

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第2361号

土木研究所資料

土石流の警戒避難基準雨量の 設定に関する研究(Ⅱ)

昭和61年3月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

「Copyright © (1986) by P. W. R. I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

土石流の警戒避難基準雨量の 設定に関する研究(Ⅱ)

砂防研究室 矢 沢 昭 夫
原 義 文
藤 田 昇

要 旨

昭和59年6月に、建設省河川局砂防部監修のもとに砂防広報センターから『土砂災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案)』が発行され、各地において基準雨量の調査・設定が始まっているが、本報告書は、この指針案で示された基準雨量設定方式をさらに詳しく検討し、その特徴・精度・運用上の注意事項等について記したものである。主な検討事項を次に示す。

- ① 代表観測所の選定と試料収集
- ② 土石流危険基準線 CL の設定
- ③ 警戒基準線 WL・避難基準線 EL について
- ④ 警報の発令と解除
- ⑤ 基準雨量の精度
- ⑥ 特殊な降雨に対する考察
- ⑦ 実降雨による有効性の検討

キーワード：土石流，警戒避難，基準雨量

まえがき

総合土石流対策の一環として、昭和 59 年 6 月に建設省河川局砂防部監修のもとに、砂防広報センターから『土砂災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針（案）』（以下指針案という）が発行された。それにしたがって、総合土石流体策モデル事業地区を始めとする各地で、基準雨量調査および基準値を設定しての運用が開始されている。しかしながら、指針案は基準雨量設定方法の基本について非常に簡潔に書かれており、指針案の持つ特徴を読み取るのは容易ではない。とくに、指針案による基準雨量設定は、警戒および避難といった情報が空振りに終わる場合があることを、ある程度の頻度で許容した上に成り立っているため、運用に際して、その内容の深い理解が必要と思われる。

そこで、本書は、指針案の基本的考え方や精度等を詳しく検討し、指針案の特徴を明らかにしようとしたものである。

検討した項目は以下のとおりである。

- ① 代表観測所の選定と試料収集
- ② 土石流危険基準線 CL の設定
- ③ 警戒基準線 WL・避難基準線 EL について
- ④ 警報の発令と解除
- ⑤ 基準雨量の精度
- ⑥ 特殊な降雨に対する考察
- ⑦ 実降雨による有効性の検討
- ⑧ 用語の解説
- ⑨ 今後の課題

検討項目は多岐に渡っているが、当初の目的は達せられたと思われる。今後の課題の中では、降雨予測が可能になった際の運用方法について、見通しを含めて記述してある。

昭和 61 年 3 月

建設省 土木研究所 砂防部 砂防研究室

室 長 矢沢 昭夫

研 究 員 原 義文

部外研究員 藤田 昇

目 次

まえがき

1. 概 要

1.1 概 説	1
1.2 指針案の基本方針	1
1.3 基準雨量設定方法の基本的考え方	2
1.4 避難検出と避難行動	4

2. 代表観測所の選定と試料収集

2.1 概 説	5
2.2 代表観測所必要条件	5
2.3 対象降雨	5
2.4 データ収集年数	5
2.5 代表できる範囲	8
2.6 災害資料について	8
2.7 資料の整理	9

3. 土石流発生危険基準線 CL の設定

3.1 概 説	12
3.2 CLの引き方	13
3.3 A方式とB方式のプロット方法の違い	18
3.4 CLの適否の判断	18

4. 警戒基準線 WL・避難基準線 EL について

4.1 概 説	20
4.2 A方式の WL・EL の設定について	20
4.3 A方式のスネーク曲線について	20
4.4 限界実効雨量について	23
4.5 B方式の WL・EL の曲線形	23
4.6 B方式における WL と EL 逆転現象	26
4.7 警報の発令および避難の指示頻度の検討	27
4.8 警報の発令・避難の指示の空振り頻度について	27
4.9 WL・EL の妥当性について	27

5. 警報の発令と解除	
5.1 発 令	28
5.2 解 除	28
5.3 土石流発生と気象庁注意報・警報の関係	28
6. 基準雨量の精度	
6.1 概 説	30
6.2 場所的精度	30
6.3 時間的精度	30
6.4 近似式の影響	31
6.5 WL と EL の時間差	31
6.6 精度に関する考察	35
7. 特殊な降雨に対する考察	
7.1 概 説	36
7.2 雨量強度の小さい雨が長期間続く場合	36
7.3 雨量強度の小さい雨が長期間続いたあとの強強度の降雨	36
7.4 断続的な降雨の場合	38
7.5 突然強強度の雨が降りだした場合	38
7.6 史上空前の豪雨の場合	38
7.7 運用上空振りが多い場合	38
8. 実降雨による有効性の検討	
8.1 概 説	40
8.2 検討方法	40
8.3 結果と考察	40
9. 用語の解説	
9.1 概 説	51
9.2 用語の解説	51
10. 今後の課題	
10.1 概 説	55
10.2 新案の開発について	55
10.3 降雨予測について	55
あとがき	59

1. 概 要

1.1 概 説

本書は、指針案に示された基準雨量設定手法に検討を加えて特徴を明らかにし、実際の降雨に対する運用における不都合な点や作成時には表面に表われなかった方式上の不合理な点に対して検討し、それらに対する対処方法の考察を試みたものである。

各章の概略内容を次に示す。

1.：概 説

指針案の意図するものはなにか、運用上どこに留意すべきか。

2.：代表観測所の選定と資料収集

代表観測所の必要条件とはなにか、どんな資料が必要か。

3.：土石流危険基準線 CL の設定

発生降雨・非発生降雨の分布例をいくつか挙げて、CL の引き方の原則を示す。

4.：警戒基準雨量 WL・避難基準雨量 EL の設定

A方式による解析において1時間前の実効雨量を使用する理由を説明し、時間軸を取り入れた別方式を提案する。また、B両方式のWL・ELの奇妙なふるまい（以下に示す）について述べ、妥当性の検討をする。

① WL・ELの形状は円弧状であり凸型と凹型があり、特殊条件では直線になる。

② 本来WLはELより下位であるが、逆転する場合がある。

5.：警報の発令と解除

基準雨量による避難の検出は、必ずしも避難命令（勧告）の発令につながらない。

6.：基準雨量の精度

基準雨量にはどのような誤差が含まれているか、とくに時間的誤差はどの程度か。

7.：特殊な降雨に対する考察

指針案の弱点はどこか、改良可能か。

8.：実降雨による有効性の検討

57年長崎災害および58年島根災害を例にとり、もしこれらの災害以前に指針案の方式で警戒・避難の判定をしたとすれば、適切な避難命令（勧告）を出しえたかどうかを検討する。

9.：用語の解説

指針案で使われている専門用語について説明する。

10.：今後の課題

降雨予測を中心とした今後の課題について記述している。

1.2 指針案の基本方針

基準雨量とは、過去の降雨実績および災害実績を統計的手法によって解析した結果から算出するも

ので、これをもとに土石流発生を予測して的確な警報の発令と避難の指示をおこなうためのものである。以下基本方針について技術的な部分に考察を加える。

(1) 基準雨量は、原則として土石流危険渓流毎に定める。ただし、地形、地質、植生、気象状況等が類似している近傍の土石流危険渓流については同一の基準雨量を用いてもよい。土石流発生の条件は地域によって、地形、地質、植生、気象等の相当異なることが考えられ、また渓流ごとにも上流荒廃状況、溪床勾配、流域面積等条件が違ふ。これらのことから原則的には基準雨量を土石流危険渓流毎に定めるものとするが、土石流発生頻度の低い渓流では多くのデータが得られないことになる。そのため範囲を広げて、いくつかの渓流を含めたデータを集め、それらの渓流を含む地域全体に対しての基準雨量を与えることになる。

(2) 基準雨量は、過去に土石流が発生したときおよび発生しなかったときの資料を用いて、「雨量強度－雨量」を指標として整理し、設定する。基準雨量は「土石流の発生について」「雨のみを指標として」「過去のデータに基づいて」しかも「雨量強度－雨量」を指標として設定することが書かれている。ここで雨量強度とは1時間雨量強度等の降雨量を時間で除したものを指し、雨量とは連続雨量等の累加雨量を指すもので、指針では雨量強度として1時間雨量強度および有効雨量強度、雨量として実効雨量を提案している。

ここで、第一に理解しておくべきことは、土石流が発生するか否かを雨のみの指標でとらえようとする点であり、このため(1)に記したように類似の地形、地質、植生、気象状況などのデータを処理して基準雨量を決定するように努力する必要がある。

第二には過去のデータに基づいているという点が重要である。流域の性状を調査して土石流の発生を機構的に予測しているわけではなく、単に過去にこの程度の雨で発生したという事実からのみ土石流発生の基準雨量を設定しているため、今後の降雨で、この基準雨量を超えなければ絶対に土石流が発生しないという保証はないということを留意する必要がある。

なお、雨量指標として雨量強度と雨量（総雨量）の2つの指標を使用しているのは、過去の災害事例からこの2つの指標を使用する方が1つの指標で示すより土石流の発生をより明確に判断できることがわかっているからである。

(3) 指針案で取り扱っている設定法は全国18箇所の土石流発生データ解析により、一般性がありかつ運用が容易なものとして2種類の方法（1時間雨量強度－実効雨量、有効雨量強度－実効雨量）が示しているが、地域によってはこの2種類の方法が必ずしも土石流の発生を強く支配しているとは限らない場合がある。指針案の中に「本指針の内容は必ずしも十分なものではないので、さらに各地域に最適な手法の開発に努めるものとする。」と明記しているように、ここで示した2つの方法以外にもさらに的確な基準雨量の設定方法を研究・開発する必要がある。

1.3 基準雨量設定方法の基本的考え方

指針に示している2つの基準雨量設定方法について基本的な考え方について考察を加える。この2つの方法を次のように呼ぶ。

A方式 …… 1時間雨量強度－実効雨量

B方式 …… 有効雨量強度－実効雨量

基準雨量設定手順のポイント部分を次に示す。

- ① 横軸に実効雨量，縦軸に雨量強度をとり，その2次元平面上に土石流が発生したときの降雨および発生しなかったときの降雨をプロットする。
- ② 発生降雨と非発生降雨の境界線を引く。
- ③ 境界線から1時間前，2時間前の位置を，既往最大1時間雨量，2時間雨量を使用して線で設定する。（この1時間前の線，2時間前の線をそれぞれ避難基準線，警戒基準線と呼ぶ）

一般的にはA，B両方式による解析を試み，両者の精度を比較検討して優れている方を選択することが望ましいといえる。②までの結果を図-1.1に示す。図-1.1に表わした基準線がこれらの方式の基本をなすもので，ある地域における土石流発生に関する雨量強度と雨量の関係を表わした線ということになる。この線が妥当であるか否かがこの手法のポイントとなる。③は，この基準線から一定時間前の位置を設定する作業である。この作業はA方式，B方式で各々手法が異なるので，後の章で詳しく検討する。

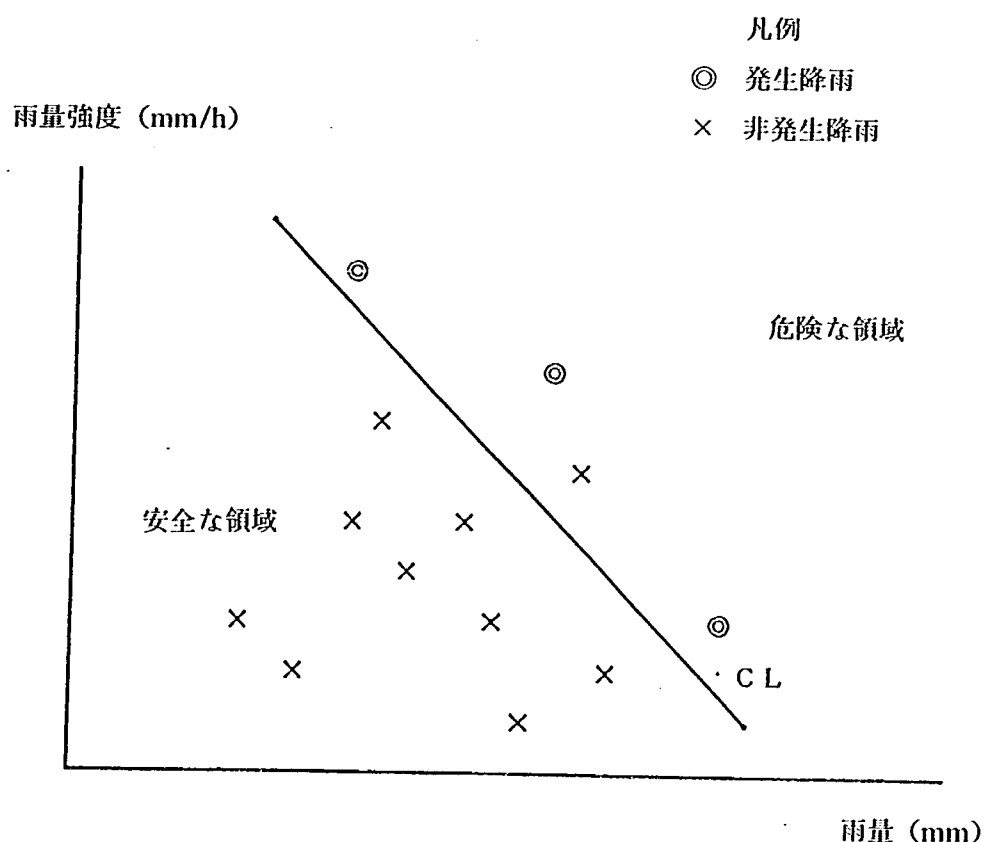


図-1.1 土石流発生基準線の設定

1.4 避難検出と避難行動

指針案には警戒基準雨量・避難基準雨量を定めて、実際の降雨がそれに達したときに警戒の発令あるいは避難の指示をおこなうとあるが、指針案の方法で得られるのは、土石流発生危険の予知情報であることに留意しなければならない。つまり、避難基準雨量によって避難を検出したからといって即座に避難命令（あるいは勧告）の発令につながることは、必ずしもいえないということである。予知精度が必要にして十分に高ければ避難検出、即避難命令発令ということも考えられるし、精度を期待できないときは、指針案による予知情報のほかに、気象情報や周辺状況の観測情報を取り入れて人間の判断のもとに発令することも考えられる。必要な精度には地域性があり、保全対象の大小やその地域の過去の災害経験の有無（災害文化の有無）などによって左右されると思われる。

2. 代表観測所の選定と資料収集

2.1 概 説

代表観測所は、1溪流1観測所が理想といえるが、統計的解析手法によっているので基準雨量設定に必要な土石流発生事例数を確保することは現実的に不可能に近い。したがって代表観測所の選定にあたっては、そのカバーする範囲、要求される精度を十分検討する必要がある。

2.2 代表観測所の必要条件

代表観測所を選定する際には下記の各条件を考慮する必要があるが、これらのすべてを満たす観測所が常に存在するとは限らないので、対象地域内あるいは隣接地域にすべての条件を満足する観測所がない場合は、検討の対象となる観測所の内、安全側の基準をもたらし観測所を代表観測所とする。

- (1) 長期に渡りかつ信頼できる、少なくとも1時間単位の降雨記録が存在すること。
- (2) 同一の基準を適用しようとする範囲の降雨特性を代表していること。
- (3) 基準雨量設定対象地域に近く、災害発生箇所の降雨状況を正確に反映していること。

2.3 対象降雨

指針案では、非発生降雨において総雨量が80 mm以上、または1時間雨量強度が20 mm以上の降雨としているが、これはこの雨量以下では土石流がほぼ確実に発生しないであろうと思われることを予想して決定した値である。この値よりも少ない値で土石流が発生する地域にあっては、これをさらに確実に土石流が発生しない雨量まで減ずる必要がある。

一方この雨量以上のものが多数あってデータ整理上繁雑になる場合は、この値を増すこともできる。

2.4 資料収集年数

基準雨量設定に必要な降雨資料数は、統計的処理をしている関係上ある程度以上の数量がないと予測精度が上がらない。かといって1年間の観測で多数の降雨資料を収集するのは、降雨量には年によってばらつきがあるので好ましくないので、必要な降雨資料を得るためには、対象降雨の選択基準と収集年数を考慮しなければならない。

図-2.1、図-2.2に全国10地区の降雨資料数、収集年月とそれをもとにしたCLの関係を示す。この図はCLの安定性を傾きおよび原点からの距離で検討したもので、これによれば資料数として50以上、収集年数として10年以上あれば概ね安定するといえる。

ところで収集年数を長くすればするほど資料数が増え、一般的には好ましいといえるが、その期間内に地域の状況の変化、例えば新たな溪床の荒廃や宅地開発などがあると、発生条件が異なってしまうことが考えられ、データを同一に扱うことができない場合がある。この場合はそれらの変化を加味して収集年数を検討すべきである。

したがって、降雨資料は流域の状況が急激かつ大幅に変化していない範囲で、10年以上収集するこ

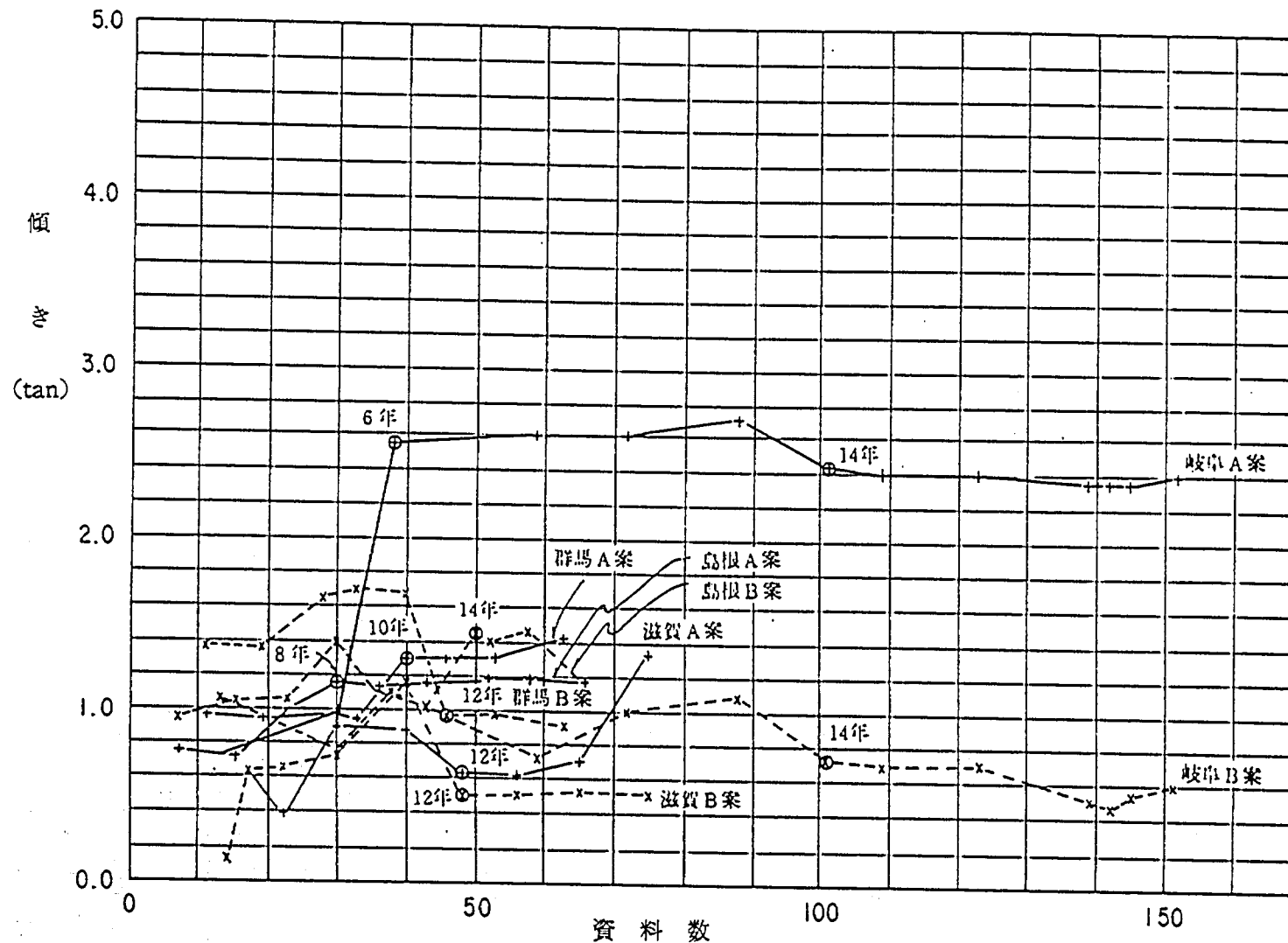


図-2.1 資料数および収集年数と非発生降雨集団上限包絡線の傾きの関係
(建設省土木研究所発行土木研究所資料第 2215 号 1985 年 3 月から転載)

+.....RH1-RW3・ (A 案)
×.....IE-RW3 (B 案)
⊗.....傾きが安定するポイント

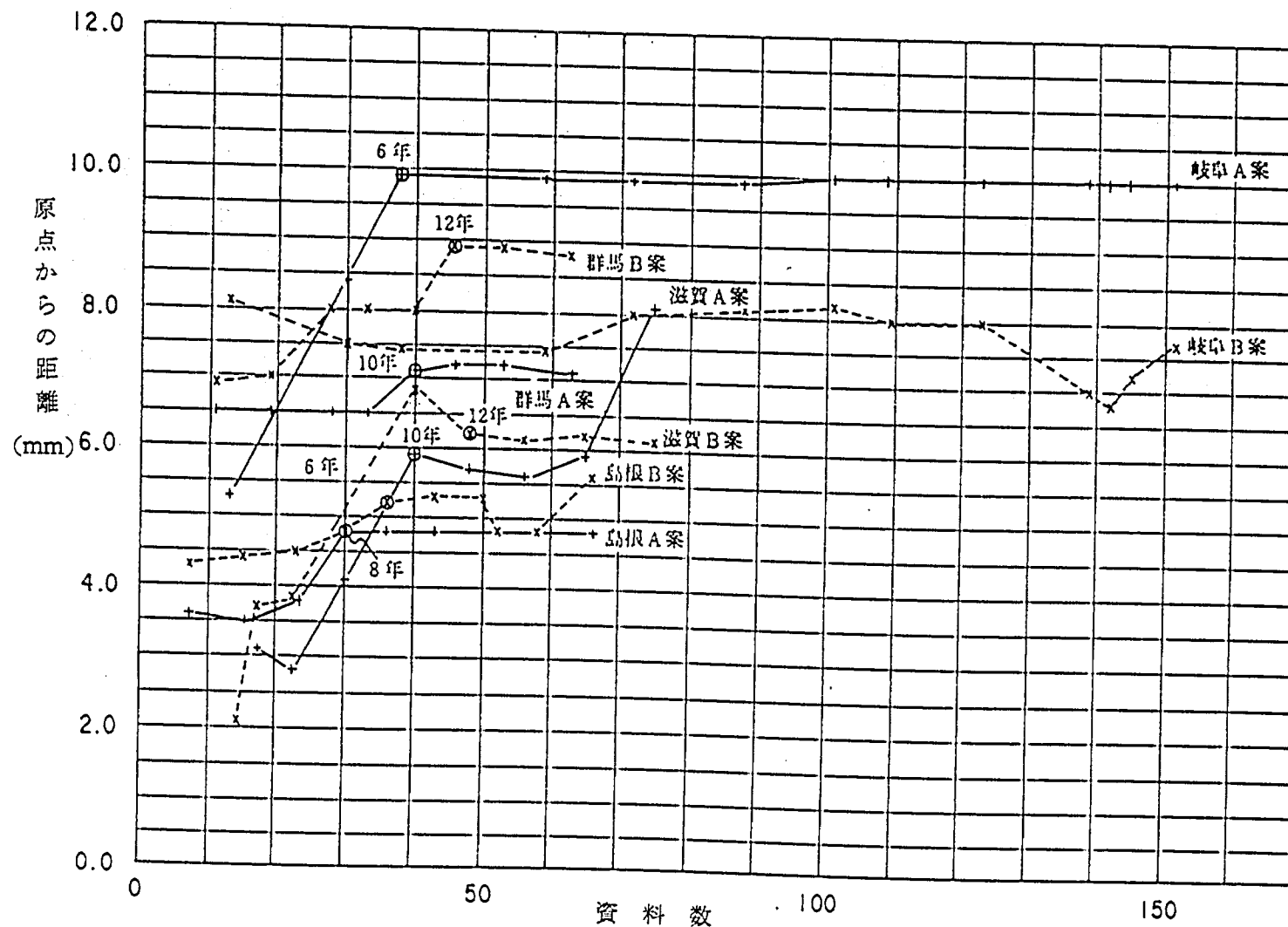


図-2.2 資料数および収集年数と非発生降雨集団上限包絡線の原点からの距離の関係
(建設省土木研究所発行土木研究所資料第2215号1985年3月から転載)

+.....MH1-RW3・(A案)
x.....IE-RW3 (B案)
⊗.....距離が安定するポイント

とが望ましいといえる。しかし、基準雨量の設定は過去の降雨による土石流の発生を根拠にしている以上、土石流発生降雨資料については上記の数値にとらわれず、できるかぎり収集するのが好ましい。

2.5 代表できる範囲

同一の基準雨量を採用するためには代表観測所の降雨資料が代表範囲の降雨状況を反映していなければならない。このため降雨量特性調査をできる限り実施して降雨の相関の取れる範囲を明らかにしておく必要がある。

降雨量の差は水平距離だけでなく高度の差や地形、海洋との位置関係などに大きく影響されると思われるので、代表範囲については各地域においてそれぞれ調査検討すべきである。

2.6 災害資料について

基準雨量設定に使用する災害資料については次の各項目について検討し、適用条件等を明確にしておく必要がある。

- ① 災害発生場所
 - ② 発生年月日時刻
 - ③ 災害形態、災害規模
 - ④ 被害状況
 - ⑤ 発生原因、気象原因
 - ⑥ 災害記録の収集方法
- (1) 災害発生場所

正確な地番の記録は当然であるが、地図上にも記入すべきである。使用する地図は災害発生当時のものが望ましい。なお当時の地図が入手困難な場合あるいは不明確で使用しにくい場合は最近のものを使用し、当時との地形の変化等があればその旨を記入しておく。

- (2) 発生年月日時刻

発生時刻の把握は基準雨量設定を大きく左右する。発生時刻に関する記録の誤りはしばしば存在するため、詳しい資料および聞き込みなどでよく確認する必要がある。発生時刻が不明の場合、降雨状況が単純であればピーク雨量時などで推定する措置も考えられる。そのときは少なくともピーク時の数時間前の降雨状況を把握（スネーク曲線を描くなどによって）し、安全側を考慮して発生時刻を推定すべきであろう。判定困難な場合でもスネーク曲線を描いて、CL設定時の参考とするのが望ましい。

