ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3026号

土 木 研 究 所 資 料

平成二年７月熊本県一の宮町
泥流・流木災害調査報告書

平成３年６月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © (1991) 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。

土木研究所資料
第3026号1991年6月

平成二年7月熊本県一の宮町
泥流・流木災害調査報告書

砂防研究室 室　長 石川芳治
研究員 草野慎一
福澤　誠

要　旨

平成二年7月1日から2日にかけて，梅雨前線の活発化により北九州地方は集中豪雨に見舞われた。そのため熊本県阿蘇郡一の宮町では，多量の流木を含む泥流が発生・氾濫し，死者8名，全半壊家屋170棟という被害をもたらした。本調査報告書は泥流及び流木の発生，流下，堆積過程と，それらによる被害の実態を明らかにするために行った基礎的な現地調査の結果をとりまとめたものである。

キーワード：泥流，流木，災害

A Report of an Investigation on Mud flow-floating log Disasters in Ichinomiya Town, Kumamoto Pretecture in July, 1990

Sabo Division, Sabo Department
Head of Division: Yoshiharu ISHIKAWA
Researcher: Shinichi KUSANO
Makoto FUKUZAWA

Summary

A localized torrential downpour struck the Northern Kyushu District on 1-2 July 1990 due to an activated Bai-u (rainy season) front. As a result, a mudflow with much floating logs occurred in Ichinomiya-machi, Aso-gun, Kumamoto Prefecture, causing a flood that killed eight people and destroyed 170 houses either totally or partially. This survey report consolidates the results of a basic field survey conducted to clarify the process of the occurrence transportation, deposition process of the mudflow with floating logs and the realities of the damage caused by it.

KEY WORDS: Mudflow, floating log, and disaster

ま　え　が　き

平成2年7月1日から2日にかけて，北九州地方は梅雨前線による集中豪雨に見舞われた。この豪雨により熊本県阿蘇郡一の宮町では，町の中心を南北に流れる古恵川に多量の流木を含む泥流が発生した。泥流と流木は古恵川を流下し，国道57号に架かる松原橋によって流木が捕捉され，河道が閉塞して氾濫につながった。これにより死者8名，全半壊家屋170棟に及ぶ被害が発生した。この災害の大きな特徴は，発生源付近では泥流に多量に含まれていた巨礫は，古恵川中流域に設置された砂防ダム群により捕捉されてたが，火山灰を主とする細流土砂および流木が河床に堆積することなく流れ下り，これが直接災害を引き起こしたことである。これは河道計画，砂防施設配置，森林施行を含めて考える上で貴重な資料になると考えられる。

本調査では，古恵川に発生した泥流およびそれと共に発生，流下，堆積した流木についての実態を調査するとともに，被害の実態も調査しそれらの機構を検討した。また古恵川中流域の砂防ダム群の効果についても調査を行った。

調査にあたっては熊本県土木部砂防課の皆様方には大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

平成3年6月

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 …… 2

2. 災害の概要 …… 6
   2.1 地形・地質・植生の概要 …… 6
   2.2 気象の概要 …… 10

3. 土石流発生部の斜面安定解析 …… 11
   3.1 崩壊地の形状・地質・土質的特性 …… 11
   3.2 斜面安定解析 …… 17
   3.3 崩壊調査および土質試験調査のまとめ …… 30

