

土 木 研 究 所 資 料

中国における砂防研究の最近の成果

平成4年3月

建設省土木研究所
砂 防 部

Copyright © (1992) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

中国における砂防研究の最近の成果

砂 防 部

要 旨

中国では、毎年洪水期には山間部で豪雨による土石流が頻繁に発生し、鉄道の安全走行に重大な障害を及ぼしている。豪雨による土石流の予知に関する研究は、重要なソフト対策の一環と位置づけられており、中国鉄道部科学院西南研究所はその手法として、まず、成昆鉄道甘洛試験区での1989～1990年における観測資料に基づいて統計分析を行い、気象と地表の2つの系統をそれぞれたくさんの要素に分け、各要素について規模・量級の区分を行った。そして、これら要素の組合せによる土石流発生の判別式を確立したものである。この判別式を1960年以降、中国西南、西北、華北、東北等の地区の鉄道沿線で発生した土石流災害75回の資料に基づいて検証を行った結果、比較的満足に行く結果を得た。

キーワード：中国，土石流，予知，調査，統計

ま え が き

わが国の砂防技術は多年の経験と研究の積み重ねによって世界に自らが誇りうる水準にあり、また国際的にも高く評価されている。

しかしこれらの技術をさらに向上させるためには、自然ならびに社会環境の異なる諸外国の研究成果や技術を広く学ぶことも不可欠な要因と考えられる。

そこで中国の砂防専門家によって発表された論文のうちわが国の砂防関係者に興味が深いと思われる論文2編を選んだ。これらは中国における砂防技術・研究成果のほんの一端を知るものに過ぎないが、わが国の砂防関係者の参考になれば望外の喜びである。

平成4年3月

建設省土木研究所砂防部

目 次

ま え が き

I. 豪雨による土石流の予知に関する研究

鉄道部科学研究院西南研究所

譚 炳 炎 ……… 1

II. 豪雨による土石流の予知に関する研究

鉄道部科学研究院西南研究所

譚 炳 炎 ……… 9

楊 大 文

石 勝 国

I. 豪雨による土石流予知に関する研究

譚 炳 炎

(鉄道部科学院西南研究所)

摘 要 豪雨による土石流は、降水作用により、斜面に表土の流失と地下水位の変動が生じ、土壤の安全状態が変化し、局部的山崩れ、地すべり、表層崩壊等の現象を引き起し、それらが合流した後、土砂流あるいは土石流として、流下する現象である。

降雨エネルギー準位と土石流が発生するであろう規模は、 H_{24} 、 H_{6-0} 、 H_{10} 等のパラメータで確定し、土石流発生臨界雨量値を算出した。

河となっている谷あいの傾斜が水動力作用によって失う安定度は、谷あいの縦断勾配等 15 項要素で判定する。

当該状況は重度、中度、軽度、一般の 4 つに区分する。

鉄道橋桁下の排水施設の耐災害能力については、最大通過能力、平面位置及び防護施設の有無等の面から判定基準を示した。

キーワード：豪雨 土石流 排水路 鉄道 予知

1. 前 言

我が国は山地が多く、毎年 5 月から 10 月、各地の山間部は、豪雨により山津波、土石流、土砂崩れ、地すべり等が発生して、鉄道や人々の生命財産に甚大な影響を及ぼし、被災者の数、災害範囲、損失状況はその他各種の自然災害を大きく上回っている。土石流の発生と豪雨との関係は極めて大きく、また土石流は谷沿いに流下する。一回の土石流発生持続時間は短く、一般には数 10 分間から数時間である。

前兆の情報を適宜把握して、分析、予知を行うことは、受け身の災害防止から能動的防災への転換となり、防災、災害根絶に力を注ぎ、安全避難のための計画的防災措置の一環となる。

1975 年遼南海域地震⁽¹⁾と 1985 年揚子江新灘地すべり⁽²⁾は、予測の正確さから、前兆に対する情報判断が適宜正確で、付随する予知も的確であったことから、防災対策部門に信頼性の高い情報を提供できた。

党及び政府も有効的避難措置を講じたことから、災害損失も大いに軽減できたのである。正確な予測がありながら、前兆に対する情報分析判断を誤まると、甚大な被害を生み出すこともある。

1981 年の四川、陸南で起きた豪雨の誘発による大規模洪水、土石流災害、1975 年 8 月の河南豪雨災害、1981 年の利子依達谷土石流災害による橋梁破壊、車輛転覆事故⁽³⁾などがある。

本文では、鉄道系統の近年における土石流防災予報研究の成果を全面的に紹介する。

予知の研究の第一段階は、土石流形成、発展、終結の全過程における 5 つの発展段階の特徴と相互関係を確立する、各段階の主要活動要素の選択、並びに、各段階の関連パラメータに対するノーマリゼーション及び規準化処理を行う。

第二段階は、既存の資料に基づいて、段階別に、相対的に、土石流防災予知の臨界基準を定め、データ

バンクと専門家対策系統を確立する。

第三には、状況の情報を適宜把握して、状況分析を行い、時宜に適した予知活動を展開する。

2. 土石流の予知と鉄道橋桁下の排水施設の耐災害能力

2.1 土石流の活動は、山間部の渓谷でよく見られる、水、砂、石の集中移動による重大な水土流失現象である。

一定のエネルギー準位をもつ降雨が流域内に作用し、山腹斜面、河岸、河床内の土塊の安定に支障をきたすことから、谷あいでは容積重が一定濃度以上の固化液混合流失を形成する、即ち土石流である。

我が国で、土石流と土砂流を判別する指標の一つは、容積重指標の限界である。 ν_c ：水石型及び泥石型土石流 $\nu_c \geq 1.3 \text{ t/m}^3$ 、泥石流型土石流 $\nu_c \geq 1.6 \text{ t/m}^3$ 。

土石流の成因は、降雨の作用系統と地表面が豪雨の作用を受ける被作用系統の二者が相互作用する結果と言える。その活動形態は、2つの系統の諸活動性要素の作用メカニズム、程度の違い及び流域内の位置によって確定する。

豪雨は、斜面に作用した後に地下水位の変動をもたらす、土壌の安定状態を変化させ、表土を流失させ、局部的に地崩れ、地すべり、山津波等を引き起し、合流後、河床中に土砂を多量に含んだ水流あるいは土石流等の形態で下流へと流れて行く。その過程で、河岸の崩壊や河床の洗掘をし、移動、堆積等をしながら、流域の地形に変化をもたらす流体中の水と砂の比、粒度分布や粒径等をも変化させる。

土石流活動の全過程において、動力作用範囲内の全ての生産生活施設に深刻な影響を与える。生産生活施設の耐災害能力が十分であれば、災害を防いだり、損失を減少できるが、災害に対する抵抗力が不足していれば、災害を誘発するか今後とも災害が拡大化する恐れがある。

