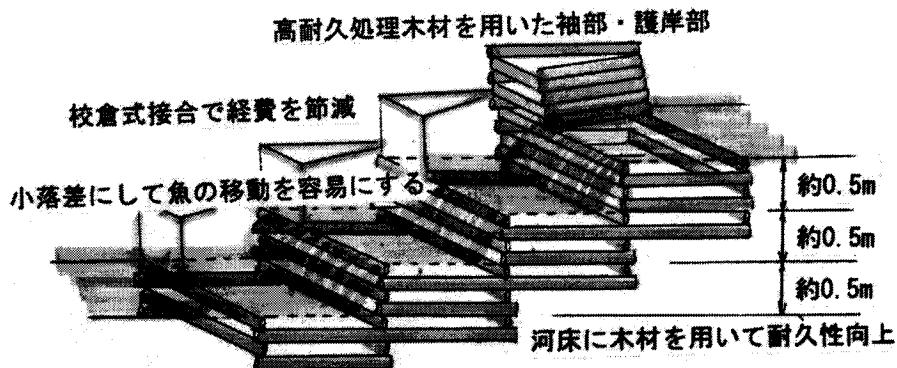


図 8.1.1 ハイブリッド治山構造物（階段式小落差床固工）の模式図

## 8.2 治山構造物への木材利用の促進

(静岡大学 土屋智)

### (1) 治山構造物の役割と木材利用の促進

治山事業は、森林の維持造成を図り荒廃した森林の復元を行うとともに森林が有する国土保全機能を発揮させ、国民の生命と財産をまもる目的がある。手段である構造物についても、同様な達成目的を含んでおり、森林環境の維持保全、景観保全とは対立するものではなく、基本的にその形成に寄与する性格を有している。しかしながら、具体的な構造物設置に際しては、渓床掘削や崩壊面の切取などの土地改変を伴うため、下流への土砂流出、切取法面の森林植生の消滅、裸地化等は避けられず、森林環境と景観にインパクトを与えることは否定できない。このため環境へ与える負荷を極力少なくし早急な自然復旧が期待できるような十分な配慮を必要とする。また治山構造物全般にわたり、周辺森林との景観的な違和感を生じさせない構造とその配置が考慮されなければならない。

内閣府が実施した「森林と生活に関する世論調査」によれば、森林に期待する機能として「CO<sub>2</sub>を吸収することによる地球温暖化防止に貢献する働き」が最も高く、次いで「山崩れや洪水などの災害を防止する働き」や「水資源を蓄える働き」など国民生活の安全や安心につながる機能への期待がづく。治山事業の実施にあっては、このような国民の期待を取り込むことが望ましく、これらは環境の維持保全、景観の保全とも相反するものではない。すなわち、森林資源を持続的に有効活用しつつ安全な国土と魅力ある環境を創造し、地球環境保全への貢献を期待できよう具体的な治山構造物を積極的に導入することが望ましいと考える。このためには、森林整備から生産される間伐材等の有効活用が欠かせない。

### (2) 治山構造物への木材利用の促進

国土の約70%を占める森林のうち約40%は人工林であるが、安価な輸入材に押され採算がとれないことに起因して間伐や除伐が進まず、防災面や生物多様性保全から望ましくない状態が生じている。このようなことから、国では森林・林業再生プランを策定し木材需給率のアップを目指した方策を進め、地方自治体でも独自課税による森林整備を推進してきている。人工林を対象にした森林管理、とりわけ間伐や除伐は喫緊の遂行すべき課題であろう。

治山事業が森林の維持造成を図り荒廃した森林の復元と森林による国土保全機能を発揮させることにあることを考えれば、積極的に木材利用を図ることが求められる。このためには、間伐材や風倒木を主に利用するのではなく、治山事業の現場に近い樹木を伐採し丸太材として利用することが考えられる。

現地調達になるので板材料として使うことはできないが、切り出した丸太を活用するものである。切り出した樹木を現地状況に応じたサイズに整え、例えば木材そのものによる治山構造物(堰堤工、土留工、木柵工等)を組み立て設置することも考えられる。



図 8.2.1 木材を用いた治山堰堤工の事例

### 8.2.1 間伐材等を利用した治山構造物の事例

「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が平成22年公布された。これにより、公共建築物では、国が率先して木材利用に取り組むとともに、地方公共団体や民間事業者にも主体的な取組を促して住宅など一般建築物への波及効果を含め、木材全体の需要を拡大することになった。静岡県では、平成18年に「しづおか木使い推進プラン」が策定され、公共土木事業で木材・木製品の利用を推進するため、森林局森林保全課では「木材・木製品を利用した事例集」を作成し公開している。<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-720/conservation/wooduse.html>。

#### ・治山堰堤工（図8.2.1）

図8.2.1に示す丸太残存型枠工は、コンクリート製治山堰堤の上流側の型枠に残存型枠として丸太を使用した。コンクリート打設後の脱型枠が不要となり施工の効率化と安全性の向上が期待できるものである。丸太には、林内で生産される間伐材の有効利用が可能である。

#### ・山腹工（図8.2.2）

図8.2.2には山腹工に木材を利用した事例を示した。丸太法枠工は、間伐材丸太と3種類のジョイント（L型ジョイント、T型ジョイント、+型ジョイント）を組み合わせる簡易な構造であり、施工性に優れるといった特徴がある。また、図8.2.2の下図に示した丸太積土留工は、台風時に発生した風倒木を土留工の構造体として有効活用し、コスト縮減が図られたものである。崩壊斜面が植生により被覆される約10年間程度の耐久性が期待でき、木材の腐朽後は樹木の肥料として自然循環されるため、環境にやさしい工法といえる。

#### 参考文献

平成14年度治山（復旧）坂本川2調査測量委託（静岡市口坂本（坂本川）地内）報告書、

静岡県中部農林事務所

平成21年度治山（奥地保安林）口坂本地区坂本川調査測量委託（静岡市口坂本（坂本川）地内）報告書、静岡県中部農林事務所

平成21年度県単治山（治山調査）白羽・佐倉測量設計業務委託（静岡県御前崎市白羽地内）報告書、静岡県中遠農林事務所

平成22年度「小塩地すべり」検討委員会報告書、中部森林管理局治山課

治山事業の木材利用（木材・木製品利用事例集）、静岡県交通基盤部森林局森林保全課  
<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-720/conservation/wooduse.html>

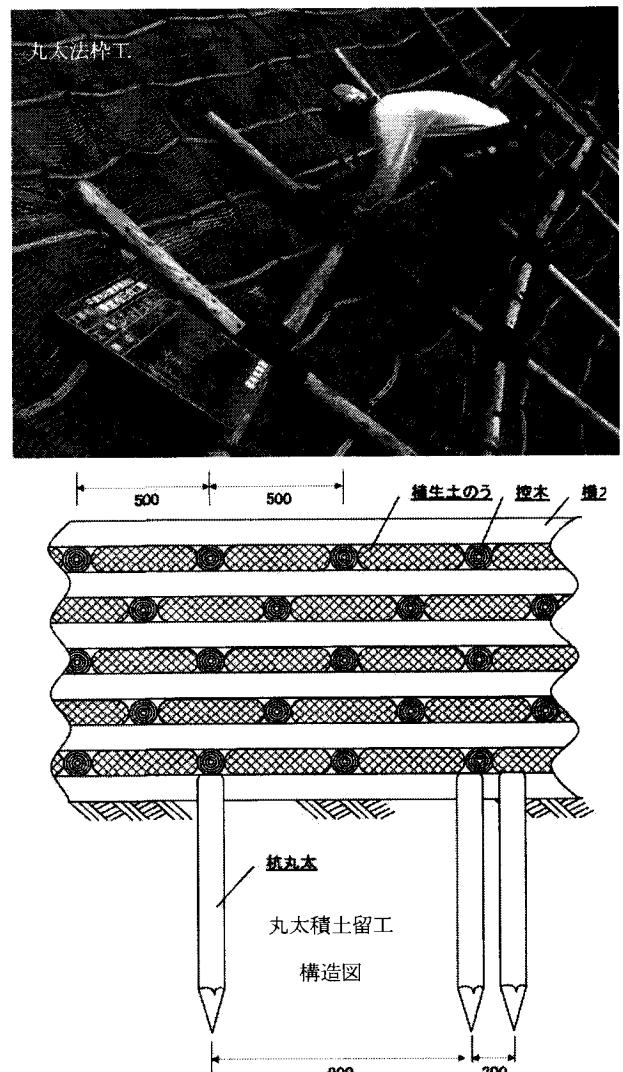


図8.2.2 木材を用いた山腹工の事例  
平成21年度治山（奥地保安林）口坂本地区坂本川調査測量委託（静岡市口坂本（坂本川）地内）報告書、

### 8.3 生態系への影響を最小限に抑えるための治山施設配備計画（新潟大学 川邊 洋）

「環境」という言葉には、いろいろな意味が込められている。「環境問題」が騒がれ始めた初期は、自然景観の中に人工構造物が存在すると、自然景観が台無しになるという理由から、何とか人工構造物を目立たなくする、自然景観の中に溶け込むようにする方策が考えられた。

人工構造物を設置せざるを得ない場合は、例えば、落石防止網の色を周囲の自然の色に似せたり、治山堰堤のコンクリートを剥き出しにせず、化粧型枠や間伐材で覆うことなどが行われている（図 8.3.1、本稿で掲載している写真はすべて、「新潟の治山」（新潟県農林水産部治山課、2010 年 3 月）からの引用である）。より自然な対策として、コンクリートに人為的に凹凸をつけ、コケなどの植生を自然に侵入させてコンクリートを覆う方法も考えられるのではないかという意見もある。

人工構造物を用いない場合は、山腹工などではその土地の樹木など自然の植生を取り込むことや、間伐材などの木材や自然石など、自然に存在するものを材料として用いることが行われている（図 8.3.2、図 8.3.3）。

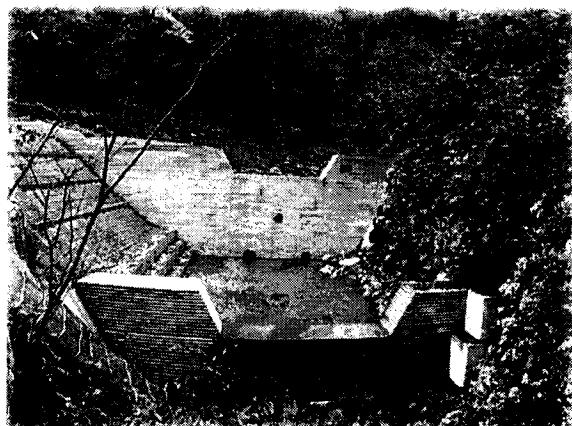


図 8.3.1 間伐材で被覆（村上市高根）



図 8.3.2 間伐材の利用（佐渡市東鵜島）



図 8.3.3 間伐材と自然石の利用（妙高市大字猪野山）

ところが、治山事業に関わる「環境」の意味は、時代と共に「生態系保全」あるいは「生物多様性保全」への配慮という、より本質的な内容を持つようになってきた。治山事業に「生態系保全」への

配慮が期待される、もっと正確に言えば、配慮すべきという外圧となって掛かってきたような状況にあり、「生態系保全」を考慮せざるを得ない時代になってきている。

しかし、治山事業は、砂防事業と違い、保安林行政の中で行われるものであり、「生態系保全」の外圧は、治山事業本来の目的・方法論に立ち返るよい機会になるとも考えられる。

治山事業には様々な種類があり、それぞれで環境保全対策が取られている。例えば、海岸構造物では、構造物での光の反射が魚に悪影響を及ぼす場合は、モルタル等にカーボンを混ぜて、光の反射を抑える工夫をしている。山腹工では、法枠工やモルタル吹付を止めて、元から生育している樹木そのまま治山施設として利用することが行われている。

以下では、治山堰堤や流路工、護岸などの溪間工に注目して、それらの施設の設置によって生ずる渓床の変化、その変化が生態系に及ぼす影響、その影響を最小限に抑えるための方策について、「渓流生態砂防学」(太田猛彦・高橋剛一郎(編)、東大出版会、1999)を参考にして整理する。

### 8.3.1 治山施設の設置によって生ずる渓床の変化

#### (1) 治山堰堤・床固工

- 土砂移動（土砂の侵食、運搬、堆積や斜面からの土砂供給）が生じにくくなり、渓床の中・小規模の攪乱頻度が低下する。
- 渓流の流量の減少や不安定化などが生じる。
- そのため、活発な土砂移動や安定した流量によって維持されてきた多孔質で多様性のある堆積構造が発達しなくなり、河床間隙水域の存在形態、瀬－淵構造、多様な砂礫堆などを含む表層微地形や水文環境などの形成に影響が現れる。

#### (2) 流路工・護岸工

- 渓床や流路の固定化が起こり、土砂移動や流路変動が起こりにくくなる。
- 乱流や縦・横侵食の防止を目的とした流路工や護岸の整備により、平常時の流水の平坦化、横断方向の陸域と水域の分断、渓床の攪乱頻度の低下が起こる。

### 8.3.2 渓床の変化が生態系に及ぼす影響

#### (1) 治山堰堤・床固工

- 渓畔林が受ける影響
  - ①渓畔林が広範囲に伐採され、自然度の高い渓畔林が孤立・分断化される。
  - ②治山施設の上流側や下流側の水辺植生に、水没・滞水・土砂堆積によるさまざまな影響が現れ、水辺に成立する森林群集にも種組成や構造に変化が現れる。
- 魚類が受ける影響
  - ①魚類の遡上が妨げられるため、堰堤上流部に隔離された魚類は、遺伝的に均質化する。特に階段状に設置された堰堤の場合、各堰堤間で生活するように強いられた魚類では、それぞれの堰堤間個体群ごとに遺伝的な交流を妨げられ、遺伝的多様性の喪失が一層強まる可能性がある。
  - ②渓畔林の伐採による渓流の水温上昇は、渓流に生息する生物、とくに冷水性渓流魚の生存に影響を与える。
  - ③渓床の中・小規模の攪乱頻度が低下するため、魚類の生息場所の多様性が失われる。

## (2) 流路工・護岸工

### ○渓畔林が受ける影響

①渓畔林の連続性喪失により、コリドーと呼ばれ地域の生物多様性が保全されない。

### ○水生昆虫などの底生動物群集が受ける影響

①陸上生態系と渓流生態系の連続性（相互作用）が断ち切られ、陸域からの土砂、地下水、倒木やリターなどの有機物、無機栄養塩の供給が妨げられ、また、渓流の増水・氾濫などによる陸域の攪乱が減少する。