- (3) 災害形態、災害規模

対象とする土砂災害は土石流災害はもちろんであるが崩壊、崖崩れ災害も参考例としてとりあげることが望ましい。

土石流などの溪流災害で人家に被害のあったものや被害がおよびそうになったものはCL設定の直接の根拠となる。土石流の中には融雪や地震など降雨以外の原因で発生するものもあり、内容、原因をよく検討する必要がある。

崩壊や崖崩れは土石流の前駆現象となるものもあり、この現象を確認しておくことは土石流発生領域をより明確に把握することに役立つ。一方、のり面などの小規模な崖崩れは少ない雨量でも発生することがあり、内容を吟味する必要がある。

(4) 被害状況

基準雨量は人家等の保全対象の分布する溪流領域に対して適用されるものであるから、災害事例は原則として人家・施設等に直接被害のあった事例を調査するのは当然であるが、幸運にして被害がなかった場合でも発生事例とすることが望ましい。

(5) 発生原因、気象原因

地域によっては災害発生が台風や集中豪雨、雷雨などの気象原因に強く関連している場合がある。したがって気象原因別に災害事例を区分し、両者の関係を検討することが望ましい。

砂防・治山施設の整備に従って、かつて災害が発生したときの雨量より多い雨量でも災害が発生しない傾向が認められる。このような場合は土石流の規模と施設整備状況を考慮して災害発生の有無を個別に検討する必要がある。一般には土石流防止施設の整備は充分でない（整備率15%程度、昭和59年度）ので、施設の効果を考慮しないでよい地域が多いと思われる。

(6) 災害記録の収集方法

災害記録はいろいろな行政機関に分散しており、効率的に収集する必要がある。収集先の例として次の各機関がある。

- | | |
|-------------|------------------------------------|
| ① 建設省 | 災害報告書、砂防便覧、河川便覧など |
| ② 気象庁、気象台 | 異常気象速報、災害報告など |
| ③ 営林所・農林事務所 | 山林、林道の災害記録など |
| ④ 都道府県消防防災課 | 地域防災計画書、消防年報、地元消防署の出動記録など |
| ⑤ 都道府県河川課 | 河川関係の災害報告、災害復旧査定目論見書、水防計画書など |
| ⑥ 都道府県砂防課 | 砂防、急傾斜、地すべり等の災害報告、土石流危険溪流調査報告書など |
| ⑦ 市町村 | 災害報告、被害報告、地域防災計画書、市町村史など |
| ⑧ 図書館 | 新聞記事（地元新聞）、都道府県史、大災害時の雑誌・図書、災害年表など |
| ⑨ 地元 | 聞き込み、住民の日記、談話など |

2.7 資料の整理

図-2.3、図-2.4は発生降雨整理表、非発生降雨整理表の見本であり、わくの大きさなど使用者にとってより使い易い様式を工夫し、あらかじめ用紙を用意しておくといよい。

なお資料の整理は基準雨量設定時のみでなくそれ以降の降雨にたいしても逐次進めていくべきである。これは基準雨量の適否を判断あるいは見直しをするのに必要である。

様式-1 発生降雨整理表

市町村名												(都道府県名)		代表観測所名									
① 整理 番号	② 溪 流 名	③ 地 先 名	④ 土石流 危険 番号	⑤ 発 生 年 月 日 時	⑥ 一連統雨量 (日 時) (日 時)	⑦ 前期雨量 (R _A)					⑧ 前 期 雨 効 (R _{WA})	⑨ 土石流発生 1時間前の 連続雨量	⑩ 土石流発生 1時間前の 実効雨量 ⑧+⑨	⑪ 土石流発生 時の1時間 雨量	⑫ 土石流発生 時の実効雨 量 (R _W) ⑩+⑪	⑬ 初期雨量 (R _I) (日 時)	⑭ 土石流発生 時の有効雨 量 (R _E) ⑨+⑪-⑬	⑮ 有効時間	⑯ 有効雨量 強度 (I _E) ⑭÷⑮	⑰ 総 実 効 雨 量 ⑥+⑧	⑱ 発生降雨 との距離	⑲ 発生降雨 との距離	備 考
						2 日 前	3 日 前	4 日 前		14 日 前	半 減 期												

様式-1 の記入要領

① 発生時期の古いものから順に番号をつける。

様式-1 の記入要領

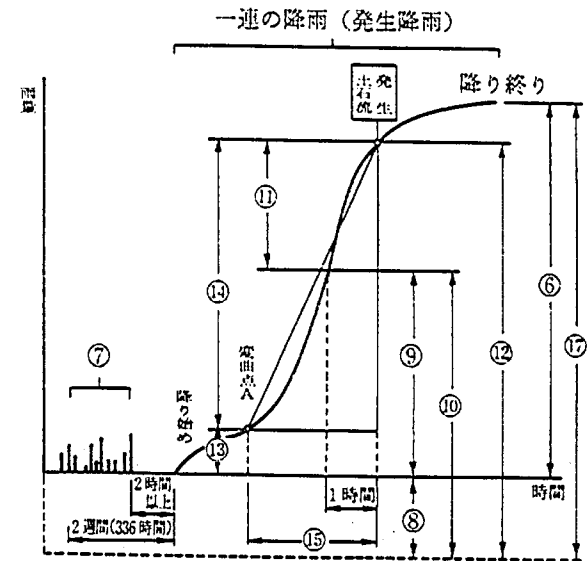
- ① 発生時期の古いものから順に番号をつける。
- ② 溪流石を記入する。
- ③ 溪流に係る他先名を記入する。
- ④ 昭和 57 年 9 月 1 日河砂発第 50 号砂防部長通達「総合的な土石流対策の推進について」の様式-1 による溪流番号を記入する。
- ⑤ 土石流の発生年月日、時刻を記入する。なお、発生時刻が推定による場合には () 書きとする。
- ⑥ 一連統雨量 (R_c)*¹及び降り始めと降り終りの時刻を記入する。
- ⑦ 2 日前から 14 日前までの各々の 24 時間雨量を記入する。
- ⑧ 設定した各半減期実効雨量 (R_{WA})*²を記入する。
- ⑨ 一連の降雨*¹の降り始めから土石流が発生する 1 時間前までの積算雨量を記入する。
- ⑩ 土石流が発生する 1 時間前の実効雨量*²を記入する。
- ⑪ 土石流が発生した時点の 1 時間雨量を記入する。
- ⑫ 土石流が発生した時点の実効雨量*²を記入する。
- ⑬ 初期雨量 (R_i)*³及び変曲点 A*³の時刻を記入する。
- ⑭ 土石流が発生した時点の有効雨量 (R_E)*⁵を記入する。
- ⑮ 土石流が発生した時点の有効時間*⁵を記入する。
- ⑯ 土石流が発生した時点の有効雨量強度 (I_E)*⁵を記入する。
- ⑰ 発生降雨の総実効雨量を記入する。
- ⑱ 土石流が発生した溪流から代表観測所までの距離を記入する。

(注)

「1 時間雨量強度-実効雨量」による場合には、①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱欄を用いる。

「有効雨量強度-実効雨量」による場合には、①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱欄を用いる。

用語の解説参照



様式-2 非発生降雨整理表

市町村名										(都道府県名)		代表観測所名						
① 整理 番号	② 一連続雨量 (R_c) (年月日)	③ 前 期 雨 量				④ 前 期 突 効 雨 (R_{wa})	⑤ 非発生降雨 における最 大1時間雨量 (日 時 ~ 日 時)	⑥ 最大1時間 雨量発生の 1時間前の 連続雨量	⑦ 最大1時間 雨量発生の 1時間前の 突効雨量 ④+⑥	⑧ 初期雨量 (R_i) (日 時)	⑨ 変曲点Bの 連続雨量 (日 時)	⑩ 変曲点Bの 有効雨量 (R_e) ⑨-⑧	⑪ 変曲点Bの 突効雨量 (R_t) ④+⑨	⑫ 有効時間	⑬ 有効雨量強 度 ⑩÷⑫	⑭ 総 突 効 雨 量 ②+④	備 考	
		2 日前	3 日前	4 日前														14 日前

様式-2の記入要領

① 降雨資料の古いものから順に番号をつける。

② 一連続雨量 (R_c)*及び降り始めと降り終りの時刻を記入する。

③ 様式-1の記入要領②に同じ。

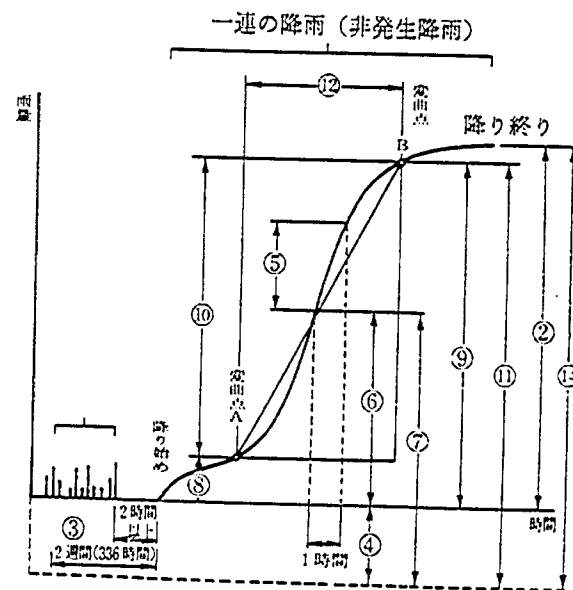
様式-2の記入要領

- ① 降雨資料の古いものから順に番号をつける。
- ② 一連続雨量 (R_c)*¹及び降り始めと降り終りの時刻を記入する。
- ③ 様式-1の記入要領⑦に同じ。
- ④ 様式-1の記入要領⑧に同じ。
- ⑤ 一連の降雨*¹の中の最大1時間雨量及びその発生時刻を記入する。
- ⑥ 一連の降雨*¹の降り始めから最大1時間雨量が発生する1時間前までの積算雨量を記入する。
- ⑦ 最大1時間雨量が発生する1時間前の実効雨量*²を記入する。
- ⑧ 初期雨量 (R_i)*²及び変曲点A*³の時刻を記入する。
- ⑨ 一連の降雨*¹の降り始めから変曲点B*³までの積算雨量及び変曲点B*³の時刻を記入する。
- ⑩ 変曲点B*³の有効雨量*⁵を記入する。
- ⑪ 変曲点B*³の有効雨量*²を記入する。
- ⑫ 変曲点B*³の有効時間*⁵を記入する。
- ⑬ 変曲点B*³の有効雨量強度 (I_e)*⁵を記入する。
- ⑭ 非発生降雨の総実効雨量を記入する。

注)

「1時間雨量強度-実効雨量」による場合には、①②③④⑤⑥⑦⑩欄を用いる。
「有効雨量強度-実効雨量」による場合には、①②③④⑧⑨⑩⑪⑬⑭欄を用いる。

用語の解説参照



非発生降雨整理表説明図

3. 土石流発生危険基準線 CL の設定

3.1 概 説

土石流発生降雨と非発生降雨を分ける危険基準線 CL は、指針案による降雨解析方法および危険予知方法に対して重要な意味を持ち、CL の引き方いかんで解析および予知のよしあしが決まると言ってもよい。CL は雨量判定図上にプロットした降雨資料に対して引かれるが、各プロットはそれぞれの降雨のポテンシャル（潜在能力）を表わしており、ポテンシャルの大小を CL で区分していることになる。（図-3.1 参照）

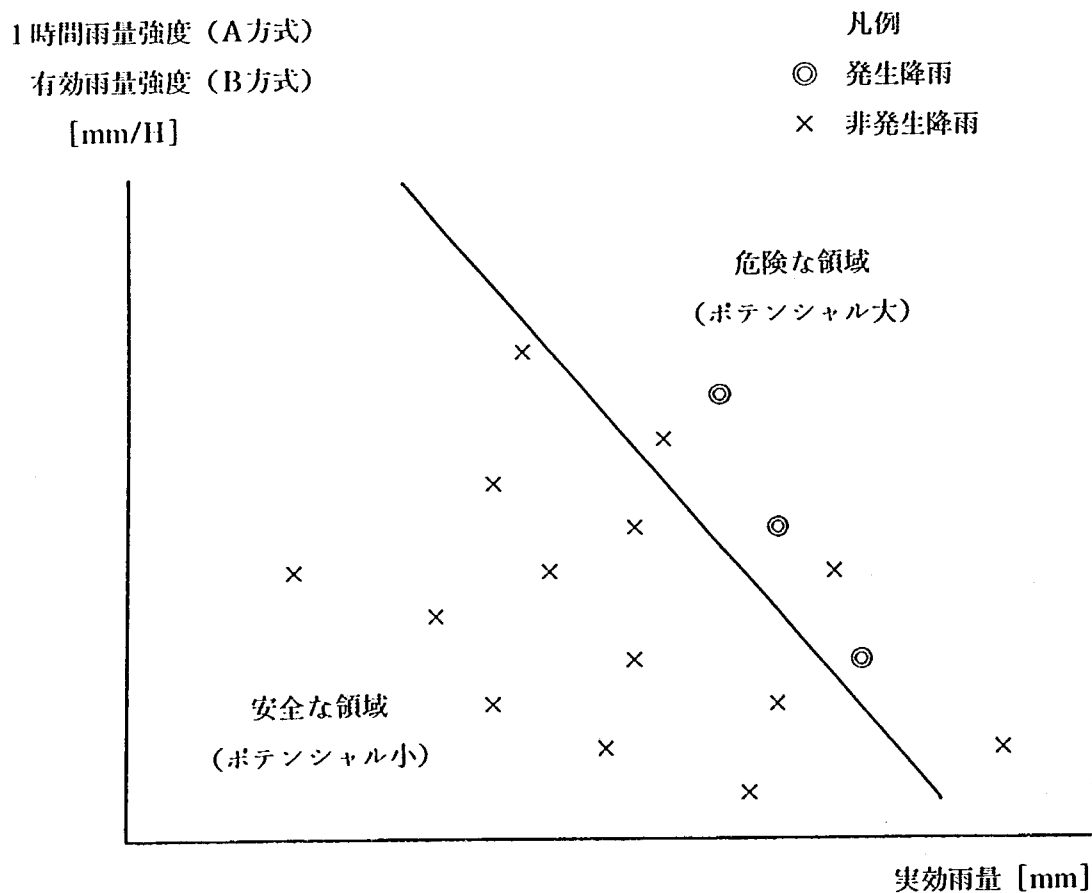


図-3.1 土石流発生危険基準線CLの設定

3.2 CLの引き方

引き方の原則は次のとおりである。

- ① 雨量判定図上の発生降雨の下限包絡線 L_y および非発生降雨の上限包絡線 L_n を引く。
- ② L_y と L_n が同一線であればそれを CL とする。
- ③ L_y が L_n より原点側にあれば L_y を CL とする。
- ④ L_n が L_y より原点側にあった場合は CL と L_n の間に存在することになるが、安全側の立場から L_n を CL とする。

しかし、発生降雨と非発生降雨の分布は様々であり、一元的に CL を決定できるとは限らない。以下に発生・非発生降雨の分布例をあげ、CL の引き方の手順を示す。

(1) 原則どおりの例 (図-3.2, 図-3.3, 図-3.4)

発生降雨が多く、図-3.2, 図-3.3 のように分離がよいとき、あるいは図-3.4 のように比較的分離がよいときは原則どおりに CL を引くことができる。

(2) 発生降雨が少なく分離がよい例 (図-3.5)

発生降雨が少ないとき、あるいは図上の同一部分に集中しているときは L_y の傾斜を決めかねるが、分離がよければ L_n を CL とするので問題ない。

(3) 発生降雨が少なく分離が悪い例 (図-3.6)

上記(2)と同じような条件であるが、この場合は L_y が L_n より原点側にくるので L_y が CL となる。 L_y の傾斜は発生降雨の分布からは決められないので、 L_n と同じ傾斜とする。しかし、分離が悪いということは指針(案) A方式あるいはB方式による解析方法が適合していないことも考えられるので、別方式を検討する必要がある。

(4) 発生降雨が多く分離が悪い例 (図-3.7)

この場合も L_y が L_n より原点側にくるので L_y が CL となるが、分離が悪いということは指針(案) A方式あるいはB方式による解析方法が適合していないことも考えられるので、別方式を検討する必要がある。

(5) 発生降雨がない例 (図-3.8)

発生降雨がないときは L_y を引くことはできないが、安全側の立場から L_n を CL とする。

(6) 発生降雨が原点近くに分布する例 (図-3.9)

発生降雨の位置が極端に原点近くにくるときは、その発生降雨の災害資料が適切でない(例えば崖崩れや山腹崩壊などを含む)場合と解析方法そのものが適合していない場合が考えられる。前者の場合は災害資料のみなおす必要があり、後者の場合は別方式を検討する必要がある。