山間部の土石流活動は図1のように定義付けられる。

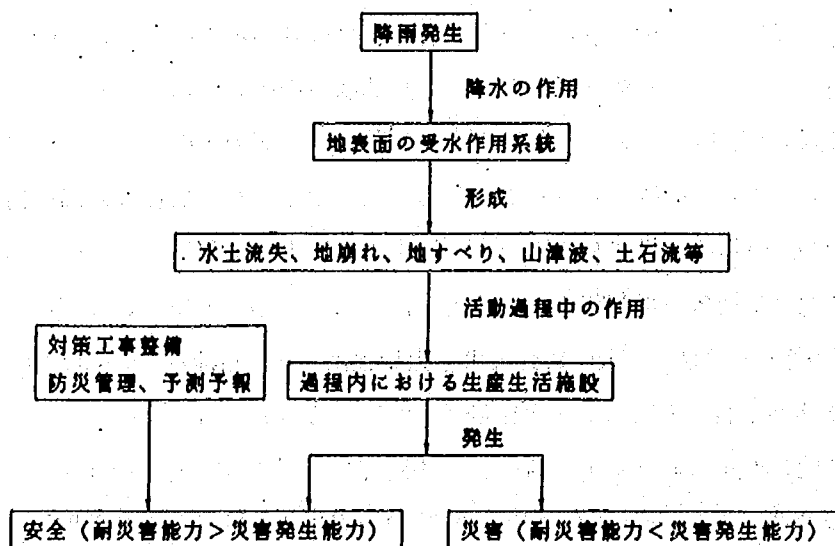


図 1

2.2 土石流発生に関する降雨状況予報

予知は、現況情報の状況分析と歴史上発生した事象に対し、相似対比分析判断を基礎に出された客観的環境動態評価のもとに確立するが、防災対策部門への予知には、主として、さまざまな等級の降雨発生時間、地点、及び量級の3つの方面を含む。

土石流を形成する重要な条件は、豪雨の地表面に対する作用であるため、土石流及びその発生回数の予知は、洪水期の各回の豪雨、大雨及び先行降雨が充分にある連続降雨過程を主として分析する。

一般には土石流発生回数は、豪雨及び大雨の回数よりはるかに少ない。

気象衛星と各地の降雨測定レーダー資料は、降雨を発生させる雨雲の移動経路、可能な降雨エネルギー準位及び、2～6h以上前からの災害に結びつく降雨を比較的正確に把握しており、土石流発生予知に基礎的な降雨状況の情報を提供している。

鉄道は、複線が各地区を通過し、また、山間部豪雨が局地的にあるため、土石流の予知は困難である。現在、気象予報がこのような带状の区域内に対し、正確な予報をすることは難しく、1989年から、当研究所と成都中心気象台が協力して、各地点において、鉄道沿線の降雨状況予報と地表監視の研究を進めている。

土石流発生地点の予知については、鉄道系統は、その回の豪雨が影響する区域内の鉄道の排水施設を予知対象とする。現段階では、土石流谷の影響を受ける鉄道の排水施設と調査により明確になっているものを主としている。

土石流活動の規模は、豪雨のエネルギー準位と流域内のさまざまな活動性要素の総合動態指標の相互組み合わせの結果に基づいて定める。

60年代以後に鉄道沿線で発生した土石流災害と相応する発生地点（溪谷）あるいは近隣の雨量測候所のその時点の降雨資料統計に基づいて分析した結果、1988年に降雨エネルギー準位と土石流発生可能な規模の関係表を作成した（表1を参照）。当表は、我が国の年平均降雨量級を参考に3つの豪雨関連区域を区分した。即ち、年平均降雨量が800～1200mmの地区を中部雨区、1200mm以上の地区を東部雨量多量区、800mm以下の地区を日照りあるいは半日照り少雨区とした。

H_{24} 、 H_{60} 、 H_{10} を降雨エネルギー準位を代表する豪雨パラメータとした。

H_{24} —24h最大降雨量、 H_{60} —60min最大降雨量、 H_{10} —10min最大降雨量とする。

各パラメータは、先行降雨のある場合と、先行降雨のない場合に基づいて数値を取り、当表作成後、1988年以後各地で新たに発生した土石流降雨資料について検証を行った結果、基本的には符合している。

例えば、1989年6月～8月、成昆鉄道土石流試験区内で発生した5回の大雨など、豪雨過程と土石流発生の対応関係は表2⁽⁷⁾を参照のこと。

2.3 地表系統における危険状況の予報

土石流活動は、流域ごとの独立した範囲内で起る。流域内の各活動性要素の安定性評価は、独立したものであり、また、相互に関連するものである。

表1. 降雨エネルギー準位と土石流活動の規模関係表 (mm)

降雨エネルギー準位 (下限地)							
規 模	先行降雨あり			先行降雨なし			適用地区
	H ₂₄	H ₆₀	H ₁₀	H ₂₄	H ₆₀	H ₁₀	
大 (A)	>70	>40	>12	<80	>50	>12	H年=800~1200の 地区 西南
中 (B)	70~50	40~25	12~10	80~60	50~35	12~10	
小 (C)	50~40	25~20	10~8	60~50	35~30	10~8	
非 (D)	<40	<20	<8	<50	<30	<8	
大 (A)	>40	>35	>10	>50	>40	>10	H年<800の 地区 西北
中 (B)	40~30	35~20	10~8	50~35	40~25	10~8	
小 (C)	30~25	20~15	8~6	35~30	25~20	8~6	
非 (D)	<25	<15	<6	<30	<20	<6	
大 (A)	>100	>45	>15	>120	>50	>15	H年>1200の 地区 華北、東北、遼東南 北京雲蒙山区と 雲南渾水谷
中 (B)	100~80	45~35	15~12	120~100	50~40	15~12	
小 (C)	80~60	35~25	12~10	100~60	40~30	12~10	
非 (D)	<60	<25	<10	<60	<30	<10	

表2. 成昆鉄道土石流試験区の降雨状況表

日時	駅名	実測雨量			土石流 規模	土石流発生の臨界雨量値		
		H ₂₄	H ₆₀	H ₁₀		H ₂₄	H ₆₀	H ₁₀
6月13日	蘇雄	73	41	13	中等	60~80	35~50	10~12
7月8日	甘洛	59.7	21.1	9.5	小	50~60	35~30	10~8
7月26日	甘洛	59.6	30.6	10.6	小	50~60	35~30	10~8
8月11日	涼紅	72.0	23.4	13.2	小	50~60	35~30	10~8
8月18日	雨棚岡	65.0	12.2	2.6	小	50~60	35~30	10~8

土石流活動の強弱は、流域内のもろもろの活動性要素の総合的結果であるため、地表の危険状況予報を各活動性要素の安定的総合評価の基礎の上に確立した。

1980年以降、鉄道系統は、全国鉄道沿線の13,386土石流谷の調査を行い、水文、地質、工事建造物の状態等数10項目のパラメータからなる技術文書⁽⁸⁾を作成した。

1983年、専門家の調査及び統計分析の結果、流域を一単位として、代表的な15項目要素を選び、土石流谷に属するものかを判定する、及び水動力作用下での安定喪失度判定となるパラメータ区分とする。各パラメータの応用数量化とファジー情報の方法は、定量且つ定性のある15項目資料に対し、同一基礎上でノーマリゼーション及び規準化の数量化処理を行う。