### 8.3.3 生態系への影響を最小限に抑えるための方策

#### (1) 治山堰堤・床固工

生態系と調和した治山事業を推進するためには、個々の施設の工種・工法など技術的問題と流域を一體として捉えた治山施設配置計画の両面から検討しなければならないが、現状では前者に関する種々の工夫が試行錯誤的に行われている段階である。

生態系保全の原則として、①土砂移動すなわち攪乱による渓流地形や堆積構造が保たれること、②渓流の連続性を可能な限り確保すること、が挙げられる。土砂災害防止をある程度達成しつつ、上記①と②も考慮するためには、大規模土砂移動（大規模攪乱）を抑制しつつ、中小規模の土砂移動（中小規模攪乱）を許容する工夫である。

そのためには、渓流を分断する非透過型堰堤をできる限り排除し、これに代わる土砂コントロール方式の堰堤（鋼製堰堤などの透過型堰堤）を設置するのが、最も取り掛かりやすい対策である。このような型の堰堤を設置すれば、平常時には土砂石礫を通過させて上下流の連続性を保ち、出水時には土砂の流出をコントロールする機能が期待される。治山堰堤は通常、山脚固定、縦侵食防止、河床堆積物流出防止、土石流対策、流出土砂抑制・調節などの目的で施工されるが、山脚固定機能を除いては、必ずしも非透過型堰堤である必要はない。

なお、魚類や底生動物に対する対策として、治山堰堤にいろいろな型の魚道が併設される例が多くなってきているが、メンテナンスが十分になされていないため、有効に利用されていない例が多い。

#### (2) 流路工・護岸工

流路工で問題とされる河道の直線化と河川敷の減少については、基本方針として、堤防の設置を一律に決めない、渓床幅の変化や蛇行を許すことを前提に設計することで対処する。

護岸工については、堤防の中心に強力な根固めをした上で表面のコンクリート被覆をやめ、石や土を盛る、自然石等の凹凸を生かして、土砂を間詰めしたものを採用する、自然に馴染みやすい蛇籠やフトン籠を活用する（図 8.3.4）などの方策が考えられる。護岸に蛇籠のような隙間のある材質を使うと、その隙間が水生昆虫などの小動物や魚類の隠れ場所になる。

治山事業そのものの目的が土砂移動を抑制するところにあるため、元来生態系保全とは矛盾するものである。したがって、土砂災害防止と生態系保全は両立するものではない。二者択一ができないならば、それぞれの機能の一部を犠牲にして、ほどほどのところで折り合いをつけるしかない。可能な限り高いレベルでの折り合いを模索するためには、治山施設個々の技術上の問題だけに注目するのではなく、すなわち、構造物だけで土砂災害に対処する（同様に構造物だけで生態系保全に対処する）という考え方を捨てて、流域全体の治山計画という視点から考えなければならない時期にきている。



図 8.3.4 護岸に自然石を利用（南魚沼市大倉）

治山の概念を根本的に考え直し、治山本来の役割に立ち返れば、道は開けてくるかもしれない。同書の中で、鈴木・崎尾は下記のような提案を行っている。

- ①総合防災の視野に立って、流域の土地利用・管理計画を策定し、河川以外の周辺環境（特に森林）を保全・整備することで、土砂災害の危険性を軽減する（乱開発の禁止、破壊的な産業活動の制限など）。
- ②下流域の危険地帯における土地利用の制限、開発の禁止、災害回避のための移転。
- ③自然災害は避けがたいものととらえ、多少の被害は許容し、人的被害を最小限に留める予測と避難体制、災害後の復旧対策を準備し、補償制度を確立する。
- ④どうしても防災上、治山事業が必要な最小限の個所（甚大な被害が想定され、また治山工事でそれを回避できる）で治山施設をつくる（原文の「砂防」を「治山」に置き換えた）。

本章も前章の（1）と同様、新潟県農林水産部治山課の明田川晋課長補佐との話し合いや提供していただいた資料に示唆を受けた。明田川課長補佐ならびに治山課の皆様に感謝の意を表します。

## 9. 山腹・のり面緑化における自然生態系に配慮した手法の考え方一 自然回復緑化 一

(日本大学 阿部 和時)

### 9.1 はじめに

昭和30年代に始まった機械化施工によるのり面緑化工法（山腹緑化・道路のり面緑化を含む）は、社会の要請に応じて導入植物・工法ともども次第に高度化してきた。工法開発は、生育基盤の造成方法と耐侵食性の改善を中心的課題としてなされ、耐侵食性に優れ、厚い植物生育基盤を造成する厚層基材吹付工法へと収束し、切土岩盤部（無土壌岩石地）までものり面緑化工の対象とするに至った。また、導入植物の選定は、発芽・成長の速いトルフェスクに代表される外来草本類から、ヨモギ・メドハギなどの在来草本類、さらにはヤマハギ・コマツナギ・イタチハギなどのマメ科低木類へと変遷し、平面的な緑被から立体的な緑量の確保へと質の転換が図られていった。これらののり面緑化手法の変遷は、土木工事により出現する裸地のり面に対する安価な侵食防止工事として始まったものが、次第に環境・景観保全（修景）機能を要求されるに至り、開発・改善の手を加えられ今日に至ったものである。

1992年6月にブラジルのリオデジャネイロで開催された「地球サミット（国連環境開発会議）」にあわせ、同年5月に「生物多様性条約」が採択された。わが国は1993年5月に同条約を締結し、同条約にもとづく「生物多様性国家戦略」を1995年に策定した。このことにより、関係各省庁が同戦略に沿って生物多様性の保全に関する各種施策を実施することが求められるようになった。また、この地球サミットを受けて、わが国では、1993年に「環境基本法」が制定され、さらにこれを受けて1994年に旧建設省が策定した「環境政策大綱」では、建設行政において「環境」を内部化することを目標として環境施策の理念、推進方策、推進体制が示された。このようにしてわが国の建設行政も方向点検を求められ、開発跡地に対して自然の回復・復元を図ることを基本方針とすることとなった。これ以前ののり面緑化工においても理念として唱えられ、また個別に自然回復の技術的試行は行われてきたが、さらに具体性を帯びた問題として提示されることになった。

このように地球サミット以来、世界的な規模での世論の高まりの中で環境施策は推進され始めたわけであるが、緑化工の現場における設計・施工レベルでは環境施策理念を実現する具体的な緑化手法について統一見解が形成されないまま実施段階に突入した。その結果、事業・現場ごとに「自然」の捉え方が異なり、その場で形だけを整えるのが実体となっている。中にはイメージのみが先行し、実施不能の計画・設計が行われているケースも認められる。

このようなのり面緑化現場の実態に鑑み、侵食防止ばかりでなく、自然景観の修復や自然生態系の回復など社会的要望の強い多様な目標の実現を目指した「のり面の自然回復緑化（以下、自然回復緑化と称す）」のあり方について、日本緑化工学会斜面緑化研究部会が整理、取りまとめを行い、基本的な考え方を2004年に提案した。ここではその内容を紹介する。

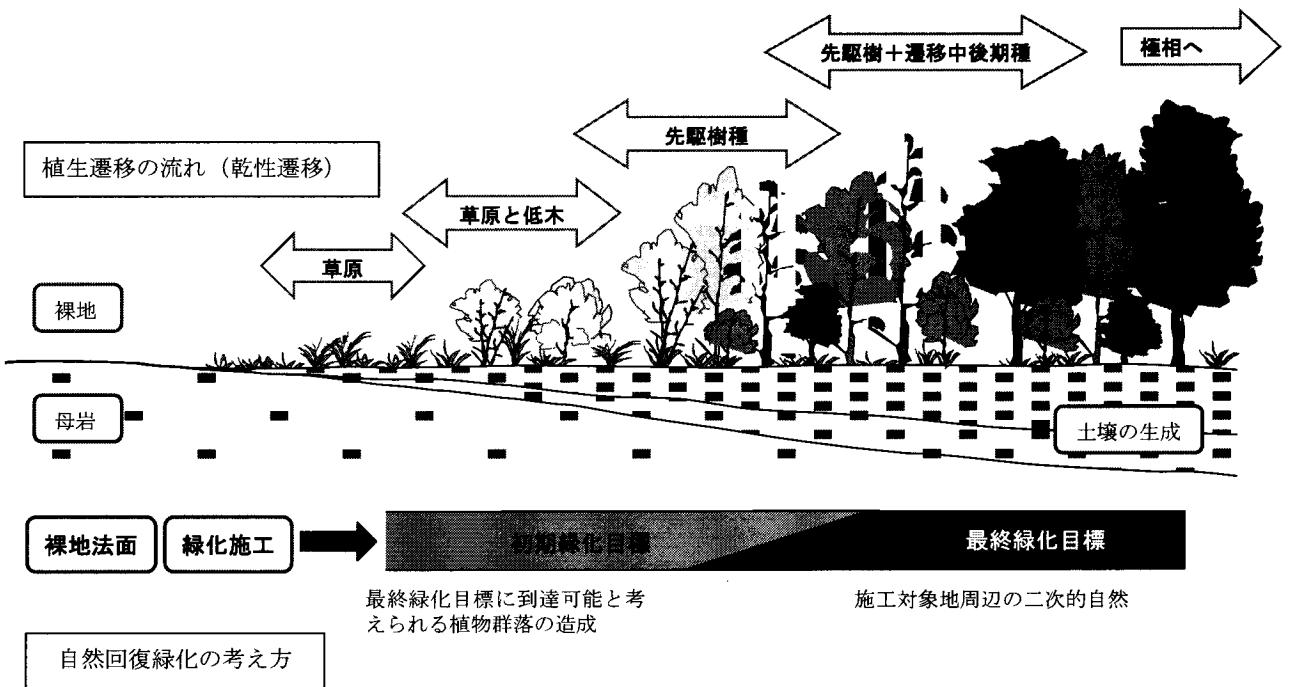
### 9.2 のり面における「自然回復緑化」とは

自然回復緑化と一口にいっても、各人の持つイメージは大きく異なる。そこには、「自然」という概念そのものが「原生の自然」から「二次林の自然」、「人為的に造成された緑地」に至るまで大きな幅を持っている上、自然という単語から受けるイメージは、何も手を加えずに放置するという意味合いも含んでいることに原因があると考えられる。

自然の回復を行おうとする場合の「自然」とは、自然公園など自然度の高い地域に残される「原生の自然」、「手つかずの自然」をイメージすることが一般的であろう。しかしながら、原生の自然が残された箇所は、原則として開発行為を慎むべき場所である。のり面緑化の対象となるのは、このような自然度の高い箇所は少なく、むしろ「二次林・人工林として利用されてきた森林=二次的自然」を対象とする場合が多いであろう。

本提案における自然回復緑化を行う場合の「自然」とは、施工対象地周辺の自然を指すものとし、土木工事等で造成されたのり面、あるいは崩壊した山腹斜面に対し、周辺の自然と調和のとれた植物群落（社会）・景観の回復・復元を図ることを「最終緑化目標」とし、それに到達可能な「初期緑化目標」を完成させる手法全体について解説を行った。図 9.2.1に、一般的な植生遷移の変遷と初期緑化目標および最終緑化目標の関係を示す。また、この手法全体とは、最終緑化目標を達成するための計画、設計、施工、管理の一連の流れを指す。

なお、開発行為により造成されるのり面が力学的に不安定で、崩壊や落石の危険性が高い場合には、擁壁工、アンカー工、のり枠工、落石防止工などの基礎工が緑化工に先立って行われることが基本である。このため、本提案で対象とするのり面は十分に安定した状態であることを前提としている。



### 9.3 本提案で使用する用語の定義

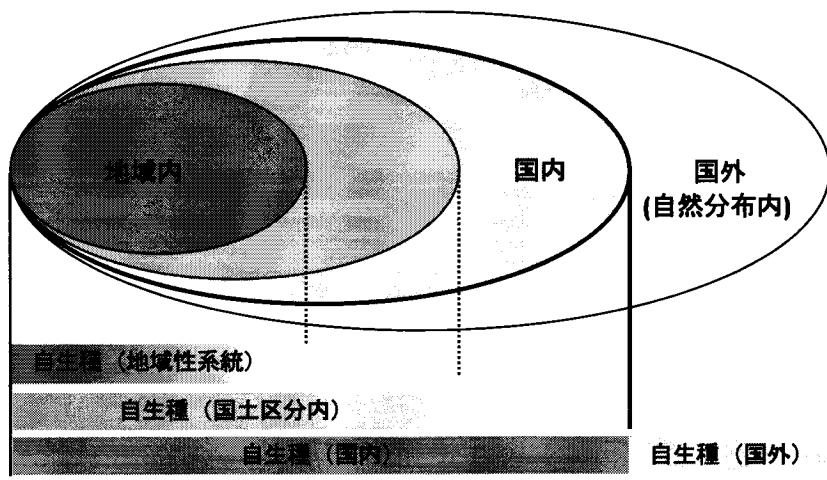
「種」の定義として、これまで一般に受け入れられてきたものは、「種とは互いに交配可能で、かつ他の集団と生殖的に隔離されている集団（個体群）を指す」というものである。国内・国外は問わない。多くの場合、ある種に属する個体群は同一の生理・生態、形態を持って他の個体群と区別される。しかし、植物の場合、これまで異種とされてきた個体群間で交配可能な場合が多々ある。中には、人間の介在（遠隔地への移動、人為的な交配など）によって強制的に生じることもある。一方で、同一種とされている個体群間で互いに交配は可能であっても、詳細にみれば生理・生態や形態が異なっているなど独自の遺伝情報をより多く共有する局所的な個体群に分けることもできる。また、その独自な遺伝情報を共有する局所的な個体群の分布範囲・境界は、種によって異なる。さらに、個体群には、共有する情報量が同一種レベルのものから、それ以上の共有情報を持つ局所的な集団レベルのものまで様々な段階、すなわち階層構造が認められることが知られている。

このことで、緑化で用いる植物材料に関する用語や、実際の植物材料の産地（素性）などに混乱を招いている。しかし、議論の終結を待つてのり面の自然回復緑化を行うわけにはいかないため、本提案では種の定義は一般に認知されている程度とする。このほか、本提案で用いる重要な用語の定義については下記のとおりとする。

