

土木研究所資料

昭和63年7月広島県北西部地域 土石流災害調査報告書

平成元年2月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

「Copyright © (1989) 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 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。」

昭和63年7月広島県北西部地域 土石流災害調査報告書

砂防研究室	室	長	水	山	高	久
	主任研究員		石	川	芳	治
	研究員		栗	原	淳	一
			鈴	木	浩	之

要 旨

昭和63年7月20日から21日にかけて広島県北西部は豪雨に見舞われ、土石流などによる大災害が発生した。特に広島県山県郡加計町では大田川に注ぐ多くの溪流で土石流が発生し、大きな被害が発生した。災害の特徴としては、極めて狭い地域に豪雨が集中したために災害の発生範囲も集中していることと、土石流とともに多量の流木が流下、堆積したことおよび溪流の下流部で溪岸付近の立木群が流木や土砂を捕捉・堆積して下流への流出を防止、軽減している現象が一部で認められたことである。

本調査報告書は、今回の豪雨により発生した土石流災害の実態を明らかにするとともに、流木の発生、流下、堆積過程とそれらによる災害の実態、立木群による流木や土砂の捕捉、堆積効果および砂防設備の効果を把握するために行った現地調査の結果をとりまとめたものである。

キーワード：土石流、災害、砂防設備、流木、立木群

**A Report of an Investigation on the Debris Flow Disasters
in Northwest of Hiroshima Prefecture in July, 1988**

Sabo Division Head: Takahisa MIZUYAMA
Senior Researcher: Yoshiharu ISHIKAWA
Researcher: Junichi KURIHARA
Hiroyuki SUZUKI

Synopsis

Debris flows disasters occurred locally due to heavy rainfall in the northwest part of Hiroshima Prefecture on July 20 and 21, 1988. Many debris flow disasters occurred in the torrents which run into Ohta River in Kake-cho of Yamagata-gun in Hiroshima. The characteristic phenomena observed in the disasters this time are that there was a heavy storm in very narrow area and that the disasters also occurred there and that the damages were aggravated by the large quantities of floating logs ran down along with debris flows and that the group of trees along the torrent bank captured and deposited the logs and sediments running down to prevent and mitigate their runoff. This investigation aims at 1) clearing the situation of the debris flow disasters, and the occurrence, transportation and deposition process of floating logs; and 2) understanding the effect of sabo facilities and of tree groups on capturing and depositing floating logs. Basic field surveys were conducted and the results were studied.

KEY WORDS: Debris flow, disaster, sabo facilities, floating logs, tree group

まえがき

昭和63年7月20日から21日に広島県北西部は梅雨前線性の豪雨に見舞われ、多い所では連続雨量が250mm以上、時間雨量が50mm以上にも達した。この豪雨により広島県北西部を中心として多くの土石流が発生したが、特に広島県山県郡加計町では土石流が集中し、死者11名、負傷者10名、全壊家屋22戸、半壊家屋14戸を始めとして、道路や河川、鉄道などの公共施設に多大な被害が発生した。この災害の特徴としては、狭い範囲に土石流が集中して発生したことと、土石流とともに多量の流木が発生し流下、堆積したこと、および溪流の下流部では溪岸付近の立木群が流木や土砂を捕捉、堆積して下流への流出を防止・軽減している現象が一部で認められたことである。

土石流とともに発生する流木についてはこれまで昭和57年の長崎災害、昭和61年の京都府南部災害、昭和62年の山形県温海町における災害についても調査されてきており、今回新たなデータをつけ加えることが出来た。また立木群による土砂や流木の捕捉、停止、堆積の実態についても昭和62年の山形県温海町における災害に続いて調査を行った。またこの他にも、砂防設備の効果、土石流による家屋の被災度、土石流発生部の斜面安定、鉄道盛土部の土石流による被災度についても調査を行いその結果をまとめた。

調査にあたっては、中国地方建設局、温井ダム工事事務所、広島県砂防課、加計町の方々には大変お世話になった。ここに感謝の意を表します。

目 次

まえがき

1. 調 査 の 概 要	1
1.1 調査目的と範囲	1
1.2 調査方法と内容	1
2. 災 害 の 概 要	6
2.1 地形・地質・植生の概要	6
2.2 気 象 概 要	10
2.3 災 害 状 況	14
3. 調査結果と解析	18
3.1 土石流発生部の斜面安定検討	18
3.2 土砂および流木の収支	30
3.3 砂防治山設備の効果	40
3.4 流木と立木の関係	47
3.5 家屋の被災度	48
3.6 微地形と土石流氾濫域	53
3.7 鉄道盛土部の被災形態	57
3.8 鉄道盛土が氾濫・堆積に与えた影響	58
3.9 立木群の効果	62
3.10 溪床堆積物調査	66
4. ま と め	70
資 料 集	73

1. 調査の概要

1.1 調査目的と範囲

本調査は昭和63年7月20日から21日にかけて広島県北西部を中心に発生した豪雨による土石流災害のうち、特に土石流が集中して発生した広島県山県郡加計町および筒賀村の大田川沿いの20溪流(図-1.1)を対象として空中写真判読、現地調査、測量、土質試験等により、土石流の発生、流下、氾濫堆積過程を明らかにするとともに、流木の発生、流下、堆積の実態、砂防設備の効果、立木の効果、家屋の被災度等を明らかにするために実施した。

1.2 調査方法と内容

1.2.1 調査方法

(1) 空中写真判読

災害発生前の昭和62年撮影の空中写真、災害発生直後の昭和63年7月21日および8月1日に撮影した空中写真および $1/5,000$ の地形図を用いて調査対象区域内の崩壊地分布、土石流の発生、流下、堆積域の分布を調査するとともに調査対象区域内の20溪流についてはさらに詳細に土石流の発生、流下、堆積状況および立木の分布状況等を判読した。

(2) 現地調査

調査対象区域内の20溪流について、それぞれの溪流において生じた特徴的な現象に着目して表-1.1に示すような項目について調査を行った。

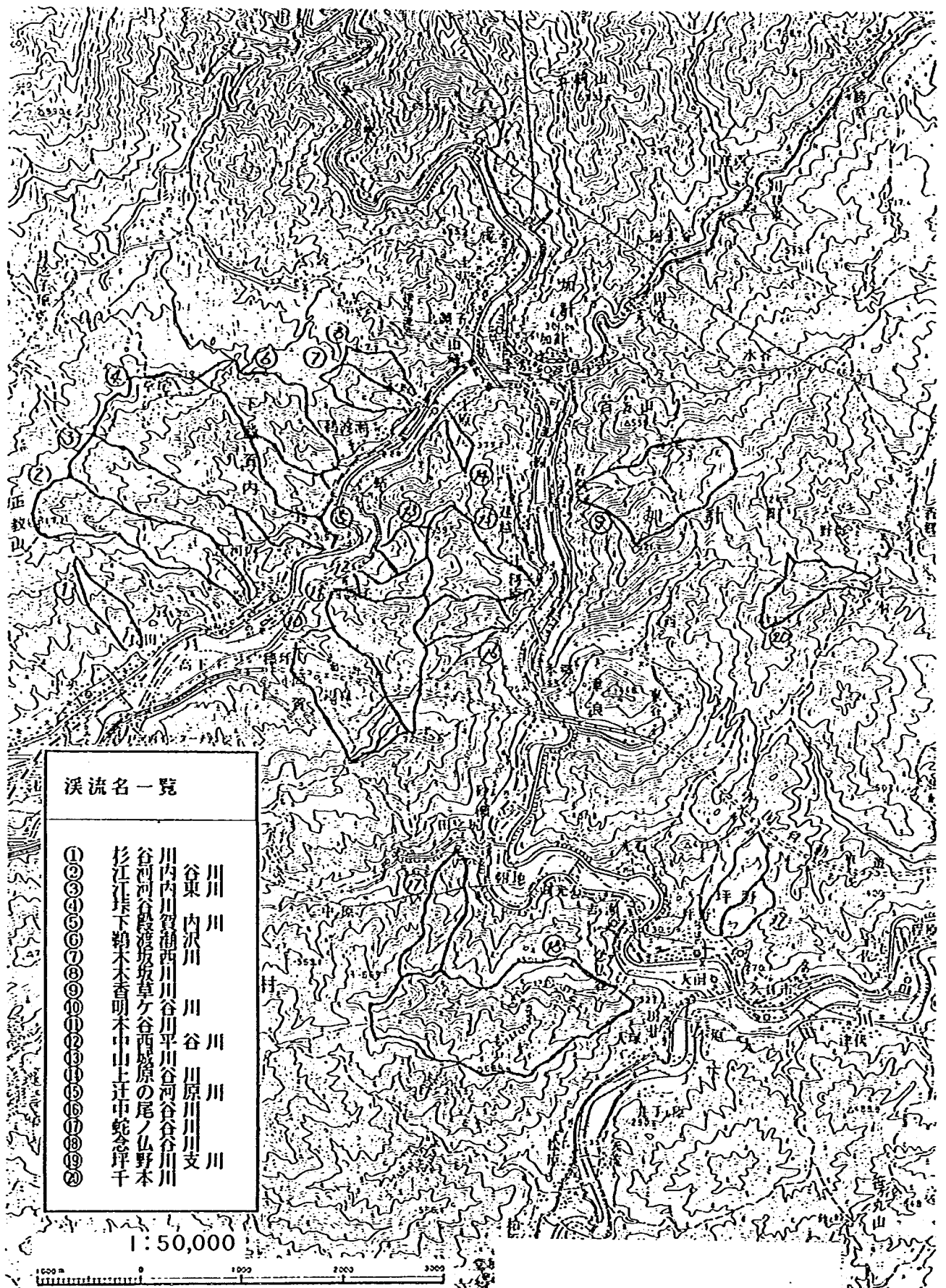


図 - 1.1 調査対象溪流位置図

表-1.1 調査項目と調査対象溪流

調査区分	調査項目	対象溪流番号*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(1) 空中写真判読																						
	判読図示(土石流, 崩壊地)	全区域	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
(2) 現地調査																						
	(1) 土石流発生源頭部土層観察土質判定	3		○					○									○				
	(2) 立木調査	8		○	○			○	○						○	○	○	○				
	(3) 土石流流下区域状況調査	20 (全)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	(4) " 内の砂防施設調査	12	○	○	○					○	○	○	○	○		○	○	○	○			
	(5) 土石流泥濘堆積区域の堆積土砂厚, 最大粒径	9		○				○	○					○	○	○		○	○			○
	(6) 微地形・構造物, 樹木調査	9		○				○	○					○	○	○		○	○			○
	(7) 家屋の損傷度調査	9		○				○	○					○	○	○		○	○			○
	(8) 鉄道盛土の被災状況調査	3		○				○	○													
	(9) " 上流域の土石流・流木調査	3		○				○	○													
	(10) 流木調査	8		○	○			○	○						○	○	○	○				
(3) 測量		12	○	○	○					○	○	○	○	○		○	○	○	○			
(4) 土質試験																						
	(1) 溪床堆積物の粒度分布試験	3		○					○									○				
	(2) 土層の物理特性試験	3		○					○									○				

* 図-1.1 参照

① 土石流発生源頭部土層観察，土層判定

土石流発生部の源頭部（崩壊地）における土層の観察と土質の判定を行なった。

② 立木調査

土石流源頭部付近の斜面の立木について，10m×10mの区域を設定し，樹種，立木密度，胸高直径，樹高の各項目のサンプリング調査を行なった。

③ 土石流流下区域状況調査

土石流流下区域の河道侵食，堆積物及び流下痕跡を調査した。

④ 土石流流下区域内の砂防治山施設調査

土石流流下区域内にある砂防ダム，治山ダムを対象に，これらの施設における土砂・流木の堆積状況と越流状況を調査した。また，施設が破損している場合には，その形態についても調査した。

⑤ 土石流氾濫区域の堆積土砂厚，最大粒径調査

土石流氾濫区域の堆積土砂厚および最大粒径の分布を調査した。

⑥ 微地形，構造物，樹木調査

土石流氾濫・堆積区域に影響を与えたと思われる微地形，構造物，樹木等を調査した。

⑦ 家屋の被災度調査

土石流氾濫・堆積区域内にある家屋の被災度を既往調査，聞込等により調査した。

⑧ 鉄道盛土の被災状況調査

土石流の衝突や越流による鉄道盛土の被災状況を調査した。

⑨ 鉄道盛土上流部の土石流，流木調査

鉄道盛土上流部の土石流，流木の氾濫・堆積状況について調査した。

⑩ 流木調査

氾濫・堆積している流木の樹種，長さ，直径，形態及び数について調査した。

なお，上記の調査・観察にあたっては，特徴的な現象について写真撮影及びスケッチを行なった。

(3) 測 量

調査対象区域内の12溪流について，土石流の氾濫・堆積区域，ダム堆砂区域を中心に，ハンドレベル，スタジア，巻尺などの測量機器を用いて縦断測量，横断測量を行なった。

(4) 土質試験

① 溪床堆積物の粒度分布試験

調査対象区域内の3溪流について各溪流の中流部と下流部の2地点において計6試料の粒度分布試験を実施した。粒度分布試験は，大粒径については現地において線格子法により計測を行ない，小粒径については各4kg以上の試料を採取し，室内において試験を行なった。

② 土層の物理特性試験

調査対象区域内の3溪流について土石流発生域の表土層のうちすべり面付近の土層から不攪乱試料を採取して、1試料につき3供試体以上の一面せん断試験（定体積試験）を実施するとともに、透水試験（定水位法JIS A1218）を実施した。

(5) 解 析

空中写真判読、現地調査、測量及び土質試験結果などを基に、以下の項目について調査対象溪流毎に解析を行なった。さらに、各溪流の特徴についても比較して総合的に解析を行なった。

① 斜面安定解析

土石流源頭部の斜面安定解析を、土質試験、現地調査結果を基に行なった。

② 土砂収支、流木収支図の作成

現地調査及び空中写真判読結果より、溪床の勾配を考慮して、土砂収支図、流木収支図を作成した。

③ 砂防施設の効果

砂防施設などによる土砂の堆積・調節量を算定し、砂防施設の効果を施設の位置、流出土砂（量）、溪床勾配などを考慮し考察した。

④ 立木、流木の関係

発生源にある立木と流下してきた流木の長さ、直径、形態の関係について考察した。

⑤ 家屋の被災度

土石流氾濫区域内の土砂堆積厚、勾配などと家屋などの被災度の関係を明らかにした。

⑥ 微地形などの影響調査

土石流氾濫・堆積区域に影響を与えたと思われる微地形や構造物の特徴を考察した。

⑦ 鉄道盛土の被災状態

土石流の衝突や越流による鉄道盛土の被災状態を分類し、被災過程を考察した。

⑧ 鉄道盛土の氾濫、堆積影響

鉄道の盛土上流側における土石流・流木の氾濫・堆積形態を分類し、それが盛土の上流及び下流に与えた影響を考察した。

⑨ 樹木の土石流氾濫、堆積に対する効果

樹木による土石流や土砂流の捕捉・分散効果に関して樹木の大きさ、密度、位置と土石流の流下形態との関係について考察した。

⑩ 土石流と地形、地質、植生、気象

今回の土石流発生と、地形、地質、植生、気象との関係を考察した。

2. 災害の概要

2.1 地形、地質、植生の概要

(1) 地 形

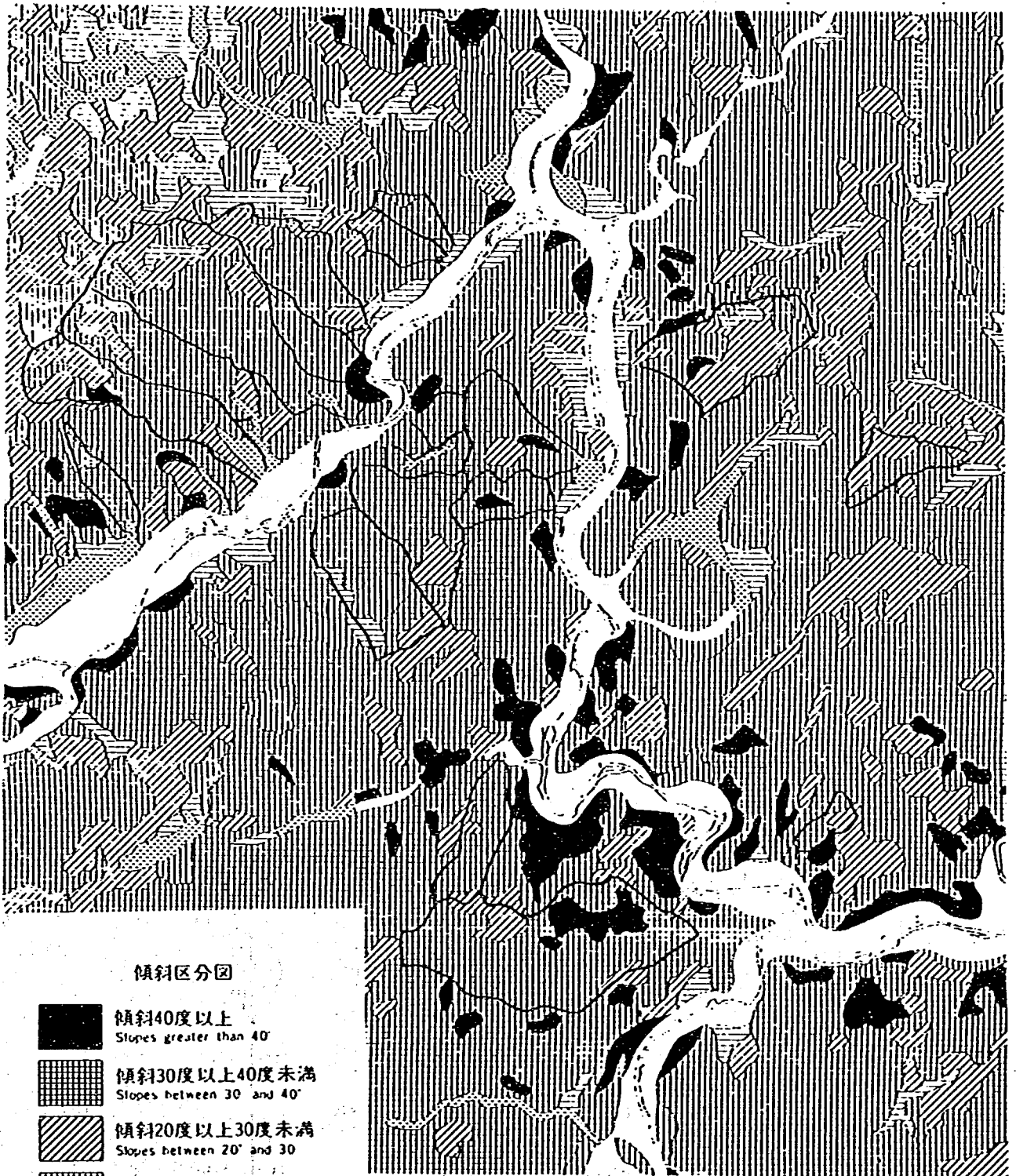
本調査の対象地域である加計町、戸河内町、筒賀村は、広島県の北西部、中国山地（冠山山地）の南側に位置する。中国山地の脊梁部は、江川の谷により大きく二分され、西側が冠山山地であり、北東－南西に連なる1000～1200mの高さを有する山地である。また、中国山地の南側は高さ300～600mの定高性の山地が連なる吉備高原で、典型的な隆起準平原として知られている。本調査地域では、流下する太田川や流入支川がこの隆起準平原を侵食し、急峻な地形を形成している。今回発生した崩壊、土石流は、これら隆起準平原との勾配遷急線地帯に発している場合が多く、源頭部崩壊地は崖錐性の堆積物が見られる。対象溪流は、高さ600～700mより源を発し、比高400～500mを流下し、太田川へ流入する。図－2.1に当該地域の傾斜分類図を示す。

(2) 地 質

対象地域における地質は大半が中生代白亜紀の広島花崗岩より成り、太田川下流域で中・古生層（粘板岩）が見られる。対象溪流20溪流のうち16溪流は全流域に広島花崗岩が分布し、3溪流（№9, 17, 20）では花崗岩と中・古生層が混在し、№19溪流（坪野川左支川）は全域が中・古生層で占められる。図－2.2に当該地域の地質図を示す。崩壊源頭部の土層観察を花崗岩地帯の3地点で行ったが、風化が著しく進んでおり、ハンマー等で打診すると粒状になり、広島県を中心に分布することが知られているいわゆる鬼マサであった。

(3) 植 生

対象地域における植生は、スギ・ヒノキ林を中心に、一部に広葉樹との混交林、広葉樹林が分布している。図－2.3に当該流域の植生分布図を示した。土石流の発生崩壊地は、スギ・ヒノキ林で発生している場合が多い。また、溪床、溪岸沿いの立木を土石流が倒し、崩壊地から流出する立木と共に下流へ流下し一部は河道内の立木に絡まって堰き上げ、土砂を捕捉したものもあるが、人家付近に氾濫して被害を増大した場合もある。



傾斜区分図

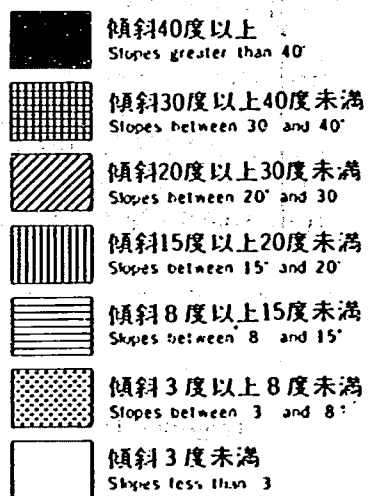
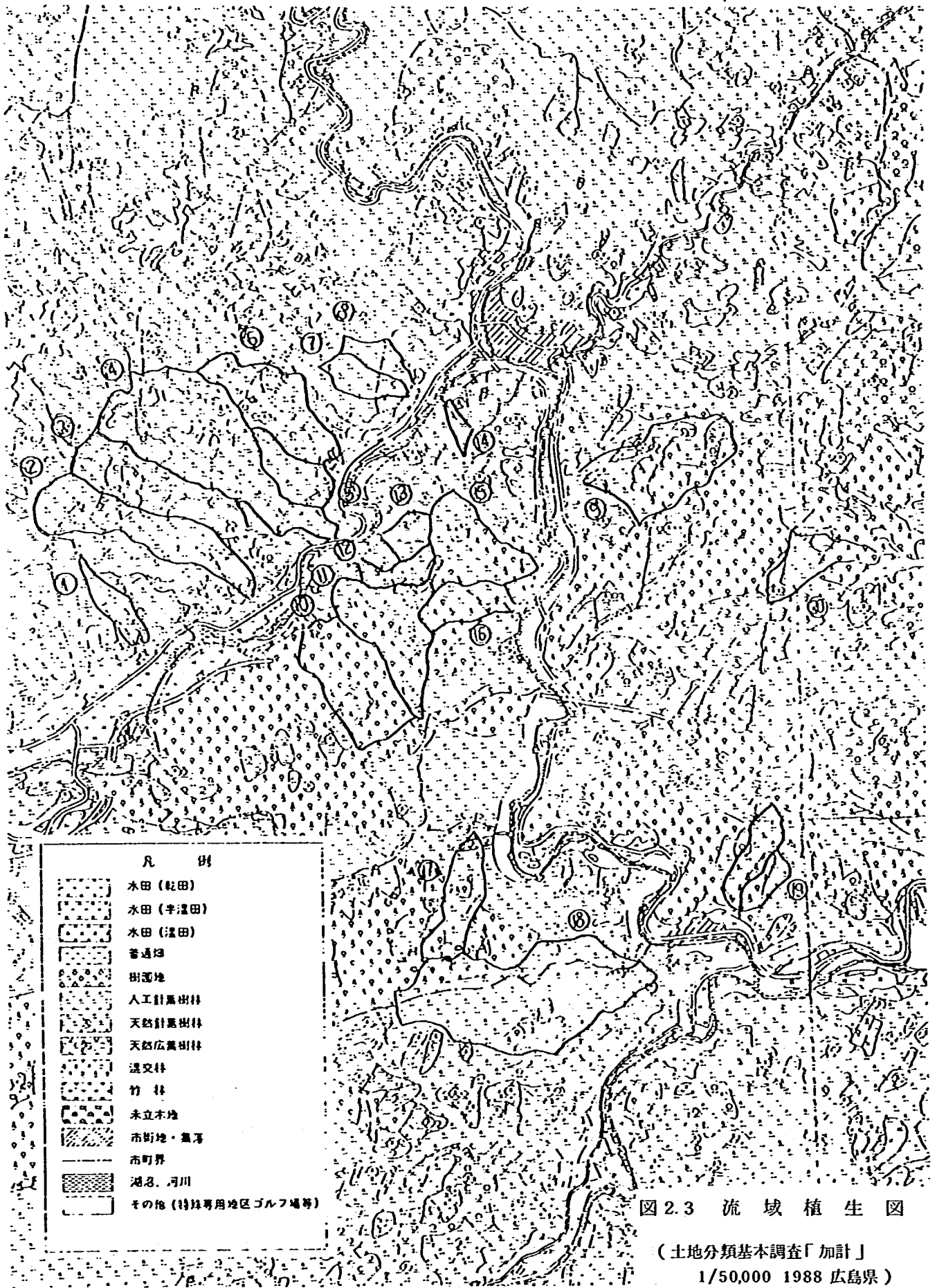


図 2.1 斜 斜 分 類 図
(土地分類基本調査「加計」1/50,000 1988 広島県)



2.2 気象概要

(1) 概 況

日本海上にあった梅雨前線がオホーツク海上の高気圧の勢力が強まったのに押されて南下していたが、20日夜になって南から太平洋高気圧の勢力が盛り返し、前線が両者に挟まれた形で島根県西部上空に停滞して、そこに西から湿舌が入り込み、活発化し三隅町から芸北地方に豪雨をもたらした。(図-2.4)

なお、この豪雨のほぼ1週間前に起こった浜田市を中心とした島根県西部の豪雨〔63年7月浜田豪雨(7/12~15)〕もほぼ同様の現象で起こっている(図-2.5)。

20日朝から午後1時にかけての降り始めから、雨がほぼ止んだ21日午前9時までの各地の雨量は、島根県那賀郡三隅町で344mmに達したのをはじめ、広島県山県郡加計町で270mm、島根県那賀郡弥栄村で225mmである。特に、三隅町では20日午後10時から1時間に、また松江地方気象台では21日午前3時から4時まで55mmを観測した。

広島県西部地域から島根県西部地域における7月20日12時から21日7時までの連続雨量の分布図を図-2.6に示す。また、豪雨が集中した7月20日22時から21日4時までの6時間雨量の分布を図-2.7に示す。さらに最大時間雨量の分布を図-2.8に示す。

今回の降雨の特徴は、島根県三隅町から加計町にかけての40~50kmの帯状の地域に雨域が集中していることである。

(2) 加計観測所(広島県所管)における降雨状況

今回の被害地区の降雨状況を代表するものとして、加計土木事務所の降雨記録を図-2.9に示す。降雨は7月20日14時より降り始め、22時より6時間にわたり21~57mm/hの大雨が連続した。この6時間での降雨量は236mm、最大1時間雨量は57mm/hであった。

気象台の情報は7月20日13:30に大雨洪水雷注意報が出され、同日23:00に大雨洪水警報に切替えられた。災害の最も著しかった加計町では、7月20日23:20に加計町水防本部を設置し、7月21日2:30、加計町道の口、巴町地区に非難命令、3:05災害対策本部を設置するとともに町

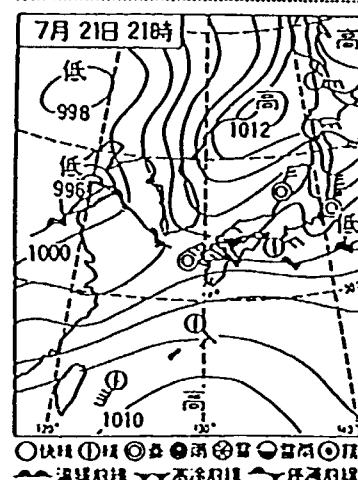


図-2.4 昭和33年7月21日の天気図

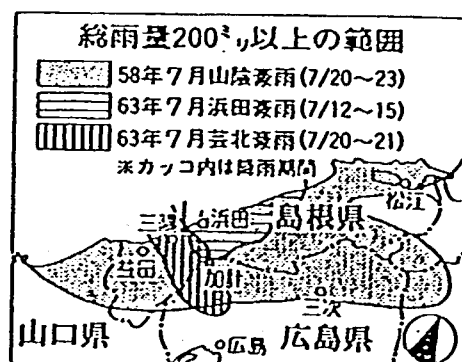


図-2.5 各豪雨の雨量分布比較
〔中国新聞(7/22)より〕

地域気象観測所配置図

大阪府気象台管内 その2

記号	種別
□	気象台
○	気象観測所
△	気象観測所
△	気象観測所
*	気象観測所

1 : 1,000,000

(鳥根(68))

(鳥取(69))

(岡山(66))

(広島(67))

(岡山(66))

図 2.6 連続雨量の等雨量線図

(S63. 7. 2012:00 ~ 7. 21. 7:00)

地域気象観測所配置図

大阪管区気象台管内 その2

記号	注 別
□	気象台
○	気象観測所
△	気象観測所
△	気象観測所
*	有線ロケット観測所

1 : 1,000,000

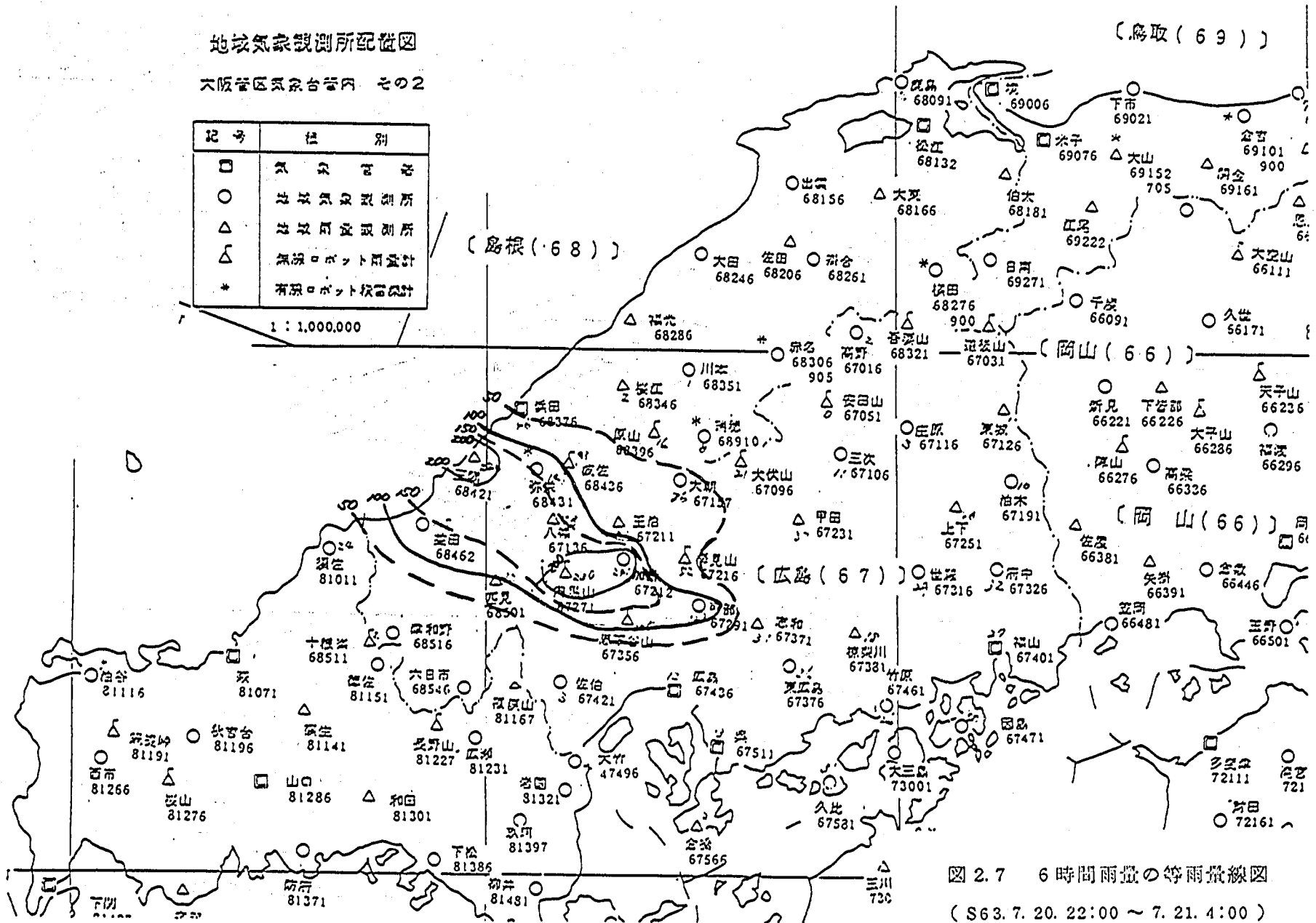


図 2.7 6 時間雨量の等雨量線図
(S63.7.20.22:00 ~ 7.21.4:00)

内全域に非難命令を出した。

当該地域における土石流の発生時刻は、現地の聞き込みによると7月21日2:30~4:00と推定される。

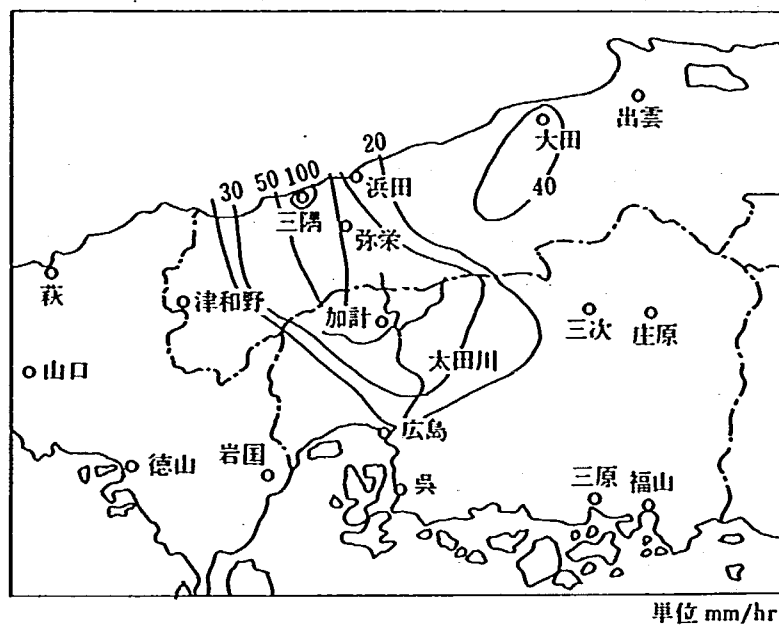


図-2.8 等雨量線図(最大時間雨量)

