

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.570

January 2010

台風委員会 土砂災害警戒情報策定プロジェクト成果報告書

水野秀明
小山内信智

Report of Typhoon Committee
Establish a flash flood and sediment-related disaster forecasting/
warning system in a pilot area in cooperation with DPP component to other area

Hideaki MIZUNO
Nobutomo OSANAI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

平成 21 年度

台風委員会土砂災害警戒情報策定プロジェクト成果報告書
水野秀明 小山内信智

Report of

Typhoon Committee Establish a flash flood and sediment-related disaster
forecasting/warning system in a pilot project area in cooperation with DPP component
and spread to other area

Hideaki MIZUNO , Nobutomo OSANAI

概要

台風委員会(Typhoon Committee)は世界気象機関(WMO)と国連アジア太平洋経済社会委員会(UNESCAP)の共同機関として設立されたもので、その水文部門において「土砂災害警戒情報策定プロジェクト」を2002年から2009年まで実施した。このプロジェクトには日本のほか5カ国が参加した。本資料はその成果を取りまとめたものである。

キーワード :

台風委員会、土砂災害、早期警戒情報

Synopsis

The Typhoon Committee is a joint organization under the World Meteorological Organization and the United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Working Group of Hydrology of the Typhoon Committee had been proceeding the project of “Establish a flash flood and sediment-related disaster forecasting / warning system in a pilot project area in cooperation with DPP component and spread to other area” since 2002. Five members of the Typhoon Committee took part in this project. The accomplishments of the members are reported in this technical note. This report summarizes the results of the evaluation about “ Research activities in FY2008” from the 1st meeting of the Evaluation Committee of NILIM in FY 2009 held on June 18, 2009.

Keywords

Typhoon Committee, Sediment-related Disasters, Early Warning System

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 土砂災害対策を求める世論.....	1
1.2 土砂災害警戒情報策定プロジェクトの目的.....	1
1.3 土砂災害警戒情報策定プロジェクトの実施計画	1
1.4 最終報告書で報告する内容の紹介	2
2. 土砂災害の発生の予測方法	3
2.1 概要	3
2.2 土砂災害発生基準線概念.....	3
2.3 土砂災害発生危険基準線の設定手順	4
2.3.1 降水量のデータがある場合	4
2.3.2 降雨データがない場合	5
2.4 土砂災害発生危険基準線の設定例.....	8
2.4.1 降水量のデータがある場合	8
2.4.2 降水量のデータがない場合	8
3. 参加国の達成状況	16
3.1 中国(China)	16
3.1.1 概要.....	16
3.1.2 土砂災害の実態と対策の概要	16
3.1.2.1 土砂災害の実態	16
3.1.2.2 土砂災害防止法	17
3.1.2.2.1 土砂災害危険地域の設定方法	17
3.1.2.2.1.1 降水量条件の調査.....	18
3.1.2.2.1.2 地形条件の調査	19
3.1.2.2.1.3 社会経済条件の調査	20
3.1.2.2.1.4 土砂災害危険地域の作成と地域の分類.....	21
3.1.2.2.2 警戒避難システムの構築（本プロジェクトの成果）	21
3.1.2.2.2.1 方法.....	21
3.1.2.2.2.2 モデル流域の概要.....	21
3.1.2.2.2.2.1 四川省广安市广安区石家沟（Shi Jia Gou）	21
3.1.2.2.2.2.2 四川省達州市宣汉县黄金镇(Huangjin)	22

3.1.2.3	モデル流域以外への展開	23
3.1.3	まとめ	23
3.2	日本(Japan)	25
3.2.1	概要	25
3.2.2	土砂災害の実態	26
3.2.3	警戒避難システムの構築（本プロジェクトの成果）	27
3.2.3.1	ガイドラインの作成	27
3.2.3.2	設定事例の作成	27
3.2.3.3	テクニカルヘルプデスクの設置	27
3.2.3.4	適用事例の紹介	27
3.2.4	今後の課題	29
3.3	マレーシア(Malaysia)	30
3.3.1	概要	30
3.3.2	土砂災害の実態	30
3.3.3	警戒避難システムの構築(本プロジェクトの成果).....	30
3.3.3.1	方法	30
3.3.3.2	モデル流域の概要	31
3.3.3.3	土砂災害発生危険基準線等の設定	31
3.3.3.4	モデル流域以外への展開	32
3.3.4	今後の課題	33
3.4	タイ(Thailand)	34
3.4.1	概要	34
3.4.2	土砂災害の実態	34
3.4.3	警戒避難システムの構築.....	35
3.4.3.1	予警報システム(本プロジェクトの成果)	35
3.4.3.2	Mr. Disaster Warning プロジェクトの紹介	36
3.5	アメリカ合衆国(USA).....	37
3.5.1	概要	37
3.5.2	土砂災害の実態	37
3.5.3	警戒避難システムの構築(本プロジェクトの成果).....	38
3.6	ベトナム(Viet Nam)	39
3.6.1	概要	39

3.6.2	土砂災害の実態.....	39
3.6.3	警戒避難システムの構築(本プロジェクトの成果).....	39
3.6.3.1	モデル流域の概要.....	39
3.6.3.2	方法.....	40
3.6.3.3	土砂災害発生基準線の設定.....	40
3.6.4	今後の課題.....	41
4.	まとめ.....	42

巻末資料 警戒避難基準雨量の設定手順および設定事例

1. はじめに

1.1 土砂災害対策を求める世論

ADRC の Natural Disasters Data Book 2006 によれば、土砂災害による死者数は自然災害のうち全世界で 1.1%、アジア地域で 9.2% を占めている。このように、アジア地域では土砂災害による死者数は他の地域よりも多くなっている。

ADRC で分析した CRED の EM-DAT データベースは、「死者 10 名以上」または「影響を受けた人が 100 名以上」または「非常事態宣言が発令されたもの」または「国際援助が要請されたもの」を満たした災害を登録している。日本国で生じている土砂災害をみると、それらの条件を満たす土砂災害はほとんど稀にしか発生していないが、土砂災害そのものは毎年のように発生し、死者も出ている。このため、実際には土砂災害は毎年のように各国で発生していると想定される。

また、土砂災害を引き起こす自然現象には、降雨や地震などが挙げられるが、それらの発生頻度を考慮すれば、降雨によるものが多く発生している。

以上のような背景から、特に台風の通過する東南アジア各国では、降雨による土砂災害によるリスクを低減する対策を求める世論が高まっている。

1.2 土砂災害警戒情報策定プロジェクトの目的

土砂災害によるリスクを効率的に低減するのは、構造物による対策と構造物によらない対策がある。構造物による対策の代表的なものは砂防えん堤や流路工といったものがあり、構造物によらない対策には避難

や土地利用の制御といったものがある。構造物による対策は確実に土砂移動を制御することができる反面、その建設のために多額の費用を要する。一方、構造物によらない対策は土砂災害の予測システムの導入、情報の伝達システムの整備やハザードマップの作成のためにそれほど費用を要しない反面、確実に土砂災害を防げない。このような特徴を踏まえると、土砂災害のリスクを効率的に低減させるためには、構造物による対策と構造物によらない対策を組み合わせた対策を講じなければならない。

本プロジェクトはこれらの対策のうち構造物によらない対策、特に住民が避難を判断する際に必要と考えられる、土砂災害の予測システムの構築に着目したものである。

なお、本プロジェクトは地域協力プログラム (RCPIP) の一つのプロジェクトとして、2002 年からスタートした。台風委員会は地域協力プログラムの中身を再構築し、7 つの重点的に取り組む課題と 14 の目標を「戦略的計画」として 2007 年に取りまとめた。これ以後、すべてのプロジェクトは戦略的計画のもとで再構築された。本プロジェクトは重点課題 1「台風関連災害による人命の損失を減らす」の達成に貢献するものとして、戦略的計画の中に位置づけられている。

1.3 土砂災害警戒情報策定プロジェクトの実施計画

本プロジェクトは 2002 年から 2007 年までの予定で開始された。当初の計画では、2002 年から 2005 年までの間、参加国は各国内で試験地を設定し、そこで土砂災害の発生を判定する技術を適用し、各国の実情

に合うよう修正することとした。その後、2007年までの間に参加国の国内全域に広め、運用を開始するという計画であった。

土砂災害の予測システムは本プロジェクト開始時点で世界的に見て十分に開発できたものではなかったことから、先行的に開発され運用を開始しようとしていた、日本国の警戒避難基準雨量に基づく技術をベースとした。

日本国の警戒避難基準雨量に基づいた予測技術に関するガイドラインが本プロジェクト開始後2年目に配布されたこともあり、参加国での試験地の設定が遅れたり、試験地で土砂災害が発生しなかったりするなど、当初の計画通りに土砂災害の発生を判定する技術を適用することができなかった。そのため、2009年まで2年間の予定で延長することとなった。

1.4 最終報告書で報告する内容の紹介

この最終報告書では、土砂災害警戒情報策定プロジェクトで採用した技術の概要を述べるとともに、中国、マレーシア、ベトナム、タイ、アメリカ合衆国および日本の6カ国の達成状況を報告する。

2. 土砂災害の発生の予測方法²

2.1 概要

現在のところ、土砂災害の発生を理論的に判定する手法は未だ研究段階であるので、本プロジェクトでは過去の土砂災害の記録に基づき、経験的な手法を採用する。土砂災害の発生に大きく影響を及ぼす要因には、地形・地質といった素因に加えて降水量の時間変化といった誘因が考えられる。そこで、降水量の時間変化に着目して、土砂災害の発生を予測する基準を設定することとする。

このような考え方で土砂災害に対する警戒避難基準を設定している国として、日本国が挙げられる。日本国では、降雨量の観測だけでなく、土砂災害の発生の有無も記録している。そのため、降雨量の時間変化から土砂災害の発生・非発生の関係を経験的に判断することができる。その判断のための基準を土砂災害発生危険基準線と呼ぶ。降水量の時間変化が土砂災害発生基準線を越えた場合に土砂災害の発生を予想する。住民の方々に土砂災害から守るためには、土砂災害の発生が予想される前に住民の方々に準備と避難をさせなければならない。そのため、土砂災害発生危険基準線とは別に、降雨量の時間変化が土砂災害発生危険基準線より先に満たすような基準線として、警戒のための基準線（警戒基準線）と避難のための基準線（避難基準線）を設定する。本プロジェクトでは、土砂災害発生基準線の設定を行うこととした。

2.2 土砂災害発生基準線 の概念

図-2.1 は土砂災害発生危険基準線 の概念

図で、X 軸と Y 軸には降水量のデータから算出される指標を用いる。過去に記録された降水量のデータから X 軸と Y 軸の指標を計算し、この図にプロットする。図中の白色の丸は土砂災害が発生しなかったケースで、黒色の丸は土砂災害が発生したケースである。これらのプロットした丸を分けるように直線を引っ張ることができる。この直線を土砂災害発生基準線と定義する。

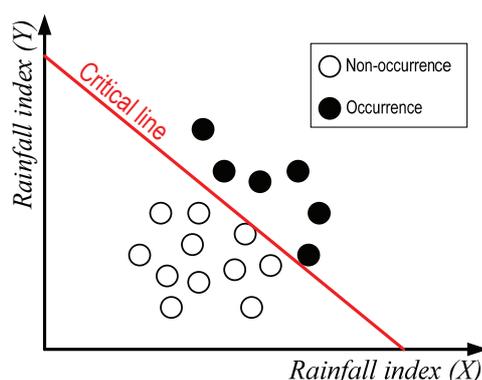


図-2.1 土砂災害発生基準線 の概念

表-2.1 は X 軸と Y 軸の指標の組み合わせの一覧を示したもので、2004 年時点に日本国で採用されていたものである。以下に日本国での事例を紹介する。指針 A 案の場合、X 軸は半減期 1 日の実効雨量、Y 軸は 1 時間雨量である。指針 B 案の場合、X 軸は実効雨量、Y 軸は有効降雨強度である。提言案の場合、X 軸は半減期 72 時間の実効雨量、Y 軸は半減期 1.5 時間の実効雨量である。

表-2.1 土砂災害発生危険基準線 の指標

	X 軸	Y 軸
指針 A 案	半減期 1 日の実効雨量	1 時間雨量
指針 B 案	半減期 1 日の実効雨量	有効降雨強度
提言案	半減期 72 時間の実効雨量	半減期 1.5 時間の実効雨量

図-2.2 は一連の降雨を示したもので、指針 A 案、指針 B 案、提言案の指標を算出するための降雨である。

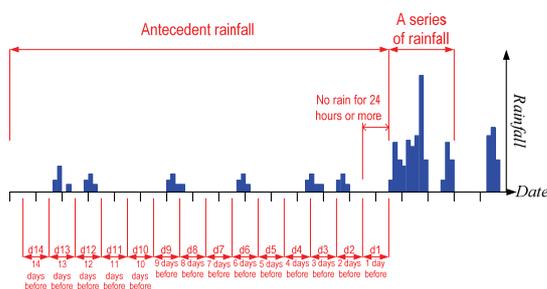


図-2.2 一連の降雨の概念

それぞれの方法における実効雨量は式 (2.1) で算出できる。

$$R_w = \alpha_1 \cdot d_1 + \alpha_2 \cdot d_2 + \dots + \alpha_{14} \cdot d_{14} \\ = \sum_{t=1}^{14} (\alpha_t \cdot d_t) \quad \dots (2.1)$$

ここで、 R_w : 実効雨量[mm]、 α_t : t 日目の減少係数、 d_t : t 日目の 24 時間雨量 [mm/24h]であり、減少係数は式 (2.2) で算出できる。

$$\alpha_t = 0.5^{t/T} \quad \dots (2.2)$$

ここで、 T : 半減期の日数[days]である。指針 A 案と B 案の場合では $T=1$ 、提言案の X 軸は $T=72/24=3$ 、Y 軸は $T=1.5/24=0.0625$ となる。有効降雨強度は式 (2.3) から算出できる。

$$I_E = \frac{R_E}{T_E} \quad \dots (2.3)$$

ここで、 I_E : 有効降雨強度[mm/h]、 R_E : 有効降雨[mm]、 T_E : 有効時間[h]である。有効降雨は一連の降雨のうち初めて 4mm/h の降水量を観測した時刻から、4mm/h の降水

量が 3 時間以上継続した時刻までの降水量の総和である。また、有効時間は「一連の降雨」のうち初めて 4mm/h の降水量を観測した時刻から、4mm/h の降水量が 3 時間以上継続した時刻までの時間である。

一般的には指針 A 案による設定が基本となるが、前述のように土砂災害を発生させた一連の降雨とそうでない一連の降雨を十分に分離できない場合には、指針 B 案を採用することとしている。-指針 A 案と指針 B 案は分かりやすいという長所を有するものの、降雨が長期間続いた場合や断続的に続いた場合には、降水量の時間変化が容易に土砂災害発生危険基準線に到達するといった短所を有する。提言案は指針 A 案と指針 B 案の有する短所を改善するべく新たに開発された。2004 年時点では提言案が徐々に主流となっていた。いずれの方法を採用するかという点は、それぞれの手法の特質を理解し、当該地域への適合性や基準の利用方法、入手できる降水量の特性を踏まえた上で選択する必要がある。

2.3 土砂災害発生危険基準線の設定手順

2.3.1 降水量のデータがある場合

土砂災害発生危険基準線の設定手順は次の 3 つの過程に分類できる。

- (1) 降雨資料を収集するための代表雨量観測所を選定する。
- (2) 土砂災害が発生した「一連の降雨」と、土砂災害が発生しなかった「一連の降雨」を収集し、整理する。
- (3) (2)で整理した一連の降雨について、表-2.2 と表-2.3 に示す指標を算出し、それぞれ図中にプロットする。
- (4) 土砂災害が発生した「一連の降雨」の

場合のプロットと土砂災害が発生した「一連の降雨」の場合のプロットを概ね分離できるように、土砂災害発生危険基準線を設定する。

なお、表-2.2 は土砂災害が発生した「一連の降雨」の場合における各指標の算出方法を示したものである。同様に、表-2.3 は土砂災害が発生しなかった「一連の降雨」の場合における各指標の算出方法を示したものである。実効雨量と有効雨量強度を算出する式は前述のとおりである。また、土砂災害が発生しなかった「一連の降雨」として、表-2.4 を満たすものを採用する。

表-2.2 土砂災害が発生した「一連の降雨」の場合における指標の算出方法

	X 軸	Y 軸
指針 A 案	土石流が発生した時点の 1 時間前までの実効雨量(半減期 1 日)	土石流が発生した時点までの 1 時間雨量
指針 B 案	土石流が発生した時点の 1 時間前までの実効雨量(半減期 1 日)	土石流が発生した時点までの有効雨量強度
提言案	土石流が発生した時点の半減期 72 時間の実効雨量	土石流が発生した時点の半減期 1.5 時間の実効雨量

表-2.3 土砂災害が発生しなかった「一連の降雨」の場合における指標の算出方法

	X 軸	Y 軸
指針 A 案	最大 1 時間雨量が発生した時点の 1 時間前までの実効雨量(半減期 1 日)	「一連の降雨」中の最大 1 時間雨量
指針 B 案	「一連の降雨」のうち 4mm/h 以上の降水量が 3 時間以上継続した時刻までの実効雨量(半減期 1 日)	「一連の降雨」のうち初めて 4mm/h 以上の降水量を観測した時刻から、4mm/h 以下の降水量が 3 時間以上継続した時刻までの有効降雨強度
提言案	半減期 1.5 時間の最大実効雨量が発生した時点の半減期 72 時間の最大実効雨量	「一連の降雨」中の半減期 1.5 時間最大実効雨量

表-2.4 土砂災害が発生しなかった「一連の降雨」として抽出する降雨の条件

土砂災害を引き起こした土砂移動現象	条件
土石流	連続雨量 80mm 以上または 1 時間雨量強度が 20mm 以上
斜面崩壊	連続雨量 40mm 以上または 1 時間雨量強度が 10mm 以上

表-2.5 自然条件一覧

Factors	Categories
Region	1. Volcanic regions
	2. Non-volcanic regions
Rainfall	1. Low rainfall region
	2. Average rainfall region
	3. Heavy rainfall region
Geology	1. Granite zone
	2. Volcanic ejection zone (active)
	3. Volcanic ejection zone (inactive)
	4. Tertiary sedimentary

土砂災害発生危険基準線は指針 A 案、指針 B 案、提言案いずれの場合でも式 (2.4) で表すことができる。

$$Y = aX + b \quad \dots (2.4)$$

ここで、X: 各方法に応じた X 軸の指標の値、Y: 各方法に応じた Y 軸の指標の値、a: 傾き、b: 切片である。指針 A 案の場合、傾き a の値を $-1 < a < 0$ の範囲内で設定する必要がある。

2.3.2 降雨データがない場合

降雨データがない場合、2.3.1 に示した方法で土砂災害発生危険基準線を設定できない。そこで、2004 年時点で日本国で設定さ

れた土砂災害発生危険基準線の傾きと切片の値を収集し、素因と誘因の観点からそれらの値がどのような範囲をとるのかを調べた。その結果を図-2.3～2.5 に示す。その結果を踏まえて、以下のような手順で土砂災害発生危険基準線を設定することとする。なお、この場合で用いる設定手法は表-2.1 で示したもののうち、指針 A 案あるいは提言案とする。

- (1) 土砂災害発生危険基準線を設定しようとしている地域について、着目する自然条件を選定し、その条件の中で対象地域が該当する項目を選択する（表-2.5 参照）。
- (2) 土砂災害発生危険基準線を設定する手法、つまり使用する指標の組み合わせを表-2.1 から選択する。
- (3) 式（2.4）の傾き a の値を指針案 A 案の場合で-0.45、提言案の場合で-0.9 とする。
- (4) (1)で選択した対象地域の条件及び(2)で選択した土砂災害発生危険基準線を設定する手法に対応する、100 年確率 1 時間雨量/3（平均値）と実効雨量（平均値）の値の組み合わせを選択する
- (5) (3)で設定した傾き a の値、(4)で選択した組み合わせに基づき X の値を実効雨量（平均値）、 Y の値を 100 年確率 1 時間雨量/3（平均値）として、式（2.4）から切片 b の値を計算する。
- (6) 以上により土砂災害発生危険基準線の傾き a と切片 b の値を決定する。

なお、表-2.5 中で、降水量の少ない地域とは 100 年超過確率規模の日雨量が 250mm/day 未満の地域で、降水量が平均的

な地域とは 100 年超過確率規模の日雨量が 250mm/day 以上 350mm/day 未満の地域で、降水量の多い地域とは 250mm/day 以上 350mm/day 以上の地域である。

(1)から(6)の手順で設定した土砂災害発生危険基準線は日本国での事例を参考に設定したものであるため、各国の事情に適合していないことも考えられる。そのため、降雨量の時間変化と土砂災害の発生の有無についてのデータを収集し蓄積して、土砂災害発生危険基準線が実際とずれていないか定期的に検証する必要がある。その際の手法は 2.3.1 に示したものを適用すればよい。