#### (1) 自生種

日本緑化工学会の「生物多様性保全のための緑化植物の取り扱い方に関する提言」<sup>3)</sup>（以下、「提言」と称す）では、自生種とは「自然分布している範囲内に分布する種、亜種またはそれ以下の分類群を指す」としている。つまり、緑化を行う場合、当該地域に人為によらず古くから自生している種およびそれ以下の分類群をいう。しかし、一般には、自生種の「種」は種レベルと理解され、亜種やそれ以下の分類群まで含むと考えることは少ない。また、同一種であるからといって、種レベル以下の分類群（局所的な個体群）間の相違を無視することは、生物多様性を低下させる原因となりかねない。そこで、本提案では、種レベル以下の分類群（個体群）に階層構造があることを考慮に入れ、また現場での対応が可能となるように配慮し、暫定的に個体群の共通性の程度（自生地の範囲）によって自生種を次の4段階に区分する（図9.3.1）。同時に、この区分は自生種の植物材料の採取地・生産地にも対応する。

なお、自生種（地域性系統）と自生種（国土区分内）において、種レベル以下の分類群が分布する地理的範囲を明確に示すことは現時点では不可能である。このため、植物材料として自生種（地域性系統）または自生種（国土区分内）を用いる場合には、その採取範囲を下記に述べる事項を参考にして個別の事業ごとに設定する必要がある。また、使用する種子、さし穂、山引き苗（山取り苗）、育成苗などの植物材料はすべて採取地および生産地が明確なものでなければならない。



※地域内：市町村・流域・山塊・微気候等による区分内

図 9.3.1 自生種の採種地および生育地による区分（案）

#### ① 自生種（地域性系統）

先に取り上げた「提言」では、地域性系統とは「自生種のうち、ある地域の遺伝子プールを共有する系統。遺伝型とともに、形態や生理的特性などの表現型や生態的地位にも類似性・同一性が認められる集団を指す。」としている。そこで、本提案では、種レベル以下の分類群で最も狭い範囲内で共通の地域固有性を持つ局所的な自生種の個体群を「自生種（地域性系統）」と呼ぶ。地域固有性を持つ自生種の分布範囲は、種子の散布方法などの相違によって種ごとに異なるため一概に決めるることはできないが、流域や山塊、微気候などにより大まかには区分が可能である。先の「提言」では、「分布が連続する種にあっては、当面、都道府県より下位の地域レベルで、植物相の違いや自然保護の地域指定などを考慮して地域区分を行い、その範囲を地域性系統の移動許容範囲とすることが望ましい。」としている。

#### ② 自生種（国土区分内）

種レベル以下の分類群のうち、地域性系統よりも共通する遺伝情報は少ないが、地方程度の範囲において固有の共有情報を持つと判断できる自生種の個体群を「自生種（国土区分内）」と呼ぶ。地域性系統と同様に分布範囲を区切ることは困難であるが、環境省の「生物多様性保全のための地域区分（試案）」<sup>1)</sup>（図 9.3.2）などを参考にしていただきたい。

#### ③ 自生種（国内）

学術的な区分ではないが、国外を含めて広域的に自然分布する自生種のうち日本国内のみの個体群、および日本国内のみ自然分布する自生種の個体群を「自生種（国内）」と呼ぶ。なお、現場での対応を考慮し、便宜的に「自生種（国内）の植物材料」という場合は、狭い地域にしか自然分布しない自生種であっても、日本国内であれば当該地域以外に持ち出した母樹などから有性繁殖を経て採取・育成された植物材料も含める。

#### ④ 自生種（国外）

国外も含めて広域的に自然分布する自生種のうち国外の個体群を「自生種（国外）」と呼ぶ。なお、「自生種（国外）の植物材料」という場合は、国内のみに自然分布する種であっても、国内から国外に持ち出した母樹などから有性繁殖によって採取・育成された植物材料も含める。

## (2) 先駆樹種

遷移の初期にのり面等の裸地に侵入して定着する木本類を指す。先駆樹種は一般的に陽生であり、貧栄養条件や乾燥に対する耐性が高く、窒素固定能を有するものが多い。自然回復緑化で用いられる先駆樹種の代表例をあげると、ハンノキ類（ヤマハンノキ、ヤシャブシ等）、グミ類、カンバ類、ウルシ類（ヤマウルシ、ヌルデ、ヤマハゼ等）、アカメガシワ、クサギ、マツ類（アカマツ、クロマツ等）などがある。

## (3) 遷移中後期種

非先駆的な植物のこと、のり面周辺の二次林や植生遷移中期～後期（極相）を構成する植物を総称して指す。遷移中後期種は、先駆樹種主体の群落以降のステージにおいて周辺植生と同様な自然植生の構成に導くもので、主に重力・鳥散布、動物散布の木本類が該当する。

## (4) 移入種

自然分布範囲外の地域（生態系）に人為的に持ち込まれた種（亜種・品種などを含む）をいう。外来草本類もこれに含まれる。植物材料の呼称として用いる場合は、国外から持ち込まれた「国外（産）移入種」と、国内の他地域から持ち込まれた「国内（産）移入種」とに分ける。

## (5) 侵略種

移入種の中で、強い生存戦略を持ち在来種のニッチ（“生態的地位”）のことで、ある種がその個体群を維持することができる環境要因や食物などの生活資源の範囲を示す）を侵略し置き換わができる種をいう。自然植生・生態系は、無機的環境と生物、生物相互、および人為的擾乱などが有機的・総合的に関連し合いバランスの取れた状況となっている。このような平衡状態を崩し生物多様性を変化させ脅かすものを指す。

## (6) 目標群落の主構成種

初期緑化目標の設定における植物群落の主たる構成種をいう。「草本類」、「先駆樹種」、「遷移中後期種」の3つに類型化する。

## (7) 目標群落の外観によるタイプ

初期緑化目標の設定における目標達成時間や造成される緑化景観を考慮した外観的な目標のこと。「草原タイプ」、「低木林タイプ」、「中高木林タイプ」の3つに類型化する。

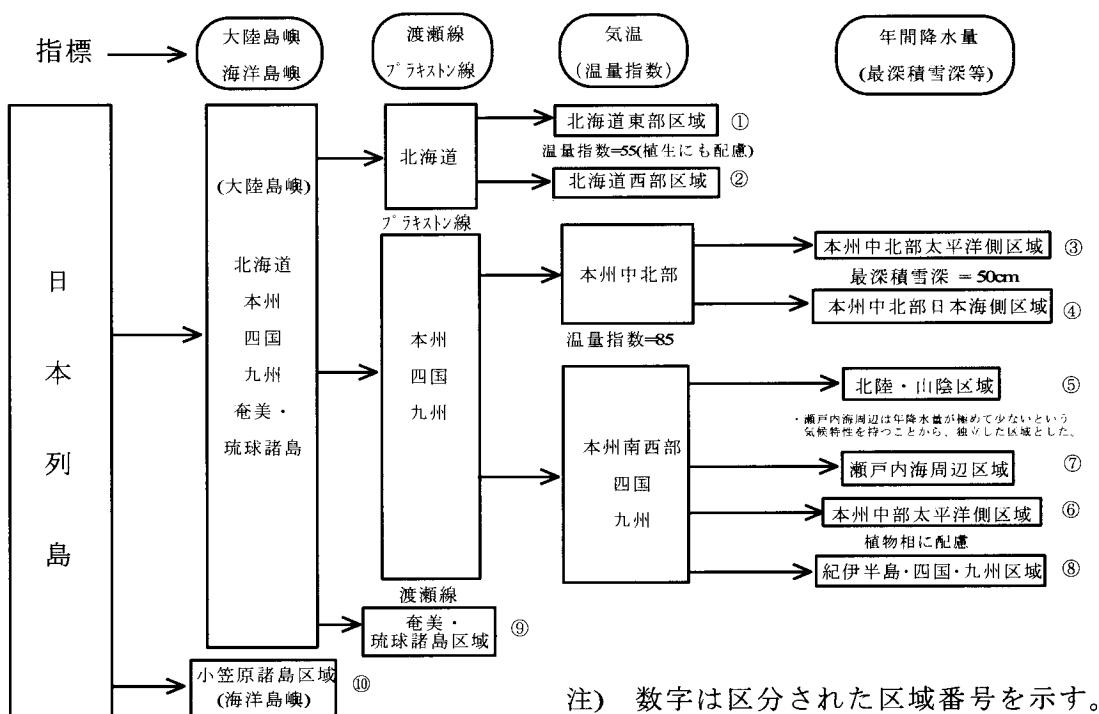
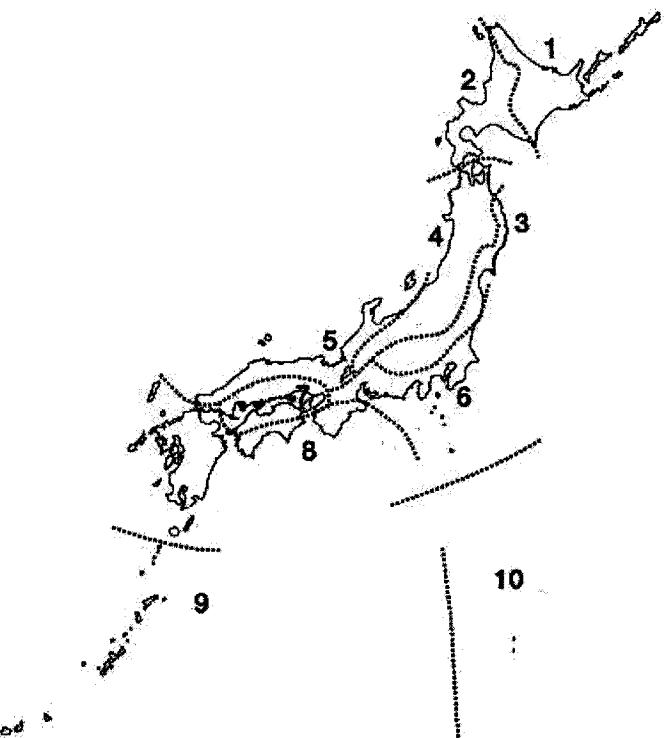


図 9.3.2 生物多様性保全のための地域区分（試案） [環境省]<sup>1)</sup>

## 9.4 自然回復緑化の目的

自然回復緑化に限らず、既往ののり面緑化工においても、その第一の目的は「裸地状態ののり面表層部分を保護して安定させること」である。自然回復緑化は、のり面保護を行いつつ周辺環境と調和のとれた植物群落を造成するもので、「自然生態系・生物多様性の回復」、「周辺既存植生の保全」、「景観的調和」を主要な目的としている。自然回復緑化を行うにあたり、「景観的調和」は他の3つの目的を満足した結果として得られるものである。

### (1) のり面表層部の保護・安定

開発行為により発生したのり面表層部の風化・侵食を防止し、荒廃面積の拡大を防ぎ長期的な安定を図る。

### (2) のり面における多様な自然生態系の回復

造成されたのり面の立地条件に適合した植物群落を造成し、多様な自然生態系の回復を図る。さらに、植物群落の造成により分断された生態系の連続性を再生する。

### (3) 周辺の既存植生と生物多様性の保全

のり面の造成により植物群落内に硬質で急勾配な裸地が生じ、植物群落の連続性が断たれたり、林縁部が降雨・降雪・風などの外圧を直接受けることになる。そこで、のり面に植物群落を造成し周辺の既存植生と生物多様性の保全を図る。

### (4) 景観的調和

のり面に造成する植物群落が周辺植生と景観的な連続性を保つようにして、全体的な景観の中で違和感を生じさせないように調和を図る。

## 9.5 自然回復緑化の流れ

自然回復緑化を行うためには、初期緑化目標を達成するだけでも、設定した緑化目標によって1~20年以上という長期間を要する。このため、自然回復緑化の実施にあたっては、長期的な見通しを持つことが重要である。また、生物多様性保全の観点から一般市場に流通していない狭い地域限定の系統を持つ自生種の植物材料を用いる場合は、実施に先立ち計画的に種子採取や苗木生産を行わなければならない。

また、自然回復緑化の計画にあたって、のり面安定・保護工、導入植物の選定・導入方法、植物生育基盤（ハビタット：生息地、生育場所、立地条件）の整備、モニタリング、植生誘導管理という一連の流れを有機的に連動・融合させ、かつ適宜フィードバックし見直しを行いながら進めることが大切である。

図9.5.1には自然回復緑化の計画段階から最終緑化目標群落の完成までに必要な事項を整理してその関連性を示した。自然回復緑化では、「計画段階の環境区分と初期緑化目標の設定」、「初期緑化目標を満足する設計、実施」、および「緑化目標に導くための管理」を3つの柱とし、これらを一貫した考え方のもとに進め、多様な植物生態系の回復を図っていく。