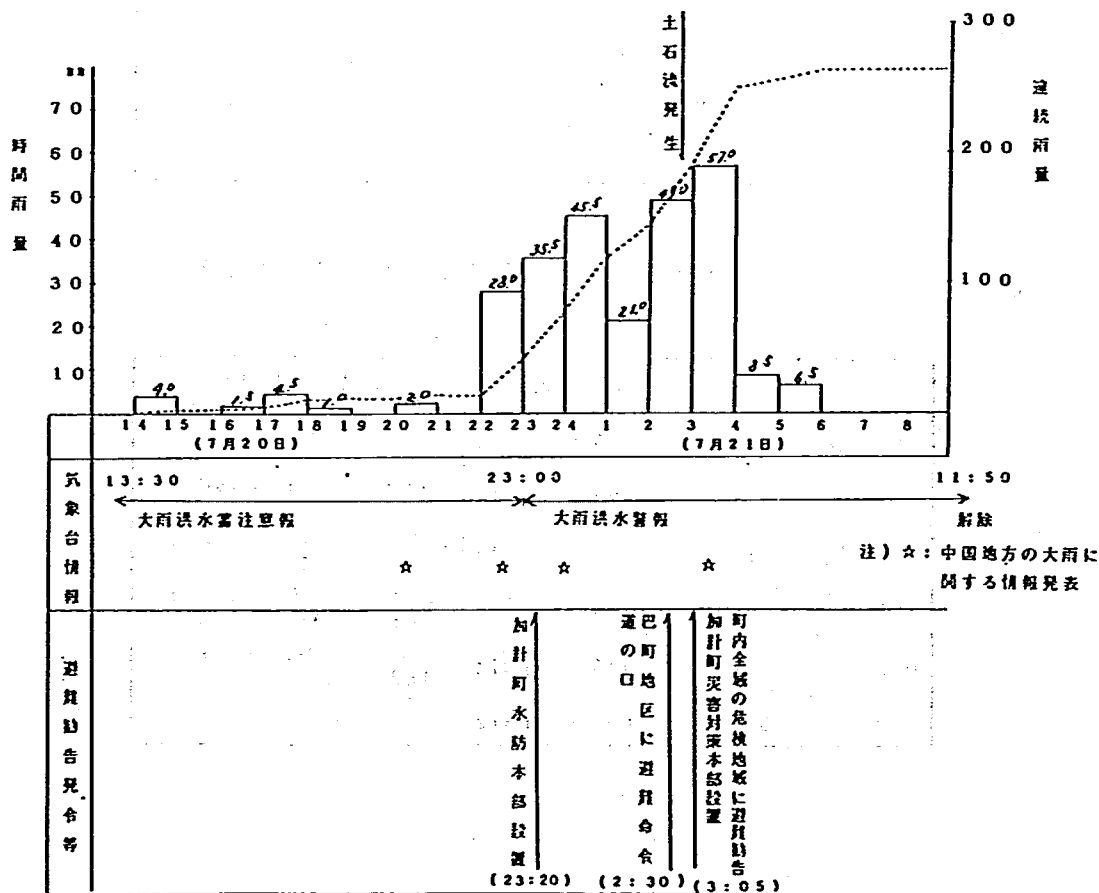


図-2.9 降雨の推移(広島県加計土木事務所)

2.3 災害状況

(1) 土石流・崩壊の発生状況

土石流・崩壊が集中して発生した加計町およびその周辺での土石流および崩壊の発生分布を図－2.10に示す。今回土石流が集中して発生したのは加計町中央部の太田川沿いの3～4km四方の狭い地域である。

(2) 被害状況

表－2.1に広島県全体の人的被害を示す。死亡者のうち加計町の11名は全て土石流によるもので、江内谷で10名、中尾谷で1名が亡くなった。戸河内町の3名は車で避難中に道路から車ごと増水した川に転落したことによるものである。また、表－2.2には広島県全体の住家の被害状況を示す。

表－2.3に各溪流別に本章各項目の調査結果を示す。

表－2.1 人の被害（昭和63年7月23日17時現在）

（広島県警察本部調）

区 分	人 数	摘 要
死 者	14	加計町 11 戸河内町 3
行方不明者	0	
負傷者	重 傷	2 加計町 1 筒賀村 3
	軽 傷	9 加計町 9
計	25	

表－2.2 住家の被害（昭和63年7月23日17時現在）

（広島県福祉指導課調）

区 分	棟	世 帯	人 員	主 な 被 災 地
全 壊	25	25	25	加計町 22 筒賀村 2 戸河内町 1
半 壊	7	20	42	加計町 14 筒賀村 4 戸河内町 2
一部破損	15	15	42	広島市 5 加計町 7 戸河内町 3
床上浸水	95	95	296	加計町 61 広島市 19 戸河内町 7
床下浸水	436	445	1,374	広島市 162 加計町 132 戸河内町 86
計	591	600	1,812	

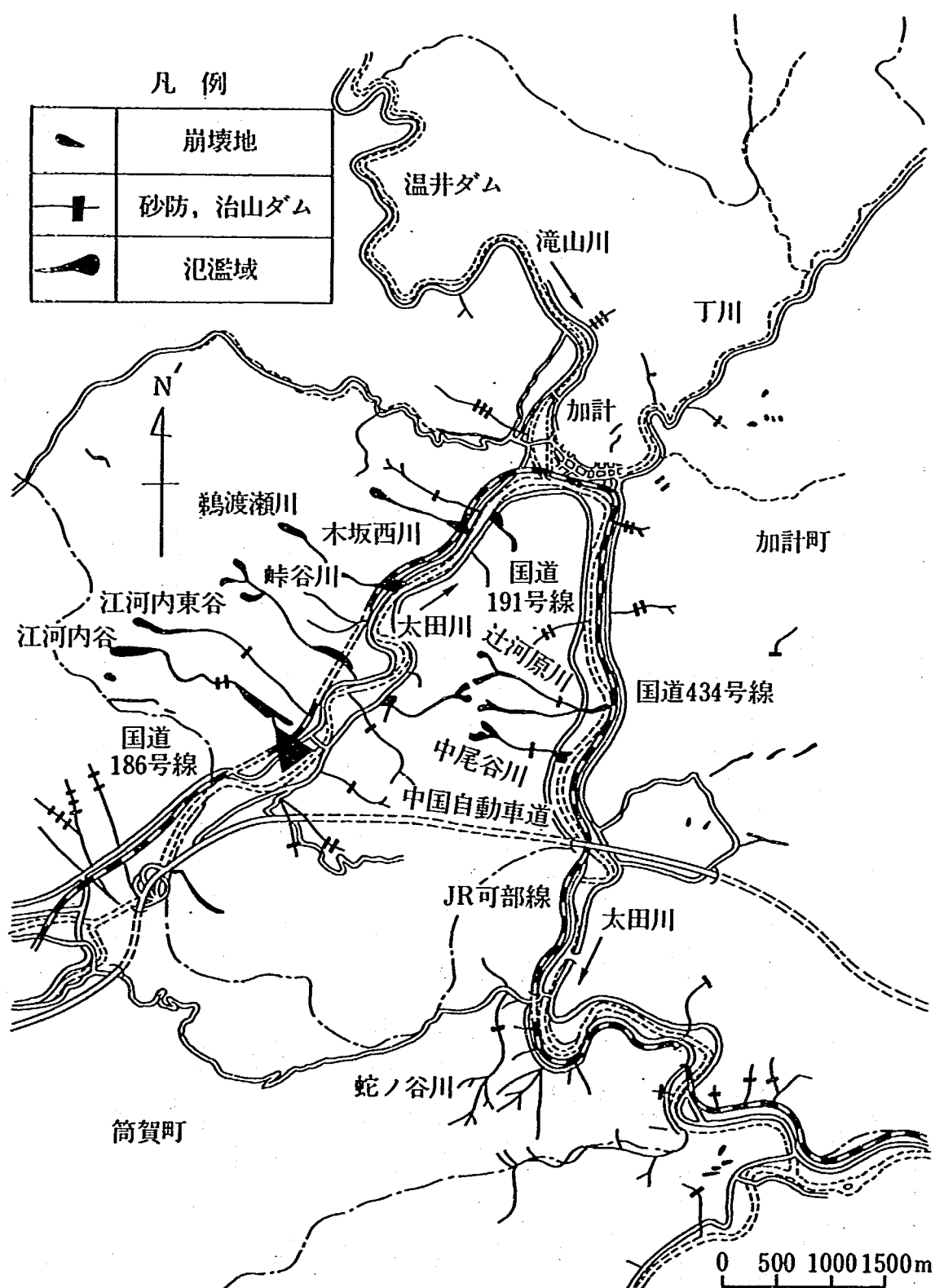


図 2.1 0 崩壊および土石流発生分布図

表-2.3 調査対象溪流の概要(1)

溪流No	溪流名	溪 流 諸 元			崩壊地の状況				土石流の状況		氾濫区域の状況				砂 防 施 設			地 質	植 生	
		流域面積 (km ²)	全流路長 (km)	斜面方位	箇所数 (箇所)	崩壊面積 (m ²)	崩壊面積率 (m ² /km ²)	平均崩壊面積 (m ²)	土石流 流下延長 (m)	流下面積 (m ²)	氾濫面積 (m ²)	被災人家(戸)			諸 元					下流への 土砂流出状況
												全壊	半壊	損壊	H (m)	L (m)	所管			
観 察 記 事				観 察 記 事				観 察 記 事												
1	杉 谷 川	0.216	2.15	S E	4	958	4,435	240	182	1,481	0	0	0	0	8.0	34.5	治	3基の堰堤のうち最上流ダムで土砂、流木が捕捉された	広島花崗岩	スギ、ヒノヤ林 上流域はH=15~20mの高木 下流域にH=5~10mの幼令林
					崩壊源頭部は標高350m~450mのスギとヒノヤ林の斜面より発生した。				最上流の崩壊土砂が土石流化し、上流ダムまで流下した。				上流の堰堤により土砂、流木が捕捉されたため氾濫はなかった							
					25	8,601	9,686	344	2,990	36,097	90,200	19	4	12	4.0	16.0	治			
2	江河内谷川	0.888	5.35	S E	25	8,601	9,686	344	2,990	36,097	90,200	19	4	12	4.0	16.0	治	土砂、流木の捕捉効果は見られるが大部分が流出した	"	スギ、ヒノヤ林 広葉樹林 (中流域)
					標高700~800m付近の隆起準平原との遷急線と比較的規模の大きな崩壊地が発生している				700~800mの遷急線付近より4ヶ所の土石流が発生した				今回の土石流災害の中で最も規模が大きかった							
					11	1,391	1,398	126	1,106	20,309	4,400	0	0	0	12.5	35.0	砂			
3	江河内東谷	0.995	8.83	S E	11	1,391	1,398	126	1,106	20,309	4,400	0	0	0	12.5	35.0	砂	ダムにより土砂は完全に捕捉された。流木は一部流出	"	スギ、ヒノヤ林 広葉樹林 (中、上流域の一部)
					標高450~650m付近でスギ、ヒノヤ林斜面より発生した				土石流の流下巾20~30mと比較的広い				谷出口付近の平坦地で流木の氾濫が見られた							
					28	5,186	2,905	185	3,159	24,889	16,000	1	0	1						
4	峠 谷 川	1.785	10.26	S E	28	5,186	2,905	185	3,159	24,889	16,000	1	0	1				下流部において樹木による土砂流木の捕捉現象が見られた	"	スギ、ヒノヤ林 一部に広葉樹林が散在
					標高600~650mの遷急線に崩壊が多発しているスギ、ヒノヤ林の斜面				5ヶ所より土石流が発生している											
					14	3,531	10,798	252	446	4,829	5,550	0	0	0						
5	下殿賀内川	0.327	2.55	S E	14	3,531	10,798	252	446	4,829	5,550	0	0	0				下流部緩傾斜部で土砂、流木の氾濫が始まり、鉄道ボックスを太田川に連する	"	スギ、ヒノヤ林
					標高350~400mの尾根部斜面より発生しているスギ、ヒノヤ林				右支川より土石流が発生している											
					11	1,023	1,579	93	1,321	12,880	21,400	1	1	0						
6	鶴 渡 瀬 沢	0.648	5.78	S E	11	1,023	1,579	93	1,321	12,880	21,400	1	1	0				鉄道ボックスを通過できず越流した	"	広葉樹林 一部にスギ、ヒノヤ林が散在する
					標高450~500mのスギ林及び広葉樹との混交林斜面より発生し、土石流化している				2支川より発生し本川を流化した											
					5	1,129	4,825	226	878	12,451	17,800	1	1	2						
7	木 坂 西 川	0.234	1.88	S E	5	1,129	4,825	226	878	12,451	17,800	1	1	2				流出土砂量が多く鉄道盛土(比高3m)を越流した	"	上流域 スギ、ヒノヤ林 下流域 広葉樹林
					標高500m付近の隆起準平原との遷急線より発生している				最上流崩壊地より土石流となり流下した											
					8	924	5,230	116	718	5,262	1,500	0	0	0	6.0	20.7	砂			
8	木 坂 川	0.175	1.20	S E	8	924	5,230	116	718	5,262	1,500	0	0	0	6.0	20.7	砂	土砂流出規模が小さく、ダムにより土砂、流木が殆んど捕捉された	"	上流域 スギ、ヒノヤ林 下流域 広葉樹林
					標高500m付近の隆起準平原との遷急線より発生している				標高450m付近より約700m流下した											
					3	277	296	92	666	7,452	0	0	0	0	6.0	30.0	治			
9	香 草 川	0.935	6.63	W	3	277	296	92	666	7,452	0	0	0	0	6.0	30.0	治	2基のダムにより土砂、流木は殆んど捕捉された	上流域 古生層 下流域 広島花崗岩	スギ、ヒノヤ林
					古生層と広島花崗岩との境界付近標高450m付近の斜面の崩壊が土石流化した				左岸斜面崩壊地より発生し下流堰堤に達した				ダムにより土砂、流木が捕捉され、流路土も整備されていたためほとんど被災せず							
					3	803	921	278	623	3,898	300	0	0	0	10.5	28.0	砂			
10	明 ヶ 谷 川	0.872	5.78	NW	3	803	921	278	623	3,898	300	0	0	0	10.5	28.0	砂	流出土砂量は少なく、上流ダムにより土砂、流木は捕捉された	広島花崗岩	スギ、ヒノヤと 広葉樹の混交林
					スギ幼令林斜面より崩壊が発生した				土石流は1ヶ所で発生し、ダム地点で停止した											
					7.0	25.1	砂													

表- 2.3 調査対象溪流の概要(2)

渓流No	渓流名	渓流諸元			崩壊地の状況				土石流の状況		氾濫区域の状況				砂防施設				地質	植生
		流域面積 (km ²)	全流路長 (km)	斜面方位	箇所数 (箇所)	崩壊面積 (m ²)	崩壊面積率 (m ² /km ²)	平均崩壊面積 (m ²)	上石流 流下延長 (m)	流下面積 (m ²)	氾濫面積 (m ²)	被災人家(戸)			諸元			下流への 土砂流出状況		
												全壊	半壊	損壊	H (m)	L (m)	所管			
5	1,962	2,669	392	768	6,510	0	0	0	0	12.7	41.2	砂	上流ダムにより 土砂、流下とも 捕捉された	広島花崗岩	スギ、ヒノキ林					
11	本谷川	0.735	6.00	NW	H=15m程度のスギ林斜面で標高350m尾根付近より大規模な崩壊が発生した	巾6~12mで流下し流出土砂の多くは溪床堆積物	下流域では溪岸侵食の他は殆んど被災しなかった	6.0	22.6	治										
6	3,124	16,021	521	1,118	11,182	12,000	9	2	1	7.0	23.0	治	左岸御袖部(外カーブ)が破損した。流出土砂の大部分が流下した	"	広葉樹林 上流に一部 スギ、ヒノキ林					
12	中西平谷川	0.195	2.05	NW	標高450mの尾根部付近より大規模な崩壊が発生した	下流域の急勾配渓流で溪床土砂の供給が著しい	流出土砂が多く、ダムでの捕捉は僅かであり、被害が大きい													
1	95	559	95	224	283	300	0	1	0					"	スギ、ヒノキ林					
13	山城川	0.170	0.88	NW	標高300m付近0次谷斜面に発生した小規模な崩壊である	河道の供給土砂は僅かである	流出土砂は少なかつたが谷出口に人家があり主屋が全壊した													
1	400	5,970	400	280	3,590	5,700	1	1	1	5.3	14.5	治	ダム容量が不足し多量の土砂が流下した	"	針、広混交林 上流域 スギ、ヒノキ林					
14	上原谷川	0.067	0.68	NE	標高350m尾根近くの斜面で発生した崩壊が土石流となって流下した	河床は殆んど露出し溪床堆積土砂の供給が著しい	谷出口付近の立木により被害が軽減されたと考えられる人家がある	4.6	15.0	治										
16	5,664	9,331	354	1,732	18,663	3,000	0	0	0	8.1	25.4	砂	ダムのあった右支川では土砂、流木とも捕捉された	"	スギ、ヒノキ林					
15	辻の河原川	0.607	4.53	E	標高450~500mの尾根にある林道下部より殆んど崩壊が発生している	流下長が大きく溪床からの土砂供給が著しい	右支川はダムにより土砂流木が捕捉されたが無施設の左支川からの土砂により被災した													
14	4,636	16,042	331	650	8,562	15,300	1	1	1	6.0	22.0	治	土砂、流木は捕捉したが、容量不足で多量の土砂が流下した	"	スギ、ヒノキ林 一部針広混交林					
16	中尾谷川	0.289	1.78	E	Na15溪流と同様に、標高450~500m付近の林道下部より崩壊が多発している	土石流流下長が大きく溪床からの多量の土砂が供給された	多量の流出土砂が太田川まで氾濫し1~4mの巨礫が広く分布する													
14	4,182	10,200	299	1,512	22,270	5,300	2	1	2	7.0	28.8		土砂、流木を捕捉したが、容量不足により殆んど土砂が流下した	上流域 広島花崗岩 中~下流域 古生層	スギ、ヒノキ林 一部に針広混交林					
17	蛇谷川	0.410	2.38	N	標高500~550mの斜面において崩壊が多発している	土石流は4ヶ所より発生し、本川での流下距離は900mである														
23	7,760	3,961	337	1,962	17,178	0	0	0	0					広島花崗岩	スギ、ヒノキ林 上流域の一部に 針広混交林					
18	念仏谷川	1.959	8.03	E	標高500~550m斜面において崩壊が多発している。崩壊斜面はスギ、ヒノキ林	比較的河床勾配が緩やかで河床の土石流堆積が見られる	保全人家付近では若干の溪岸侵食の他は殆んど被災しなかった													
5	1,595	4,418	319	150	1,110	8,000	0	0	0	8.0	30.3	砂	左支川からの土砂は、2基のダムにより捕捉された	古生層	スギ、ヒノキ林 一部針広混交林					
19	坪野川支川	0.361	2.60	SW	スギ、ヒノキ林の斜面が崩壊した	流下部は全区域にわたり河床が露出した	粒径の小さい礫、土砂が氾濫した	5.0	32.7	砂										
3	1,349	4,125	430	1,928	22,501	2,500	4	3	0					上流域 古生層 下流域 広島花崗岩	スギ、ヒノキ林 一部に広葉樹林					
20	千本川	0.327	2.13	E	スギ、ヒノキ林の斜面が崩壊した	中流域において土石流が停止、堆積している	保全人家は土石流流下域に位置し氾濫巾は狭い													

3. 調査結果と解析

3.1 土石流発生部の斜面安定検討

土石流発生源頭部において崩壊の発生原因を検討するため、土層の観察、力学・物理試験及び透水試験を行ない、崩壊斜面内部の力学特性等を明らかにした。また、それらの結果をもとに斜面の安定解析を行った。

(1) 土層観察及び土質判定

№2, №7, №16溪流の源頭部崩壊において、土層観察用のビットを設け、斜面内での層相の変化、植物の根の状況、土の緩み具合、すべり面の位置等の観察を行なった。観察結果を図-3.1～3.3に示す。

① №2斜面

傾斜約40°前後の斜面で発生している典型的な表層剝離型の崩壊である。すべり面は花崗岩の上部に層厚1m弱で堆積した崩積土層の内部から崩積土と花崗岩の境界面にわたって発生しており、滑落後の斜面内には花崗岩も露出している。崩積土は花崗岩を起源とするものと思われる(所々、有色鉱物が点在する)、粘土～シルト分をやや含んでいる。粒度分析によると細粒分が約30%を占める。絞り具合はやや緩くスコップ等での掘削は容易である。

崩積土下部に分布する花崗岩は崩壊斜面上部においては強風化により一部砂質土と化しているものの、全体として風化の進行は乏しく、中～弱風化の状態で露出している。この風化花崗岩はハンマー等で打診すれば粒状となり、広島県を中心に分布することが知られている、いわゆる鬼マサである。

崩壊地周辺の植生は杉の植林(高さ4～5m)及び広葉樹の低木よりなり、地表面より深度約40cmまで根系が発達している。

② №7斜面

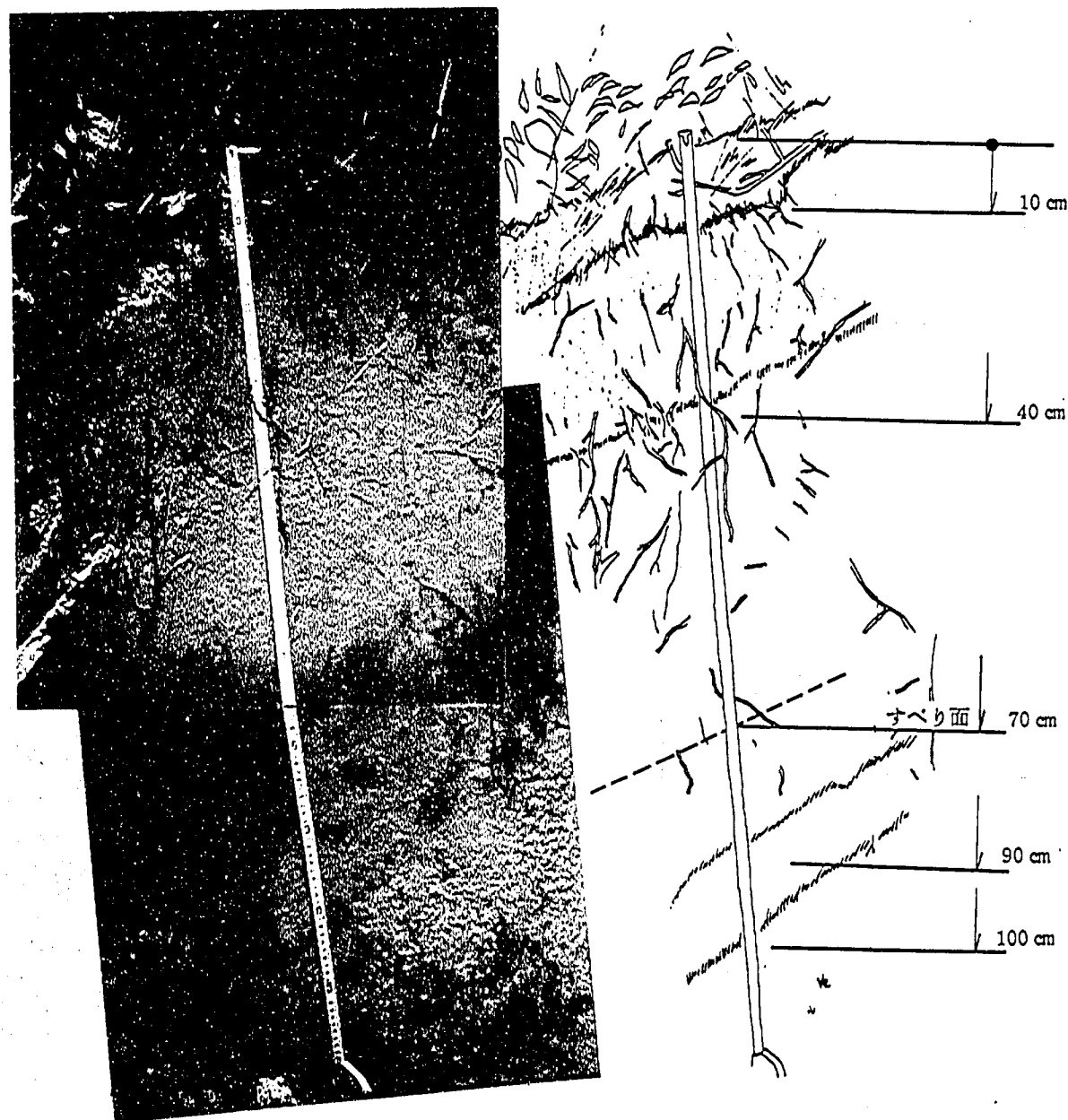
土石流源頭部、傾斜約45°～50°の急傾斜部で発生している表層剝離型の崩壊である。花崗岩上部約20cm程度の区間が強風化し砂質土化(マサ土)しており、ここですべり面が発生している。この部分は緩みが著しく花崗岩母岩構造の確認は困難である。この為、滑落後の斜面内には崩積土は殆ど残存しておらず、風化花崗岩が全域にわたって露出している。

№2斜面と同じく風化花崗岩は、打診すると粒状化する鬼マサタイプのもので崩壊斜面内にはガリー状侵食(深さ50cm程度)が発達している。また風化程度は低いものと推定される。

崩積土の層厚60～70cmとやや薄い。また、この付近では植物の根系の発達が著しくすべり面のほぼ上部まで根の先端が認められる。

③ №16斜面

№16斜面は林道の路肩付近で発生している崩壊である。崩壊周辺にはツタ、ツクサ等の雑草が生い茂っており樹木はみられない。これら、雑草の根系は地表から深度20～30cm付近まで



植生は杉及び広葉樹の低木

腐植土（黒褐色）

落葉等よりなる。

崩積土（黒褐～赤褐色）

上部40 cm附近までは腐植土との
漸移層と考えられ、根系がよく発
達する。含水高い。

40 cm以深で色調赤褐色となる。

シルト粘土分の含有量が多い。

締まり具合はやや緩く、スコップ
等での掘削は容易である。

礫の混入は少ない。

すべり面は深度70 cm附近である。

マサ土（黄褐色）

特に風化し砂質土と化す。

風化花崗岩（褐～乳褐色）

母岩構造を残し、ハンマーで打診する
すると粒状となる。

間隙比は $e = 0.7 \sim 0.8$ 程度と推
定される。

図 3.1 土層観察結果（No. 2 斜面）

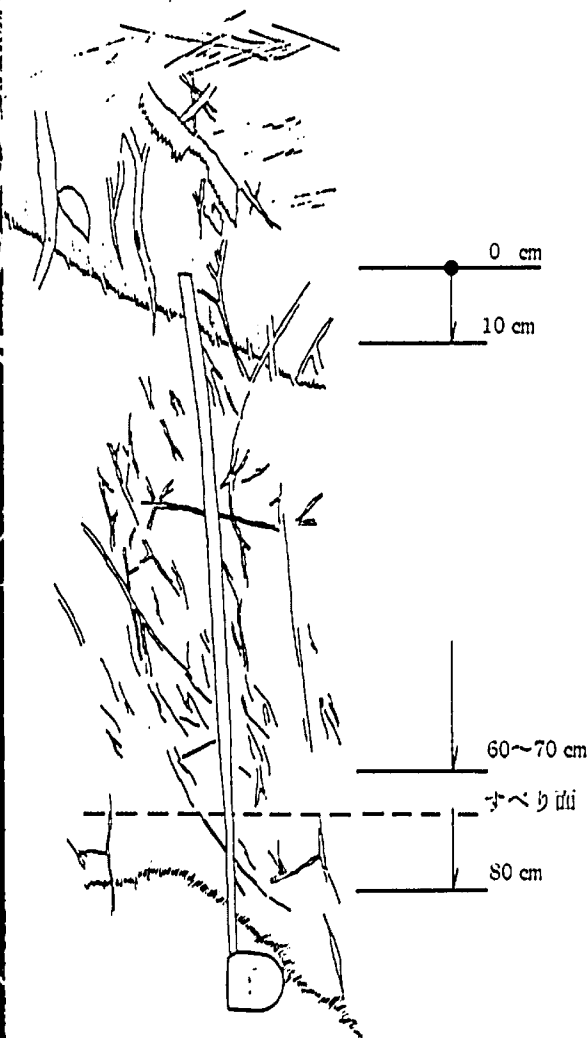


図 3.2 土層観察結果 (No. 7 斜面)

植生は杉及び広葉樹の低木

地表面はササ、シダ等の雑草が一面覆う。

腐植土 (黒褐色)

崩積土 (赤褐～灰褐色)

上部の 20～30 cm までは腐植土との漸移層
特に含水量が高い状態にあり、緩い。

根系の発達著しく、深度 70～80 cm 附近
まで根の先端が認められる。

炭の混入はない。

マサ土 (黄褐色)

母岩である花崗岩が強風化し、ほぼ砂質土と
化している。緩が著しい。

すべり面の位置と一致する。

母岩構造の判読は困難である。

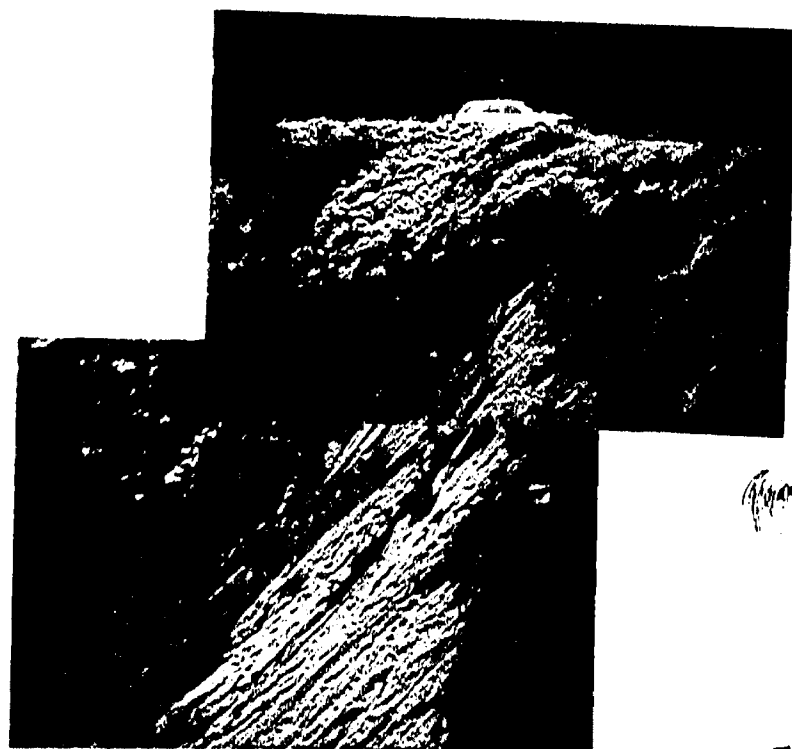
風化花崗岩 (乳灰色)

花崗岩が風化し、砂質～粒状を呈する。

母岩構造が認められる。

締っている。

間隙比は $e = 0.8$ 前後と推定される。



崩壊部周辺の植性はツタ、シュクサ等の
雑草類（樹木はない）

腐植土層の厚さは僅か3～5 cm程度で
極めて薄い。

滑落崖部での表土層（崩壊土）の厚さ
は50～60 cm程度。
高含水で非常に緩い状態にある。

植物の根系は地表部から深度20～30
cm附近まで密に分布し、以深ではほとん
ど認められない。

崩壊土内には処々、垂円礫が点在する。

崩壊前の植物が土砂をかぶって残存して
いる。これより点線上部の土砂が初めに
滑落したものと推定される。

風化花崗岩が露出する。この部分での表
土層厚は20～30 cm程度と推定され斜
面上部に比べて薄い。

斜面下部には高含水でドロ状の滑落土砂
が残存する。

図 3.3 土層観察結果（No.16 斜面）

密に分布しており、それ以下では殆ど認められず、このため当付近では、腐食土層の厚さが僅か3～5cm程度で極めて薄く、雨水が直接地中に浸透しやすいと想像される。

この斜面における表土層の厚さは滑落崖の部分で50～60cm程度、また斜面下部では上部にくらべ極端に薄く20～30cm程度と推定される。この表土層は花崗岩の崩積土であり、雲母片等の有色鉱物を少量含有している。また、所々亜円礫も点在する。この崩積土は高含水で非常に緩い状態にある。

この他

① 崩壊斜面内の上部2～3mには崩壊前の地表面が確認できる部分があり、これより上部がまず初めに滑落したものと考えられる。

② 斜面下部には高含水でドロ状の滑落土砂が堆積している。

が観察され、これらから推定すると当斜面の崩壊状況は湿潤して緩んだ斜面上部の不安定土砂の強度が低下したために流下し、下部の斜面の表面を侵食、土石流に発達したものである。

(2) 一面せん断試験

N_a2, N_a7, N_a16 溪流の源頭部崩壊斜面の力学特性を調べるため、崩壊地のすべり面と推定される付近の土層より“釘打ち込み法”¹⁾により不攪乱試料を採取し、試験室において不攪乱一面せん断試験を実施した。写真-3.1～3.2に不攪乱資料の採取状況を示す。一面せん断試験は圧密を行った後に定体積状態でせん断を行った。結果を表-3.1に示す。

N_a2斜面, N_a7斜面の強度定数は、粘着力が $C_{cu} = 0 \sim 0.16 \text{ kgf/cm}^2$, $C_{cd} = 0 \text{ kgf/cm}^2$ と極めて低く、一方、内部摩擦角 $\phi_{cu} = 35.5^\circ$, $\phi_{cd} = 37.4^\circ$ とやや大きい典型的な砂質土の値を示す。一方、N_a16斜面では、粘着力が $C_{cu} = 0.44 \text{ kgf/cm}^2$, $C_{cd} = 0.26 \text{ kgf/cm}^2$ と大きく、内部摩擦が $\phi_{cu} = 14.0^\circ$, $\phi_{cd} = 25.5^\circ$ と小さい粘性土特有の強度特性を示す。これは、細粒分の含有量差によって生じているものと思われる。

この結果によれば、N_a2, N_a7斜面の滑落土は、内部摩擦角のみにより斜面に堆積していたことになり斜面の傾斜が40°前後の急勾配であることと合わせると、不安定な状態にあったものと考えられる。



写真-3.1 釘 の 打 設

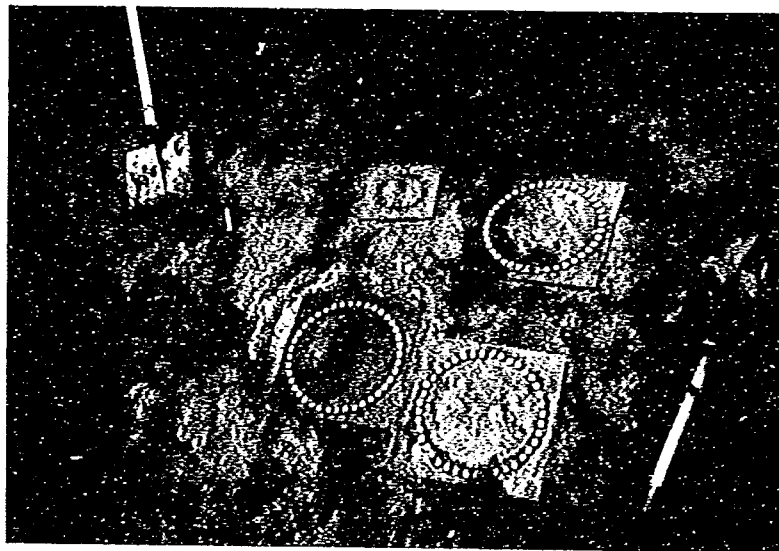


写真-3.2 採 取 状 況

(大) せん断試験用

(小) 透水試験用

表-3.1 強度定数一覧表(一面せん断試験)

		№2斜面	№7斜面	№16斜面
非排水強度	C_{cu}	0.16 kgf/cm^2	0 kgf/cm^2	0.44 kgf/cm^2
	ϕ_{cu}	35.5°	29.4°	14.0°
排水強度	C_{cd}	0 kgf/cm^2	0 kgf/cm^2	0.26 kgf/cm^2
	ϕ_{cd}	37.4°	38.7°	25.5°

(3) 透水試験

№ 2, № 7, № 16 溪流の源頭部崩壊斜面のすべり面と推定される付近の土層より不攪乱試料を採取し、室内において不攪乱状態で透水試験を実施した。その結果を表- 3.2 に示す。

表- 3.2 透水係数一覧表

	№ 2 斜面	№ 7 斜面	№ 16 斜面
透水係数 (cm/sec)	1.51×10^{-4}	3.81×10^{-3}	2.11×10^{-3}
間 隙 比	0.728	0.805	0.671

これによれば、各斜面の透水係数はいずれも $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec と、やや大きい値を示す。これは、先に述べた土粒子の骨格構造による空隙を土が多く含んでいるためと考えられ、雨水の斜面への浸透能、斜面内での浸透流の自由度は大きいものと推測できる。