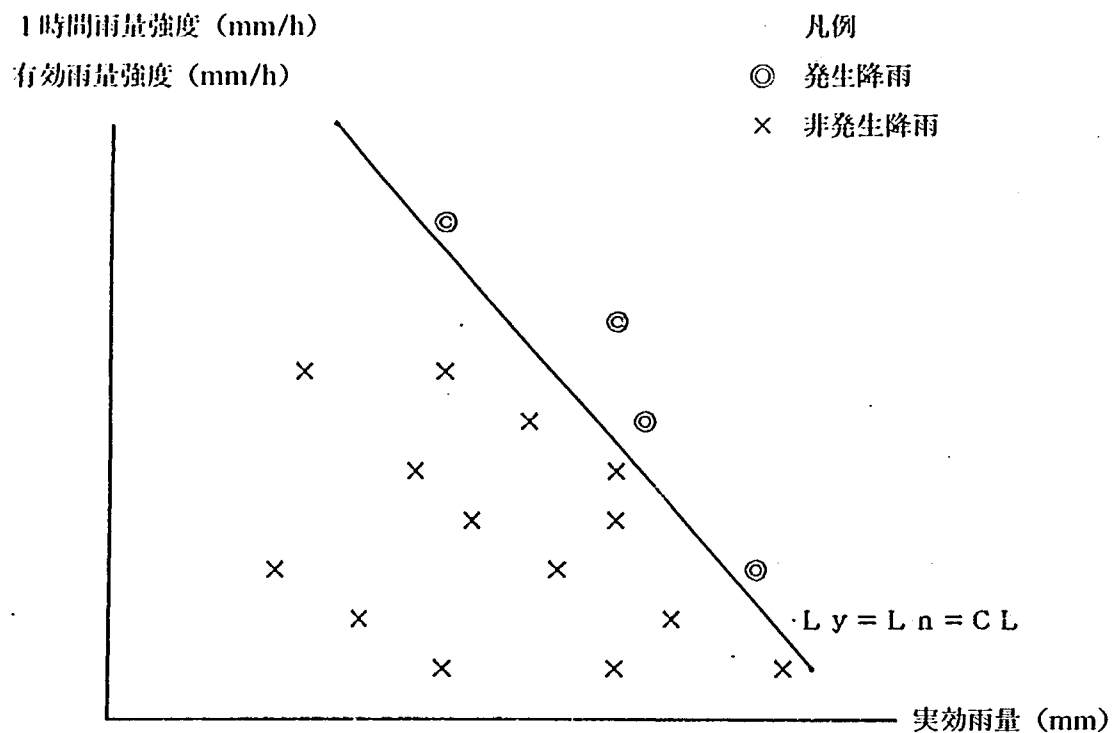


図-3.2 発生降雨が多く分離がよい例

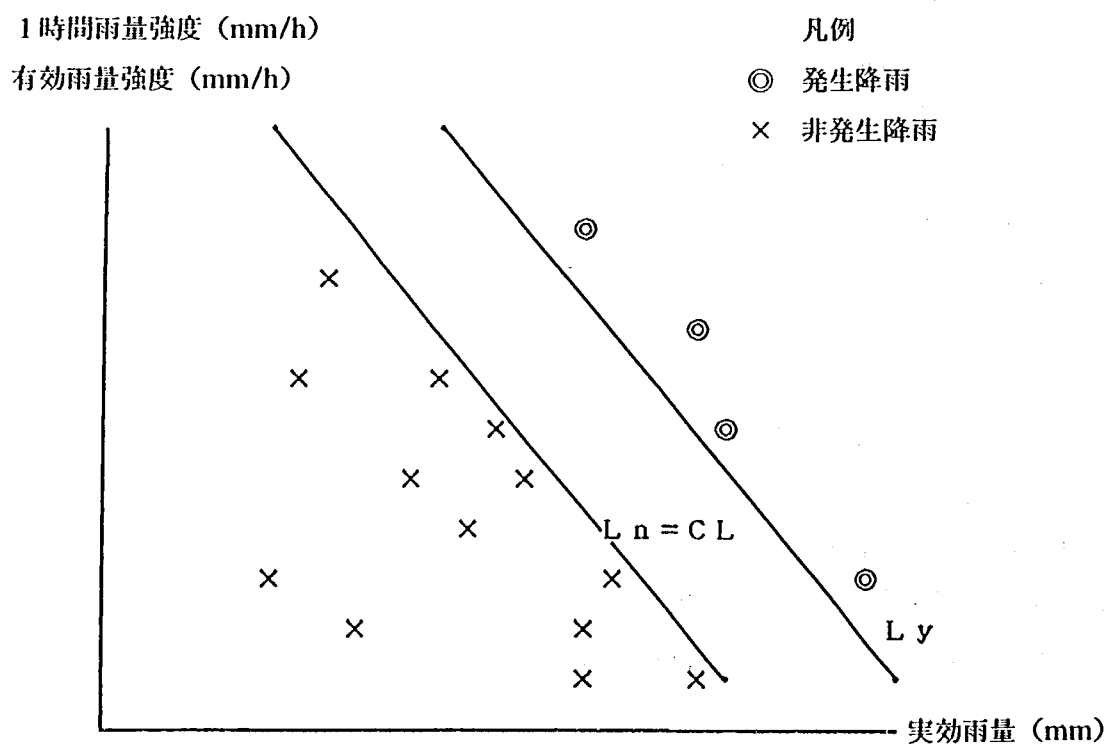


図-3.3 発生降雨が多く分離もよいが非発生降雨との間隔が広い例

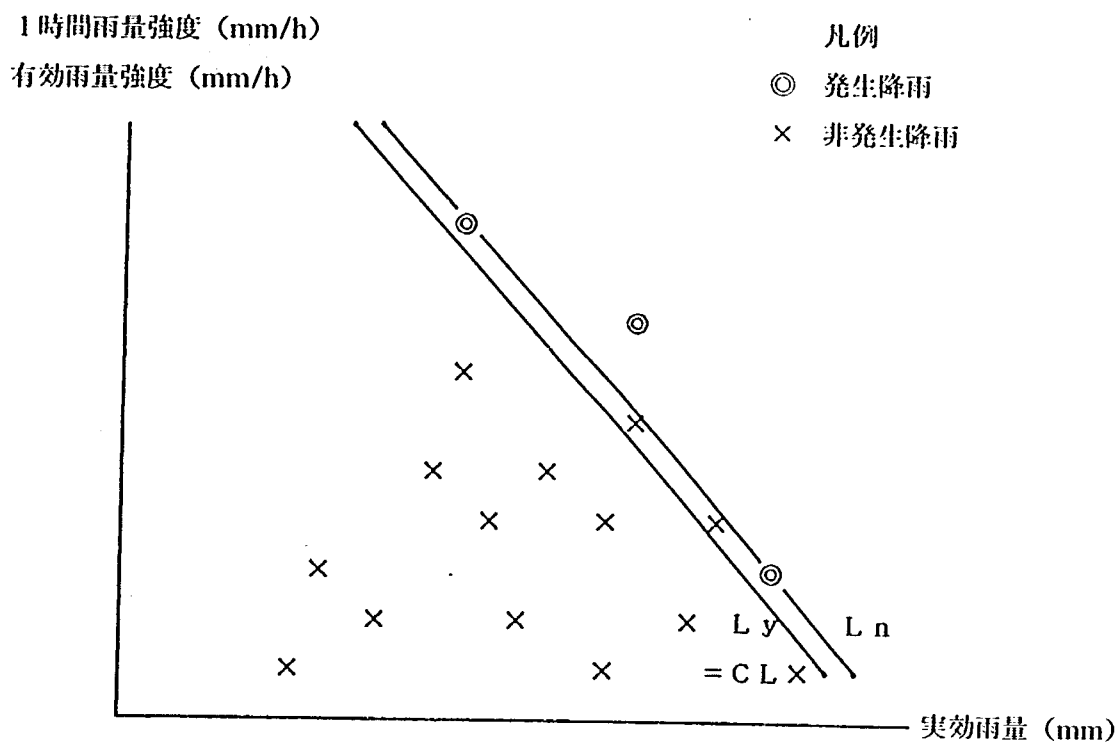


図-3.4 発生降雨が多く比較的分離がよい例

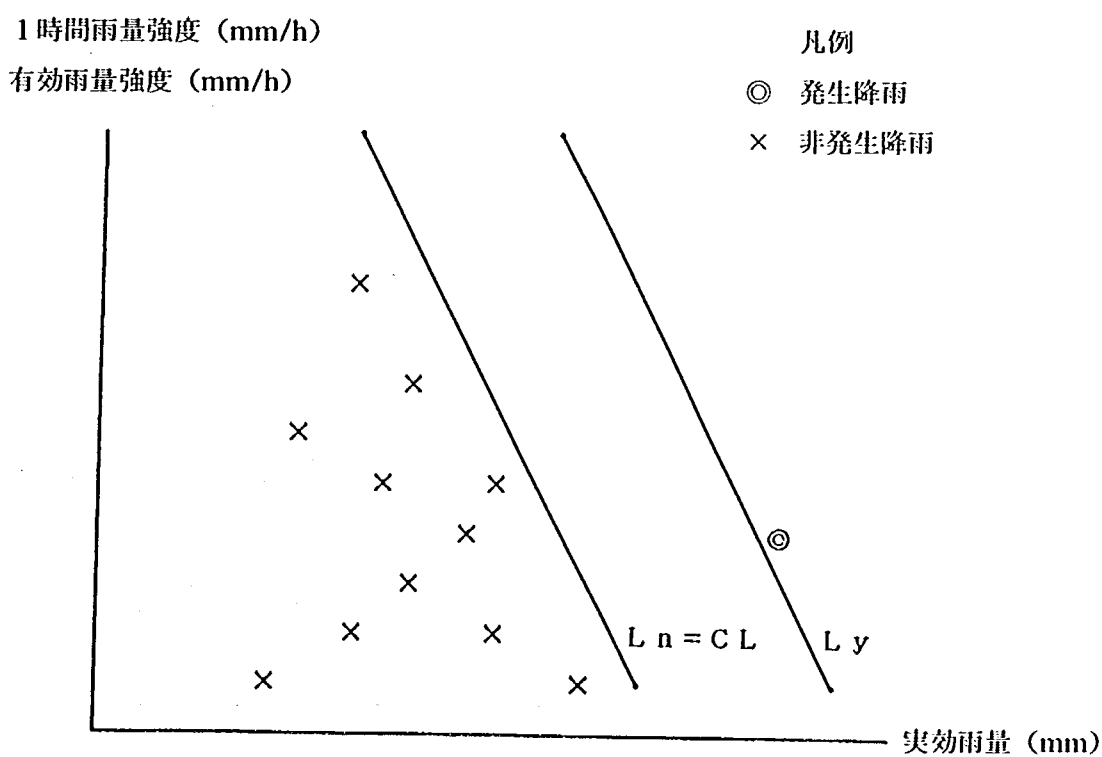


図-3.5 発生降雨が少なく分離よくが非発生降雨との間隔が広い例

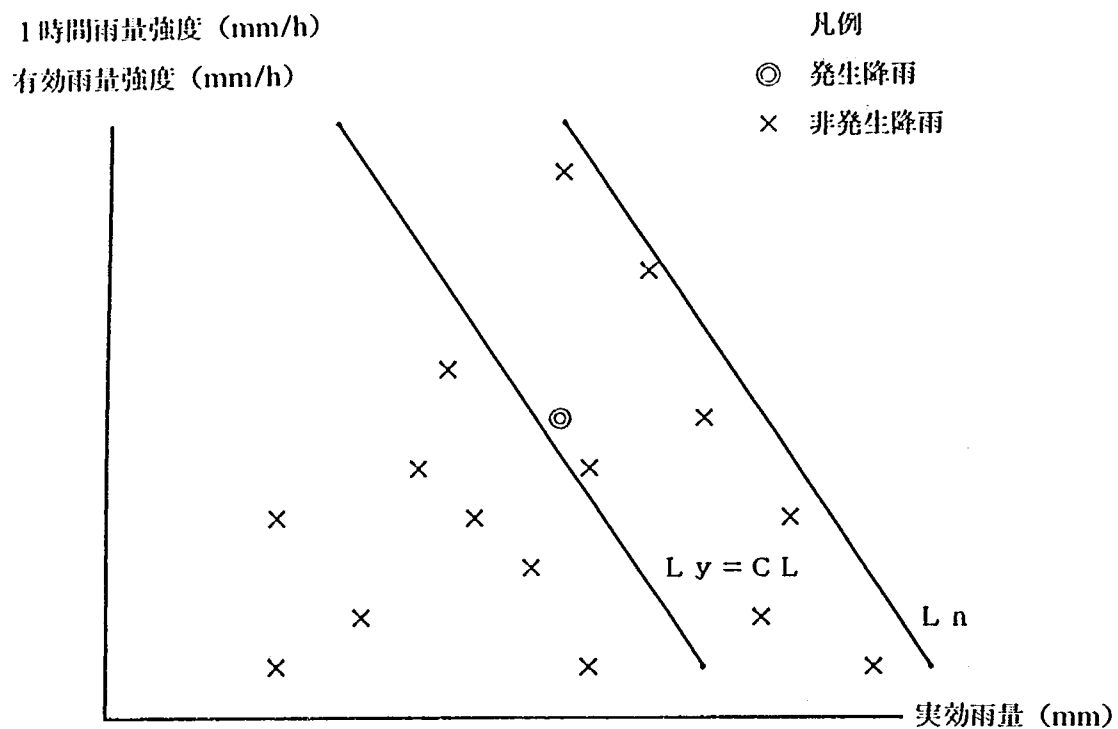


図-3.6 発生降雨が少なく分離が悪い例

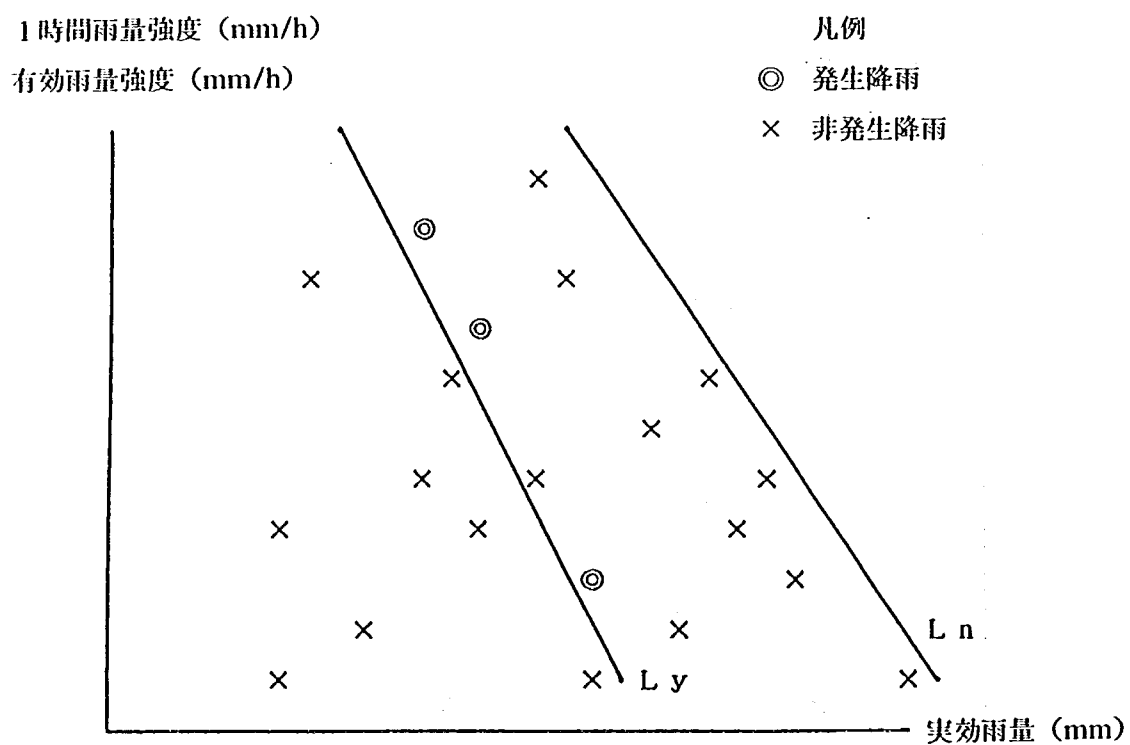


図-3.7 発生降雨が多く分離の悪い例

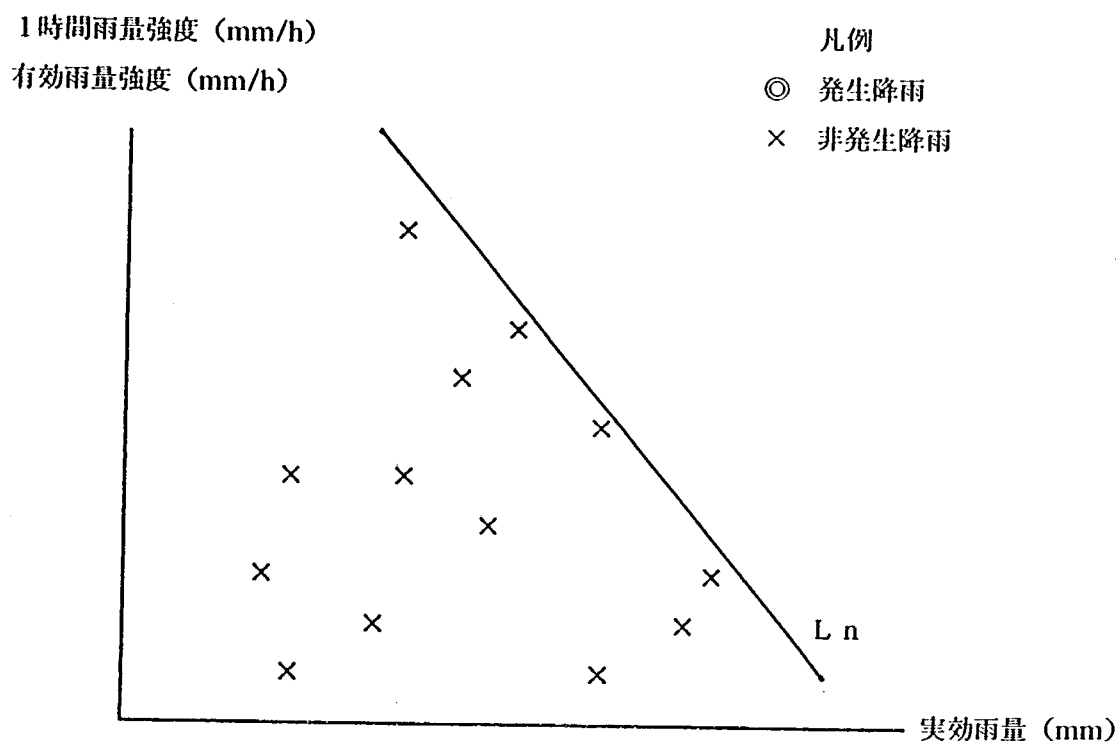


図-3.8 発生降雨が悪い例

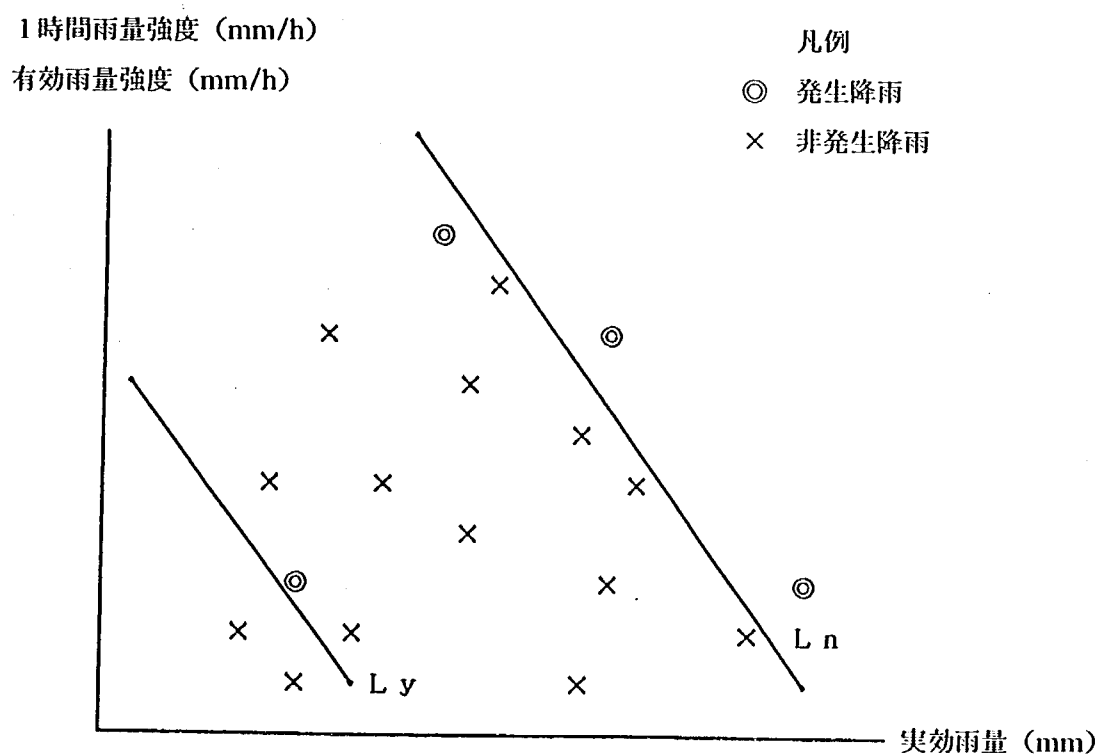


図-3.9 発生降雨の位置が原点近くに分布する例

3.3 A方式とB方式のプロット方法の違い

B方式は縦軸の有効雨量強度と横軸の実効雨量の間には時間差がないが、A方式は縦軸の1時間雨量強度と横軸の実効雨量の間に1時間の差（横軸が1時間前の値）があるので、雨量判定図に雨量資料をプロットするときに注意を要する。このように実効雨量を事象の1時間前としているのは、WL・ELの設定を単純化するためで、図-3.10のように1時間前までの実効雨量という横軸で表わしたポテンシャルに、縦方向の1時間雨量強度を別に評価していると考えるとわかり易い。

しかしながら、このように過去の雨量の解析のときに横軸を1時間前にすると、現在降りつつある降雨をもとに警報の発令あるいは避難の指示を出そうとするときは、その時その時の実効雨量を使用するので、混乱を招き易い。この不都合を避けるためには、過去の雨量の解析においても1時間前とせず、その時点の実効雨量を使用する方法もある。その場合は図-2.3に示した発生降雨整理表においては土石流発生時点の実効雨量、図-2.4に示した非発生降雨整理表においては最大1時間雨量発生時点の実効雨量（⑤+⑦）の値を用いるが、当然WL・ELの設定方法も変わってくるので次章を参照すること。なお、いずれの方法も過去の降雨を解析してWL・ELを求めることが目的であるので、現在降りつつある降雨をもとに警報の発令あるいは避難の指示を出そうとするときは、その時点の実効雨量を使用することに留意する必要がある。

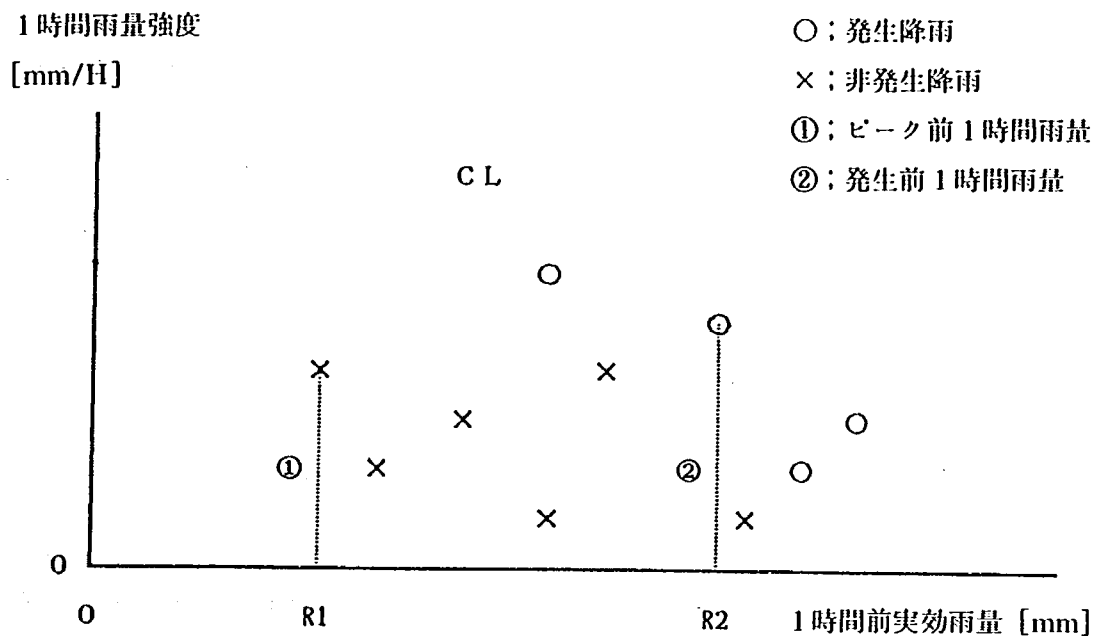
3.4 CLの適否の判断

CLの適否は発生降雨と非発生降雨をいかに分離しているかで判断する。非発生降雨の総資料数を K_n 個、非発生降雨のうちCLの左下側にある資料数を K_{nc} 個とすれば、分離性は

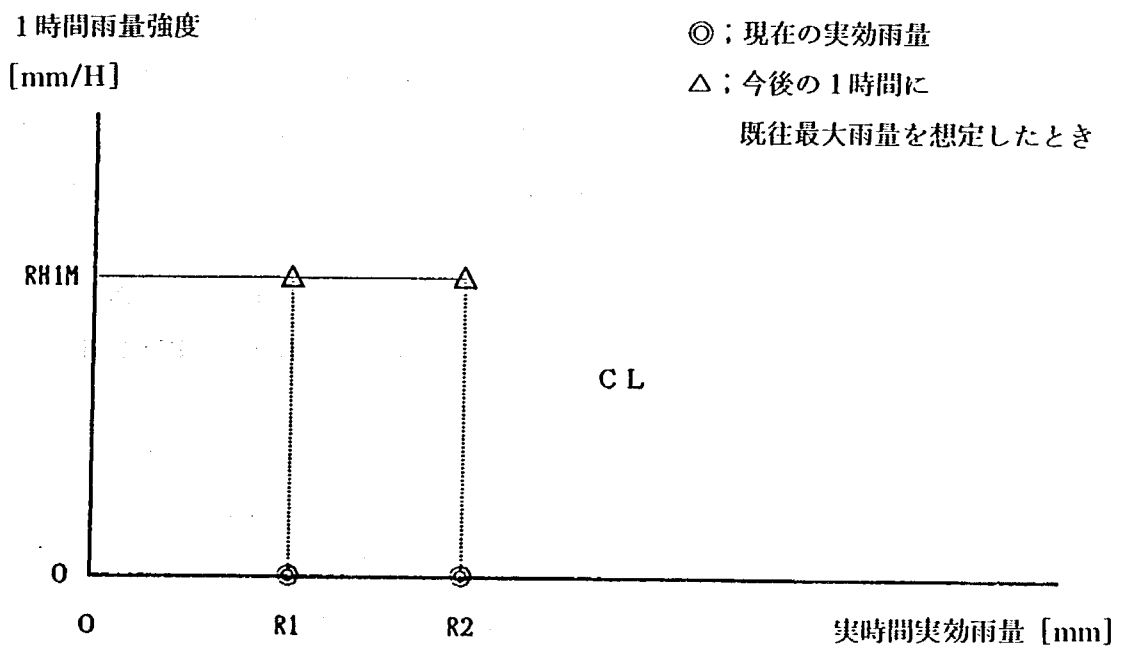
$$Sc = K_{nc}/K_n$$

で表わせる。この Sc を適合率と名付ける。適合率が良い（ Sc の値が大きい）ということは、雨量判定図の2つの指標が発生・非発生降雨を明確に区別できるということであって、そのまま基準線の精度の高さを示しているわけではなく、適合率が1でも図-3.4のように発生と非発生が離れすぎているとCLの精度は低い。むしろ図-3.1のように適合率が0.8~0.9でCL付近に発生と非発生が集まっている場合の方がCLの精度は高いと思われ、一概に適合率でCLの精度は言えないが目安としては、0.8以上は必要と思われる。

適合率が悪いときは、半減期の変更あるいは降雨資料や災害資料のみなおしをしてみる必要がある。



[図A] CL 設定時のプロット方法



備考 1 R 1 のときは今後 1 時間に既往最大降雨があっても CL に達しない。

備考 2 R 2 から今後 1 時間に既往最大降雨があると CL に達する。

[図B] 実際の降雨判定時のプロット方法

図-3.10 A方式のプロット方法

4. 警戒基準線 WL・避難基準線 EL の設定

4.1 概 説

警戒基準線 WL は警戒情報を検出するためのもので、雨量判定図上で降雨のポテンシャルがこの線に達したときを警戒とし、避難基準線 EL は避難情報を検出するためのもので、雨量判定図上で降雨のポテンシャルがこの線に達したときを避難とする。B方式の警戒基準線 WL・避難基準線 EL は線（曲線）であり、雨量判定図上で2次元的な判定をするが、A方式の場合の警戒基準線 WL・避難基準線 EL は横軸（実効雨量）上の1点を表わしているので、線ではなく点である。しかし、いずれの方式においても便宜上基準線という言葉を使用している。また基準雨量というと1つの数値を表わすようであるが、B方式においては曲線の数式を表わす言葉としても用いている。

4.2 A方式の WL・EL の設定について

図-4.1において、縦軸上にRH1Mをとり、その点を通り横軸に平行な直線を引く。次にこの直線とCLの交点から横軸に向かって垂線をおろし、これをELとする。ELと横軸の交点をR2とする。ELを[RH2M-RH1M]だけ左へ（原点方向へ）平行移動した直線をWLとし、WLと横軸の交点をR1とする。このR1・R2をそれぞれ警戒基準雨量・避難基準雨量という。

上記は過去の降雨の解析において、横軸を1時間前の実効雨量とした場合である。しかし、この方法は第3章で記述したように降雨解析時と運用時では、横軸の数値が異なるので理解しにくい面がある。以下に述べる方法は、過去の降雨の解析に事象時点の実効雨量を用いた場合のWL・ELの設定方法である。当然、この場合のCLは1時間前の実効雨量を用いるときと異なる傾きになる。

まず、図-4.2において、縦軸上にRH1Mをとり、その点を通り横軸に平行な直線を引く。

次にこの直線とCLの交点から横軸と角度45度に交わる右上がりの直線を引き、横軸との交点をR2とする。R2と交わる垂線を引き、これをELとする。さらにELを[RH2M-RH1M]だけ左へ（原点方向へ）平行移動した直線をWLとする。WLと横軸の交点はR1である。なお、ここでの角度45度は縦軸と横軸が同一目盛りの場合であり、目盛りが異なるときは等価的に45度ということになる。

それぞれの方法によって求められる基準雨量R1・R2は原理的に同一数値となる（実際はCLを主観的に引くため多少異なることもありうる）はずであり、意味するところも同一である。つまり妥当性についても同一結果になる。したがって解析はどちらの方法でおこなってもよいといえる。

4.3 A方式のスネーク曲線について

指針案では、A方式で実際の降雨で警戒避難の判定をおこなうときは雨量判定図にスネーク曲線を書くような例となっている。しかし、A方式の警戒避難は点で判定しているので、面での判定用であるスネーク曲線を使う必要はない。むしろ図-4.3のように時間軸を取り入れた雨量判定図の方が好ましいといえる。

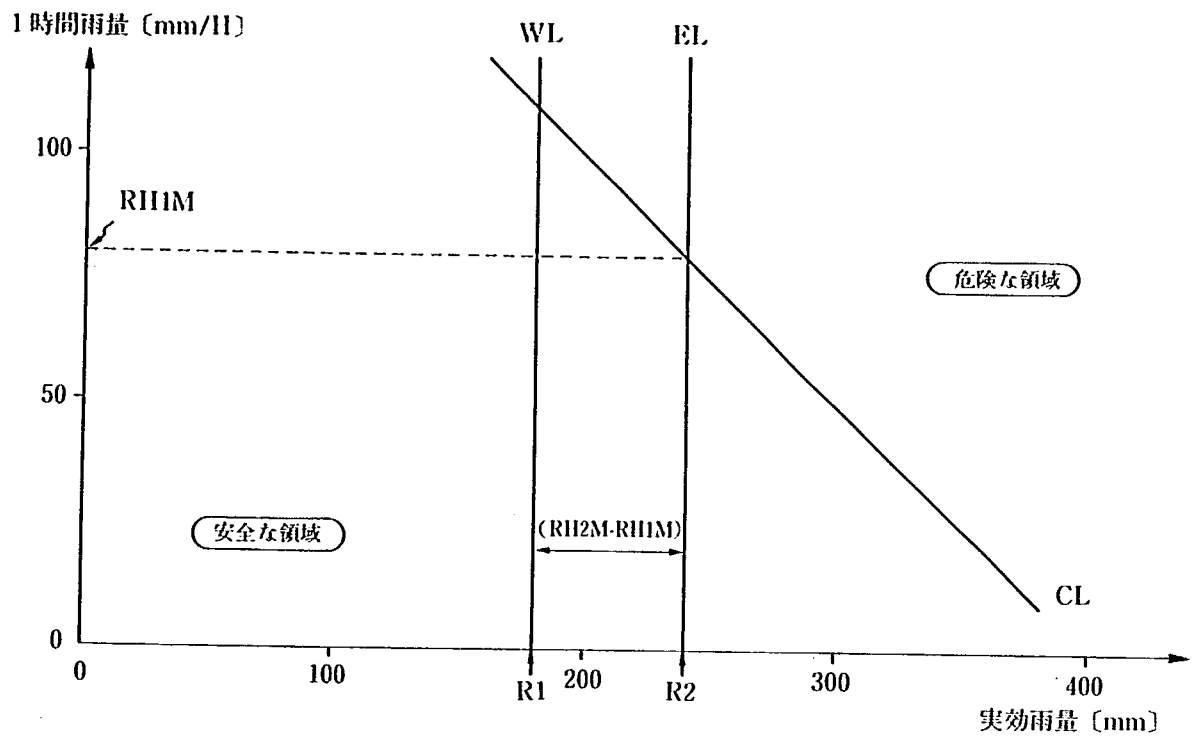


図-4.1 A方式のWL・ELの設定例（1時間前プロット方式）

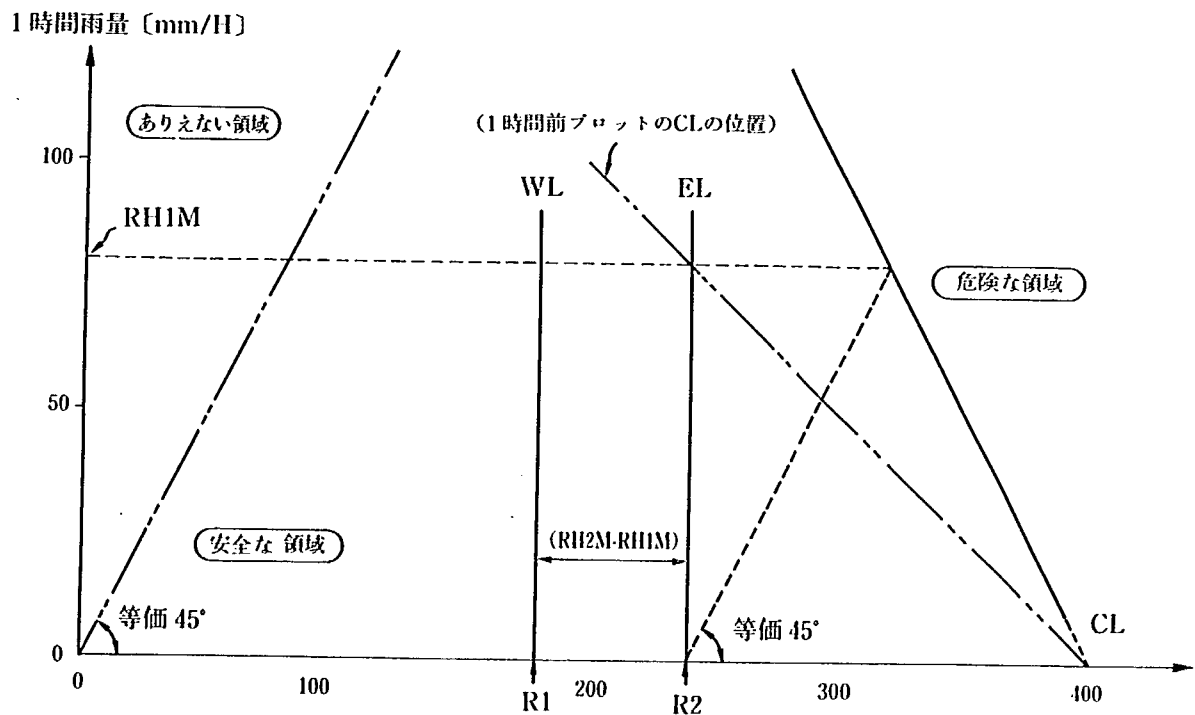


図-4.2 A方式のWL・ELの設定例（実時刻プロット方式）

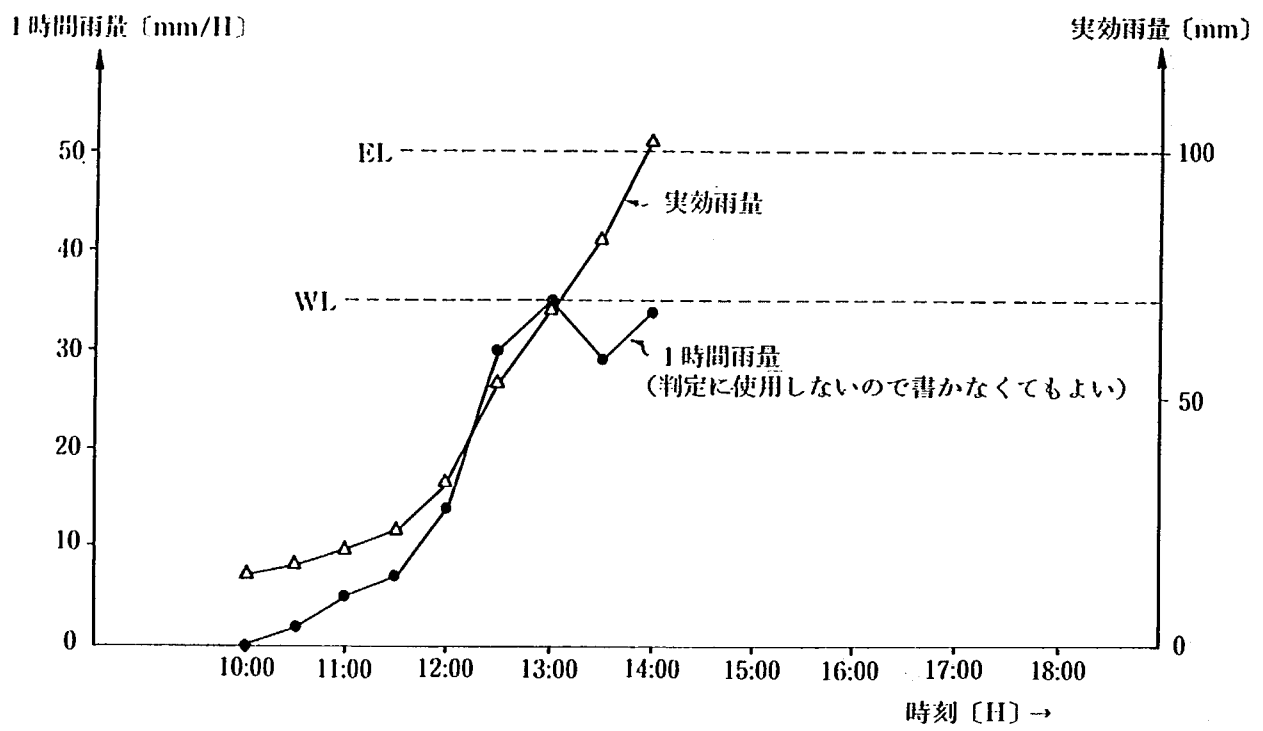


図-4.3 A方式の雨量判定図例 (時間軸使用)