以下に、自然回復緑化を実施する場合の手順にしたがって各事項について解説する。

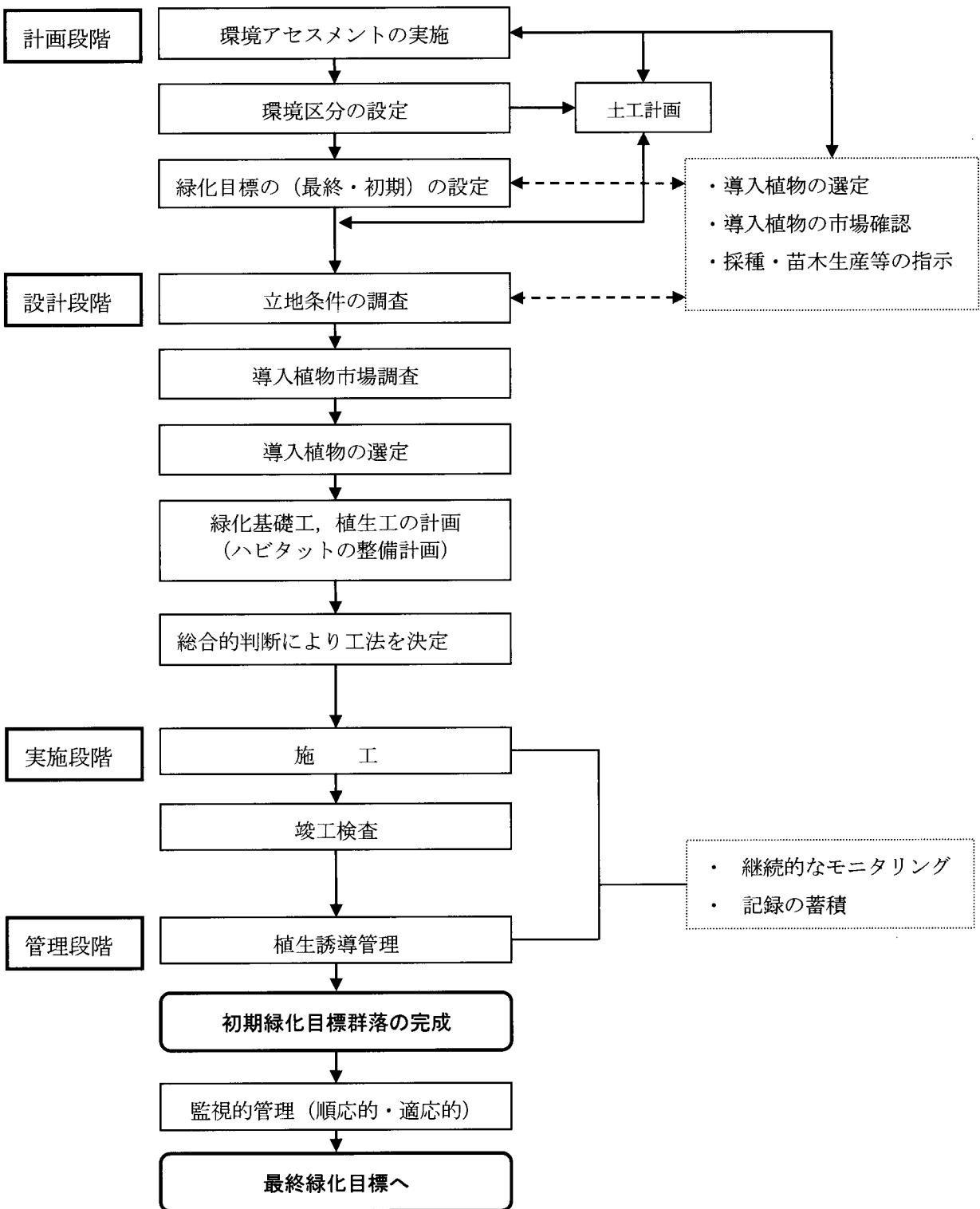


図 9.5.1 自然回復緑化の流れ

## 9.6 計画段階

### 9.6.1 環境アセスメントの実施

開発工事を行う場合は環境影響評価法に従って個別の事業ごとにスクリーニングを行い、環境アセスメントの対象事業に指定された場合には、その対象項目、ならびに調査・予測・評価の方法を選定するスコーピングがなされることになる。自然環境を保全するためには、開発行為自体の立地選定の段階で施工対象地周辺の環境特性を把握し、開発のあり方について十分な検討を行うことが求められる。自然回復緑化を行おうとする場合、生物多様性の確保と保全を図るための植物、動物、生態系、および人と自然とのふれあいの場としての景観に関する自然環境要素が重要となるが、これらに加えて立地条件や気象条件等が複合的に関係してくる。そのため、環境アセスメントにおいては、総合的な視点で調査、予測、評価を行い、現場に適するミティゲーション手法を検討する必要があることはもちろんのこと、事業が完成した後にもモニタリングを実施して次のアセスメントにフィードバックしていくことが求められる。

### 9.6.2 環境区分の設定

自然回復緑化における「環境区分」とは、施工対象地に残されている自然の状態を表す「植生自然度」<sup>1)</sup>や「自然公園法にもとづく国立公園内の地域区分」等を主な指標としてクラス分けするもので、各クラスに対応した緑化工事を検討する上で基本となるものである。1980 年に環境庁が設けた自然公園内のり面緑化基準<sup>2)</sup>等を参考にした。自然回復緑化を実施する際の対象地域の一例、初期緑化目標、導入植物、施工方法、植生管理などと環境区分との関連を表 9.6.1 に示す。本提案では、最も高度の自然が残されている地域を環境区分 1 とし、環境区分 4 までの 4 段階に区分する。

施工地では、表 9.6.1 の「対象地の一例」に該当する環境区分の初期緑化目標、導入植物を満足する施工方法、植生管理を実施するものとする。なお、施工地の環境要因、地域住民の要望、地域性を持つ植物材料などの供給形態、目標とする植物群落の回復に要する期間と経費的な面を考慮して、個々の事業ごとに環境区分を設定する必要があり、可能な限りより高い環境区分を設定することが望ましい。

#### (1) 環境区分 1

この地域は、学術上重要と認められ、厳重な保護を要する貴重種・重要種が生育し、極相林かそれに近い植物群落で構成されており、植生自然度では 9、10 に、自然公園では特別保護地区、第 1 種特別地域に相当する。環境区分 1 の地域は、原則的に開発行為を行ってはならない地域であり、何らかの理由によりのり面が造成されて緑化が必要となった場合は、地域性に対応した植物材料の入手とハビタットの整備について十分な配慮が必要となる。

「環境区分 1」で使用する植物材料は、自生種（地域性系統）から採取・生産されたもののみとし、自生種（国土区分内）レベル以下や移入種の植物材料の導入は避けることとする。植物材料の採取源は、都道府県より下位の市町村レベル、あるいは森林帯（群落特性）を同じくする同一河川の流域区内、大河川の場合は上・中・下流域程度に分けた区分内とすることが望ましく、採取地・生産地の明らかなものを使用する。このような種苗は一般に流通しない特殊なものであるため、開発に先立ち計画的に採取・生産を行う必要がある。また、必要に応じ埋土種子潜在表土の活用、植生誘導工の実施なども検討する。

「環境区分 1」に該当する地域は、一般に高寒冷地などの厳しい環境に立地する場合が多く、一度傷つけた植生の回復は困難である。また、植物材料のみならず、植物生育基盤材などハビタット整備に関する資材も他所からの持ち込みが禁止されている場合があり、特に地域性について考慮した総合

的な判断と計画が必要となる。

#### (2) 環境区分 2

この地域は、環境区分 1 と近接する自然林に近い二次林地域であり、植生自然度では 8 に、自然公園では第 2 種、第 3 種特別地域に相当する。「環境区分 2」の地域では、最終緑化目標として自生種（地域性系統）が優占する植物群落の回復を目標とするが、自然回復緑化の初期段階においては自生種（国土区分内）レベル、先駆樹種や短命な植物であれば自生種（国内）の範囲までの使用も許容する。ただし、このような箇所は「環境区分 1」地域に隣接する場合が多く、この場合は環境区分 1 地域への逸脱の危険性等がないことを確認しておく必要がある。

「環境区分 2」で使用できる植物材料の採取範囲は、環境省による「生物多様性保全のための地域区分（試案）」（図 9.3.2 参照）などを考慮して決定する。施工にあたっては、植物材料の採取・生産地が明らかなものを使用する。

#### (3) 環境区分 3

この地域は、人為の影響を強く受けた二次林・二次草原や人工造林地域にあたり、植生自然度では 6, 7 に、自然公園では普通地域に相当する。「環境区分 3」の地域では、可能な限り自生種（地域性系統、国土区分内、国内）の植物材料を利用するが望ましいが、自生種（国外）や外来草本類などの移入種の植物材料を使用することを許容する。ただし、この場合は環境区分 2 以上の地域への逸脱の危険性等について検討を行っておく必要があり、できる限り環境区分 2 と同様とするが望ましい。施工にあたっては、植物材料の採取・生産地が明らかなものを使用する。

#### (4) 環境区分 4

この地域は、市街地、農耕地、牧草地などすでに移入種が定着していたり人工的景観が多い地域にあたり、植生自然度では 1, 2, 3, 4, 5 に相当する。「環境区分 4」の地域では、自生種（国外）、移入種や外来草本類の植物材料の使用についても許容するが、できるだけ自生種（国内）レベル以下の植物材料を用いることが望ましい。施工にあたっては、植物材料の採取・生産地が明らかなものを使用する。

表 9.6.1 自然回復緑化のための環境区分と留意点（案）

環境区分	【環境区分1】	【環境区分2】	【環境区分3】	【環境区分4】
対象地域の一例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然公園の特別保護地区、第1種特別地域、あるいはそれに相当する地域</li> <li>・極相植物群落、あるいはそれに近い植物群落の地域</li> <li>・植生自然度が9、10相当の地域</li> <li>・貴重種・重要種の生育地域</li> <li>・学術上の観点から重要な認められる地域</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然公園の第2種、第3種特別地域、あるいはそれに相当する地域</li> <li>・自然林、あるいはそれに近い二次林地、二次草原</li> <li>・植生自然度が8相当の地域</li> <li>・環境区分1と接している地域</li> <li>・早急な復旧が求められる自然公園の大規模災害被災地</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然公園の普通地域、あるいはそれに相当する地域</li> <li>・二次林、二次草原、人工造林地</li> <li>・植生自然度が6、7相当の地域</li> <li>・人為的擾乱を大きく受ける自然林地域</li> <li>・早急な復旧が求められる自然公園以外の大規模災害被災地</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市街地、農耕地、牧草地</li> <li>・人工的景観造成が求められる地域</li> <li>・植生自然度が1～5相当の地域</li> <li>・侵食防止を目的とする場合</li> </ul>
初期緑化目標	<p>【自生種（地域性系統）のみによる自然回復】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・5～20年で自生種（地域性系統）のみの植物群落を造成・回復する。</li> <li>・自然回復に時間を要しても許容する。</li> </ul>	<p>【自生種（地域性系統～国土区分内）を主体とする自然回復】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・5～10年で自生種（地域性系統～国土区分内）が主体の植物群落を造成・回復する。</li> </ul>	<p>【自生種（地域性系統～国内）を主体とする自然回復】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3～5年で自生種（地域性系統～国内）が主体の植物群落を造成・回復する。</li> </ul>	<p>【自生種や移入種による景観の回復】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1～3年で良好な景観造成が可能な植物群落を造成・回復する。</li> </ul>
導入植物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該地域の自生種（地域性系統）の植物材料のみを用いる。</li> <li>・採取地は、施工対象地の市町村レベルの自治体区分、もしくは森林帯を同じくする同一河川の流域区分内とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該地域の自生種（地域性系統）の植物材料を用いることが望ましいが、特別な制約がない場合は自生種（国土区分内）の植物材料を用いてよい。</li> <li>・先駆樹種や短命な植物の植物材料は自生種（国内）の範囲までであれば用いてよいが、環境区分1地域への逸脱の危険性等がないことを確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該地域の自生種（地域性系統～国土区分内）の植物材料を用いることが望ましいが、特別な制約がない場合は自生種（国内）の植物材料までの範囲で用いてよい。</li> <li>・場所により、自生種（国外）、移入種（外来草本等）を用いてよいが、環境区分1～2地域への逸脱の危険性等がないことを確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自生種（国内）までの範囲の植物材料を用いることが望ましいが、特別な制約がない場合は自生種（国外）、移入種の植物材料を用いてよい。</li> </ul>
	<p>・種子・さし穂・苗木（山引き苗・育成苗）など、植物材料の採取地・生産地（育成地）が明確なものを用いる。</p>			
施工方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・植物材料の生産計画を立案する。</li> <li>・植物材料の生産が困難な場合は植生誘導工や埋土種子混在表土の利用を検討する。</li> <li>・使用材料については、周辺環境や生態系等に与える影響を事前に評価・検討する。</li> <li>・ある程度施工や管理のコストがかかっても質を重視する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・植物材料の入手計画を立案する。</li> <li>・植物材料の入手が困難な場合は植生誘導工や埋土種子混在表土の利用を検討する。</li> <li>・河川やダム湖周辺等では、当該地域の自生種（地域性系統～国内）以外が下流域へ逸脱しないよう留意する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川やダム湖周辺等では、当該地域の自生種（地域性系統～国内）以外が下流域へ逸脱しないよう留意する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川やダム湖周辺等では、当該地域の自生種（地域性系統～国内）以外が下流域へ逸脱しないよう留意する。</li> </ul>
植生管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検査後も初期緑化目標を達成させるまで定期的にモニタリングを実施・記録する。</li> <li>・モニタリングをもとに、評価・予測を行う。</li> <li>・評価・予測にもとづき、誘導管理手法を検討し実施する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工後2年間程度モニタリングを実施し、初期緑化目標の達成状況を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緑化目標と相違する植物群落に推移した場合は、早急に誘導管理手法を検討し実施する。</li> <li>・上記の場合は、その後に行う周辺の緑化対策について再検討する。</li> </ul>	

### 9.6.3 初期緑化目標の設定

#### (1) 初期緑化目標設定の考え方

わが国の温暖多雨という気象条件下では、特殊な立地条件の箇所を除き、自然植生は最終的には森林へと遷移する。しかし、自然と同じ状態の植物群落を人為的な手段により早急に造成することは困難である。自然回復緑化の役割は、対象とする面植生を最終緑化目標にできるだけ確実に速やかに到達させるため、自然の治癒力である植生遷移の軌道上に乗せるきっかけづくりをいかに行うかということである。このきっかけとして当初造成する植物群落が「初期緑化目標」である。すなわち、初期緑化目標では、最終的に自然回復を期待する周辺植物群落に推移する可能性の高い目標群落の主構成種とその外観によるタイプを設定する。

初期緑化目標の設定にあたっては、立地条件、コスト（造成・モニタリング・植生誘導管理の程度）、入手可能な植物材料、初期緑化目標達成までに費やせる時間などの諸要因を総合的に考慮し、個々の事業ごとに定めることが必要となる。初期緑化目標の設定は、導入植物の選定と植物の生育場所としてのハビタットの造成・整備の前提となるものであり、十分な検討を行うことが必要となる。初期緑化目標とする群落を、できるだけ速やかに最終緑化目標に到達させるためには、自然の治癒力である植生遷移系列上のどのステージを初期緑化目標に設定するかにより最終緑化目標に到達する時間は大きく異なる。

#### (2) 目標群落の主構成種と外観によるタイプ

本提案では、個々の事業ごとに定めるべき初期緑化目標として、植物群落の質的目標を「目標群落の主構成種」で表し、草本類、先駆樹種、遷移中後期種の3つに類型化する。また、初期緑化目標達成までの時間や造成される緑化景観を考慮した景観的目標を「目標群落の外観によるタイプ」で表し、草原タイプ、低木林タイプ、中高木林タイプの3つに類型化する。つまり、初期緑化目標は、目標群落の主構成種と目標群落の外観によるタイプの組み合わせにより示すこととする。自然回復のための初期緑化目標（案）を表9.6.2に、目標群落の主構成種で区分した各群落の留意点を以下に記す。