(4) 斜面安定解析

せん断試験で得られた結果をもとに、斜面の安定解析を行ない、崩壊時における斜面の安定性の検討、強度定数の検討をおこなった。

(4.1) 解析方法

① 解析断面

崩壊斜面の測量結果によれば、今回の調査斜面はいずれも崩壊の長さに対して、崩壊の深さが極めて浅く且つ平坦な、典型的な表層剝離型の崩壊であることが分る。そこで、安定解析においては無限長斜面の解析と同じくブロック間の相互作用力を無視したスライス法により行なうものとした。図- 3.4 ~ 3.6 に各斜面の解析断面図を示す。

② 浸透水位

解析時における斜面内浸透流については降雨の継続に伴い、斜面内で浸透水位が上昇していくものと考え、

CASE 1: 水位がすべり面に達した場合 (すべり面は浸水により強度低下していると考え、その付近の土塊強度は飽和時のものを使う。)

CASE 2: CASE 1 より水位が上昇しすべり面と地表面のほぼ中央部まで達した場合

CASE 3: 水位がさらに上昇し地表面まで達した場合

の3ケースについて検討を行なった。なお、これらの場合浸透流水位は地表面とほぼ平行に上昇するとした。

③ 強度定数

崩壊時における斜面強度の検討を行なうため、定体積せん断試験で得られた2通りの強度定数 (非排水強度、排水強度) で解析をおこなった。

降雨時における斜面内には通常浸透流による間隙水圧が発生する。この間隙水圧は、三笠・

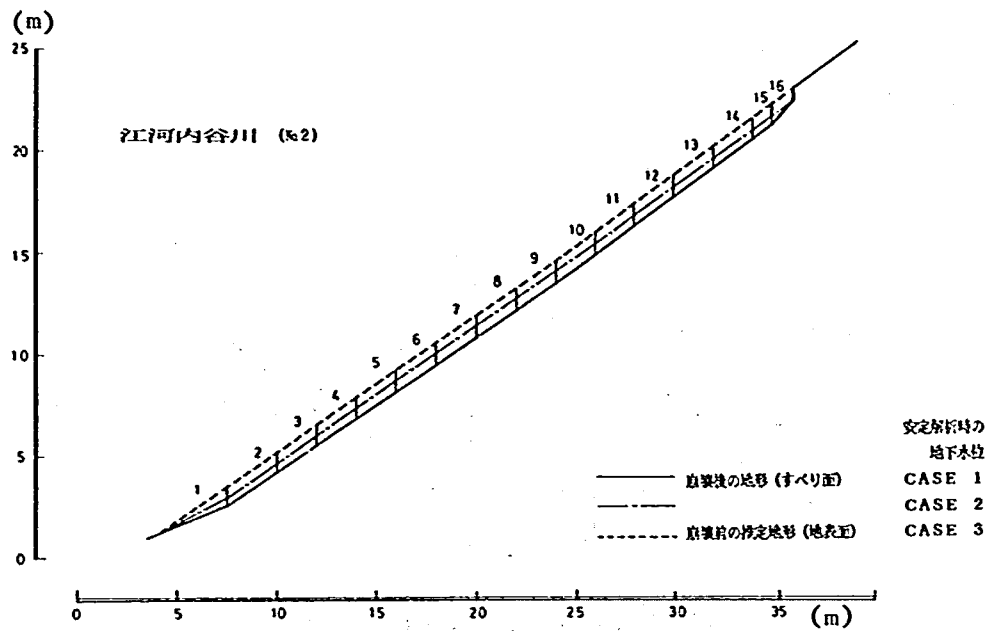


図-3.4 No.2の溪流における源頭部崩壊斜面

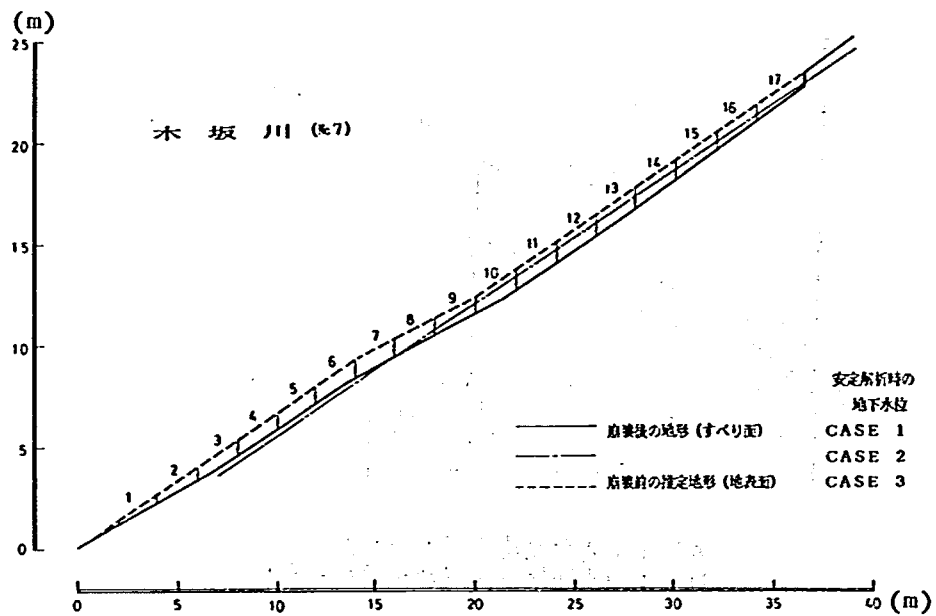


図-3.5 No.7の溪流における源頭部崩壊斜面

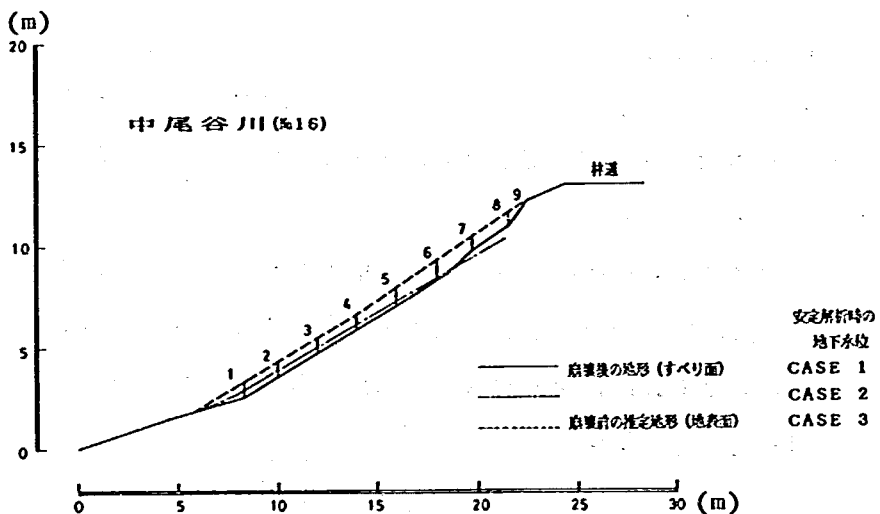
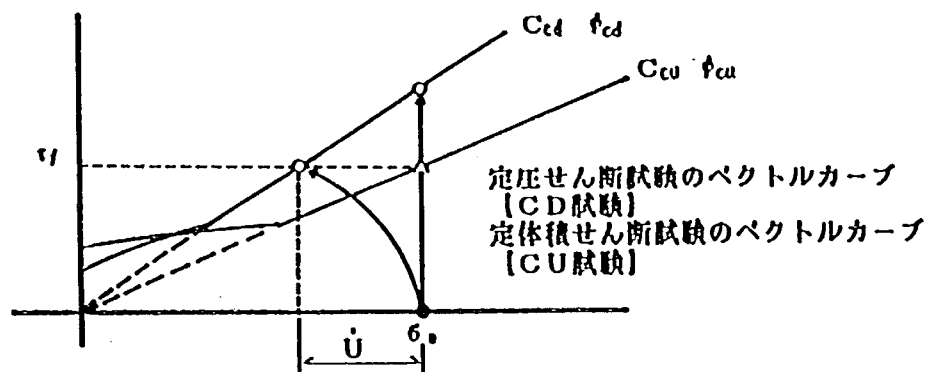
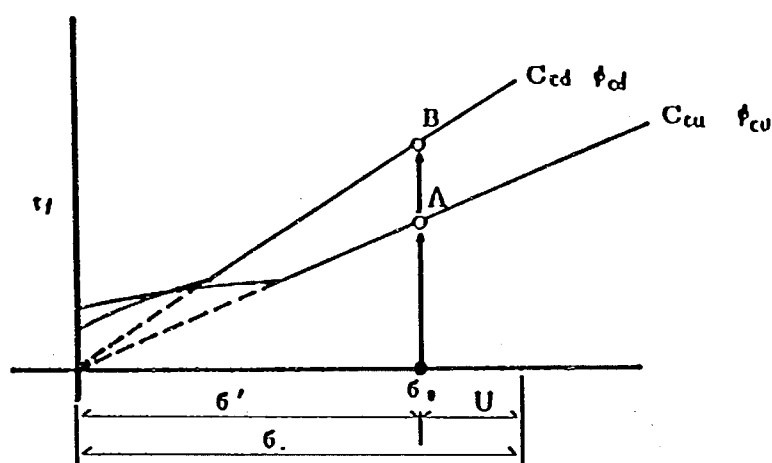


図-3.6 No.16の溪流における源頭部崩壊斜面

望月²⁾らによれば中立間隙水圧とよばれるもので、せん断中に発生する間隙水圧と分離して考えるものである。(図-3.7中のU)



σ_c : 圧密圧力
U : せん断中に発生する間隙水圧



σ' : 有効な全応力 ($= \sigma - U$)
U : 中立間隙水圧 (浸透流による)

図-3.7 非排水強度と排水強度

ここでA点B点(非排水, 排水強度)の二つの強度定数を用いて全応力法で解析を行ない(せん断抵抗力), 斜面すべり面で想定される応力状態(せん断力)との比較をおこなう。崩壊という事実結果(安全率 $F_s (= \text{せん断抵抗力} / \text{せん断力}) \leq 1$)から逆にA, Bどちらの強度が現実をよりよく説明できるかを調べる。

その結果, 非排水強度が妥当であれば崩壊時に土の破壊(せん断)により, 内部に間隙水圧が発生したと推定でき, 崩壊は内部の間隙水圧が消散することなく急速に進行したと考えられる。またB点での破壊が妥当であれば, せん断は排水状態で行なわれたと推定できる。

解析時の計算式と使用した記号を示す。

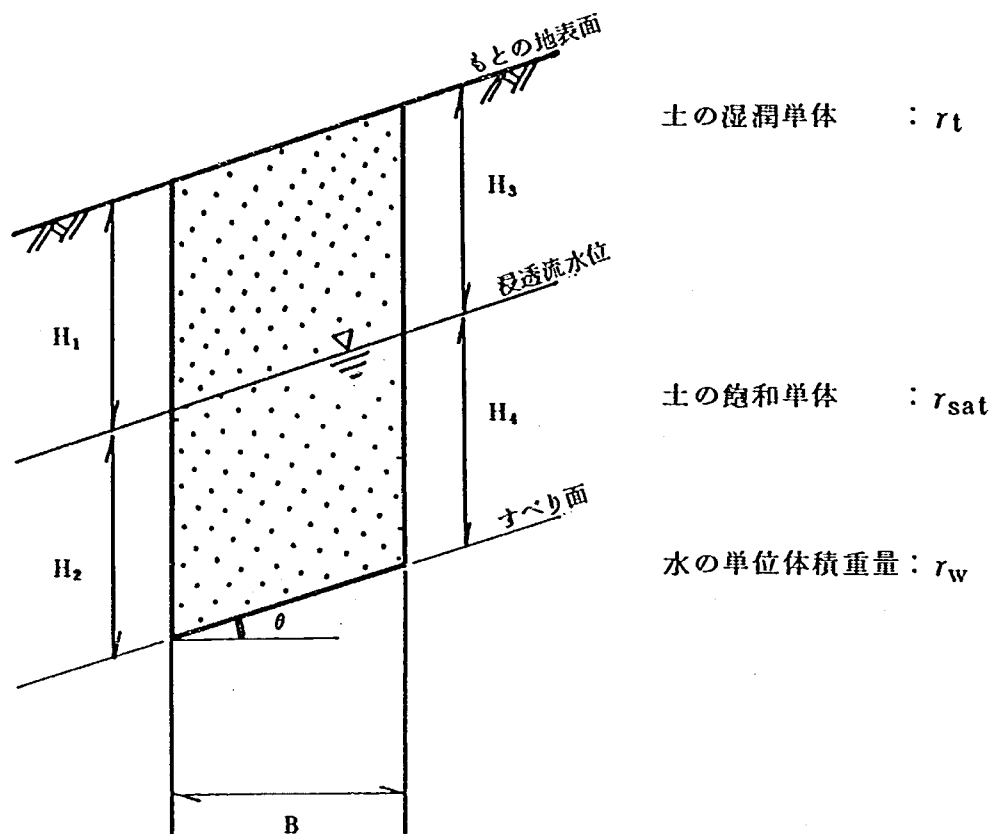


図- 3.8 斜面安定解析図

ブロックの体積 (湿潤部)	$V_1 = (H_1 + H_3) \times B \times 1/2$
(飽和部)	$V_2 = (H_2 + H_4) \times B \times 1/2$
ブロックの重量	$W = V_1 \times r_t + V_2 \times r_{sat}$
せん断力 (すべり力)	$T = W \sin \theta$
垂直抗力	$N = W \cos \theta$
浸透流により発生する間隙水圧の	
すべり面に垂直な成分	$u = (r_w \times B \times (H_1 + H_2) \times 1/2) \times \cos \theta$
せん断抵抗力	$F = C + (N - u) \times \tan \phi$

C, ϕ : 土の強度定数

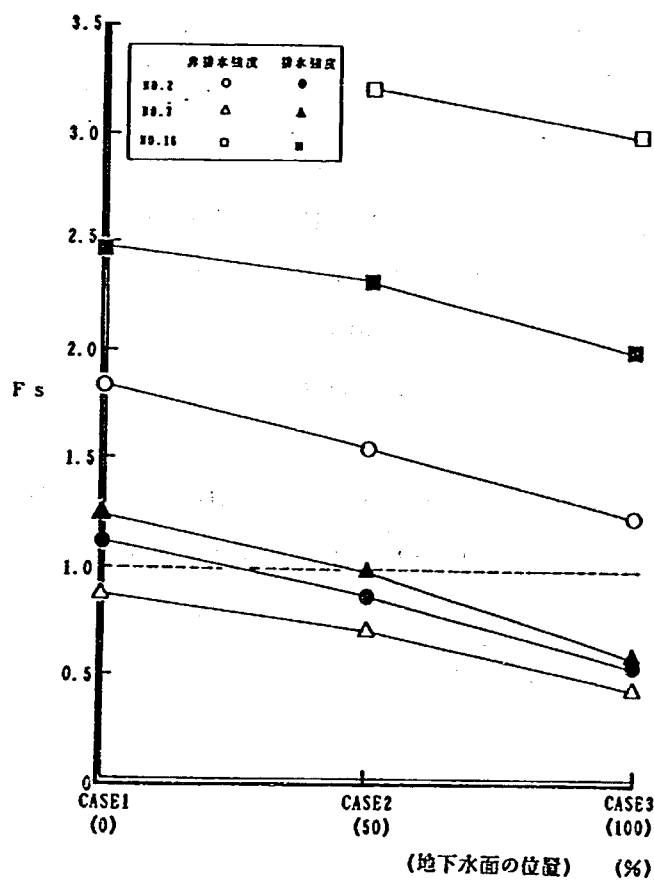
$$\text{安全率 } F_s = \frac{\sum_{n=1}^n F}{\sum_{n=1}^n T}$$

(4.2) 安定解析結果

斜面の安定解析により得られた安全率を表－ 3.3 および図－ 3.9 に示す。

表－ 3.3 斜面の安全率一覧表

斜 面	CASE	非排水強度	排水強度
No 2	CASE 1	1.844	1.120
	CASE 2	1.564	0.874
	CASE 3	1.236	0.544
No 7	CASE 1	0.878	1.248
	CASE 2	0.700	0.998
	CASE 3	0.418	0.595
No 16	CASE 1	3.374	2.473
	CASE 2	3.265	2.374
	CASE 3	3.016	2.020



図－ 3.9 斜面の安全率の変化

(4.3) 考 察

解析結果をみれば3斜面とも浸透水位の上昇に伴い安全率が一樣に減少していく傾向にある。

(1) 斜面No 2

解析結果において幾分、非排水強度を用いた結果が大きい安全率をとるのは $C_{cu} = 0.16 \text{ kgf/cm}^2$ の微小な粘着力成分が結果に大きく影響している為と考えられる。一般的な正規圧密土においては、非排水強度は排水強度よりも間隙水圧の発生分だけ下回るのが普通であるが、当斜面の土質においてはこれらは認められず非排水、排水の両者に大きな差はなく、ほぼ同一で特徴的な破壊包絡線が得られる。この原因としては

- ① セン断試料内には粗粒の粒子が多く含まれており、セン断が開始され一度粒子が移動した後、粗粒子の噛み合わせが行なわれ再び強度が発揮された。(粗粒子の噛み合わせによる疑似的な過圧密状態にあった。)
- ② 試料内の透水性が極めて良く(透水係数が大きく)セン断中に間隙水圧がほとんど発生しない試料であった。(しかし、これは透水試験の結果とくいちがうものである。)

などの考え方がある。

解析結果より崩壊時の斜面強度を推定すれば、排水強度を用いた解析の場合に、CASE 1 から CASE 2 へと至る過程で安全率 F_s が1を下回り、崩壊斜面強度として妥当と考えられる。

(2) 斜面No 7

$C_{cu} = 0 \text{ kgf/cm}^2$, $\phi_{cu} = 29.4^\circ$, $C_{cd} = 0 \text{ kgf/cm}^2$, $\phi_{cd} = 28.7^\circ$ と非排水、排水強度とも粘着力成分が0を示す。また両強度の関係においても排水強度が非排水強度を上回る最も典型的な砂質土の傾向を示す。

解析結果は非排水強度で行なった場合、CASE 1 の状態で $F_s = 0.878$ と安全率 F_s が1を下回り、地下水面がすべり面の一部に達した段階で崩壊に至るという結果が得られる。一方、排水強度で解析を行なった場合はCASE 2 の状態で安全率 $F_s = 0.998$ となり、降雨が継続して、斜面内の浸透流がある程度上昇した時点で崩壊に至るという現実を説明する上では最も妥当と考えられる結果が得られる。

(3) 斜面No 16

非排水強度、排水強度いずれの強度を用いた解析、どの解析CASEの場合でも安全率 $F_s = 2$ 以上を有し、解析により実際の崩壊を説明する上で最も現実的でないのがこの斜面である。これは、ひとえに強度定数のうち粘着力成分が、 $C_{cu} = 0.44 \text{ kgf/cm}^2$, $C_{cd} = 0.26 \text{ kgf/cm}^2$ と他の斜面に比べ特に大きな値を持つためであり、斜面の土壌が細粒分を多く含有することに原因している。またセン断試験で得られたセン断中のベクトルカーブをみても $\sigma = 0.8 \text{ kgf/cm}^2$ を境に $\sigma \leq 0.8 \text{ kgf/cm}^2$ では過圧密挙動を、 $\sigma \geq 0.8 \text{ kgf/cm}^2$ では正規圧密挙動を明確に示していることから、当斜面の土壌が粘性土の性質を持つことは明らかである。

安定解析結果では崩壊現象を説明することができないことから斜面崩壊の形態がセン断破壊

によるものではない可能性が考えられる。これは斜面観察時においても、高含水でドロ状の滑落土砂が堆積していた事などから、湿潤して緩んだ斜面上部の不安定土砂が斜面上部からの表流水により侵食されてできた崩壊地とも考えられる。

3.2 土砂および流木の収支

土石流の流下区域および堆積区域の土砂の流出・堆積量を現地調査、空中写真より求めた。また、流木の流出および堆積した本数を現地調査及び空中写真判読をもとに求めた。

なお、表-3.4および3.5に溪流別の土砂収支および流木収支を示した。さらに、江河内谷、江河内東谷、木坂西川、中尾谷川の平面図、縦断図、土砂収支図、流木収支図を巻末の資料集に示した。

(I) 土砂収支

調査対象溪流について、空中写真を用いて土石流の発生・流下区域を判読し、その結果をもとに現地で河道の侵食および堆積区域の代表断面を適宜抽出し、現在の溪床および現在の溪床から推定した土石流発生前の溪床を復元して、河道の侵食量および堆積量を推定した。また、崩壊地の規模を現地で計測し、崩壊土量を推定した。土石流の氾濫・堆積区域を現地で設定し土砂堆積厚を推定して、氾濫・堆積区域に堆積した土砂量を推定した。溪流内に砂防治山施設（ダム）が施工されている対象溪流では、施設による堆砂量を見込んで土砂収支計算を行った。各溪流の土砂流出ならびに砂防治山施設の状況を以下に説明する。また、砂防治山施設の位置図を図-3.10に、諸元を表-3.6に示す。

① 杉谷川

土石流の流下距離は260mで、上流側の治山ダム（№1）までの流下区間はすべて侵食区間である。この地点までの流出土砂量は $1,180\text{m}^3$ で、上流側の治山ダムで全量が堆積し、下流への土砂の流出はなかった。№1～№3のダムで、流木の一部を捕捉し、残りは下流へ流出したと考えられる。

② 江河内谷川

土石流の流下距離の最大は1,960mで、上流側の治山ダム（№4）までの流下区間はすべて侵食区間である。治山ダムまでの流出土砂量は $43,570\text{m}^3$ で、このダムで $1,090\text{m}^3$ 、下流の砂防ダム（№5）で $5,100\text{m}^3$ が堆積したが、残りの $37,380\text{m}^3$ が下流へ流出し、上流側の氾濫開始点（集落の上流）での流出土砂量は $40,280\text{m}^3$ であった。流出した土砂は、上流側の氾濫・堆積区間で $10,010\text{m}^3$ 、下流側のJR可部線の鉄道盛土上流で $14,250\text{m}^3$ 堆積し、氾濫区域は太田川合流点まで到達した。土石流流下部の平均勾配は 13° で、流下部に緩勾配の区間がなかったため、土石流は溪床堆積物の侵食を繰り返して流下したものと考えられる。死亡者10人、被災家屋数は35戸で、今回の災害で最大の被害を受けた。

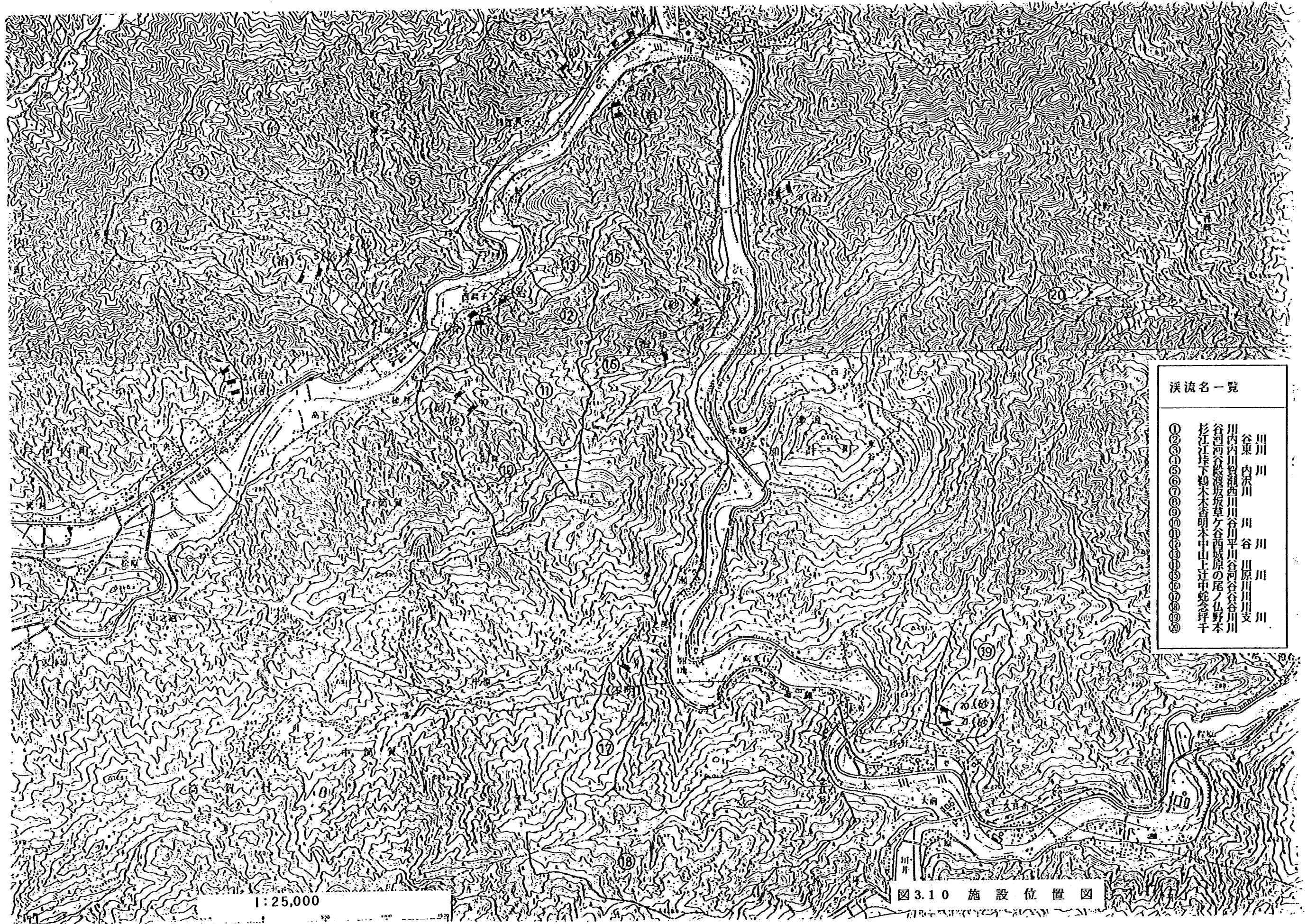
表- 3.4 流出土砂量

No	河 流 名	流域面積 0.0	地 質	調査土量 ① (m)	既採取土量 ② (m)	既採取土量 ③ (m)	地盤貯砂量 ④ (m)	調査地点の 流出土砂量 ①+②-③ (m)	単位面積当たりの 流出土砂量 (m/ha)	流出土砂量 ①+②-③ (m)	土砂 流出
1	杉谷川	0.144	広島花崗岩	830	300	0	1,130	1,180	8,200	0	
2	江西内谷川	0.706	広島花崗岩	3,510	46,000	3,040	6,130	46,470	65,800	43,280	有
3	江西内東谷	0.731	広島花崗岩	440	12,040	430	12,000	12,000	16,500	0	
4	埴谷川	1.600	広島花崗岩	6,080	6,150	5,900	-	6,330	4,000	6,330	有
5	下段内川	0.327	広島花崗岩	540	1,530	200	-	1,870	5,700	1,870	有
6	銭洗越沢	0.643	広島花崗岩	600	5,810	1,900	-	4,430	6,900	4,430	有
7	木坂西川	0.234	広島花崗岩	540	6,730	1,280	-	6,040	25,800	6,040	有
8	木坂川	0.164	広島花崗岩	300	1,970	50	940	1,410	8,600	470	有
9	番草川	0.929	古生層・広島花崗岩	0	1,750	0	1,750	1,750	1,900	0	-
10	男ヶ谷川	0.634	広島花崗岩	420	910	1,080	250	250	400	0	-
11	本谷川	0.715	広島花崗岩	4,430	3,200	0	7,680	7,680	10,700	0	-
12	中西平谷川	0.136	広島花崗岩	400	4,500	0	500	4,900	25,300	4,340	有
13	山城川	0.170	広島花崗岩	100	280	0	-	380	2,200	380	有
14	上野谷川	0.054	広島花崗岩	600	1,980	0	580	2,580	47,800	2,000	有
15	辻の河原川 (左)	0.365	広島花崗岩	1,400	2,370	0	3,770	3,770	10,300	0	-
	(右)	0.230	広島花崗岩	2,570	2,300	2,520	-	2,380	10,300	2,380	有
15	中尾谷川	0.289	広島花崗岩	3,720	9,210	170	2,560	12,780	44,100	10,200	有
17	松ノ谷川	0.364	古生層・広島花崗岩	4,080	5,010	630	2,350	8,430	23,100	6,050	有
18	念仏谷川	1.969	広島花崗岩	3,440	5,080	8,520	-	0	0	0	-
19	埴野川支流 (左)	0.039	古生層	970	230	500	-	700	7,000	700	有
	(右)	0.243	古生層	0	640	0	640	640	2,600	0	-
20	千本川	0.327	古生層・広島花崗岩	1,200	8,230	270	-	9,160	28,000	9,160	有

* 土砂流出の有無は砂防治山地がある場合は、最下流のダム地点での土砂流出とし、砂防治山地のない場合は、保全対象の上流での土砂の流出の有無とする。

表- 3.5 流 木 本 数

No	河 流 名	流域面積 0.0	生 産 本 数				増 積 本 数				谷出口からの 推定流出本数 ①+②-③-④ (本)
			調査地 ① (本)	河 道 ② (本)	合 計 ①+② (本)	単位面積当たりの 生産本数 (本/ha)	河 道 ③ (本)	ダム増け地 ④ (本)	和歌区域 ⑤ (本)		
1	杉谷川	0.144	179	79	258	1,732	11	197	0	50	
2	江西内谷川	0.706	643	1,566	2,209	3,129	242	46	50	1,921	
3	江西内東谷	0.731	163	3,808	3,971	5,432	40	430	317	3,451	
4	埴谷川	1.600	1,151	353	1,504	940	278	-	0	1,226	
5	下段内川	0.327	220	99	319	975	151	-	15	198	
6	銭洗越沢	0.643	131	1,583	1,714	2,645	85	-	279	1,629	
7	木坂西川	0.234	118	354	472	2,017	77	-	76	355	
8	木坂川	0.164	85	0	85	518	0	35	0	50	
9	番草川	0.929	0	56	56	60	21	9	0	26	
10	男ヶ谷川	0.634	62	130	192	303	133	0	0	59	
11	本谷川	0.715	355	319	674	943	57	570	0	47	
12	中西平谷川	0.136	79	696	775	3,974	456	5	0	314	
13	山城川	0.170	65	0	65	382	10	-	0	55	
14	上野谷川	0.054	64	260	324	6,000	38	50	345	236	
15	辻の高野川 (左)	0.365	309	0	309	847	37	55	41	217	
	(右)	0.230	456	0	456	1,963	227	-	0	229	
16	中尾谷川	0.289	338	543	886	3,056	30	45	243	811	
17	松ノ谷川	0.364	609	332	1,001	2,750	178	32	10	791	
18	念仏谷川	1.969	1,226	156	1,382	705	459	-	0	923	
19	埴野川支流 (左)	0.039	0	0	0	0	0	-	0	0	
	(右)	0.243	311	0	311	1,249	70	0	0	241	
20	千本川	0.327	145	212	357	1,092	183	-	115	174	



溪流名一覧	
①	川
②	谷
③	内
④	川
⑤	川
⑥	川
⑦	川
⑧	川
⑨	川
⑩	川
⑪	川
⑫	川
⑬	川
⑭	川
⑮	川
⑯	川
⑰	川
⑱	川
⑲	川
⑳	川

図3.10 施設位置図

表-3.6 ダムの諸元

No	渓流名	ダムNo	所管	堤長 (m)	堤高 (m)	元河床勾配 (°)	堆砂勾配 (°)	余裕高 (m)	堆砂長 (m)	推定貯砂量 (m³)	破損 状況
1	杉谷川	1	治山	8.0	34.5	12	2.5	1.7	40.7	1,190	—
		2	治山	2.5	9.7	10	3.0	1.0	20.0	—	—
		3	治山	6.0	12.2	6	—*	2.5	—	—	—
2	江河内谷川	4	治山	4.0	16.0	9	4.3	清砂	49.3	1,090	有
		5	砂防	7.5	46.5	5	1.5	清砂	120.0	5,100	—
3	江河内東谷	6	砂防	12.5	35.0	6	1.4	0.5	164.5	12,080	—
8	木坂川	7	砂防	6.0	20.7	10	1.5	清砂	40.0	940	—
9	香草川	8	治山	6.0	30.0	16	7.0	清砂	37.6	1,970	—
		9	治山	6.0	30.0	16	2.5	清砂	24.7	—	—
10	明ヶ谷川	10	砂防	10.5	28.0	12	8.4	6.0	63.2	2,210	—
		11	砂防	7.0	25.1	8	—*	3.0	—	—	—
11	本谷川	12	砂防	12.7	41.2	8	—*	h>3.0*	102.0	(7,680)*	—
		13	治山	6.0	22.6	8	4.0	1.7	29.3	—	—
12	中西平谷川	14	治山	7.0	23.0	24	1.5	清砂	17.0	590	有
14	上原谷川	15	治山	5.3	14.5	19	6.0	清砂	21.5	330	—
		16	治山	4.6	15.0	18	3.5	清砂	17.2	250	有
15	辻の河原川	17	砂防	8.1	25.4	11	1.5	清砂*	55.7	3,770	—
16	中尾谷川	18	治山	6.0	22.0	13	5.9	清砂	49.0	2,560	有
17	蛇ノ谷川	19	不明	7.0	28.8	12	4.6	清砂	55.4	2,350	—
19	坪野川支川	20	砂防	8.0	30.3	16	3.0	清砂	34.3	1,190	—
		21	砂防	5.0	32.7	14	7.5	2.8	30.1	340	—

- * ダムNo12 (本谷川) の貯砂量はダムに水が溜まっていて測定できなかった。
- * 堤高は有効高である。
- * 上流側のダムで土砂をすべて捕捉した渓流の下流側のダムの測定はしなかった。
- * ダムNo17 (辻の河原川) は流木により1mダムアップして土砂が堆積した。
- * 余裕高は天端から堆砂面までの高さである。

№4のダムは右岸袖部が土石流により破損した。また、№5のダムの堆砂地上流端が№4のダム地点にあたる。№5のダムの堤体本体は完成しており、袖部および天端を建設中であった。№4、№5のダムで流出した流木の一部を捕捉し、残りは下流へ流出したと考えられる。

③ 江河内東谷

土石流の流下距離は1,055mで、砂防ダム(№6)までの流下区間はすべて侵食区間である。この地点までの流出土砂量は12,060 m^3 で、このダムですべてを捕捉し、下流への土砂の流出はなかった。また流木もこのダムが大部分を捕捉したが一部は下流へ流出した。

④ 埴谷川

土石流の流下距離の最大は1,715mで、土石流源頭部から870m下流(太田川合流点から1,570mの地点、断面4-1~4-4)までは侵食区間だが、それより下流は緩勾配になっており(断面4-10~4-12)、流出土砂の堆積が見られる。氾濫開始点の流出土砂量は6,320 m^3 で土砂は下流のスギの植林地(樹齢10~15年生、太田川合流点から100mの地点)まで到達した。

⑤ 下殿賀内川

土石流の流下距離は565mで、土石流源頭部から465m下流(太田川合流点から270mの地点、断面5-1~5-3)までは侵食区間であり、それより下流は流出土砂の堆積が見られる(断面5-4)。氾濫開始点の流出土砂量は1,870 m^3 で土砂は下流のJR可部線の上流(太田川合流点から115mの地点)まで到達した。

⑥ 鵜渡瀬沢

土石流の流下距離の最大は1,305mで、流下区間は中流部(太田川合流点から660m~810mの区間、断面6-9)および氾濫開始点の上流部(太田川合流点から260m~390mの区間、断面6-12)で流出土砂の堆積が見られるが、以外はすべて侵食区間である。氾濫開始点の流出土砂量は4,490 m^3 でJR可部線の上流までに3,020 m^3 堆積し、氾濫区域は太田川合流点まで到達した。