4.4 限界実効雨量について

指針案では、図-4.4に示すようにX軸の原点付近にRUという数値を規定し、RU以下ではEL・WLを無視するものとしている。RUは、この値以下では土石流の発生に影響しないと考えられる実効雨量で、限界実効雨量と名付ける。RUは一般的には40mm程度とするが、収集した降雨資料によりその地域に適した値があれば、その値を採用する。なお、指針案ではA方式においては限界実効雨量RUに対して言及していないが、定義からいって当然適用可能である。

ここで注意しなければならないのは限界実効雨量RUとは、その時点から既往最大1時間雨量あるいは既往最大2時間雨量の降雨があっても、土石流が発生しないことを保証された値である（保証された値でなければならない）ということである。したがってRUの数値の決定には十分な検討を要する。

4.5 B方式のWL・ELの曲線形

指針によればB方式のWL・ELは、凸形の曲線となっているが、凹形の形状をとる場合もある。B方式によるWL・ELは数式から求めているためその曲線は第1象限に限らず第2、第3、第4象限にも存在しうるが、使用範囲は物理的意味を持つ第1象限（XYともにプラスの数値）に限定される。第1象限においてはWL・ELはある条件で直線になるほかは曲線になる。曲線の形状は円弧状であり凸形の場合と凹形の場合がある。

各形状の条件を次に示す。（図-4.6～図-4.8に形状例を示す）

① 凸形になる条件

$$EL ; RH1M < b / (1 - a)$$

$$WL ; RH2M < 2b / (1 - 2a)$$

② 直線になる条件

$$EL ; RH1M = b / (1 - a)$$

$$WL ; RH2M = 2b / (1 - 2a)$$

③ 凹形になる条件

$$EL ; RH1M > b / (1 - a)$$

$$WL ; RH2M > 2b / (1 - 2a)$$

図-4.7のように凹形になったときはWL・ELがCLを超えてしまうが、このときの凹形となった曲線も有効と考えられ、次のように説明される。

図-4.7において点Pの位置にスネーク曲線（SL）の先頭が来ていたとすれば、そのときの有効雨量強度は既往最大以上ということになり、そこから既往最大降雨になるとSLは下がってきてCL上にくる。計算上はおかしくないが、現実的には違和感がある。ここで、有効雨量強度は変曲点Aからの有効時間が分母であり、変曲点Aは検出時点から1時間さかのぼった時点と定義されているので、実際上はSLは原点から45度の角度で引いた直線O-Qの左上側にくることはありえない。つまり、SL

有効雨量強度

[mm/H]

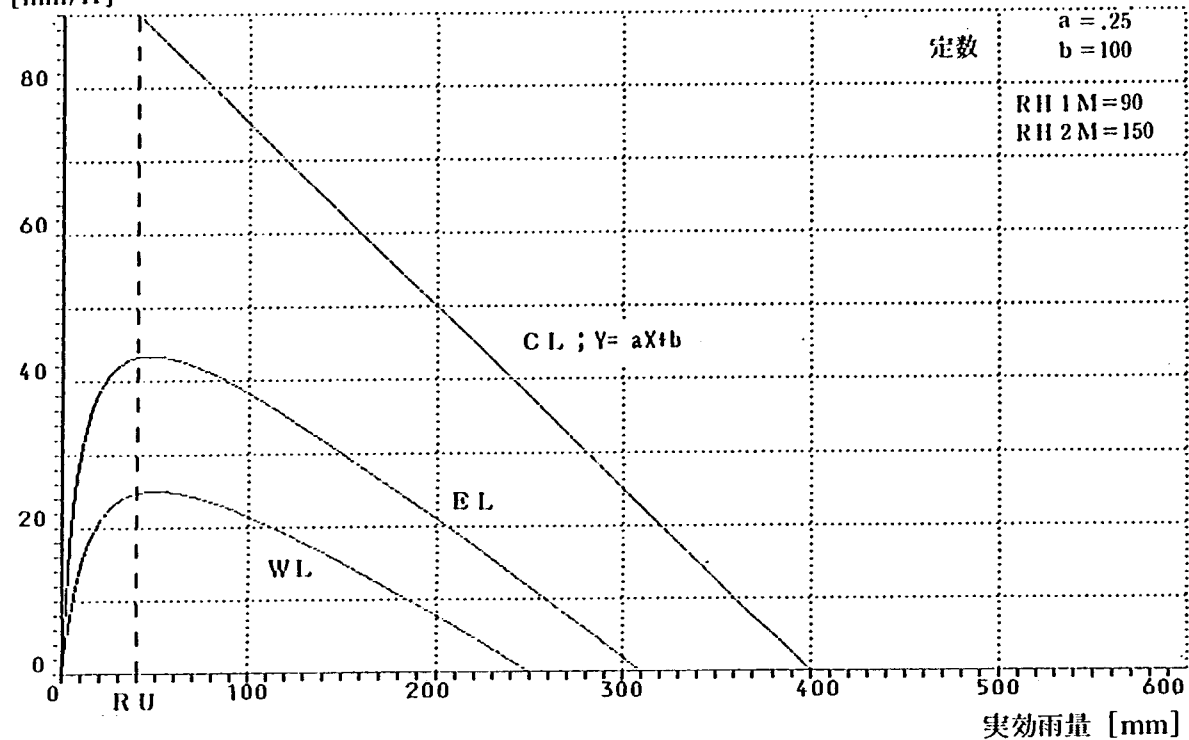


図-4.4 WL・ELが凸形の例： $RH1M < b/(1-a)$, $RH2M < 2b/(1-2a)$

有効雨量強度

[mm/H]

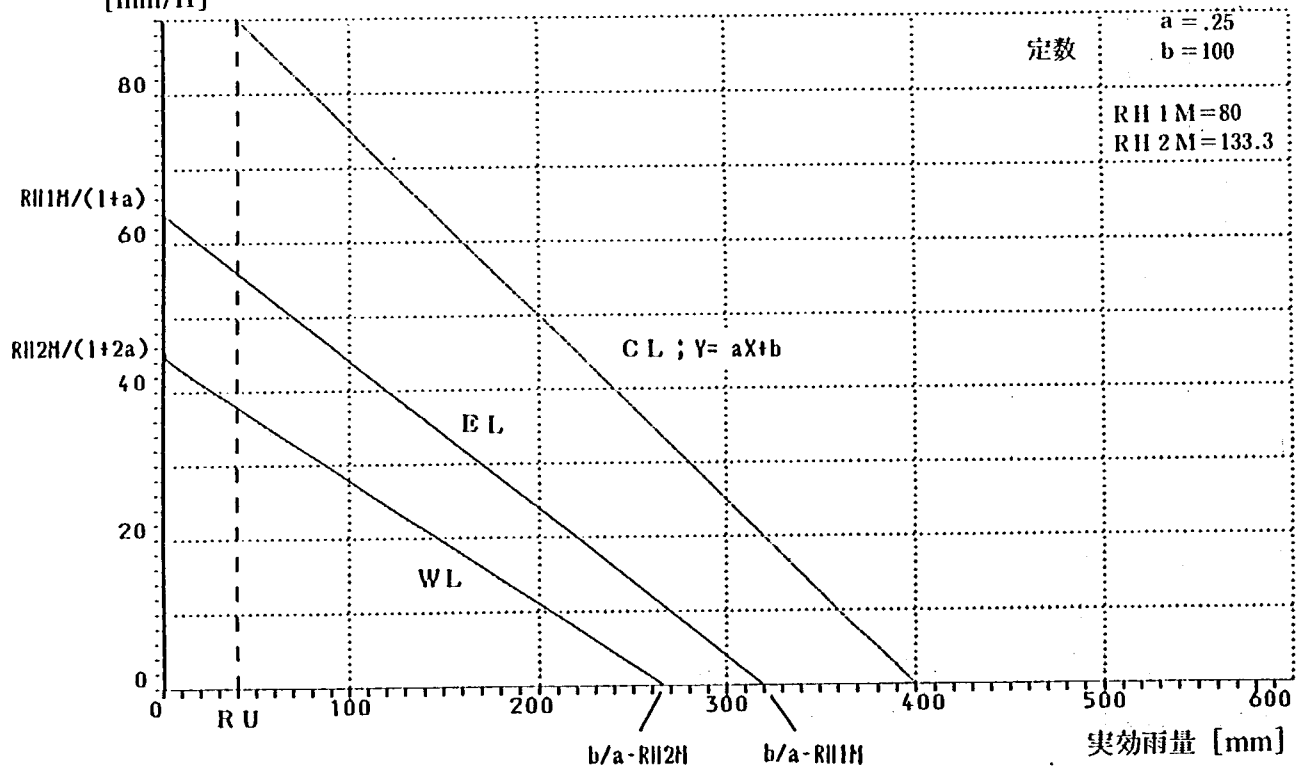


図-4.5 WL・ELが直線の例： $RH1M = b/(1-a)$, $RH2M = 2b/(1-2a)$

有効雨量強度

[mm/H]

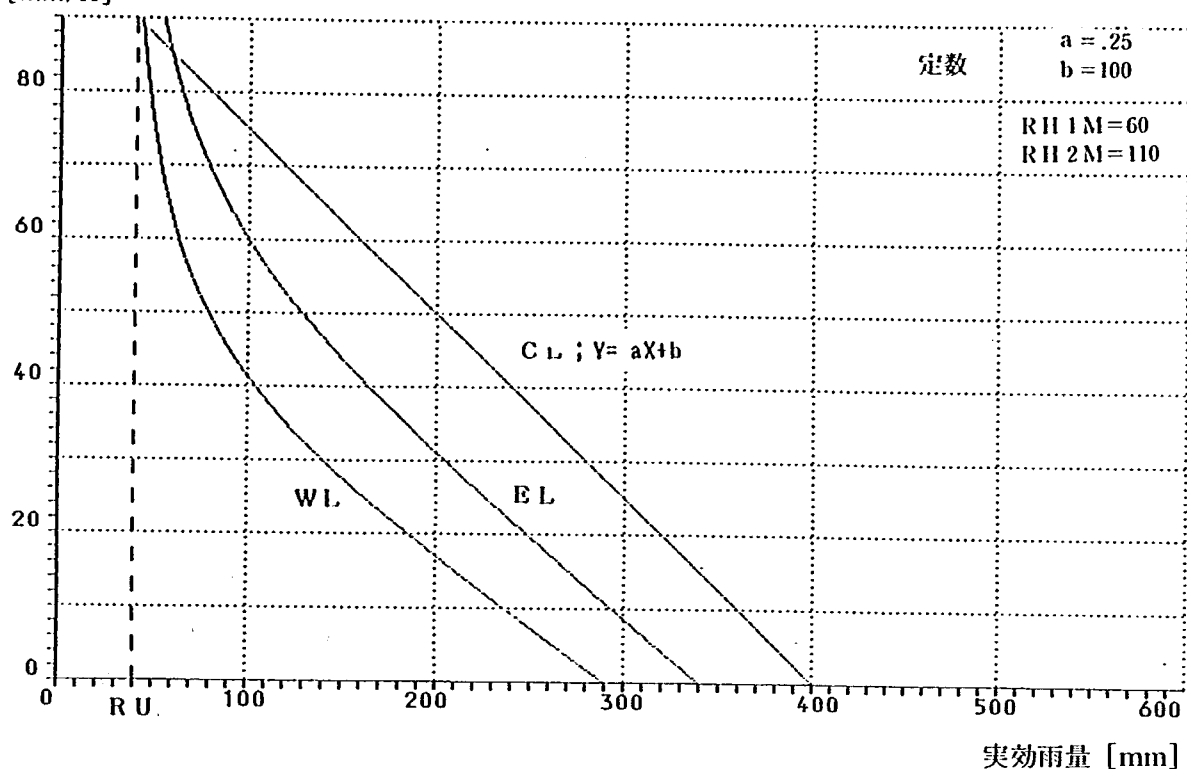


図-4.6 WL・ELが凹形の例：RH1M>b/(1-a), RH2M>2b/(1-2a)

有効雨量強度

[mm/H]

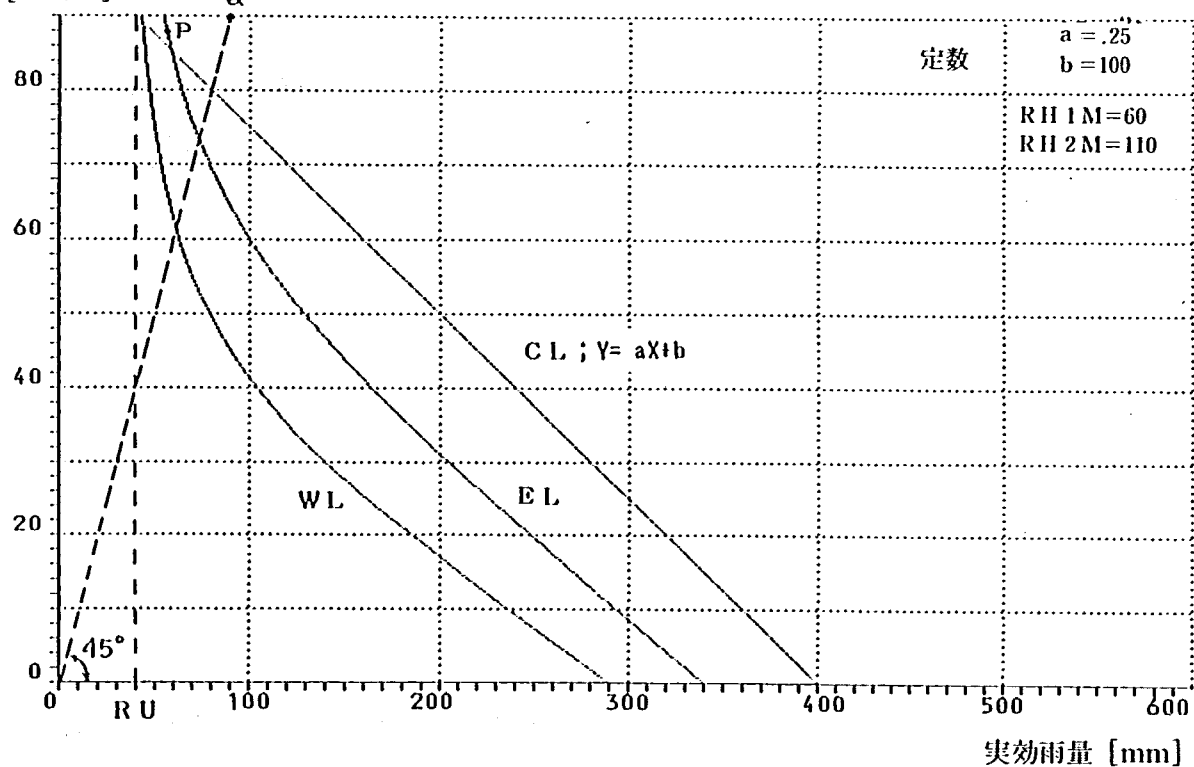


図-4.7 WL・ELが凹形の場合の説明図

が原点からスタートしたとしても有効雨量強度（縦軸）がある数値あれば、実効雨量（横軸）は少なくともその数値と同じもしくは以上になるので直線O-Qの右下側にくることになる。

したがってWL・ELとCLの交点が直線O-Qの左上側であれば支障はないといえる。なお、ここでの角度45度は縦軸と横軸が同一目盛りの場合であり、目盛りが異なるときは等価的に45度ということになる。

4.6 B方式におけるWLとELの逆転現象

WL・ELはそれぞれCLから独立に求めているため、場合によっては図-4.9に示すようにWLよりELの方が下側にくるという逆転現象がでてくる。

WL・ELがいずれも凸形の場合においてX（横軸）の値が極く微小の範囲では各定数の値にかかわらずWLよりELの方が下側にくる。Xがある程度大きくなるとELが上になるが、この交点は既往最大1時間雨量と既往最大2時間雨量との差が少ないほど右側にくる。もし両者が同一の値だとすべての点でELが下まわる。このような現象があらわれるのは、CLからWL・ELを求めるときに、ある程度独立した定数（ $RH\ 2\ M \leq 2 \times RH\ 1\ M$ の条件しかない）である $RH\ 1\ M \cdot RH\ 2\ M$ を用いて計算しているためである。交点の位置がRUよりも左側であれば問題ないといえるが、有効領域でWLとELの逆転現象がある場合は、警報の発令の前に避難の指示が出てしまう不都合が生じるので、このような設定は避けなければならない。1つの解決方法として既往最大2時間雨量の代わりに、既往最大1時間雨量に相当する確率規模の2時間雨量を採用することが考えられる。

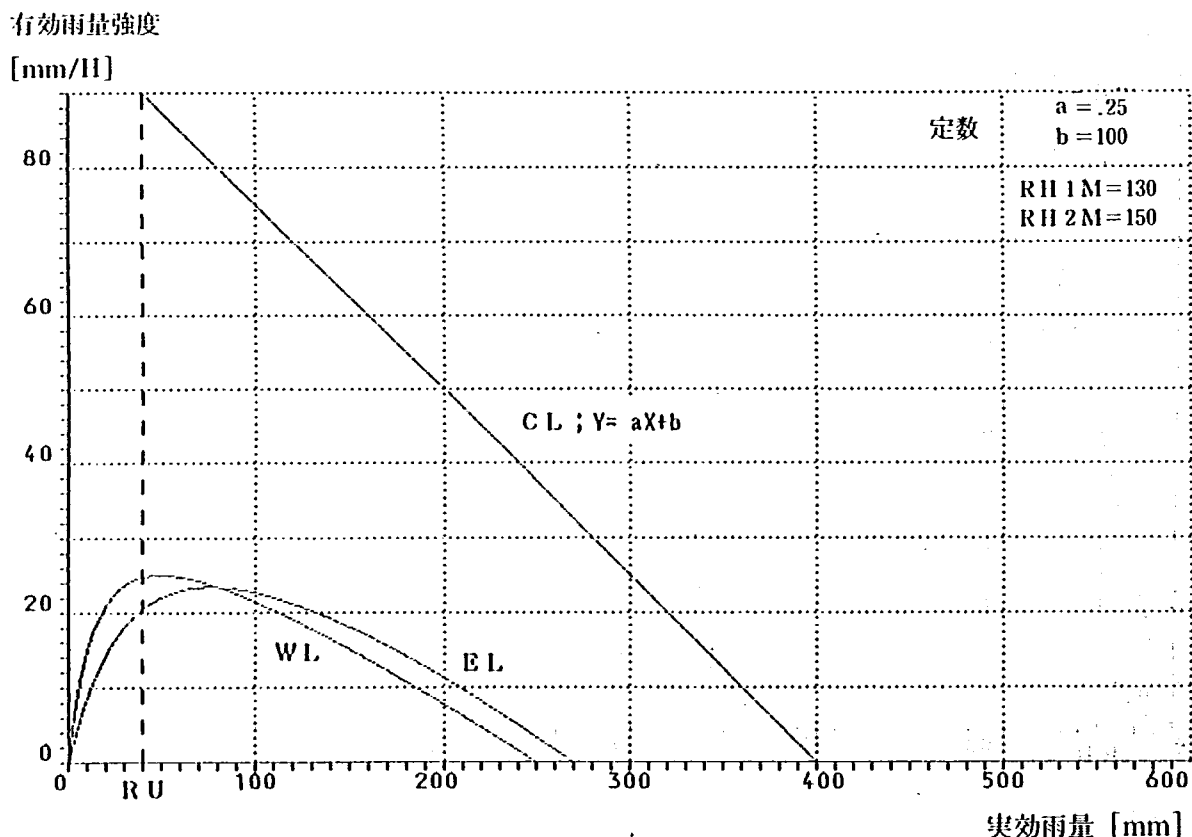


図-4.8 WL・ELが凸形で交差する例：RH1MとRH2Mの差が小さい場合

4.7 警報の発令頻度および避難の指示頻度の検討

発令、指示頻度は年何回が妥当かというのは地域によって条件が異なり、一概にいけない。災害の頻度が多ければ当然、発令・指示頻度も多くなる。また代表観測所のカバー範囲を広くすると、発令・指示頻度も多くなる傾向になる。

なお、A方式の場合は、ここで頻度の検討に用いる横軸の数値は総実効雨量で、CL設定のときと異なるので注意を要する。

4.8 警報発令および避難指示の空振り頻度について

空振り頻度は少ない方がよいことはいうまでもないが、必ずしも0にはならない。年何回までは妥当かというのは地域によって条件が異なり、一概にいけないので運用者が判断することになる。しかし年、数回を越すような場合は多すぎると思われるので、解析方法、災害資料などをチェックする必要がある。なお代表観測所のカバー範囲を広くすると、空振り頻度も多くなる傾向になる。

行政上、指示頻度や空振り頻度は重要な数字であるが、技術的にでてくるものであり、これによってCLの描き方を変えてはならない。つまり、WL・ELはCLに従属しているものであり、WL・ELに不具合があったからといってCLにはねかえるものではない。

4.9 WL・ELの妥当性について

本来、警戒基準線WL・避難基準線ELは、CLと既往最大1時間雨量および既往最大2時間雨量によって一義的に決定されるものであり、指示頻度や空振り頻度による妥当性の検討結果によって再設定ということにはならないはずである。したがって、ある地域において指針案を適用したときに、CLの分離性がよいのに発令・指示頻度あるいは空振り頻度が非常に多いなどの不都合な点があったとしても、WL・ELの妥当性云々ではなく、指針案が適していないということになる。

ただし、指示頻度や空振り頻度あるいはCLの分離性だけで指針案の妥当性を判断すると、「論理上はおかしくないが常識上おかしい」というような空振り現象が出ることがあるので、実効雨量算出時の半減期の吟味も必要である。

5. 警報の発令と解除

5.1 発 令

降雨が警戒基準値に達したときは警戒の発令、避難基準値に達したときは避難の指示（避難命令あるいは勧告の発令）をおこなうことになる。しかし、降雨解析結果から得られるのは警戒あるいは避難という情報であり、それが必ずしも発令につながるものではないことに留意しなければならない。実際の発令は、降雨解析結果から得られた警戒・避難情報とともに、責任者の状況判断を取り入れておこなうことが望ましい。逆に基準値に達していなくても土石流発生の危険性があると判断した場合には避難の指示をすべきである。

判断材料として気象情報（気象庁の警報・注意報やレーダ雨量計の解析結果など）、周辺における崖崩れの発生、対象溪流の状況などが挙げられる。

5.2 解 除

警戒・避難体制の解除は原則的に 24 時間降雨中断後になるが、気象情報等を参考にして責任者の判断でおこなってもよい。ただし実際に災害が発生した場合としない場合では対応が異なると思われ、とくに発生した場合は被災状況に応じて解除の判断をおこなうことが望ましい。

5.3 土石流発生と気象庁注意報・警報の関係

昭和 57 年、58 年の全国各地の土砂災害発生状況と大雨注意報・警報の解除との時間的關係を表 5.1 に示す。表によれば一連の降雨による最後の災害発生時点から、注意報・警報解除までの時間は平均で 16 時間となっている。これは前記の 24 時間より短い、この程度でも支障はないと考えられる。しかし、短い例だと時間的差がない、つまり災害が発生しているのかかわらず、ほとんど同時に警報が解除されている。また災害が発生したにもかかわらず警報が出されていない例も見受けられる。したがって、避難解除においては気象庁の注意報・警報の解除が参考になるが、それだけで判断するのは危険であるといえる。