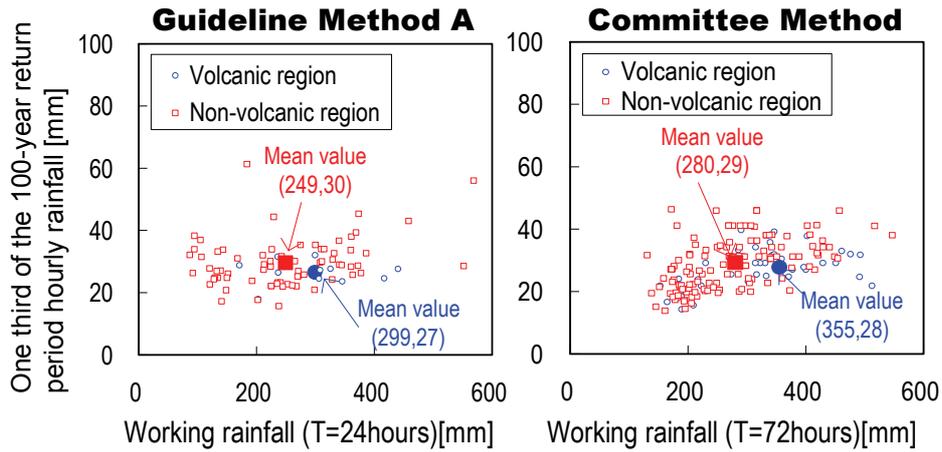


図-2.3 100年確率1時間雨量/3と実効雨量の関係（地域条件）

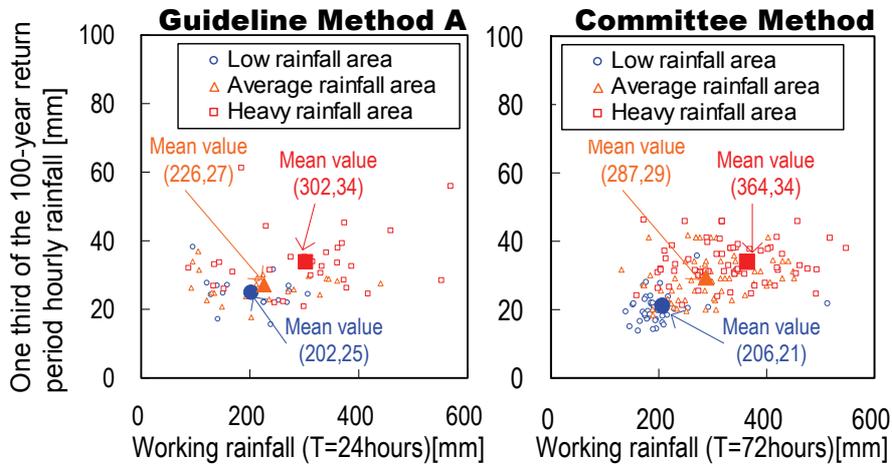


図-2.4 100年確率1時間雨量/3と実効雨量の関係（降雨条件）

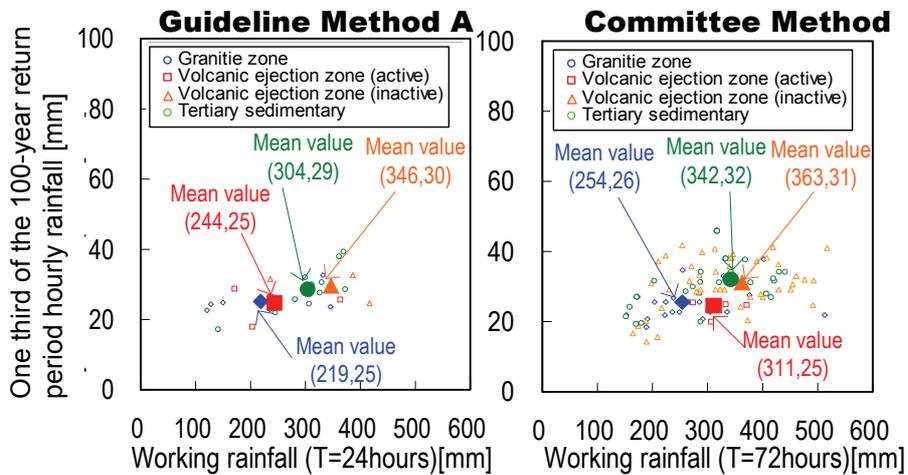


図-2.5 100年確率1時間雨量/3と実効雨量の関係（地質条件）

2.4 土砂災害発生危険基準線の設定例

2.4.1 降水量のデータがある場合

表-2.6は降水量のサンプルデータである。このデータに基づき指針 A 案で土砂災害発生危険基準線の設定を行ってみる。

図-2.6 は土砂災害が発生した「一連の降雨」に関するデータを丸印で、土砂災害が発生しなかった「一連の降雨」のデータをペケ印でプロットしたものである。また、同図中には、以下の点を留意して土砂災害発生危険基準線を引いたものである。

- (1) 土砂災害が発生した「一連の降雨」のプロットが全て土砂災害発生危険基準線より上に位置すること。
- (2) 指針 A 案を採用したので、土砂災害発生危険基準線の傾きが-1 より大きく 0 未満となること。

表-2.6 一連の降雨のサンプルデータ

土砂災害が発生	土砂災害の発生時における時間雨量 [mm/h]	土砂災害が発生する 1 時間前までの実効雨量[mm]
	26.0	162.3
	14.0	112.3
	28.0	74.3
土砂災害が非発生	最大 1 時間雨量 [mm/h]	最大 1 時間雨量が生じる 1 時間前までの実効雨量[mm]
	14.0	52.1
	32.0	20.0
	16.0	126.0
	8.0	39.2
	17.0	177.9
	12.0	67.4
	14.0	55.6
	11.0	68.5
	17.0	24.4
	19.0	51.1

2.4.2 降水量のデータがない場合

表-2.7 は 2.3.2 で示した方法に基づき設定した土砂災害発生危険基準線である。また、図-2.7~2.12 は表-2.7 に示した土砂災害発生

危険基準線を描いたものである。表-2.7 と図-2.7~2.12 より、地域条件に応じた直線を選択することで、土砂災害発生危険基準線を設定できる。

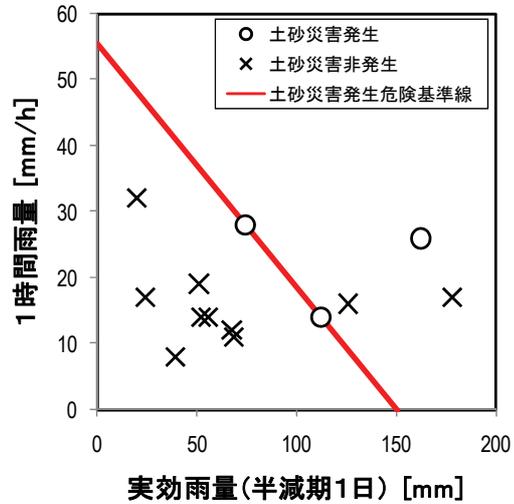


図-2.6 土砂災害発生危険基準線の例

表-2.7 土砂災害発生危険基準線

Conditions	Cases	Guideline Method A	Committee Method
Region	Volcanic regions	$y=-0.45x+161.6$	$y=-0.90x+347.5$
	Non-volcanic regions	$y=-0.45x+142.1$	$y=-0.90x+281.0$
Rainfall	Low rainfall region	$y=-0.45x+115.9$	$y=-0.90x+206.4$
	Average rainfall region	$y=-0.45x+128.7$	$y=-0.90x+287.3$
	Heavy rainfall region	$y=-0.45x+169.9$	$y=-0.90x+361.6$
Geology	Granite zone	$y=-0.45x+123.6$	$y=-0.90x+254.6$
	Volcanic ejection zone (active)	$y=-0.45x+134.8$	$y=-0.90x+304.9$
	Volcanic ejection zone (inactive)	$y=-0.45x+185.7$	$y=-0.90x+357.7$
	Tertiary sedimentary	$y=-0.45x+165.8$	$y=-0.90x+339.8$

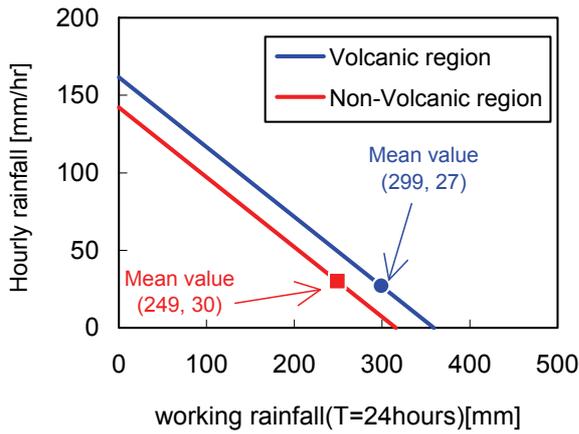


図-2.7 指針 A 案における平均的な CL (地域条件)

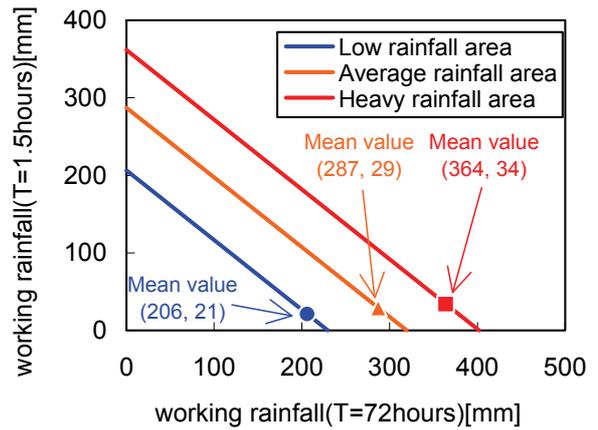


図-2.10 提言案における平均的な CL (降雨条件)

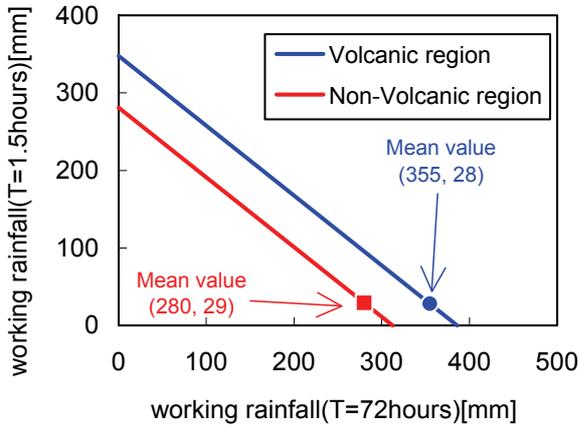


図-2.8 提言案における平均的な CL (地域条件)

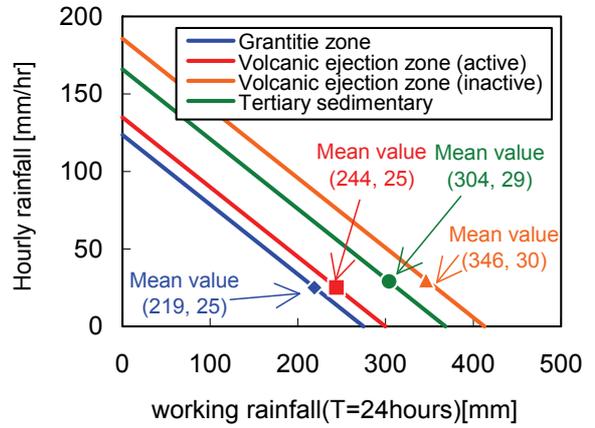


図-2.11 指針 A 案における平均的な CL (地質条件)

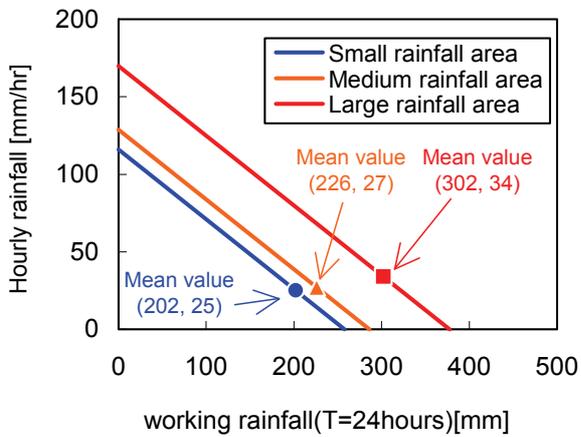


図-2.9 指針 A 案における平均的な CL (降雨条件)

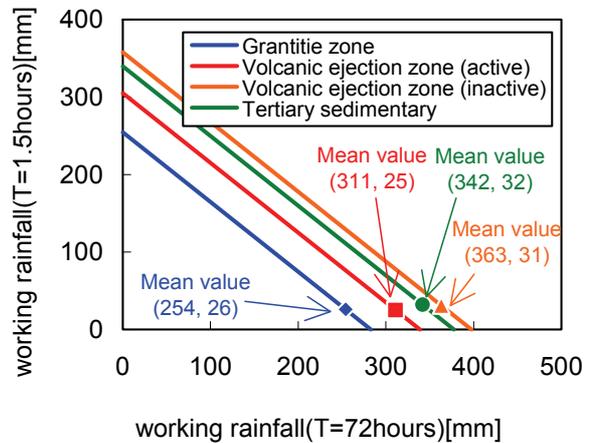


図-2.12 提言案における平均的な CL (地質条件)

表-2.7 に示した土砂災害発生危険基準線の精度を検証してみる。対象とした事例は平成 16 年に日本国内で発生した主な土砂災害である。表-2.8 はその土砂災害の発生箇所、日時および各地域の自然条件を示したものである。各災害について設定した土砂災害発生危険基準線およびスネークラインを図-2.14 から図-2.25 に示す。なお、上勝町（徳島県）、新居浜市（愛媛県）、宮川村（三重県）の地質条件については、土砂災害発生危険基準線設定条件の対象外としたため、設定から除外した。図より、降雨条件に基づく土砂災害発生危険基準線では、指針案 A 案、提言案ともに、検証対象の災害をすべて捕捉できており、その有効性が確認できた。しかしながら、地域条件、地質条件では、幾つかの地点で土砂災害発生危険基準線超過以前に災害が発生しているため、実際適用する際には、データのばらつき等を勘案する必要がある。

以上のことから、十分な降雨資料と災害資料がない場合、平均的な土砂災害発生危険基準線は降雨条件に基づいて設定することが最も有効であるといえる。



表-2.8 検証に用いた土砂災害事例

表-2.8 検証に用いた土砂災害事例

Place of occurrence	Date of occurrence	Region	Rainfall	Geology
Tochio (Niigata pref.)	13-Jul-04	Volcanic	Low rainfall	Volcanic ejection zone (active)
Miyama (Fukui pref.)	18-Jul-04	Non-volcanic	Low rainfall	Tertiary sedimentary
Kamikatsu (Tokushima pref.)	1-Aug-05	Non-volcanic	Heavy rainfall	Other zone
Niihama (Ehime pref.)	17-Aug-05	Non-volcanic	Average rainfall	Fracture zone
Miyagawa (Mie pref.)	29-Sep-04	Non-volcanic	Heavy rainfall	Other zone