表 9.6.2 自然回復のための初期緑化目標（案）

目標群落の主構成	目標群落の外観による
草本類	草原タイプ
先駆樹種	低木林タイプ 中高木林タイプ
遷移中後期種	低木林タイプ 中高木林タイプ

##### (i) 草本類主体の群落

初期緑化目標群落の主構成種を草本類とするもので、目標群落の外観によるタイプは、平面的な草原状の景観が造成されることから「草原タイプ」のみとなる。

「草本類主体の群落」は、周辺からの木本植物の自然侵入が期待でき、草原状の群落を造成しても速やかに植生遷移が進行すると判断できる場合であり、木本類が侵入定着するまでの先駆的な群落を造成するという位置づけとして選定される。早急に木本類による植生回復を要求されないような箇所、

風化土層が厚く形成されても防災上問題がない箇所などに対して適用する。

最終緑化目標として森林への植生遷移を期待する場合には、風散布種子や鳥散布種子の定着による先駆樹種の植生回復を効率的に行うことが重要となる。これらの定着を促すためには、種子の供給源となる森林がのり面に近接して存在していることが前提となり、鳥散布種子の定着を促すためには、止まり木や食餌木となる低木類の点在が必要となる。

また、高寒冷地や風衝地形など自然度の高い地域では、高山植物群落や風衝地草原の復元が要求される場合も考えられる。このような箇所は立地条件が厳しく植物材料の入手も容易でなく、技術的には未確立な問題も残されており、初期緑化目標達成までの期間や経費を予測することが難しい。基本的にこのような立地条件下では、のり面が形成されるような土木工事は避けるべきである。

## (ii) 先駆樹種主体の群落

初期緑化目標群落の主構成種を「先駆樹種」とするもので、目標群落の外観によるタイプには、樹高2~3m程度のブッシュ状となる「低木林タイプ」と、それより樹高が高くなる樹種を含んだ「中高木林タイプ」の2タイプに分けることができる。

「先駆樹種」は、早期に先駆的な木本群落を造成して鳥類などの小動物の生息環境を整え、鳥散布種子により早い植生遷移の進行を図る場合などに主構成種として選定する。また、のり面防災上の観点からは、風化土層が発達する部位などに木本類を定着させ、根系による土壤緊縛力によってのり面保護効果の向上を図りたい場合、草本植物群落の成立後に木本類の速やかな侵入が期待できない場合、すなわちのり面周辺に種子の供給源が期待できない場合などに選定する。

また、「低木林タイプ」は、地山が硬質で勾配が急な場合、節理間隔が大きい場合など、植物の生育が制約を受ける場合に適用する。一方、「中高木林タイプ」は、低木林タイプを選定する場合よりものり面勾配が緩く、節理間隔、地山の風化度合いなどの立地条件が良好な場合などに適用する。

「低木林タイプ」は最も適用されるケースが多く、低木を主体とする先駆的な木本群落を造成した後、低木林のまま群落を維持する特殊な場合を除き、植生遷移により中高木林への推移を期待するものである。低木を主体とする群落は、比較的短期間で鳥類の生息空間として利用することが確かめられており、積極的に食餌木などを導入して鳥散布種子による植生の回復を図ることが望ましい。

目標群落の外観によるタイプを選定する場合の留意点として、切土のり面のような硬質基盤では、高木性樹木に分類されるような種でも樹高は低く抑えられることが知られている。したがって、目標群落のタイプは、「低木性樹木」、「中木性樹木」、「高木性樹木」のような生育適地での最大樹高による区分のみによって選定することなく、施工対象となるのり面の立地条件や気象条件などに応じて選定することが重要である。

また、従来多用してきたヤマハギ、イタチハギ、コマツナギなどのマメ科低木類主体の群落も低木林タイプの一種であるが、高密度に成立させると短期間で樹冠がうつ閉された植物群落が造成され、植生遷移を停滞させる場合があるので、できるだけ多くの種類の植物を用いるとともに、成立密度を疎とすることが重要なポイントとなる。この点は、マメ科低木類だけでなく、種間競争に強い植物（例えば、カンバ・ハンノキ類やヤマハゼ・ヌルデなど）を用いる場合でも同様の注意が必要である。

特に、播種工の場合は、使用植物に応じた適切な種子配合設計を行うことが必要となる。木本類を用いた植生回復を行う場合は、施工当初導入植物が定着しても成長が緩慢なために遠景では裸地状に見え、施工から1~3年程度は疎な植生の状態のまま推移することが多いことから、裸地状の景観が持続することを許容する必要がある。この場合、耐侵食性に優れた植物生育基盤を造成することが基本となる。

### (iii) 遷移中後期種主体の群落

初期緑化目標群落の主構成種を「遷移中後期種」とするもので、目標群落のタイプは、先駆樹種主体の群落と同様に「低木林タイプ」と、それより樹高が高くなる「中高木林タイプ」の2つに分けることができる。

「遷移中後期種」は、先駆的な木本群落を造成した場合よりもさらに植生遷移を短縮したい場合、早期に周辺植生と景観的に調和する植物群落を造成して環境保全を図る場合、短期間で周辺の自然林からドングリ類など重力散布種子の自然侵入が期待できない長大のり面に対し、ナラ類やシイ・カシ類などを含む植生の回復を行おうとする場合などに主構成種として選定する。この場合、遷移中後期種を先駆樹種と混生させることにより、遷移中後期種の生育環境の改善、周辺植生との景観的調和、植生遷移の促進などを図ることができる。

先駆樹種と同様に立地条件などに応じて施工対象地に適する目標群落のタイプを選定する。留意点は「先駆樹種主体の群落」と同様である。

### (3) 初期緑化目標の組み合わせによる切土のり面の緑化計画例

初期緑化目標に応じた切土計画がなされている場合は、のり面全面を同一な初期緑化目標とすることはできるが、急勾配で計画された切土のり面に対し自然回復緑化を計画する場合には、のり面勾配や部位によりのり面をゾーニングして、初期緑化目標を組み合わせることによって自然回復を促進することができる。

例えば、地山が硬質のため急勾配となるのり面下段部には「草本類を主構成種とする草原タイプ」を、風化が進み比較的軟質となるのり面上部、および表土が形成されやすいのり肩部には「遷移中後期種を主構成種とする中高木林タイプ」を、のり面中央部には「先駆樹種を主構成種とする低木林タイプ」を組み合わせてゾーニングすることにより、のり尻よりのり面上部に向かうにつれて樹高が連続的に変化して周辺植生である森林と連続性のある植生群落を形成することができる（図9.6.1）。

このようなゾーニングにより、のり面上部・周辺部は比較的軟質なため導入樹木の成長が速く、マント・ソデ群落としての機能を付与することができ、周辺植生の保全機能としても優れたものになる。また、のり面中央部を比較的疎な低木林とすると風散布・鳥散布種子の定着が容易となり、多様性に富む植生の早期回復が期待できる。

初期緑化目標を適宜組み合わせることにより、ひとつののり面に対しのり面部位や地山の状況に応じた植生の回復を行うことが可能となる。いずれの初期緑化目標を選定するにせよ、導入植生が単純な構造の一斉林や過密な群落とならないよう、できるだけ多様な植物が適正な密度で混生する植物群落を形成させる必要がある。

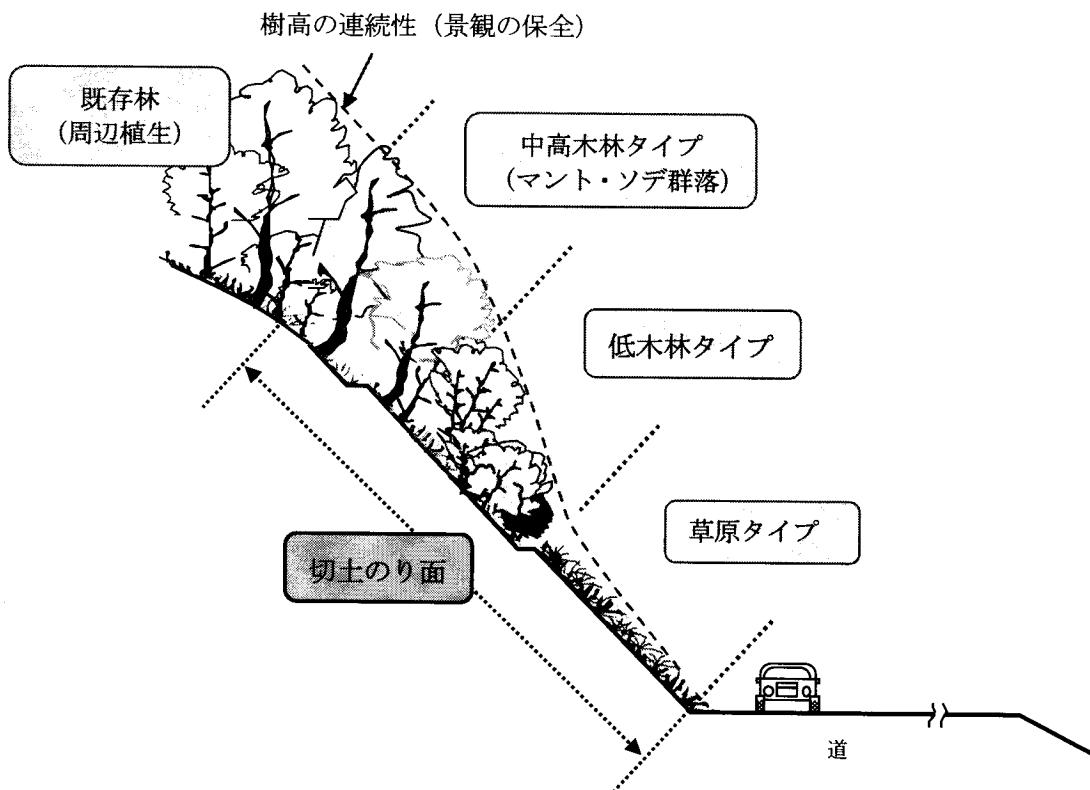


図 9.6.1 緑化目標の外観によるタイプの組み合わせ例

## 9.7 設計段階

### 9.7.1 土工計画立案への関与

従来の計画・設計では、のり面緑化に先立ち土工計画が独自に行われてきた。自然回復緑化の主目的である生物多様性を考慮した自然生態系の回復を図るために、目標とする植物が生育可能なハビタットの整備が重要な問題となる。そのためには、緑化工に関する専門的知識を持つ技術者が土工計画段階から参画する必要がある。

土工計画では、計画段階で設定された緑化目標を達成させるために、植物導入、自然回復を考慮して切土勾配などの立地条件を設定することが求められ、あわせて初期緑化目標とする植物群落の造成・誘導方法や初期緑化目標が達成できるまでの時間などを含めた総合的な検討が必要となる。計画段階で設定された緑化目標の達成が困難であると判断される場合には、土工計画そのものの見直しを行うことも必要となる。

実際の自然回復緑化では、計画段階で自然回復を考慮した土工計画を立案するケースと、従来的一般的な設定手法による土工計画を行った後に、造成されたのり面に対して自然回復緑化を検討するケースの2つが想定される。前者の場合は、生物多様性を考慮した自然生態系の回復を視野に入れた計画がなされているため、立地条件的に比較的高度な自然回復緑化を行うことが可能となる。これに対し、後者の場合は、立地条件が植物の生育にとって厳しい場合が多く、自然回復に至るまでに多くの時間がかかるとなる。

例えば、周辺環境が森林であり、初期緑化目標として同様な植物群落の造成を設定し、比較的短期間でその目標を達成しようとした場合、一般にのり面は急勾配に計画されることが多く、結果的に目

標群落の造成が困難となることが多い。このような場合は、切土勾配を緩やかにするなどの土工計画の見直しが必要となる。また、のり尻部を擁壁構造とすることによってのり面造成面積を減少させる手法、または切土を全面的に見直して橋梁やトンネルとする手法など、土工量やのり面の造成面積を低減させる手法を用い、自然の改変量そのものを小さくするなどの総合的な検討も必要となる。

#### 9.7.2 立地条件の詳細調査

計画段階に設定した初期・最終緑化目標を達成させるために立地条件に関する詳細な調査を行い、使用植物やハビタット造成に関する資料を収集し設計に反映させることが重要となる。

これまで多用されてきた外来草本類やマメ科低木類などの緑化植物は発芽が均一で初期成長が速く、立地条件に対する適用性の幅が広いため、のり面を急速に緑化・被覆し侵食防止を図るには都合の良いものであった。しかし、自然生態系を回復したり生物多様性を保全するために用いる地域固有の系統を持った自生種は一般的に発芽のバラツキが大きく、初期成長が遅く、立地条件を選ぶなど、のり面緑化に用いるには扱いにくい性質を持つものが多い。このため、立地環境、微地形・微気象、地質、土壤硬度、地盤状況、水分環境など植物の生育に関わる立地条件の調査を行い、これらの特徴を総合的に把握することが大切である。

#### 9.7.3 導入植物の市場調査

自生種（地域性系統）を導入する場合は、計画段階においてその植物材料の調達計画を立案し、採種や育苗などを計画的に行わないと施工時に植物材料の供給が間に合わなくなる。

自生種（国土区分内）を導入する場合は、自生種（地域性系統）よりも広い地域から植物材料入手できるので、設計段階で植物材料の市場調査を行う。自生種（国土区分内）は自生種（地域性系統）と異なり、植物材料が若干は採取・生産されているもののその量は少ないので、初期緑化目標を達成させることができる種類、および数量に関する市場性について調査を行い、入手可能な導入植物を選定して設計の際の検討資料とする。必要とする種類・量の入手が困難な場合は採種や育苗などを行うことが必要となる。

導入植物の市場調査は、実施段階で植物材料の調達困難を理由とする緑化目標や使用植物の安易な変更を防止する上で非常に重要な事項である。前もって採種・育苗等の計画を立案、実行することにより、実施段階において混乱が生じないように万全を期す必要がある。

従来の緑化工では、その主たる目的が侵食防止などののり面保護にあったので、侵食防止効果を有する代替種への変更は容易であり、特に大きな混乱は生じなかった。しかし、自然回復緑化を行う場合は、施工段階における安易な使用植物の変更は基本となる初期・最終緑化目標の見直しにつながるため、慎重な対応が求められる。