4. 土砂収支 …… 34
   4.1 河道における土砂収支 …… 34
   4.2 本川への流出土砂量 …… 37
   4.3 堆積，氾濫域 …… 40

5. 流木収支 …… 51
   5.1 樹林密度のサンプリング調査 …… 51

6. 立木と流木の関係 …… 59

7. 砂防施設による土砂の調節効果 …… 63

8. 被災家屋・構造物の状況 …… 69

9. まとめ …… 77

資料集　付表1　土質試験結果一覧 …… 81
　　付表2　線格子法調査結果 …… 89

　　付図1　河道状況調査断面図 …… 95
　　付図2　天気概況，衛星写真，天気図 …… 109

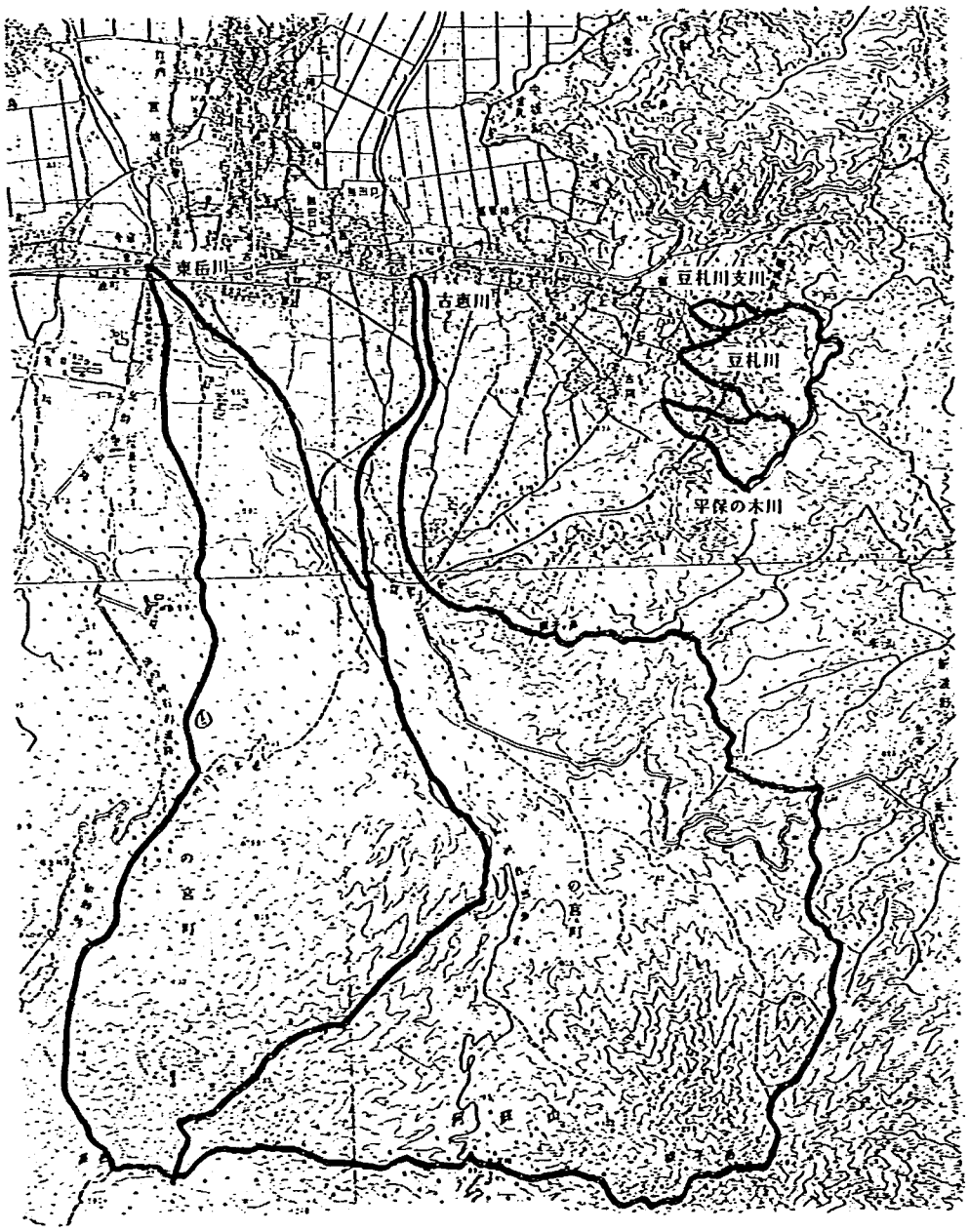
付図3　崩壊地分布図（災害前）……113
付図4　崩壊地分布図（災害後）および崩壊地調査地点位置図……115
付図5　林相区分図……117
付図6　測点位置……119