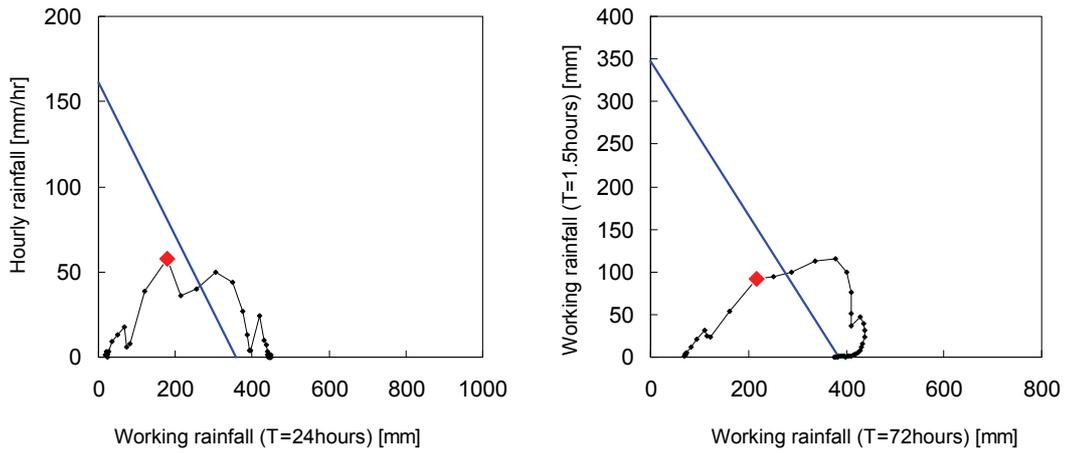


図-2.14 新潟県栃尾市における事例（地域条件：火山地域）

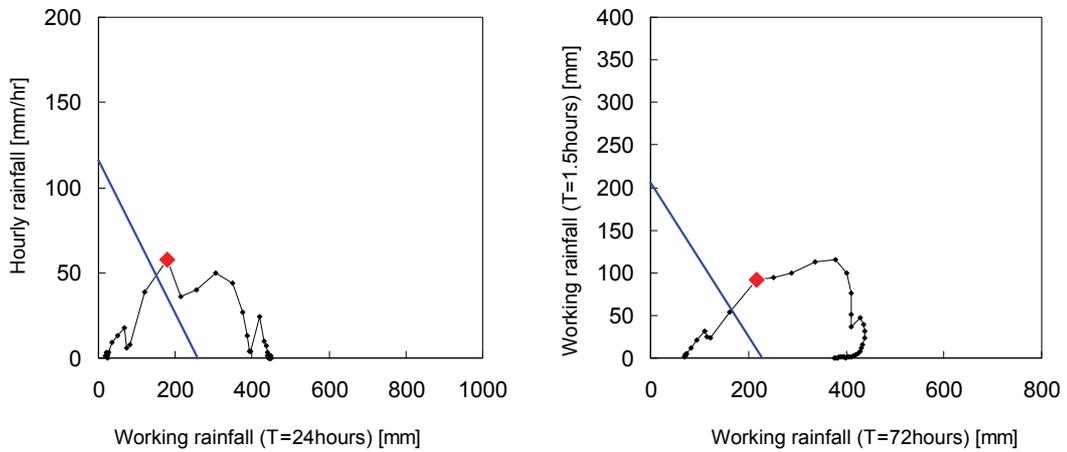


図-2.15 新潟県栃尾市における事例（降雨条件：少雨域）

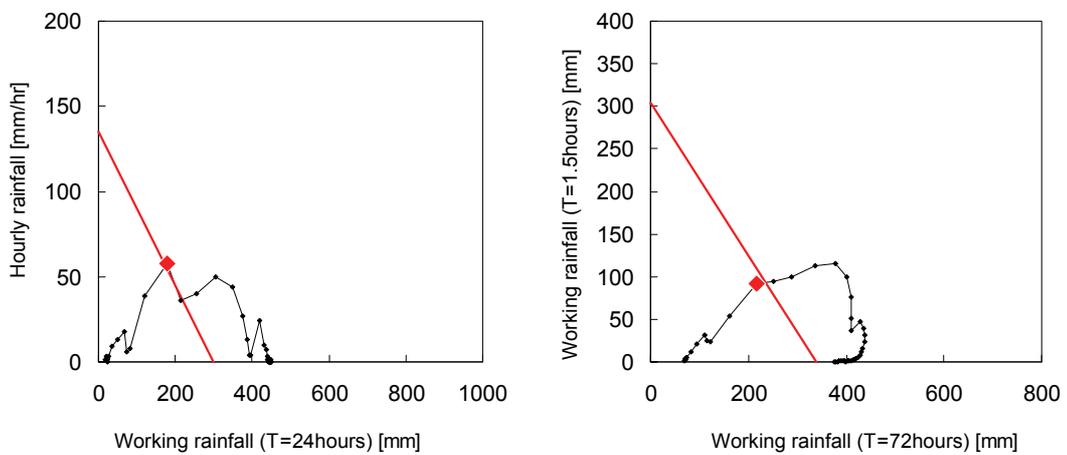


図-2.16 新潟県栃尾市における事例（地質条件：火山噴出物地帯（活動中））

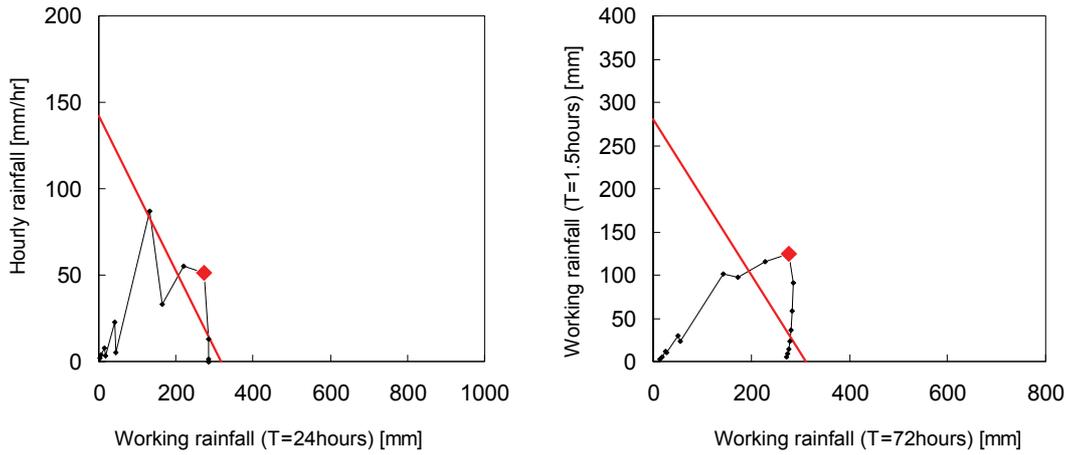


図-2.17 福井県美山町における事例（地域条件：非火山地域）

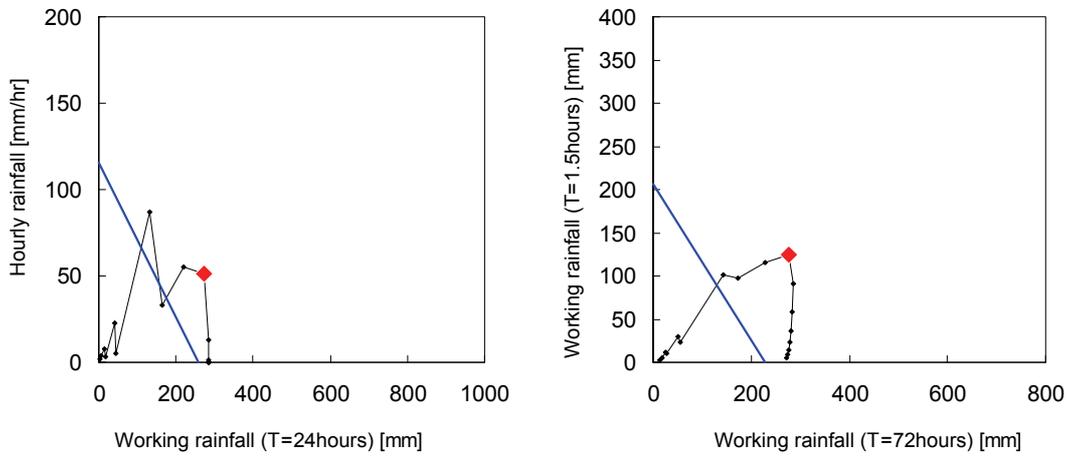


図-2.18 福井県美山町における事例（降雨条件：少雨域）

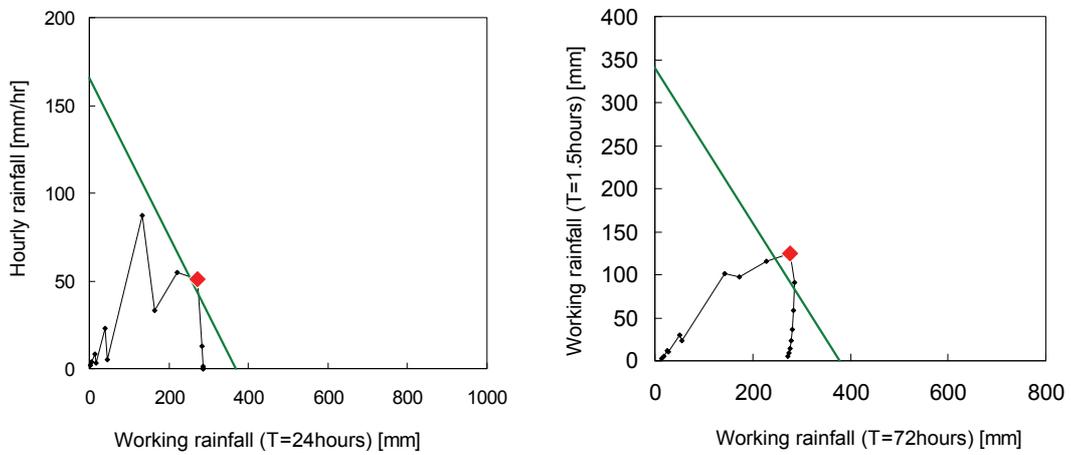


図-2.19 福井県美山町における事例（地質条件：第3紀堆積岩層）

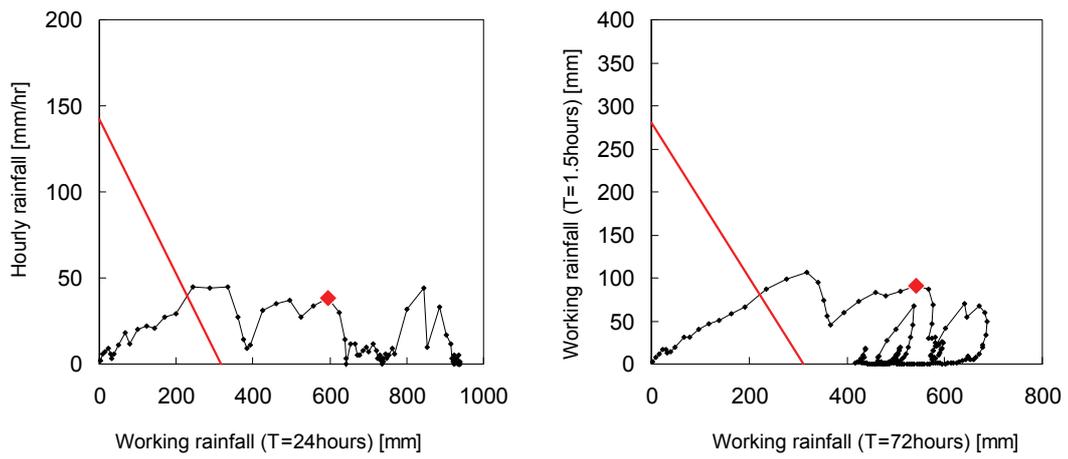


図-2.20 徳島県上勝町における事例（地域条件：非火山地域）

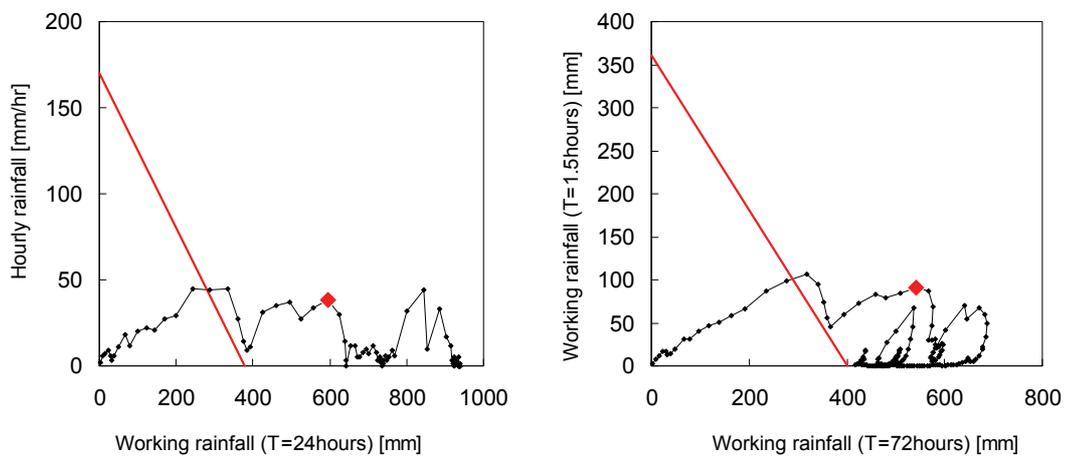


図-2.21 徳島県上勝町における事例（降雨条件：多雨域）

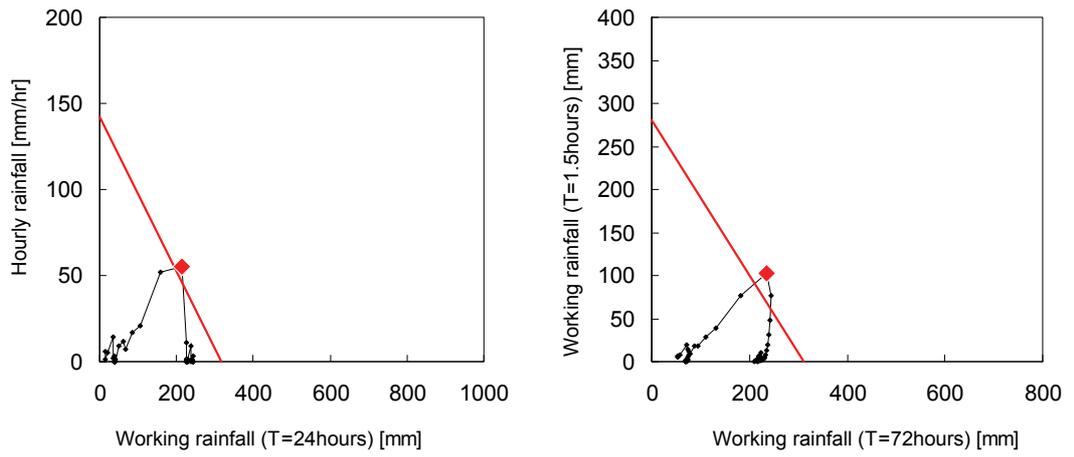


図-2.22 愛媛県新居浜市における事例（地域条件：非火山地域）

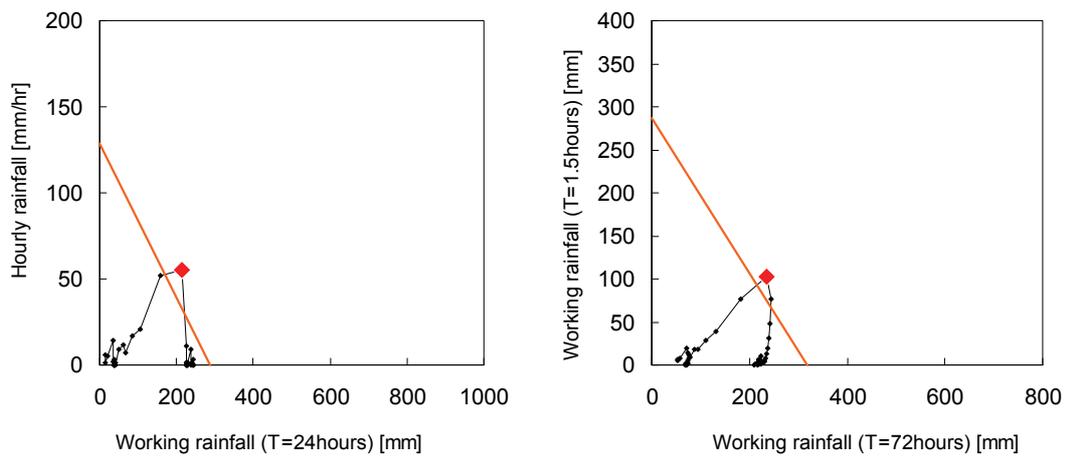


図-2.23 愛媛県新居浜市における事例（降雨条件：中間雨域）

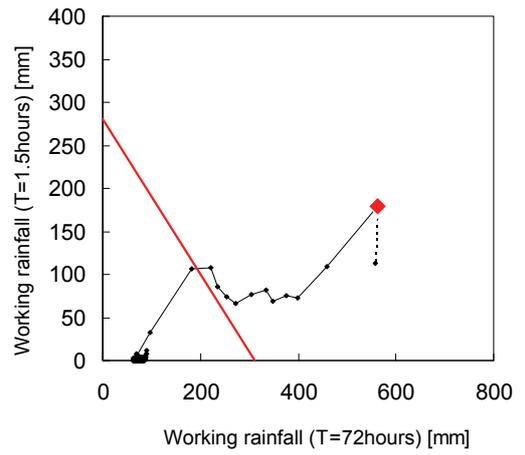
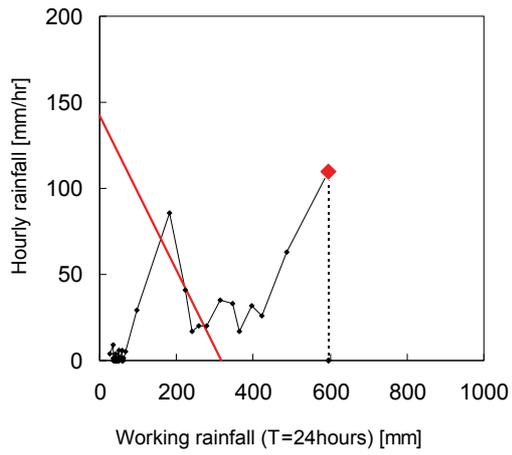


図-2.24 三重県宮川村における事例（地域条件：非火山地域）

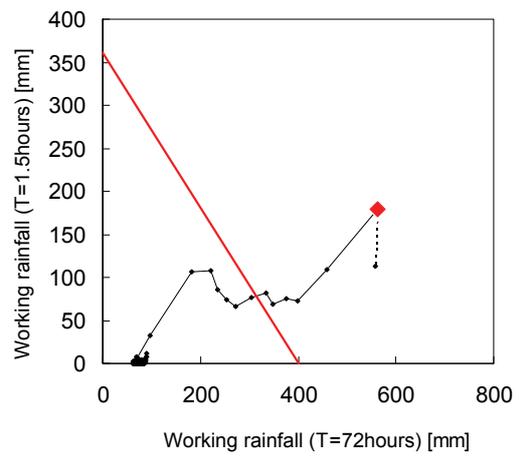
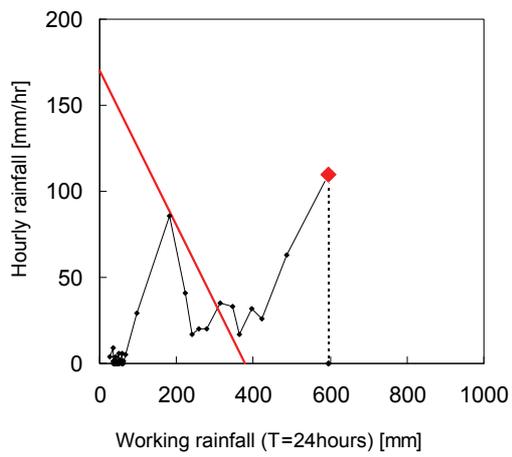


図-2.25 三重県宮川村における事例（降雨条件：多雨域）

3. 参加国の達成状況

3.1 中国(China)

3.1.1 概要

図-3.1.1 は中国の地形を示したものである。中国は全国の 2/3 を占める山地において、複雑な地形条件や脆弱な地質条件のため豪雨によって引き起こされる土砂災害に大きく影響を受ける。

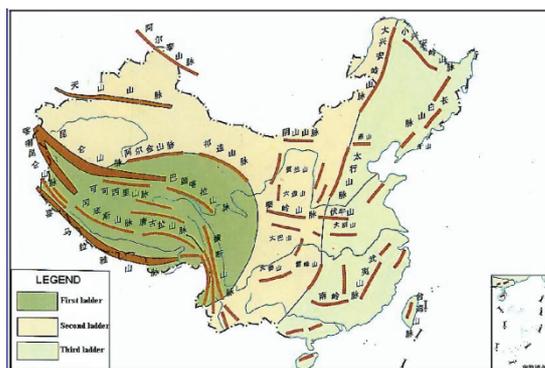


図-3.1.1 中国の地形条件

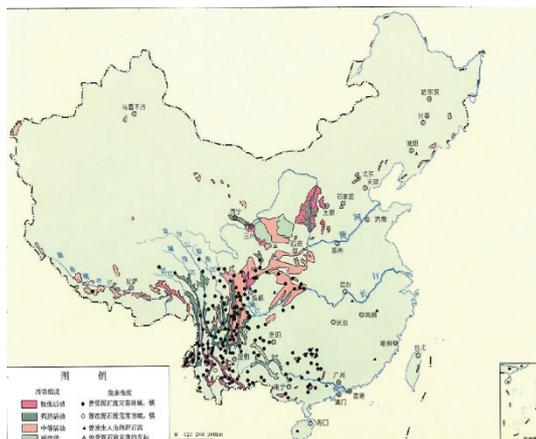


図-3.1.2 土砂災害発生箇所 (2004 年時点)

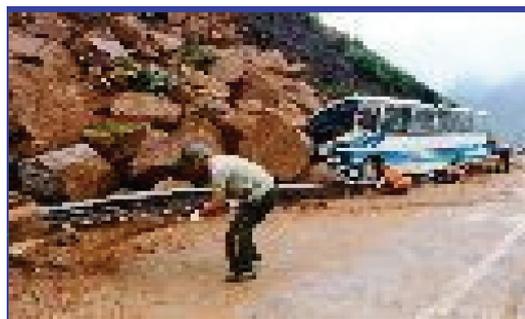


写真-3.1.1 土砂災害の例

3.1.2 土砂災害の実態と対策の概要

3.1.2.1 土砂災害の実態

図-3.1.2 は 2004 年までに中国で発生した土砂災害の分布を示したものである。1992 年から 2002 年の 10 年間だけ振り返ってみると、特に雲南(Yunnan)省、貴州(Guizhou)省、四川(Sichuan)省、陝西(Shanxi)省では 400 以上の地域で土砂災害が発生し、60 以上の地域が特に土砂災害の危険性があることが分かっている。土砂災害の大部分は 6 月から 9 月にかけて繰り返されてきた。このように、土砂災害により多数の犠牲者や資産の流出といった損失が生じている。写真-3.1 は土砂災害の事例である。

図-3.1.3 は中国国家治水利水救援本部事務局から出された統計データに基づく、土砂災害による死者数と洪水・土砂災害による死者数のうち土砂災害によるものの割合の推移を示したものである。図-3.1.3 より、次の 2 点を読み取れる。死者数が 1992 年から 2004 年の 10 年間で減っているにもかかわらず、土砂災害による災害は経済成長、都市化、人口と資産の集中に伴ってますます顕在化してきている。死者総数が 597 人に減少し、(土砂災害の) 割合も 50%以下となるなど、2003 年度は歴史的に重要な年であった。しかし、洪水による総死者数に占めるフラッシュフラッドや土砂災害による死者数は増加傾向にある。

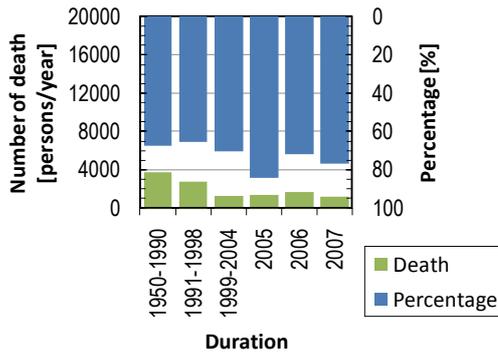


図-3.1.3 土砂災害による死者数の推移と洪水・土砂災害による死者数の割合

3.1.2.2 土砂災害防止法

中国では、水資源省(Ministry of Water Resource)が中国気象台(China Meteorology Administration)と土地資源省(Ministry of Land Resources)と共同して土砂災害防止法を全国で施行した2003年以降、土砂災害を防止することに特に注意が払われてきた。土砂災害防止法は主に以下の3点に着目したものである。

- 1) 土砂災害危険地域の明示
- 2) 警戒避難システムの構築
- 3) 土砂災害危険地帯に存在する家屋の移転の促進

以下に本プロジェクトに関係の深い1)と2)を報告する。

3.1.2.2.1 土砂災害危険地域の設定方法

土砂災害防止法に基づいて、各県は下記の項目を調査し、土砂災害危険地域を作成した。

- 1) 降水量条件
- 2) 地形条件
- 3) 社会経済条件

この土砂災害危険地域では、土砂災害のリスクのある地域と浸水の可能性のある地域

が示されている。

図-3.1.4 は土砂災害危険地域の作成手順を示したフローチャートで、この手順を陝西(Shanxi)省での事例をもとに示す。

図-3.1.5 は陝西(Shanxi)省の位置を示したもので、陝西(Shanxi)省は中国の中央部に位置する。

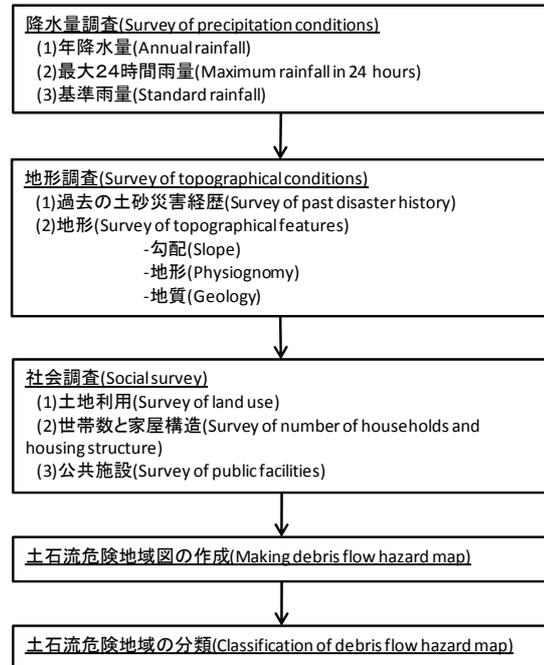


図-3.1.4 調査のための手順



図-3.1.5 陝西(Shanxi)省の位置

3.1.2.2.1.1 降水量条件の調査

表-3.1.1 は年平均降水量による分割の基準と分割結果を示したもので、その値が高い地域を地域Ⅰ、中程度の地域を地域Ⅱ、低い地域を地域Ⅲとした。まず、この表に従って、年平均降水量の大小により陝西(Shanxi)省内を分割した。

表-3.1.1 年平均降水量による分割

	条件	地域
地域Ⅰ (高)	$750 \leq R_m$	南部
地域Ⅱ (中)	$550 \leq R_m < 750$	中央部
地域Ⅲ (低)	$R_m < 550$	北部

R_m : 年平均降水量[mm]

表-3.1.2 は年最大 24 時間雨量による分割の基準を示したもので、その値が高い地域を地域 1、中程度の地域を地域 2、低い地域を地域 3 とした。なお、陝西(Shanxi)省では、年最大 24 時間雨量は土砂災害の発生と高い相関があった。この表に従って、先に分割した地域内を更に年平均最大 24 時間雨量の大小により再分割した。

表-3.1.2 年最大 24 時間雨量による分割

	条件
地域 1 (高)	$90 \leq H_{24}$
地域 2 (中)	$70 \leq H_{24} < 90$
地域 3 (低)	$H_{24} < 70$

H_{24} : 年最大 24 時間雨量[mm]

表-3.1.3 は限界降水量係数による分割の基準を示したもので、その値が高い地域を地域(1)、中程度の地域を地域(2)、低い地域を地域(3)とした。限界降水量係数は「ある期間の降雨の平均値」を「ある期間の限界降水量」で割った値であり、これら 2 つの降水量の「ある期間」は同じ期間である。限界降水量の概念は次のとおりである。

表-3.1.3 基準雨量による分割

	条件
地域(1) (高)	$1 \leq K$
地域(2) (中)	$0.84 \leq K < 1$
地域(3) (低)	$K < 0.84$

K : 基準雨量の係数

ある地域における降水量観測所が S 個、土砂災害が N 回発生したと仮定する。このうち j 番目の土砂災害に着目して、 i 番目の観測所における最大 t 時間降水量を R_{ij} とする。 R_{ij} を N 回の土砂災害について全て算出し、それらのうち最小値となる R_{ij} を i 番目の観測所における t 時間限界降水量とする。よって、 t 時間限界降水量は式(3.1)で計算できる。

$$R_{iCritical} = \text{Min}(R_{ij}) \quad (j=1,2,\dots,N) \quad \dots \quad (3.1)$$