⑦ 木坂西川

土石流の流下距離は785mで、流下区間はすべて侵食区間である。№7のダムで940 m^3 を捕捉したが、残りが流出し氾濫開始点での流出土砂量は6,040 m^3 でJR可部線の上流までに2,960 m^3 が堆積、氾濫区域は太田川合流点まで到達した。被災家屋はなかった。№7のダムで流木の一部を捕捉したが、残りは下流へ流出した。

⑧ 木坂川

土石流の流下距離は605mで、砂防ダム(№7)までの流下区間はすべて侵食区間である。この地点までの流出土砂量は1,410 m^3 でこのダムで940 m^3 を捕捉したが、残りの470 m^3 が下流へ流出した。氾濫した土砂は国道の下流まで到達した。

⑨ 香草川

土石流の流下距離は560mで、流下区間はすべて侵食区間である。上流側の治山ダム(№8)

までの流出土砂量は $1,750\text{ m}^3$ でこのダムですべてを捕捉し、下流への土砂の流出はなかった。

流木は、№ 8、№ 9 のダムで一部を捕捉し、残りは下流へ流出したと考えられる。

⑩ 明ヶ谷川

土石流の流下距離の最大は 610 m で、流下区間は中流部（太田川合流点から $1,065\text{ m} \sim 1,080\text{ m}$ の区間）および上流の砂防ダム（№ 10）の上流部（太田川合流点から $700\text{ m} \sim 790\text{ m}$ の区間）で流出土砂の堆積が見られるが、以外はすべて侵食区間である。上流側の砂防ダムまでの流出土砂量は 250 m^3 でこのダムですべてを捕捉し、下流への土砂の流出はなかった。流木は流下区間で堆積しており、№ 10 のダムの堆砂地から下流で流木の堆積は見られなかった。

⑪ 本谷川

土石流の流下距離の最大は 690 m で、流下区間はすべて侵食区間である。上流側の砂防ダム（№ 12）までの流出土砂量は $7,680\text{ m}^3$ でこのダムですべてを捕捉し、下流への土砂ならびに流木の流出はなかった。

⑫ 中西平谷川

土石流の流下距離の最大は 895 m で、流下区間はすべて侵食区間である。治山ダム（№ 14）までの流出土砂量は $4,930\text{ m}^3$ で、このダムで 590 m^3 を捕捉したが、残りの $4,340\text{ m}^3$ が下流へ流出した。氾濫した土砂は県道までに $3,400\text{ m}^3$ 堆積し、氾濫区域は太田川合流点付近（太田川合流点から 25 m の地点）まで到達した。№ 14 のダム堆砂地上流端は露岩し、滝状になっていた。№ 14 のダムの左岸袖部の一部が土石流により破損していた。№ 14 のダムで流木の一部を捕捉したが、残りは下流へ流出したと考えられる。

⑬ 山城川

左岸側の山腹斜面の崩壊が土石流化した。土石流の流下距離は 280 m で、流下区間はすべて侵食区間である。氾濫開始点の流出土砂量は 380 m^3 で、氾濫した土砂は太田川合流点まで到達した。

⑭ 上原谷川

土石流の流下距離は 195 m で、流下区間はすべて侵食区間である。上流側の治山ダム（№ 15）までの流出土砂量は $2,580\text{ m}^3$ で、このダムで 330 m^3 、下流側の治山ダム（№ 16）で 250 m^3 を捕捉したが、残りの $2,000\text{ m}^3$ が下流へ流出氾濫し、土砂は太田川合流点まで達した。被災家屋は 3 戸で、№ 16 のダムの水通し天端の一部が破損した。

⑮ 辻の河原川

（左支川）

土石流の流下距離は 830 m で、流下区間はすべて侵食区間である。砂防ダム（№ 17）までの流出土砂量は $3,770\text{ m}^3$ でこのダムですべてを捕捉し、下流への土砂の流出はなかった。

（右支川）

土石流の流下距離は 940 m で、氾濫開始点の上流（太田川合流点から $330\text{ m} \sim 495\text{ m}$ の区間）

で流出土砂の堆積が見られたが、それより上流はすべて侵食区間である。氾濫開始点の流出土砂量は 2,380 m³ で、氾濫した土砂は県道まで到達した。

⑯ 中尾谷川

土石流の流下距離の最大は 820 m で、流下区間はすべて侵食区間である。治山ダム (№18) までの流出土砂量は 10,610 m³ で、このダムで 2,560 m³ を捕捉したが、残りは下流へ流出した。氾濫開始点の流出土砂量は 10,200 m³ で、氾濫した土砂は県道までに 3,870 m³ 堆積し、氾濫区域は太田川合流点まで到達した。被災家屋は 3 戸だった。堆砂面は兩岸の袖天端の高さに沿っており、袖天端の上にも土砂が堆積している。土石流がダムの袖部を越流し、兩岸袖天端の一部および下流側壁が破損したと思われる。

⑰ 蛇ノ谷川

土石流の流下距離の最大は 1,010 m で、流下区間のうち、上流部 (太田川右支川合流点から 1,135 m ~ 1,205 m の区間、断面 17-4) で流出土砂の堆積が見られるが、それ以外はすべて侵食区間である。ダム (№19) までの流出土砂量は 8,400 m³ で、このダムで 2,350 m³ を捕捉したが、残りは下流へ流出した。氾濫開始点の流出土砂量は 6,050 m³ で、氾濫した土砂は太田川右支川合流点まで到達した。被災家屋は 5 戸で、№19 のダムで流木の一部を捕捉したが残りは下流へ流出した。

⑱ 念仏谷川

土石流は本川中流部の緩勾配区間で堆積しており (断面 18-2, 18-5, 18-7・支川断面 18-4), 溪流内で停止した。

土石流の流下距離の最大は 1,575 m (太田川合流点から 875 m, 断面 18-7 まで) である。

⑲ 坪野川支川

(右支川)

土石流の流下距離は 170 m で、流下区間はすべて侵食区間である。上流側の砂防ダム (№20) までの流出土砂量は 640 m³ でこのダムですべてを捕捉し、下流への土砂の流出はなかった。

(左支川)

土石流の流下距離は 175 m で、流下区間はすべて侵食区間である。氾濫開始点からの流出土砂量は 700 m³ で、氾濫した土砂は太田川合流点から 150 m の地点まで到達した。

㉔ 千本川

土石流の流下距離の最大は 765 m で、流下区間のうち、氾濫開始点の上流部 (横山谷川合流点から 755 m ~ 845 m の区間、断面 20-9) で流出土砂の堆積が見られるが、以外はすべて侵食区間である。氾濫開始点の流出土砂量は 9,160 m³ で、氾濫区間の勾配は 7.5° と急勾配であるため、土石流は横山谷川合流点まで流下した。

(2) 流木収支

土石流の発生・流下区間から流出した立木の本数および、流下・氾濫・堆積区間に堆積した流

木の本数を現地調査の結果をもとに求め、流木収支を計算した。

調査対象溪流のうち、江河内谷川、江河内東谷、鷺渡瀬沢、木坂西川、山城川、上原谷川、辻の河原川、中尾谷川の8溪流について、土石流源頭部付近の斜面に縦10m×横10mのプロットを設定し、その範囲の立木の調査（樹種、本数、胸高直径、樹高のサンプリング調査）を実施した。

立木調査の結果より、崩壊部の立木密度を求め、崩壊面積を乗じて、崩壊地から流出した流木の本数を推定した。また、流下部の溪岸および山腹斜面から流出した流木を3.2(1)で抽出した代表断面から推定し、前記の立木密度を乗じて、流下部から流出した流木の本数を推定した。次に、流下区間および氾濫・堆積区間での流木の堆積している位置、本数を現地で調査し、流出した流木の本数を求めた。

ただし、今回、立木調査を実施しなかった12溪流については、空中写真および現地の樹木の状況から判断して、立木調査を実施した溪流の中から植生および樹木の分布状況の類似した溪流の立木密度を代用して、表-3.7に示すような立木密度を用いて流出した立木の本数を推定した。

表-3.7 溪流別の立木密度

溪 流 名	100㎡当たりの 立木密度 (本)	代 用 し た 溪 流 名	溪 流 名	100㎡当たりの 立木密度 (本)	代 用 し た 溪 流 名
杉谷川	2 2	木坂西川	本谷川	2 2	木坂西川
江河内谷川	2 6	江河内谷川	中西平谷川	2 2	辻の河原川
江河内東谷	5 6	江河内東谷	山城川	6 8	山城川
埤谷川	3 4	鷺渡瀬沢	上原谷川	1 6	上原谷川
下殿賀内川	2 2	木坂西川	辻の河原川	2 2	辻の河原川
鷺渡瀬沢	3 4	鷺渡瀬沢	中尾谷川	1 3	中尾谷川
木坂西川	2 2	木坂西川	蛇ノ谷川	2 6	江河内谷川
木坂川	2 2	木坂西川	念仏谷川	2 6	江河内谷川
香草川	5 6	江河内東谷	坪野川支川	2 6	江河内谷川
明ヶ谷川	2 2	木坂西川	千本川	2 2	木坂西川

3.3 砂防治山設備の効果

(1) 砂防治山施設の規模と効果

① ダムの有効高と土砂の流出

図-3.11に土砂の堆積があったダムを対象に、ダムの有効高と下流への土砂の流出との関係について示した。図から、各溪流の流出土砂量の多寡にもよるが、有効高 7.5 m 以下のダムでは下流への土砂流出が顕著であった。

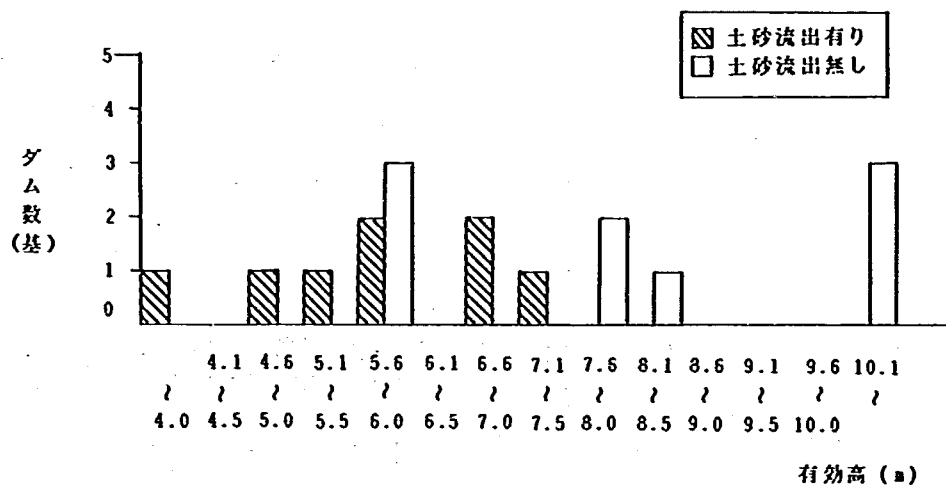


図-3.11 ダムの有効高と下流への土砂流出

② ダムの元河床勾配と堆砂勾配

図-3.12に満砂したダムを対象に、ダムの元河床勾配と堆砂勾配との関係をダムの有効高別に示した。図より、その他の花崗岩の地域でも指摘されているように堆砂勾配がかなり緩くなっていることがわかる。

なお、№8(香草川)および№17(辻の河原川), №20(坪野川支川)の各ダムは満砂しているが、下流への土砂の流出はなく、まだダムに貯砂能力が残っているものと考えられる。

また、この図で元河床勾配が 15° 未満と 15° 以上に分けてみると、元河床勾配が 15° 未満のダムについては堆砂勾配が元河床勾配の $1/2$ ($m=n/2$) に近い値になっているが、元河床勾配が 15° 以上のダムについては堆砂勾配が元河床勾配の $1/2$ よりかなり小さい値となっていることがわかる。

③ 有効高と貯砂量

図-3.13に満砂したダムを対象に、ダムの元河床勾配別の有効高と貯砂量との関係について示した。急勾配地点に施工されたダムは貯砂量が多く見込めないことが分る。

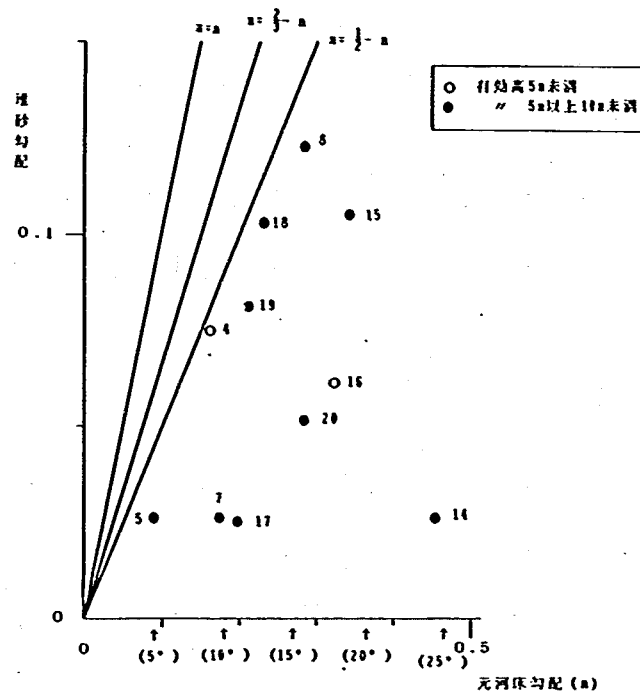


図-3.12 ダムの堆砂勾配と元河床勾配

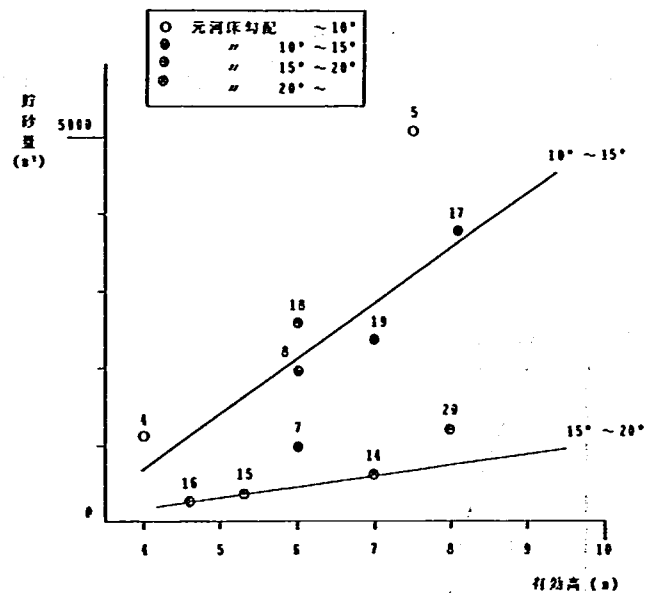


図-3.13 ダムの有効高と貯砂量

(2) 流出土砂量の捕捉と被災状況

表-3.8に溪流別の流出土砂量とダムによる土砂の捕捉量を示した。対象13溪流のうち、7溪流についてはダム地点で土石流を捕捉し、下流への土砂の流出がなかった。また下流への土砂の流出があった6溪流についてもダムで流出土砂量の12~67%を捕捉した。図-3.14に溪流別のダムの流出土砂量の捕捉率と家屋の被災率の関係を図示した。

被災率の定義は

$$\text{被災率} = \frac{\text{全壊, 半壊, 損壊の合計戸数}}{\text{氾濫区域内にある総家屋数}}$$

である。図より、捕捉率が大きいほど被災率が小さくなることがわかる。

表- 3.8 溪流別の流出土砂量および捕捉量

	杉谷川	江河内 谷川*	江河内 東 谷	木坂川 *	香草川	明ヶ谷 川	本谷川	中西平 谷川*	上原谷 川 *	辻の河 原 川	中尾谷 川 *	蛇の谷 川 *	坪野川 支川
ダムNo	1	4,5	6	7	8	10	12	14	15,16	17	18	19	20
流出土砂量 (m)	1,180	46,470	12,060	1,410	1,750	250	7,680	4,930	2,580	3,770	12,760	8,400	640
捕捉量 (m)	1,180	6,190	12,060	940	1,750	250	7,680	590	580	3,770	2,560	2,350	640
捕捉率 (%)	100.0	13.3	100.0	66.7	100.0	100.0	100.0	12.0	22.5	100.0	20.1	28.0	100.0
流域面積 (km ²)	0.144	0.706	0.731	0.164	0.929	0.634	0.715	0.195	0.054	0.365	0.289	0.364	0.099
比流出土砂量 (m ³ /km ²)	8,200	65,800	16,500	8,600	1,900	400	10,700	25,300	47,800	10,300	44,100	23,100	2,600
ダム上流の 流下勾配 (°)	22	8	9	15	13	9	10	27	29	13	15	21	20
平均流下勾配 (°)	23	13	15	19	25	13	13	14	29	13	24	19	20
全壊家屋 (戸)	-	19	-	-	-	-	-	9	1	-	1	2	-
半壊家屋 (戸)	-	35	-	-	-	-	-	12	3	-	3	5	-
被災率 (%)	0	67.3	0	0	0	0	0	100.0	33.3	0	100.0	50.0	0

1) * 印の溪流は土砂が下流へ流出した溪流。

2) ダム上流の流下勾配はダム堆砂地上流端から200m上流地点までの平均勾配である。

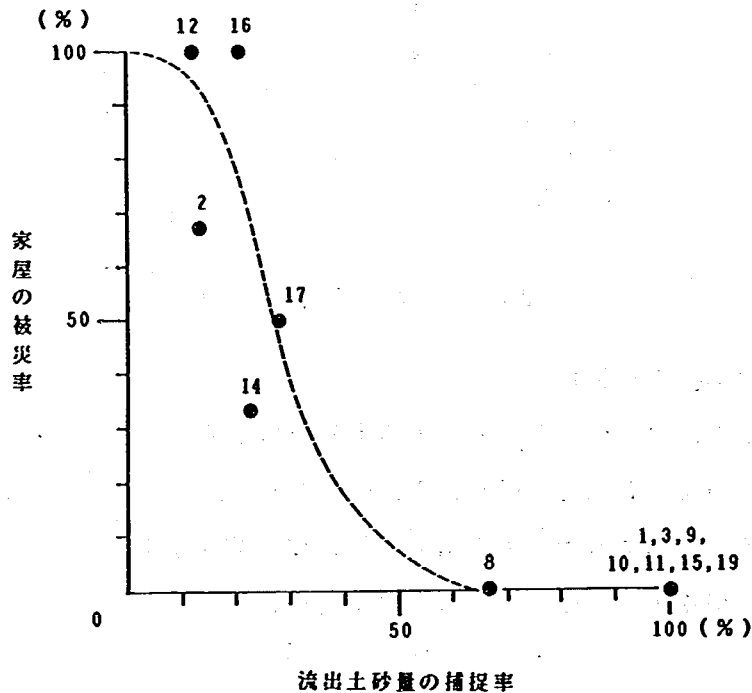


図- 3.14 流出土砂量の捕捉率と家屋の被災率
(図中の数字は溪流番号)

(3) 治山施設の破損状況

江河内谷川(ダム№4), 中西平谷川(ダム№14), 上原谷川(ダム№16), 中尾谷川(ダム№18)で破損が見られた。表-3.9に破損したダムおよびダム地点の状況を示す。

また、図-3.15にダムの破損した位置を示す。

表-3.9 ダムの破損状況

№	溪流名	ダム№	所管	破 損 箇 所	ダム上流の勾配	ダム地点への流出土砂量	天端幅
2	江河内谷川	4	治山	右岸袖部および天端の一部	8°	46,470 m ³	1.4 m
12	中西平谷川	14	治山	左岸袖部の一部	27°	4,930 m ³	1.5 m
14	上原谷川	16	治山	天端(下流肩)の一部	29°	2,580 m ³	1.5 m
16	中尾谷川	18	治山	両岸袖天端の一部および両岸下流側壁	15°	12,760 m ³	1.5 m

① 江河内谷川(ダム№4)

有効高4.0m, 堤長16m, 天端幅1.4mの治山ダムである。ダム地点上流の勾配は8°, 元河床勾配は9°と土石流の流下区間であり, ダム地点の上流が曲折部で流下方向がダムの右岸側になったため, 土石流が右岸袖部を直撃して右岸袖部および天端の一部が破損, 流失したと思われる。破損したダムの一部は, 同ダムの左岸袖部下流および130m下流の№5のダム(所管は砂防)の左岸袖部の上流側まで流下した。

② 中西平谷川(ダム№14)

有効高7.0m, 堤長23m, 天端幅1.5mの治山ダムである。ダム地点上流の勾配は27°, 元河床勾配は24°と急勾配であり, 堆砂地上流端は基岩が露出して, すべり台状になっている。また, ダム地点の上流が緩い曲折部で流下方向がダムの左岸側になったため, 土石流が左岸袖部を直撃して左岸袖部の一部が破損, 流失したと思われる。破損したダムの一部はダム地点の下流50m付近の右岸側まで流下した。

③ 上原谷川(ダム№16)

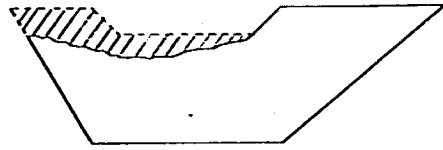
有効高4.6m, 堤長15m, 天端幅1.5mの治山ダムである。ダム地点上流の勾配は29°, 元河床勾配は18°と急勾配であり, 上流側のダム(所管は治山ダム)との距離は30mである。ダムの水通し部天端の一部が破損, 流失した。

④ 中尾谷川(ダム№18)

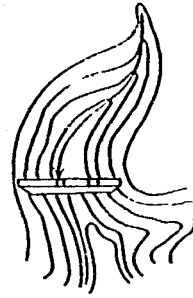
有効高6.0m, 堤長22m, 天端幅1.5mの治山ダムである。ダム地点上流の勾配は15°, 元河床勾配は13°と急勾配であり, 土石流はダムの両岸袖部を越流(袖天端に土砂が堆積している・水通し幅は4.2mである)したものと推定され, ダムの両岸袖天端の一部および両岸下流側壁が土石流により破損, 流失した。

江河内谷川に施工されている№4および№5のダムを比較して, ダムの破損について考える。

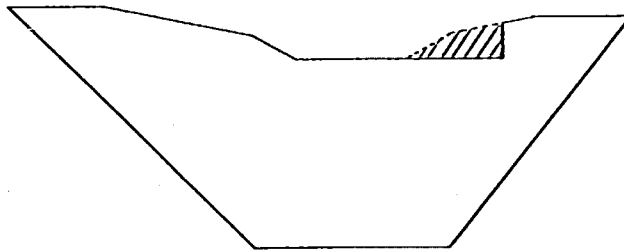
江河内谷川(ダムNo.4)



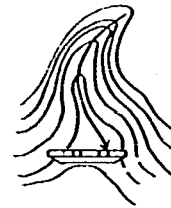
〔平面図〕



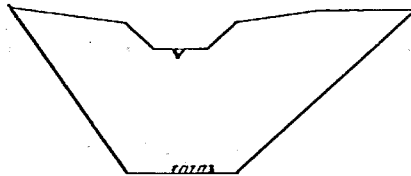
中西平谷川(ダムNo.14)



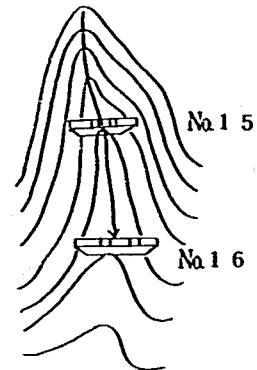
〔平面図〕



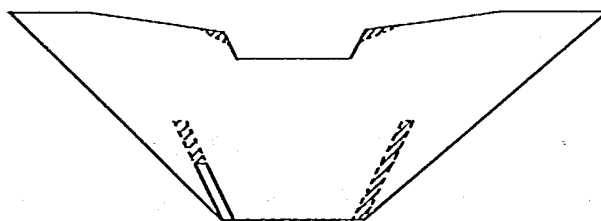
上原谷川(ダムNo.16)



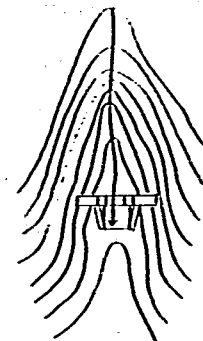
〔平面図〕



中尾谷川(ダムNo.18)



〔平面図〕



破損部

S=1/200

図 3.1 5 ダムの破損位置

ダムの諸元は、№4のダムの有効高が4.0m、堤長が16m、天端幅が1.4mであり、№5のダムの有効高が7.5m、堤長が46.5m、天端幅が3.0mであった。土石流の衝撃に大差はないと思われ天端幅の差が破壊、非破壊を支配したと考えられる。他の被災した治山ダムも天端幅は1.5mであり、この地域の土石流に対しては不足と考えられる。

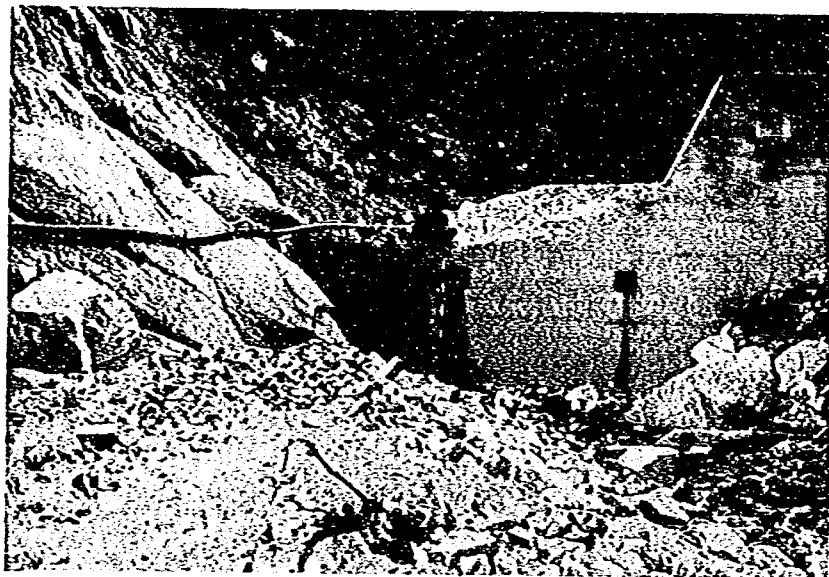


写真-3.3

№4のダムの破損
(江河内谷川)

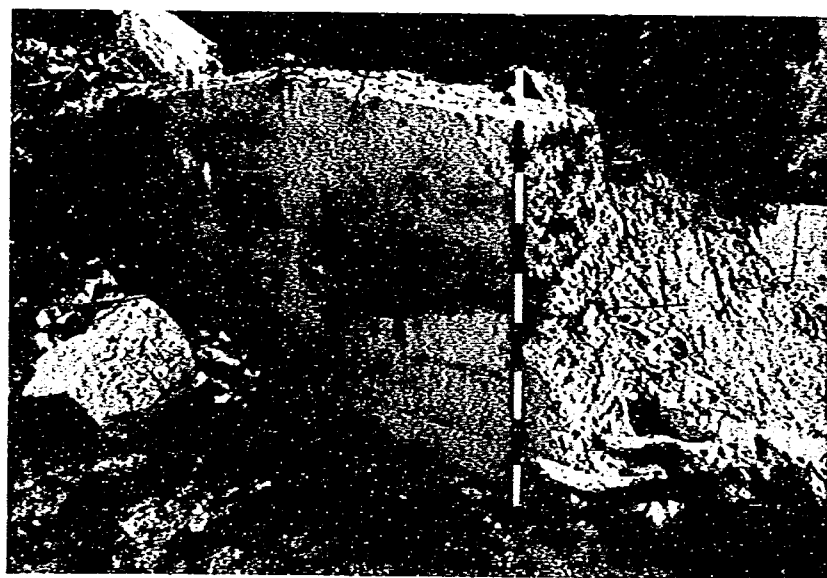


写真-3.4

№14のダムの破損
(中西平谷川)



写真－3.5

№14 のダムの破損

(中西平谷川)



写真－3.6

№16 のダムの破損

(上原谷川)



写真－3.7

№18 のダムの破損

(中尾谷川)

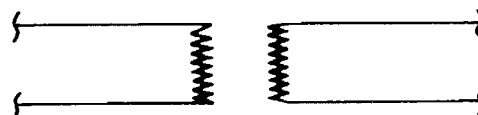
3.4 立木・流木の関係

土石流により流出した流木が流下・堆積・氾濫区域に運搬され、堆積するまでにその形態をどのように変化させたかを現地で実施した立木調査の結果および流下・氾濫・堆積区域で堆積している流木の調査の結果をもとに検討した。

- ① 流木は、流出時の長さが 8.5 m（立木サンプルの平均値）であったのが、土石流により運搬され、流下・氾濫区間に堆積したときには 4.0 m（流木サンプルの平均値）と半分以下の長さであった。（表－ 3.10）
- ② 発生・流下区間から流出した流木は、そのほとんどが根の部分から流出したもので、幹から折れて根だけが溪床または山腹斜面に残っているケースはほとんど見られなかった。
- ③ 流下区間に堆積した流木の長さは 5 ～ 8 m のものが多かったが、氾濫区間に堆積した流木の長さは 1 ～ 4 m のものがほとんどであった。
- ④ 立木サンプルのうち樹高が 3 ～ 5 m のものは、ほとんど広葉樹であった。
- ⑤ 流下区間に堆積した 8 m 以上の流木は、損傷がほとんど見られなかった。
- ⑥ 流木の折れ方は、下図のような折れ口がほとんどであった。

表－ 3.10 立木と流木の状況

	立 木	流 木
調査サンプル数	257 本	2812 本
樹 種	スギ・ヒノキ…………… 115 本 マツ…………… 7 本 広葉樹…………… 135 本	スギ・ヒノキ, 針葉樹……… 2807 本 広葉樹…………… 5 本
長さの最頻値	4 m	3 m
長さの平均値	8.5 m	4.0 m



図－ 3.16 流木の折れ方

以上から、立木は崩壊の発生・土石流の流下により根こそぎ倒壊し、土石流に取り込まれ、流出したと思われる。また、その過程で、流出した立木は折れてゆき、全体としては流出時の 1/2 ～ 1/3 の長さになったと考えられる。また、氾濫区域まで流下した流木は、流下区間に堆積した流木に比べ損傷がひどく、長さも 1 ～ 4 m 程度になっていた。

3.5 家屋の被災度

土石流氾濫区域内の家屋の被災度と土砂堆積厚、勾配等との関係を検討した。

当該区域は、隆起準平原を太田川が下刻することにより形成された峡谷で、人家は太田川沿いの谷底平野、流入支川の扇状地上に密集しており、そのため、土砂流出のあった溪流では、少なからず下流の人家は被害を被っている。また家屋の構造も殆んどが木造建築であり、被災の一因となっている。ここでは、家屋の被災が認めれた次の10溪流を対象に調査を行った。

№ 2 江河内谷川

№ 4 峠 谷 川

№ 6 鷺 渡 瀬 沢

№ 7 木 坂 西 川

№ 12 中西平谷川

№ 13 山 城 川

№ 14 上 原 谷 川

№ 16 中 尾 谷 川

№ 17 蛇 ノ 谷 川

№ 20 千 本 川

検討を進めるにあたって、被災度、被災戸数の数え方は以下のとおりである。

被災度の区分は、集計上次の3区分とした。

全壊：倒壊或は、倒壊には至っていないが改築することが不可能と考えられるもの

半壊：大きな損傷が生じた場合で、大規模な改築をしなければ使用不可能なもの

損壊：柱や梁の破壊がなく、外壁や間仕切壁の亀裂や破壊、窓ガラスの破壊などの軽微な被害
被害戸数は、住家と非住家の区分は行わずそれぞれ1戸として数えた。

(i) 土砂堆積厚、勾配、被災家屋分布の状況

現地調査、空中写真判読、地形図により土石流氾濫区域内における家屋の分布状況、土砂堆積厚分布、勾配を調べた。溪流別の被災家屋内訳を表-3.11に示す。

表-3.11 溪流別被災家屋内訳表

溪流番号	全壊 ①戸	半壊 ②戸	損壊 ③戸	浸水 ④戸	被害なし ⑤戸	計 ⑥戸	被災率= $\frac{①+②+③}{⑥}(\%)$
2	19	4	12	1	16	52	67.3
4	1	0	1	0	2	4	50.0
6	1	1	0	1	2	5	40.0
7	1	1	2	0	0	4	100.0
12	9	2	1	0	0	12	100.0
13	0	1	0	0	0	12	100.0
14	1	1	1	0	6	9	33.3
16	1	1	1	0	0	3	100.0
17	2	1	2	0	5	10	50.0
20	4	3	0	0	0	7	100.0
小計	39	15	20	2	31	107	69.2

(2) 土砂堆積厚と被災度の検討

土砂堆積厚毎の被災家屋数を図-3.17に示す。土砂堆積厚が大きくなるほど被災度が大きくなり、全壊率は堆積厚が2.0m以上で100%となる。

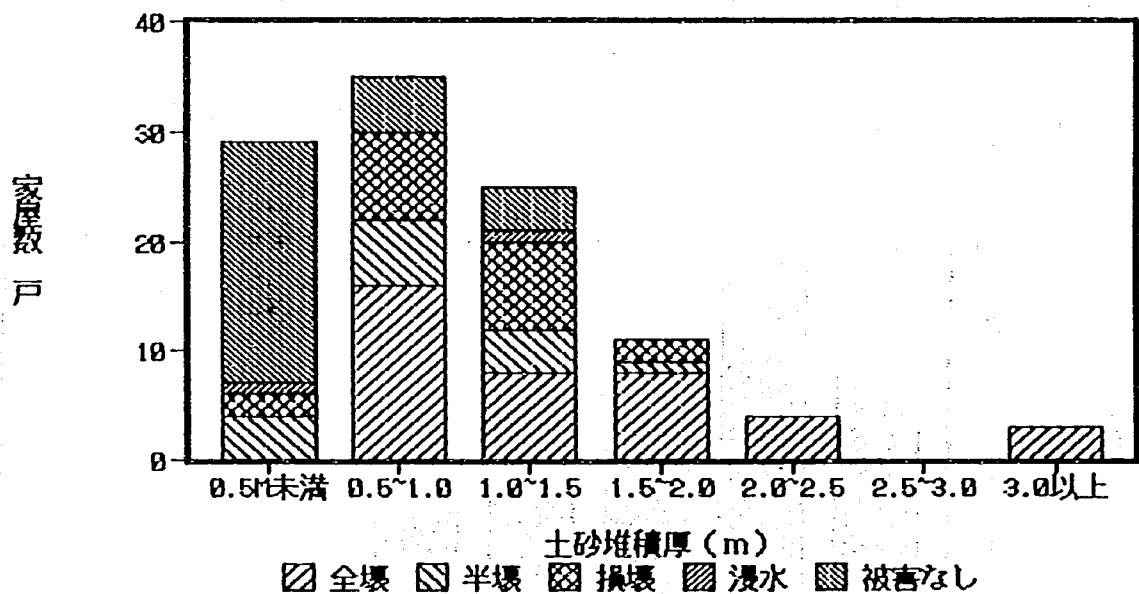


図-3.17 土砂堆積厚と被災家屋数の関係

(3) 勾配と被災度の検討

勾配毎の被災家屋数及び百分率を図-3.18に示す。対象とした範囲では、勾配3°付近を中心に家屋が多い。被災状況では、勾配2°以上では全壊家屋があり、1°でも損壊が生じている。一般に土石流、土砂流の停止する勾配はそれぞれ3°、1°といわれており、このような地形条件にある