1．調 査 の 概 要

1.1　調査目的と範囲

本調査は平成２年７月２日に熊本県阿蘇郡一の宮町の古恵川で発生した泥流災害について，空中写真判読，現地調査，土質試験等により泥流の発生，流下，堆積過程及び砂防施設の効果，さらに流木の発生，流下，堆積の実態を明らかにすることを目的に実施した。

調査範囲は図－1.1に示すように，熊本県阿蘇郡一の宮町近傍の古恵川，東岳川，豆札川，豆札川支川，および平保の木川の流域である。



図－1.1　調査位置図

1.2　調査方法と内容

(1)　空中写真判読

土石流発生前の空中写真および発生直後に調査対象区域内を撮影した空中写真を収集した。これらの空中写真の諸元は表－1.1の通りである。

表－1.1　空中写真諸元一覧表

No	災害前後	撮影年月日	縮尺	種類	撮影機関
1	前	昭和63年6月14日	約1/16,000	白黒	林野庁
2	後	平成2年7月5日	約1/5,000 約1/10,000	カラー	アジア航測

また，災害前後の泥流発生源（妻子ケ鼻周辺）の空中写真を写真－1.1，写真－1.2に，町の中心部の空中写真を写真－1.3，写真－1.4に示す。

写真－1.1，写真－1.3の縮尺は約1/10,000，写真－1.2，写真－1.4の縮尺は（1/16,000）である。

次に，これらの空中写真を用いて以下に示す項目について判読した。

① 土石流発生部である崩壊地，土石流流下部および土石流堆積部の範囲→『崩壊地分布図（災害後）および崩壊地調査地点位置図』

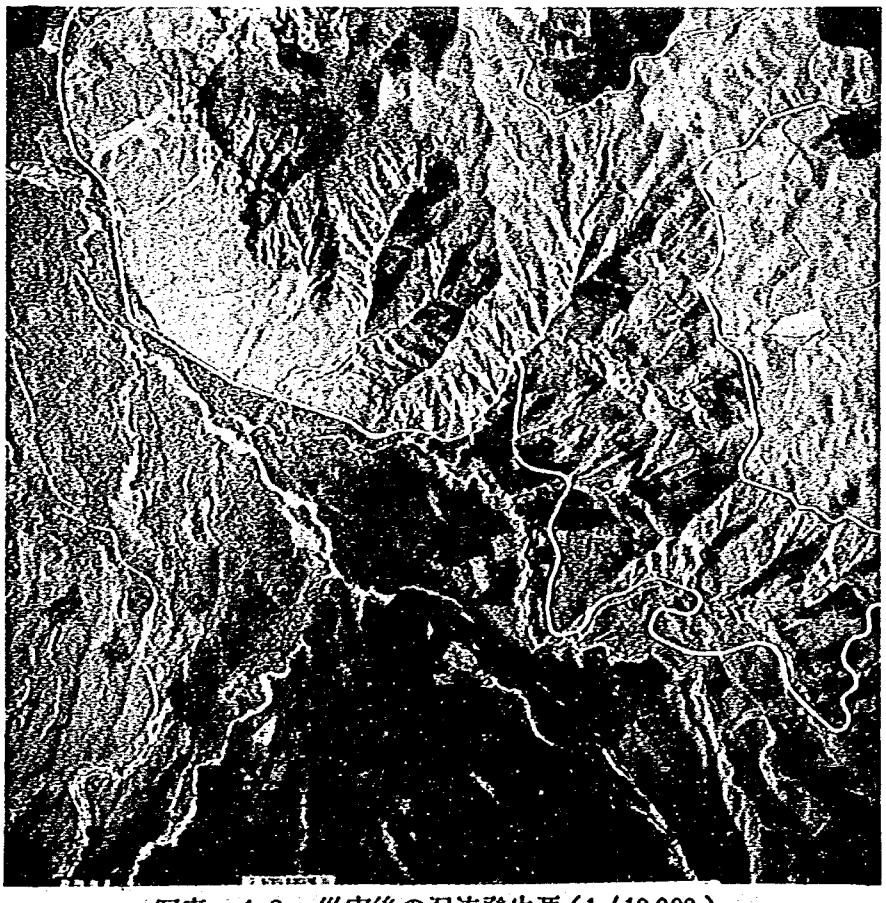