ここで、 $R_{iCritical}$: 観測所 i における限界降水量係数である。ある地域における T 時間限界降水量は、その地域内にあるすべての観測所における T 時間限界降水量の平均値とする。

$$\bar{R}_t = \frac{\sum_{i=1}^S (R_{tiCritical})}{S} \dots (3.2)$$

ここで、 R_t : 限界降雨量係数、 S : その地域内の雨量観測所の総数である。なお、地域の大きさの目安はおおむね $20 \times 20 \text{km}^2$ としている。また、過去の記録を踏まえて、 t 時間は 6 時間としている。この t が前述の「ある期間」となる。

以上の分類を行った結果、降水量条件として図-3.1.6 が得られた。

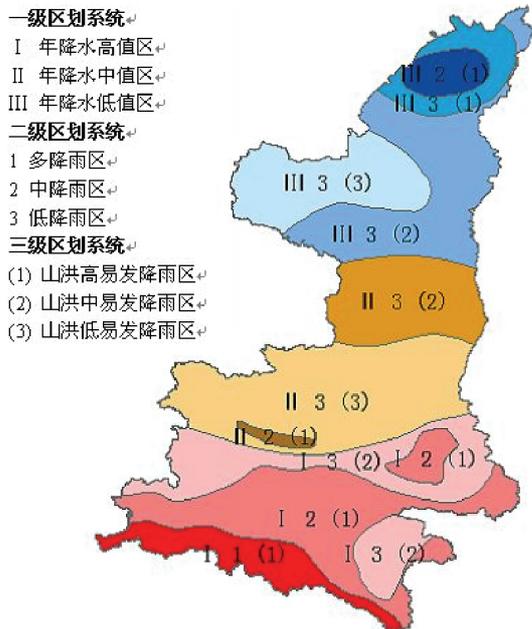


図-3.1.6 降水量指標の分布

3.1.2.2.1.2 地形条件の調査

次に、地形条件の調査を行った。図-3.1.7 は過去の記録から調べた、陝西 (Shanxi) 省内で発生した土砂災害の分布図である。図-3.1.8 は傾斜区分図、図-3.1.9 は地形分類図、図-3.1.10 は地質図である。図-3.1.11 は図-3.1.7 から 3.1.9 までを組み合わせで作成

した「土砂災害発生予想図」である。

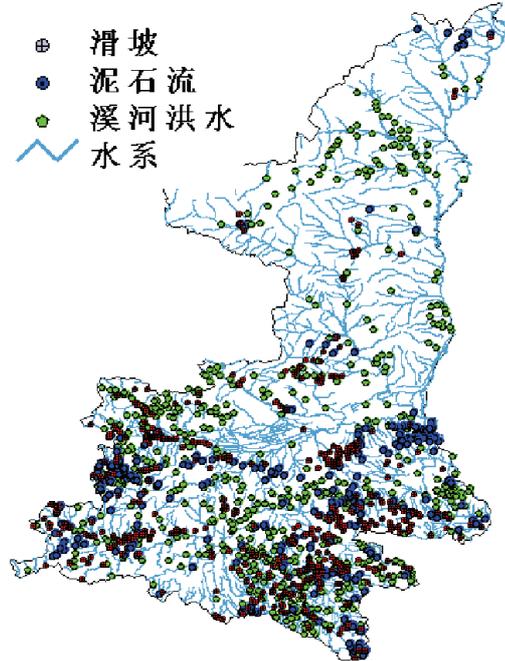


図-3.1.7 土砂災害の分布

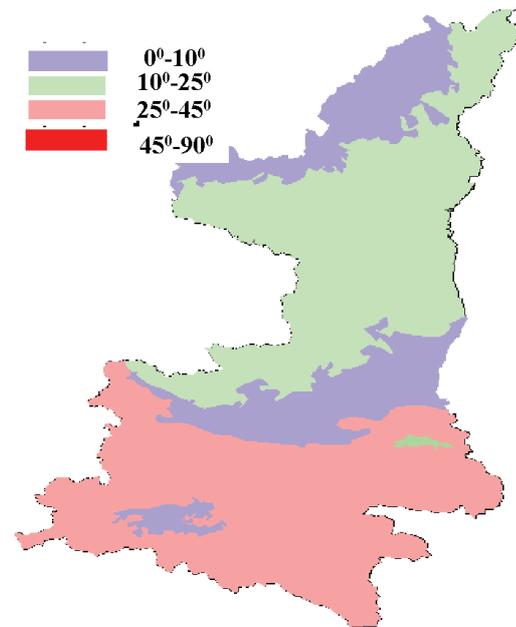


図-3.1.8 傾斜区分

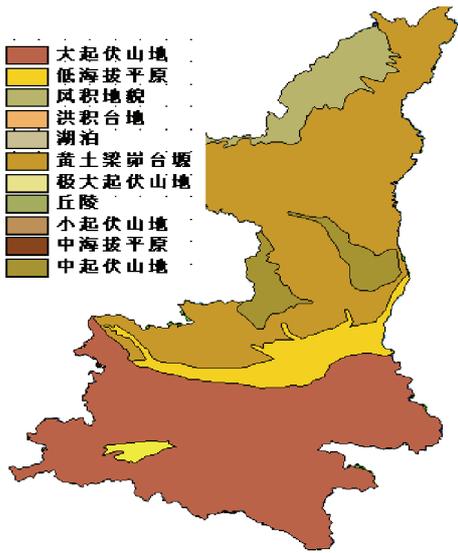


図-3.1.9 地形分類

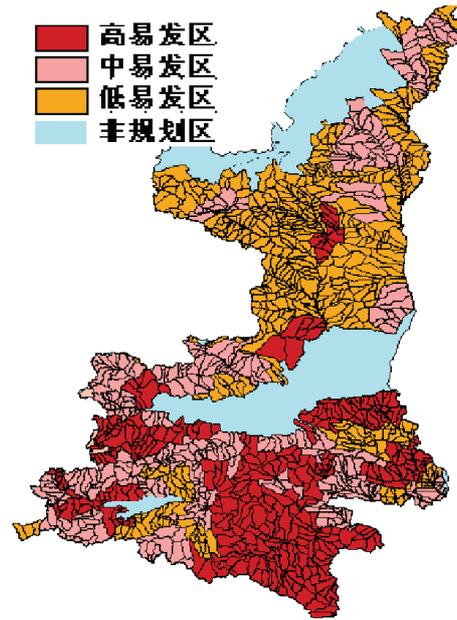


図-3.1.11 土砂災害発生予想図

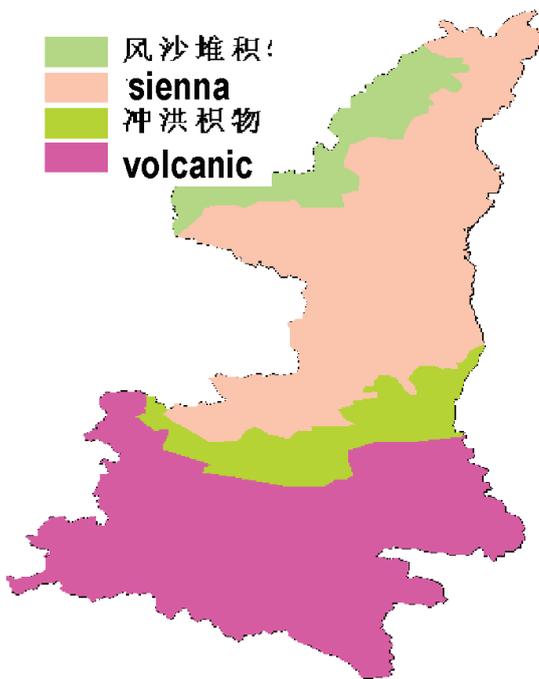


図-3.1.10 地質

3.1.2.2.1.3 社会経済条件の調査

次に、社会経済条件の調査を行った。図-3.1.12 は土地利用、世帯数と家屋の構造、公共施設や産業の状況に基づいて経済社会マップである。

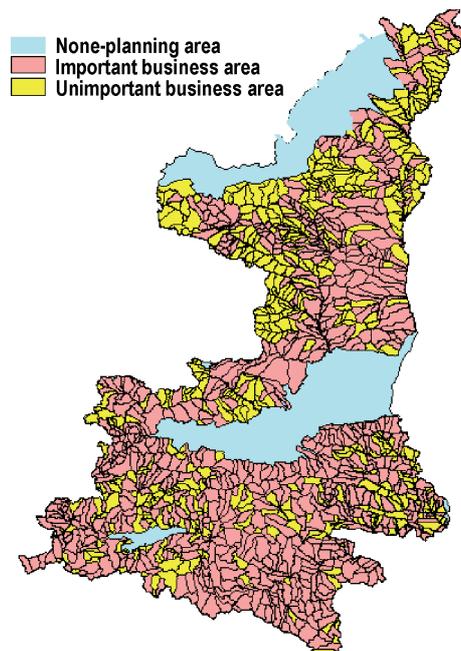


図-3.1.12 経済社会マップ

3.1.2.2.1.4 土砂災害危険地域の作成と地域の分類

次に、以上の分析結果に基づいて、土砂災害危険地域を作製する。図-3.1.13 は降水量条件（図-3.1.6）、地形条件（図-3.1.11）、社会経済条件（図-3.1.12）を組み合わせて作成した「土砂災害ハザードマップ」である。また、同図の中で土砂災害を防ぐべき地域を分類し、防御地域クラス 1、防御地域クラス 2、中程度防御地域、計画しない地域として示した。

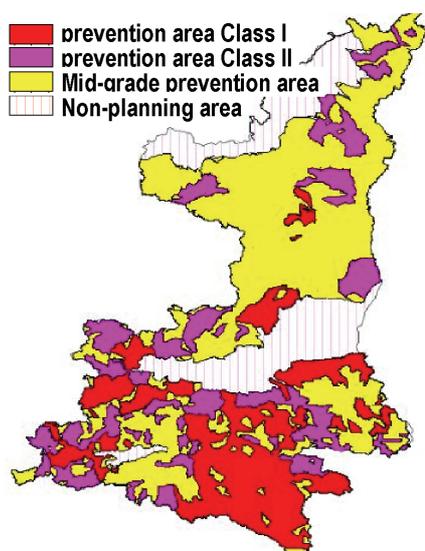


図-3.1.13 土砂災害ハザードマップと地域の分類結果

3.1.2.2.2 警戒避難システムの構築（本プロジェクトの成果）

3.1.2.2.2.1 方法

土砂災害のリアルタイム予想を行うための分析手法を検討した。具体的には、過去に観測された一連のデータに基づいた基準雨量を設定するものである。横軸（X 軸）に 24 時間雨量あるいは他の降雨強度の指標、縦軸（Y 軸）に連続先行雨量として図中にプロットする。基準線あるいは基準領

域を用いて 2 つの降雨グループに分離する。もし、降雨量が基準線あるいは基準領域を超えた場合、土石流が発生するとする。

3.1.2.2.2.2 モデル流域の概要

3.1.2.2.2.2.1 四川省广安市广安区石家沟 (Shi Jia Gou)

図-3.1.14 は長江(Yangtze River)の上流域で、四川省内を流れる Shijiagou 川の流域図である。Shijiagou 流域は、地形地質的特徴のため、土砂災害によく見舞われる流域である。過去の記録によると、Shijiagou 流域では平均的に 3 年に一度土砂災害が発生する。

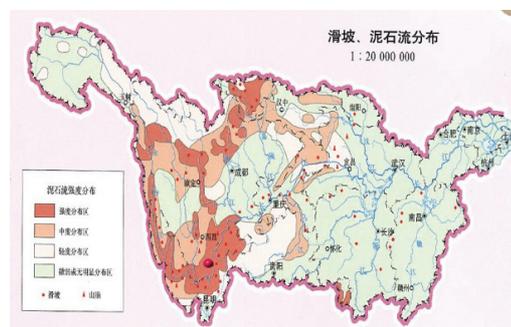


図-3.1.14 Shijiagou 川の流域

表-3.1.4 は Shijiagou 流域で過去に発生した土砂災害の規模を示したものである。

表-3.1.4 土砂災害の規模

No	Date	Discharged sediment	
		Area [m ²]	Volume[m ³]
1	1991/10/07	1500	1800
2	1991/10/08	3500	5250
3	1991/10/14	1620	1782
4	1991/10/18	1650	1980
5	1991/10/21	1830	2379
6	1993/09/12	2010	3015
7	1995/07/23	1350	1620

表-3.1.5 は1959年から1996年までの連続先行雨量と24時間雨量を示したもので、それぞれ土砂災害を発生させた降雨と土砂災害を発生させなかった降雨に分類した。

図-3.1.15 は表-3.1.5 のデータを発生降雨と非発生降雨に分離したものである。同図から以下の点が言える。

- 1) 続先行雨量が66mm以上で24時間雨量が28mm以上の場合、土石流は起こるかもしれない。
- 2) 連続先行雨量が66mm未満で24時間雨量が62mm以上の場合も、土石流は起こるかもしれない。

表-3.1.5 発生降雨と非発生降雨

	Date	Continuous antecedent rainfall [mm]	Daily rainfall [mm]	Total [mm]
Causing rainfall	Jul. 1959	2.1	84.8	86.9
	Sep. 1965	91.7	28.9	120.6
	Sep. 1968	14.7	63.2	77.9
	Aug. 1971	44.6	72.4	117.0
	Sep. 1978	91.4	106.3	197.7
	Jul. 1974	100.6	33.1	133.7
	Sep. 1976	97.9	42.9	140.8
	Sep. 1980	27.3	71.8	99.1
	28 Jun. 1981	16.7	66.9	83.6
	23 Jun. 1983	16.3	92.7	109.0
	7 Oct. 1991	66.3	3.2	69.5
	12 Sep. 1993	99.6	54.2	153.8
	23 Jul. 1995	80.4	2.0	82.4
Non-causing rainfall	1960	27.7	56.9	84.6
	1961	30.6	44.8	75.4
	1962	19.2	47.2	66.4
	1963	43.6	43.9	87.5
	1964	16.9	57.1	74.0
	1966	63.7	52.8	116.5
	1967	10.1	63.0	73.1
	1969	47.1	57.7	104.8
	1970	57.4	58.1	115.5
	1972	10.5	51.1	61.6
	1975	27.0	33.4	60.4
	1977	41.5	66.6	108.1
	1978	46.5	76.2	122.7
	1979	107.2	64.1	171.3
1992	22.9	83.8	106.7	
1994	56.0	42.8	98.8	
1996	35.2	66.6	101.8	

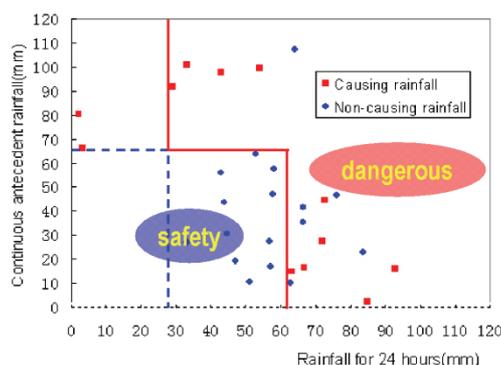


図-3.1.15 基準領域

3.1.2.2.2.2 四川省達州市宣漢县黄金镇 (Huangjin)

四川省達州 (Dazhou) 市も土砂災害予測警戒システムプロジェクトのパイロット地域として提案した。達州 (Dazhou) 市は土砂災害が頻発することで有名である。同市宣漢县黄金镇 (Huangjin) では、2005年に土砂災害が発生した。

図-3.1.16 は同市宣漢县黄金镇に近い同市宣漢县毛坝镇 (Maoba) 観測所における土砂災害基準線 (Critical Line) を示したものである。同図を同市宣漢县黄金镇 (Huangjin) 観測所でも適用してみた。図-3.1.17 はリアルタイムの予測事例である。この事例では土石流が発生したが、スネーク曲線が土砂災害基準線 (CL) を超えていたことが分かる。

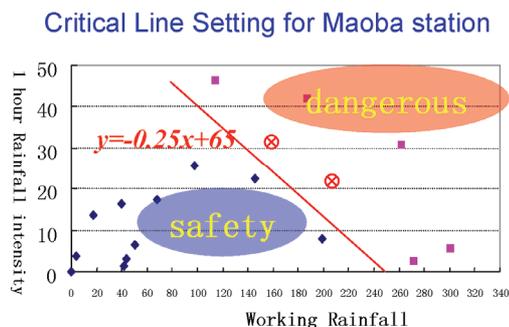


図-3.1.16 CL (四川省達州市宣漢县毛坝镇 (Maoba) 観測所)

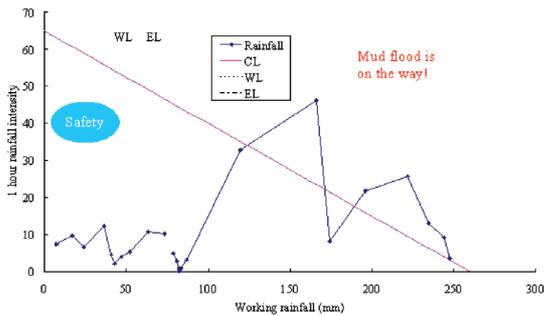


図-3.1.17 CL ラインを用いたリアルタイムの予測事例

3.1.2.3 モデル流域以外への展開

全国人民代表会議（National Council）は国家山岳洪水防止計画を2006年10月に承認し、施行した。この計画は溪流災害防止のために29県で山岳地域と丘陵地帯に着目したもので、200km²以下の小さな流域（32753流域）を主目的としたものである。この計画の投資は約250億ドルに達する。山岳洪水防止の第一目標は可能な限り犠牲者と負傷者を減らすことにあり、防止を優先とし、制御対策と救援対策を組み合わせている。また、構造物によらない対策に優先を与え、構造物によらない対策と構造物による対策を組み合わせている。人々の移住や丘陵地帯や山岳地域のマネジメントの強化も含んでいる。また、この計画のもと、気象監視システム計画として自動気象監視ネットワークの整備や気象レーダー観測所の整備等が実施された。また、1926の土石流・泥流危険溪流と、2676の地すべり危険地域において、災害の発生が監視されている。

図-3.1.18は3.1.2.2.1に示した方法をモデル流域以外に適用し作製した土砂災害危険地域である。なお、表-3.1.3に示した限界降

水量係数による区分を、地域（1）で k が1.2以上、地域（2）で k が1.0以上で1.2未満、地域（3）で k が1.0未満と変更した。

図-3.1.19はフラッシュフラッド予測警戒システムのうち降水量を監視するためのシステムの画面で、限界降水量による方法の場合の画面である。限界降水量・最大降水量・年超過確率規模の3つの指標から、降水量の変化を監視できる。

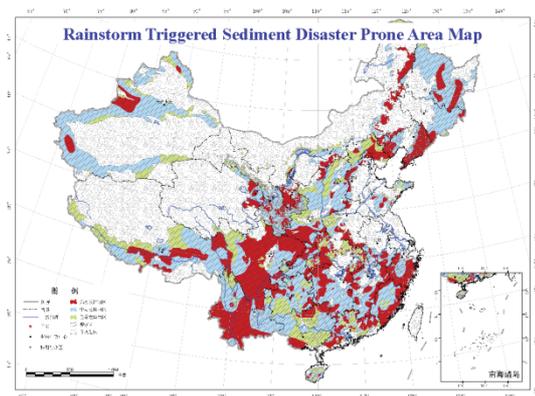


図-3.1.18 土砂災害危険地域



図-3.1.19 フラッシュフラッド良警報システムの画面表示例

3.1.3 まとめ

山岳溪流洪水は中国の山地流域で生じる自然災害の中で最も犠牲者の多い災害である。

国家山岳洪水防止計画が中国で承認され

た。山岳洪水災害制御はまず計画を策定するべきで、防止に着目するべきである。そして、構造物によらない対策と、制御と救援対策の組み合わせに集中するべきである。なお、この計画は、監視、データ蓄積、警報プラットフォーム、情報照会、予測、判断（decision-making）、警報の発令で構成される。

今後このシステムを改善するためには、以下の点に着目しなければならない。

- (1) 量的降水量予測（Quantitative Precipitation Forecast: QPF）
- (2) レーダー雨量計とそれを用いた予測
- (3) 物理分布モデル
- (4) 地すべりと泥岩流れの予測モデル

3.2 日本(Japan)

3.2.1 概要

日本の総面積のうち、7割程度が山地で、残りの3割程度が平野である。土砂災害は山地や山麓部で発生しやすいため、土砂災害に対して安全な土地は多くない。

図-3.2.1は1987年時点での年間降水量の分布を示したものである。日本全土で見ると、概ね海沿いの地方で年間降水量は多い。1971年から2000年までの観測結果によれば、年間降水量は平均値で見ると、802mmから3922mmまでの範囲で分布していた。梅雨の季節は例年6月から7月である。台風は1971年から2000年の平均値で見ると、年に2.6回だけ日本に上陸している。台風の上陸は8月と9月に集中している。降水量は梅雨の季節と台風の季節に多くなる。