家屋は土石流、土砂流災害を受けたときなんらかの被害を被るものと考えられる。

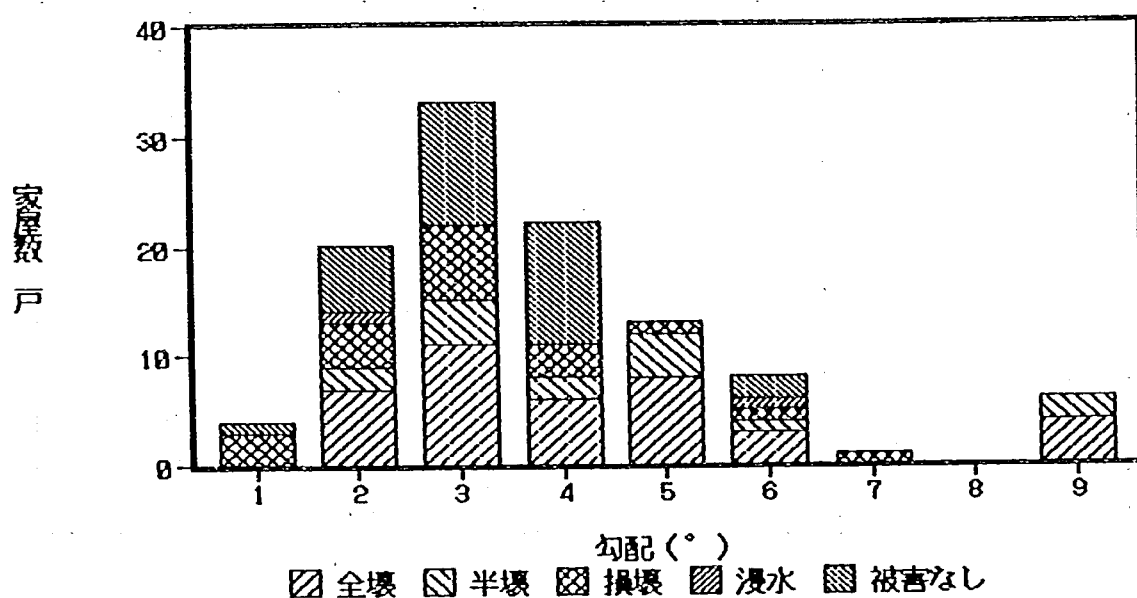


図-3.18 勾配と被災家屋数の関係

(4) 土石流氾濫開始点からの距離と被災度の検討

土石流氾濫開始点からの距離と被災家屋数及び百分率を図-3.19に示す。家屋の全壊状況を見ると、氾濫開始点より350 m以上離れると全壊家屋はなくなる。また、全壊の84.6% (33戸/39戸)までが、200 m以内で生じており、250 m以内では92.3% (36戸/39戸)が包含される。

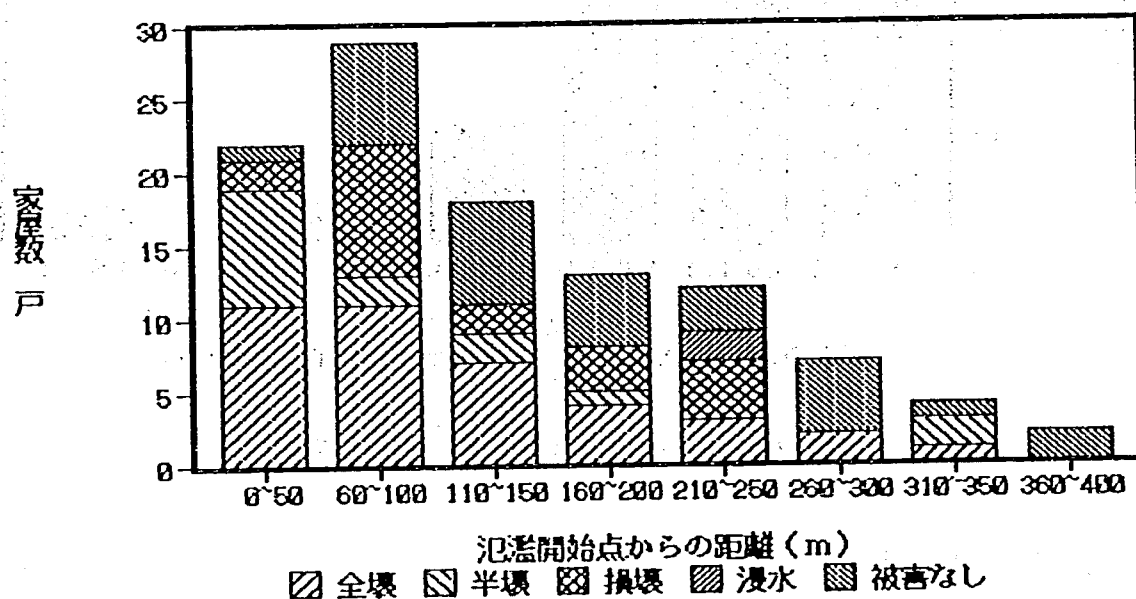


図-3.19 氾濫開始点からの距離と被災家屋数の関係

(5) 家屋の構造と被災度の検討

対象とした家屋構造の内訳は、木造 101 戸、鉄筋コンクリート 3 戸、鉄骨家屋 2 戸、プレハブ 1 戸と、94% が木造建築物である。鉄筋コンクリートの 3 戸は、江河内谷川、国道 186 号線下流にある病院と 3 階建マンションであり、家屋被害は被らなかった。鉄骨家屋は、鶺渡瀬沢の国道 186 号線沿いの工場兼家屋（2 階建）の 1 戸と中西平谷川の納屋 1 戸である。前者は土石流氾濫域の末端部に位置し、被害はなかったが後者は、土石流が直撃し、倒壊した。プレハブは、木坂西川、国道 186 号線下流にある工事飯場であり、氾濫域の末端部に位置していた。この付近では巨礫はみられず、主に土砂、流水が氾濫したが、プレハブは全壊した。木造家屋の被災では、土砂が 2 m 程家屋に流入しても柱や梁が残る場合もあった。当該地域では、殆んどが木造家屋であり、構造別の被災度の相異について十分な議論はできないが、プレハブ等の仮設建築物は、土砂災害に対しては脆弱と言える。

(6) 土石流エネルギー指標と被災度の検討

単位巾当りの土石流の持つエネルギーは次のようにして求められる。すなわち、水深 h 、流速 v の 1 秒間あたりの土石流塊の質量 m は、

$$m = \rho \cdot v \cdot h$$

となる。ここで ρ は土石流密度、流速としてマンニング式を用いると、

$$m = \frac{\rho}{n} h^{5/3} \cdot I^{1/2}$$

従って、エネルギー E は

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} m v^2 \\ &= \frac{\rho}{2 n^3} h^3 I^{3/2} \text{ (J)} \end{aligned}$$

となる。

この関係から土石流の持つエネルギーを表す指標として、 $d^3 \cdot \tan^{1.5} \theta$ (d : 堆積深 (m), θ : 勾配) をとり、被災度との関係を図-3.20, 3.21 に示した。図より土石流エネルギー指標が大きくなるに従って被災度も大きくなる。指標が $10^{-4} \sim 10^{-3}$ では全壊家屋はないが、 10^{-3} 以上で全壊家屋があり、 10^{-1} 以上で全壊率は 100% となる。

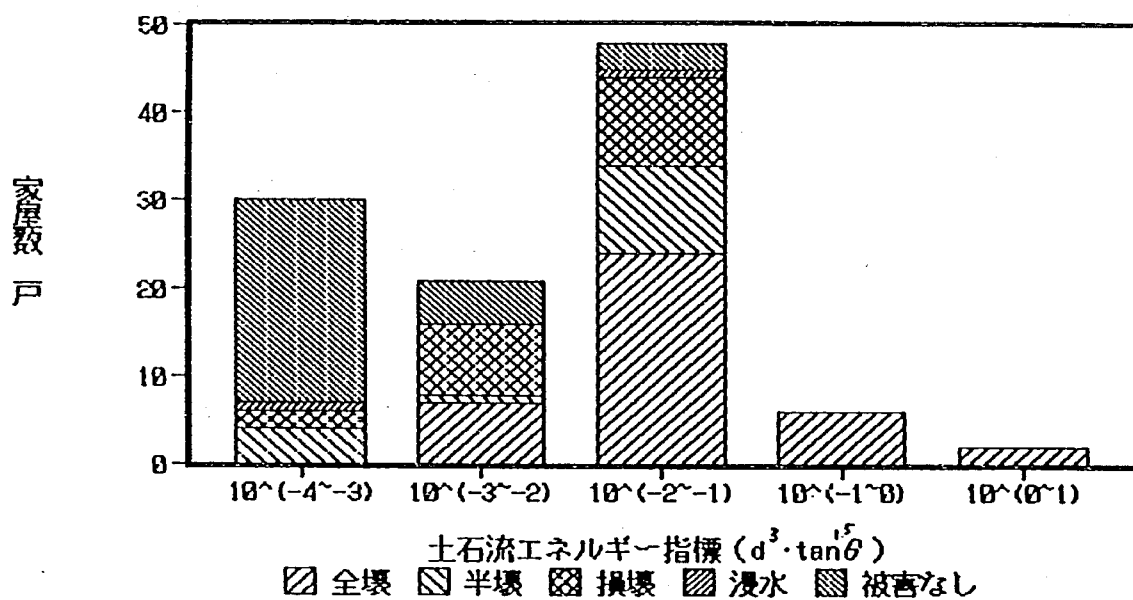


図-3.20 土石流エネルギーと被災家屋数の関係

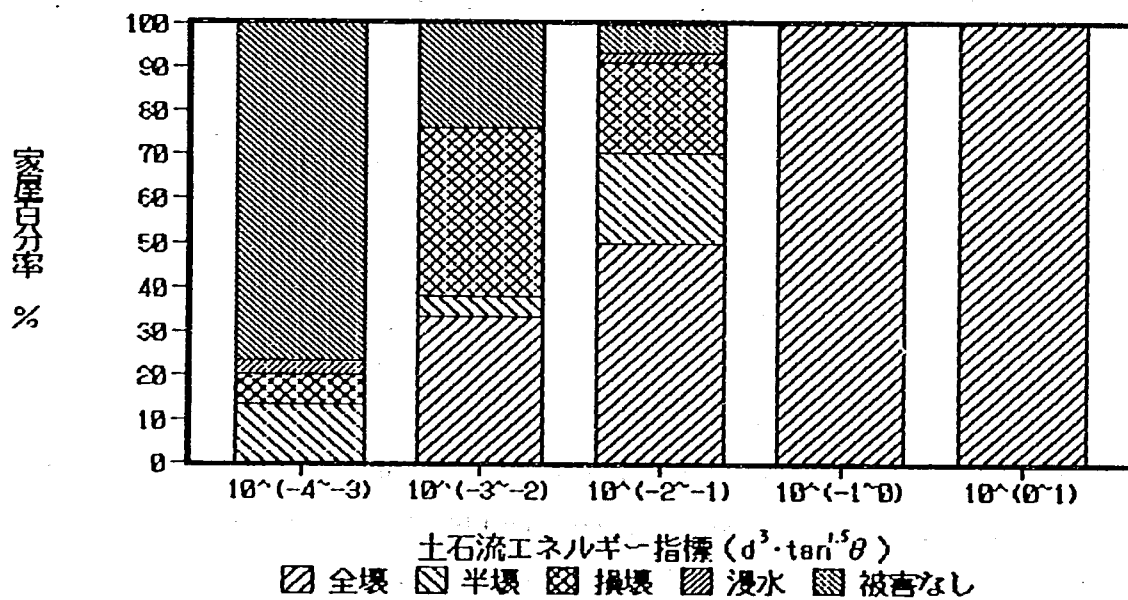


図-3.21 土石流エネルギーと被災家屋百分率の関係

3.6 微地形と土石流氾濫域

今回の土石流氾濫堆積区域を観察すると、高さで5 m未満、平面的には、10 m四方程度の微地形が土石流の氾濫形状に影響を与えたと考えられる地域があった。ここでは、土石流氾濫・堆積区域に対する微地形や構造物の影響を考察した。

(1) 溪流別の状況

(1.1) 江河内谷川(№2溪流)(図-3.22, 23)

江河内谷川の氾濫域は、大きく3区分される。第1氾濫区域が標高250~300 mの上流区域、第2氾濫区域が標高220 mからJR可部線の鉄道盛土に至る区域、第3氾濫区域が鉄道盛土と太田川に囲まれる区域である。

第1氾濫区域では、上流部において土石流の流心が2回変化している。

第1の曲流地点では、上流側流心に対し、約45°左岸側に曲流するが、外湾側は溪床との比高が5 m程度の段丘崖である。内湾側は溪床との比高3~5 mの平坦地に家屋が3戸あり、上流側の家屋(倉)が損壊した。第2の曲流点では、右岸側に約20°曲流し、外側部の家屋(溪床との比高1.5~2.5 m)が倒壊した。これより下流域の200 mの区間では、土石流は直線的に流下し、このときの氾濫・堆積幅は35~50 m、堆積勾配5°~6°である。この区間での溪床と氾濫外縁との比高は3.5~6.5 mであった。さらに下流域の150 mの区間では、地形的には左岸側(江河内東谷側)へ傾斜する平坦地(扇状地面)があり、ここで土石流は本川側と江河内東谷側の2方向へ分流した。

第2氾濫区域では、右岸側斜面と左岸側は江河内谷川の扇状地外縁及びJR可部線の鉄道盛土に囲まれる区域の全面に氾濫した。ここでは、土石流の巨礫を含む大部分が停止し、その一部が鉄道橋のカルバートを通じて下流へ流出した。

第3氾濫区域では、鉄道盛土のボックスカルバート(2ヶ所)を通過した土砂が、広範囲に氾濫した。氾濫土砂は殆んどがマサ土である。

また、流路工が氾濫区域内に施工されていたが、断面不足のため、土石流を流すことができなかった。

(1.2) 鵜渡瀬沢(№6溪流)

この溪流の氾濫域は、上流側では段丘崖(比高10 m以上)に囲まれた巾20 m程度の谷であり、JR線より下流では、太田川の沖積段丘面である。鉄道盛土上流の左岸側に、盛土と同じ高さの平坦地(巾10 m、長50 m)があった。上流からの土砂、流木の流出が顕著であったため、この平坦地がさらに下流へ土砂を供給し、氾濫域を広くした。

(1.3) 木坂西川(№7溪流)

木坂西川では、上流では段丘崖に囲まれた巾20 mの谷内に氾濫し、下流のJR線付近から太田川にかけては、太田川の沖積段丘面に氾濫した。

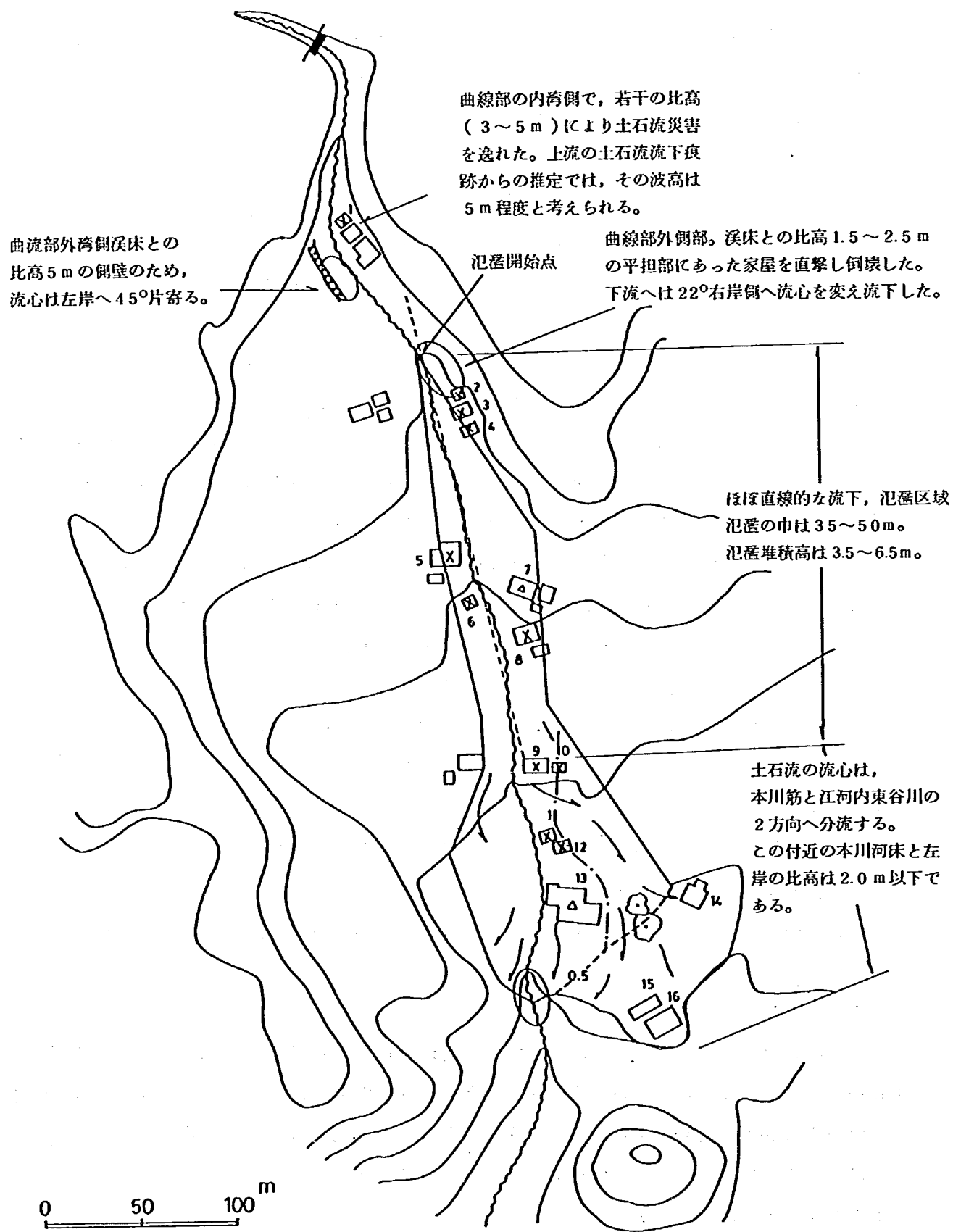


図 3.2 2 江河内谷川氾濫状況図 (上流側)

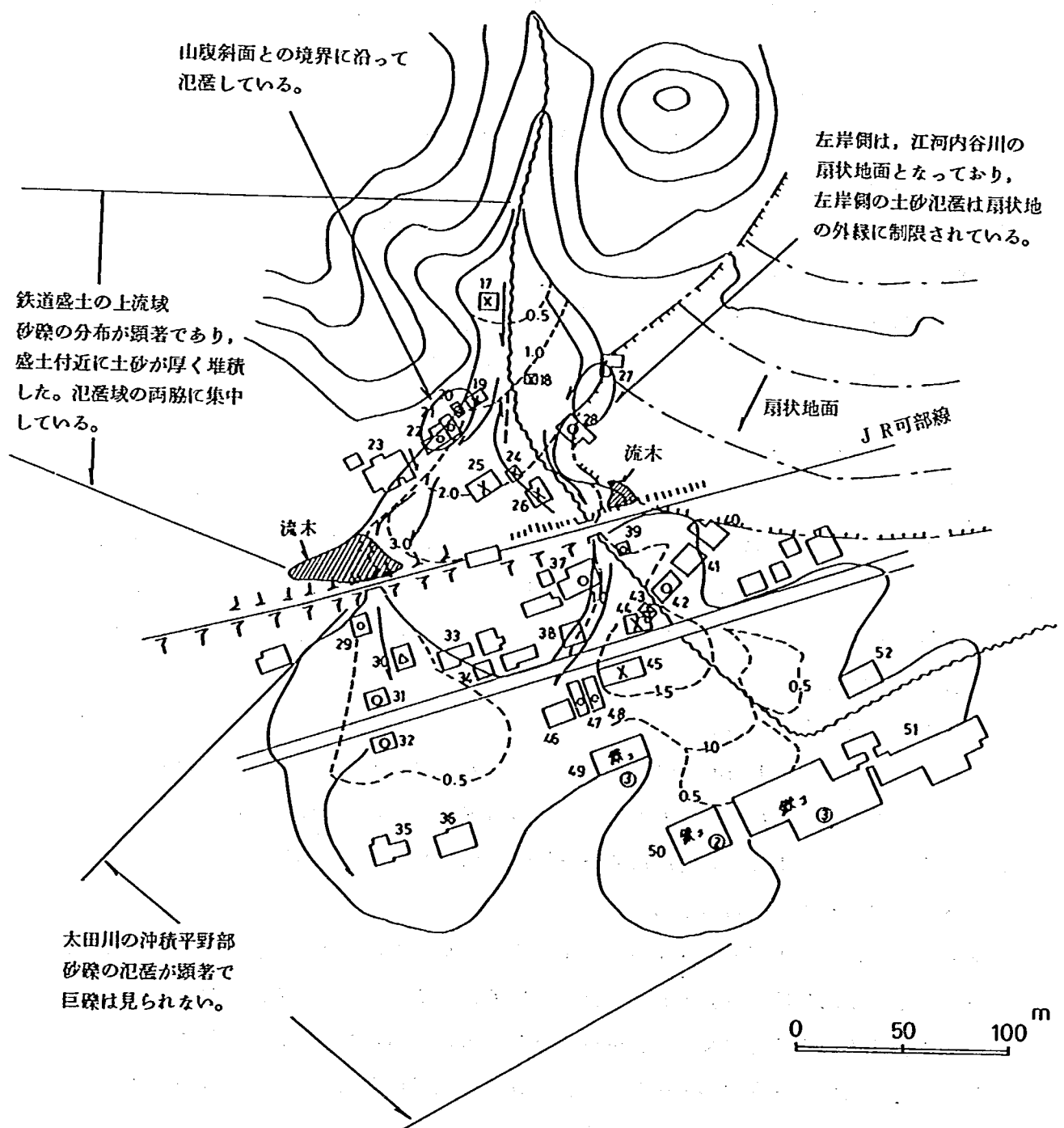


図 3.2 3 江河内谷川氾濫状況図（下流側）

谷出口付近の両岸には家屋があり、右岸側の家屋に土砂が流入したが、被害は殆んどなく、左岸側家屋には土石流の直撃を受け、外壁と柱の一部を流失した。右岸側家屋の裏には、比高 3～4 m 程の小丘があり、高さ 10 m 程度のスギ林があり、スギ林には流木が捕捉されている。左岸側家屋裏は、比高 2.5 m の小丘で竹林となっている。土石流はこの小丘を乗り越えて家屋に流入した。

(1.4) 中西平谷川 (№12 溪流)

中西平谷川では、この溪流の小規模な扇状面と太田川の沖積平野部に土石流が氾濫した。災害前の河道は、谷出口左岸側から比高 3～4 m の尾根状の小地形が右岸側にのびており、この地形に沿って右岸側に曲流して太田川へ流入した。石礫は、左岸側の氾濫区域に多い。

(1.5) 山城川 (№13 溪流)

山城川では、山腹と太田川に挟まれる沖積平野に氾濫した。氾濫は、人家の直上流から始まり、溪床との比高が 1～2 m の平坦地にあった人家に流入した。微地形による影響は見られない。

(1.6) 上原谷川 (№14 溪流)

上原谷川では、小規模な扇状地面と太田川の沖積平野に土石流が氾濫した。扇状地面は、上流の流心に対し右岸側に傾いており、土石流の氾濫は右岸側に集中している。谷出口左岸側から比高 3～4 m の小規模な尾根が上流の流向に対して鋭角にのびている。土石流の波高は、この尾根の頂部に達していたが、スギ林 (樹高 8 m) により流木を捕捉して 1 m 程度ダムアップし、土石流の越流は免れた。

(1.7) 中尾谷 (№16 溪流)

中尾谷では、扇状地に土石流が氾濫した。上流域 (氾濫開始点上流) は山腹斜面、段丘崖 (比高 5 m 以上) に囲まれた谷であり、扇頂部から下流で溪床と扇面との比高が 2～3 m となり、土石流の氾濫が始まった。勾配は $6^{\circ}\sim 7^{\circ}$ であり、氾濫域の角度は約 90° であった。

(1.8) 蛇ノ谷川 (№17 溪流)

蛇ノ谷川では、田ノ尻川の形成する沖積平野 (谷底平野) に氾濫した。土石流は直線的に流下したが、土石の氾濫は左岸側 (特に校庭) に広く分布する。左岸側の氾濫は、主に空地 (校庭) への土砂流入によるものであり、障壁となるものがなかったため、広範囲なものとなった。右岸側では、川沿いの 3 家屋が大破したが、これらの家屋の裏側にあった家屋は、土石流の直撃を免れている。大破した家屋の構造は木造であった。

(1.9) 千本川 (№20 溪流)

千本川では、中流部のわずかな平坦地に土砂が氾濫したが、土石流の流下区間であったため、氾濫の幅は 30 m 程度であった。家屋は、千本川を挟んで流下方向に対して直角に、並列していたが、川沿いの家屋は土石流が直撃し倒壊した。道路下流、右岸側の人家で被災を免れた家屋があったが、これは、上流側に溪床との比高 6 m 程の平坦地が障壁となったためと考えられる。

(2) 考 察

(2.1) 微地形の影響

① 比高 3～4 m の尾根

N₁₂, 14 溪流では、比高 3～4 m の小規模な尾根が、土石流の流向を規制した現象が見られた。N₁₂ では、土石流の流向に対して 45° の方向に傾く小尾根があったが、土石流はこの尾根を越流し氾濫した。一方、N₁₄ では、土石流の流向に対し 10°～20° の方向に鋭角に小尾根がのびており、尾根頂部のスギの流木捕捉も手伝って土石流の越流は起こらなかった。比高 3～4 m の微地形が、土石流流向との関係によってはその流向を規制することがありえると思われる。

(2.2) 構造物の影響

① 家屋の影響

N₁₇ の溪流で見られるように、右岸側の被災家屋により、土石流の氾濫範囲が規制される状況が確認された。一方、左岸側では校庭に多量の土砂が流入し、広範囲に氾濫した。被災家屋は木造建築物であり、このような土石流に対して比較的弱い構造物と考えられるものでも、土石流の氾濫・堆積を規制しうるものと考えられる。

3.7 鉄道盛土部の被災形態

本調査地域では、太田川左岸側を J R 可部線が通っており、太田川へ流入する支川は、鉄道を横過している。今回の災害では、江河内谷川、鵜渡瀬沢、木坂西川の 3 溪流で流出した土石流により、J R 可部線の鉄道盛土に被害を与えた。ここでは、土石流の衝突や越流による鉄道盛土の被災状態を分類し、被災過程を考察する。

(I) 概 況

(1.1) 江河内谷川 (N₂ 溪流)

鉄道盛土の上流域では、山腹斜面と扇状地外縁部で囲まれる三角地帯に土石流が氾濫した。鉄道盛土付近の土石流堆積厚は 1.0 m～3.0 m で、土砂、礫 (0.3 m～2.5 m) が堆積し、盛土斜面には、主に砂礫が堆積しており、巨礫は少ない。洪水痕跡は盛土底面から 2.0～6.0 m の高さまで見られる。盛土斜面は雑割石で被覆されており、草木が繁茂している。流木は、氾濫域の両端の鉄道盛土付近に集中している。洪水、土石流、流木が鉄道盛土を越流した痕跡はなく、盛土斜面の損傷は見られない。土石流の流向と鉄道盛土の位置関係は、土石流が幾条かに分流しているが、概ね 60°～90° と考えられる。

鉄道盛土下流側では、2ヶ所のボックスカルバートより流出した土砂が氾濫・堆積したが、盛土沿いには殆んど土砂は堆積せず、被災箇所も見られない。

(1.2) 鵜渡瀬沢 (N₆ 溪流)

鉄道盛土付近の氾濫状況は、溪流沿いに巾 40 m にわたり土石流が越流氾濫し、左岸側平坦地

に流入した土砂が溢れ巾70mにわたり越流した。盛土の上流側は、上流面との比高が殆んどなく(0~0.5m)、下流側は高さ5.0m、勾配1:1.5の盛土斜面となっており、表面は、雑割石で被覆され、草木が繁茂している。土石流は鉄道盛土に対し75°の角度で流下している。土石流の流下区域において盛土下流側の斜面を侵食したが、鉄道線路は流出しなかった。

(1.3) 木坂西川(№7溪流)

木坂西川から流出した土石流は、鉄道盛土のボックスカルバート内だけでは流下できず、巾50mにわたって盛土上部を越流した。被災直後の写真では、盛土上部の線路上に流木や巨礫が堆積していた。

盛土の上流側は、後背地盤との比高が1.5m程あり、1:1.5の勾配をもつ。下流側は、ボックスカルバートを挟んでそれぞれ断面形状が異なるが、地盤とその比高は3~4mで、1:1.5の勾配をもつ。のり面は雑割石で被覆されており、草木が繁茂している。土石流は鉄道盛土に対してほぼ垂直に流下している。盛土の上流側のり面は土砂が堆積した程度で著しい破損は見られない。盛土上部は、土石流の流下にもなって敷石、線路、枕木が流失した他、架橋のコンクリート基礎部の破損があった。下流側のり面では特に損傷はなかった。

(2) 被災形態の分類と考察

鉄道盛土の被災形態を今回の被災例から整理すると、

- ・盛土下流側斜面の侵食(鷺渡瀬沢)
- ・盛土天端の侵食、破損(鷺渡瀬沢、木坂西川)
- ・ボックスカルバートのコンクリートの破損(木坂西川)

の3点である。

これらを、原因と被災発生箇所で分類すると表-3.12のようにまとめられる。

表-3.12 被災形態の分類

発生箇所 原因	盛土の 上流側のり面	盛土の天端	盛土の 下流側のり面	土石流通過部の 構造物
土石流の越流	被災なし	侵食	侵食	被災なし
土石流の衝突	被災なし	破損	—————	破損
洪水・土砂の 越流	被災なし	被災なし	被災なし	被災なし

3.8 鉄道盛土が氾濫・堆積に与えた影響

ここでは鉄道盛土が土石流の氾濫・堆積に与えた影響について検討した。以下の3溪流の状況を検討すると次のように整理される。

土石流については、

- ・土石流の巨礫を含む本体の大部分を捕捉(江河内谷川)
- ・土石流の一部を捕捉し、一部を流下(木坂西川)

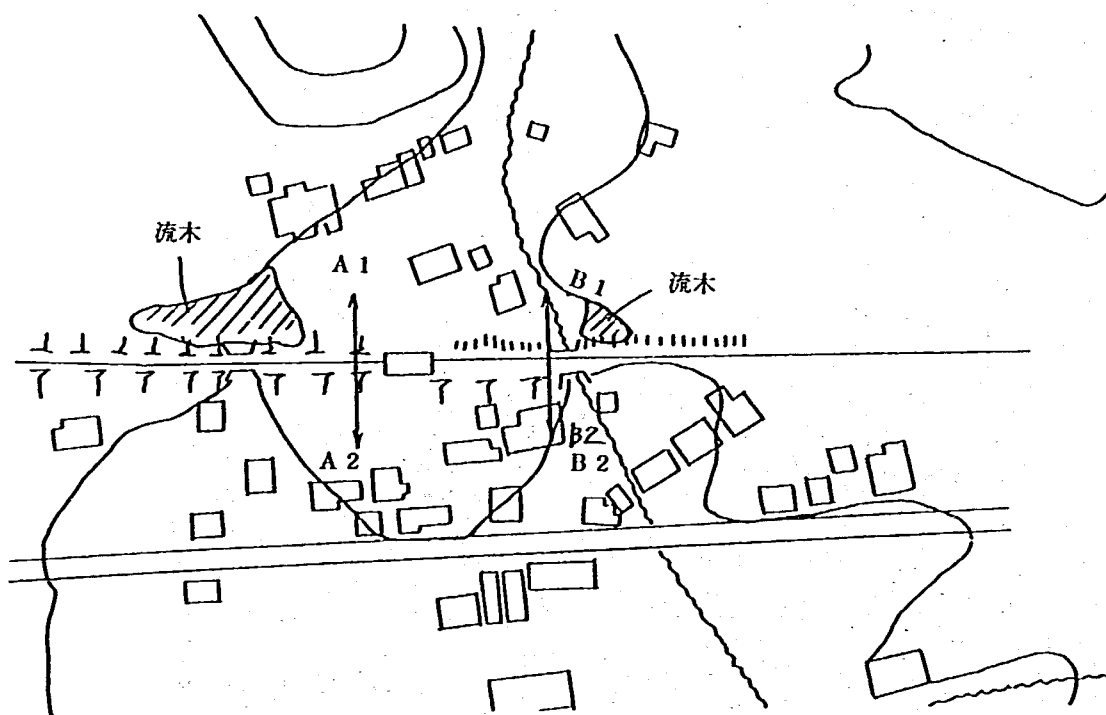
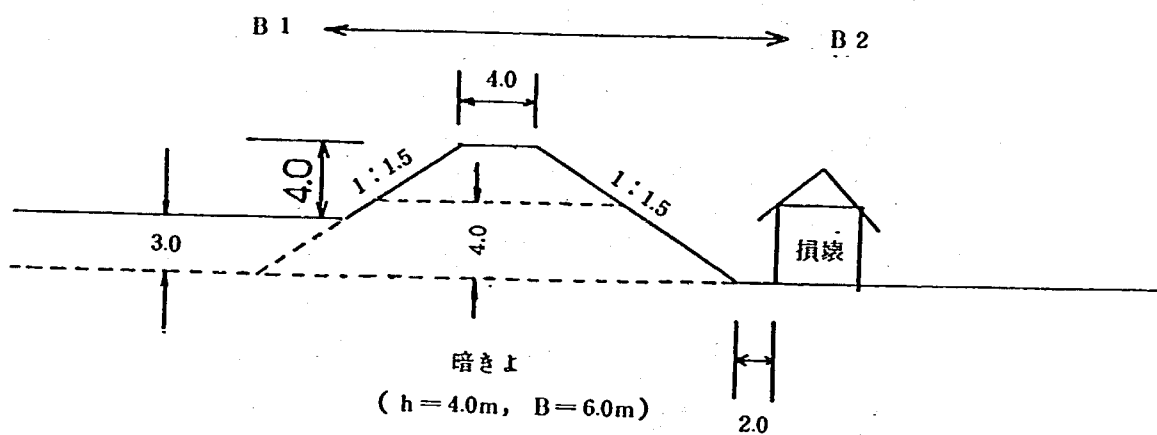
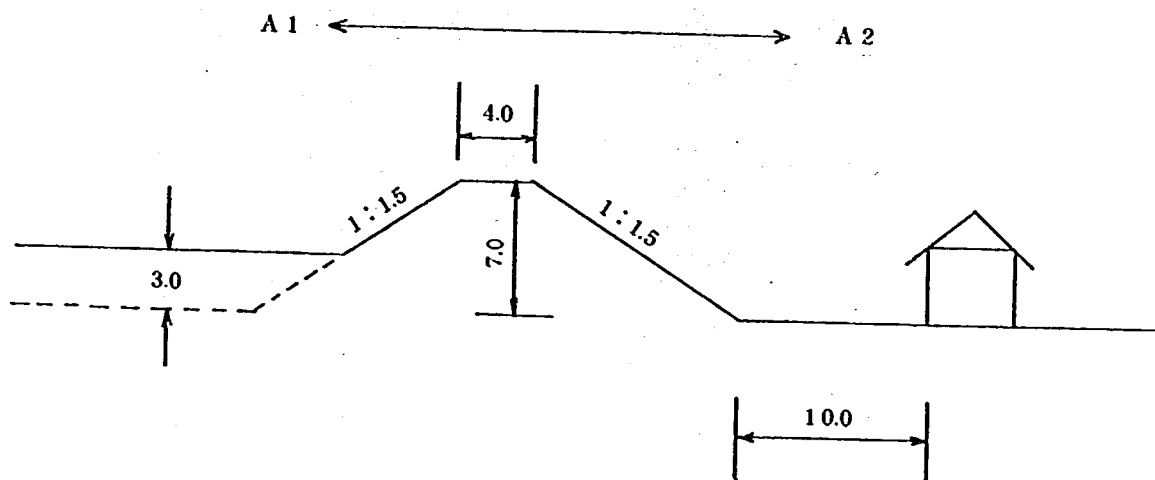