② 災害前の崩壊地分布→『崩壊地分布図（災害前）』

③ 流域の林相区分（災害前後）→『林相区分図』

④ 災害後の流木の堆積分布→『流木堆積分布図』

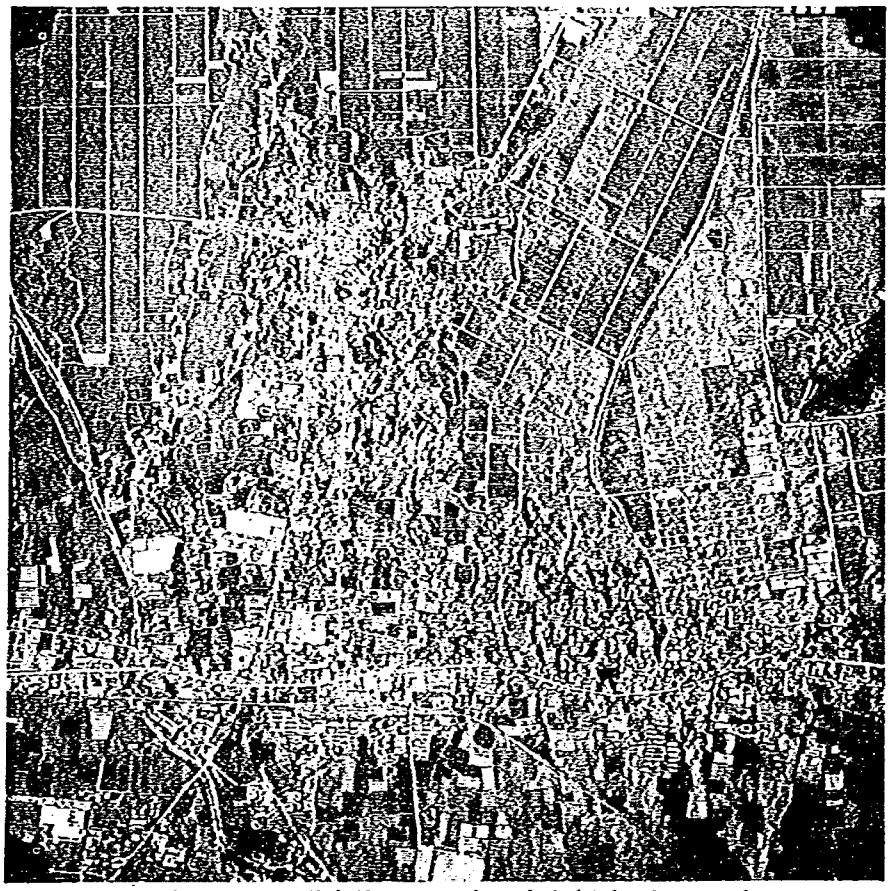
⑤ 横断測量の測点位置，砂防施設位置および土質試料サンプリング位置→『測点位置図』

写真－1.1　災害前の泥流発生源（1／16,000）



写真－1.2　災害後の泥流発生源（1／10,000）

写真－1.3　災害前の一の宮町中心部（1/16,000）



写真－1.4　災害後の一の宮町中心部（1/10,000）

(2) 現地踏査

調査対象区域内において現地踏査を行い，以下に示す項目について調査した。

① 土石流発生源頭部の崩壊地における土層観察と土質判定

② 土石流流下区域の渓床・渓岸侵食および土砂堆積状況 →河道状況調査断面図

③ 土石流氾濫堆積区域の土砂堆積範囲，堆積深分布，流れの方向，家屋に対する被害の状況

④ 砂防施設による土砂調節効果と砂防施設の破損状況

⑤ 被害の実態調査

⑥ 樹木のサンプル調査

⑦ 河道内及び氾濫域に存在する流木調査

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

(3) 測　量

古恵川中～上流域において，土石流の発生，流下，堆積区域を中心として，ハンドレベル，スタジア，巻尺等の簡易な測量器具を用いて縦断測量4km，横断測量20本を実施した→縦断図（縮尺H＝1/5,000，V＝1/500）および横断図（縮尺1/100）を作成した。