本基礎のもとに、15項目の要素を含む土石流谷の数量化とファジー情報の総合判定方法(表3)⁽⁹⁾を完成した。

本判定方法は、1988年に鉄道部部級審査をパスしており、ソフト化されている。

土石流谷の安定喪失度判定の数量化及びファジー情報総合判定の等級基準は表4を参照のこと。

表3. 土石流道活動性要素

番号	影響要素	ウェイト	量 級 区 分				得点	一般(D)	得点	
			重度(A)	点数	中度(B)	点数				軽度(C)
1.	山崩れ、地すべり及び水土流失の度合い	0.159	山崩れ、地すべり等の重く、土壌がひどく、大規模な山の水流失が頻りに発生する。	21	山崩れ、地すべりが発生し、土壌が近い、小規模な山の水流失が頻りに発生する。	16	まばらな地すべり、山崩れ、水及び土の流失が頻りに発生する。	山崩れ、地すべり、水及び土の流失が頻りに発生する。	1	
2.	土砂崩れによる土砂補給区間の比(%)	0.118	>60	16	60~30	12	30~10	8	<10	1
3.	河口土石流堆積活動の度合い	0.108	川型が湾曲あき、閉塞され、大規模な河主流が、向きの移動する。	14	川型に大きな変化はないが、河主流が、向きの移動する。	11	川型に変化なく、大河主流は、高水は偏り、低水は偏り。	7	川型の変化は、大河主流は、向きの移動する。	1
4.	河になっている谷あいの縦断勾配	0.090	>12° (213)	12	12° ~ 6° (213~105)	9	6° ~ 3° (105~52)	6	<3° (32)	1
5.	区域地殻構造への影響度	0.075	隆起度大地域6級以上地震帯あり	9	隆起区域、4~6級地震帯に中層被砕帯あり	7	相対的安定区4級以下地震帯あり	5	沈下区域、構造への影響は、小あるいはなし	1
6.	流域植生被覆度(%)	0.067	<10	9	10~80	7	30~60	5	>60	1
7.	最近1回の谷あい変形幅(m)	0.062	2	8	2~1	6	1~0.2	4	0.2	1
8.	岩性影響	0.054	軟岩 黄土	6	軟硬交互	5	風化と節理が、発達した硬岩	4	硬岩	1
9.	谷沿いの堆積物量(万m³/km²)	0.054	>10	6	10~5	5	5~1	4	<1	1
10.	河岸の傾斜度(度/%)	0.045	>32° (0.625)	6	32° ~ 25° (0.625~0.466)	4	25° ~ 15° (0.466~0.286)	4	<15 (0.268)	1
11.	土砂発生区間の河床横断面	0.036	V型谷、谷中部、下部切れU形谷	5	幅広U型谷	4	複式断面	3	平坦型	1
12.	土砂発生区間の堆積物平均厚さ(m)	0.036	>10	5	10~5	4	5~1	3	<1	1
13.	流域面積(km²)	0.036	0.2~5.0	5	5~10	4	<0.2和	3	>100	1
14.	流域比高差(m)	0.030	>500	4	500~300	3	300~100	2	<100	1
15.	河になっている谷あいの閉塞具合	0.003	重度	4	中度	3	軽度	2	なし	1

注：1. 表中に列記の定性資料のクラス別基準は、応用条例中の関連規定を参照のこと。

2. 水土流失の重大度区分は、年平均侵蝕率(M)に基づいて確定する。

M $\geq$ 1.5万t/km²は、重度侵蝕区

M=1.5~0.5万t/km²は、中度侵蝕区

M=0.5~0.1万t/km²は、軽度侵蝕区

M=0.1t/km²は、一般侵蝕区

表4. 数量化とファジー情報の総合判定等級基準表

判定限界値			重大度区分等級の限界値		
等級	基準得点範囲	上下限ファジー境界区10%変差得点範囲	等級	基準に基づく得点範囲自己判定	上下限ファジー境界区10%変差得点範囲自己判定
肯定	44~130	44~130	重度	116~130 ($r \geq 0.75$)	114から130
			中度	87~115 $0.5 \leq r < 0.75$	84~118
			軽度	44~86 $0.25 \geq r < 0.5$	40~90
否定	15~43 ($r < 0.25$)	15~48	一般	15~43 ($r < 0.25$)	15~48

注：1. かつこ内の数字は、ファジー判定の限界値

2. ある土石流谷に対して数量化を行い、判定の総得点がファジー限界区にある場合、その地点の重度等級は、どちらでもよく、一般には経験に基づいて判定する。

表4における安定喪失程度は、4級基準を採用し、そのうち、重度（A）は、15項目要素の得点合計とファジー判定得点結果が、それぞれに114点と0.75点以上の場合で、各影響要素は非常に活発に活動し、状況は厳しく、一触即発の状態にあり、警戒が必要で、優先的に整備しなければならない土石流谷である。

中等（B）は、15項目要素の得点合計とファジー判定得点結果が、それぞれに84～118点と0.75～0.5点範囲内の場合で、各影響要素は比較的活発に活動し、個別の要素が突出するが、総体的に脅威感極だっておらず、注意を要するものとして、整備しなければならない土石流谷である。

軽度（C）は、15項目要素得点合計とファジー判定の得点結果がそれぞれに40～90点と0.5～0.25点である場合で、各影響要素は比較的安定し、一定期間内は、平常時では活動状況が災害までには至らない土石流谷である。

一般（D）は、15項目要素の得点合計とファジー判定結果が、それぞれに15～48点と0.25点以下の場合で、各影響要素は安定し、一般には、土石流活動が発生しない谷あいである。

土石流谷の地表システムの各活動性要素の安定喪失程度等級区分基準の限界値は、本報告者が中国の800余土石流谷の資料について科学統計分析を行った後に確定したもので、専門家の判定結果を用いて検証も行っている。

2.4 土石流谷を通る鉄道は、排水設備を多く採用している。

当該排水施設の安全度に対する評価は、以下で述べる指標に基づいて判定する。

（1）橋桁の下排水施設の最大通過能力計算に基づく判定

$Q_{\max}$ は、排水施設の最大通過能力 (m^3/s) で、 Q_B は、設計あるいは実際の豪雨計算に基づく清水流量 (m^3/s) である。

Q_c は、計算上の清水流量と土石流容積重及び閉塞程度に基づいて計算する土石流流量である。

排水施設の安全度は、 $Q_{\max} / Q_c$ の大きさに基づいて確定する。

$Q_{\max} / Q_c \leq 0.65$ ならば、非常に危険 (A)

$0.65 < Q_{\max} / Q_c \leq 1.0$ ならば、危険 (B)

$1.0 < Q_{\max} / Q_c \leq 1.35$ ならば、あまり安全ではない(比較的安全)

$Q_{\max} / Q_c \leq 1.35$ ならば、安全 (D)

(2) 排水施設等の平面位置に基づく判定

非常に危険(A)：危険区域の中心にあり、斜交がひどく、山の入口から500m以内。

危険(B)：危険区域の近くにあり、氾濫線以内、斜交あり、山の入口から500～2000m。

やや安全(C)：氾濫区域の近くにあり、山の入口からの距離が2000～5000m。

安全(D)：氾濫区域以外にあり、山の入口からの距離が5000m以上。

(3) 防護施設の有無に基づく判定

非常に危険(A)：防護施設がない、施設が既に古くなっている、工事系統に重大な欠陥がある。

危険(B)：防護施設が多いが、土砂発生地帯はコントロールされていない。工事系統に進行中の欠陥がある。

やや安全(C)：防護施設が多いが、土砂発生地帯は基本的にコントロールされている、工事系統にやや欠陥がある。

安全(D)：防護工事の効果がよく、土砂発生地帯がコントロールされている、工事系統は良好である。

橋桁の下排水施設の耐災害能力は、鉄道の等級と設計基準に基づいて判定し、予知分析計算を行う場合は、既知の排水施設の最大通過能力に基づいて、受容可能な最大豪雨量を求める。

本限界値は、当該予知の危険雨量限界値であり、建築物の耐災害能力の限界値となるものである。

お わ り に

中国における土石流予報の研究はまさに、資料収集及び探究試用段階である。

本文は、実情から出発し、成昆鉄道と蘭州地区における、土石流予報の総体的構想の展開と各段階予知時の第1段階及び第2段階の任務について紹介したものである。

歴史的原因により、我が国の山間部の開発は、解放以後から行われた。

山間部の状況の理解、水文気象、地質及び地震等の資料系統の収集については、需要を満たすまでには至っていない。先進国と比較しても、まだ大きな差異がある。

例えば、我が国西部地区では水文気象観測所が少なく、広大な土地に県級の気象観測所が1つしかない。また、鉄道専用の雨量観測点も非常に少ない。気象衛生、雨量測定レーダー等など、広範な応用がなされていない。