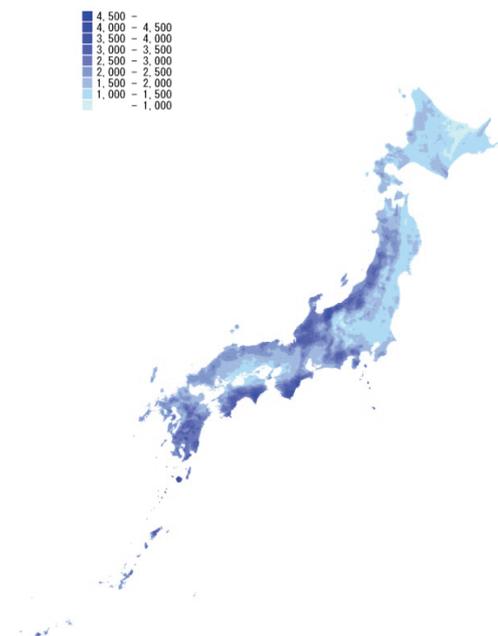


図-3.2.1 年平均降水量の分布（昭和62年度時点）

日本では、土砂災害を防止し、被害を軽減させるための対策として、構造物による

対策と構造物によらない対策を講じている。写真-3.2.1は構造物による対策の一例で、土石流を捕捉するための砂防えん堤とそれに接続した流路を撮影したものである。写真-3.2.2は構造物によらない対策の一例で、降雨状況を監視する降水量計と警戒情報を住民に伝えるためのスピーカーである。

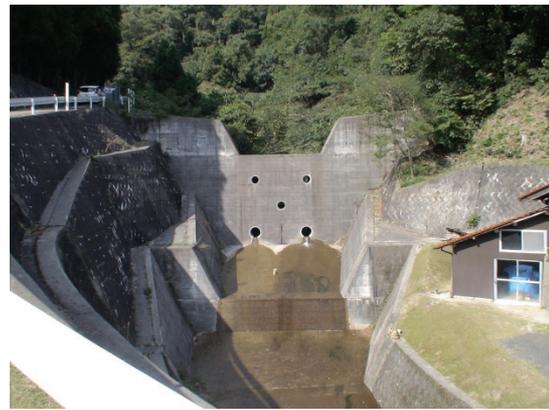


写真-3.2.1 構造物による対策の例



写真-3.2.2 構造物によらない対策の例

日本の行政組織は国、都道府県、市町村の3段階で構成される。構造物による対策

は主に都道府県レベルと国レベルで実施される。国の担当省庁は国土交通省である。構造物によらない対策は主に市町村レベルと都道府県レベルで実施される。本プロジェクトで対象としている、土砂災害に対する予警報は主に国土交通省砂防部と気象庁、都道府県により実施されている。

3.2.2 土砂災害の実態

図-3.2.2は2003年から2007年までの最近5年間に報告のあった土砂災害の件数を示したものである。日本では、土砂災害は土石流・地すべり・がけ崩れの3種類に分類している。これらの中で、最も発生頻度の高い土砂災害はがけ崩れによるもので、土石流と地すべりは概ね同じ件数であった。土砂災害（6655件）のうち16%（1078件）が土石流、17%（1139件）が地すべり、67%（4438件）ががけ崩れによるものであった。

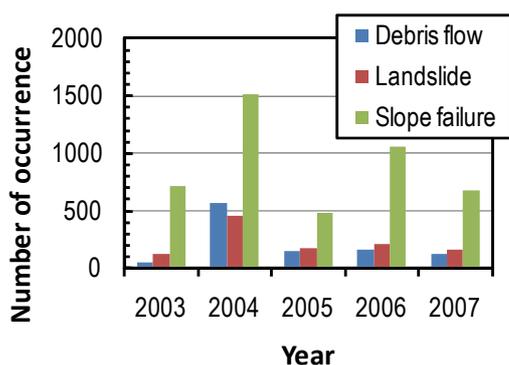


図-3.2.2 土砂災害の発生頻度

図-3.2.3は2003年から2007年までの最近5年間に、土砂災害によって亡くなられた方々の数を示したものである。死者数は土石流、がけ崩れ、地すべりの順で小さくなった。死者数（140人）のうち57%（79人）が土石流、11%（16人）が地すべり、32%（45人）ががけ崩れによって生じた。死者

数の平均をとると、土石流による土砂災害は0.073人/件、地すべりによる土砂災害は0.014人/件、がけ崩れによる土砂災害は0.010人/件となった。このように、土石流による土砂災害は大きな人的被害をもたらす傾向にあった。

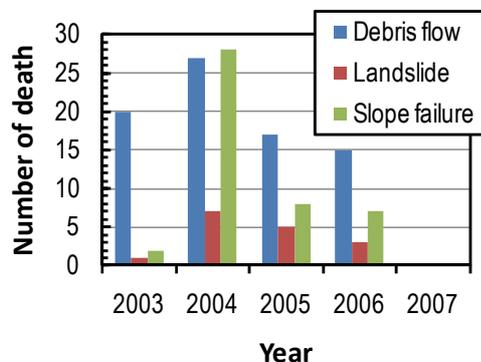


図-3.2.3 土砂災害による死者数

図-3.2.4は土石流による土砂災害の発生個所を示したもので、2001年から2005年までの事例である。土砂災害は全国的に発生したことが分かる。

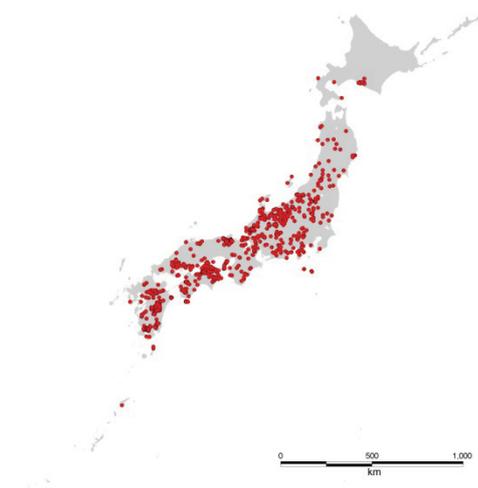


図-3.2.4 土石流による土砂災害の報告のあった箇所

3.2.3 警戒避難システムの構築（本プロジェクトの成果）

日本は本プロジェクトのリーダーとして、プロジェクトの進行に対する技術的な課題を解決する手法を提案し、進捗のマネジメントを行った。以下にその中で得られた成果を紹介する。

3.2.3.1 ガイドラインの作成

2004年ソウルワークショップにおいて、日本で開発したガイドラインを参加国に配布した。このガイドラインは本報告の第2章で紹介したような方法を詳細に解説したもので、国内で当時の時点で運用していた方法を取りまとめたものである。2004年ソウルワークショップにおいて配布したガイドラインを巻末に掲載する。

3.2.3.2 設定事例の作成

日本では、降水量を観測するための装置を全国的に設置しており、それらの観測所における降水量のデータも蓄積していた。また、3.2.2で紹介したように毎年土砂災害の発生についてその概要をドキュメント化して蓄積していた。そのため、2004年ソウルワークショップで配布したガイドラインは、降水量のデータと土砂災害のドキュメントがそろっている国・地域では適用しやすかったが、それらのデータが十分にそろっていない国・地域では適用困難であった。

そこで、日本国内で設定された土砂災害発生危険基準線の事例を収集して、その直線の傾きとY切片の数値を地域・降水量・地質の観点から分類した。それにより、降水量のデータと土砂災害のドキュメントがそろっている国・地域でも、概ねの土砂災

害発生危険基準線を設定できるようにした。なお、この手法を採用した国・地域では、降水量のデータと土砂災害のドキュメントがそろってくれば、土砂災害発生危険基準線を見直していく必要はある。

上記の解析結果と簡単な設定事例を作成し、2005年クアラルンプール・ワークショップにおいて配布した。その資料を巻末に掲載する。

3.2.3.3 テクニカルヘルプデスクの設置

ガイドラインと設定事例の電子データを自由にダウンロードできるようにするためと、技術的な課題をメンバー間で共有できるようにすることを目的として、テクニカルヘルプデスクを国際砂防ネットワーク (<http://www.sabo-int.org/index.html>) のホームページ内に開設した。

3.2.3.4 適用事例の紹介

図-3.2.5は土砂災害に関する警戒情報の伝達の流れを示したものである。2009年時点では、都道府県と地方気象台とが連携して、土砂災害警戒情報の発表を判断する。土砂災害警戒情報が発表されると、都道府県は市町村にその旨の情報を伝達し、市町村は住民に対して情報を伝える。一方、地方気象台は都道府県に情報を提供するとともに、テレビ・ラジオ・インターネットを通じて住民に情報を伝達する。なお、都道府県では、図-3.2.6に示すように追加情報として降水量の時間変化からレベル1から4の段階を判断し、情報を提供している。

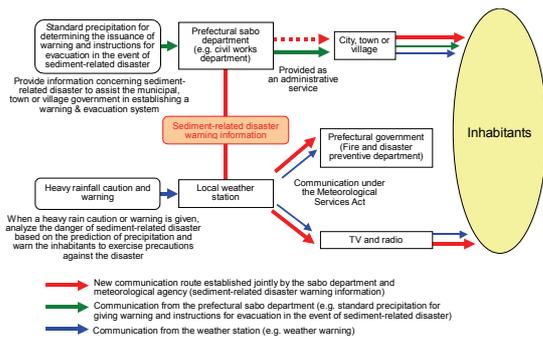


図-3.2.5 土砂災害に関する情報の伝達経路

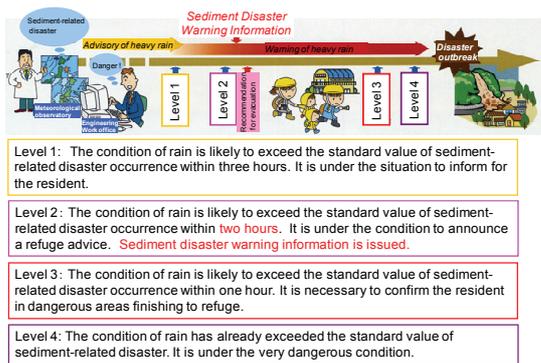


図-3.2.6 追加情報と判断基準例

本報告で紹介する事例は、2006年7月15日から16日にかけて島根県で発生した事例である。写真-3.2.3は土砂災害の様子を撮影したものである。



写真-3.2.3 島根県において発生した土砂災害

図-3.2.7は時間雨量と図-3.2.6で判断した危険度レベルの時間変化を示したものである。また、図-3.2.8は土砂災害発生危険基準線とスネーク曲線を示したものである。土砂災害は2006年7月19日午前3時30分に発生した。土砂災害警戒情報は7月17日午前6時55分に発表され、市役所は住民の代表者に注意を喚起した。降水量の時間変化に基づいて、危険度レベルが7月18日午後9時30分から午後11時までの間にレベル2から4へと上昇した。午後11時ごろには、スネーク曲線が土砂災害発生危険基準線を越えた。7月18日午後11時54分には、市役所が再度公共ラジオを通じて土砂災害に対する注意を喚起した。翌日の19日午前3時30分に土砂災害が発生した。同日午前10時35分には、土砂災害警戒情報が解除された。この事例では幸いにも土砂災害が発生する前に土砂災害警戒情報が発せられ、住民に注意を喚起することができた。

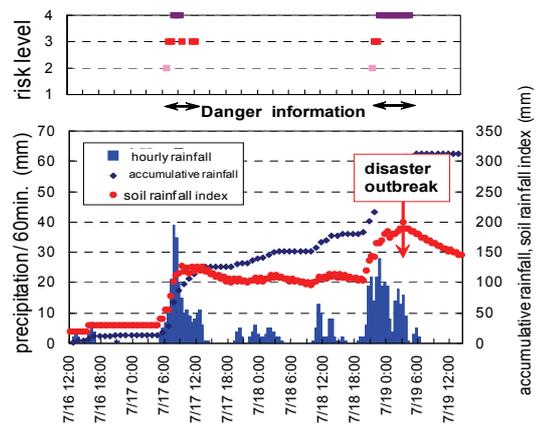


図-3.2.7 降水量と危険度レベルの時間変化

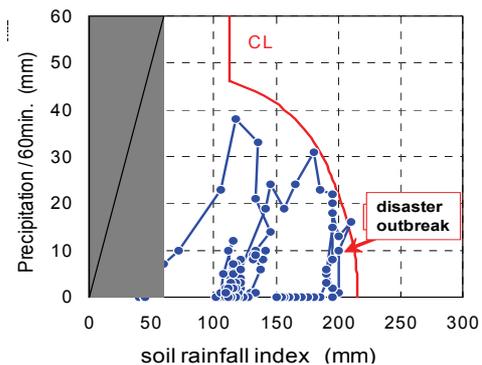


図-3.2.8 土砂災害発生危険基準線とスネーク曲線

3.2.4 今後の課題

日本だけでなくメンバーの各国において土砂災害は大きな被害をもたらす自然災害の一つである。そのため、その被害を軽減するための対策が求められている。その対策の中で構造物によらない対策はメンバーの中では財政的な面から有望な対策となっている。そこで、本プロジェクトで設置したテクニカルヘルプデスクを通じて、メンバーが各自の国内で予警報システムを構築する際の技術的支援を継続したいと考えている。

3.3 マレーシア(Malaysia)

3.3.1 概要

マレーシアは東経 100° から 119°、北緯 1° から 7° の範囲に位置し、面積 330,000km²である。全土のうち 68%は森林で覆われている。人口は 23 百万人である。

北東からの季節風は 11 月から 1 月、南西からの季節風はマレー半島では 4 月から 5 月で東マレーシアでは 5 月から 7 月である。気温は 21℃から 32℃で、湿度は 80%である。年間降水量は 2420mm から 3830mm である。

3.3.2 土砂災害の実態

マレーシアでは地すべりによる人的被害が懸念される。最近発生した地すべりには、2006 年 5 月 31 日に発生した Kg. Pasir での地すべり (写真-3.3.1)、2004 年に発生した Gua Tempurung での地すべり (写真-3.3.2)、2002 年に発生した Simunjang, Sarawak での地すべり (写真-3.3.3) 等がある。



写真-3.3.1 Kg. Pasir での地すべり

3.3.3 警戒避難システムの構築(本プロジェクトの成果)

3.3.3.1 方法

マレーシアでは 2.3 で示された方法に基づき土砂災害発生危険基準線 (CL) を設定

し、スネーク曲線がその土砂災害発生危険基準線を超えた時点で警報を発するものである。



写真-3.3.2 Gua Tempurung での地すべり



写真-3.3.3 Gua Tempurung での地すべり

以下に示す手順で土砂災害発生危険基準線を設定した。

- (1) 発生降雨と非発生降雨の設定
- (2) 土砂災害の発生日時の特定
- (3) 実効雨量の算出
- (4) 最大時間雨量の算出

- (5) 土砂災害発生危険基準線の設定
- (6) 警戒基準線 (WL) の設定
- (7) 避難基準線 (EL) の設定
- (8) スネーク曲線の描画

3.3.3.2 モデル流域の概要

図-3.3.1 はモデル流域の位置を示したものである。モデル流域はクアラルンプールの北に位置するキャメロン高原(Cameron Highland)とした。

表-3.3.1 は近年にキャメロン高原で発生した土砂災害で、土石流や地滑りによって発生した 10 事例を記載した。多い事例で 241 名の方が犠牲となった。また、最大で 15000 人の方が影響を受けた事例もあった。このように土砂災害より大きな被害が生じている。

図-3.3.2 はキャメロン高原における降水量観測所の位置を示したものである。キャメロン高原には、1 つの自動観測所と 7 つの手動観測所の計 8 カ所に降水量観測所を配置している。



図-3.3.1 キャメロン高原の位置

表-3.3.1 キャメロン高原で発生した土砂災害の一覧

Date	Incident	Number of death
24 Oct., 1993	Kandslide in Km58, Kuala Lips-Gua Musang road	1
11 Dec., 1993	Highland Towers collapse after landslide	48
30 Jun., 1995	Genting slip road debris flow	20 (22 injured)
29 Aug., 1996	Pos Dipang debris flow	44
26 Dec., 1996	Pampang River, Keningau, west coast of Sabah (storm GREG) debris flow	241 (102 people missing, 6308 homes damaged)
4 Feb., 1999	Kg. Gelam landslide	17
15 May, 1999	Landslide at Bukit Antarabangsa Hulu Kelang, Selangor	(100 people trapped on the peak of Wangan Height)
6 Jan., 2000	Mudflow in Ca,eron Highland	6 (15000 affected)
27 Dec., 2001	Kg. Sri Gunung Pulau, Pontian, Johor	5 (4 houses carried away by strong mud-flow)
20 Nov., 2002	Taman Hillview landslide	8

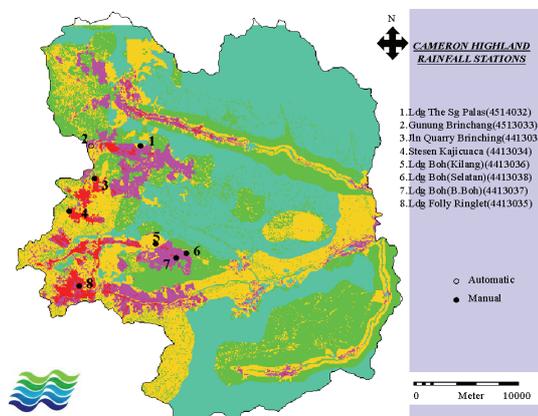


図-3.3.2 降水量観測所の位置

3.3.3.3 土砂災害発生危険基準線等の設定

図-3.3.3 は土砂災害発生危険基準線を設定するために収集した降水量データである。発生降雨は 3 事例、非発生降雨は 75 事例収集した。なお、非発生事例のうち 2 つの事例では、地すべりが発生したと考えられるが、記録がなかった。

Cameron Highlands			
summary			
Date	Working rainfall	Occurance mm/hr	Non-occurance mm/hr
		Occurrences	Non-occurrences
06-12-94	83.9	31.4	
06-12-98	75.9	22.9	
06-01-00	86.4	21.3	
25-01-99	32		12.9
22-04-94	19	(3 Events)	13.1
08-02-94	39		20.4
18-03-94	35		20.3
22-08-94	24.9		18.1
22-06-96	28.3		11.3
			(75 Events)

図-3.3.3 土砂災害発生危険基準線の設定のために収集した降水量データ

図-3.3.4、図-3.3.5 は収集した降水量データを X 軸に最大 1 時間雨量[mm/h]、Y 軸に実効量[mm]をプロットしたもので、それぞれ 2003 年時点のものと 2004 年時点のものである。図上で発生降雨と非発生降雨を分離できるよう直線を描画し、その直線を土砂災害発生危険基準線とした。2004 年時点の土砂災害発生危険基準線は 2003 年時点のものに比べて小さな Y 切片の値、大きな X 切片をとり、安全領域の面積をより大きなものとした。これは非発生降雨のデータが加わったため、安全な領域が広がったためである。

図-3.3.6 は 2006 年 4 月 11 日に発生した地すべりの位置である。また、同図中には近隣の Gunung Brinchang 降水量観測所の位置も示した。この土砂災害の場合、3.3.3.4 で説明するオンラインシステムは地すべりの発生前に警報を寄せられなかった。これは、降水量の条件が「日雨量 40mm 以上、2 時間雨量 30mm 以上」という基準に達しなかったためである(図-3.3.7)。このようにオンラインシステムが警報を発しなかった理由の一つに、降水量観測所が地すべりの発生箇所から 10km 程離れた場所にあったため、地すべりの発生した箇所の実際の降水

量を把握できなかったことが挙げられる。これを受けて、後日、地すべり箇所に近い Tanah Rata に新たに降水量観測所を設置した。

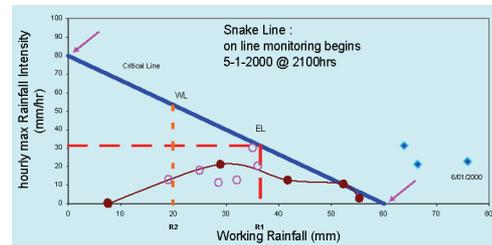


図-3.3.4 土砂災害発生危険基準線と警戒線・避難線の設定結果 (2003 年)

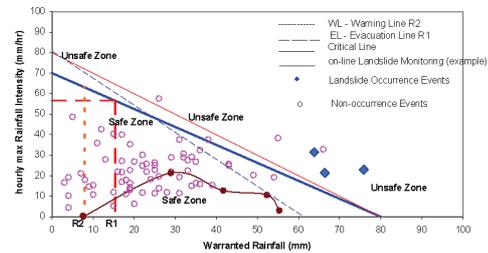


図-3.3.5 土砂災害発生危険基準線と警戒線・避難線の設定結果 (2004 年)

3.3.3.4 モデル流域以外への展開

マレーシアでは、リアルタイムでの予警報を行うためにインターネットでの情報伝達を行うオンラインシステムを開発した。

図-3.3.7 はオンラインシステムの表示画面である。

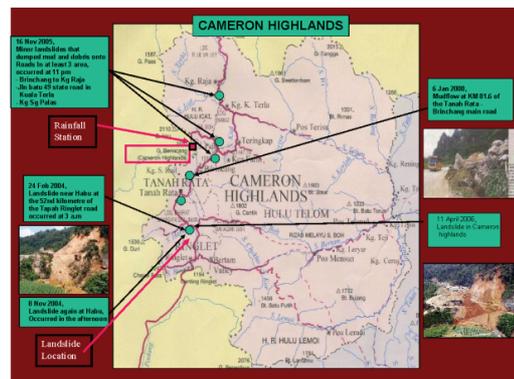


図-3.3.6 地すべりの発生箇所と雨量観測所の位置

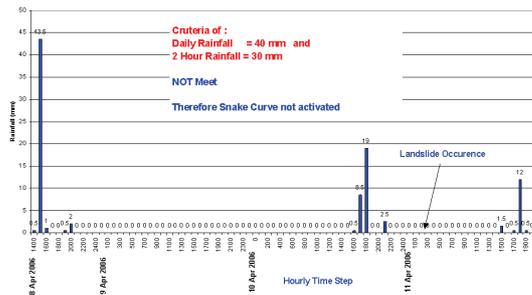


図-3.3.7 地すべり発生前後の降水量の時間変化

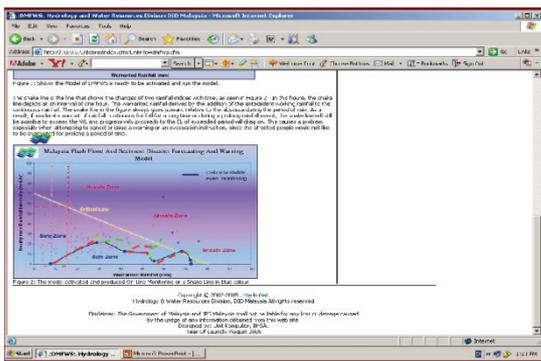


図-3.3.7 インターネット・システムの表示画面

3.3.4 今後の課題

過去の災害（発生降雨と非発生降雨）を解析することによって、CLの精度向上を図る必要がある。

3.4 タイ(Thailand)