(4) 土質試験

(1) 土質の物理特性試験

調査対象区域の5渓流の上流域について，各4kgの撹乱試料を計13箇所採取し，物理特性試験（液性限界，塑製性限界，粒度試験）を実施した。

(2) せん断試験と透水試験

調査対象区域2渓流について，不撹乱試料を採取し，一面せん断試験（圧密非排水試験）（8試験，16試料）と透水試験（定水位法JISA 1218）（8試験，8試料）を実施した。

(3) 粒度分布試験

調査対象区域の5渓流の土石流の流下，堆積区域内の計13箇所において粒度分布試験（JISA 1204）および表面サンプリング（線格子法）を実施した。

(5) 解　析

空中写真判読，現地踏査，測量及び土質試験結果等を基に，以下の項目について総合的に解析を行った。

① 土石流発生部の崩壊地の形状，地質・土質的特性をまとめた。

② 土石流の源頭部斜面安定検討を土質試験，現地踏査結果をもとに行った。

③ 土石流収支図を渓床勾配の変化等を考慮して作成した。

④ 砂防施設等による土砂の堆積・調節量を算出し，砂防施設の効果を考察した。

⑤ 被災した家屋や構造物などの被災形態を整理し，被災の原因，形態を考察した。

⑥ 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。

⑦ 流木の発生及び堆積分布図を作成し，流木の発生と堆積の特徴について考察した。

⑧ 今回の土石流発生と地形，地質，気象等との関係を考察した。また，調査対象区域全般の自然条件を記載した。

2．災害の概要

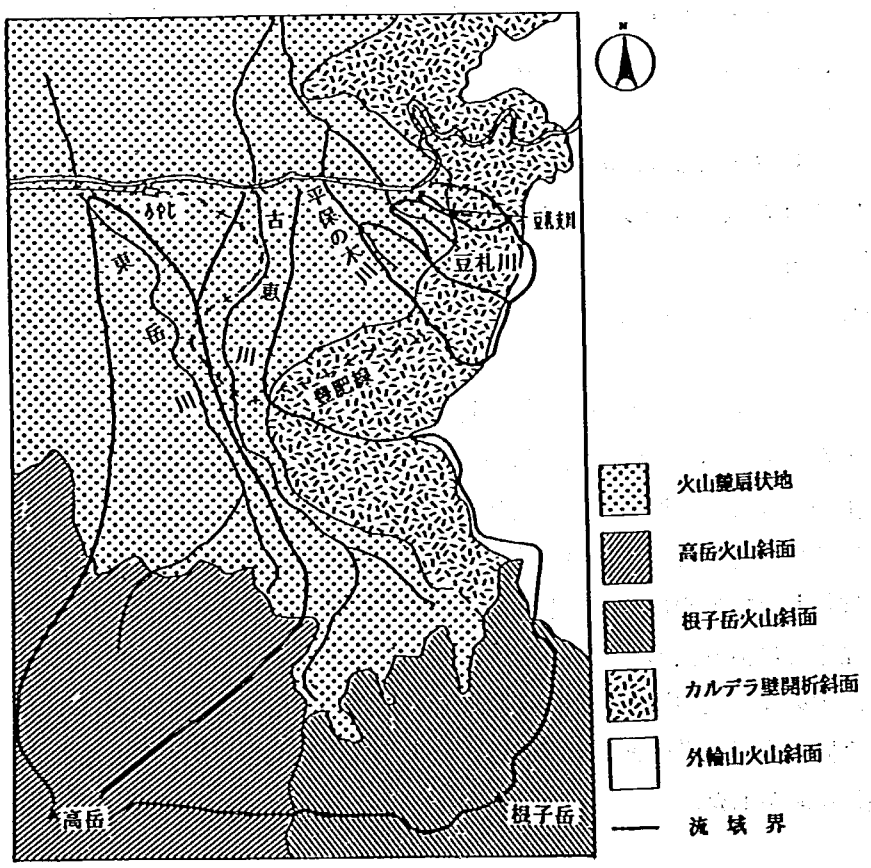
2.1　地形・地質・植生の概要

(1)　地形・地質