客観的条件から見て、我が国の土石流予知系統を確立するには困難がともなう。

全ての、人類の生命や財産に脅威と危害をもたらす自然災害との闘いの過程において、中国人民には、自らの努力によって、災害を防止し、軽減させる能力を有しており、また中国独自の土石流予知系統を打ち出せると思う。

参考文献

- (1) 中国科学院工事力学研究所：《海域地震災害》，地震出版社，1979年。
- (2) 湖北省西陵峡地山崩れ地崩れ調査処：長江新灘地すべりの前兆及び成功した監視予報，《水土保持通報》1985年第5期。
- (3) 中国鉄道橋梁建設史編さん委員会：《中国鉄道橋梁建設史》（建国以後の鉄道橋桁の下排水施設の重大災害），中国鉄道出版社，1981年。
- (4) 譚炳炎：土石流谷の判定方法と数量化総合判定，鉄道部鑑定文書，1988年10月。
- (5) 荆紹華：土石流臨海雨量と誘発雨量の初歩的分析，《鉄道工事学報》，1986年第4期。
- (6) 孟河清：1981年宝成鉄道土石流災害と降雨条件の分析，《鉄道工事学報》，1986年第4期。
- (7) 王文俊：1989年成昆鉄道甘洛試験区総括報告，鉄道部西南研究所，1990年。
- (8) 段愛英：土石流防止，整備における科学的管理の初歩的探究，《水土保持学報》1989年第1期。
- (9) 譚炳炎：土石流谷の重大度の数量化総合判定，《鉄道学報》，1986年第2期。

II 豪雨による土石流の予知に関する研究

譚炳炎 楊大文 石勝国

(鉄道部科学研究院西南研究所)

摘 要

豪雨による土石流の発生は、降雨が地表面に作用した後、2つの系統からの諸要素の組み合わせによる作用がある限界を超えた結果生じるものである。

本文は、成昆鉄道甘洛試験区での1989～1990年における64回の観測資料をもとに、豪雨による土石流発生を予知するため気象と地表面の2つの系統の組み合わせによる判別式を確立した。

$$Y = R \cdot M$$

$Y < 25$ の場合、土石流は発生しない。

$Y \geq 35$ の場合、土石流発生の確立は85%以上。

$25 \leq Y < 35$ の場合、発生するか否かの可能性は未知である。

式中：R－降雨の条件関数で、降雨量と降雨型（時間に基づく）及び先行降雨の有無に関する総合判別式。

$$R = K_1 (H_{24} / H_{24(D)} + H_2 / H_{1(D)} + H_{1/6} / H_{1/6(D)})$$

M－地表環境に関する関数で、地形、地質、谷あいの要因特性及び最近比較的大きな土石流活動があったか否かの総合判別式。

$$M = \sum_{i=1}^{16} K_i a_i N_i$$

本文は、60年代以降、中国西南、西北、華北、東北等の地区において、鉄道沿線で発生した土石流災害75回の資料に基づいて、検証を行った結果、比較的満足すべき結果を得ている。

当該指標は、当該地区の代表性と正確性を有し、土石流発生の予知を行う指標となり得るものである。

キーワード：豪雨 土石流 予知パターン 組み合わせ

※ 本文は、鉄道部が1988年実施した科学研究課題「山間区鉄道の豪雨による土石流に関する中、短期予報の研究」の一部分で、当グループの王文俊、梁孝民、段愛英が本文資料の整理分析及び検証作業を行った。

1. 前 言

中国はアジア東部に位置し、西部には、「世界の屋根－青藏高原（チベット高原）」があり、東部は海洋と接続している。山脈が縦横に走り、水系が発達し、比高差が大きく、地形は複雑多様で、山地面積が約3分の2を占める。新構造活動が活発で、環太平洋地震帯、地中海南アジア地震帯、パミール～バイカル地震帯の影響を受ける。気候はモンスーン型で、降水量は、東から西へ、南から北に向かって減少し、山間部の高地では豪雨が多い。毎年洪水期には山間部で豪雨による土石流が頻繁に発生し、鉄道の安全走行に重大な危機を及ぼしている。

1949年以降における土石流発生災害は累計で1,173件、そのうち、鉄道施設の破壊、走行の中断を引き起こした比較的大きな土石流災害は291件であった。土石流による列車の脱線転覆事故10件、100人以上の死傷者が出た大事故2件、27の駅舎が土砂の下敷きとなった事例が35回あり、80年代以降の復旧費及び増築あるいは改築工事費が年間7300万元にも達する。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

豪雨による土石流予知の研究は、重要なソフト対策の一環と位置づけられる。土石流発生メカニズムを通じて、土石流の発生は、営力としての降雨の作用系統と降雨の作用を受ける地表面の被作用系統とに分けられる。この2つの系統における諸要素は、組み合わせの過程で、一定の法則に基づいて変化し、その結果、土石流発生の有無が決定される。

本文は、甘洛試験区における1988年から1990年までの64回の観測資料に基づいて、統計分析を行い、2つの系統の多くの要素による組み合わせパターンを作り、一つの土石流谷ごとの土石流発生の予知パターンを作成するとともに、それぞれの土石流発生の有無の限界指標を求め、甘洛試験区の土石流発生における予知基準とした。

本基準は、60年代以降に中国西南、西北、華北、東北等地区の鉄道沿線で発生した土石流災害75回の資料をもとに検討を行った結果であり、時間的配列、豪雨の規模、被災地域の範囲等から分析を行っているため、当該資料は、広範に適用可能な手法であり、結果は満足すべきものである。

2. 予知パターンの作成プロセス

土石流の発生は、降雨による能動的な作用系統と地表面が豪雨によって受ける被作用系統の2つの要素が相互作用の結果生じるものである。⁽⁴⁾

2つの系統の要素は、各自独立した変量である。

特定の流域内での降雨系統に属する降雨量及び降雨タイプ等のパラメータは、上空の雲の動きの不安定度によって決まり、地表面のある1つのパラメータで変化するものではない。地表系統に属するものとしては、岩性、地質構造、植生、河底の浸食の程度、流域内の堆積物の安定度等の要素が主要なもので、これは内、外営力によって決定される。降雨は、一定の影響はあるが、決定的な要素ではない。両系統中の諸要素が相互作用する時、地表系統の諸要素が有する時空状態が空からの降雨作用の違いによって、異なる発生要因として位置づけられる。この結果が、空と地表の両系統の組み合わせ効果となる。両系統の相互作用に関連する要素はさまざまで、その発生要因も不同であり、方程式で各要素の特性を計算することは、現時点においてまだ完全に確立されていない。

然し、これらの要素を相互組み合わせした後の総合効果が土石流発生の有無に対する一つの確定的な判定式となる。

斯様な点から各系統の多くの要素、その量的区分による土石流発生総合判定は、現場の観測試験での統計結果により確定できる。

土石流予知パターンのブロック図は図1を参照。

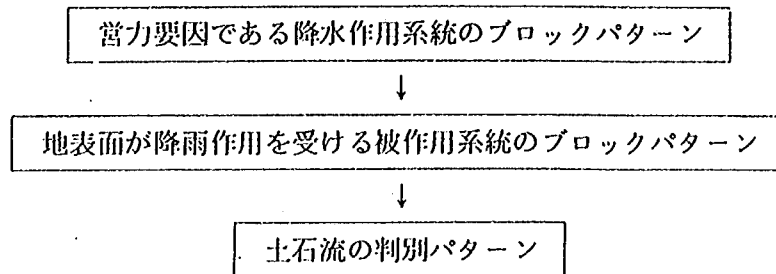


図1. 土石流予知パターンブロック図

降雨作用系統は、降雨という一種の特殊な様式で、エネルギーを地表面に加えるものである。

人類は既に、気象衛星画像及び地表観測所の資料により、豪雨発生の時、場所、量の三者の予報を提供しており、土石流の予知は、本情報を基礎にしている。⁽⁴⁾

流域地表面の被作用系統に属する各種要素の土石流発生に關与する度合は非常に複雑で、現段階では、数式により算出する方法が完成されていないため、土石流を形成する可能性のある被作用系統に属する諸要素を合理的に選択する必要がある。また、地表の各要素が降水の重力作用によって生ずる安定性喪失の条件及び組み合わせの総合効果を確定しなければならない。降雨が、流域地表面環境に作用した後の動態過程の観測試験資料が少ないため、定量に関しては十分ではなく、本ブロックパターンは、未知である。