3.4.1 概要

タイでは、土砂災害が頻発しており、行政組織だけではなく、地域住民のボランティア参加による警戒避難体制の構築 (Mr. Disaster Warning プロジェクト) を行っている。その中で、フラッシュフラッドや地すべりによる土砂災害に対する避難の判断は主に降水量の情報によって行われている。

3.4.2 土砂災害の実態

図-3.4.1 は最近発生した、主な土砂災害の位置を示したものである。また、表-3.4.1 はフラッシュフラッドや地すべりによって生じた土砂災害の犠牲者数を示したものである。写真-3.4.1 は1988年11月22日に Pipoon で発生した土砂災害を撮影したものである。この災害では230名の方々が犠牲となった。このように、タイでは土砂災害による被害が頻発している。

最近では、2004年6月6日から23日にかけてタイに上陸した Chanthu 台風が夜土砂災害がある。図-3.4.2 は Chanthu 台風の経路図である。Chanthu 台風により、Tak 県 Mae Sod 市では、6月21日から23日にかけての3日間で262mmの降水量を観測した。

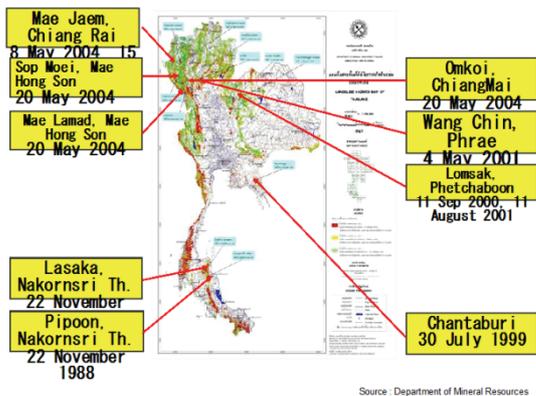


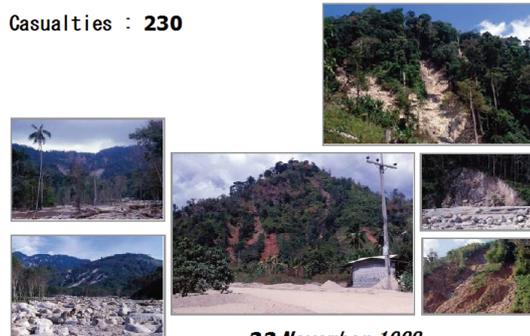
図-3.4.1 主な土砂災害

表-3.4.1 主な土砂災害による犠牲者数

Region	Year	Fatalities
South	Nov 1988	230
South	Nov 1988	12
East	Jul 1999	1
North	Sep 2000	12
North	May 2001	43
North	Aug 2001	136
North	Sep 2002	1
North	May 2004	7
North	May 2004	1
North	May 2004	5
South	May 2004	3
North	May 2006	88

Pipoon, Nakorn Sri Thammarat

Casualties : 230



22 November 1988

Source : Department of Mineral Resources

写真-3.4.1 1988年11月22日に Pipoon で発生した土砂災害の様子



図-3.4.2 Chanthu 台風の経路

3.4.3 警戒避難システムの構築

3.4.3.1 予警報システム(本プロジェクトの成果)

タイでは、2005 年度に内閣が早期警戒システムの導入について署名した。このシステムは、災害リスクを考慮して（抽出された）優先的に対応するべきリスク地域（2370 村）を対象としている。その内訳として、リスクが高い村が 398 村、リスクが中位の村が 576 村、リスクの低い村が 1396 村である。それぞれの村には次のような装置を導入した。

- ①自記降水量計
- ②土壌水分計
- ③早期警戒システム
- ④コミュニケーション・リンク・システム

写真-3.4.2 は装置の一例である。



写真-3.4.2 観測装置の例

図-3.4.3 はシステムの概念図である。このシステムはフラッシュフラッドが頻発している上流域に配置して、下流域の人々に避難すべきかを判断したり、上流域で豪雨が生じているときに何をすべきかを判断したりすることを狙っている。

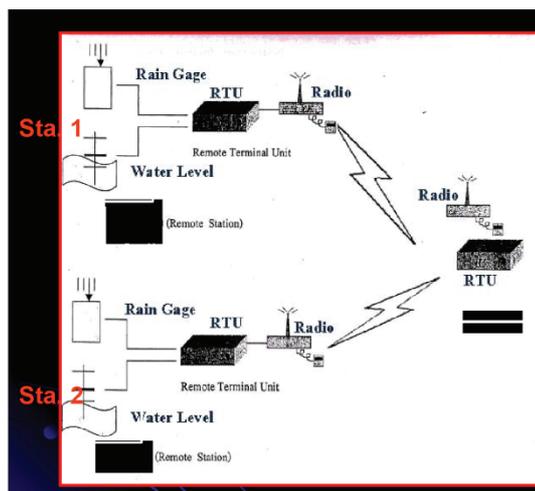


図-3.4.3 システムの概念

図-3.4.4 はシステムの運用手順を示したフローチャートである。上流域に配置した観測所からの降水量データを受信し、降水量の増加が見込まれる豪雨が予想される場合には、観測所に警戒信号を送信し、即座にすべてのコミュニティーに情報を伝達することになる。

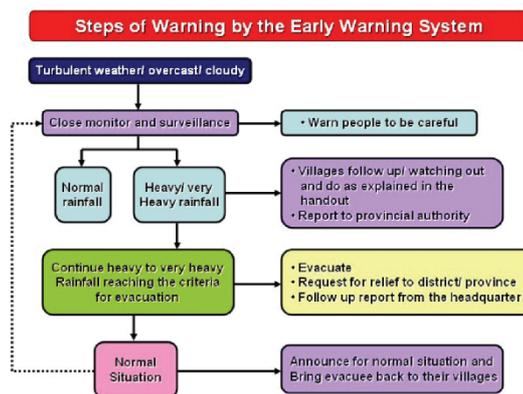


図-3.4.4 手順

図-3.4.5 は避難の判断をするための基準である。先行雨量指数 (API) がある基準に達すると、警報を発する。

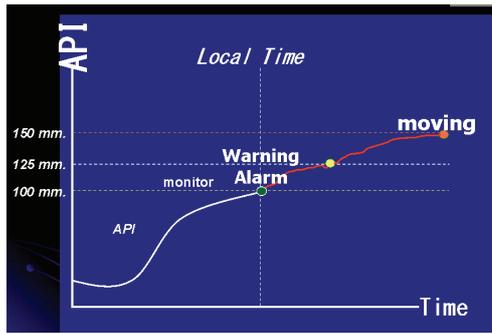


図-3.4.5 警報判断基準

図-3.4.6 は警戒情報の流れを示したものである。情報には、洪水警報、土砂災害警報、渇水警報、降雨流出に関するものがある。各観測装置からの警戒信号が地域住民に届くと、その情報が地方自治体に伝わる。その後、各システムを通じて、調整センターである研究開発水文局（Coordinating Center Bureau of Research, Development and Hydrology）に伝えられる。

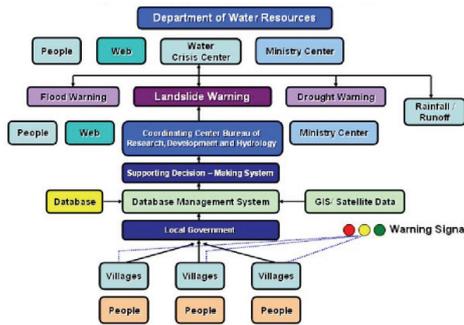


図-3.4.6 情報の流れ

3.4.3.2 Mr. Disaster Warning プロジェクトの紹介

ボランティアで参加する地域住民の役割は次のような項目である。

- ① 気象監視
- ② 降水量計のチェックと記録
- ③ 豪雨が生じた際に警戒手順の実施
- ④ 落下物や土壌の濡れ具合の観察
- ⑤ 水の色、落下物や水の流れの音の観察
- ⑥ 地すべりやフラッシュフラッドに関する知識の住民への啓蒙

- ⑦ 避難計画の作成
- ⑧ 村民への警告の伝達と避難の開始
- ⑨ 指定した場所への避難
- ⑩ 見失った人の捜索
- ⑪ 避難民の再確認と行方不明者のリストの作成
- ⑫ 避難センターへの報告
- ⑬ 避難民の避難地への誘導
- ⑭ 責任者への報告
- ⑮ 必需品と状況報告に関する情報の収集とその作業の関係者間の調整
- ⑯ 非常センターの責任者への報告
- ⑰ 避難した人々の帰宅の支援

このような役割を果たすため、ボランティアで参加する地域住民は監視・警報・避難の3つの観点について訓練を受ける。監視については、地すべり、気象、地すべり防止に関する知識を教わるとともに、水位や斜面の様子を監視する方法、装置の運用手順等を教わる。警報については、種類として準備警報と避難警報があることを教わる。さらに、避難については、避難を実施するための手順を教わるとともに、警報を受けた後、住民を安全地域に移動するよう伝えたり、避難活動を調整したりする方法を教わる。

このプロジェクトは、防災部（Department of Disaster Prevention and Mitigation）、地方自治部（Department of Provincial Administration）、タイ気象部（Thai Meteorological Department）、鉱物資源部（Department of Mineral Resources）の連携で行われている。2006年8月31日現在で、約5000人のボランティアの地域住民が訓練を受けた。

3.5 アメリカ合衆国(USA)

3.5.1 概要

本プロジェクトでは、アメリカ合衆国国家気象サービス (National Weather Service) のグアム (図-3.5.1) が管轄している領域を対象としている。この部署では、マリアナス、パラウ、日付変更線の西から東経 130 度で赤道から北緯 25 度までのマーシャル諸島を管轄し、公共・海洋・火災・航空、熱帯サイクロンの監視警報助言を行う。本プロジェクトでは、特にミクロネシア連邦を試験地としている。



図-3.5.1 NWS の組織

図-3.5.2 はミクロネシア連邦の位置を示したものである。ミクロネシア連邦はちょうど赤道より北側で西中央太平洋に幅 2500km に広がり、YAP, CHUUK, POHNPEI, KOSRAE の 4 州で構成される。連邦内には、607 つの島があり、そのうち 65 の島で人が暮らす。POHNPEI が最大かつ最も人口が多く、湿っている。ミクロネシア連邦では、台風はこれまでめったに通過しなかったが、1987 年 11 月に超巨大台風 NINA、2002 年 7 月に台風 Chata'an、2002 年 12 月に台風 Pongsona が通過した。

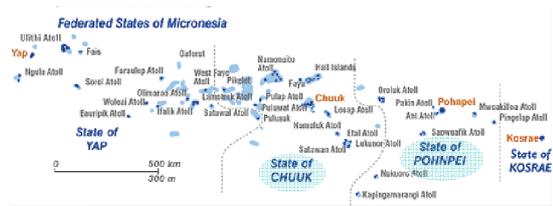


図-3.5.2 ミクロネシア連邦の位置

3.5.2 土砂災害の実態

ミクロネシア連邦 CHUUK 州では、試験的な試みとして地すべりハザードマップを作成した。CHUUK 州では、人口が集中していることに加えて、台風の通過が増えているため、地すべりによる土砂災害の発生の可能性が高まっている。

2002 年 7 月 1 日から 2 日にかけて、台風 CHATA'AN が豪雨をもたらした (図-3.5.3)。この豪雨は 500mm の降水量をもたらした。その豪雨の期間とその後数日の間で、200 カ所以上で地すべりが発生した。地すべりの大部分は 7 月 2 日の午前 7 時から午後 2 時課での間に発生した。それにより 47 人の方々が亡くなった。この災害から以下のような点を今後進めていく必要があると分かった。

- (1) 地すべり可能性マップに基づく地すべりハザードゾーンの指定と、安全な地区での将来の住宅建設
- (2) 不安定なクラックが生じている地域の特定の認知
- (3) 土地利用に向けた啓蒙システムの開発と政府機関や国際組織による最適技術支援の開発
- (4) 植林に関する人々への啓蒙
- (5) 災害について住民に警報を伝えるためのコミュニケーション・システムの開発と避難用の安全地域の確

- 立
 (6) 地すべりハザードマップの更新の
 継続

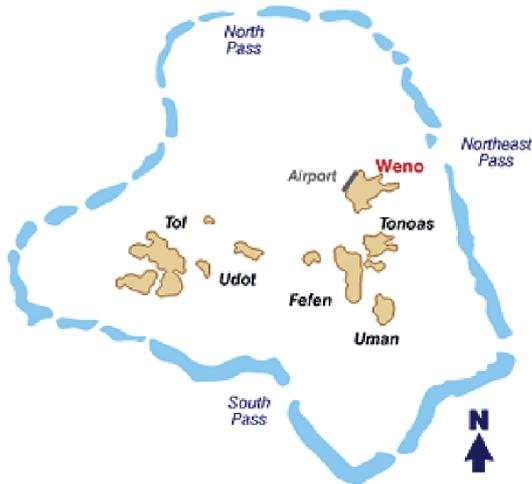


図-3.5.3 地すべりの発生した諸島

3.5.3 警戒避難システムの構築(本プロジェクトの成果)

ミクロネシア連邦において、連邦政府と国家気象サービス (NWS) が地すべり予測ガイドラインを策定した。このガイドラインは、地形と地被・土地利用条件を考慮して、降水量・その期間・その強度に基づく閾値を設定したものである。たとえば、PALAU では、以下のような基準を設定した。

- (1) 予報基準(Forecasting criteria) : 36 時間で 5~6 インチの降水量で、今後 1 時間当たり 0.5 インチの降水量が見込まれる場合
- (2) 限界基準(Critical criteria) : 36 時間で 8 インチの降水量で、今後 1 時間当たり 0.5 インチの降水量が見込まれる場合

その他の地域での事例として、台風 Chata'an での事例に基づいて、CL ラインの

概念を統合化して、2007 年に CHUUK 諸島での土石流ハザードマップを作成した。また、サモア諸島でも、国家気象サービスが地すべり予測のためのガイドラインを開発した。

国家気象サービス (NWS) は、レーダー観測と地上観測に基づいて降水量の強度と累加降水量を計測する「フラッシュフラッド監視プログラム(FFMP)」を行っている。このプログラムでは、2~15km² の小流域も対象としている。なお、それぞれの小流域では警報を発するための基準 (閾値) を定めた「フラッシュフラッドガイダンス」が定められている。図-3.5.4 はフラッシュフラッド監視プログラムのシステムの画面例である。

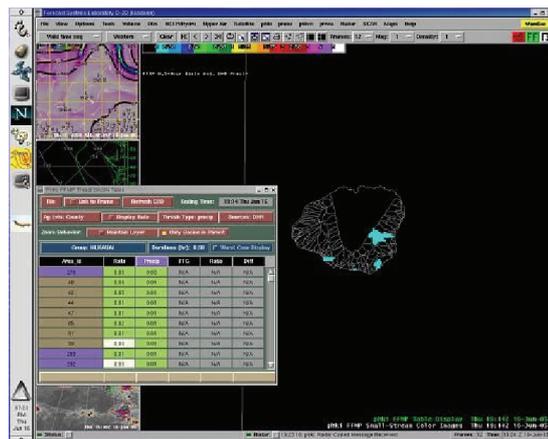


図-3.5.4 FFMP の画面

3.6 ベトナム(Viet Nam)

3.6.1 概要

ベトナムにおいて、土石流や地滑りを含むフラッシュフラッドの発生を予測する行政機関は国家水文気象サービス (National Hydro-Meteorological Service; NHMS) である。

図-3.6.1 は国家水文気象サービスのセンターの位置図である。国家水文気象サービスは県・地域・国の3つのレベルにそれぞれセンターを有する。同国内では、地上実況気象通報式 (Surface synoptic observations : SYNOP) 観測所が 93 カ所、測候所 (Meteorological station) が 323 か所、雨量観測所が 157 カ所、水文観測所が 138 カ所に配置されている。

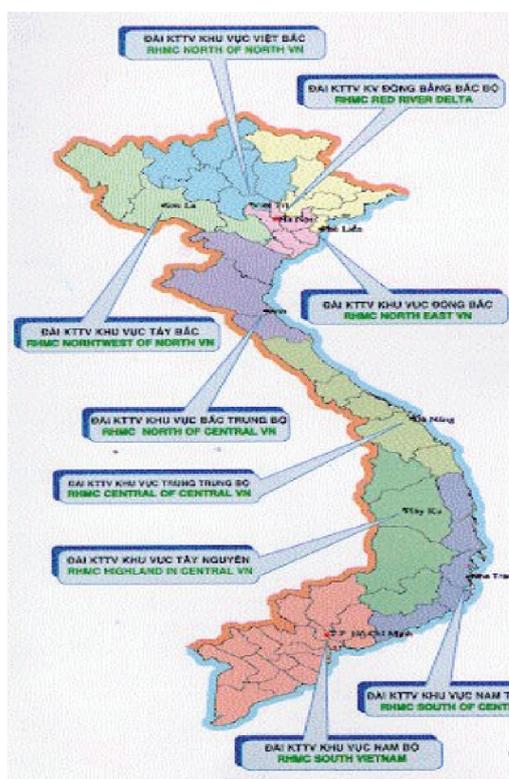


図-3.6.1 地域水文気象センターの位置

3.6.2 土砂災害の実態

1990年から2004年までの15年間で発生

したフラッシュフラッドは170回近く発生し、それらは山岳地域で発生した。特に、カイ・チャウ(Kai Chau)県、ソン・ラ(Son La)県、ハ・ジャン(Ha Giang)県では、同期間で1993年、1995年、1999年、2001年の4年を除く11年で発生した。このような背景から、フラッシュフラッドに関する危険地域マップを作製するとともに、ナム・パン(Nam Pan)川とナム・ラ(Nam La)川流域において、フラッシュフラッドの予警報システムを構築した。

3.6.3 警戒避難システムの構築(本プロジェクトの成果)

3.6.3.1 モデル流域の概要

ベトナムでは、ソン・ラ(Son La)市を流れるナム・パン(Nam Pan)川、ナム・ラ(Nam La)川流域、ニョイ・パ (Nghi Pha) 川流域 (写真-3.6.1)、ニョイ・ラオ (Nghi Lao) 川をモデル流域とした。ナム・パン川の流域面積は418km²、ナム・ラ川の流域面積は455km²、ニョイ・パ川の流域面積は54.5km²、ニョイ・ラオ川の流域面積は541.5km²である。



写真-3.6.1 ニョイ・パ川流域の山腹斜面

ナム・パン川流域とナム・ラ川流域では、1990年6月27日に台風に伴う豪雨が生じ、

2430km²の面積が浸水し、76 名の方が死亡あるいは行方不明となった。また、1157 戸の家屋が浸水し、200 億ベトナムドン（200 万 US ドル）の損失を負った。ニョイ・パ川では、2005 年 9 月 27 日にフラッシュフラッドが発生し、30 名の方々が死亡あるいは行方不明となり、数百戸の家屋が破壊された。数百ヘクタールの田んぼが水につかり、数百頭の羊が流されてしまった。

図-3.6.2 はナム・パン川流域とナム・ラ川流域の降水量観測所と水位観測所の位置とそれらのデータ伝達方法を示したものである。図中には、自動降水量・水位観測所を□印、自動降水量観測所を○印で示した。また、それぞれの観測所で降水量の強さで色が変わるとともに、水位を計測している観測所では水位の上昇も色で表現している。また、P は平均降水量（10 分間）で、H は水位である。現在のところシステムは自動でフラッシュフラッドを警報できない。降水量が 10 分間に 10mm あるいは水位が 2m 上昇した際に、データは我々のオフィスに自動的に送られる。同時に、その地域の色が赤色に変わるので、それを受けてレポートを作成しなければならない。しかしながら、自動警報システムをすべての小さい溪流に導入し、フラッシュフラッド予測モデルを開発する必要がある。



図-3.6.2 降水量観測所ネットワーク

なお、同流域では後述する方法とは別に、数値計算による浸水地域をリアルタイムで予測するシステムを構築した。図-3.6.3 は数値計算の概念を示したものである。数値計算は Marine と TELEMAC2 を組み合わせたものである。図-3.6.4 は数値計算に用いた 20×20m メッシュの数値地形情報（Digital Elevation Map）である。