表-5.1 大雨注意報・警報解除と災害発生の関係

府 県 名	災 害 発 生 期		最後の災害発生から大雨注意報・警報解除までの時間		備 考
			警 報	注 意 報	
福 島 県	57. 8. 2	土石流	6:45	76:20	台 風 10 号
群 馬 県	57. 8. 1	〃	13:00	(13:00)	〃
山 梨 県	57. 8. 2	〃	4:00	(4:00)	〃
	58. 8. 16	〃	40:30	50:20	台 風 5 号
富 山 県	57. 6. 27	〃	4:20	10:10	梅 雨 前 線
静 岡 県	57. 9. 12	〃	1:10	3:45	台 風 18 号
	57. 8. 1	〃	5:35	7:50	台 風 10 号
	57. 8. 3	〃	3:50	(3:50)	〃
	58. 5. 16	〃	5:00	10:30	
長 野 県	58. 9. 28	〃	25:10	(21:10)	台 風 10 号
	57. 8. 2	〃	2:40	7:40	台 風 10 号
愛 知 県	57. 9. 28	〃	7:55	(7:55)	台 風 19 号
京 都 府	58. 9. 28	〃	8:15	(8:15)	台 風 10 号
三 重 県	57. 8. 1	〃	6:00	12:00	台 風 10 号
	57. 8. 3	〃	7:40	(7:40)	〃
大 阪 府	57. 8. 1	〃	4:30	8:00	〃
和 歌 山 県	57. 7. 19	〃	発令されていない	3:50	梅 雨 前 線
	57. 8. 6	〃	—	—	注意報警報発表以前に発生
	57. 7. 25	〃	8:00	16:00	梅 雨 前 線
兵 庫 県	58. 9. 28	〃	8:20	(8:20)	台 風 10 号
山 口 県	58. 7. 23	〃	2:15	(2:15)	梅 雨 前 線
徳 島 県	57. 8. 27	〃	8:50	14:15	台 風 13 号
	58. 9. 28	〃	16:10	19:10	台 風 10 号
熊 本 県	57. 7. 12	〃	13:25	63:30	梅 雨 前 線
宮 崎 県	57. 7. 12	〃	発令されていない	(2:30)	〃
	57. 8. 13	〃	0	12:30	台 風 11 号
鳥 根 県	58. 7. 23	〃	11:00	19:15	梅 雨 前 線
		崩 壊	9:30	17:45	〃
長 崎 県	57. 7. 23	土石流	30:00	(30:00)	〃
		崩 壊	13:00	(13:00)	〃
平 均		土石流	N=25 9:47	N=27 16:36 N=16 20:58	上段は全数 下段は() のものを除 いた場合。
			N= 2 11:15	N= 2 15:23 N= 1 17:45	
		崩 壊	N= 2 11:15	N= 2 15:23 N= 1 17:45	
				N= 1 17:45	

()内は警報解除後に注意報への切替えなし。
解除までの時間は±15分の誤差を有する。

6. 基準雨量の精度

6.1 概 説

予測の要素として時間、場所、規模が挙げられるが、基準雨量は土石流の発生の有無の予測方法であるため、ここでは場所と時間について考察する。解析における基本情報は過去の実績であるので、予測精度を上げるためには正確な情報を収集しなければならず、また統計的手法によることから解析に使用する情報量もある程度以上ないと精度を下げる。いずれにしても誤差を 0 にすることは困難なので、誤差を前提に置いた警戒・避難体制としなければならない。とくに、時間的誤差はいくつかの原因を合わせると相当大きくなり、EL から CL に達するまでの時間が 30 分程度に短くなる可能性もある。

6.2 場所的精度

場所的精度はどの溪流に土石流が発生するかしないかを予測することが要求されるが、実際には統計的手法の限界から特定の 1 溪流において論議することは困難である。したがって、危険溪流をいくつか含む、ある範囲内のどこかで発生を予測し、それをその範囲での発生とする。この範囲を広げると範囲全体を見た場所的精度は向上するが、逆に範囲を狭めると場所的精度が落ちる。

6.3 時間的精度

時間的精度は住民の避難行動に必要な時間を確保できるよう要求され、計針案では災害が発生すると予測される時刻の 1 時間程度以前に避難指示を検出できることが望ましいとしている。ここで注意しなければならないのは、避難指示の「検出」が 1 時間前であって、「避難命令（勧告）の発令」が 1 時間前ではないということである。時間的精度に影響する要素は次のものがある。

- ① 過去の降雨資料の収集間隔による雨量の誤差
- ② 過去の降雨資料の収集間隔による変曲点位置の誤差
- ③ B方式の近似式の影響
- ④ 過去の雨量・災害資料に含まれる誤差

（1）過去資料の収集間隔による誤差

過去の降雨資料は一般に正時単位で整理保存されているので、必ずしも災害発生直前の降雨量を正確にとらえているとはいえない。また、変曲点の位置も正時単位でしか設定できないので、時間雨量 4 mm/H の時点を正確にとらえられない。災害発生時点の雨量と変曲点の位置の計算上の最大誤差は 1 時間まで考えられるが、これは極く短時間で大量の降雨があったと仮定した場合で、現実的には多くても 20～30 分と思われる。降雨資料数がある程度多くなれば、変曲点の位置は統計的に正確な数値に近づくし、発生降雨資料数が多くなれば災害発生時点の雨量も統計的に正確な数値に近づく。

さらに、これらの数値が警戒・避難検出時刻に直接影響するわけではないので、過去の降雨資料の収集間隔による時間的誤差は、5～10 分あるいはそれ以下と思われる。

(2) B方式の場合で WL・EL 算出時の近似式

WL・EL 算出時に前期雨量・初期雨量を 0 と近似しているため、前期雨量・初期雨量が大きい降雨に対して警戒・避難の判定をしようとするときは、時間的誤差を生ずる場合がある。(詳細は 6.4 項に記述する)

(3) 過去の雨量・災害資料に含まれる誤差

基礎となる資料の時間的誤差は手法によって解決できないので、資料の収集時に十分な吟味を要する。

6.4 近似式の影響

近似式の影響が何時間になるかの一般式を求めるのは困難なので、実際の降雨を例にとって確認する。

降雨例としては、先行雨量が大きかった高知の昭和 30 年 10 月降雨(図-6.1 参照)および昭和 49 年 8 月降雨(図-6.2 参照)を用い、雨量判定図にスネーク曲線を描き、曲線上の 10 分ごとの各点において、そのあとに既往最大時間雨量が降ったとすればどの位置に達するかを計算した。

計算は次の 3 ケースでおこない、結果は図-6.3～図-6.5 に示した。

CASE 1 降雨資料；30 年降雨 半減期；1 日 前期実効雨量；15.8 mm

CASE 2 降雨資料；49 年降雨 半減期；1 日 前期実効雨量；15.8 mm

CASE 3 降雨資料；49 年降雨 半減期；3 日 前期実効雨量；75.9 mm

(注) ケース 1 と 2 の前期実効雨量が同一なのは偶然である。

本来、スネーク曲線が WL 上にあるときに既往最大 2 時間雨量が降れば 2 時間後に CL に達し、EL 上にあるときに既往最大 1 時間雨量が降れば 1 時間後に CL に達するはずであるが、図によると、より以前に CL に達しており、とくに 2 時間後は最初から最後まで CL を超えてしまっている。EL 上のスネーク曲線の点と、CL から既往最大 1 時間雨量分戻ったスネーク曲線上の点の時間差は次のようになる。

CASE 1 (半減期；1 日) 0 分

CASE 2 (半減期；1 日) 10 分 (EL 上の点が遅れる)

CASE 3 (半減期；3 日) 30 分 (EL 上の点が遅れる)

EL 上の点が遅れるということは、CL に達したのを検出するのが遅れることになり、予知という点では危険側といえる。また前期実効雨量が大きくなると誤差も増える方向である。

6.5 WL と EL の時間差

EL の設定は発生 の 1 時間前、WL の設定は発生 の 2 時間前としているので、一連の降雨における WL と EL の時間差つまり警戒の発令から避難の指示までの時間間隔は 1 時間になるように思える。しかし必ずしもそうではなく、ちょうど 1 時間になるためにはある条件が必要なので、一般には 1 時間でない方が多いと思われる。

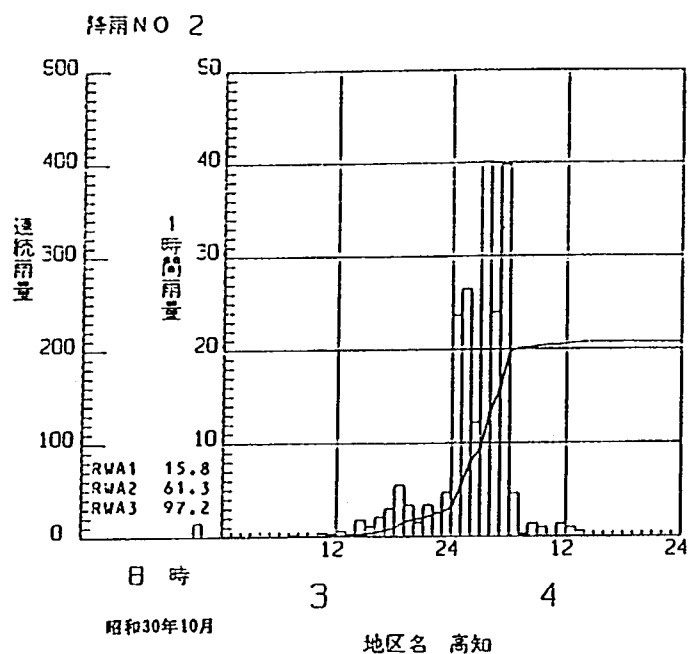


図-6.1 高知 昭和30年10月降雨パターン

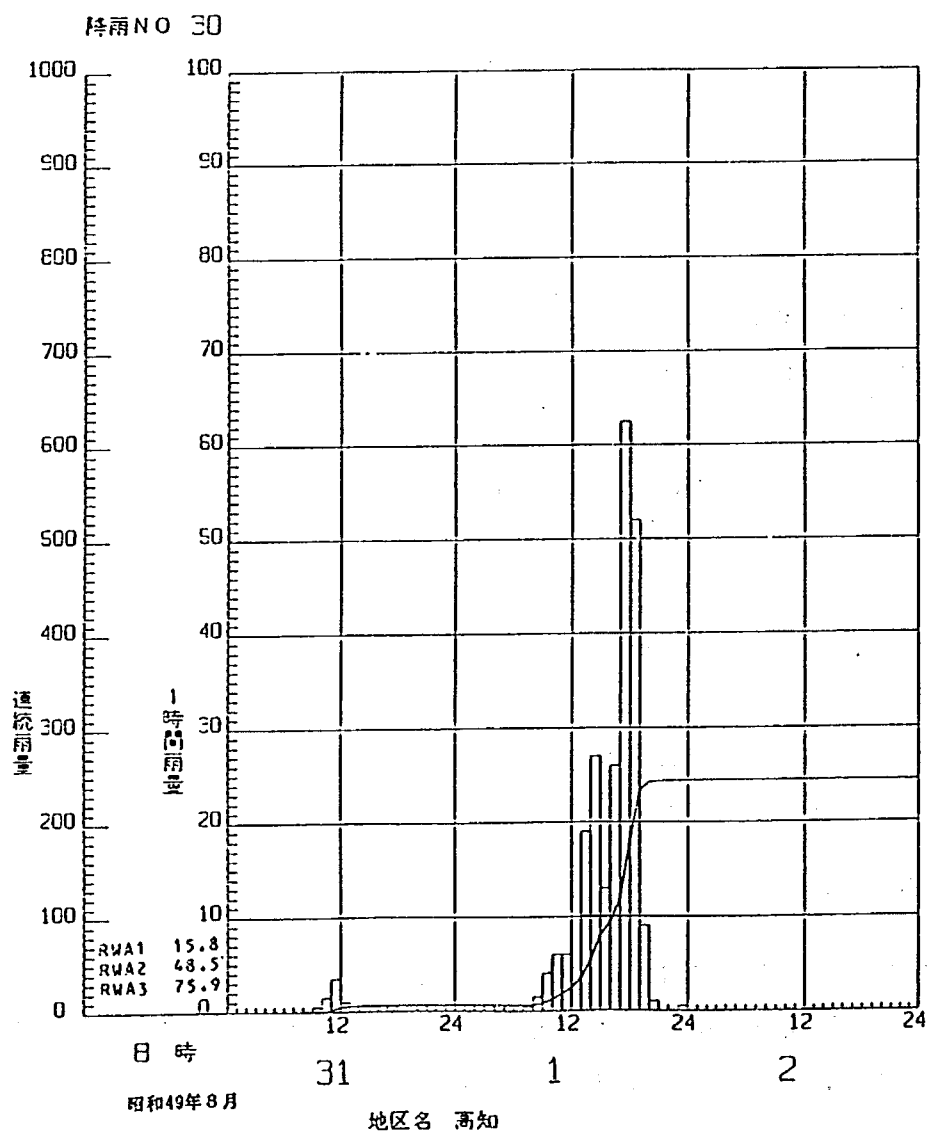


図-6.2 高知 昭和49年8月降雨パターン

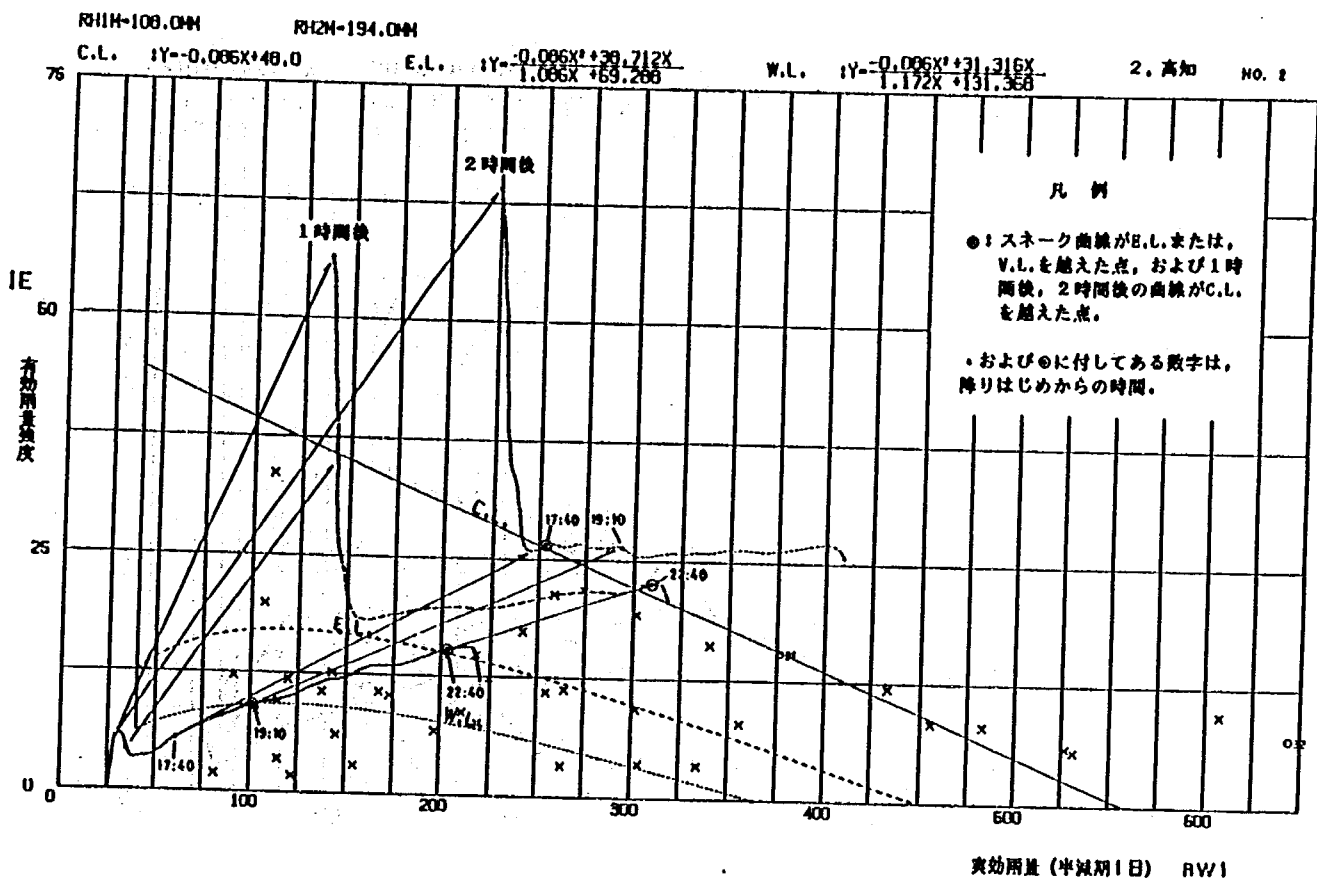


図-6.3 昭和30年10月降雨に対する雨量判定図 (半減期1日)

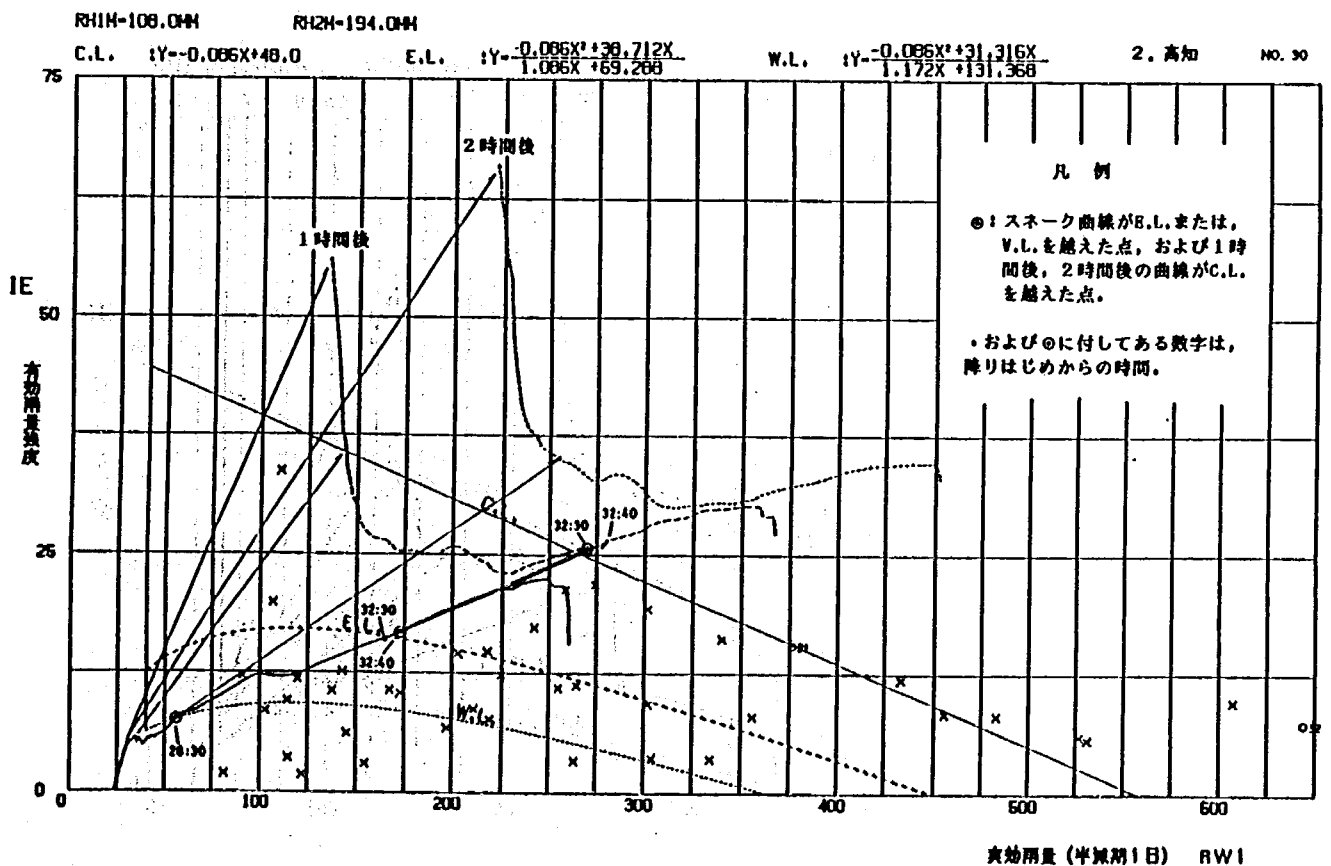


図-6.4 昭和49年8月降雨に対する雨量判定図 (半減期1日)

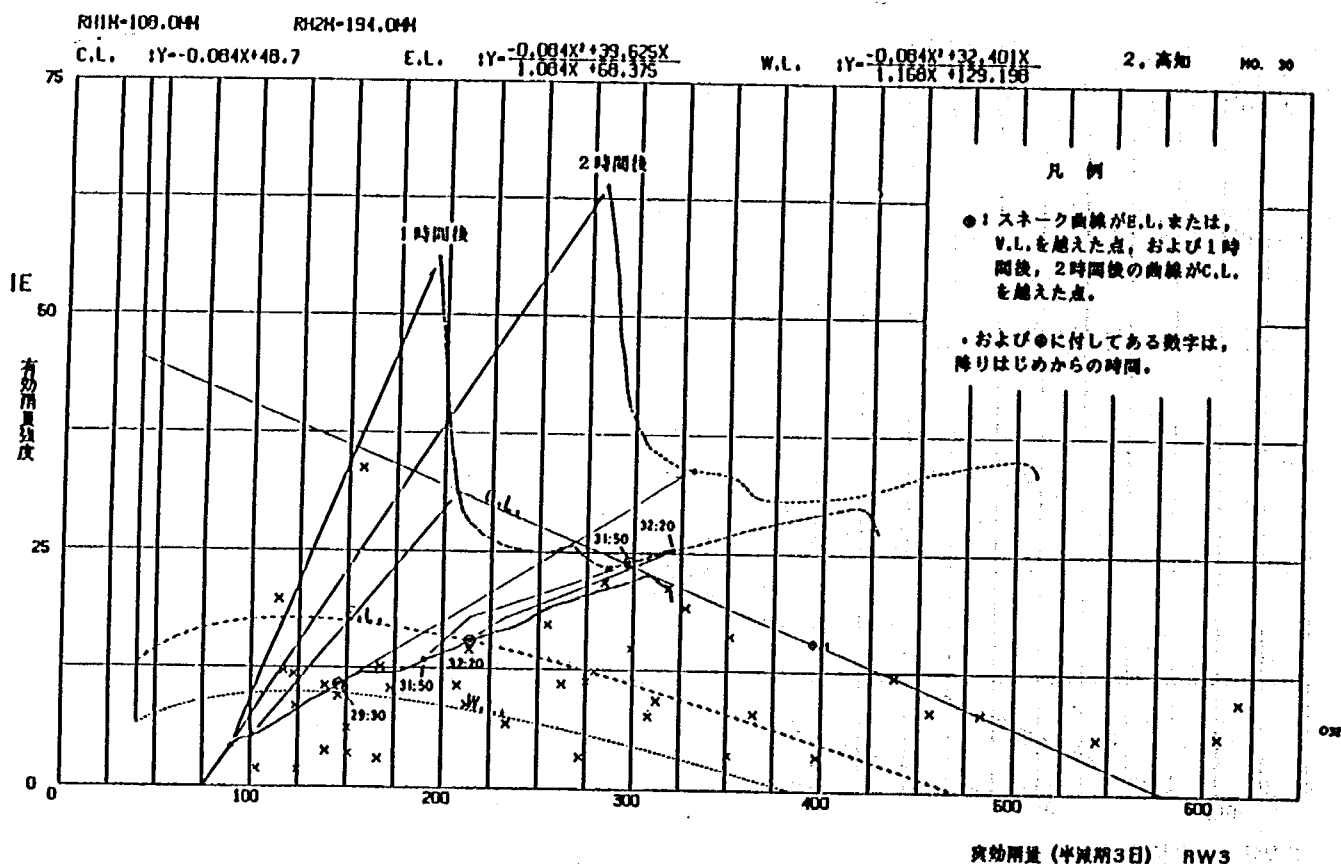


図-6.5 昭和49年8月降雨に対する雨量判定図 (半減期3日)

(1) A方式のWLとELの時間差

A方式のELとWLの雨量差は既往最大1時間雨量RH1Mと既往最大2時間雨量RH2Mで規定しているので、スネーク曲線SLがWLからELまで進む間にちょうどその雨量差分の降雨があったときだけWLとELの時間差が1時間となるのであって、一般には一致することはないといえる。

例としてRH1Mを100mm、RH2Mを150mmとすれば、SLがWLからELまで進む間の降雨が両者の差の50mm/H以上のときは、WLとELの時間差が1時間より短くなり、50mm/H以下のときは、WLとELの時間差が1時間より長くなる。もし、既往最大1時間雨量RH1Mと既往最大2時間雨量RH2Mが同一値であればWLとELの時間差は0となる。

差が0は極端な例としても、非常に差が小さいとき（例えばRH1Mの10%程度）は、WLとELの時間差が非常に短くなる可能性があり、避難の準備のための警戒発令の意味を失ってしまうおそれがある。1つの解決方法として既往最大2時間雨量の代わりに、既往最大1時間雨量に相当する確率規模の2時間雨量を採用することが考えられる。

(2) B方式のWLとELの時間差

B方式の場合はWLおよびELの設定に独立性がつよいため、WLとELの時間差を論ずることが困難である。極端な場合は前記4.5で述べたようにWLとELの逆転現象が生じ、マイナスの時間差になってしまうことがある。そのため運用に際しては基準雨量による警戒避難の検出だけでなく、気象情報や周辺状況などを合わせた総合判断が必要になってくる。

6.6 精度に関する考察

避難命令の発令につながる避難情報の検出時刻に対する時間的誤差は、次のように整理できる。なお、この他に災害資料に含まれる誤差も考えられるが、具体的な数値を示すことができないので、ここでは言及しない。

	A方式	B方式
① 収集間隔による雨量の差	-10分～0分	-10分～0分
② 収集間隔による変曲点位置	——	0分～+10分
③ B方式の近似式の影響	——	0分～+30分

ここで、マイナスの数値は安全側（早めに検出）であり、プラスの数値は危険側（遅めに検出）であるので、A方式は避難情報を目標値より早めに検出する傾向にあり、空振りが多くなる傾向にあるといえる。

また、B方式は避難情報を目標値より遅めに検出する場合があります。その場合は、避難情報検出から発生危険基準線 CL までの時間が短くなる。したがって、避難命令の伝達時間や避難行動に要する時間は、できるだけ短くするように心掛けなければならない。

空振りを減らすために、避難基準線 EL から発生危険基準線 CL までの時間を短く（例えば 30 分）想定して基準雨量を設定することも考えられるが、その場合は、上に述べた精度を踏まえ、時間的誤差を考慮した慎重な検討が必要である。

7. 特殊な降雨に対する考察

7.1 概 説

昭和59年以来、各地で指針案による基準雨量が設定されており、土石流発生監視装置も一部の地域で稼働しているが、指針案による基準雨量を運用し、実際の雨に対して警戒避難の判定をしようとする、指針案の意図する動作をしない場合がある。指針案による基準雨量設定は、過去の降雨に基づいた統計的手法でおこなわれているので、過去の資料を解析に使用した平均的な降雨パターンに対して、実際の雨の降雨パターンが大きく異なるときにその傾向が見られ、理論上避けられない現象と考えられる。本章ではそれらの例をいくつか挙げ、原因の解析と解決方法に対する検討を試みる。