両系統の相互作用過程は、降雨方式に現われる。

本文の任務の一つとして、土石流が発生する降雨量と降雨型の組み合わせ関係を研究決定して、その組み合わせパターンを求める。

降雨が流域の地表面に作用した後、個々の流れが合流することにより洪水あるいは土石流を形成し、洪水と土石流は、流下の過程においても、(小さな河になっている)谷あいの条件の違いから相互に変化していく。

本文の第2の任務は、流域内の土石流が発生する地表条件の確定、総合判別式の完成である。本テーマのために、1988年から西南、西北の2地区で、甘洛と蘭州両予報試験区に対する現場観測試験を行った。

また、成都中心气象台とともに気象衛星画像を利用して、甘洛試験区に対する24時間内天気予報を行った。

3. 予報パターンの確立

3.1 降雨システムの分析と降雨パラメータの組み合わせ

3.1.1 豪雨型の分析⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

豪雨は、気象的要素、地形的要素等が相互作用する結果である。豪雨の類型は、先行降雨の状況に基づいて、先行降雨のある豪雨と先行降雨のない豪雨とに分けられる。前者は、大規模豪雨で、範囲は広く、降雨持続時間が長い。また、豪雨のピーク雨量は多く、土石流誘発のエネルギーも大きい。他方、後者は、小規模型豪雨と局地的豪雨に属する。局地的豪雨の豪雨ピーク範囲は狭く、雨量は少ないが、短時間で強度のある降雨となるため、土石流発生誘発エネルギーは大きい。

中規模豪雨は2者の中間である。

3.1.2 パラメータの組み合わせ分析⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾

降雨タイプと雨量を表わすパラメータは、24時間雨量(H_{24})、最大1時間の降雨型(H_1)及び最大10分間の降雨型($H_{1/6}$)を用いる。

以前の研究で通常見られるのが単一の降雨パラメータと土石流活動の関係であるが、全てのパラメータが1回の土石流を形成する豪雨の特性を表わしていない。土石流を誘発する豪雨の雨量と強度が作用する大きさについては、現時点では解明されておらず、単一の豪雨パラメータで降雨と土石流活動の関係を研究するのは、側面的である。

本文は、降雨の各パラメータの組み合わせ関係を確立して、組み合わせ指標により、土石流誘発の法則を分析する。

甘洛試験区の各土石流谷64回の観測資料に基づいて、 H_{24} と H_1 、 H_1 と $H_{1/6}$ の関係に対する分析を行った結果は次の通りである(図2に示す)。

1) H_{24} と H_1 の組み合わせ関係

(H_{24} , H_1)が直線 $H_1 + 0.4 H_{24} = 40$ ($H_1 \geq 0$, $H_{24} \geq 0$)以下の場合、土石流が発生しない。

(H_{24} , H_1)が直線 $H_1 + 0.4 H_{24} = 40$ ($H_1 \geq 0$, $H_{24} \geq 0$)で、直線 $H_1 + 0.4 H_{24} = 60$ ($H_1 \geq 0$, $H_{24} \geq 0$)との間にある場合、土石流発生の可能性がある。

(H_{24} と H_1)が直線 $H_1 + 0.4 H_{24} = 60$ ($H_1 \geq 0$, $H_{24} \geq 0$)以上の場合、土石流は発生する。

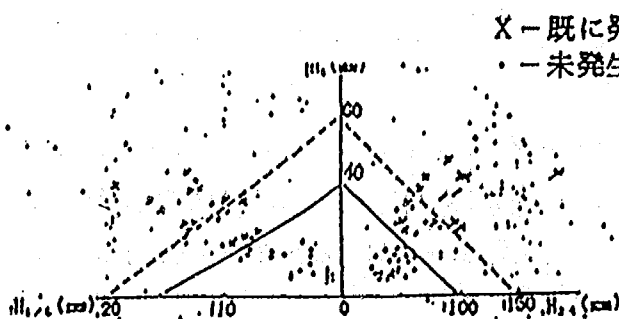


図2 降雨パラメータの組み合わせ分析

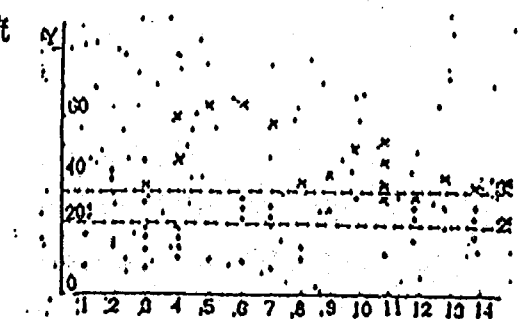


図3 甘洛試験区の各土石流谷における豪雨組み合わせ予知指標

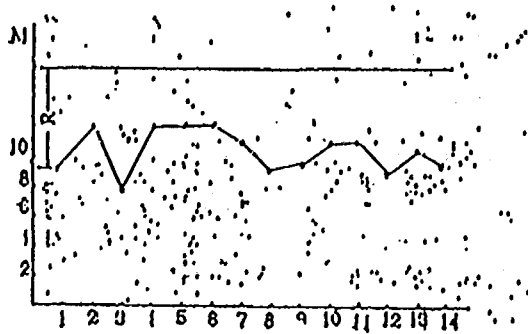


図4 甘洛試験区地表系統の
組み合わせ予知指標

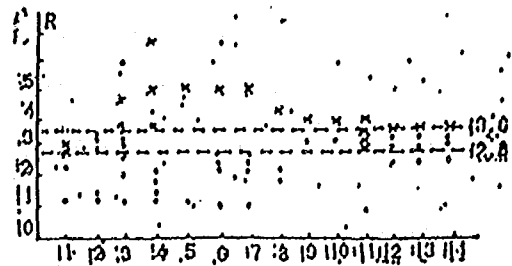


図5 気象系統と地表
系統の組み合わせ分析

番号	道程	溪谷名	番号	道程	溪谷名
1	K 280+259	新家子	8	K 311+812	勒都洛苦
2	K 293+382	羅板	9	K 314+115	樂日
3	K 296+290	龍門	10	K 315+802	莫古足
4	K 305+038	勅古洛奪	11	K 317+156	岩潤
5	K 306+333	窄板	12	K 320	
6	K 310+126	瓦洪	13	K 320+694	
7	K 311+651	拉古	14	K 321+596	

2) H_1 と $H_{1/6}$ の組み合わせ関係

$(H_1, H_{1/6})$ が直線 $H_1 + 2.67 H_{1/6} = 40$ ($H_1 \geq 0, H_{1/6} \geq 0$) 以下の場合、土石流は発生しない。

$(H_1, H_{1/6})$ が直線 $H_1 + 2.67 H_{1/6} = 40$ ($H_1 \geq 0, H_{1/6} \geq 0$) と、直線 $H_1 + 3 H_{1/6} = 60$ ($H_1 \geq 0, H_{1/6} \geq 0$) との間にある場合、土石流発生の可能性はある。

$(H_1, H_{1/6})$ が直線 $H_1 + 3 H_{1/6} = 60$ ($H_1 \geq 0, H_{1/6} \geq 0$) 以上の場合、土石流が発生する。