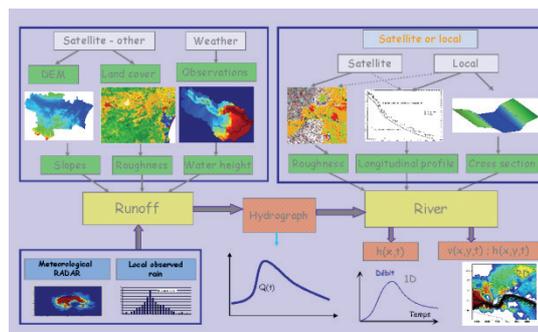


図-3.6.3 数値計算の概念

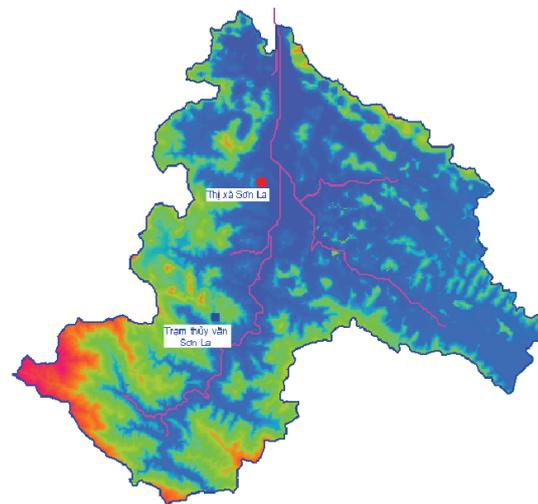


図-3.6.4 メッシュ DEM

3.6.3.2 方法

ベトナムでは、基本的には 2.の方法を用いたが、発生降雨と非発生降雨を直線ではなく領域で区分した。

3.6.3.3 土砂災害発生基準線の設定

図-3.6.5 は土砂災害発生基準線の設定結

果である。同図から、フラッシュフラッドの発生条件は以下ようになった。

- (1) 連続先行雨量が 198mm 以上で 24 時間雨量が 125mm 以上の場合、フラッシュフラッドが起これる。
- (2) 連続先行雨量が 198mm 未満でも 24 時間雨量が 150mm 以上の場合、フラッシュフラッドが起これる。

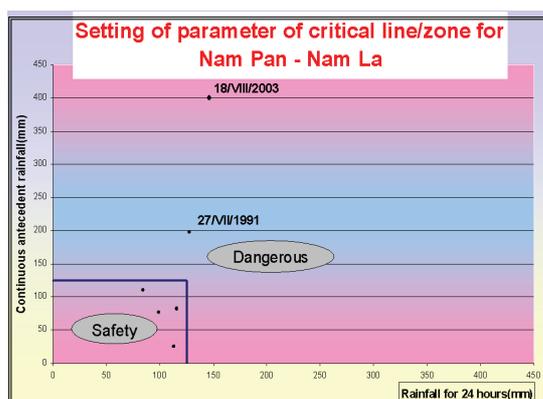


図-3.6.5 土砂災害発生基準線の設定結果

3.6.4 今後の課題

今後は 3.6.3.3 で示した発生条件の検証を行っていくとともに、予測モデルの構築を行っていく必要がある。

また、10 流域においてフラッシュフラッド警報システムを計画し、それぞれの流域において基準雨量を設定していきたい。

4. まとめ

土砂災害警戒情報策定プロジェクトは最終的に 2002 年から 2008 年までの 7 カ年実施した。土砂移動という自然現象と住宅の建設や住民の避難といった人間の活動の両者を適切に予測できなければ、土砂災害の発生を精度よく予測できない。特に、「いつ」、「どこで」、「どの程度の量」の土砂が動き出すのかという点がまさに研究の最先端の課題であることから、土石流や地すべり、がけ崩れといった土砂の移動という現象を定量的に精度よく予測する方法は未だ研究開発の途上にあると言える。この点を踏まえて、土砂災害警戒情報策定プロジェクトは土砂の動きと密接な関係にある降水量に着目し、過去の土砂災害に基づいて、住民の避難のための情報を発するシステムの構築を目指した。

土砂災害警戒情報策定プロジェクトを開始した時点では、世界的に見て、土石流や地すべり、がけ崩れなどの土砂移動についてのハザードマップに関する技術開発が進められていたが、その発生を予測して避難に繋げるための早期警戒システムに関する技術開発はあまり勧められていなかった。

このような背景から、土砂災害警戒情報策定プロジェクトを開始した時点では、参加国・地域からの参加者は本プロジェクトの技術を十分に把握できず、当初のスケジュールから徐々に遅れたと考えられる。しかし、土砂災害警戒情報策定プロジェクトを開始して 3 年程度経過した頃より、参加国・地域は土砂災害発生危険基準線の設定に向けた作業を急速に進捗させた。特に、中国やマレーシアといった先進的な参加国は試験流域で土砂災害発生危険基準線を設

定し、更にそれぞれの国内に適用し始めた。また、土砂災害発生危険基準線の設定方法を更に発展させ、領域として設定するといった新たな手法も開発された。さらにも、土砂災害発生危険基準線を用いた予警報システムに基づいた警報をインターネットを通じて住民に伝達する仕組みも開発した。

土砂災害警戒情報策定プロジェクトの最終年までに、本報告の第 3 章に記載したように、中国、日本、マレーシア、タイ、アメリカ合衆国、ベトナムの 6 カ国は、それぞれの国のモデル流域において、土砂災害発生危険基準線に基づく予警報システムを構築できたと言える。この点により、土砂災害警戒情報策定プロジェクトの目的は概ね達成できたと言えるだろう。但し、その土砂災害発生危険基準線の信憑性を評価できた参加国もあれば、これから評価に進むという参加国もある。その評価を終えていない参加国は今後信憑性の評価を行うとともに、各国内で予警報システムの構築を進めてもらいたいと考えている。また、中国やマレーシアはインターネットを通じて住民に警報を伝えるシステムを開発し、当初想定した成果を上回るレベルに到達しており、大きな成果を収めたと言える。今後も参加国が降水量のデータと土砂災害に関するドキュメントの蓄積を行って、土砂災害発生危険基準線に基づく予警報システムの信憑性を向上させるよう、土砂災害発生危険基準線の見直しや新たな手法の開発を進めていただければ幸いである。

最後に、砂災害警戒情報策定プロジェクトを進めるに当たり、困難な作業を遂行した参加国政府および担当職員の方々に感謝の意を表す。

卷末資料

警戒避難基準雨量の設定手順および設定事例

平成 17 年度

警戒避難基準雨量の設定手順および設定事例

平成 17 年 8 月

国土交通省 国土技術政策総合研究所

目 次

1. 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手順.....	巻末-1
2. 土砂災害警戒避難基準雨量の設定事例.....	巻末-3
2.1 CL の設定.....	巻末-3
2.2 CL の精度検証.....	巻末-7

1. 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手順

土砂災害発生危険基準線（Critical Line：以下，CL）の設定には，十分な降雨資料と災害資料が必要となる．しかし，それらが十分に収集できない場合は，対象とする地域の特性に基づく平均的な CL を設定することが考えられる．以下に，平均的な CL の設定手順を示す．

- (1) CL 設定の対象となる地域について，着目する自然条件を選定し，その条件の中で対象地域が該当する項目を選択する（表-1.1 参照）．

表-1.1 自然条件一覧

Conditions	Cases
Regional	1. Volcanic regions
	2. Non-volcanic regions
Rainfall	1. Small rainfall area
	2. Medium rainfall area
	3. Large rainfall area
Geological	1. Granite zone
	2. Volcanic ejection zone (active zone)
	3. Volcanic ejection zone(inactive zone)
	4. Tertiary sedimentary

ここで，

- Small rainfall area : Probabilistic rainfall of 100 years less than 250mm/day
 Medium rainfall area : Probabilistic rainfall of 100 years from 250 to 350mm/day
 Large rainfall area : Probabilistic rainfall of 100 years more than 350mm/day

- (2) CL の設定手法（指針案 A 案 or 提言案）を選定する．
 (3) 選定した CL の設定手法における平均的な CL の傾きを抽出する．
 ※ ここで，CL の傾きは，指針案 A 案の場合：-0.45，提言案の場合：-0.9 とする．
 (4) 選定した CL の設定手法，条件および項目に対応する 100 年確率 1 時間雨量/3（平均値）と実効雨量（平均値）を抽出する（図-1.1～図-1.3 参照）．
 (5) (3)で決定した CL の傾きを持ち，かつ，(4)で抽出した 100 年確率 1 時間雨量/3 の値（平均値），実効雨量（平均値）(x y 座標)を通過する直線を設定する．この直線が対象とする地域の自然特性に対応した平均的な CL となる．

(1) 地域条件

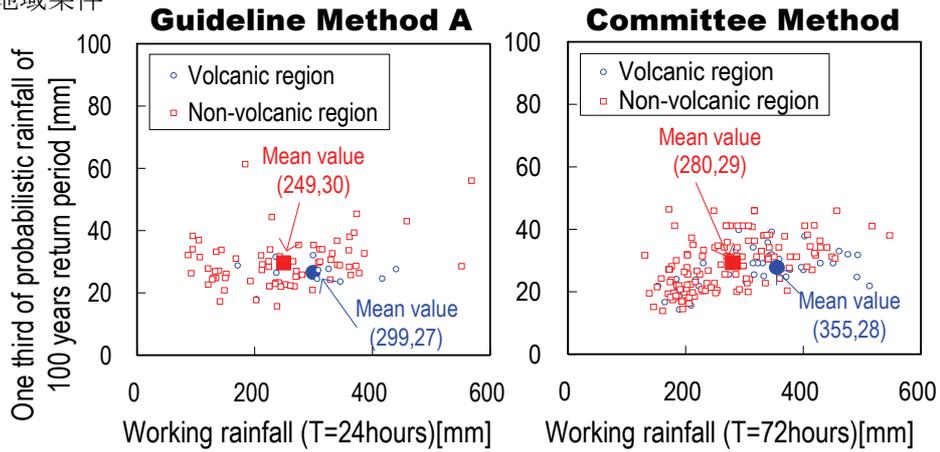


図-1.1 100年確率1時間雨量/3と実効雨量の関係（地域条件）

(2) 降雨条件

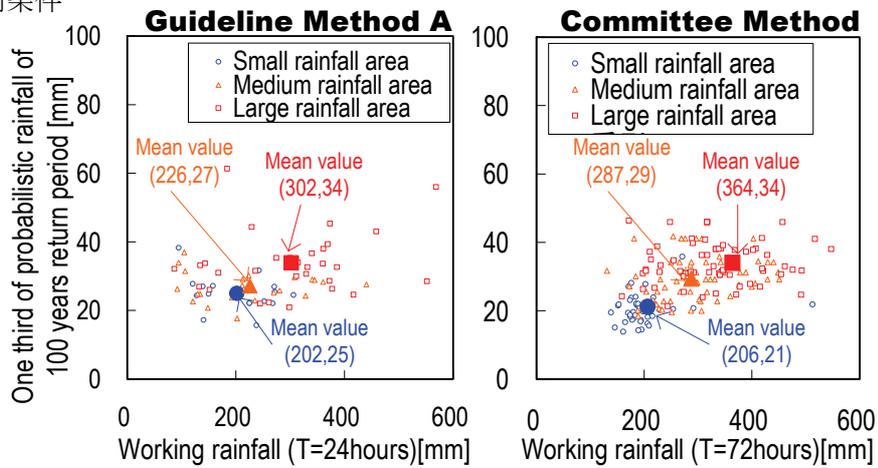


図-1.2 100年確率1時間雨量/3と実効雨量の関係（降雨条件）

(3) 地質条件

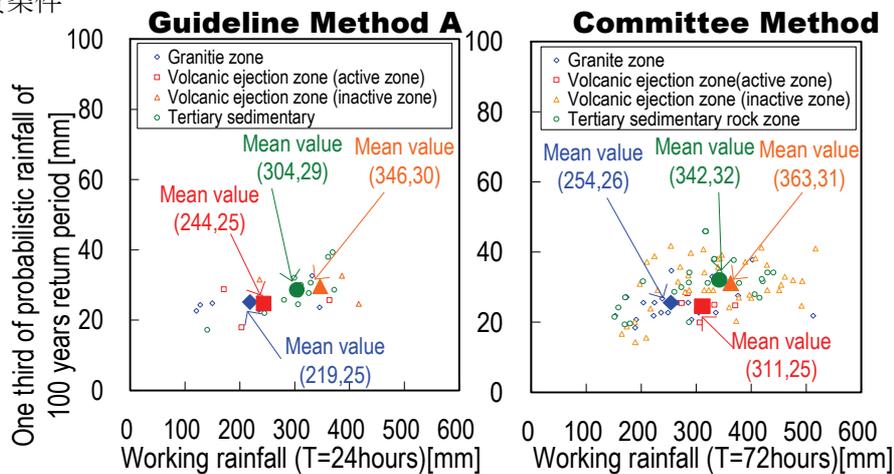


図-1.3 100年確率1時間雨量/3と実効雨量の関係（地質条件）

2. 土砂災害警戒避難基準雨量の設定事例

2.1 CL の設定

1 で示した 3 条件について, 指針案 A 案, 連携案それぞれ平均的な CL を設定した. 表-2.1, 図-2.1~図 2.6 に設定した CL を示す.

表-2.1 CL 一覧表

Conditions	Cases	Guideline Method A	Committee Method
Regional	Volcanic regions	$y=-0.45x+161.6$	$y=-0.90x+347.5$
	Non-volcanic regions	$y=-0.45x+142.1$	$y=-0.90x+281.0$
Rainfall	Small rainfall area	$y=-0.45x+115.9$	$y=-0.90x+206.4$
	Medium rainfall area	$y=-0.45x+128.7$	$y=-0.90x+287.3$
	Large rainfall area	$y=-0.45x+169.9$	$y=-0.90x+361.6$
Geological	Granite zone	$y=-0.45x+123.6$	$y=-0.90x+254.6$
	Volcanic ejection zone (active zone)	$y=-0.45x+134.8$	$y=-0.90x+304.9$
	Volcanic ejection zone (inactive zone)	$y=-0.45x+185.7$	$y=-0.90x+357.7$
	Tertiary sedimentary	$y=-0.45x+165.8$	$y=-0.90x+339.8$

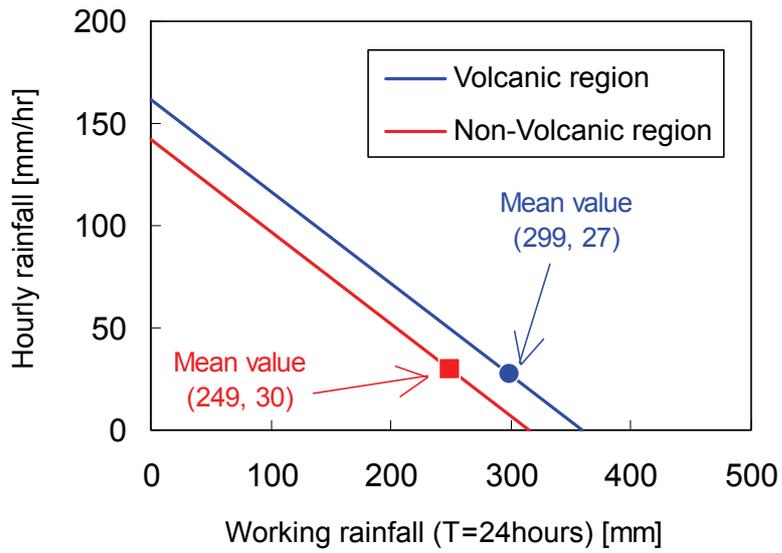


図-2.1 指針案 A 案における平均的な CL (地域条件)

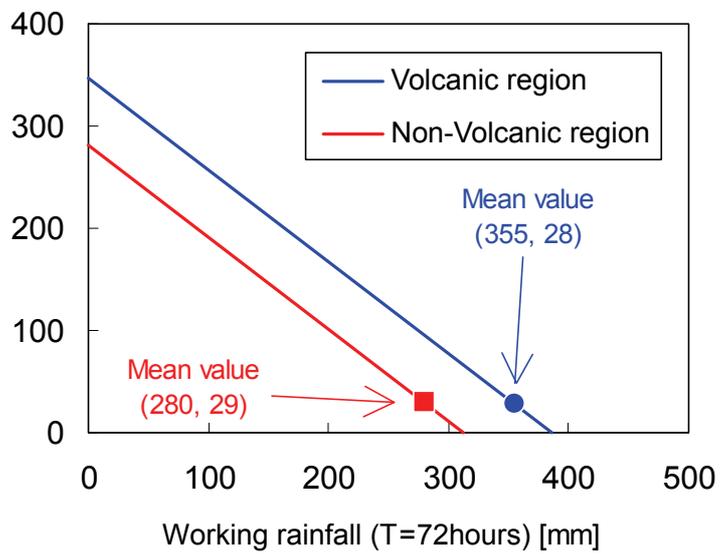


図-2.2 提言案における平均的な CL (地域条件)

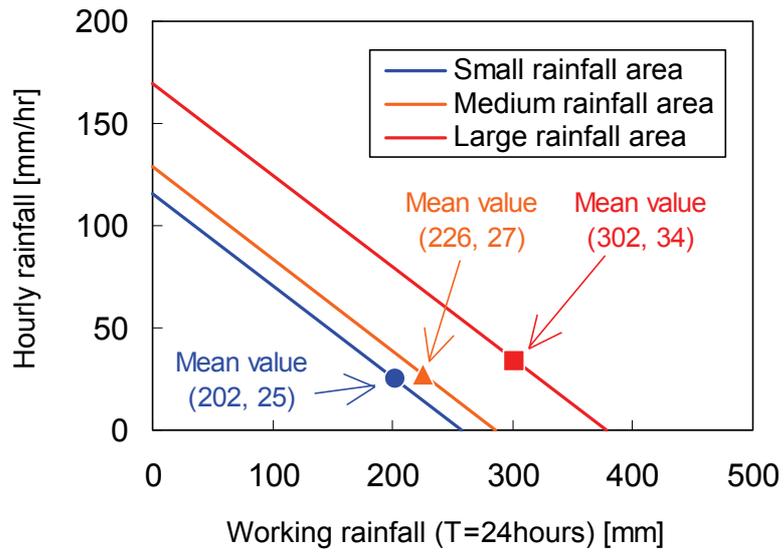


図-2.3 指針案 A 案における平均的な CL (降雨条件)

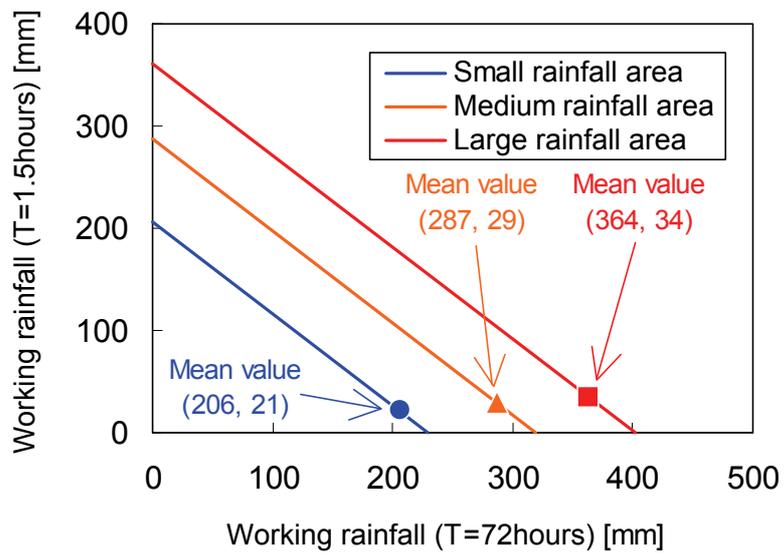


図-2.4 提言案における平均的な CL (降雨条件)

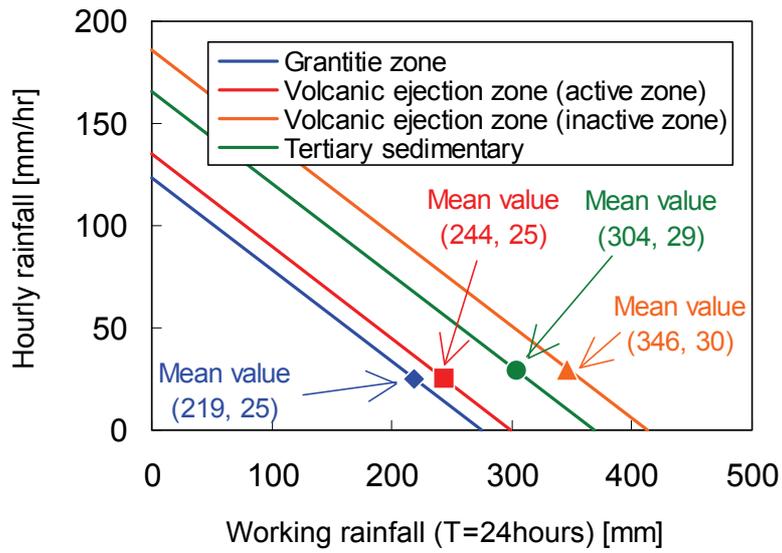


図-2.5 指針案 A 案における平均的な CL (地質条件)

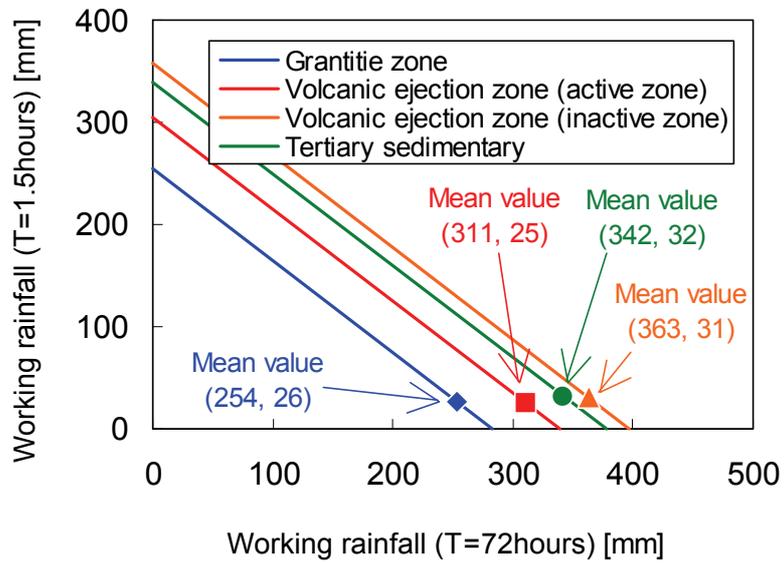


図-2.6 提言案における平均的な CL (地質条件)