7.2 雨量強度の小さい雨が長期間続く場合

(1) 現象

梅雨期のように長期間にわたって降雨が続く場合は、24時間以上の無降雨期間がないとすべてを一連の降雨としてしまうので、そのときそのときの雨量強度は大きくなくても、一連続雨量としては相当大きな値になりうる。したがって雨量強度が小さいときでも（ほとんど降ってなくても）、警戒、避難を検出してしまう。いわゆる空振りの可能性が高くなる。これはA、B両方式にあてはまる。

(2) 解決方法

解決方法として、無降雨検出時間をもっと短くすることが考えられる。

中断時間を変化させた場合のCLの適合率を表-7.1に、ELの空振り率を表-7.2に示す。表によれば、中断時間を短くすると適合率はわずかに下がる傾向にあり、逆に空振り率はわずかに上がる傾向にある。これだけで判断すると中断時間を短くしても意味がないようにみえる。しかし、「論理上はおかしくないが常識上おかしい」というような空振り現象をある程度減少させることができると思われる。

7.3 雨量強度の小さい雨が長期間続いたあとの強強度の降雨

(1) 現象

同じような長期間の雨でも終盤に大雨を伴うと、土石流発生面からみると危険度が大きいと考えられる。B方式では、変曲点から時間的に離れた大雨は有効雨量強度が上がらず警戒、避難を検出できないおそれがある。これは1度変曲点Aを検出してしまうと、降雨終了までその点をもとに有効雨量強度を計算しているためである。

(2) 解決方法

途中に変曲点Bが存在する場合は、再度変曲点Aを設定することが考えられる。また、指針では変曲点Aを1時間雨量4mm/Hで検出しているが、もっと大きくする方法もある。しかし、変曲点の位置は指針案の基本にかかわる部分であり、変更することは好ましくないといえる。

表-7.1 CLの適合率

地 名	手法	中 断 時 間			
		24	12	6	3
長 崎	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	1.000	1.000	1.000	1.000
高 知	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	0.850	0.886	0.894	0.962
香 川	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	0.778	0.714	0.714	0.714
兵 庫	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	0.971	1.000	1.000	1.000
島 根	A案	0.986	0.544	0.542	0.539
	B案	0.959	0.515	0.446	0.407
滋 賀	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	0.987	1.000	1.000	1.000
岐 阜	A案	0.862	0.943	0.921	0.801
	B案	0.836	0.848	0.848	0.783
静 岡	A案	0.857	0.864	0.864	0.875
	B案	0.667	0.682	0.682	0.708
山 梨	A案	0.955	0.958	0.958	0.955
	B案	0.955	0.958	0.958	0.955
群 馬	A案	0.984	1.000	1.000	1.000
	B案	0.937	0.938	0.915	0.911
平 均	A案	0.964	0.931	0.929	0.917
	B案	0.894	0.854	0.846	0.844
最 大	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	1.000	1.000	1.000	1.000
最 小	A案	0.857	0.544	0.542	0.539
	B案	0.667	0.515	0.446	0.407

表-7.2 ELの空振り率

地 名	手法	中 断 時 間			
		24	12	6	3
長 崎	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	0.250	0.250	0.462	0.429
高 知	A案	0.450	0.364	0.340	0.288
	B案	0.475	0.500	0.468	0.442
香 川	A案	0.222	0.571	0.571	0.571
	B案	0.333	0.429	0.429	0.286
兵 庫	A案	0.171	0.182	0.515	0.457
	B案	0.229	0.091	0.091	0.143
島 根	A案	0.959	—	—	—
	B案	0.541	0.926	0.923	0.898
滋 賀	A案	0.079	0.159	0.143	0.105
	B案	0.053	0.045	0.071	0.053
岐 阜	A案	—	1.000	1.000	—
	B案	0.638	0.633	0.787	0.938
静 岡	A案	0.762	0.727	0.727	0.667
	B案	0.571	0.545	0.545	0.500
山 梨	A案	0.136	0.125	0.083	0.091
	B案	0.136	0.167	0.042	0.136
群 馬	A案	0.095	0.092	0.102	0.107
	B案	0.175	0.200	0.237	0.268
平 均	A案	(0.430)	(0.469)	(0.448)	(0.410)
	B案	0.340	0.379	0.406	0.409
最 大	A案	1.000	1.000	1.000	1.000
	B案	0.638	0.926	0.923	0.898
最 小	A案	0.079	0.092	0.083	0.091
	B案	0.053	0.045	0.042	0.053

7.4 断続的な降雨の場合

(1) 現象

比較的大きな雨が断続的に降ると、前期雨量の影響が後続の雨におよび、後続の雨の降雨開始とともに警戒を検出してしまい、極端な場合は避難の検出および危険基準線への到達までも同時になってしまう。そのため、後続降雨が小さいときはその検出は空振りとなる。また、後続降雨が災害を起こすほど大きい雨であったとしても、警戒避難の検出が災害発生時刻の相当前になるので、情報としての意味を持たなくなってしまう。この現象は前期雨量の計算に用いる半減期が長いときに顕著に出る。

(2) 解決方法

方式上やむをえない現象であり、根本的に解決方法はない。しかし、CLあるいはWL・ELの妥当性を検討するときに半減期の長さを評価基準に入れることで、ある程度の範囲で解決可能と思われる。

7.5 突然強強度の雨が降りだした場合

(1) 現象

一過性の雷雨のように1~2時間で数10mmの降雨は、土石流発生に対し危険度は少ないと考えられるが、B方式の場合は縦軸（有効雨量強度）がWL・ELを検出してしまう可能性が高い。

(2) 解決方法

これは限界実効雨量RUの値を選ぶことで解決可能である。指針案では40mmとしているが、場所によってはもっと大きくすることも可能であろう。

7.6 史上空前の豪雨の場合

(1) 現象

A方式は実効雨量による1指標判定であるので、時間雨量の大きさでは警戒・避難の検出をすることができない。例えば、史上空前の1時間雨量を持つ豪雨（すなわち既往最大雨量よりも大きい）が降りだしたとしても、実効雨量が少ない範囲では、CLを超えているにもかかわらず原理上警戒、避難を検出することができない。

(2) 解決方法

既往最大の降雨より大きな降雨が降りだした場合は、その時点で人間が警戒、避難を判断すべきである。また、予警報装置などで自動的に判断させる場合は、既往最大雨量を超す雨に対しては警戒あるいは避難を検出すべきである。

7.7 運用上空振りが多い場合

(1) 現象

土石流発生監視装置を実際に運用すると、空振りが多いのが実状である。前項までにいくつかの原因を挙げたが、それら以外に土石流発生予知に既往最大時間雨量を用いていることが挙げられる。

(2) 解決方法

運用において、災害が発生したのに避難の検出ができないという見逃しは、絶対に避けなければならない。そのため、基準値が安全側になることは否めない。空振りを避けるためには、安全率の高すぎる項目を見つけ出し、適切な処理をすることが考えられる。

土石流発生予知に既往最大時間雨量を用いていることは、常に最大の安全率を見ているようなものである。対処方法として既往最大時間雨量の代わりに確率規模の雨量あるいは短時間降雨予測値を使うことが考えられる。

確率規模の雨量としては、10年確率～50年確率程度を使用すればよいと思われるが、実降雨に対して運用しているときに、それより大きな降雨を観測した場合は、別な判断条件を入れるなどの対応をしなければならない。

短時間降雨予測は、現在のところ完全な方法が確立していないので、今後の研究が待たれるところである。

8. 実降雨による有効性の検討

8.1 概 説

指針案による基準雨量に対して実際に災害が起きた事例をあてはめて、もし災害以前に基準雨量が設定してあったとすれば、適切な警戒の発令・避難の指示がなされたかどうかを検討する。事例としては昭和57年長崎災害および昭和58年島根災害を取り上げた。

8.2 検討方法

長崎では57年災害以前に、島根では58年災害以前に基準雨量を設定したものとし、それぞれ57年災害降雨（図－8.1参照）、58年災害降雨（図－8.2参照）に対して警戒避難の判定をおこない、検出時刻と土石流発生時刻との時間差を調べた。

両地域とも既往最大時間雨量が当該降雨に含まれるので、降雨資料として、57年、58年災害降雨を含む場合と含まない場合を想定して基準雨量を設定し、両者の比較をした。なお、災害時以前の既往最大2時間雨量の資料が入手できなかったため、既往最大1時間雨量を災害時の数値の割合で引きのばして求めたものを既往最大の2時間雨量とした。

長崎に対しては既往最大時間雨量を使った基準雨量のほかに確立雨量（表－8.1参照）を使った基準雨量についても検討しているが、島根については両者の値がほぼ同一であったため省略した。

8.3 結果と考察

計算結果を表－8.2、表－8.3および図－8.3～8.12に示す。避難の検出時刻およびCLに達した時刻から土石流発生時刻までの時間間隔を見ると表－8.4のようになっている。

表－8.4 検出時刻の差

		A方式 EL→発	A方式 CL→発	B方式 EL→発	B方式 CL→発	条 件
長 崎	CASE 1	1時間	－2時間	0時間	0時間	57年災害降雨含む
	CASE 2	2時間	－2時間	2時間	0時間	57年災害降雨除く 既往最大雨量
	CASE 3	0時間	－2時間	1時間	0時間	57年災害降雨除く 10年確率雨量
島 根	CASE 1	57時間	－1時間	49時間	0時間	58年災害降雨含む
	CASE 2	43時間	－1時間	27時間	－1時間	58年災害降雨除く 既往最大雨量

注. －はCL到達の方が遅い場合

長崎の場合は、災害以前に基準雨量を設定しておいたとすれば、1～2時間前に避難の検出をしているので、人的被害を実際の被害よりも減らすことができたと思われる。

島根の場合は、避難の検出をすることはしたが、災害発生の1日以上前なので効果は長崎より少なかったと思われる。

長崎と島根では、検出時刻と発生時刻の差に大きな違いが見られるが、これは両者の降雨パターンの差と考えられる。長崎と島根の降雨諸元表－8.5に示す。

表によれば、島根の降雨は降雨開始時刻あるいは変曲点A検出時刻からピーク時間雨量発生時刻までの時間が長くなっている。図－8.2の降雨パターンは、大きく分けると2つに分けること（細かく分けると4つ）ができ、前の方の降雨で警戒避難を検出しており、指針案の長期降雨に対する弱点が出ていることがわかる。

表－8.5 降雨諸元

項 目	長 崎	島 根	備 考
前期実効雨量（半減期：1日）	26.9 mm	11.2 mm	終了検出時間（24 H）を除く
降雨継続時間	54 時間	80 時間	
一連続雨量	570 mm	520 mm	
最大1時間雨量	111.5 mm	72.0 mm	
降雨開始から発生までの時間	12 時間	18 時間	
降雨開始からピークまでの時間	12 時間	19 時間	
変曲点Aから発生までの時間	2 時間	10 時間	
変曲点Aからピークまでの時間	2 時間	11 時間	

降雨NO 13

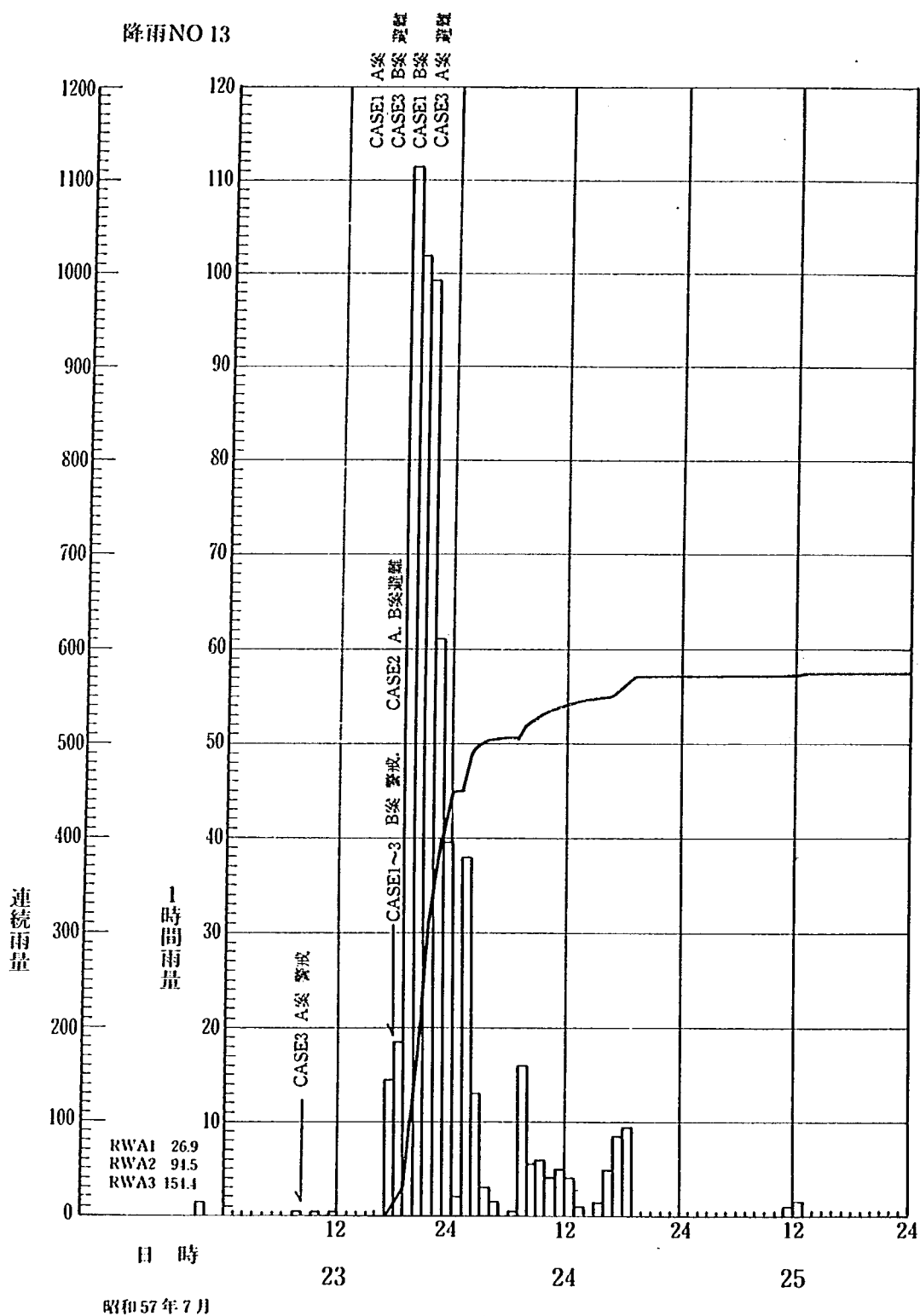


図-8.1 長崎 57 年災害降雨パターン図

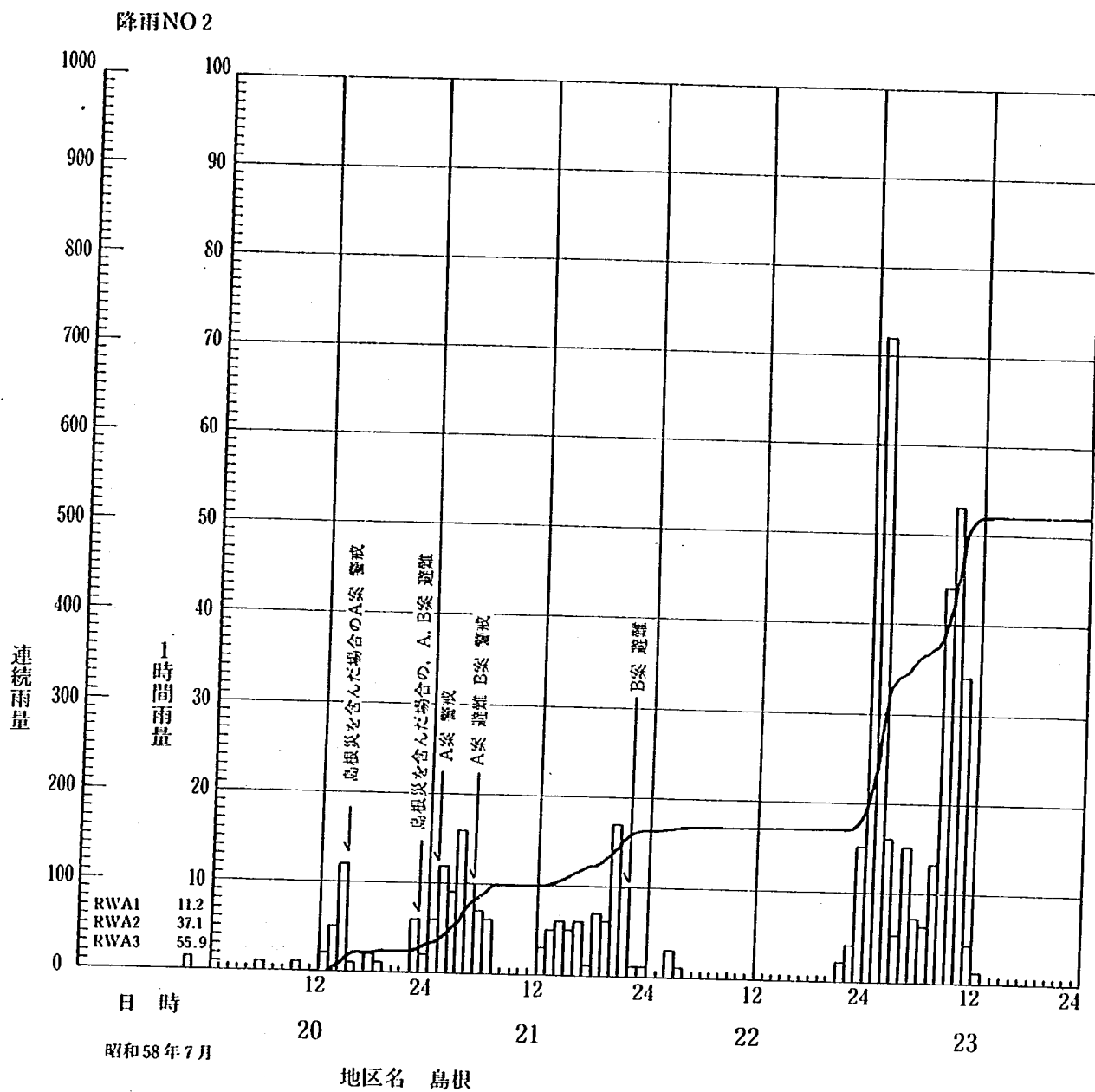


図-8.2 島根58年災害降雨パターン図

表-8.1 確率時間雨量の計算

観測所名 年	長 崎		浜 田	
	年最大 時間雨量	発生月日	年最大 時間雨量	発生月日
昭和25	41.5	3 / 7		
26	55.8	9 / 8		
27	42.7	4 / 20		
28	71.8	7 / 16		
29	66.0	7 / 25		
30	48.6	9 / 13		
31	63.8	8 / 16		
32	47.5	9 / 16	52.0	7 / 30
33	32.5	10 / 14	39.7	7 / 1
34	78.0	7 / 8	84.9	8 / 23
35	28.4	6 / 24	20.4	9 / 5
36	47.8	5 / 10	34.6	8 / 28
37	53.7	7 / 1	31.0	8 / 26
38	65.3	7 / 1	36.7	8 / 31
39	41.9	11 / 1	56.1	9 / 13
40	66.7	7 / 2	25.4	7 / 22
41	26.1	5 / 10	24.4	5 / 10
42	31.5	8 / 13	23.8	7 / 9
43	41.5	6 / 29	17.5	9 / 27
44	30.0	12 / 26	38.5	7 / 1
45	31.0	6 / 30	32.0	10 / 12
46	42.0	7 / 25	39.0	7 / 1
47	86.0	6 / 27	39.5	8 / 26
48	67.0	5 / 8	20.5	11 / 3
49	47.0	7 / 27	28.5	7 / 15
50	49.5	8 / 8	31.0	9 / 8
51	70.0	9 / 13		
52	51.5	6 / 15	64.0	8 / 8
53	46.0	6 / 11	45.0	9 / 15
54	58.5	2 / 23	49.0	9 / 4
55	60.5	7 / 1	37.0	8 / 26
56	102.0	9 / 25	33.0	6 / 25
57	127.5	7 / 23	26.0	7 / 14
58	39.5	5 / 16	72.0	7 / 23
59	40.5	7 / 1		
平 均	54.3		38.5	

確率時間雨量の計算

(岩井法による)

長崎確率雨量

確率年	確率雨量(mm)	
		57 災をのぞく
100 年	118.6	106.2
50 年	107.3	97.1
30 年	99.0	90.4
20 年	92.4	85.0
15 年	87.7	81.1
10 年	80.9	75.4
9 年	79.1	73.9
8 年	77.1	72.3
7 年	74.8	70.3
6 年	72.1	68.0
5 年	68.9	65.3
4 年	64.8	61.8
3 年	59.3	57.0
2 年	50.7	49.5
資料数	35	34

浜田確率雨量

確率年	確率雨量(mm)	
		57 災をのぞく
100 年	94.3	84.8
50 年	83.5	76.1
30 年	75.8	69.8
20 年	69.8	64.8
15 年	65.6	61.2
10 年	59.6	56.2
9 年	58.1	54.9
8 年	56.4	53.4
7 年	54.4	51.7
6 年	52.2	49.8
5 年	49.5	47.4
4 年	46.2	44.5
3 年	41.7	40.5
2 年	35.1	34.4
資料数	26	25

表-8.2 長崎の計算結果

ケース		X軸: RW 1		
		長崎災を含むCASE: 1	CASE: 2 (RHIMを既往最大)	長崎災を除いた場合 CASE: 3 (RHIMを10年確率雨量)
RH1M		111.5 mm	93.4 mm	75.4 mm
RH2M		213.5 mm	179.0 mm	144.4 mm
案A	C.L.	$Y = -0.452x + 139.0$	$Y = -0.454x + 110.0$	$Y = -0.454x + 110.0$
	E.L.	$X = 60.8$	$X = 36.6$	$X = 76.2$
	W.L.	$X = -$	$X = -$	$X = 7.2$
	E.L.を越えた時刻	7/23 19時 <1> (12)	7/23 18時 <2> (11)	7/23 20時 <0> (13)
	W.L.を越えた時刻	-	-	7/23 8時 <12> (1)
案B	C.L.	$Y = -0.122x + 69.5$	$Y = -0.120x + 50.0$	$Y = -0.120x + 50.0$
	E.L.	$Y = \frac{-0.122x^2 + 55.897x}{1.122x + 55.603}$	$Y = \frac{-0.120x^2 + 38.792x}{1.120x + 54.608}$	$Y = \frac{-0.120x^2 + 40.952x}{1.120x + 34.448}$
	W.L.	$Y = \frac{-0.122x^2 + 43.453x}{1.244x + 126.594}$	$Y = \frac{-0.120x^2 + 28.52x}{1.240x + 121.960}$	$Y = \frac{-0.120x^2 + 332.672x}{1.240x + 79.056}$
	E.L.を越えた時刻	7/23 20時 <0> (13)	7/23 18時 <2> (11)	7/23 19時 <1> (12)
	W.L.を越えた時刻	7/23 18時 <2> (11)	7/23 18時 <2> (11)	7/23 18時 <2> (11)

土石流発生 日時
7/23 20時 (13)

・(<) は降雨開始からの時間。
・(< >) は土石流発生までの時間。

表-8.3 島根の計算結果

ケース		X軸: RW 1		
		島根災を含むCASE: 1	島根災を除いた場合CASE: 2	
RH1M		72.0 mm	56.2 mm	mm
RH2M		132.0 mm	103.0 mm	mm
案A	C.L.	$Y = -0.359x + 83.0$	$Y = -0.371x + 90.0$	$Y = x +$
	E.L.	$X = 30.6$	$X = 91.1$	$X =$
	W.L.	$X = -$	$X = 44.3$	$X =$
	E.L.を越えた時刻	7/20 15時 <57> (10)	7/21 5時 <43> (24)	
	W.L.を越えた時刻	-	7/21 1時 <47> (20)	
案B	C.L.	$Y = -0.161x + 36.0$	$Y = -0.143x + 38.1$	$Y = x +$
	E.L.	$Y = \frac{-0.161x^2 + 24.408x}{1.161x + 47.592}$	$Y = \frac{-0.143x^2 + 30.063x}{1.143x + 26.137}$	$Y = \frac{-x^2 + x}{x +}$
	W.L.	$Y = \frac{-0.161x^2 + 14.748x}{1.322x + 102.504}$	$Y = \frac{-0.143x^2 + 23.371x}{1.286x + 56.258}$	$Y = \frac{-x^2 + x}{x +}$
	E.L.を越えた時刻	7/20 23時 <0> (49)	7/21 22時 <27> (41)	
	W.L.を越えた時刻	7/20 23時 <49> (18)	7/21 5時 <43> (24)	

土石流発生 日時
7/23 0時 (67)
1時 (68)