#### 9.7.4 導入植物選定上の留意点

自然回復緑化を実施する上で考慮しなければならない問題の1つは、導入する植物の選定である。先に述べた環境区分に対応する導入可能な植物材料を表9.7.1に示す。

導入植物は、計画段階に決定された初期緑化目標を達成することが可能な種類を選定する。これには、計画段階における詳細調査が重要であり、その結果にもとづき、設計段階で導入植物の組み合わせや成立密度などに関する検討を行う。

初期緑化目標の達成時間を長期に設定できる場合は、発芽・成長に時間のかかる自生種（地域性系

統) の導入や、無播種で植物生育基盤を造成し、周辺植生からの自然侵入を待ち受ける植生誘導工などの適用も可能となるなど、緑化目標に応じたゆとりある自然回復手法が実施できる。初期緑化目標を比較的短期間で達成しなければならない場合は、のり面等のやせ地でも生育可能な先駆樹種を活用し、必要に応じて遷移中後期種を併用し、初期緑化目標の達成を確実なものとすることが必要となる。

なお、自生種(地域性系統)はこれまで導入植物としてほとんど利用されていないため、発芽特性、生育特性、立地に対する要求度などのデータが十分整備されておらず、導入植物として使用した場合は確実性の点で劣る場合が考えられる。この点を十分に考慮した上で自生種(地域性系統)の選定・導入を行うことが必要である。この課題を解決するには、緑化事業、調査・研究の関係者すべてが必要なデータの収集と整備に協力し合うことが重要である。

表 9.7.1 環境区分に対応する導入可能な植物材料(案)

導入植物の分類 *1	自生種			移入種	
	地域性系統	国土区分内	国内	国外	国内・国外
環境区分 * 1 2 3 4	1	◎	—	—	—
	2	◎	◎	△	—
	3	◎	◎	◎	△
	4	◎	◎	◎	○
市場性	なし 採取計画	ほとんどな し	一部市販 市場調査	一部市販 市場調査	一般流通

凡例 ◎:導入に適する ○:導入可能 △:場合によって可能 —:導入不可

\*1 実際には、事業ごとに環境区分とそれに対応する導入可能な植物材料の検討が必要。

\*2 実際には、事業ごとに自生種(地域性系統)および自生種(国土区分内)の環境区分の検討が必要。

### 9.7.5 緑化基礎工・植生工の設計(ハビタットの整備)

従来、のり面緑化工では、実施設計段階で緑化目標を決定し、導入植物の選定がなされていたが、導入植物として自生種(地域性系統)を用いるケースなど、より地域固有の系統を持つ植物を導入するには、計画段階で初期緑化目標を設定するとともに、設定した初期目標群落を達成させができる植物生育基盤の造成方法について見通しを立て、設計段階で具体的な緑化工法の選定を行う必要がある。

緑化基礎工・植生工の設計は、造成されたのり面に新たなハビタットの造成を図る観点が必要であり、緑化目標に応じた導入植物の選定を行い、その達成時間を考慮した上で播種工・植栽工などの導入形態・方法を選定し、それに合わせた植物生育基盤の検討を行う。

植物の定着・成長は立地条件に対する植物の反応であり、両者のバランスについて考慮することが大切である。適正なハビタットの造成、すなわち植物生育基盤の質・量(厚さ)が導入植物の生育条件と合致していれば速やかに成長し、低い水準であれば成長は劣り、生存の限界を下回ると枯死する。植物生育基盤の量(厚さ)は、初期緑化目標や植物の導入形態により異なり、種子や小苗は比較的薄くても導入できるが、大苗・成木を植栽する場合には厚い植物生育基盤の造成が必要となる。したがって、初期緑化目標に示された植物群落や目標達成時間によって、植物生育基盤の質・量を決定しなくてはならない。

また、自生種(地域性系統)の導入では、地域性を重視して植物材料の入手範囲を狭めるほど入手

できる種類、量ともに減少する。したがって、山取り苗の移植、さし木、埋幹・埋根、埋土種子潜在表土の利用など、従来の播種・植栽に加えて、現地で対応可能な手段をできるだけ検討することが重要である。地域の植物材料を生かす手段を検討することで、自然回復緑化が可能になる。

さらに、植生誘導工の適用も選択肢の一つとなる。これは、植物生育基盤の整備のみを行い、周辺から風により飛来する種子や鳥などにより運ばれる種子の定着・成長を期待するものである。ハビタット造成のための緑化基礎工や植生工の選定は、植物材料の選定と合わせて、総合的な観点から工法の選定を行うことが必要となる。

これまでの自然回復のイメージは、潜在自然植生など遷移の最終ステージに出現する遷移後期種(極相種)による森林の回復を目標とする場合が多かった。特に、急勾配かつ硬質な立地条件の切土のり面に対して、深い土壤の造成を要求する潜在自然植生や気候的極相を構成する植物を導入することは必ずしも好ましいものとはいえない。急勾配な立地に対して極相種が優占する植物群落を早期に回復することは、膨大な量の客土とこれを恒久的に安定させる補助工を伴うことなくして実現することは困難なためである。

## 9.8 実施段階

### 9.8.1 施工

施工は、設計図書・仕様書などにもとづいて入念に行わなくてはならない。特に自然回復緑化を行う場合には、緑化工の目的が緑化目標に設定した植物群落を造成するためのハビタットの整備であるということを念頭に置き、生き物である植物を材料として用いていることに留意して施工する必要がある。

導入植物に対する材料検査は施工対象地の環境区分にかかわらず入念に行うことが求められる。種子は、採取地および採取時期が明らかなものを使用し、発芽率などについて検査を行う。また、苗木は、苗木の生産地および生産方法(苗木生産のための種子やさし穂など繁殖材料の種類とその採取地、育成した場所などの素性)が明らかなものを使用し、根系状態、樹勢などを検査する。このほか、直ざし用のさし穂や根株、地下茎など植物材料の多くは、長期間放置しておくと乾燥などにより枯損しやすくなるため、迅速な搬入検査と施工が大切である。

また、容易に溶脱してしまう肥料を多量に使用することは、周辺植生へ影響を与えたりや河川・湖沼への流入による富栄養化の原因となるおそれもあるので、特に即効性の肥料を用いる場合には、周辺環境や生態系に与える影響を事前に評価・検討する必要がある。ただし、現在のところ統一的な評価手法は見当たらないので適宜に判断しなければならない。

### 9.8.2 竣工検査

竣工検査は、設計仕様・図書に基づいて適正な施工を実施し、成果品を納入したことを確認するために実施する。一般的の土木工事の場合、完成したときが最も機能を発揮するものであり、長さ・量・強度などの数字により管理される。しかし、自然回復緑化は、自然を回復するための「きっかけづくり」であることから、施工完了後、長期間をかけて機能が向上し、目標とする植物群落が実現されてゆく。このため、自然条件の中で自然回復させるための条件整備、すなわちハビタットが造成されていることを確認する観点から検査を行うことになる。したがって、竣工検査では一般土工と同様に設計仕様にもとづいた出来形について検査がなされる。初期緑化目標を低木林タイプ・中高木林タイプとする場合は、疎な植生状態とすることが自然回復を図る上で重要であり、検査時に疎な植生であつ

ても安易な再施工を命じてはならない。

検査後は、のり面植生管理段階におけるモニタリング（追跡調査）による監視が重要で、施工後の導入植物の活着・生育状況はできるだけ長期にわたって行い、その結果をフィードバックし、初期緑化目標を達成させるために必要となる植生誘導管理を行う。

## 9.9 管理段階

### 9.9.1 管理の種類

本提案では、施工後の管理段階として「植生誘導管理」と「監視的管理（順応的・適応的管理）」の2段階に区分した。つまり、初期緑化目標へ誘導するという明確な目標を持って行う植生誘導管理と、初期緑化目標を達成した後の、ハビタットの持つポテンシャルにしたがった自然の治癒力による植生回復を見守るという監視的管理（順応的・適応的管理）である。いずれも、モニタリングによって、植生や生育基盤状況を把握した上で管理方法を検討する。

また、植生管理を行った結果についての情報は一元的に管理し、データの蓄積を図り、統一的なモニタリング方法・植生誘導管理工のマニュアルを作成する必要がある。このようなマニュアルの作成により、同様な立地条件に対する自然回復緑化を効率的に行うことが可能となる。

### 9.9.2 植生誘導管理

植生誘導管理はモニタリングによって得られた結果をもとに、初期緑化目標とする植物群落へ速やかに移行することが困難と判断される場合に実施される。成立する植物が不足する場合にはそれを補い、クズなど強い被圧力をもつた植物などが侵入した場合や、単一な植生となっている場合はこれを取り除くなどの手当てが必要となる。この場合に注意を要するのは、周辺植生からの侵入植物を周辺植生からの侵入植物の定着を促して育成する姿勢で対処することである。導入した植物群落がうつ閉した状態となると、その後の周辺植生からの侵入植物の定着が阻害されることになるため、景観面のみの判断は慎まなければならない。最終緑化目標とする群落形成に必要な侵入植物を優先的に生育させる対応が必要である。

### 9.9.3 監視的管理（順応的・適応的管理）

初期緑化目標を達成した後は、できるだけ手を加えずに自然の推移に任せ、自然の治癒力である植生遷移にゆだねることが大切となる。この場合、ただ放置するのではなく、適切なモニタリングを実施し、想定した最終緑化目標に推移しているか否かについての確認と、設計時に想定した植生の変化が妥当であったか否のチェックが必要となる。

中・長期的な自然回復が、設計時に想定した最終緑化目標へとどこおりなく移行する場合は問題ないが、自然の変化は多様で複雑、かつ制御不能な自然条件の中での変化であり、必ずしも想定した状況へ順調に推移するとは限らない。このような場合、当初想定した最終目標へ強引に誘導するのではなく、そのハビタットの持つポテンシャルに応じた最終緑化目標の見直しを行いつつモニタリング・管理を続けることが必要である。

## 9.10 おわりに

これまで実施された自然回復を目的とした緑化事業の中には、学問的・技術的な観点からのアプローチ・分析を十分に行うことなく、現状で入手可能な資材・工法の組み合わせで実効性や経済性を優先した事例が多かった。これには、地域固有の系統を持った植物材料の供給体制が整備されておらず、コスト縮減により自然回復緑化に適した手法を選択できなかつたことなどが原因になっていると考えられる。また、のり面の自然回復に携る行政部局、法面緑化の計画・設計者、現場での事業施工者の間に、意識的・能力的なギャップが存在することも原因であろう。

このような自然回復緑化を取りまく現状を考慮するとともに、自然生態系の修復や生物多様性の保全にまで配慮した自然回復緑化を可能にするための一案として、「のり面における自然回復緑化の基本的な考え方の提案」がなされた。しかし、現在でも自然回復緑化の普及は順調に進んでいるとはいえない。しかし、自然回復緑化を実践していくためには、地域固有の系統を持った自生種に関する発芽特性、生育特性、立地要求度などのデータの整備、植物材料の市場形成、モニタリングや植生管理手法の確立をはじめとする多くの課題が残されている。自然回復緑化を普及させていくための仕組みが、まだまだ整っていないのが現状である。これらの課題をひとつひとつ解決していくことで、自然回復緑化の考え方も、実際の現場における技術も進歩していくものと考えている。

### 引用文献

- 1)環境省編 (2002) 新生物多様性国家戦略－自然の保全と再生のための基本計画－, pp.20-23, 63-67.
- 2)倉田益二郎他 (1980) 自然公園における法面緑化基準, (社) 道路緑化保全協会, pp.102
- 3)日本綠化工学会 (2002) 生物多様性保全のための緑化植物の取り扱いに方に関する提言, 日本綠化工学会誌, 27(3) : 481-491.

## 10. 過去の災害資料の保存と活用

### 10.1 山地災害データの収集と活用

(日本大学 阿部和時)

#### 10.1.1 はじめに

治山事業には様々な事業があるが、いずれの事業でも科学的根拠、あるいは経験的根拠等を基にして事業が実施されている。例えば、山地災害危険地区調査要領は過去の山地災害データをもとに統計的にデータ解析を行い調査要領が定められている。危険地区調査の分野にとどまらず、この種のデータを活用できる分野は多数存在する。前述した重力式コンクリート治山ダムの設計外力に関してもこのデータが活用できる。

しかし、既に設けられている調査要領でも、科学的な解析レベルの向上や新たなデータの収集が進めば、調査要領等も当然改訂されるべきであろう。特に、治山分野においては毎年種々のタイプの崩壊、地すべり、土石流、風害、雪害、津波災害、施設灾害等々が発生しており、これらの現象をデータとして収集して今後の事業に役立てることを怠ってはならないであろう。

#### 10.1.2 データ収集方法

山地災害データ収集にあたっては、治山事業で行われている林地荒廃防止施設災害復旧事業、林地荒廃防止施設災害関連事業、災害関連緊急治山事業等の災害復旧等事業、及び復旧治山事業、防災対策総合治山、治山激甚災害対策特別緊急事業等の治山事業に係る事業計画（全体計画）調査、その他上記に準じて行われた調査によって得られたデータを用いることとして、この山地災害データ収集のための調査を行う必要はなく、災害調査等で未確認の事項については回答を求めるなどの配慮が必要であろう。

この山地災害データ収集は、国有林野内直轄治山事業及び民有林直轄治山事業（いずれも災害復旧等事業を含む）により調査が実施される場合には森林管理(分)局治山課に、補助治山事業（災害復旧等事業を含む）により調査が実施される場合には都道府県治山担当部局にそれぞれ依頼することになると思われる。したがって、この調査の主体は林野庁にお願いすることになるであろう。

山地災害データには、設問Ⅰとして事業計画区域全体に関するもの、設問Ⅱとして区域内にある崩壊が発生した個々の斜面、崩壊土砂が流出した渓流に関するものが考えられる。

設問Ⅰの主な調査項目は、災害発生地、発生時刻、誘因、降雨状況、震度、荒廃山地面積、荒廃箇所数、荒廃密度、設問Ⅱの主な調査項目は山地災害危険地等の把握の有無、崩壊の位置、斜面形状、斜面方位・傾斜、崩壊規模、崩壊の形状、地質、表層土の層厚、標高、既設対策工、植生状態、土砂の流出・堆積状況、流入角、渓床幅、渓床勾配、流出範囲、土砂移動の停止の要因、既設対策工、流域面積、堆積土砂等である。また、参考資料として平面図・縦断図の添付を依頼してもらいたい。