図 3.2 4 江河内谷川，鉄道盛土

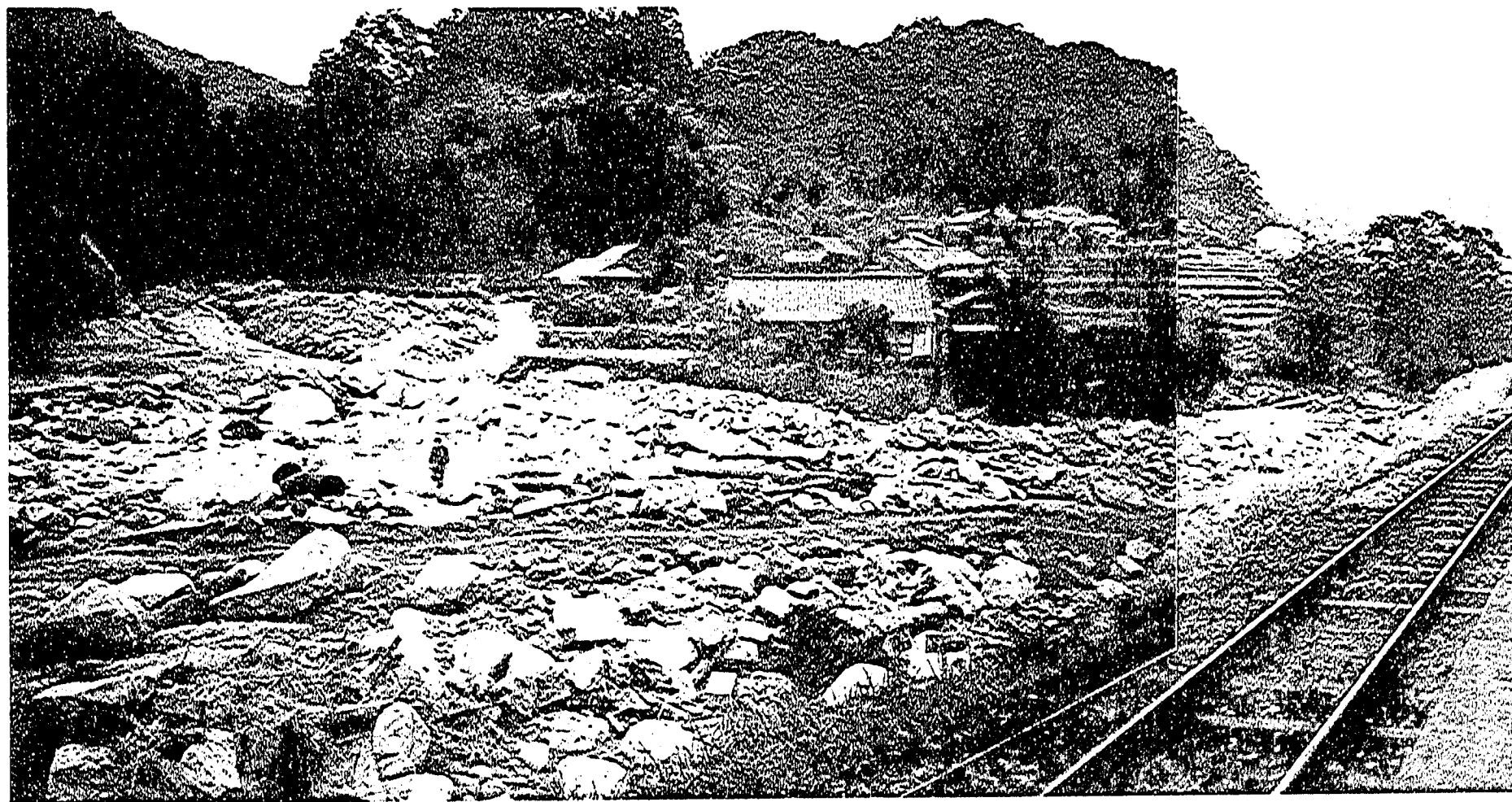


写真 - 3.8 鉄道盛土を挟んで上流側の状況（江河内谷川）

- ・土石流を全く捕捉せず、下流へ流下（鷺渡瀬沢）

の3形態であった。また、流木については

- ・流木のうち巨木（ $L = 5\text{ m}$ 以上）については大部分を氾濫域の外側で捕捉した。（江河内谷川）

- ・流木を盛土に沿って氾濫域の外側へ誘導し、堆積させた。（鷺渡瀬沢、木坂西川）

の2形態であった。

（１） 江河内谷川

図-3.24 に鉄道盛土の形状を示す。

江河内谷川では、盛土の上流側で土石流の巨礫を含む本体の大部分が堆積した。これは盛土下流への流出口が2ヶ所のカルバートであったため、盛土付近を中心に上流側に土砂が厚く氾濫堆積したため、この区域において5戸の家屋が全壊した。

下流側では、上流域で土石流が停止したため、結果的に細粒の土砂が広範囲にわたり氾濫した。盛土がなかった場合を想定すると被災家屋は大幅に増えたと考えられる。土砂の流送形態は、上流域が土石流であったのに対し、下流域では掃流と考えられる。

（２） 鷺渡瀬沢

鷺渡瀬沢では、上流側後背地盤との比高が約0.5 mと殆んどなかったため、土石流は捕捉されず越流・流下した。結果的に盛土による影響は殆んどなかったといえる。

（３） 木坂西川

木坂西川では、盛土により土石流の一部を捕捉したが、容量が不足で土砂は盛土を越流し下流へ流下した。盛土上流部では、氾濫の巾が60~70 mとなっているのに対し、盛土天端では50 mと若干巾を狭めており、盛土下流の家屋の被災を軽減している。また、右岸側の低地部へ土砂、流木が流出しており、導流堤的な効果も見られ、災害の軽減に役立っている。

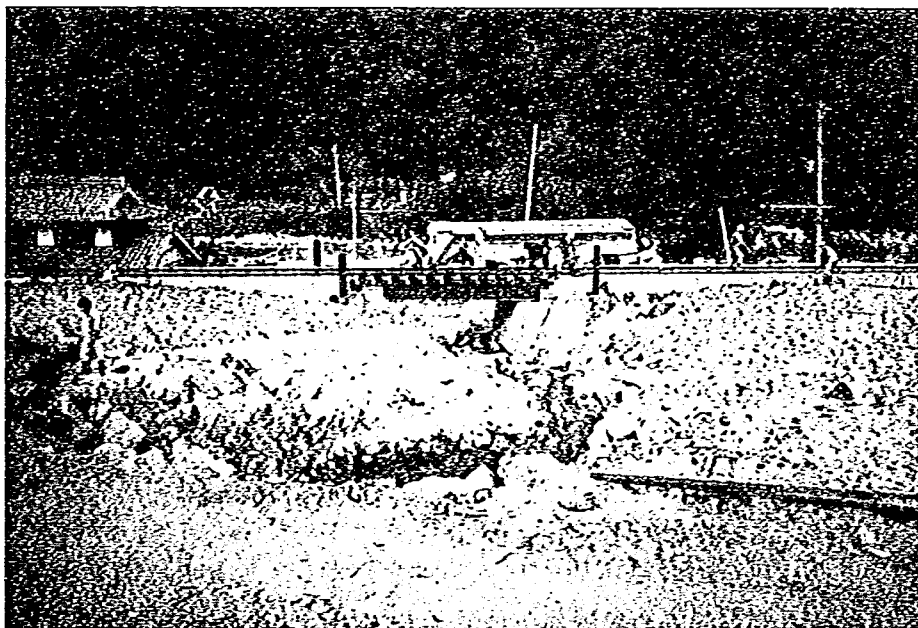


写真-3.9 鉄道盛土上流側の状況（木坂西川）

3.9 立木群の効果

当該地域では、スギ・ヒノキを中心に広範囲な針葉樹林が分布している。今回の災害ではスギ・ヒノキ林地において数多くの崩壊地が発生し、多量の樹木が流出した。一方、河道内の平坦地に成育しているスギ・ヒノキ林は、これらの流木や土砂、礫を捕捉し、土砂流出の軽減に効果をもつものも見られた。ここでは、樹木による土石流や土砂流の捕捉・分散効果に関して、樹木の大きさ、密度、位置と、土石流の流下形態との関係に着目して考察する。対象とした溪流は、峠谷川（№4）、上原谷川（№14）、辻の河原谷川（№15）の3溪流である。

(1) 峠谷川（№4 溪流）

図-3.25 に平面図、写真-3.10 に堆積状況を示す。

峠谷川では、2つある氾濫域のうち下流側の氾濫域において樹木による土砂、流木の捕捉効果が確認された。

樹林帯は、谷の出口から約450m下流に位置し、幅30m、長さ40mの範囲で、樹高5～8m、胸高直径10cm～15cmのスギ林である。樹木の間隔は2～3mであり密度は9.25本/100m²であった。また、この樹林帯は巾30～40m、長さ100mの旧河床堆積物の平坦地にあり、河床との比高は0.5～0.8mである。河床勾配は2.3°であり、一般的に土石流の堆積区域である。土石の堆積深は、石礫の堆積地で0.5～1.0m、土砂の堆積地で0.2～0.5m程度であった。

峠谷川では、谷出口から巾30m～50m、長さ350mにわたって土石流が氾濫し、樹林帯地点での氾濫は、これより100m下流の地点である。

(2) 上原谷川（№14 溪流）

上原谷川では、3.6「微地形の影響」で述べたように、左岸斜面からのびる小規模な尾根地形上にスギが成育しており、土石流、流木の越流を防いだ。また右岸側においても、土石流の拡幅を樹林帯が防いでいる。

図-3.26 に平面図、写真-3.12 及び 3.13 に堆積状況を示す。

(2.1) 左岸側

左岸側斜面より小規模な尾根が右岸側へのびており、スギ林となっていた。スギ林は、樹高8～10m、胸高直径10cm～14cm、樹木の間隔は1.5～2.0m程度である。河床との比高は3～4mあり、河床の勾配は15°であった。この樹林帯は、溪流の曲流部にあたり、土石流痕も左岸側の方が高く、この樹林帯がなければ左岸側の人家へ土石流が流下したと考えられる。樹林帯内縁部（土石流との接触部）では、土砂と流木が高さ1m程堰あげており、小規模な堤防の役割を果たしたと思われる。

(2.2) 右岸側

右岸側は、樹高8～10m、胸高直径10～14cmのスギ林となっており、樹木の間隔は、1.5～2.0mである。樹林帯と土石流との接触部では、左岸側と同様に土砂と流木が堰上げられ、小



写真 3.1 0 堆 積 状 況 (峠谷川)

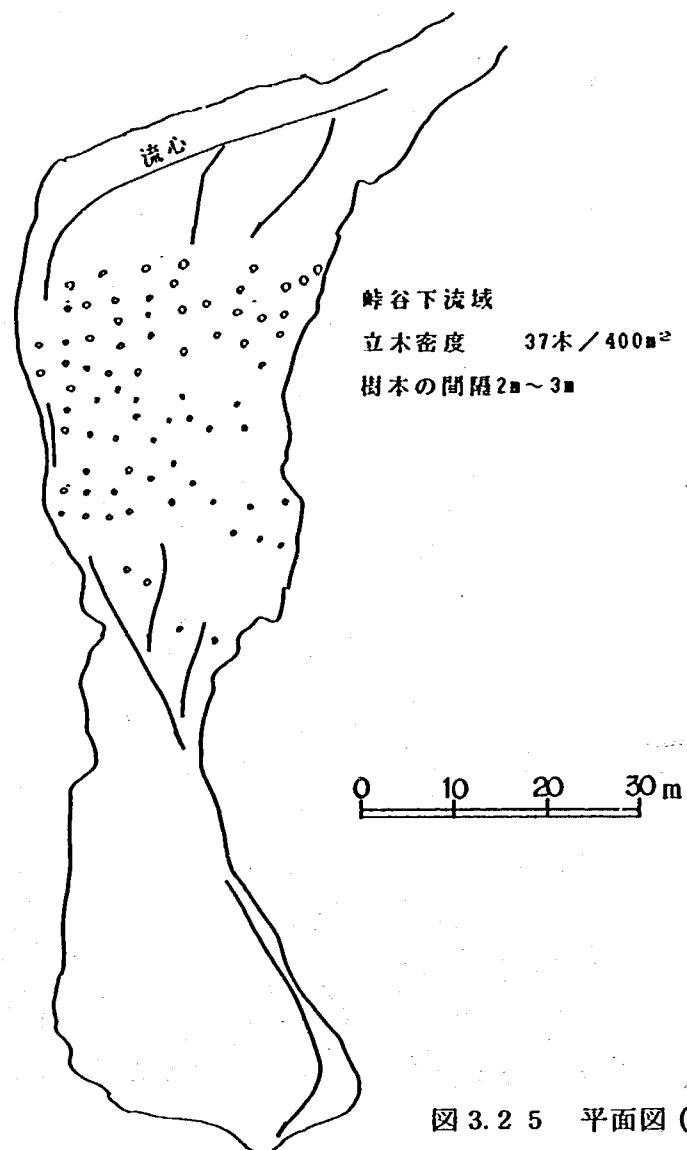


図 3.2 5 平面図 (峠谷川)

規模な堤防となっている。地形的には、右岸側へ下る傾斜地となっており、土砂や流木の氾濫の拡幅を防ぐ効果を示した。

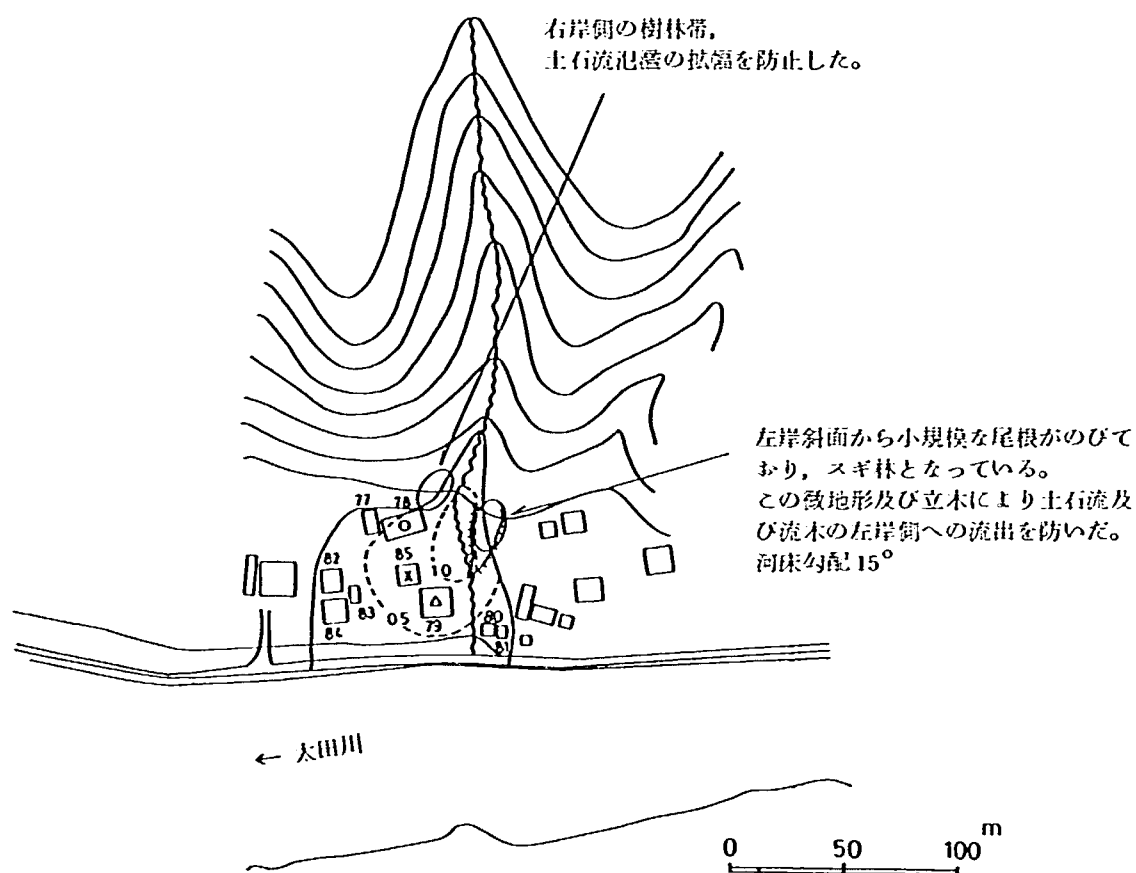


図-3.26 平面図(上原谷川)

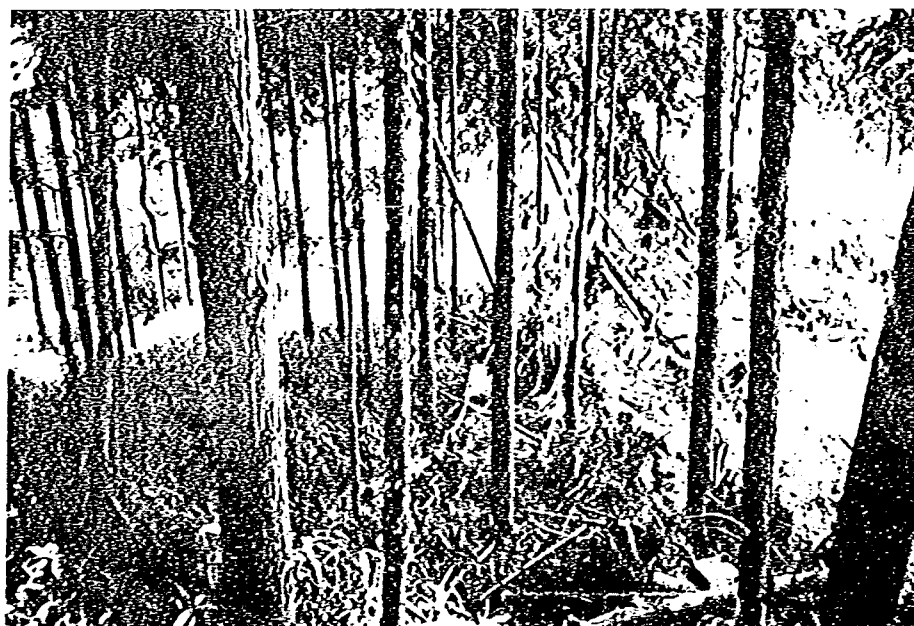


写真-3.11
堆積状況(上原谷川)
約1mの高さで、流
木と土砂が堆積し、
左側の人家への流出
を防いだ。



写真-3.12

下流右岸側から上流
をのぞむ(上原谷川)

(3) 辻の河原谷川

辻の河原谷川では右支川からの土石流が，下流の谷及び扇状地で氾濫した。写真-3.13は，下流の溪流内に成育しているスギによる巨礫の捕捉状況である。この付近は，河巾4～6m，河床勾配9°（一般的には土石流流下区間）である。巨礫を停止させたと考えられる樹木は，胸高直径50cmの巨木であり，上流側の樹皮は，高さ1.6mまで削ぎとられていた。

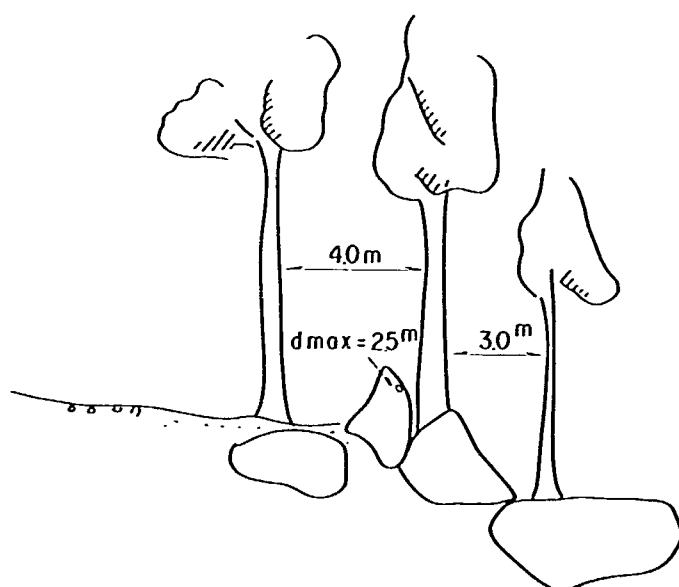


図-3.27 立木の模式図



写真-3.13 停止状況
(辻の河原谷川)
土石流の巨礫が胸高
直径50cmのスギによ
り停止している。
(上流側からのぞむ)

(4) 考 察

対象とした3ヶ所の特徴を整理すると以下のとおりである。

- ・峠谷川では、土石流の堆積区間において、樹林帯が面的な土石流の捕捉効果を発揮した。
- ・上原谷川では、土石流の流下区間において、樹林帯が土石流の拡幅を規制する効果を発揮した。
- ・辻の河原谷川では、土石流の流下区間において、樹木が土石流の巨礫を停止・捕捉する効果を発揮した。

また、これらの効果を発揮できた樹林帯の条件として、

- ・峠谷川では、土石流の堆積区域において、適当な密度と広さをもった樹林帯であったこと。
- ・上原谷川では、土石流の流下区域において、適当な密度と強度（胸高直径）をもった樹林帯であったこと。
- ・辻の河原谷川では、土石流の流下区域において、適当な強度（胸高直径）をもった樹木であったこと。

が考えられる。

3.10 溪床堆積物調査

調査対象区域内の3溪流について各溪流の中流部と下流部の2地点において計6試料の粒度分布試験を実施した。(図-3.28)

粒度分布試験は、大粒径(5cm以上)については現地において線格子法により、小粒径(5cm未満)については各4kg以上の試料を採取し、室内試験を行ない、粒径加積曲線を合成し、作成した(図-3.29~31)。

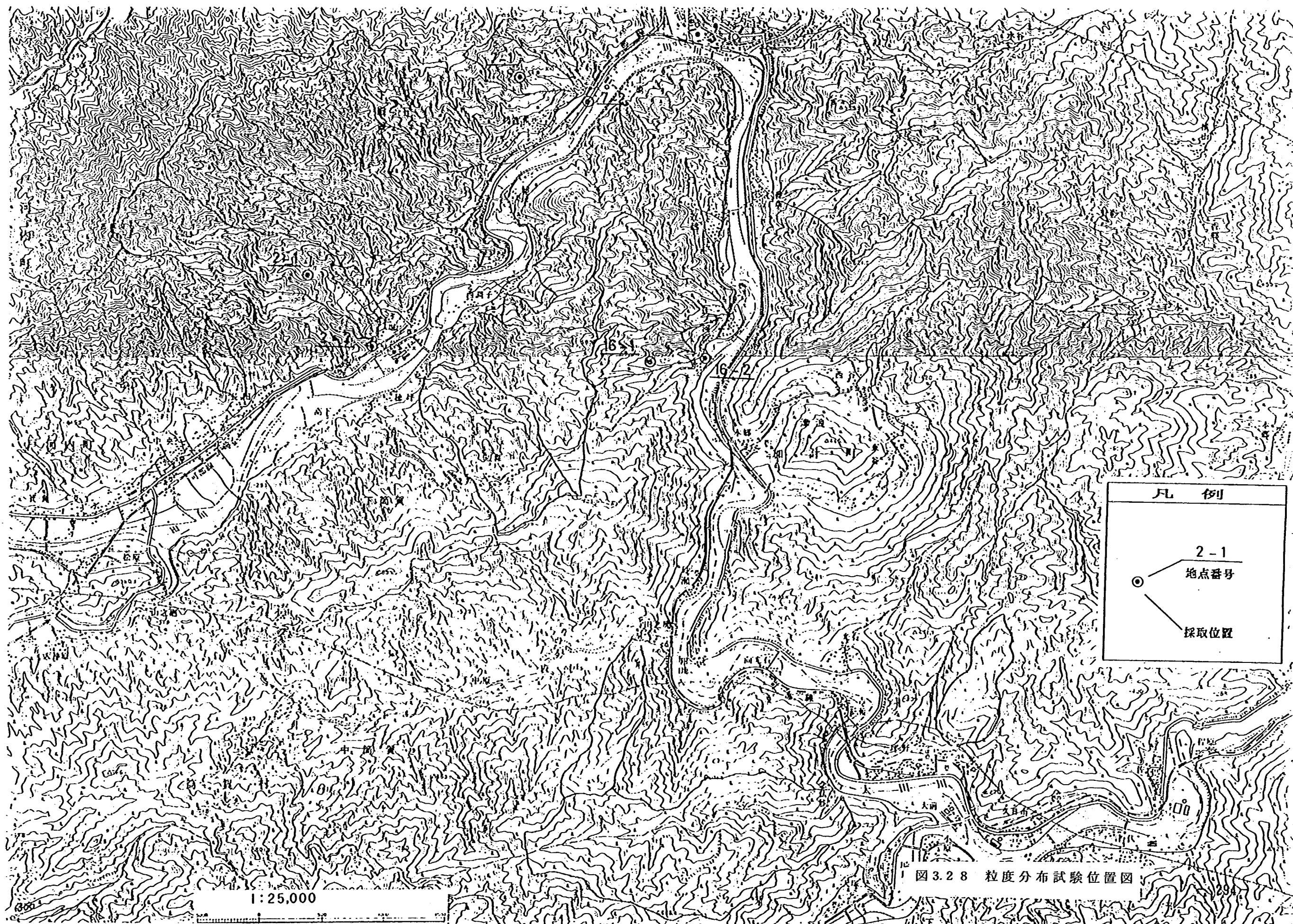


图 3.28 粒度分布試驗位置图

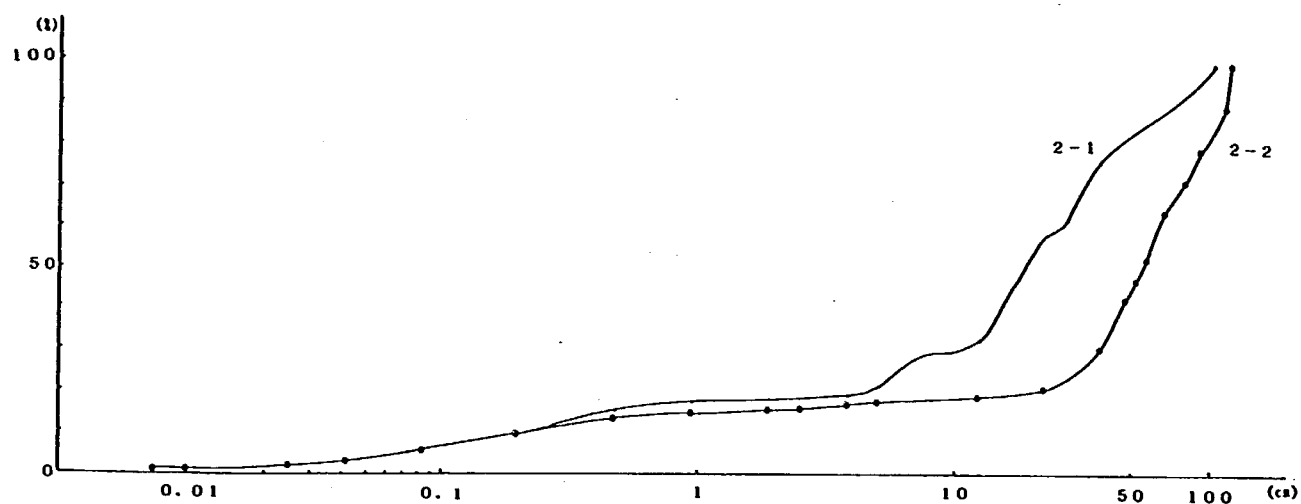


图-3.29 粒 径 分 布 (江河内谷河)

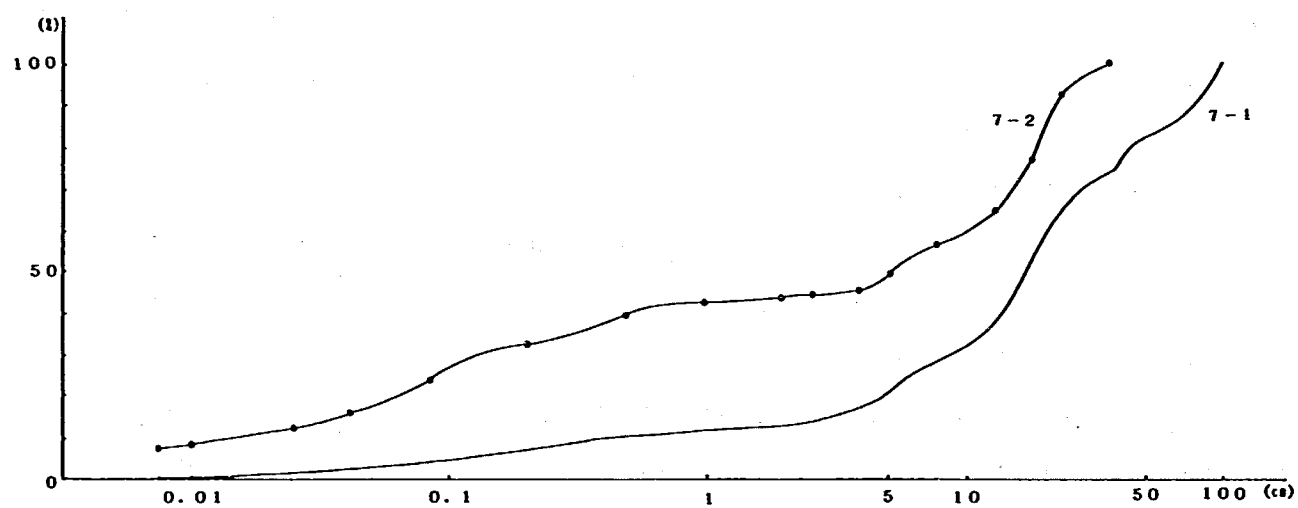


图-3.30 粒 径 分 布 (木坂西川)

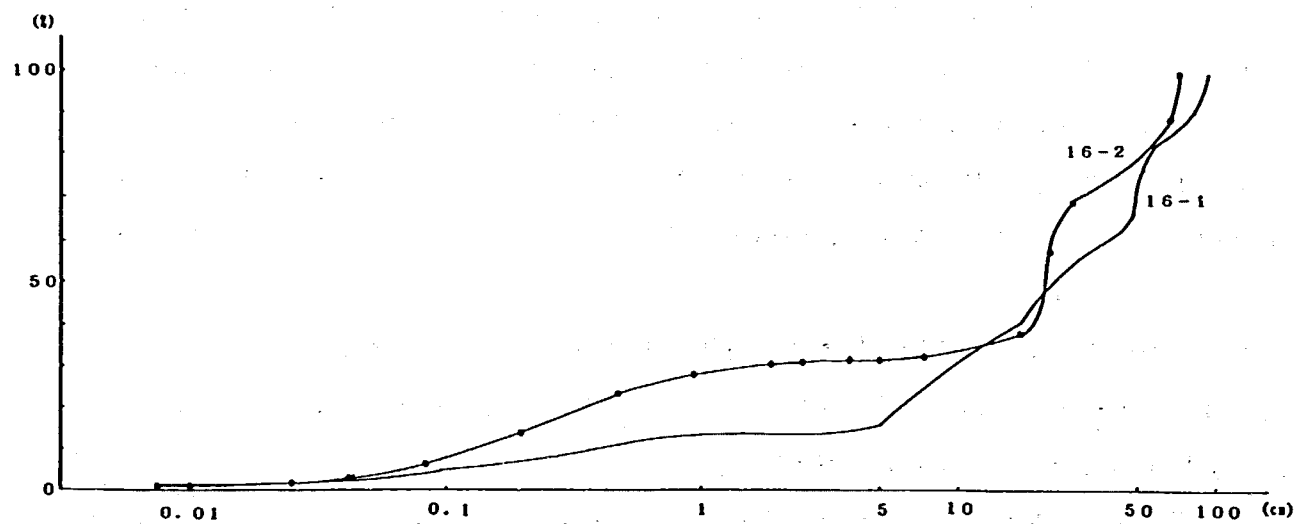


图-3.31 粒 径 分 布 (中尾谷川)

4. ま と め

今回の調査により得られた知見をまとめると以下のとおりである。

(1) 今回土石流が集中して発生したのは加計町中央部の太田川沿いの3～4km四方の極めて狭い地域であった。死亡者のうち、加計町の11名は全て土石流によるもの、隣の戸河内町の3名は車で避難中に川に軽落したことによるものである。

(2) 当該流域の地質は、ほとんどが広島花崗岩及び中古生層で、いずれも風化状況が著しく、土石流ならびに崩壊の発生しやすい状況にあった。昭和47年にも土砂災害や洪水が発生し、加計町で5名が亡くなっている。

(3) 土石流発生部において崩壊の発生原因を検討するため、土層観察、一面せん断試験、透水試験を行ない、その結果を基に斜面安定解析を3ケース行ない、崩壊発生原因の検討を行った。この結果2ケースでは安全率が1を下回り、崩壊を説明する結果が得られたが、1ケースは安全率が2以上になった。この理由は、この斜面の粘着力が他の斜面に比べ特に大きな値をとり、これが安定解析に大きく影響しているためで、このケースの崩壊形態はせん断破壊によるものではないと思われる。

(4) 土砂ならびに今回の災害の特徴の一つに挙げられる流木について溪流毎に崩壊地から氾濫域までの収支をまとめた。単位面積当りの流出土砂量は $400 \sim 65,800 \text{ m}^3/\text{km}^2$ で、流木の単位面積当りの生産本数は、 $60 \sim 5,400 \text{ 本}/\text{km}^2$ であった。大部分の溪流では、不安定土砂が削りとられて露岩しており、扇状地に氾濫・堆積した。

(5) 調査対象溪流内に施工されていた21基の治山・砂防ダムについて、その効果を規模及び設置位置、勾配等を考慮して検討した。当然の事ながら、捕捉容量を上回る土砂が流出した溪流では、砂防ダムより下流に流出し災害が発生した。堆砂勾配は、元河床勾配の1/2を上限とする値になっており、河床勾配が急な程、この比は小さくなる傾向にあった。また、施設の破損状況を調査した。

(6) 立木が土石流により流出し、流木となり、堆積する迄の形態の変化について検討した。すなわち、流木はほとんどが根の部分から丸ごと流出しており、流下中に約半分程度に折れたものと思われる。流木はスギ、ヒノキ等の針葉樹の割合が広葉樹に比べ圧倒的に多かった。

(7) 107戸の土石流氾濫区域内の家屋のうち、今回の災害で約7割にあたる84戸が土砂災害により被害を被った。家屋の被災度について検討した結果、エネルギー指標との相関が最も高いことが明らかとなった。

(8) 土石流の氾濫・堆積区域に影響を与えたと思われる微地形や構造物について検討した結果、比高3～4mの微地形が土石流の流向を規制し、一方、木造家屋のような比較的弱い構造物でも氾濫堆積に影響を与える事が確認された。

(9) 鉄道盛土の被災状態について、その原因、箇所、形態について分類し、考察を行った。

(10) 一方、鉄道盛土が氾濫・堆積に与えた影響について検討し、盛土の上流側地盤に対する比

高により土石流の捕捉効果が大きく異なる事を確認した。

⑩ 樹木による土石流や土砂流の捕捉・分散効果に関し調査、考察した。この結果、緩勾配区間において立木群が面的な捕捉効果を発揮したり、直径約50cmの巨木がわずかではあるが巨礫を停止させ、その効果が認められた。