・(<) は降雨開始からの時間。
・(< >) は土石流発生までの時間。

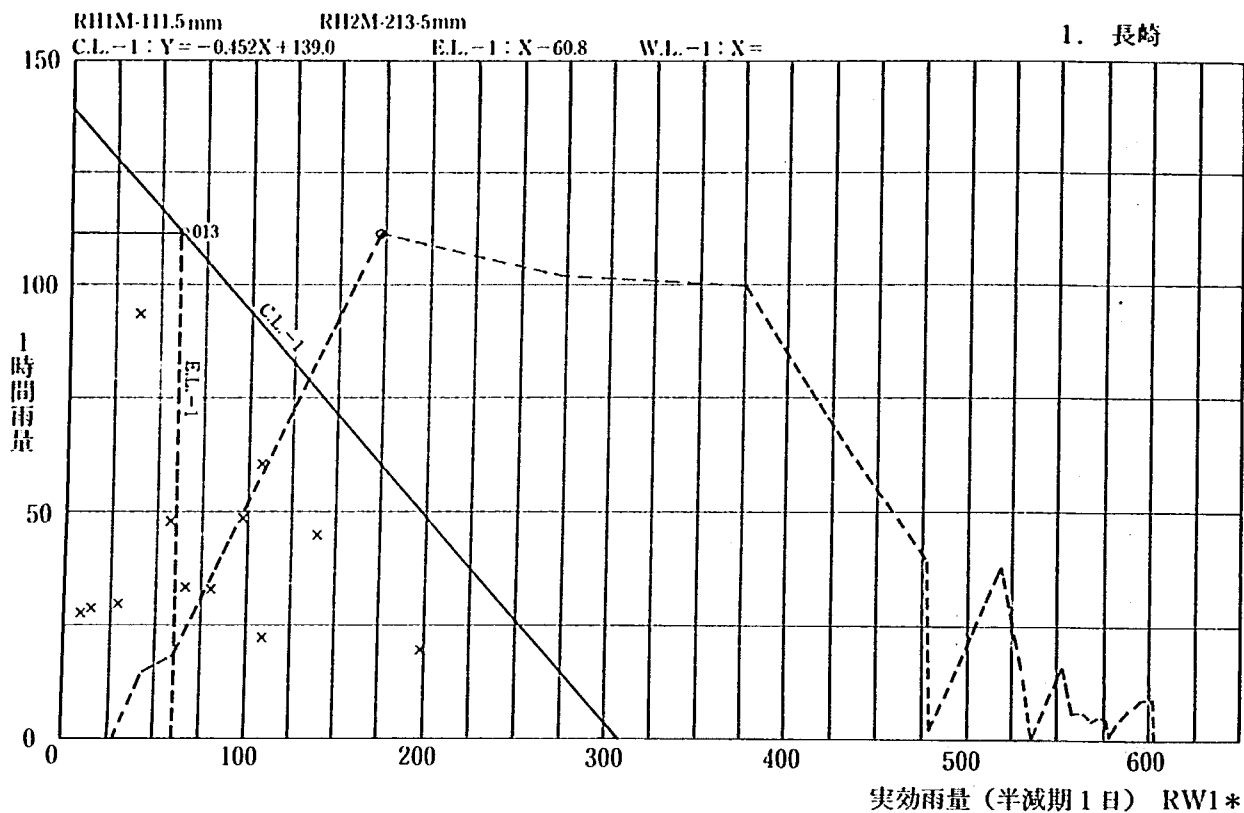


図-8.3 CASE1-長崎 57年災害を含むA方式

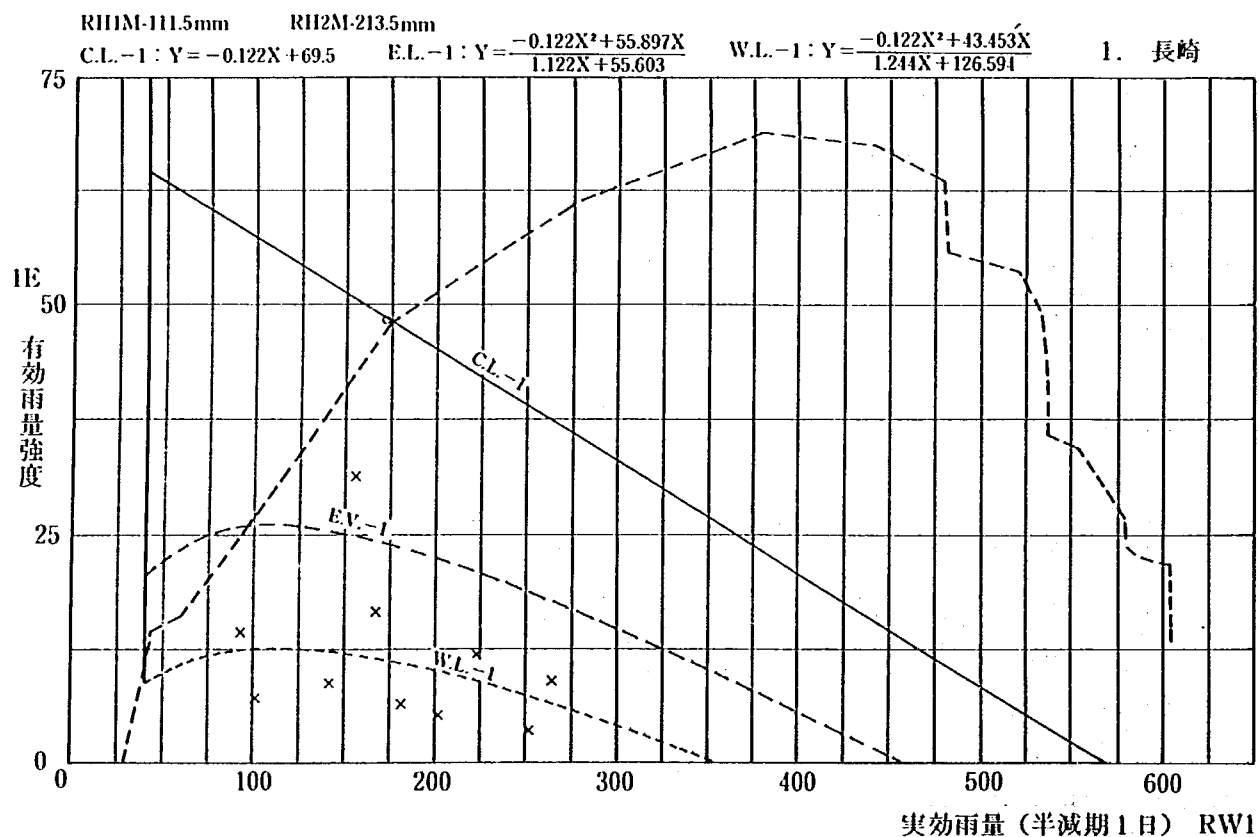


図-8.4 CASE1-長崎 57年災害を含むB方式

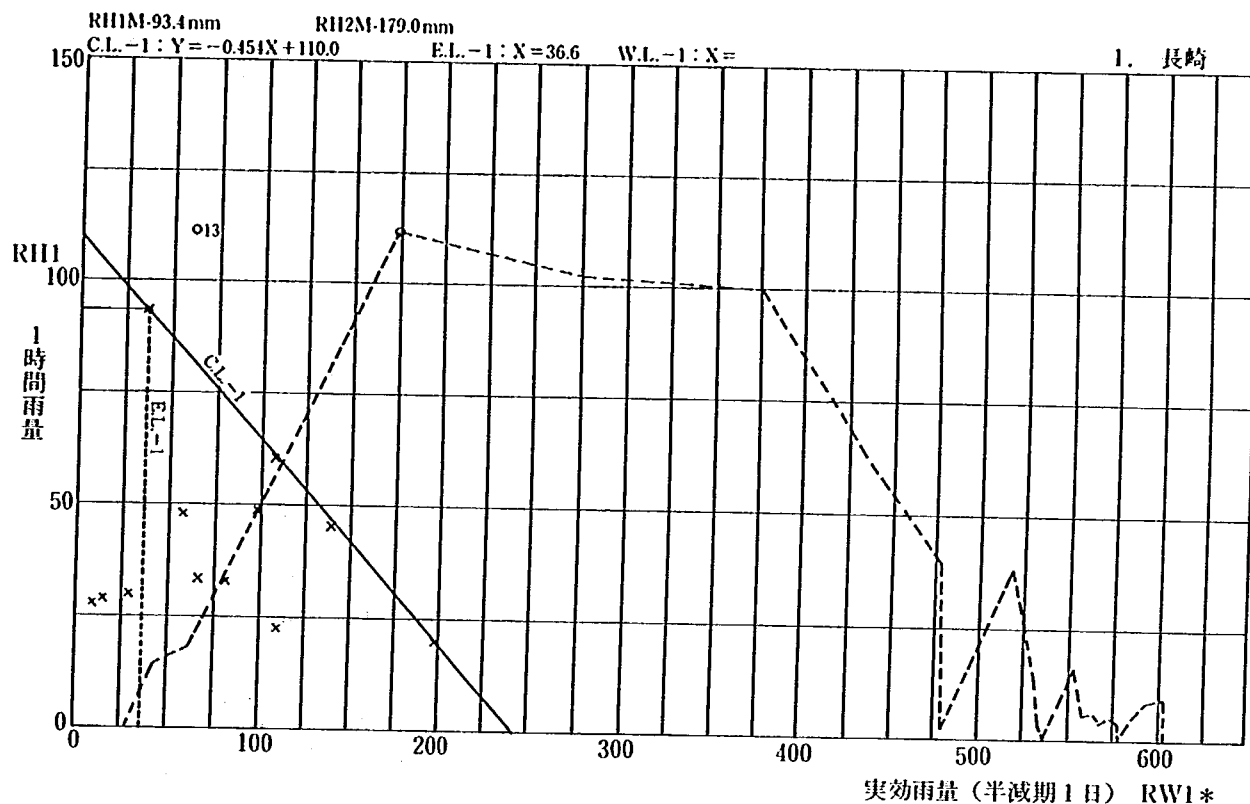


図-8.5 CASE2-長崎 57年災害を除くA方式 (既往最大)

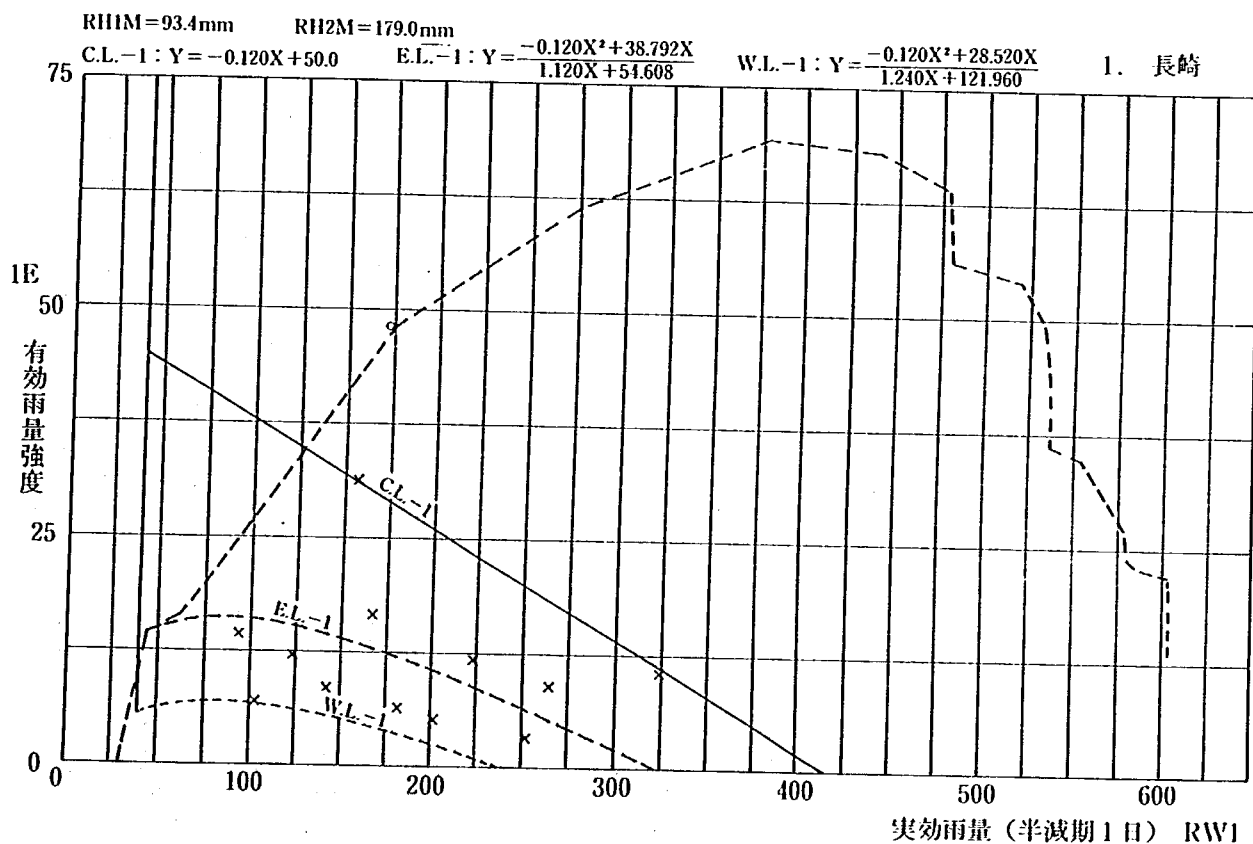


図-8.6 CASE2-長崎 57年災害を除くB方式 (既往最大)

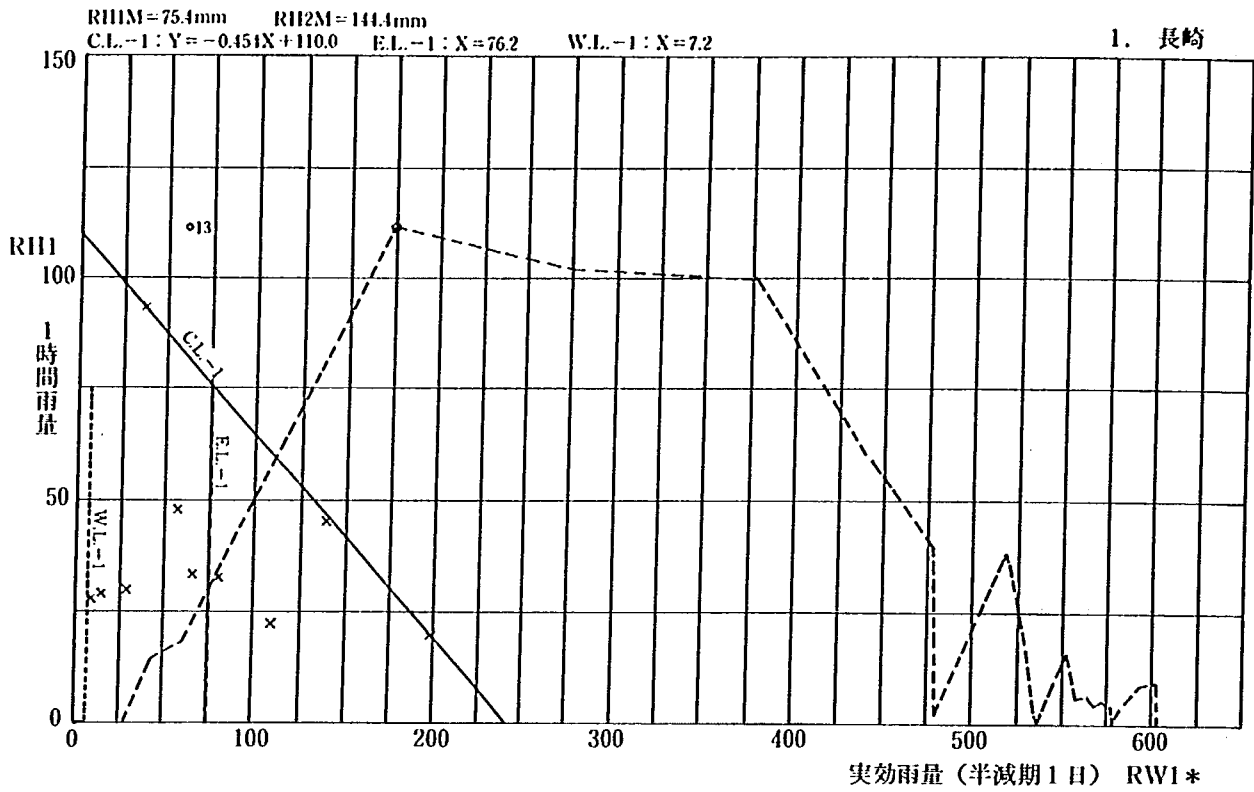


図-8.7 CASE3-長崎 57年災害を除くA方式 (確率雨量)

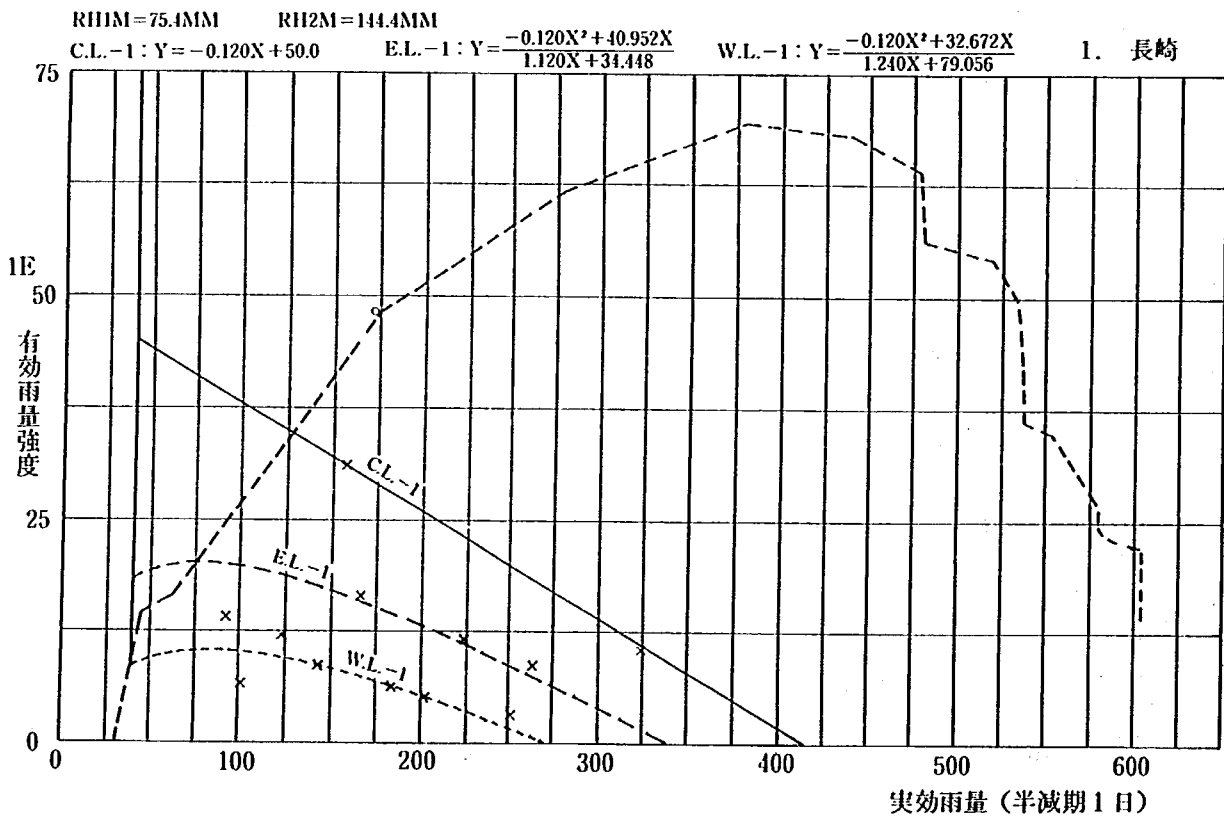


図-8.8 CASE3-長崎 57年災害を除くB方式 (確率雨量)

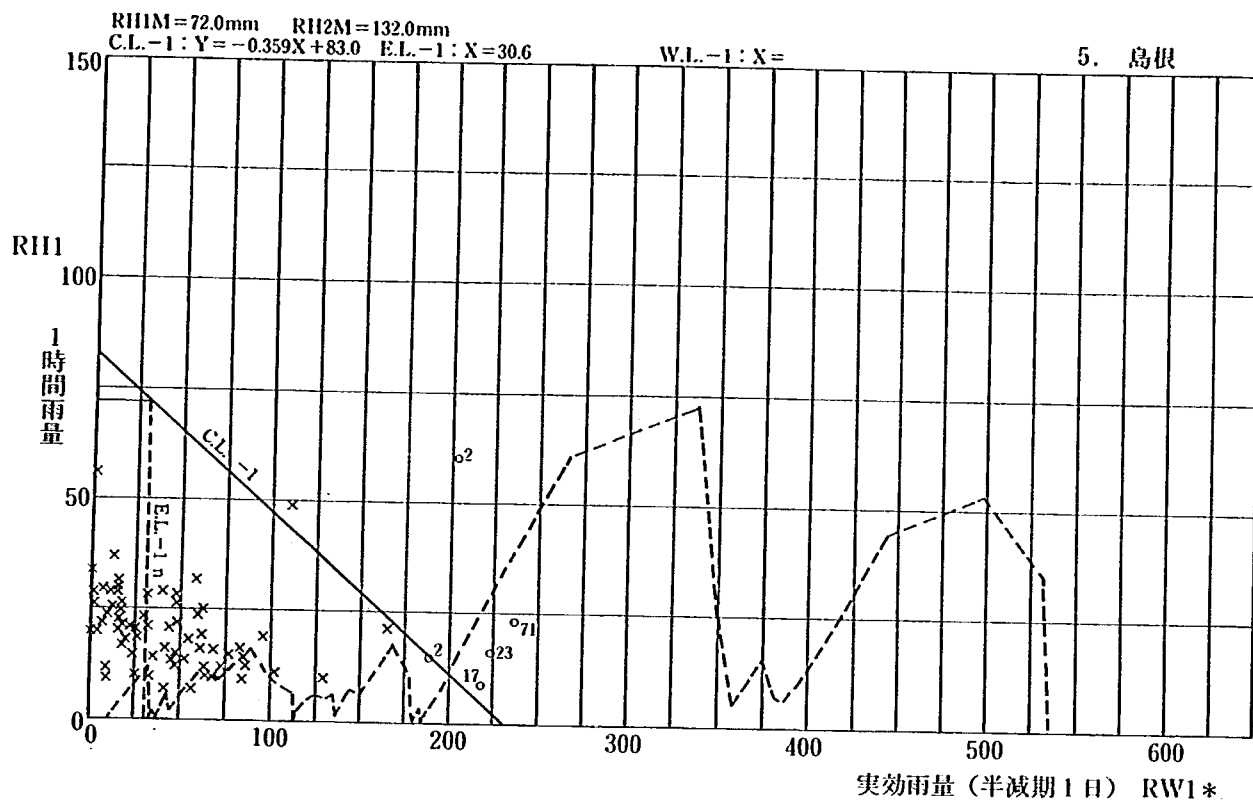


図-8.9 CASE1-島根 58年災害を含むA方式

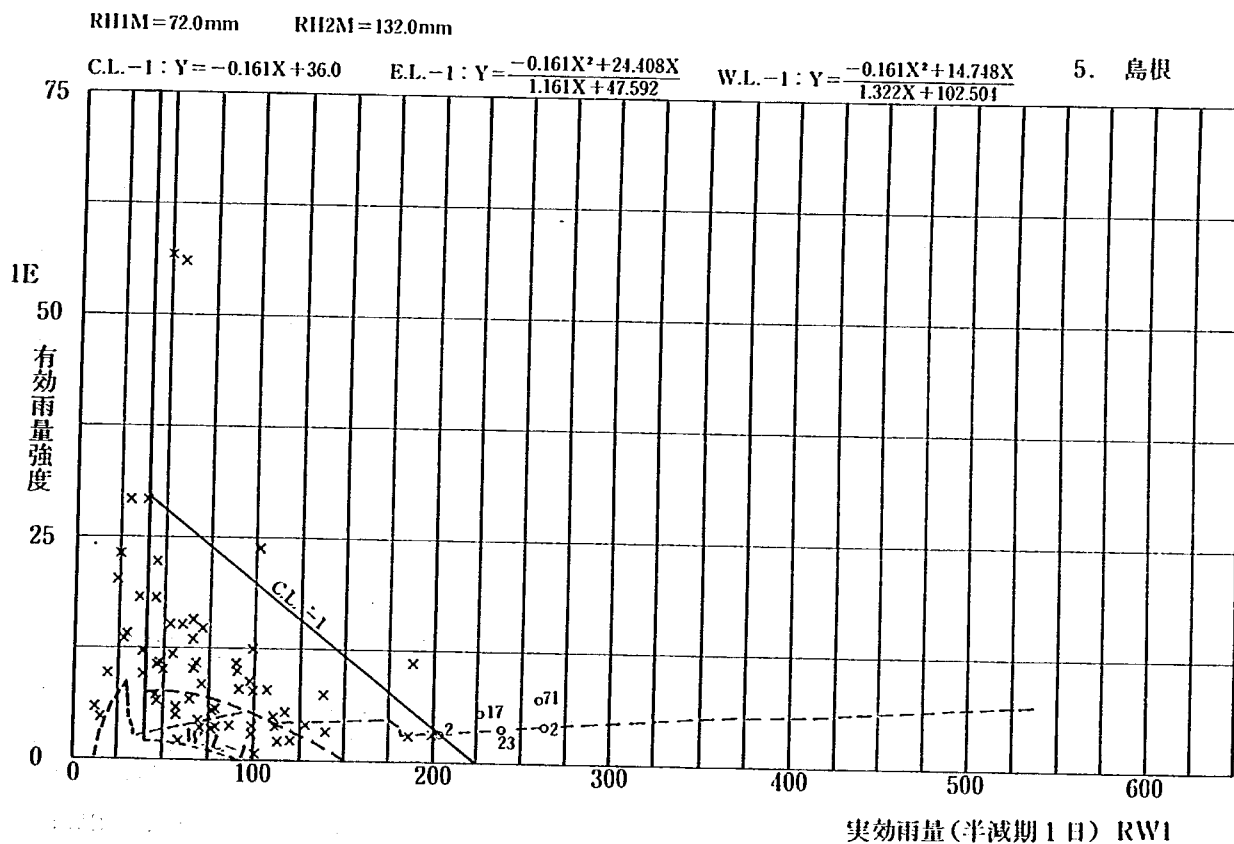


図-8.10 CASE1-島根 58年災害を含むB方式

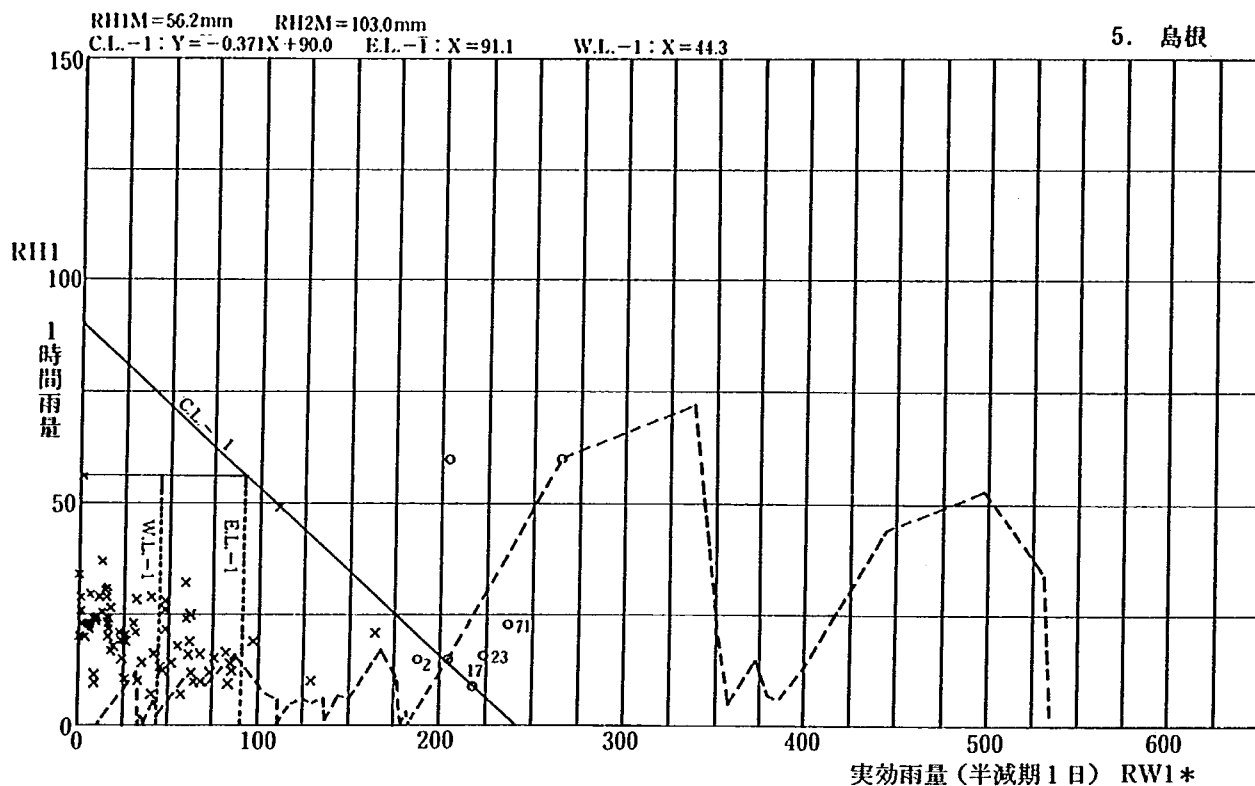


図-8.11 CASE2-島根 58年災害を除くA方式 (既往最大)