この調査は短期間で終わらないよう、継続的に実施することが重要である。長期間実施することで様々な情報が得られ、データとしての価値が向上することになる。

#### 10.1.3 山地災害データの活用

収集されたデータはインターネットを通して、広く一般に公表することが望ましいと考えている。大学や研究所、コンサルタント等では収集できない貴重なデータであるので公表することにより各分野の研究者がこのデータを活用して種々の課題解決に取り組んでくれることが期待できる。

収集される災害写真からは、災害状況、施設の被災状況および復旧工事の状況などが概観できなければならぬ。災害写真事例集を編纂発行するためには、どのような写真を、どのような形で編纂すればより有効か、考えなければならないことが多い。次のような事項にも工夫が必要である。

- ・データベース化し、いろいろな面から検索できる電子媒体にすべきである。
- ・多様な原因、多様な形態の災害を集めることが必要である。その上で、検索方法に工夫を加えるとすれば、やはり電子媒体が適当ではないかと思われる。
- ・選考基準を設けないと膨大な量になる。いくつかの代表的な災害に限定して収集するか、あるいは現場担当者が注目すべきと考える事例を広く収集するか。
- ・官学民から出されている報告書からの収集と、国や都道府県の職員へのアンケートを併用する。

上記のようなことを考慮し、編纂にかける手間や経費を考えると、災害写真集は本当に利用価値のあるものなのか、「単なる災害写真集」で終わらないか、危惧されるところではある。

災害写真集より、災害資料の収集（それが不可能な場合は、資料名と保管場所を記録）を通じて、誘因別・災害別・規模別に検索可能なデータ集を作り、データベース化する方が有効と思われる。

過去の災害資料の保存と活用について、本章では最近検討した事例について簡単に紹介する。災害資料の保存という面からは、より詳細な資料作成ということが一見必要とされるかのように認識されるかもしれないが、2種類の災害資料を用いた事例について示す。

#### 10.3.1 2004年三重県大台町（旧宮川村）で発生した災害について

図 10.3.1は2004年台風21号によって宮川上流域において発生した崩壊地の分布状況を示したものである。本台風によって三重県大台町（旧宮川村）では死者6名、行方不明者1名の人的被害が発生している。

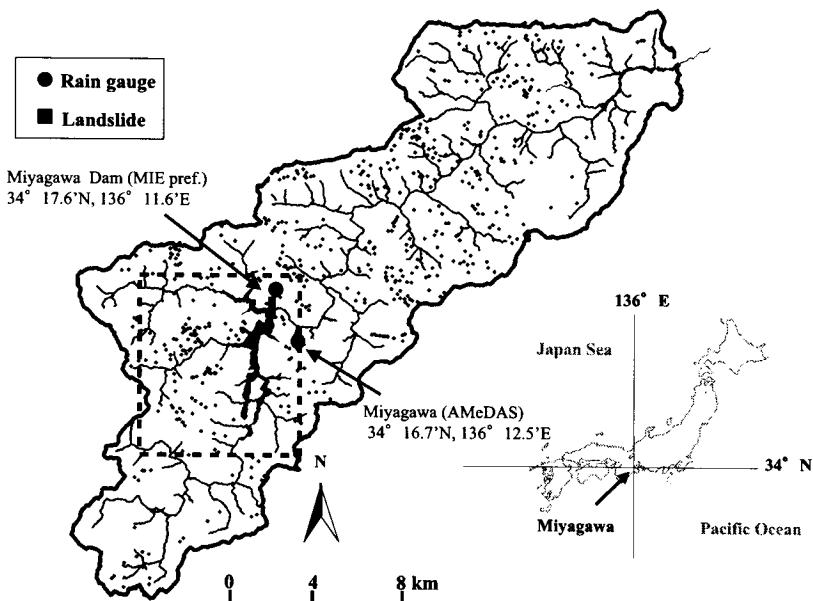


図 10.3.1 2004年台風21号によって宮川上流域で発生した崩壊地分布

図10.3.2に2004年の6月から10月までの同地域における降雨状況を示すが、台風21号によってのみ災害が発生しており、それ以外の豪雨イベントでは発生していない。

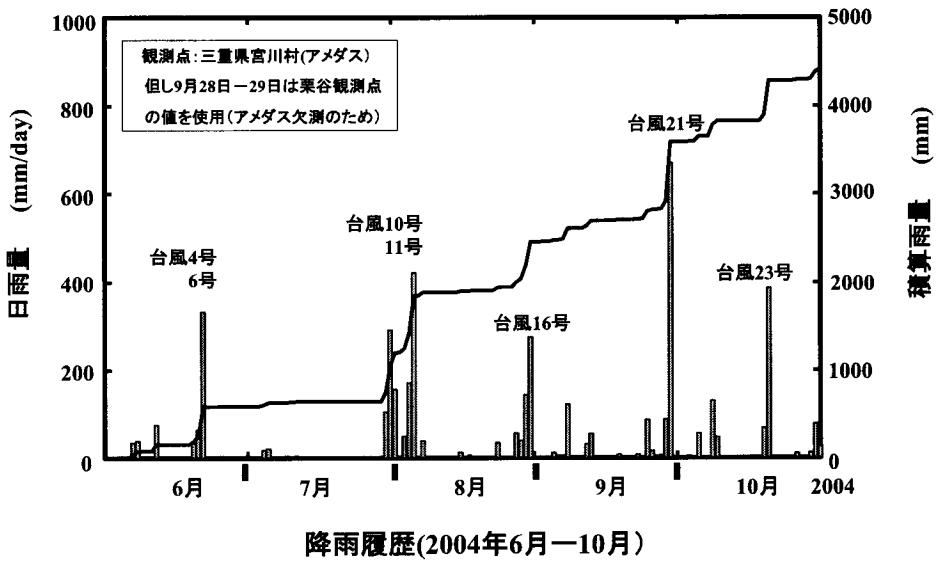


図 10.3.2 2004年6月-10月までの宮川流域における降雨状況

このことを説明するために、地形要素および土質強度要素を取り込んだ分布型モデルを用いて検討した。モデルの詳細についてはここでは省略するが、土質強度要素の一つである土の粘着力を変化させたときの各イベントに対する応答特性を、図 10.3.3に示す。

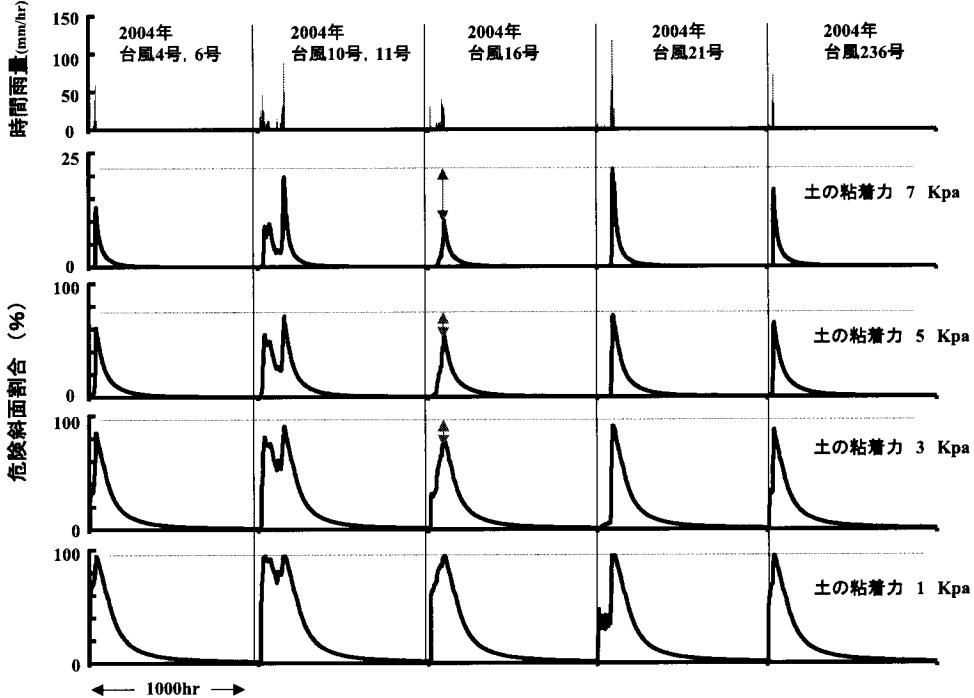


図 10.3.3 各台風による粘着力の違いによる危険斜面割合の経時変化

図 10.3.3より、粘着力の値が大きくなるに従って、台風毎の危険斜面割合の差が明瞭になる傾向にあることが判る。図 10.3.4には、台風 21 号による土の粘着力が 7.5kPa の条件での危険斜面割合の経時変化と、1 時間あたりの変化率を示している。

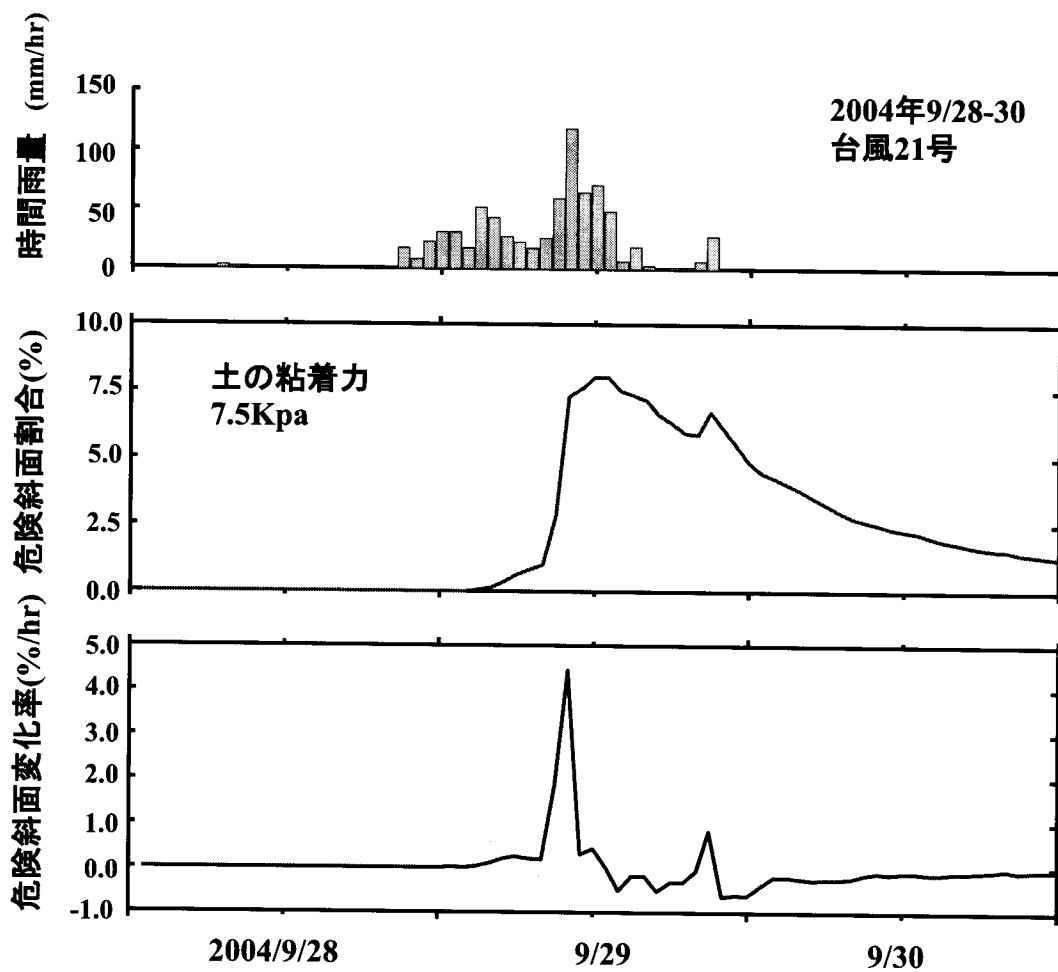


図 10.3.4 2004 年台風 21 号における危険斜面割合及び危険斜面変化率の経時変化

図 10.3.4に示した経時変化は粘着力の値によって変化するが、危険斜面割合の最大値を台風イベント期間全体の指標とし、1 時間あたりの危険斜面割合変化率の最大値を短時間降雨変化が崩壊発生に与える影響と考え、台風 21 号による値を 1 として他の台風イベントとの比較を行った結果を図 10.3.5に示す。図 10.3.5の横軸が豪雨期間全体の崩壊発生に与える影響の指標であり、縦軸は短時間降雨が崩壊発生に与える影響の指標に対応している。なお、図 10.3.5には土の粘着力が 6.0kPa および 7.5 kPa の両条件の結果を示す。

図 10.3.5から判るように、粘着力 6.0 kPa では、災害を発生させた台風 21 号と他の台風イベント（特に台風 4 号—6 号、台風 23 号）との違いは明瞭ではないが、7.5kPa の条件下では、最大危険斜面割合および最大変化率ともに、台風 21 号が他のイベントと比較して最大値を示し、災害発生降雨として明瞭に区分されている傾向にあることが判る。