以上の各式中の H_{24} , H_1 , $H_{1/6}$ の単位は mm。

上述組み合わせは 2 つのパラメータの組み合わせだけで、3 つの降雨パラメータの組み合わせ関係を完全に反映するものではないため、3 つのパラメータの組み合わせパターンを確立して、組み合わせの指標に基づいて降雨と土石流発生の研究を行わねばならない。

3.1.3 降雨パラメータの組み合わせパターン

降雨の 3 パラメータ、即ち H_{24} , H_1 , $H_{1/6}$ は、それぞれ、雨量、降雨型を代表するディメジョン量である。

3 つのパラメータを組み合わせるには、先づ、3 つのパラメーターに対し、ディメジョンレス化をしてから、ディメジョン数で組み合わせをする。

90 年度の国家重要科学技術の成果である、「鉄道土石流谷の判別方法と応用技術」というテーマにおける土石流発生時の臨界雨量（即ち、3 パラメータの下限值）に基づいて、統一基準を作り、3 つの降雨

パラメータに対してディメジョンレス化処理をした。その結果は下記の通りである。

$$H_{24} \text{ のディメジョンレス量} : X_1 = H_{24} / H_{24(D)}$$

$$H_1 \text{ のディメジョンレス量} : X_2 = H_1 / H_{1(D)}$$

$$H_{1/6} \text{ のディメジョンレス量} : X_3 = H_{1/6} / H_{1/6(D)}$$

式中の、 $H_{24(D)}$ 、 $H_{1(D)}$ 、 $H_{1/6(D)}$ は、3つのパラメーターの土石流発生可能な臨界値である。

降雨の3パラメータ組み合わせパターンは次の通りである。

$$R = \sum_{i=1}^3 X_i = \frac{H_{24}}{H_{24(D)}} + \frac{H_1}{H_{1(D)}} + \frac{H_{1/6}}{H_{1/6(D)}} \quad (1)$$

先行降雨状況を考慮して、上式を下記のようにする。

$$R = K_1 \left(\frac{H_{24}}{H_{24(D)}} + \frac{H_1}{H_{1(D)}} + \frac{H_{1/6}}{H_{1/6(D)}} \right) \quad (2)$$

式中、 R は、降雨特性を反映する組み合わせ指標で、 K_1 は先行降雨修正係数で、 $K_1 \geq 1$ 。

3.1.4 甘洛試験区降雨組み合わせ指標と土石流活動の関係

甘洛試験区内で発生する土石流の大多数の豪雨は、先行降雨がない型である。

降雨の3つのパラメータの臨界

値 $H_{24(D)}$ 、 $H_{1(D)}$ 、 $H_{1/6(D)}$ は、試験区の状況に基づいて、 $H_{24(D)} = 60 \text{ mm}$ 、 $H_{1(D)} = 20 \text{ mm}$ 、 $H_{1/6(D)} = 10 \text{ mm}$ と確定する。

試験区内の多くの土石流谷の1989～1990年における各大雨と豪雨の組み合わせ指標は図3に示す通りである。

図3から、降雨総合指標 R と土石流発生の関係がわかる。

$R < 2.8$ の場合、土石流は発生しない。

$R = 2.8 \sim 3.6$ の場合、土石流発生の可能性がある。

$R \geq 3.6$ の場合、土石流が発生する。

降雨総合指標 R では、地表系統の状況を考慮しておらず、同様の降雨作用のもとでも、各土石流谷の状況によって、その結果は異なってくるため、降雨総合指標 R は、気象系統と地表系統の組み合わせの効果を反映することはできないので、 R 値で降雨と土石流活動の関係を判断することは早計である。

このことから、次に、土石流谷における地表系統について分析を行ってから、気象系統と地表系統の組み合わせパターンを示す。

3.2 流域の地表環境要素の選択及び組み合わせ分析⁽¹⁴⁾

土石流の発生、流動及び堆積の3つの過程の大部分は、一つの流域内で発生する。ある流域の地形は、内、外営力（新構造活動、地震、地形、（河）谷あいの諸要素、不合理な人為的活動等）が地表に作用する直接の結果である。

土石流の発達は、地質、地形、（河になっている）谷あいの諸要素の規制や影響を受ける。土石流活動における地表環境状況をつかむには、当該流域の地表環境要素の類型、重大度の等級及びその組み合わせ特性を研究しなければならない。

3.2.1 土石流活動における地表環境要素の選択

地表環境要素はさまざまで、各要素の土石流活動に対する作用程度も異っているため、要素間相互の関係も完全には解明されていない。

地表環境要素を明確にすると同時に、土石流活動に地表環境特性を全面的に反映させるために、一つの谷（河）の地表環境分析に、「鉄道土石流谷判別方法と応用技術」テーマで提示された地質、地形、谷あい等 15 項目の要素を土石流活動における地表環境要素とする。（表 1）

表 1. 土石流活動における地表環境要素及びその度合

影響要素	度合	影響係数	重度		中度		軽度		一般	
		a	N _A	a ₁ N _A	N _B	a ₁ N _B	N _C	a ₁ N _C	N _D	a ₁ N _D
不良地質		0.22	21	4.62	16	3.52	12	2.64	1	0.22
泥砂を補給する区間の比		0.15	16	2.4	12	1.80	8	1.20	1	0.15
河口地形		0.01	14	0.14	11	0.11	7	0.07	1	0.01
河床縦断形		0.20	12	2.4	9	1.80	6	1.20	1	0.20
地質構造		0.01	9	0.09	7	0.07	5	0.05	1	0.01
植生		0.12	9	1.08	7	0.84	5	0.60	1	0.12
河になっている谷あいでの最近1回の沖積変化幅		0.01	8	0.08	6	0.06	4	0.04	1	0.01
岩性		0.02	6	0.12	5	0.10	4	0.08	1	0.02
堆積物蓄積量		0.06	6	0.36	5	0.30	4	0.24	1	0.06
山腹勾配		0.04	6	0.24	5	0.20	4	0.16	1	0.04
横断面特性		0.03	5	0.15	4	0.12	3	0.09	1	0.03
堆積物平均厚さ		0.01	5	0.05	4	0.04	3	0.03	1	0.01
流域面積		0.10	5	0.50	4	0.40	3	0.30	1	0.10
流域比高差		0.01	4	0.04	3	0.03	2	0.02	1	0.01
(河になっている)谷あいの閉塞状態		0.01	4	0.04	3	0.03	2	0.02	1	0.01

3.2.2 土石流活動に対する地表環境の影響度⁽⁴⁾

土石流の予知、予測をする場合、客観的に土石流活動の程度を表わすパラメータが存在する。即ち、土石流活動における地表環境劣化程度である。地表環境要素の土石流形成の作用や降雨による水流の影響を考慮し、専門家の評価に基づいて、15 項目の要素の数量化判定及びその度合を定めた。

表1に示す通りである。

15項目要素の数量化判定の結果、地表系統の土石流活動における程度を求めることができる。

$$M = \sum_{i=1}^{15} a_i N_i \quad (3)$$

式中のMは、土石流活動における地表環境重大度を示し、 a_i は、要素iの影響係数、 N_i は要素iの判定値である。

(3)式を使い、成昆線甘洛土石流試験区の各土石流谷の活動による地表環境悪化度を計算した。計算の結果は、図4中に示す通りである。

3.2.3 土石流活動による地表環境悪化度の変化

流域で土石流が発生すると、河床及び河床付近の堆積物は谷沿いに押し流されて流下するとともに河床及び兩岸を激しく浸食し、その結果河床は洗掘され、兩岸が崩れ落ちる。また、地すべりなどを引き起こし、河床中の堆積物を増加させたり減少させたりする。これが、流域地表面環境の重大なる悪化や好転あるいは平衡状態の要因となる。