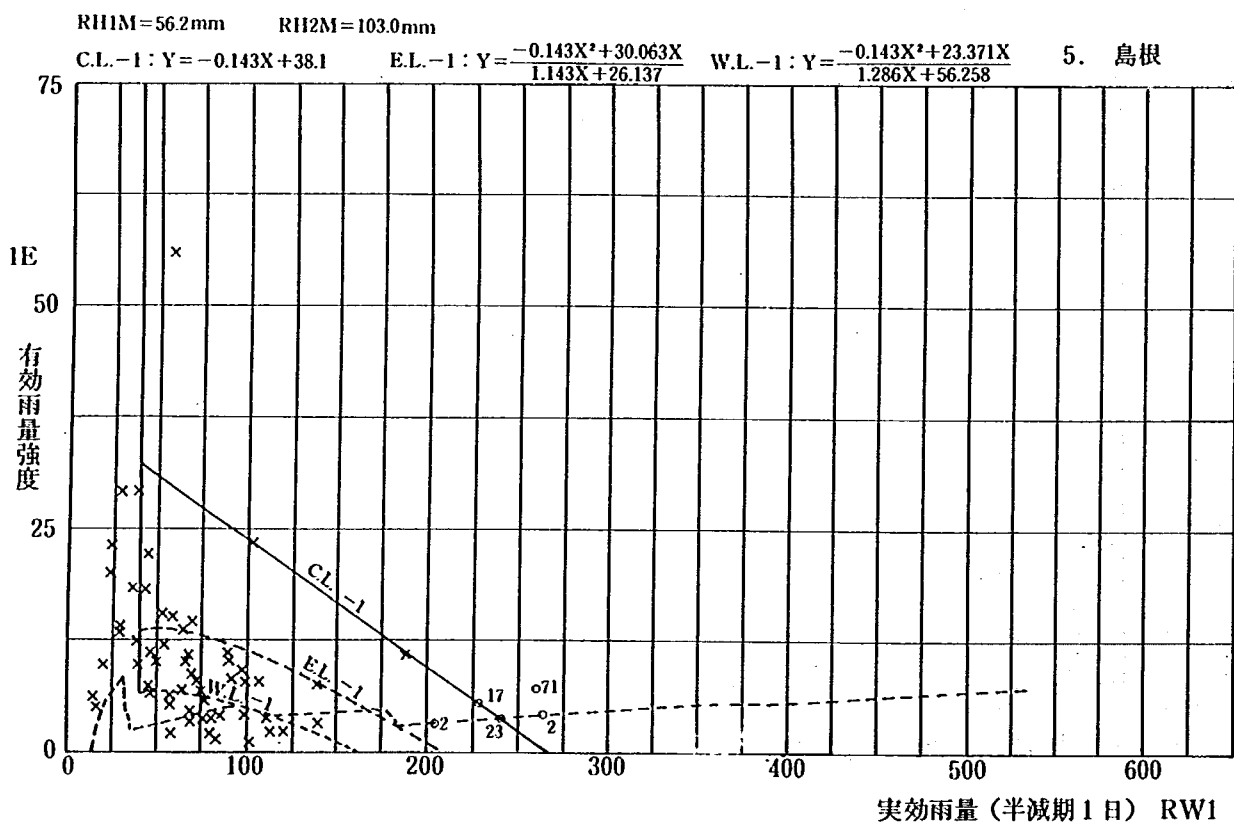


図-8.12 CASE2-島根 58年災害を除くB方式 (既往最大)

9. 用語の解説

9.1 概 説

本書で使用している用語をあげ、その定義等を記述する。なお、ここにあげる用語は土石流予警報に関するものであり、必ずしも一般的とはいえないので注意すること。

9.2 用語の解説

項目のあとの [] 内はよく使用する単位、{ } 内は推奨略号を表わす。

(1) 降雨量 [mm] {R}

地上に降った雨の量をいい、流失や浸透、蒸発などが無いものとして地面にたまった深さで表わす。混乱のないときは単に雨量ともいう。なお、雨のほか雪などを含める場合は降水量という。

(2) 雨量強度 [mm/H] {RI}

単位時間当たりの降雨量をいい、時間雨量や有効雨量強度などの総称である。

(3) 総雨量 [mm] {R}

ある降雨全体の降雨量をいい、連続雨量や実効雨量などの総称である。混乱のないときは単に雨量ともいう。

(4) 降雨開始

降雨終了後、初めて 1 mm 以上の降雨量を検出した時点をいう。雨量計の最少観測単位が 1 mm と異なるとき（例えば 0.5 mm）は、その最少観測単位を検出したときをいう場合もある。特殊例だが 2 mm とか 3 mm とかを検出したときに降雨開始とする場合がある。

(5) 降雨終了

無降雨状態（時間雨量 0 mm/H）が一定時間続いた時点をいう。この一定時間を降雨終了検出時間という。ただし、ここでいう無降雨状態とは雨量計の最少観測単位以下であって、必ずしもまったく雨が降ってないということではない。また時間雨量 1 mm 未満を無降雨とする場合もある。

(6) 一連の降雨

降雨開始から降雨終了までのひとまとまりの降雨をいう。いいかえれば前後に一定時間（無降雨検出時間）以上の無降雨期間があるひとまとまりの降雨ということである。指針案では一定時間を 24 時間としている。

(7) 一連続雨量 [mm] {RC}

一連の降雨の総雨量をいう。

(8) 連続雨量 [mm] {RC, RC 24}

降雨開始からの積算雨量をいい、降雨終了後は 0（ゼロ）になる。同一の降雨であっても降雨終了検出時間を変化させれば連続雨量の値も変化することもあり、その区別が必要なときは、RC 12（降雨終了検出時間 12 時間）や RC 24（同 24 時間）のように記号にサフィックスを付ける。降雨終了直前の連続雨量は一連続雨量に等しい。

(9) 積算雨量 [mm]

ある期間内の雨量の積算値である。本書内では一般用語として使用している。同類の言葉として累加雨量、累計雨量などがある。

(10) 1時間雨量 [mm/H] (RH, RH 1)

1時間の積算雨量で、混乱のないときは時間雨量ともいう。正時から正時までの積算のときを正時1時間雨量といい、移動平均のときを任意時1時間雨量といい、単に時間雨量といったときは任意時1時間雨量を指す。類似の用語として10分間雨量 [RM 10], 3時間雨量 [RH 3], 24時間雨量 [RH 24] などがある。

(11) 前期雨量 [mm] (RA)

ある1連の降雨の前に降った降雨を、その一連の降雨の前期降雨といい、その雨量を前期雨量という。指針案では降雨開始時刻から起算して、336時間(14日)前までの降雨に限定している。前期降雨は、降雨開始時刻から起算して24時間前までを1日前の降雨、24時間前から48時間前までの降雨を2日前の降雨、以下同様に14日前までの降雨を定める。

(12) 前期実効雨量 [mm] (RWA)

一般に土石流の発生は発生降雨だけでなく前期雨量の影響も受けており、影響の度合いは発生降雨との時間差が大きくなるほど減少すると考えられる。そこで対象降雨の1日前～14日間の降雨に対し、それぞれ係数を掛けて加算したものを前期実効雨量とする。

$$RWA = \alpha_1 \times D_1 + \alpha_2 \times D_2 + \cdots \alpha_{14} \times D_{14} = \sum \alpha_t \cdot D_t$$

ここで係数 α を減少係数と呼び、半減期で表わす。半減期を T (日) とすれば、 t 日目の減少係数 α_t は、0.5 の t/T 乗根となる。

半減期は日単位で、CL, EL, WL の妥当性などを考慮して選択するが、一般的に1～3日程度がよいようである。表-9.1 に減少係数例を示す。

半減期によって前期実効雨量の記号を区別する必要があるときは、RWA 1 (1日), RHA 2 (2日) のようにする。

(13) 残留雨量 [mm] (RZ, RZ 24)

前期実効雨量と同様に事象の前に降った降雨量の影響の度合いを表わす値で、単位時間ごとに減少係数を掛けて算出する。この単位時間は計算周期と称し、一般に1時間とか10分間を使用するが短い方がより正確である。計算周期を1時間とした場合の算出式を次に示す。

$$RZ = R_0 + \alpha (R_1 + \alpha (R_2 + \alpha (R_3 \cdots)))$$

R_0 : 現在時刻の1時間雨量

R_1 : 1時間前の1時間雨量

R_n : n 時間前の1時間雨量

α : 減少係数

残留雨量は計算開始時点がなく、常時連続的に計算できるので自然現象に適合すると考えられ、さらにコンピュータによる計算が容易であるという特長を有する。前期実効雨量は計算周期を1日とし

た残留雨量の1種といえる。

減少係数 α は、一般に半減期で表わし、計算周期が1時間のとき、半減期をT時間とすれば、 α は0.5のT乗根となる。表-9.2に計算周期と半減期に対する α の値を示す。

表-9.1 減少係数一覧表

(小数点下5けた目を4捨5入)

前期降雨	係数	半減期1日	半減期2日	半減期3日
1日前	$\alpha 1$	0.5000	0.7071	0.7937
2日前	$\alpha 2$	0.2500	0.5000	0.6300
3日前	$\alpha 3$	0.1250	0.3536	0.5000
4日前	$\alpha 4$	0.0625	0.2500	0.03969
5日前	$\alpha 5$	0.0313	0.1768	0.3150
6日前	$\alpha 6$	0.0156	0.1250	0.2500
7日前	$\alpha 7$	0.0078	0.0884	0.1984
8日前	$\alpha 8$	0.0039	0.0625	0.1575
9日前	$\alpha 9$	0.0020	0.0442	0.1250
10日前	$\alpha 10$	0.0010	0.0313	0.0992
11日前	$\alpha 11$	0.0005	0.0221	0.0787
12日前	$\alpha 12$	0.0002	0.0156	0.0625
13日前	$\alpha 13$	0.0001	0.0055	0.0496
14日前	$\alpha 14$	0.0001	0.0078	0.0394

備考1 半減期1日の場合、8日前以降は係数の値が十分小さくなるので省略してもよい。

備考2 表は小数点下4けたまでであるが、3けた目を4捨5入して小数点下2けたとしても精度上十分である。

表-9.2 残留雨量の減少係数

半減期	計 算 周 期					
	1 分間	5 分間	10 分間	30 分間	1 時間	24 時間
1 時間	0.988514	0.943874	0.890899	0.707107	0.5	0.00000006
3 時間	0.996157	0.980930	0.962223	0.890899	0.793701	0.0390625
6 時間	0.998076	0.990419	0.980930	0.943874	0.890899	0.0625
12 時間	0.999038	0.995198	0.990419	0.971532	0.943874	0.25
24 時間	0.999519	0.997596	0.995198	0.985663	0.971532	0.5
48 時間	0.999759	0.998797	0.997596	0.992806	0.985663	0.707107
72 時間	0.999840	0.999198	0.998397	0.995198	0.990419	0.793701
96 時間	0.999880	0.999398	0.998797	0.996396	0.992806	0.840896

(14) 実効雨量 [mm] {RW}

連続雨量に前期実効雨量を足したものである。前期実効雨量の半減期によって実効雨量の記号を区別する必要があるときは、RW 1 (1 日), RW 2 (2 日) のようにする。

(15) 変曲点A

一連の降雨において最初に 1 時間雨量 4 mm/H 以上の降雨が降り始めた時点をいう。例えば、9 時の時点で初めて 1 時間雨量 4 mm/H 以上を検出したとすれば 8 時が変曲点 A になる。9 時 33 分に 1 時間雨量 4 mm/H を検出したときの変曲点 A は、8 時 33 分になる。つまり検出した時点の 1 時間前が変曲点 A となるので、実時間で解析しているときは、変曲点 A を実時間で知ることができない。

(16) 変曲点B

一連の降雨において変曲点 A を検出したあとで、1 時間雨量 4 mm/H 未満の降雨が連続して 3 時間続きはじめて時点をいう。1 時間観測間隔の例でいえば、8 時までは 4 mm/H 以上の降雨を観測しており、9 時、10 時、11 時の 1 時間雨量がいずれも 4 mm/H 未満であったとすれば、8 時が変曲点 B になる。つまり検出した時点の 3 時間前が変曲点 B となる。

(17) 初期雨量 [mm] {RI}

一連の降雨において、降雨開始時点から変曲点 A までの積算雨量をいう。なお、急に大雨が降り始めたときなどは、変曲点 A よりも降雨開始時点の方が遅れることもあり、この場合は初期雨量は存在しない。

(18) 先行雨量 [mm]

前期雨量と初期雨量の和をいう。

(19) 有効雨量 [mm] {RE}

一連の降雨において、変曲点 A からの積算雨量をいう。

(20) 有効時間 [H]

一連の降雨において、変曲点 A からの経過時間をいう。

(21) 有効雨量強度 [mm/H] {IE}

有効雨量を有効時間で除した値をいう。

10. 今後の課題

10.1 概 説

指針案による基準雨量設定は、過去の降雨に基づいた統計的手法であって、理論的・技術的に裏付けされた手法ではないので、解決しなければならない点が多々ある。それは現状での論理上の問題点の解決と、より精度の高い基準雨量の設定のための新方式の開発の2つに分けられる。現状での論理上の問題点については、本書においてある程度の解決をみた。今後は、土石流発生予知精度をより高める方法の研究を必要とする。

10.2 新案の開発について

土石流予知方法の新案として、指針案と同様に雨を指標とする方法と、雨以外ものを指標とした方法が考えられる。

(1) 雨を指標とする方法

雨を指標とした新案(改良案)としては、

- ① 無降雨検出時間の変更(現24時間を短縮する方向)
- ② 残留雨量の導入(単指標あるいは雨量強度と組合せ指標)
- ③ 降雨予測の導入

などが考えられ、現在、研究中である。

現段階では土石流の発生メカニズムが完全に解明できていないので、雨を指標とする方法では、ある程度確立論的なものとならざるをえない。今後は「論理上は適合するが常識上おかしいと思われる事象」への対応が課題となる。

(2) 雨以外の指標を用いる方法

雨以外の指標としては、溪流の流量、堆積土砂量あるいは地中含水率などが考えられるが、いずれも土石流発生との関連が明確にする必要がある。そのためには土石流の発生メカニズムを解明しなければならず、今後の研究が待たれるが、完全解明までには相当の期間を要すると思われる。当面の課題として、これらの雨以外の指標と雨の指標を組み合わせ、少しでも予知精度を上げる方法の開発が望まれる。

10.3 降雨予測について

指針案ではスネーク曲線がCLに到達する時刻の1時間前・2時間前を、既往最大1時間雨量・既往最大2時間雨量を使って予測しているため、警戒の発令・避難の指示が安全側過ぎる傾向がある。現時点から1時間後・2時間後の降雨の予測、いわゆる短時間降雨予測をすることができれば、この不具合をある程度解消することができる。

短時間降雨予測は、地上雨量計網やレーダ雨量計を利用しておこなうことが考えられている。予測情報の入手先として(財)河川情報センター、気象協会マイコスシステムなどがあるが、いずれも研

究が進行中であり、現状では必ずしも土石流発生予知のための降雨予測として最適とはいえない。しかし、今後の技術の進歩によって十分な精度が得られるようになると確信する。また土石流発生範囲は比較的狭いため、危険地域の近くに小型レーダ雨量計を設置して、その場で降雨予測をすることも有効と思われる。

降雨予測値が入手可能になれば、常に現状の降雨がCLに対して安全側にあるか危険側にあるかを判断できるので固定的なWL・ELは不用になり、警戒・避難体制の解除に対しても判断が容易になる。

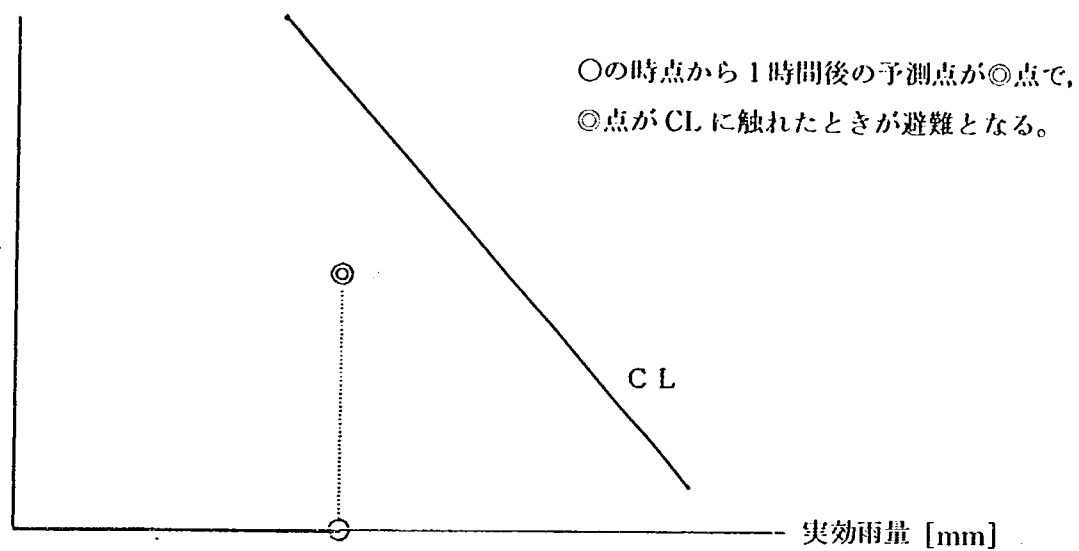
短時間降雨予測値の応用した例を図-10.1、図-10.2に示す。

図-10.1は指針案A方式に降雨予測を取り入れたもので、横軸からその時点の予測雨量を立ち上げ、CLに到達するかどうかを監視するものである。

図-10.2は指針案B方式に降雨予測を取り入れたもので、図に示すように雨量判定図上にスネークカーブ(SL)を書きながら、常に現在時点(○印)から1時間後および2時間後の降雨量を想定して、SLの先端から2本のウイスカ(whisker)をのばしていく。ウイスカの先端(◎印)がCLに触れたときに警戒あるいは避難を指示する。なお図においてはウイスカを1本に省略している。

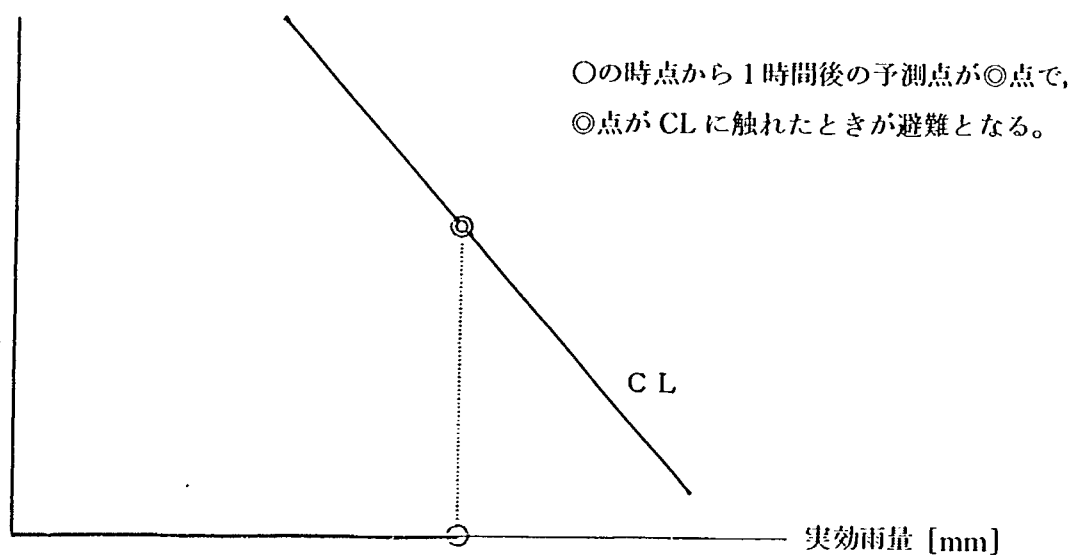
なお、1度CLに達したあとで降雨が終了したときは、現在時点(○印)が危険領域になく、かつ予測到達点も危険領域に達しない場合は、警戒あるいは避難の解除をおこなうことが可能になる。

1時間雨量強度
[mm/H]



[A図] 予測値がCLに達しない例

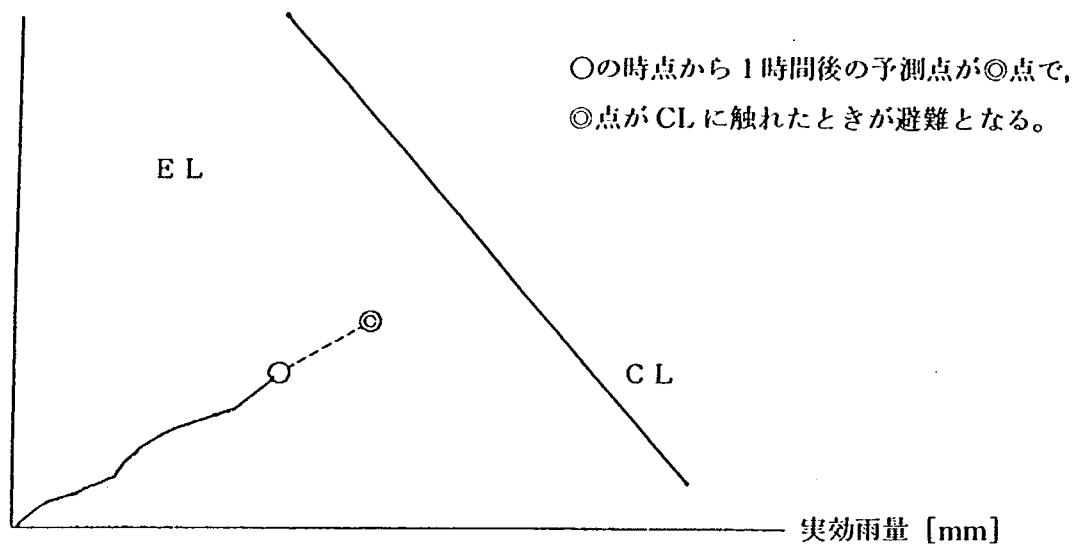
有効雨量強度
[mm/H]



[B図] 予測値がCLに達した例

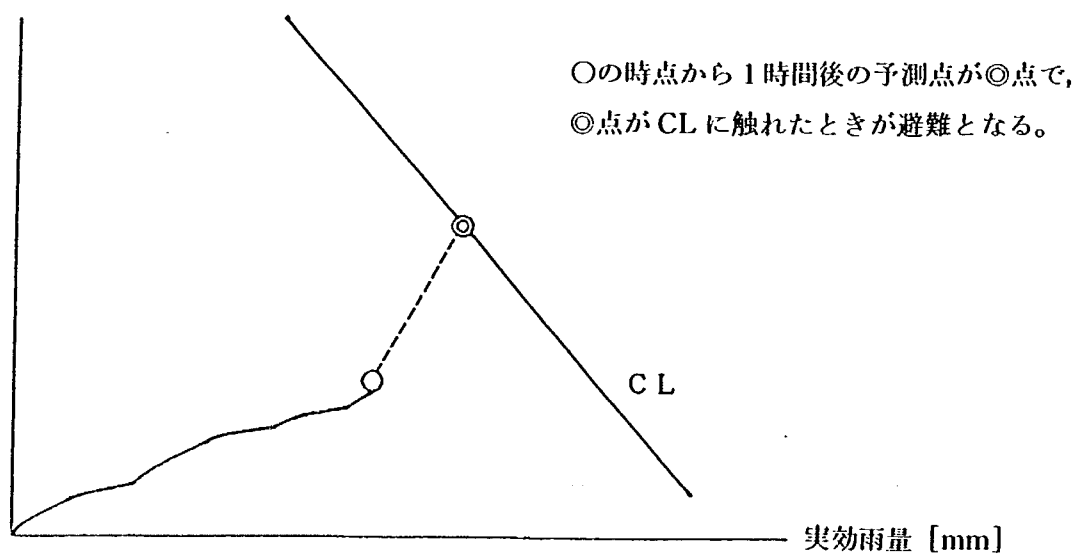
図-10.1 短時間降雨予測を取り入れたA方式

有効雨量強度
[mm/H]



【A図】 予測値がCLに達しない例

有効雨量強度
[mm/H]



【B図】 予測値がCLに達した例

図-10.2 短時間降雨予測を取り入れたB方式

あとがき

本書において、実際の降雨に対して警戒避難の検出をしようとしたとき、あるいは土石流予警報装置のプログラムを作成しようとしたときに感じると思われる指針案の疑問点について検討を加えた。本書に示したように、指針案には不完全な点・不都合な点が含まれていることは否めないが、だからといって指針案が否定されるわけではない。なぜなら、現段階では指針案の方式が、完全ではないけれども最良のものと考えられるからである。そのため、指針案の改良あるいは新方式の開発もさることながら、運用方法の研究も進める必要があると思われる。今後は、さらに適切な手法の開発とともに運用システムの研究に努めていく所存である。

本書が、総合土石流対策の推進の一助となれば幸いである。

土石流の警戒避難基準雨量の
設定に関する研究 (II)

I S S N 0386-5878
土研資料第2361号
昭和61年3月
砂防研究室

砂防研究室：矢沢 昭夫，原 義文，藤田 昇

要 旨

昭和59年6月に、建設省河川局砂防部監修のもとに砂防広報センターから「土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案)」が発行され、各地において基準雨量の調査・設定が始まっているが、本報告書は、この指針案で示された基準雨量設定方式をさらに詳しく検討し、その特徴・精度・運用上の注意事項等について記したものである。主な検討事項を次に示す。

- ① 代表観測所の選定と試料収集 ② 土石流危険基準線 CL の設定 ③ 警戒基準線 WL・避難基準線 EL について ④ 警報の発令と解除 ⑤ 基準雨量の精度 ⑥ 特殊な降雨に対する考察 ⑦ 実降雨による有効性の検討

キーワード：土石流，警戒避難，基準雨量

郵便はがき

3 0 5 - □ □

さを四
いは十
つ門
て切
下手

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
砂防部砂防研究室御中

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

土木研究所資料第 2361 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

○