参 考 文 献

- 1) 土質試験法：土質工学会，p. 675，1984
- 2) 三笠・望月：二つの斜面安定解析法の提案，土木学会論文集 370号，1986

資料集

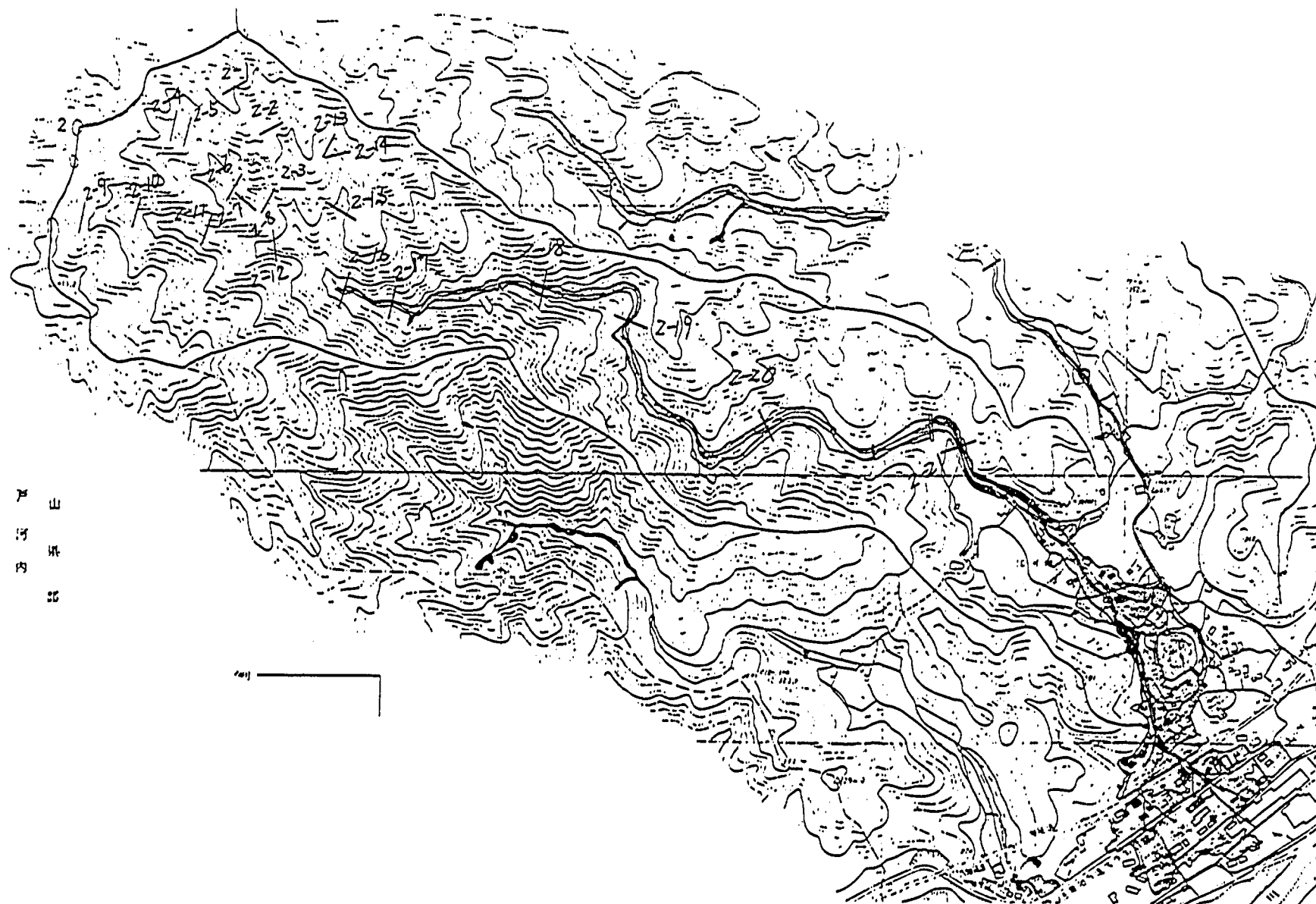
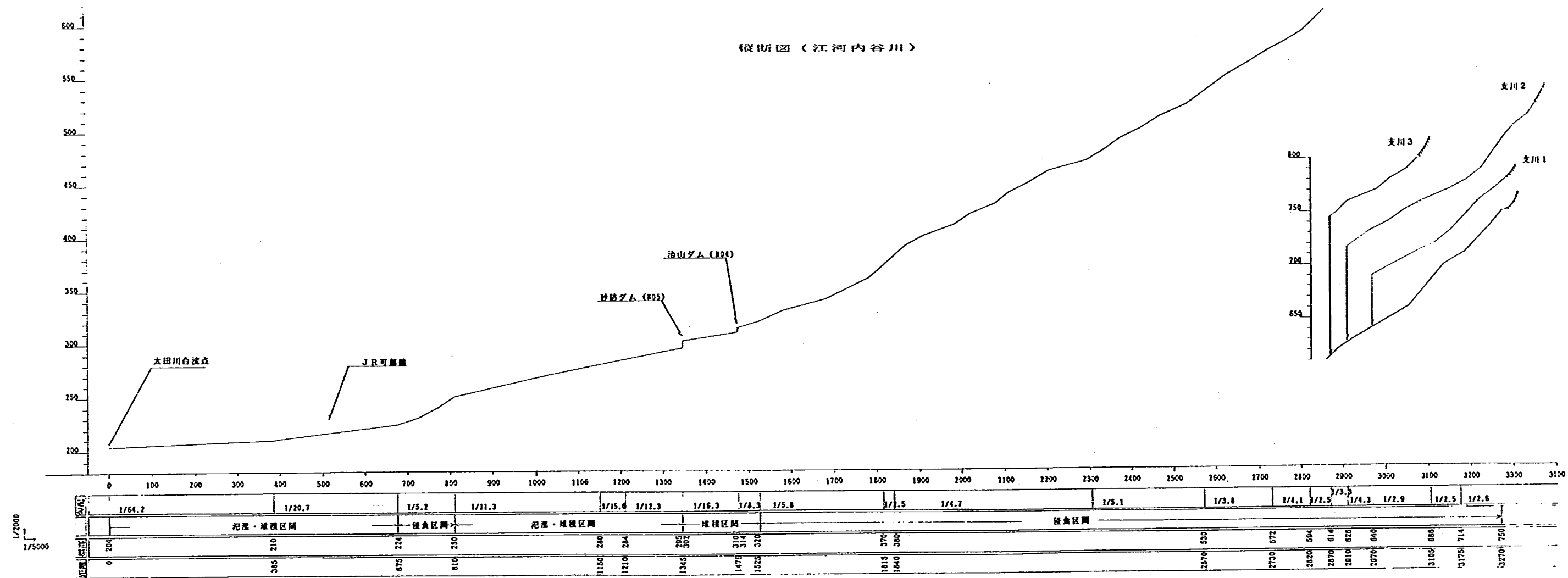


图 3.3 2 平面图 (S=1/10,000) (No. 2 溪流·江河内谷川)



-82-

図 3.3 3 縦断面図（No.2 溪流・江河内谷川）

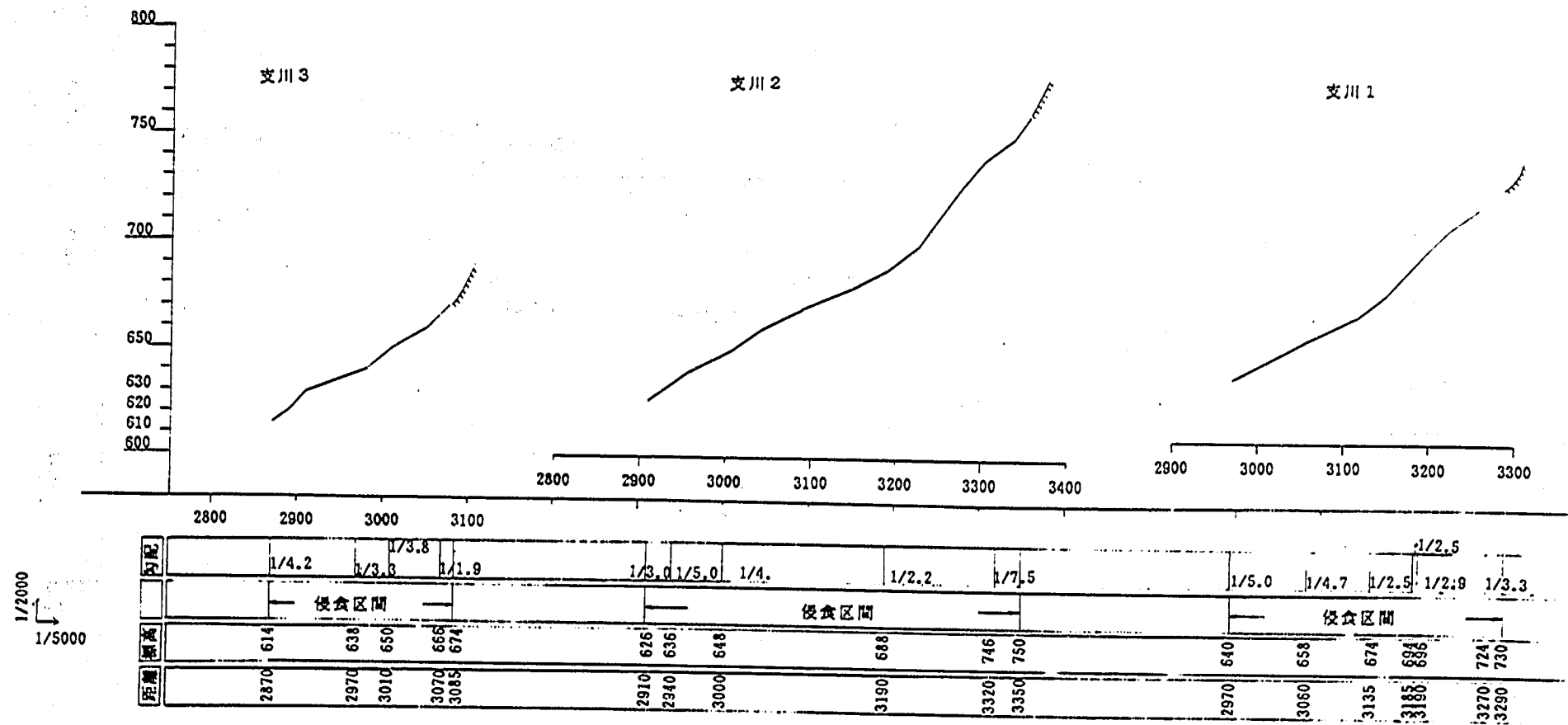


図 3.3 4 縦断図 (No. 2 溪流・江河内谷川)

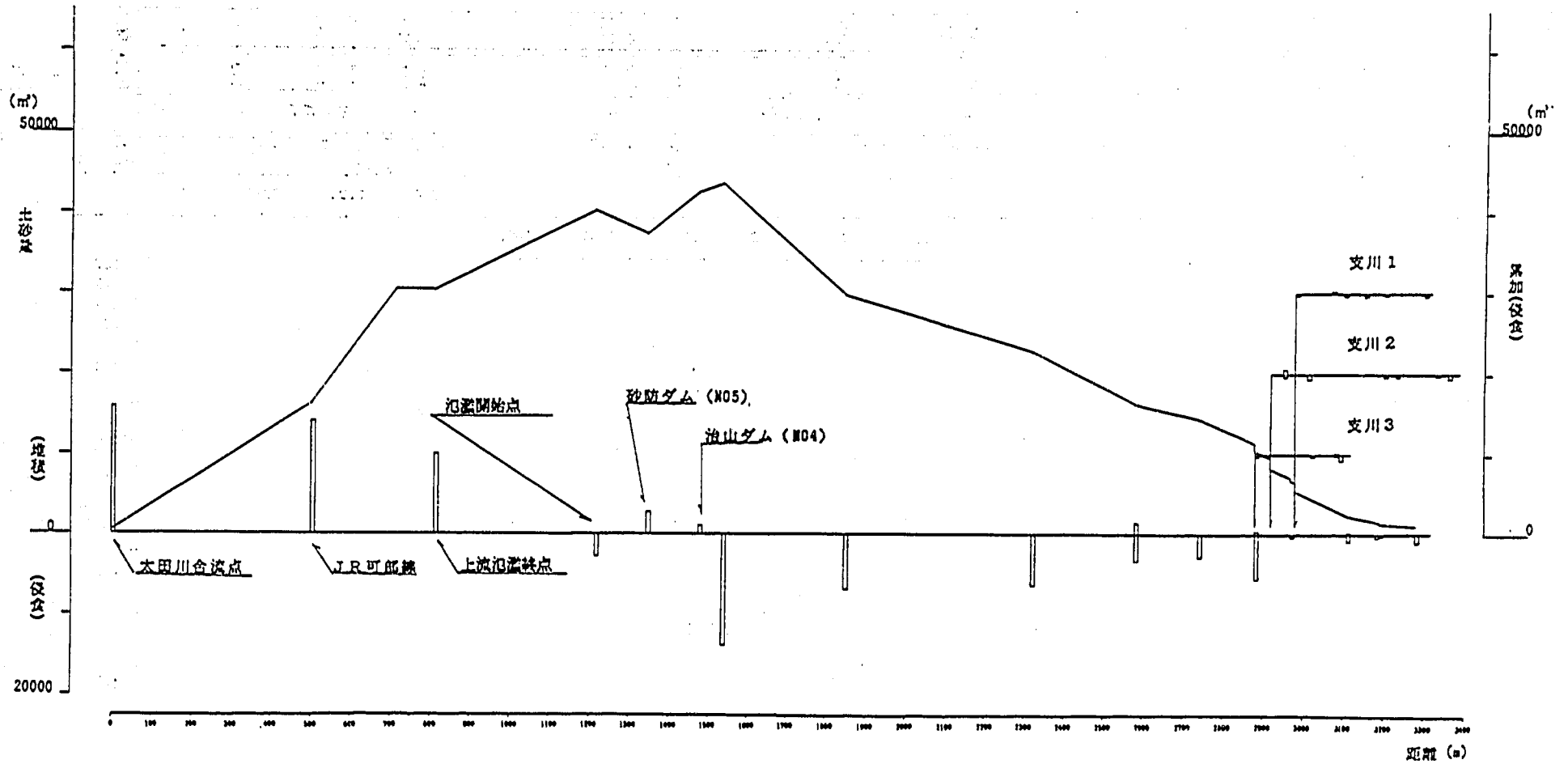


図 3.3 5 土砂収支図 (No. 2 溪流・江河内谷川)

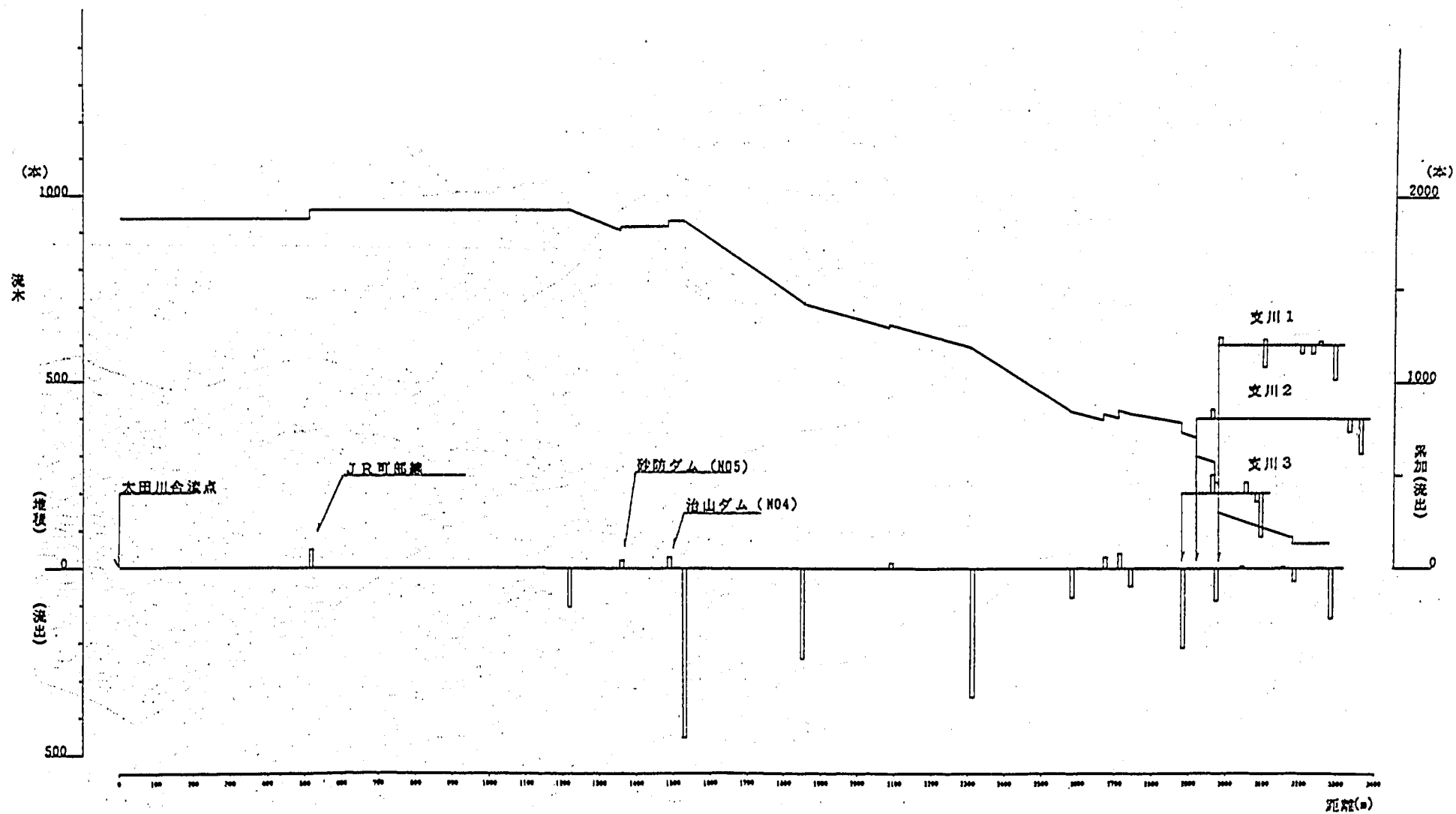


図 3.3 6 流木収支図 (No. 2 溪流・江河内谷川)

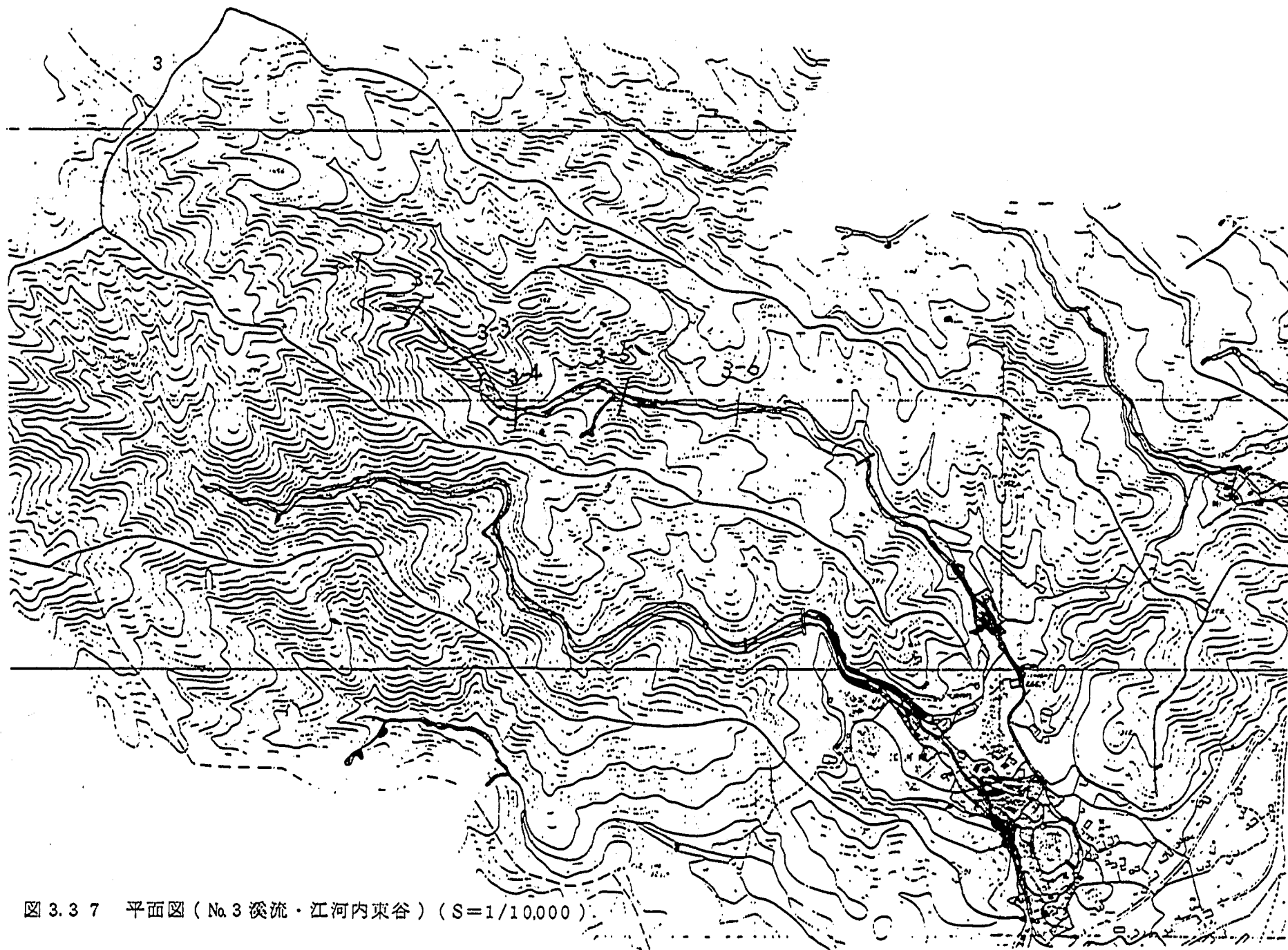


图 3.3 7 平面图 (No. 3 溪流·江河内东谷) (S=1/10,000)

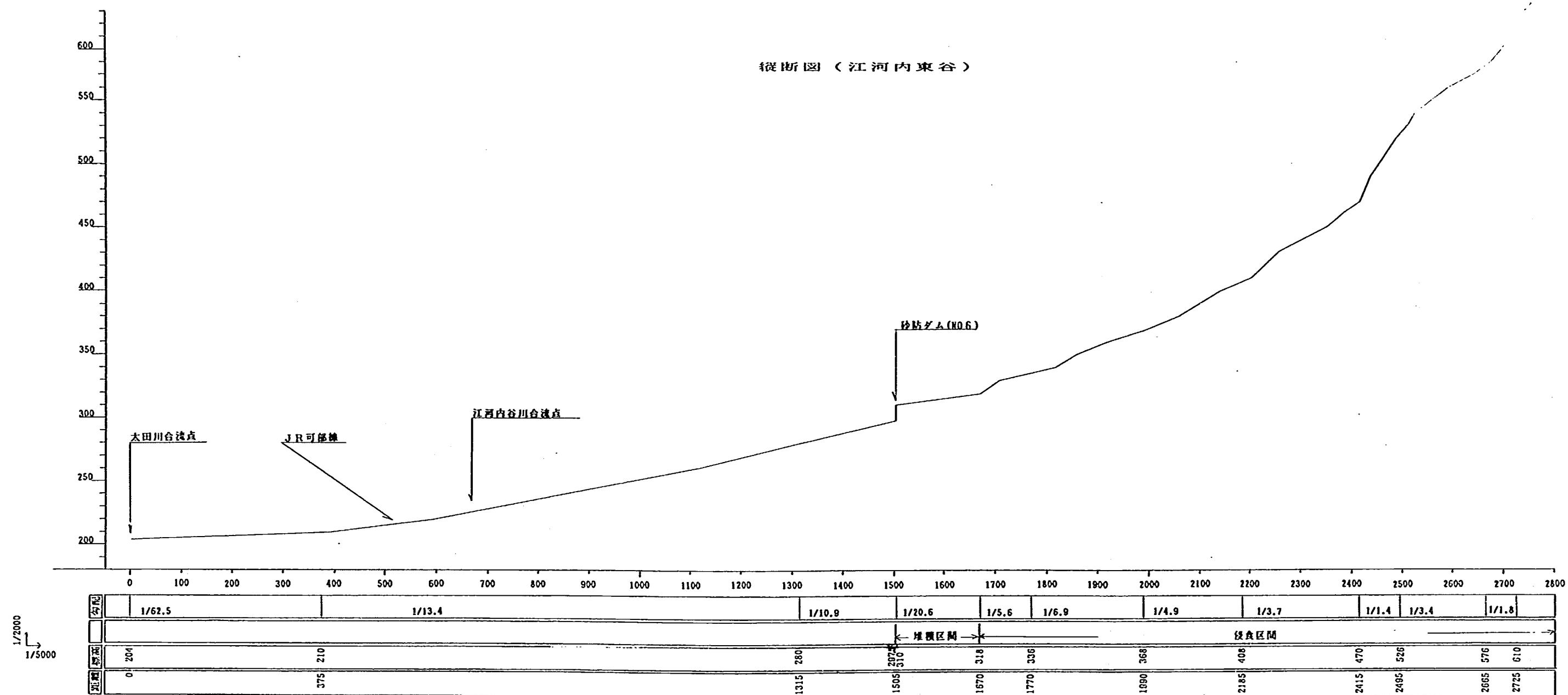


図 3.3 8 縦断面図（No.3 溪流・江河内東谷）

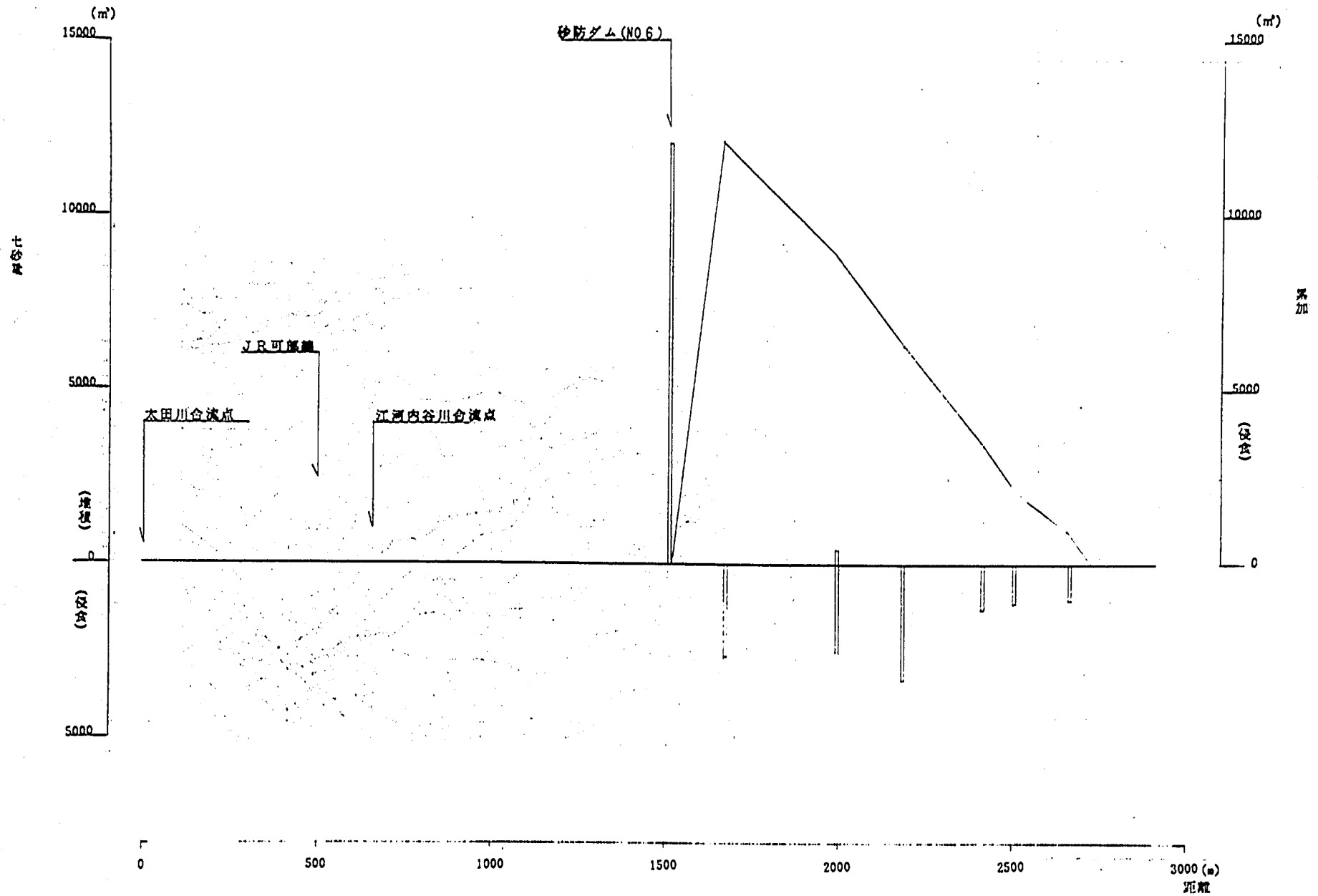


図 3.3 9 土砂収支図 (No. 3 溪流・江河内東谷)

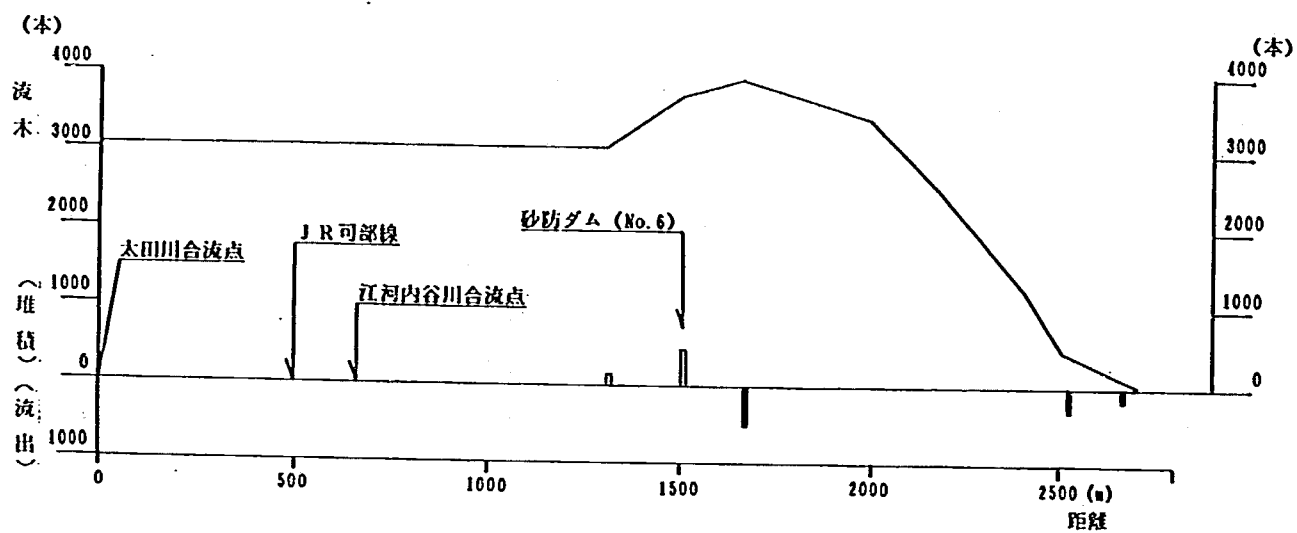


図 3.4 0 流木収支図 (No 3 溪流)

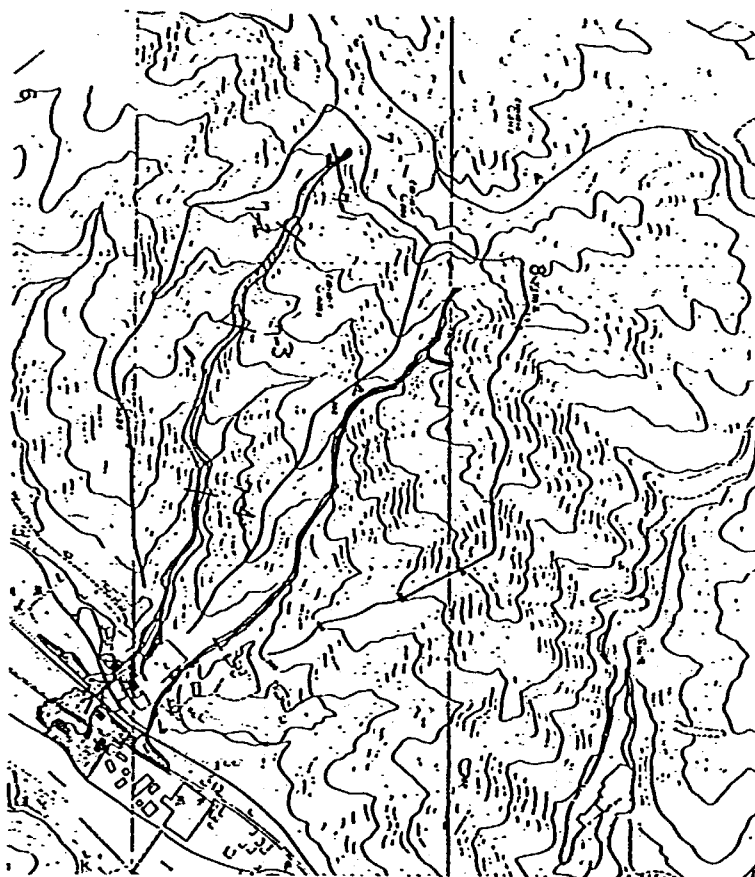


図 3.4 1 平面図 (No 7 溪流・木坂西川) (S=1/10,000)

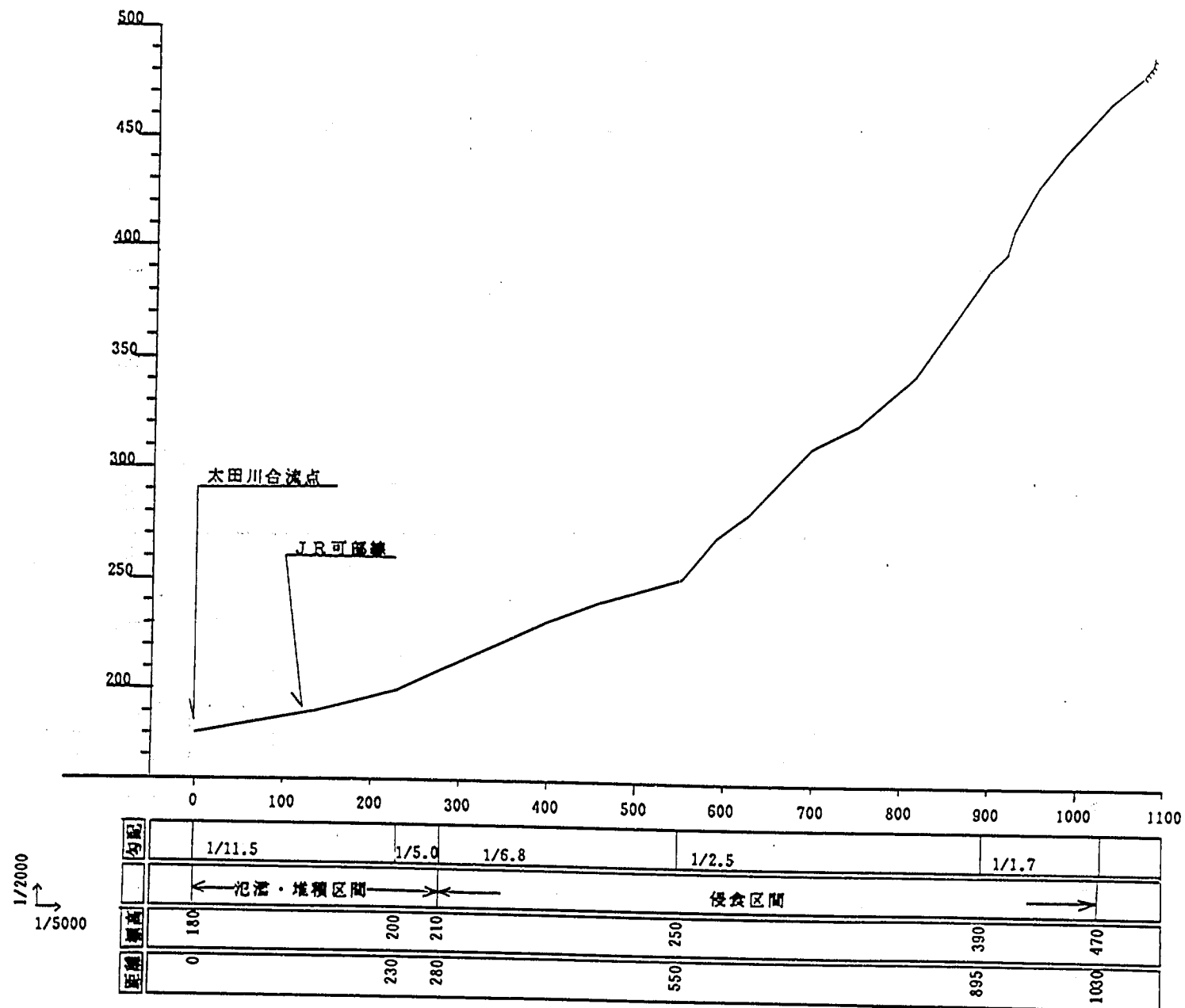


図 3.4 2 縦断図 (No. 7 溪流・木坂西川)