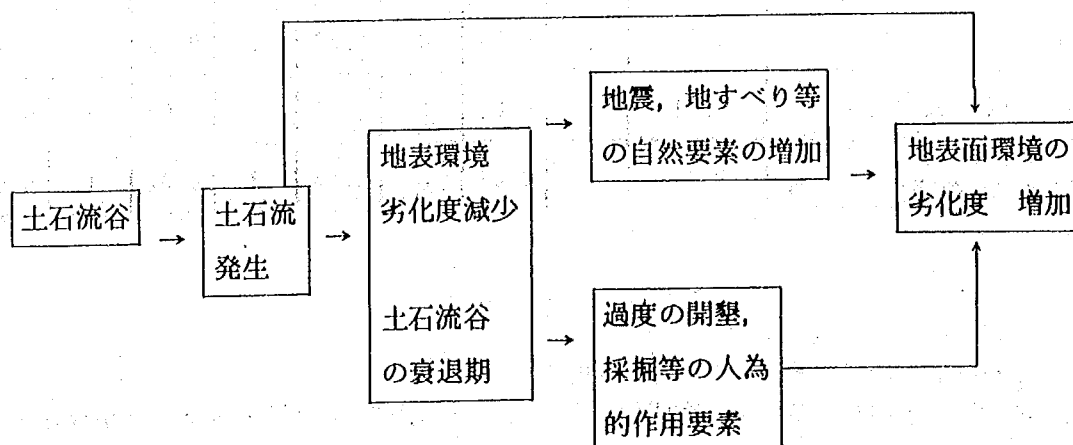
本経緯から土石流活動を表わす地表面環境の程度は以下のように変化する。

$$M = \sum_{i=1}^{15} K_i a_i N_i \quad (4)$$

式中、 K_i は、増加衰退係数で、表2を参照。

降水、風化、水流の侵食及び重力により崩れ落ちる等の要素作用で、 K は、時間の推移とともに変化する。発達期と流動期の土石流は、 K_i が1の時、土石流発生後の地表面環境劣化度は下がるが、時間が経るにつれて、地表環境系統の劣化度はまた漸次大きくなり、最終的には適当な雨量との関係で、新たな土石流が発生する。反対に、 K_i が15の時、降雨量が十分でありさえすれば、土石流が発生する。

上述流域の土石流活動における地表環境劣化度合いの変化は、下記ブロック図の通りである。



土石流発生における地表環境劣化度の増大衰退状況は一般に、土石流発生後、地表環境要素を再検討し、その変化状況を把握した後に確定する。

表 2. 土石流活動における地表環境可変要素増衰係数

可変要素 増衰係数 K_i	不良地質 現象	泥砂補給 区間の比	閉塞の程度	河口地形 活動程度	(河になっている) 谷あいの最近1回 の沖積変化幅	その他 10項目 要素
増加係数	1.0～3.2	1.0～3.5	1.0～2.7	1.0～3.5	1.0～2.7	1.0
減衰係数	0.3～1.0	0.28～1.0	0.37～1.0		0.37～1.0	

3.2.4 河床材料の土石流活動に対する影響

河床材料の粒径及び粒度分布は、土石流の活動に直接影響する。成昆線甘洛試験区における野外調査で、河床材料平均粒径が大きいほど、土石流発生の回数が少なく、また、粒径が均一であればあるほど土石流活動に要する臨界雨量が多くなることが明らかになった。

粒度分布が均一ではなく、且つ細粒が多い場合、土石流が発生しやすくなる。

河床材料と土石流活動の具体的関係については、現在の資料だけでは明かではなく、応用に十分な結論には至っておらず、尚研究の余地がある。

3.3 気象系統と地表面環境系統の組み合わせ

上記で、気象系統と地表系統に対して、それぞれ分析し、2つの系統の内部的各要素の組み合わせパターンを確立した。

土石流発生には、同時に一定の降雨条件と地表環境の悪化度合が起因するため、土石流活動の組み合わせパターンを研究する場合には、代表的な降雨条件をとり、また、地表環境影響度を示す総合指標を選び土石流発生の有無を判断する必要がある。

3.3.1 気象と地表面の2系統の組み合わせパターン

土石流の活動は、降雨系統と地表面の環境系統の諸要素が相互に関連した結果生ずるものである。ある土石流谷に対する土石流発生の有無には、土石流活動の組み合わせ指標が必要となる。土石流谷の地表環境への影響度が大きいほど、必要とする雨量は少なくなり、地表環境の劣化度が小さいほど、必要とする雨量はますます多くなり、土石流が発生するため、下記の組み合わせパターンを採用し、降雨系統と地表環境系統を表わす総合指標とする。

$$Y = M \cdot R \quad (5)$$

3.3.2 甘洛試験区の土石流活動と総合予知指標の関係

甘洛試験区 1989～1990 年における、大雨あるいは豪雨規模の各回降雨と地表系統土石流活動状況について、組み合わせ計算を行った。

ある区域内の谷あいの毎回土石流が発生する組み合わせ指標点を座標上におき（図 5 参照），

点分布に基づいて、下記の結果を得た。

- (1) $Y < 25$, 区域内の各土石流谷では、土石流は発生しない。
- (2) $25 \leq Y < 35$, 区域内では、ある土石流谷は土石流が発生し、発生しない土石流谷もある。
- (3) $Y \geq 35$ 通常の下況下では、区域内の土石流谷で土石流が発生する。

3.4 単一地点（単一河谷）における土石流の予知

上節中では、土石流発生地表系統指標 M と気象系統指標の R について、甘洛試験区内で得た土石流活動と組み合わせ指標 Y の関係について述べた。

本指標に基づく、単一の土石流谷の活動状況に対する予知を行うことができる。1つの土石流谷について言うならば、地表系統は一定の時期内では相対的に安定しているが、気象系統の降雨は、一定しないため、ある単一地点で土石流が発生するか否かは、降雨に基づいて予知をする。

上節中で出された土石流発生条件は、

$$R \cdot M \geq Y_c \quad (6)$$

となり、式中の Y_c は、土石流活動の組み合わせ予知指標で、甘洛試験区 $Y_c = 35$ となる。

各土石流谷について言うならば、 M 値は、土石流谷の調査により得たもので、上式が

$$R \geq Y_c / M \quad (7)$$

になる。

計算によると、 M 値が 3.87 以上となった場合、土石流谷は活動状態にある。

以上の式から、異なる地表環境系統に対応する場合、土石流発生の雨量も異なることがわかる(図4参照)。

第1節から $R = K_1 \{ (H_{24} / H_{24(D)}) + (H_1 / H_{1(D)}) + (H_{1/6} / H_{1/6(D)}) \}$ であることがわかり、上述の単一地点の土石流発生条件に基づいて予知を行う場合、下記の2通りがある。

(1) H_{24} は、気象台が提供し、 H_1 と $H_{1/6}$ は、流域の雨量観測所の観測データに基づいて提供し、予知とする。

(2) $R \sim H_{24}$ (あるいは H_1 あるいは $H_{1/6}$) の相関関係を確立することにより、単一降雨パラメータ H_{24} (H_1 あるいは $H_{1/6}$) を直接利用して予知する。