2.2 CL の精度検証

2.1 で設定した CL に対して，平成 16 年に日本国内で発生した主な土砂災害発生降雨（スネークライン）を適用し，当該 CL の精度を検証した。

平成 16 年に発生した主な土砂災害発生箇所，日時および各地域の自然条件は表-2.2 に示すとおりである。各災害について設定した CL およびスネークラインを図-2.7～図-2.8 に示す。なお，上勝町（徳島県），新居浜市（愛媛県），宮川村（三重県）の地質条件については，CL 設定条件の対象外としたため，設定から除外した。

図より，降雨条件に基づく CL では，指針案 A 案，提言案ともに，検証対象の災害をすべて捕捉できており，その有効性が確認できた。しかしながら，地域条件，地質条件では，幾つかの地点で CL 超過以前に災害が発生しているため，実際適用する際には，データのばらつき等を勘案する必要がある。

以上のことから，十分な降雨資料と災害資料がない場合，平均的な CL は降雨条件に基づいて設定することが最も有効であるといえる。

表-2.2 土砂災害発生箇所および自然条件一覧

Place of occurrence	Date of occurrence	Regional	Rainfall	Geological
Tochio (Niigata pref.)	July 13, 2004	Volcanic	Small rainfall	Volcanic ejection zone (active zone)
Miyama (Fukui pref.)	July 18, 2004	Non-volcanic	Small rainfall	Tertiary sedimentary
Kamikatsu (Tokushima pref.)	August 1, 2005	Non-volcanic	Large rainfall	Other zone
Niihama (Ehime pref.)	August 17, 2005	Non-volcanic	Medium rainfall	Fracture zone
Miyagawa (Mie pref.)	September 29, 2004	Non-volcanic	Large rainfall	Other zone

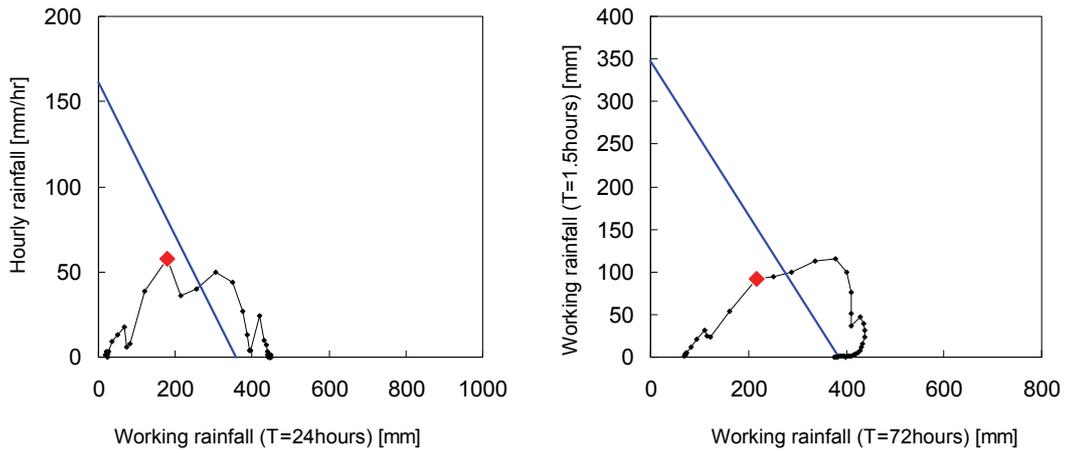


図-2.7 新潟県栃尾市における事例（地域条件：火山地域）

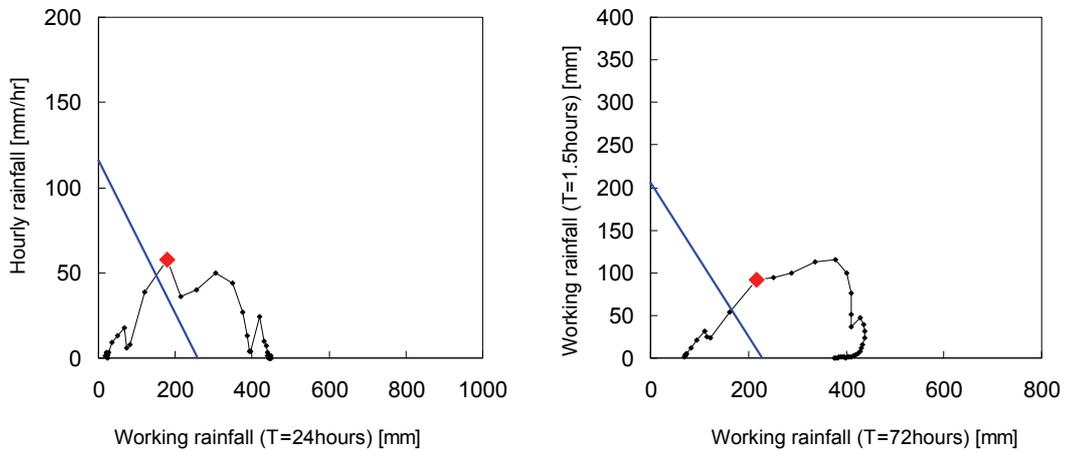


図-2.8 新潟県栃尾市における事例（降雨条件：少雨域）

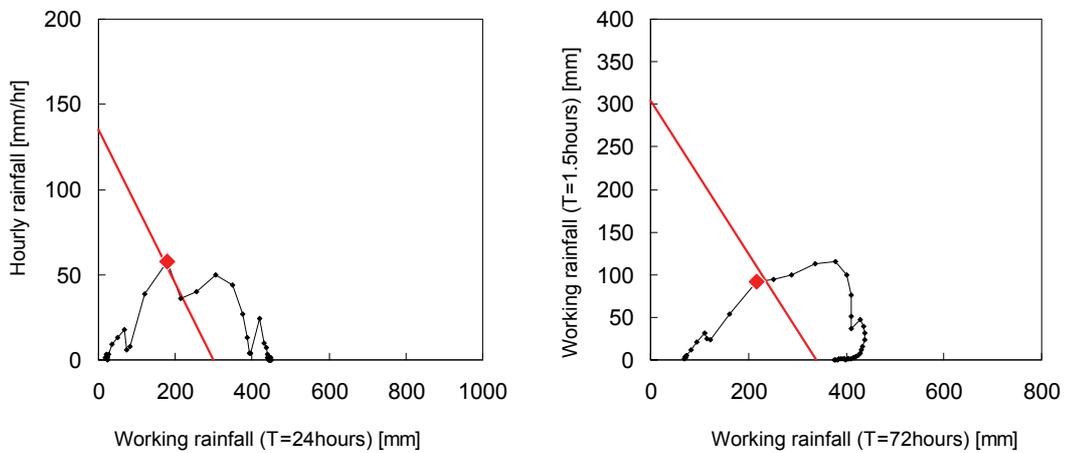


図-2.9 新潟県栃尾市における事例（地質条件：火山噴出物地帯（活動中））

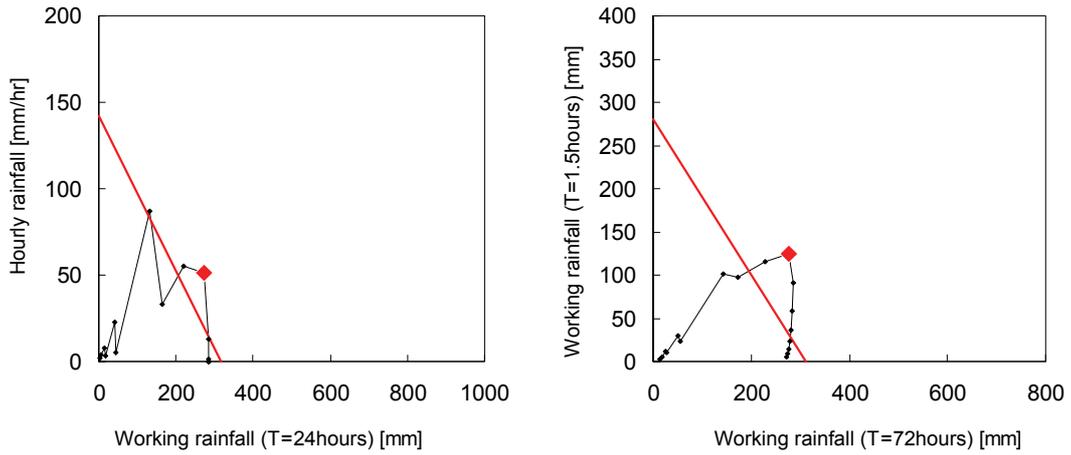


図-2.10 福井県美山町における事例（地域条件：非火山地域）

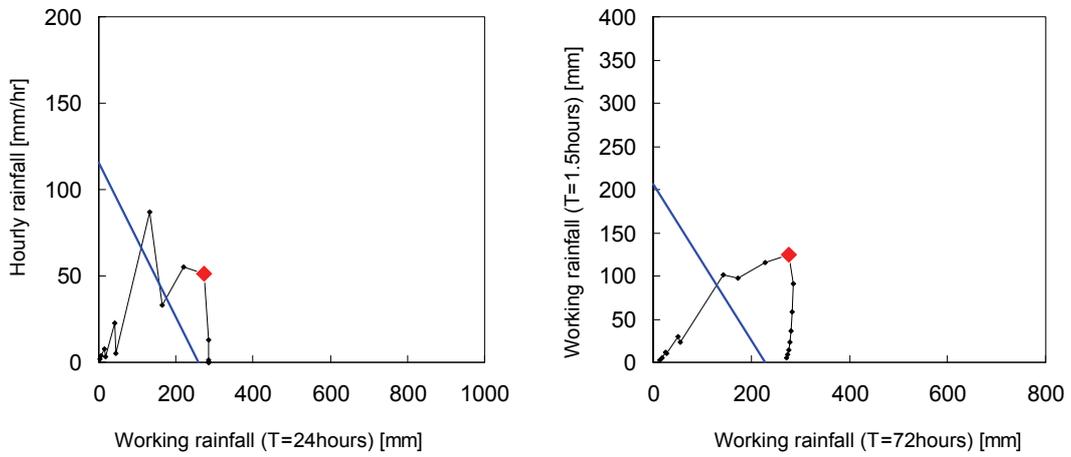


図-2.11 福井県美山町における事例（降雨条件：少雨域）

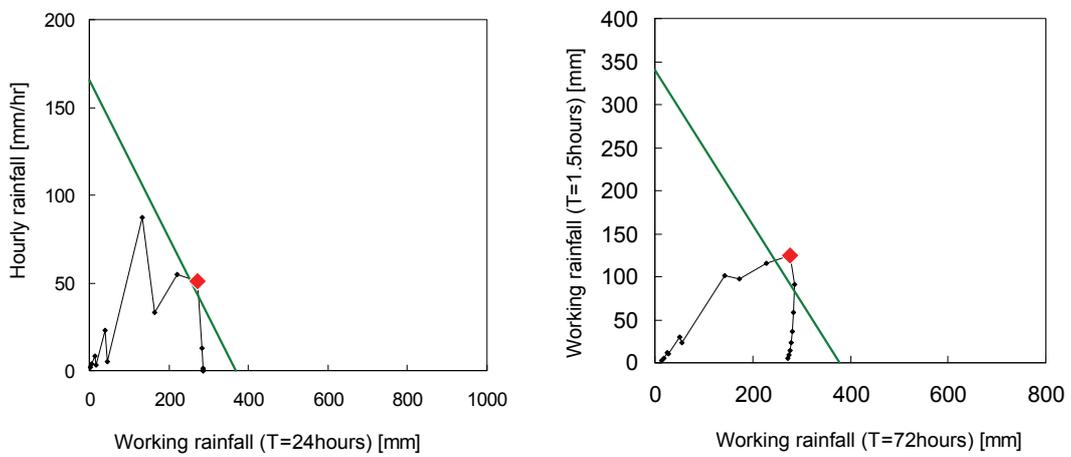


図-2.12 福井県美山町における事例（地質条件：第3紀堆積岩層）

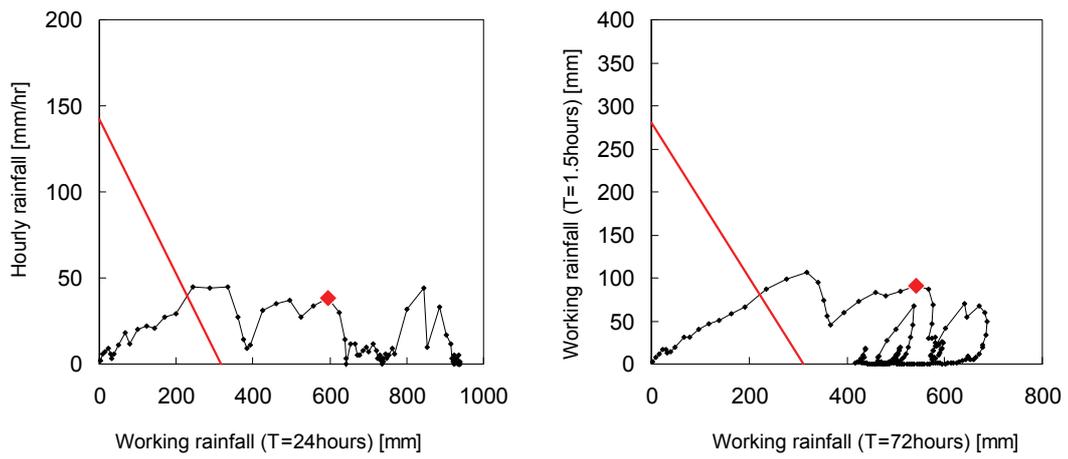


図-2.13 徳島県上勝町における事例（地域条件：非火山地域）

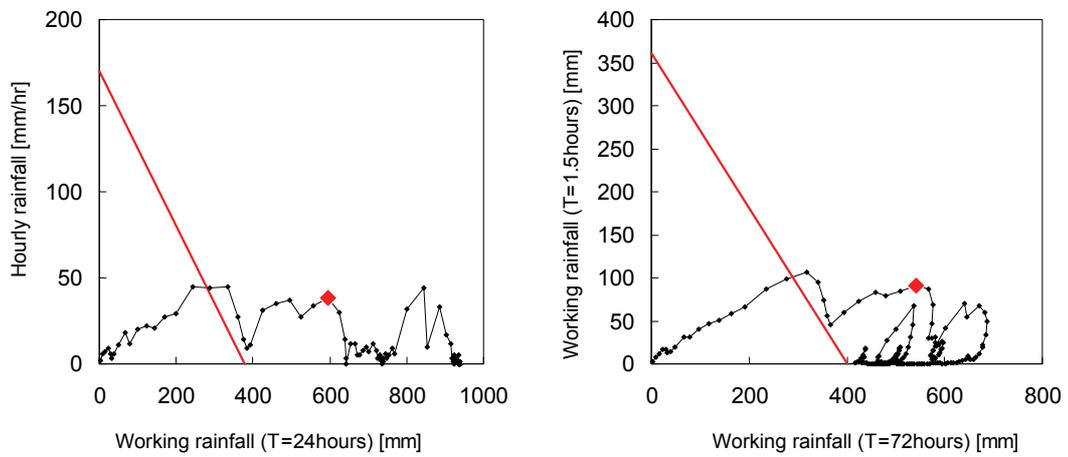


図-2.14 徳島県上勝町における事例（降雨条件：多雨域）

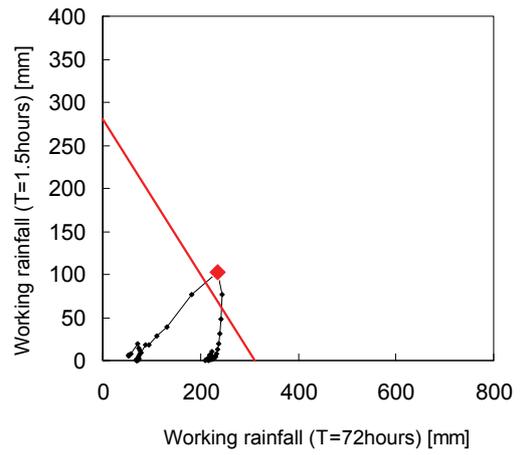
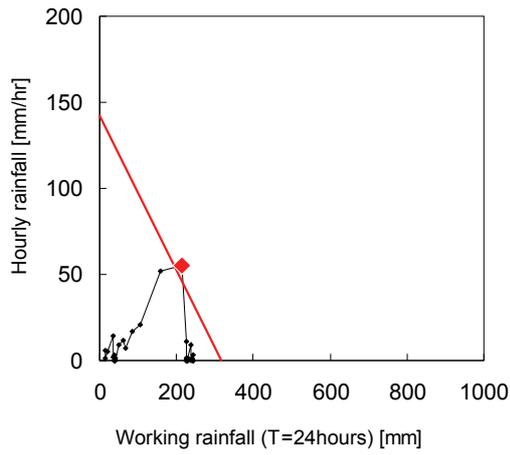


図-2.15 愛媛県新居浜市における事例（地域条件：非火山地域）

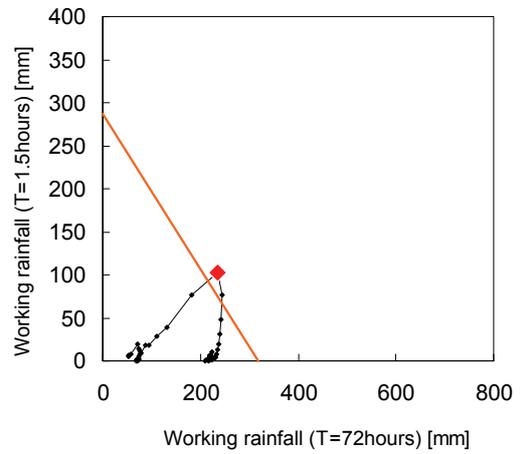
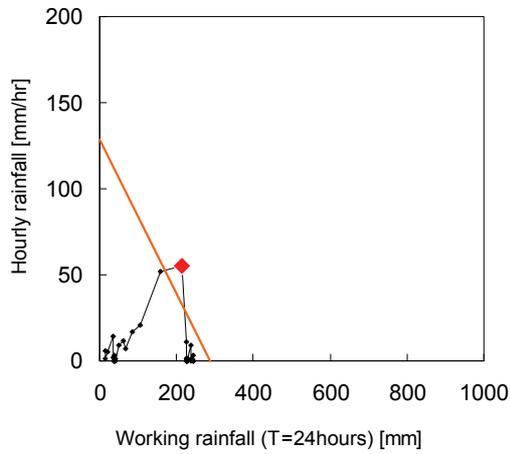


図-2.16 愛媛県新居浜市における事例（降雨条件：中間雨域）

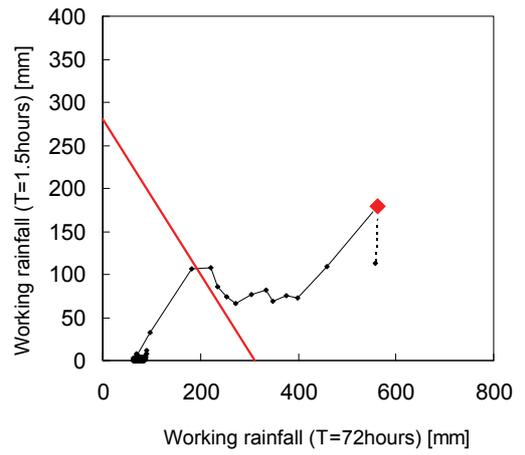
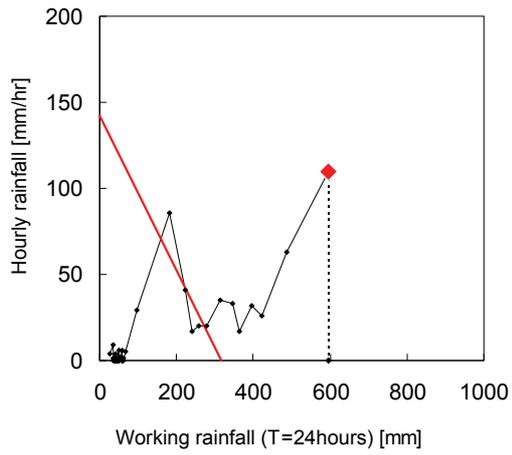


図-2.17 三重県宮川村における事例（地域条件：非火山地域）

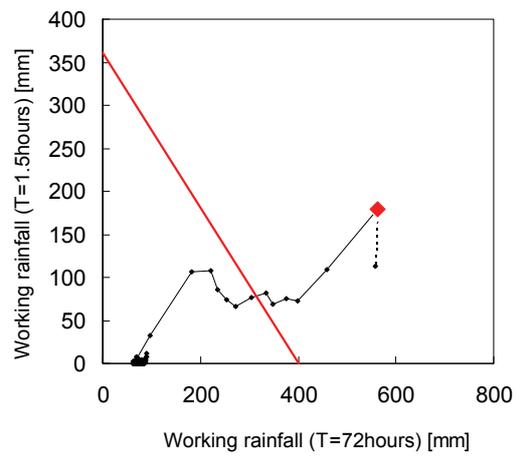
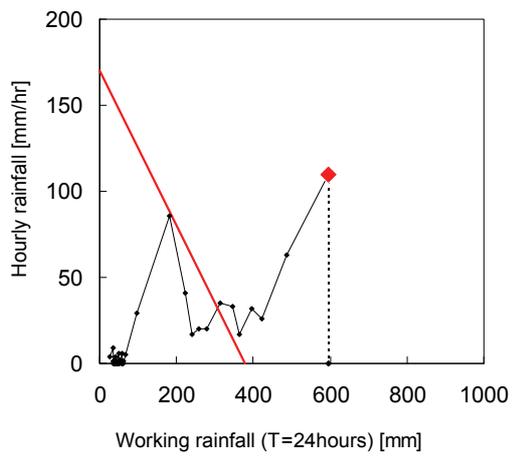


図-2.18 三重県宮川村における事例（降雨条件：多雨域）

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of N I L I M
No.570 January 2010

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675