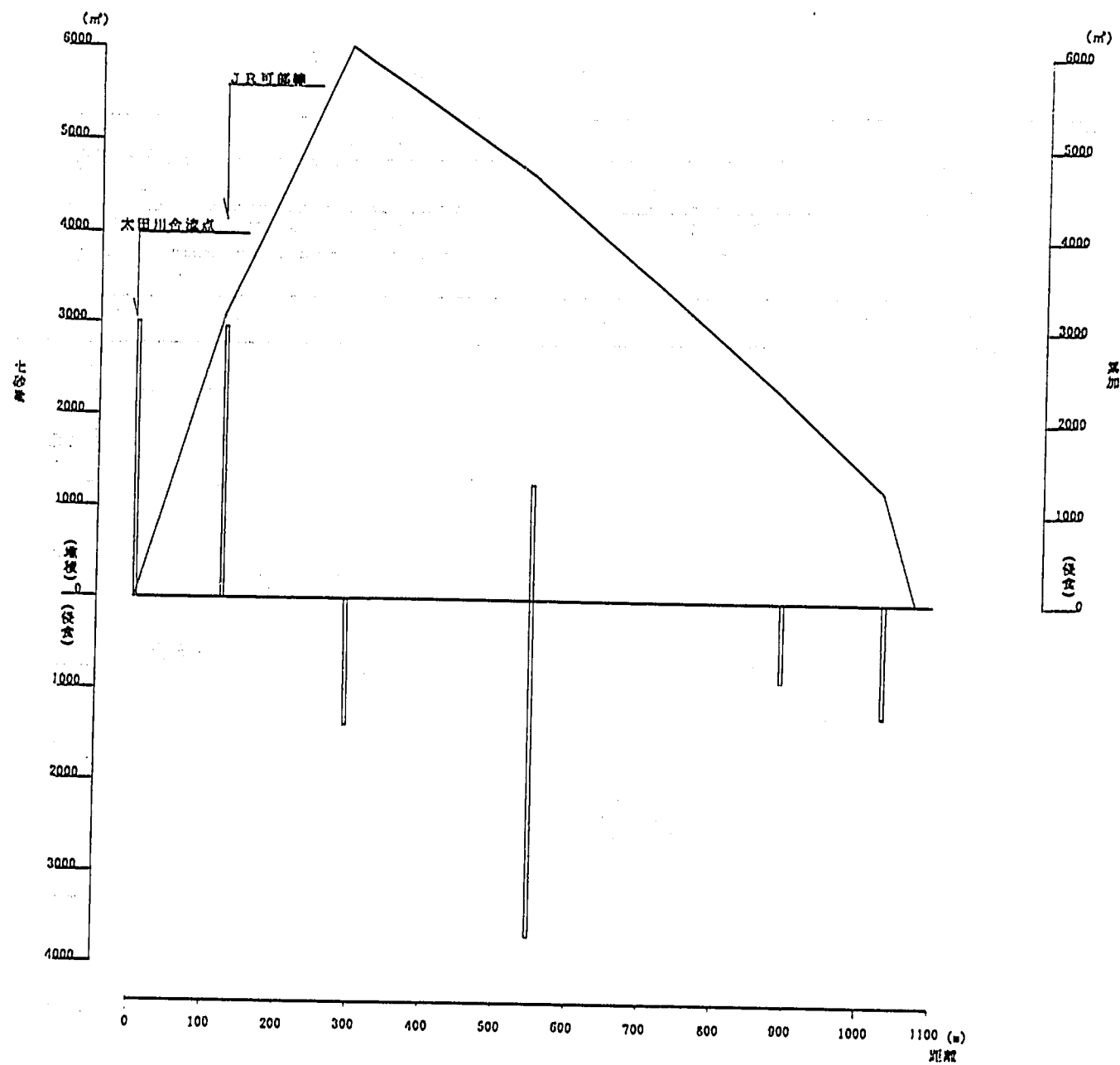


図 3.4.3 土砂収支図 (No. 7 溪流・木坂西川)

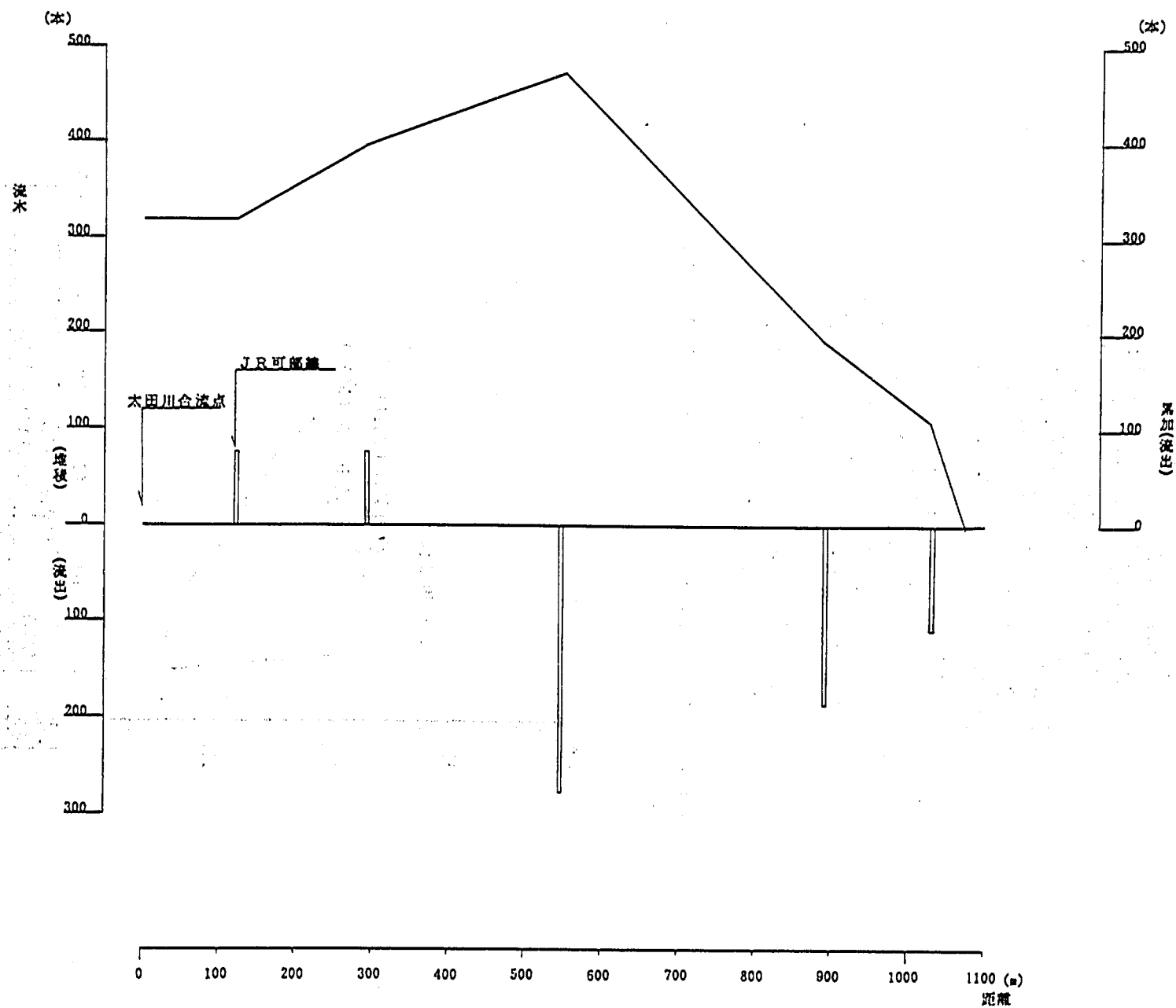


図 3.4 4 流木収支図 (No. 7 溪流・木坂西川)



図 3.4 5 平面図 (№ 1 4 溪流・上原谷川) (S=1/10,000)

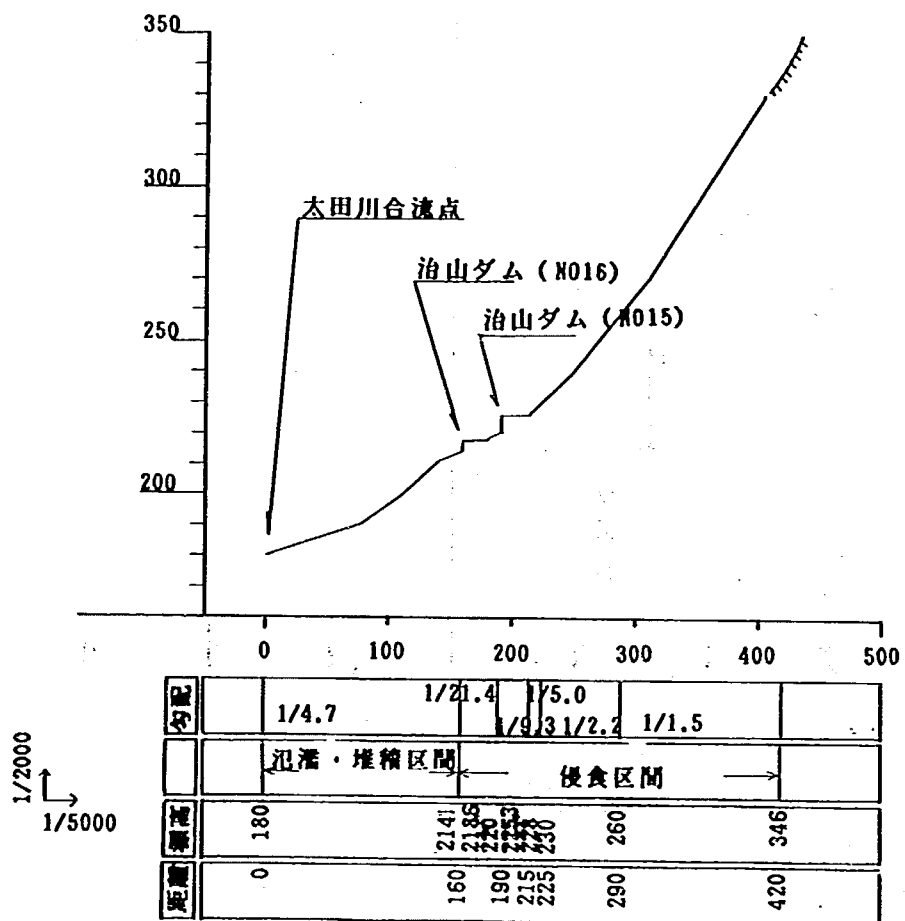


図 3.4 6 縦断面図 (№ 1 4 溪流・上原谷川)

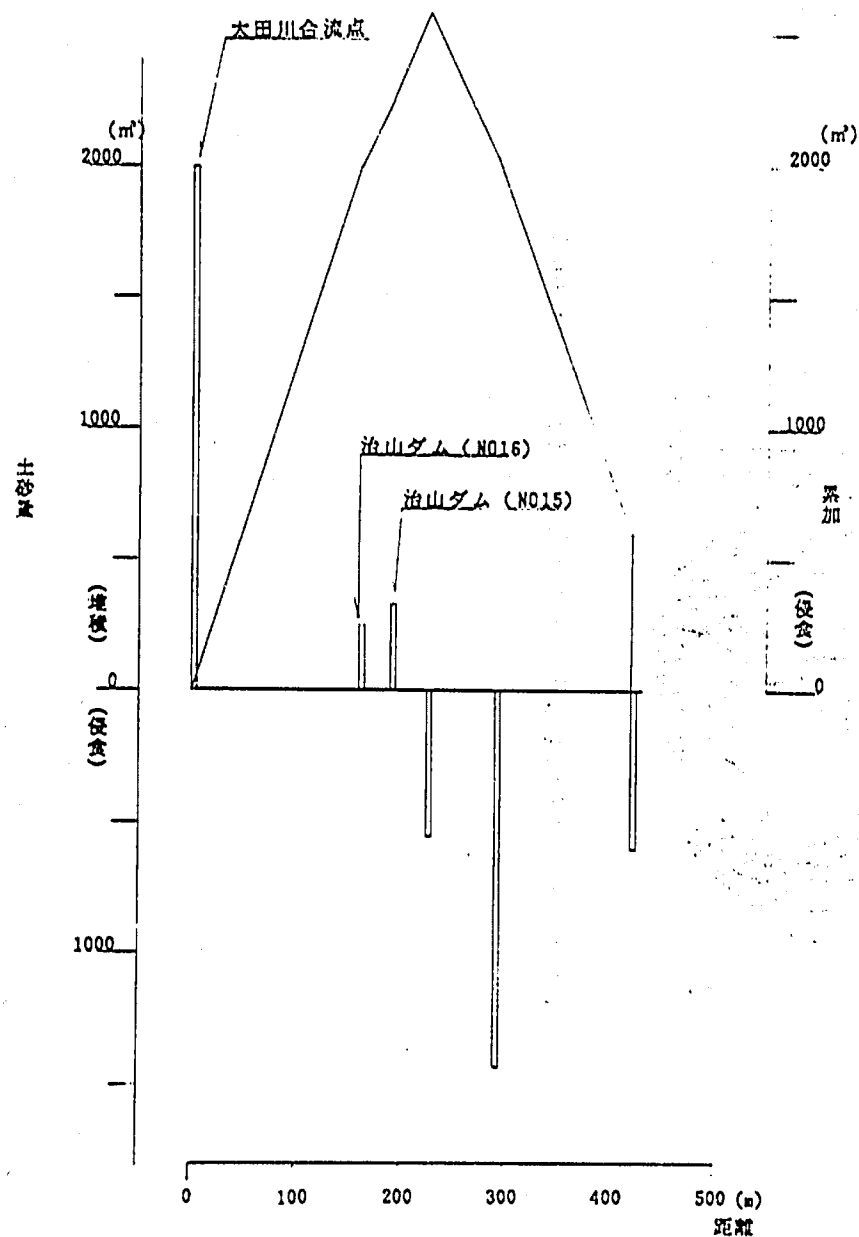


図 3.4.7 土砂収支図 (No. 14 溪流・上原谷川)

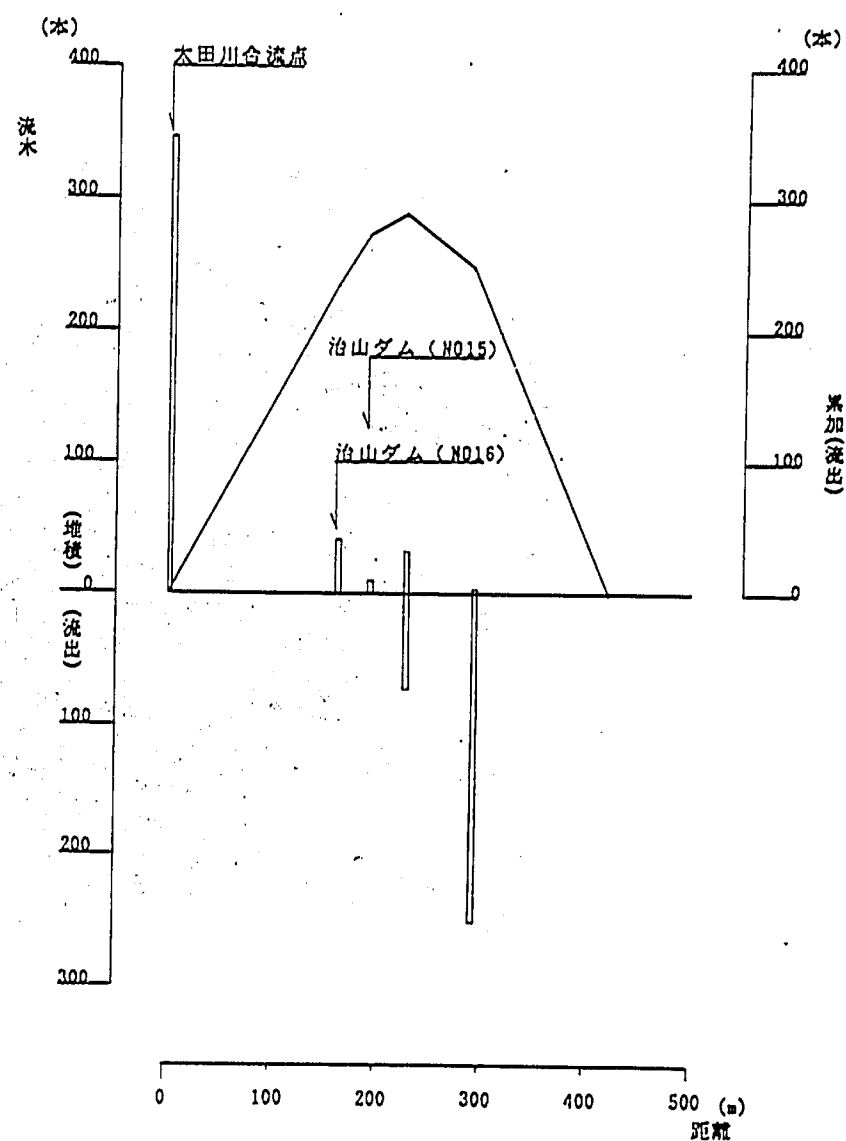


図 3.4.8 流木収支図 (No. 14 溪流・上原谷川)

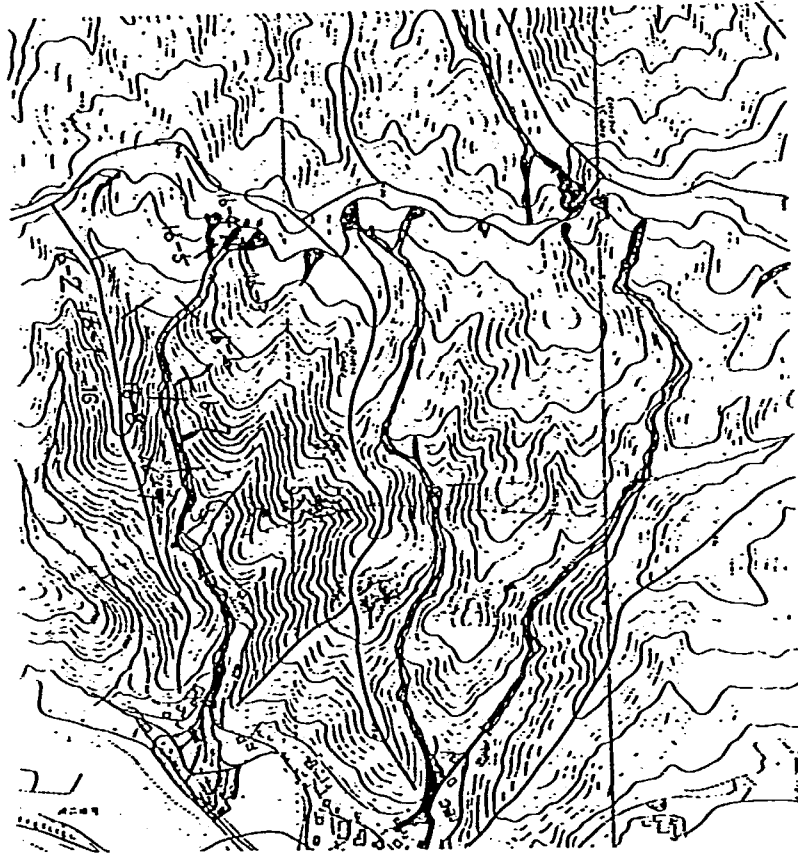


图 3.4 9 平面图 (№ 1 6 溪流 · 中尾谷川) ($S=1/10,000$)

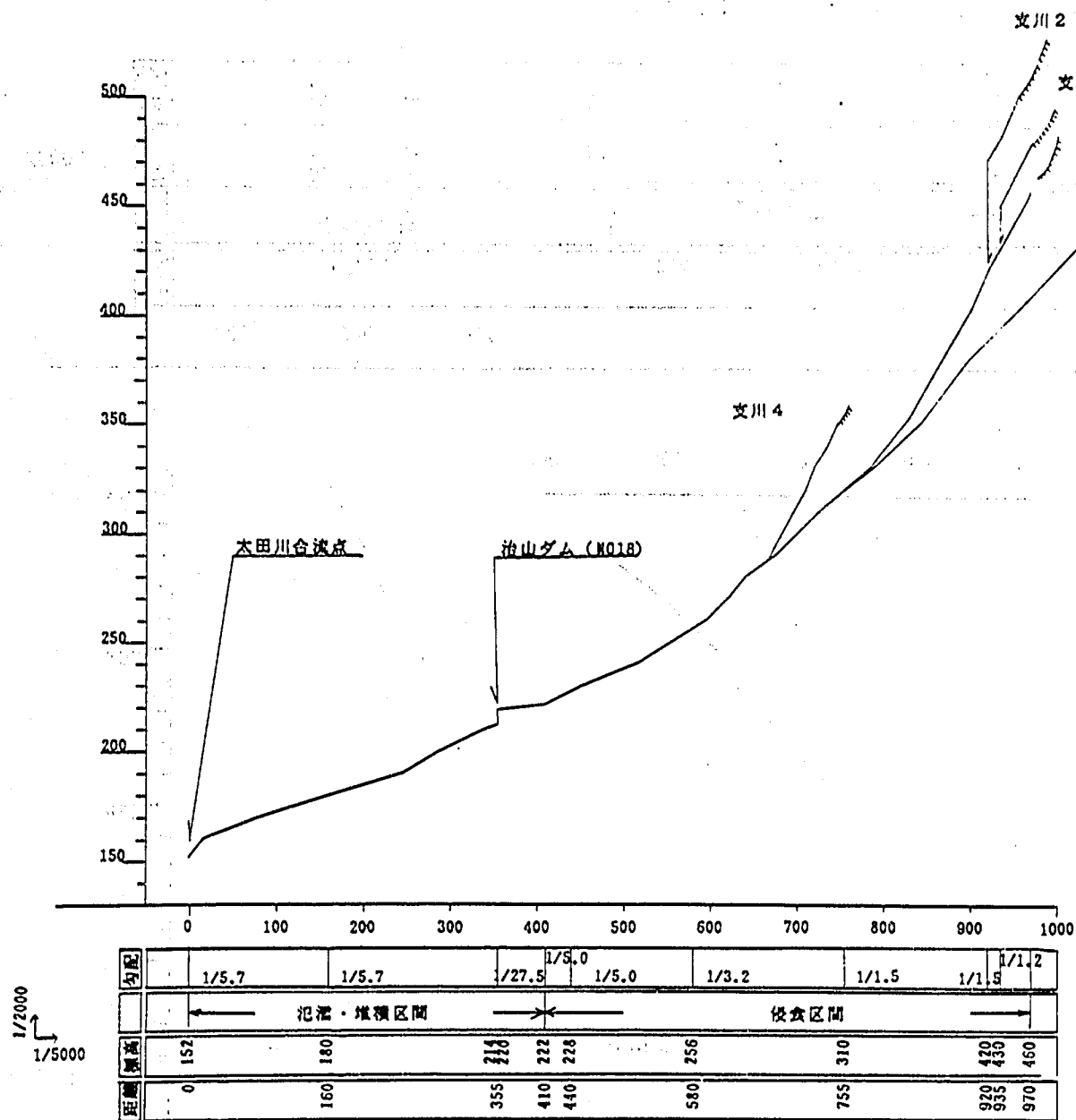


図 3.5 0 縦断図 (No. 16 溪流・中尾谷川)

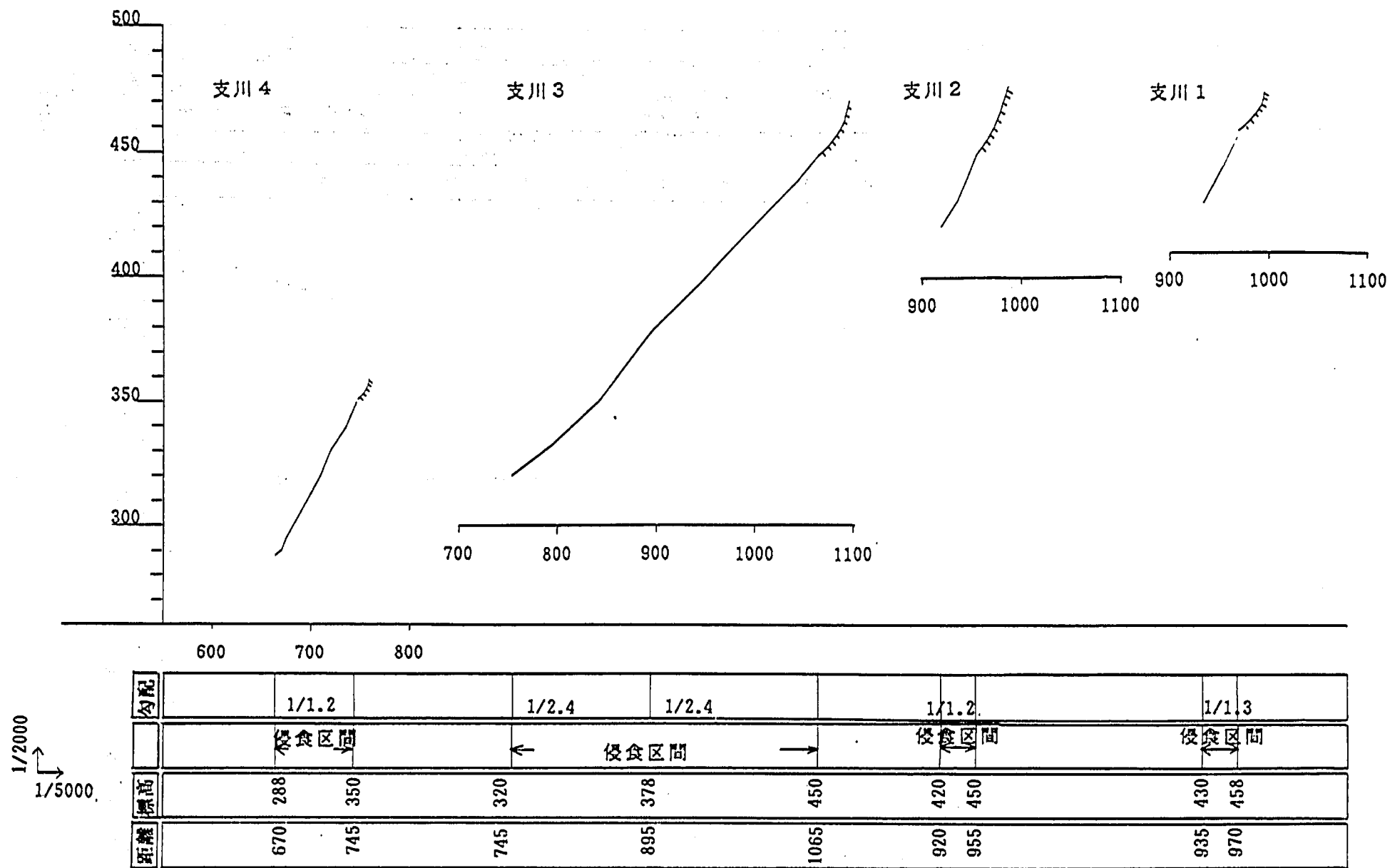


図 3.5 1 横断面図 (No. 16 溪流・中尾谷川)

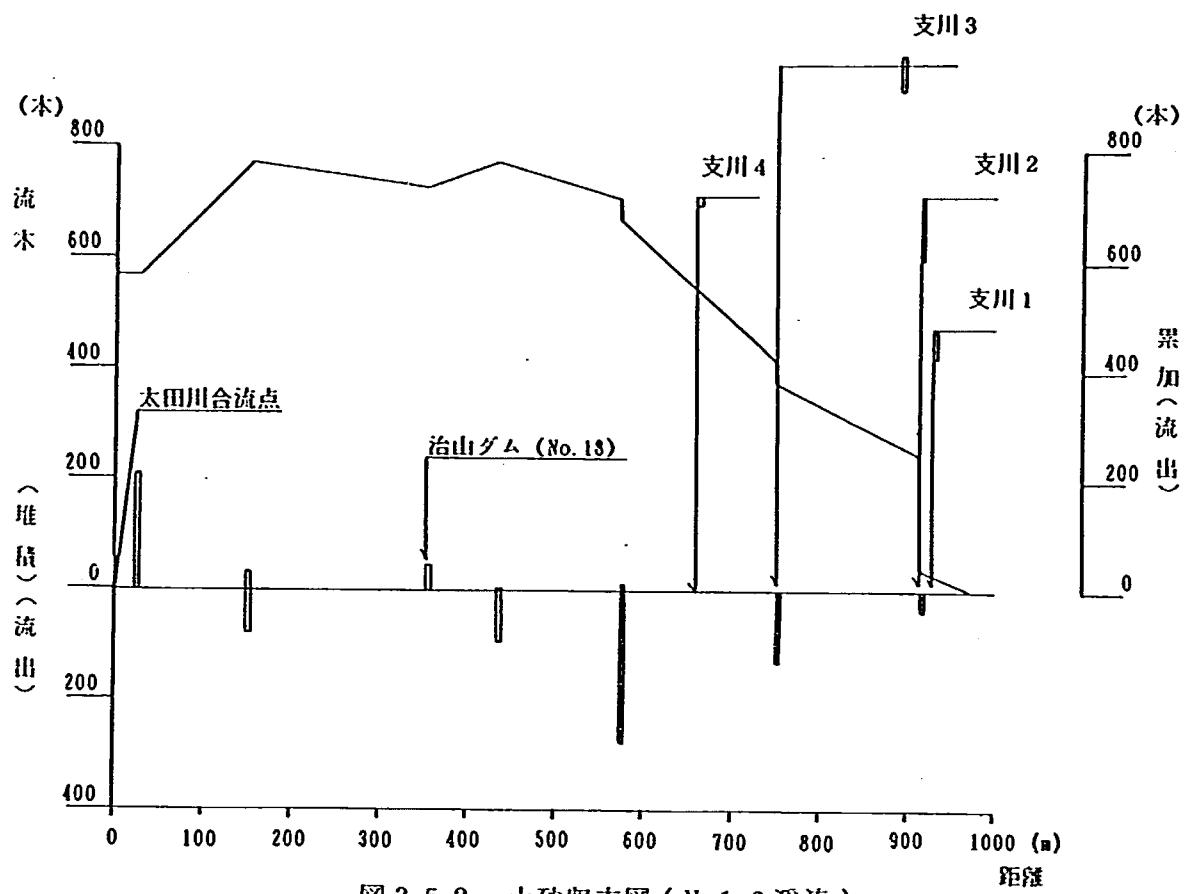


図 3.5 2 土砂収支図 (No. 16 溪流)

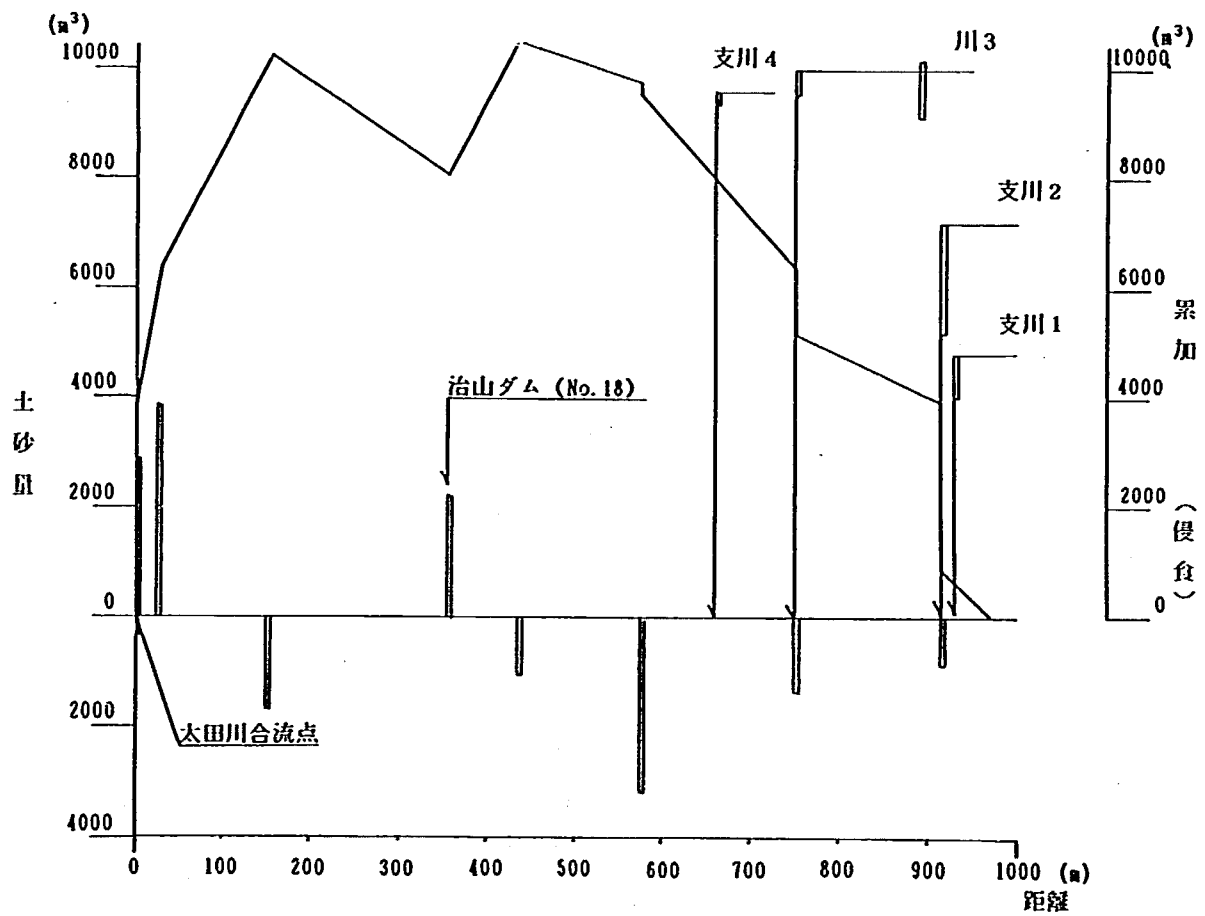


図 3.5 3 流木収支図 (No. 16 溪流)

昭和63年7月広島県北西部地域
土石流災害調査報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第2704号
平成元年2月 (1989)
建設省土木研究所砂防研究室
水山 高久, 石川 芳治
栗原 淳一, 鈴木 浩之

要旨 昭和63年7月20日から21日にかけて広島県北西部は、豪雨に見舞われ、土石流による大災害が発生した。本調査は今回の豪雨により発生した土石流災害の実態を明らかにすると共に、流木の発生、流下、堆積過程とそれらによる災害の実態を明らかにするため、また立木群による流木や土砂の捕捉、堆積効果及び砂防施設の効果を把握するために現地調査結果をとりまとめたものである。

キーワード: 土石流, 災害, ○ 砂防設備, 流木, 立木群

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防研究室 御中

No. _____

No. _____

土木研究所資料 2704号

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2704号

昭和63年7月広島県北西部地域
土石流災害調査報告書

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印