甘洛試験区の資料に基づいて、 $R \sim H_{24}$ の線性相関関係が、

$$R = (H_{24} - 10) / 15 \quad (8)$$

となる。

同様に、 $R \sim H_1$ と $R \sim H_{1/6}$ の線性相関関係式は

$$R = (H_{2/6} + 3) / 3.5 \quad (9)$$

$$R = (H_{2/6} + 1.5) / 7.5 \quad (10)$$

となる。

一つの谷あいでは土石流が発生する単一降雨パラメータ条件は、

$$(H_{24} - 10) / 15 \geq Y_c / M \quad (M > 3.87) \quad (11)$$

となり、即ち $H_{24} \geq 10 + 15 Y_c / M \quad (M > 3.87) \quad (12)$

あるいは $H_2 \geq 7.5 Y_c / M - 1.5 \quad (M > 3.87) \quad (13)$

あるいは $H_{1/6} \geq 3.5 Y_c / M - 3.0 \quad (M > 3.87) \quad (14)$

となる。

大部分の土石流谷地帯には雨量観測所がないため、一般状況下では、 H_{24} に基づいて予知とし、以上 3 公式に基づくと、各土石流地点における、土石流発生可能な雨量を計算することができる。

4. 予知パターンの検証分析

上記では、土石流組み合わせの予知パターン確立方法を提示するとともに、甘洛試験区 1989 ～ 1990 年の資料から、予知方程式と予知を行う指標を定めた。

次に当該資料をもとに、中国の他地区における土石流発生雨量を計算する。

4.1 検証資料の範囲と資料根拠⁽⁶⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾

ここでは主として、わが国の鉄道沿線土石流谷において発生した土石流の関係資料を検討資料とする(成昆、宝成、鳳上、蘭新、蘭青及び青蔵等鉄道を含む)。

降雨資料は、土石流谷の所在流域(あるいは付近)の雨量観測所の記録結果である。地表系統の 15 項目要素の数量化判定結果は、当研究所で行った。全土石流谷の調査後に完成した土石流谷技術文書を採用している。

採用資料における 60 年代から 80 年代までの資料の雨の状況は主として、豪雨級あるいは超豪雨級(表 3 を参照)である。時間的配列、降雨量及び影響する地理的範囲等の方面においてかなり広範性があり、上述予報パターンの検証資料として代表性を有するものである。

表 3 計算資料の範囲及び資料根拠

区 域	回	M	H_{24} (mm)	H_1 (mm)	$H_{1/6}$ (mm)
西南区	30	7.75～ 12.01	58.6～418.8	23.2～89.0	8.5～30.0
西北区	29	7.85～ 12.28	21.5～200.0	16.1～105.0	17.5
東北、華北区	16	4.63～ 9.91	233.0	69.8	11.6

4.2 検証分析の内容と結果

一つの谷あいの土石流の組み合わせ予知の一節では、降雨の 3 つのパラメータの組み合わせパターンを示し、土石流活動と降雨組み合わせ指標(R)の関係を求め、気象と地表両系統の組み合わせパターンを確立するとともに、組み合わせ予知を行う指標($Y = R \cdot M$)と土石流活動の関係を研究した。

また、実際に応用する必要性を考慮し、降雨単一パラメータ (H_{24} あるいは H_1 あるいは $H_{1/6}$) とその組み合わせ指標 (R) の相関関係に基づいて、単一の降雨パラメータを指標とする予知方法を示した。

ここでは、上述の3方面に対して、検証を行う。検証資料と当該の2つの予報を行う指標の符合状況は表4で示す通りである。表4から、上述の2つの指標が他地区にも同様に適応することがわかる。

総合判定指標 Y の符合率は、西南地区で 84.6 %、西北地区で 93.1 %、東北、華北地区で 62.5 %で、単一項目指標の符合率は、西北地区 H_{24} 及び H_1 は $H_{1/6}$ より低く、当該地区では、10分間降雨型による誘発が主であることがわかる。

東北、華北地区では反対に、東北鳳上線の年降雨量が 1200 mm 以上のため、 H_{24} 及び H_1 雨量及び降雨タイプがともに大きく、土石流発生の誘発要因となっている。

以上の検証結果から、総合判定指標が比較的有効的で、単一降雨予報指標が同様にかなりの代表性があることがわかる。

資料が完全でない地区において使用できる。

表4. 検証結果

区 域	回	符合率%			
		総合指標 Y	単 一 項 目 雨 量 資 料		
			H_{24}	H_1	$H_{1/6}$
西 南	30	84.6	100	100	100
西 北	29	93.1	73	62	100
東北華北	16	62.5	100	100	56

お わ り に

本予報方法は、組み合わせ分析を通じて、土石流谷の気象系統と地表系統に対する相互作用を分析し、気象と地表の2つの系統の組み合わせパターンを完成した。本組み合わせパターンに基づいて、甘洛試験区 1988 ~ 1990 年の観測試験資料を分析し、一つの谷あいにおける土石流予知方法を確立した。

本方法は、一連の観測資料を土台に、土石流形成の諸要素の相互作用を考慮している。試験結果から、一つの谷あいの土石流予知方法は、比較的信頼性があり、その指標はかなりの代表性及び正確性がある。

また、気象部門提供の降雨状況資料をもとに、降雨総合指標を採用し、気象系統の予報要素とし、既に出されている土石流谷技術文書資料により、地表総合指標を求めて地表系統の予報要素とするなどは、実際の応用中で実現しやすく、かなりの実用価値がある。

当の組み合わせ分析方法は、土石流の予知研究面で、広範な発展性がある。

参考文献

1. 地図出版社：《世界地図帳》地図出版社 1982.
2. 李善邦：《中国の地震》地震出版社 1981
3. 沈寿長，譚炳炎：《鉄道土石流防止整備の回顧と展望》鉄道工事学報 1986年第3期
4. 譚炳炎：《土石流谷における重大程度の数量化総合判定》鉄道学報 1986年第2期
5. 譚炳炎，葉華祥：《鉄道土石流の予報，警告及び災害防止管理開発検討》鉄道工事学報 1986年第4期
6. 荆紹華：《土石流臨界雨量と触発雨量の初步的分析》鉄道工事学報 1986年第4期
7. 陳光熾外：《土石流の防止と整備》中国鉄道出版社 1983年
8. 陸忠漢外：《実用気象手帳》上海辞書出版社 1984年
9. 郁淑華：《四川盆地広範囲豪雨の合成分析》豪雨及び予報文集気象出版社 1989年
10. 芮良生外：《四川盆地豪雨過程分析》豪雨及び予報文集気象出版社 1989年
11. 孟河清：《1981年宝成鉄道土石流災害と降雨条件分析》鉄道工事学報 1986年第4期
12. 譚炳炎：《中国黄土地区土石流活動及び防止と整備》鉄道学報 1985年第4期
13. 譚炳炎，田洪徳：《鳳上線土石流の原因と降雨の関係》《鉄道建設》 1981年第7期
14. 譚炳炎：《鉄道土石流谷の判定方法と応用技術》 1991年国家重要科学技術成果広報 1991年
15. 蔡祥興：《宝一略鉄道沿線土石流成因分析》水土保持通報 1985年第1期

中国における砂防研究の最近
の成果

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8
土木研究所資料第3048号
平成4年3月 (1992)
砂 防 部

要 旨

中国では、毎年洪水期には山間部で豪雨による土石流が頻繁に発生し、鉄道の安全走行に重大な障害を及ぼしている。豪雨による土石流の予知に関する研究は、重要なソフト対策の一環と位置づけられており、中国鉄道部科学院西南研究所はその手法として、まず、成昆鉄道甘洛試験区での1989～1990年における観測資料に基づいて統計分析を行い、気象と地表の2つの系統をそれぞれたくさんの要素に分け、各要素について規模・量級の区分を行った。そして、これら要素の組合せによる土石流発生の判別式を確立したものである。この判別式を1960年以降、中国西南、西北、華北、東北等の地区の鉄道沿線で発生した土石流災害75回の資料に基づいて検証を行った結果、比較的満足が行く結果を得た。

キーワード：中国、土石流、予知、調査、統計

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所
地すべり研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料 第 3048 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印