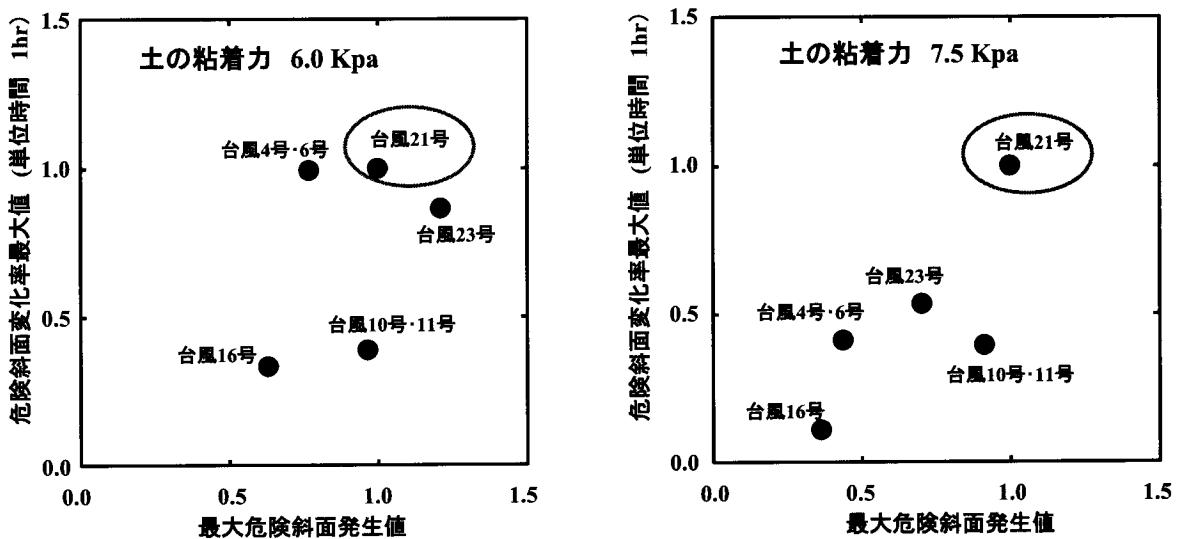


図 10.3.5 最大危険斜面発生値と 1 時間あたりの危険斜面変化率最大値の関係  
台風による降雨イベント間の比較結果(台風 21 号の値を基準値 1.0 としてある)

#### 10.3.2 1998 年 8 月末宇都宮大学船生演習林内で発生した斜面崩壊について

1998 年 8 月末の豪雨（福島南部・那須豪雨災害）によって宇都宮大学船生演習林内ではヒノキ林分を中心に 36 箇所の地点で斜面崩壊が発生した。本節ではこの災害記録をもとに、森林変化が斜面崩壊発生に与える影響についての定量的評価の可能性について検討した結果について記述する。図 10.3.6 に、本豪雨によって発生した斜面崩壊の発生分布状況を示す。

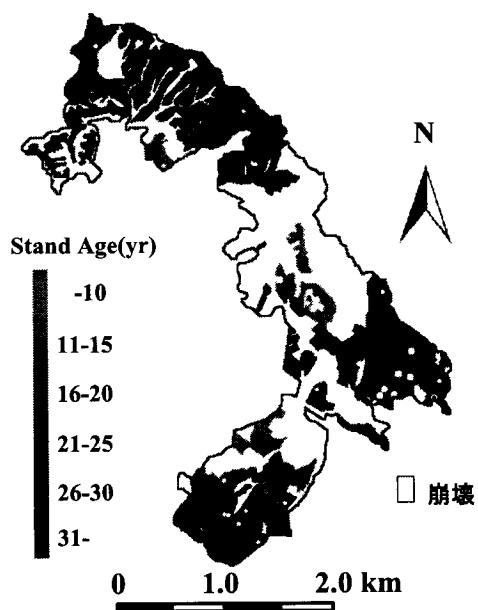


図 10.3.6 船生演習林内のヒノキ林分を中心に発生した斜面崩壊の分布概況

同演習林においては災害発生直後に崩壊地調査が実施されており、森林管理の基盤情報である森林簿に対応した崩壊地の分布概況が記録されている。その記録をもとに、ヒノキ林齢と崩壊地の関係について整理したものを図 10.3.7 に示す。

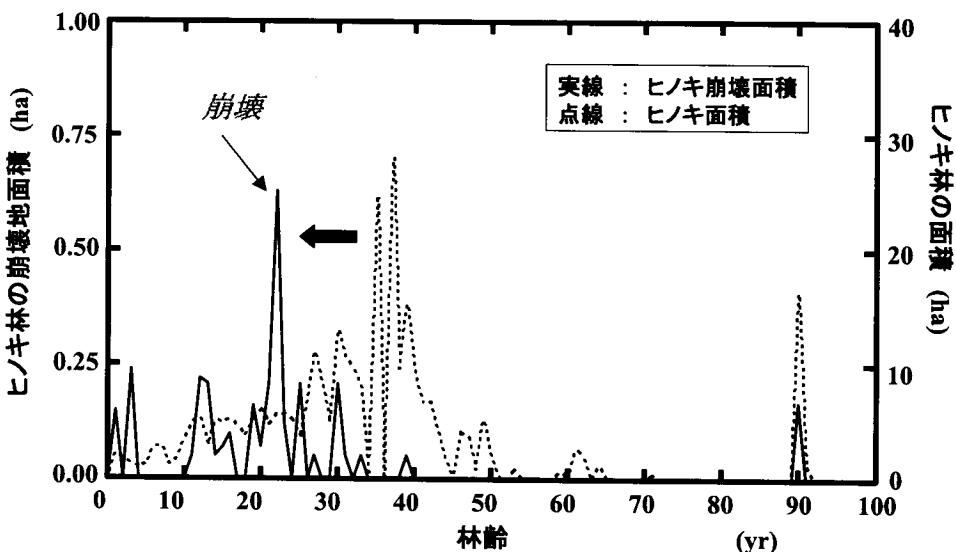


図 10.3.7 ヒノキおよびヒノキ林崩壊地の林齢一面積分布

この災害記録に基づく情報から、林齢と粘着力関係についてモデルを用いて検討した。モデルの詳細については省略するが、4. 1と同様に地形および土質強度の影響を加味した分布型崩壊モデルである。検討の具体的手法としては、図 10.3.7に示している崩壊地の林齢一面積分布が再現できるように、モデル逆解析により林齢と粘着力関係を求めている。その結果を図 10.3.8及び図 10.3.9に示す。

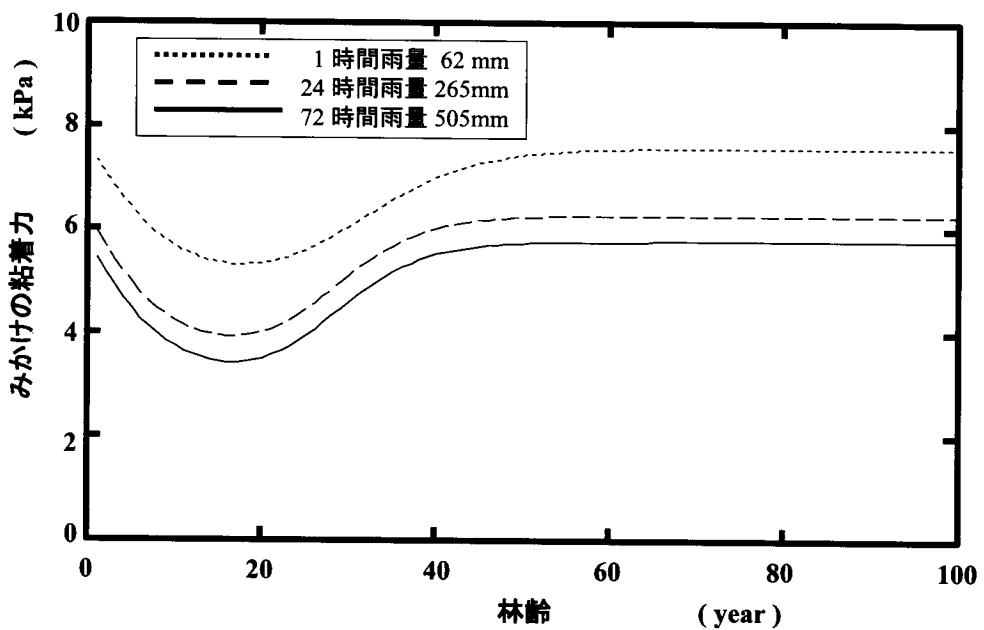


図 10.3.8 1998年8月末豪雨を入力降雨としたヒノキ林齢と粘着力の関係

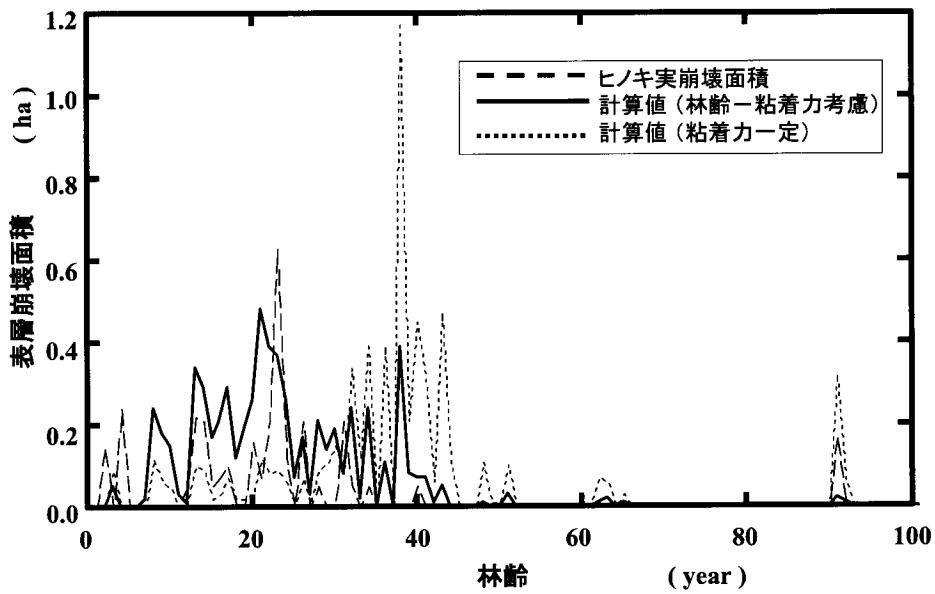


図 10.3.9 モデル逆解析によって再現されたヒノキ林齢と崩壊面積の関係

図 10.3.8及び図 10.3.9より、森林簿に記載された情報と崩壊情報を重ねあわせることで、広域における人工林の土質強度補強効果からみた林齢と崩壊の関係の定量的評価がある程度まで可能であることがわかる。図 10.3.10は、ここで得られた解析結果をもとに、ヒノキ人工林における林齢の経時変化が空間的な潜在崩壊地分布に与える影響を示したものである。

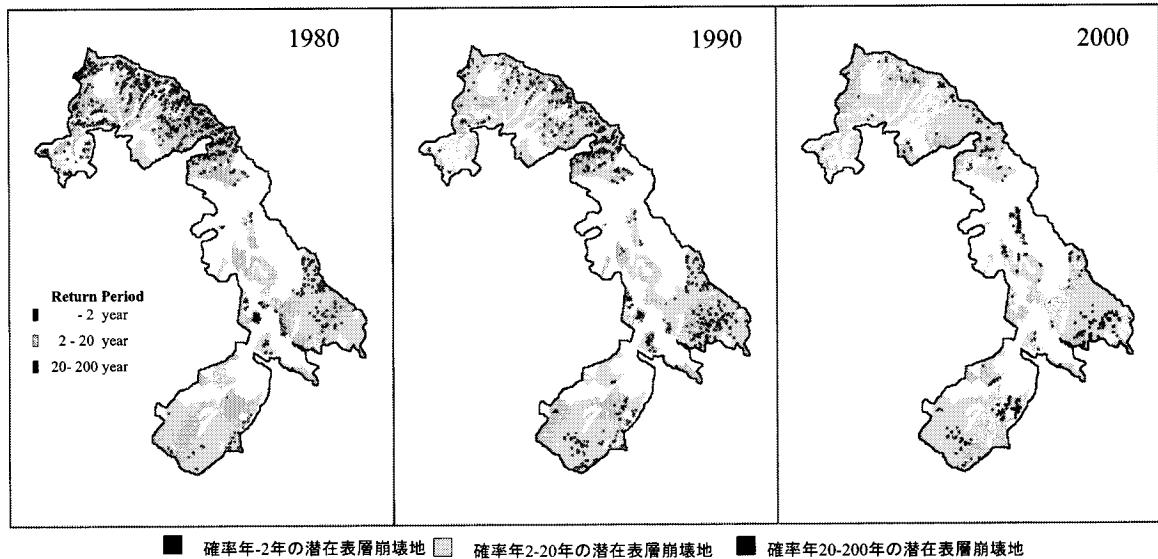


図 10.3.10 林齢の経時変化が潜在的な崩壊地の空間分布に与える影響

図 10.3.10より林齢の経時変化によって潜在的な崩壊地の空間分布は大きく変化していることがわかる。ここで得られた結果は、今後の森林の機能区分によるゾーニングを行なう上でも、有効な情報となり得ることが期待される。

### 10.3.3 過去の災害資料による検討事例のまとめ

以上2つの過去の災害資料を用いた検討事例について紹介した。各検討事例において使用したデータは以下のとおりである。

[2004年三重県大台町（旧宮川村）で発生した災害について]

- ・ 地形データ
- ・ 降雨データ（1年分）
- ・ 災害発生・非発生の有無

[1998年8月末宇都宮大学船生演習林内で発生した斜面崩壊について]

- ・ 地形データ
- ・ 降雨データ（約30年分）
- ・ 崩壊発生位置データ
- ・ 森林簿情報

三重県大台町の事例では地形・降雨及び災害発生・非発生の有無のみの3種類のデータを、船生演習林の事例では、これに加えて、崩壊発生位置及び森林簿情報のデータを使用している。大台町の事例からわかるように、詳細な災害情報を用いなくとも、地形及び降雨に対応した災害発生の有無の記録を用いることによって、ある程度まで、崩壊発生危険降雨の区分が出来ること、また船生演習林では、大台町の同種のデータに崩壊発生位置および森林簿情報を加えることで、森林の機能区分によるゾーニングを行なう上で有効な情報が引き出される可能性を示している。以上のことから、詳細な災害情報を収集することも、重要ではあるが、治山関係部署においては、少なくとも降雨に対応した災害発生の有無、それに加えて森林簿情報との重ね合わせによる山地災害データベースを、整備することが極めて重要であると考える。

なお、ここに示した各災害情報の検討事例の詳細は、以下の参考資料を参照されたい。

[2004年三重県大台町（旧宮川村）で発生した災害について]

執印ら（2009）：降雨特性及び土質強度特性が表層崩壊発生場に与える影響について－三重県宮川上流域を対象にして－、砂防学会誌 Vol.62. No.3 p.39-46

[1998年8月末宇都宮大学船生演習林内で発生した斜面崩壊について]

執印ら（2009）：分布型表層崩壊モデルによる樹木根系の崩壊防止機能の定量的評価について、緑化工学会誌 Vol.35. No.1 p.9-14

執印ら（2010）：人工林を対象として分布型表層モデルの適用について、緑化工学会誌 Vol.36. No.1 p.27-32