調査対象５渓流の流域内の概略地形区分を図－2.1に示す。また，それに対応する地質を表－2.1に示す。

表－2.1　流域の地形・地質

渓流名	地形	地質
古恵川	根子岳火山斜面	火山灰，崖錐，火砕岩，熔結凝灰岩，溶岩
	カルデラ壁開析斜面	〃
	火山麓扇状地	火山灰，成層凝灰亜角礫層
東岳川	高岳火山斜面	火山灰，崖錐，火砕岩，熔結凝灰岩，溶岩
	火山麓扇状地	火山灰，成層凝灰亜角礫層
豆札川	カルデラ壁開析斜面	火山灰，崖錐，火砕岩，熔結凝灰岩，溶岩
豆札用支川	〃	〃
平保の木川	〃	〃

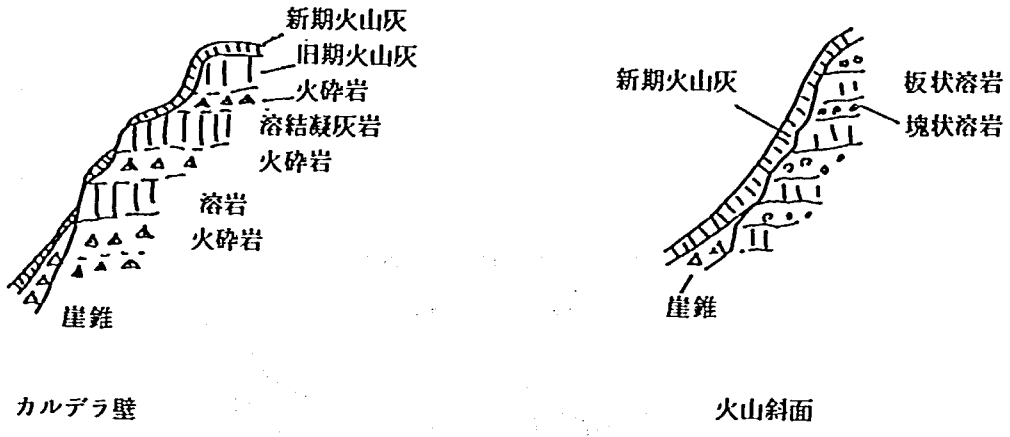


図－2.1　概略地形区分

古恵川は外輪山のカルデラ壁と，中央火口丘の根子岳火山体斜面から火山麓扇状地にかけて，東岳川は中央火口丘の高岳火山体斜面から火山麓扇状地にかけて，豆札川・豆札川支川・平保の木川は外輪山のカルデラ壁がそれぞれ土石流発生区域となっている。また，これらの土石流発生区域の地質は，外輪山や中央火口丘の火山体を構成する火山噴出物（火山灰，熔結凝灰岩，溶岩など）と，それを開析（侵食）して堆積した二次堆積物（岩壁基部の崖錐，火山麓扇状地を構成する成層凝灰亜角礫層など）とに大別される。

大局的にはいずれの渓流ともカルデラ壁または火山斜面から火山麓扇状地への急→緩といった地形条件をもっている。

また，地質的には，火山噴出物とそれが二次的に運搬堆積された未～半固結堆積物からなるが，表層地質に限ってみれば，カルデラ壁，火山斜面を問わず，厚は1～2mほどの新期火山灰や崖錐など未固結堆積物が，ほぼ全斜面を一様におおっている（図－2.2）。これらの表層斜面堆積物が基本的に今回の崩壊物質となっている。

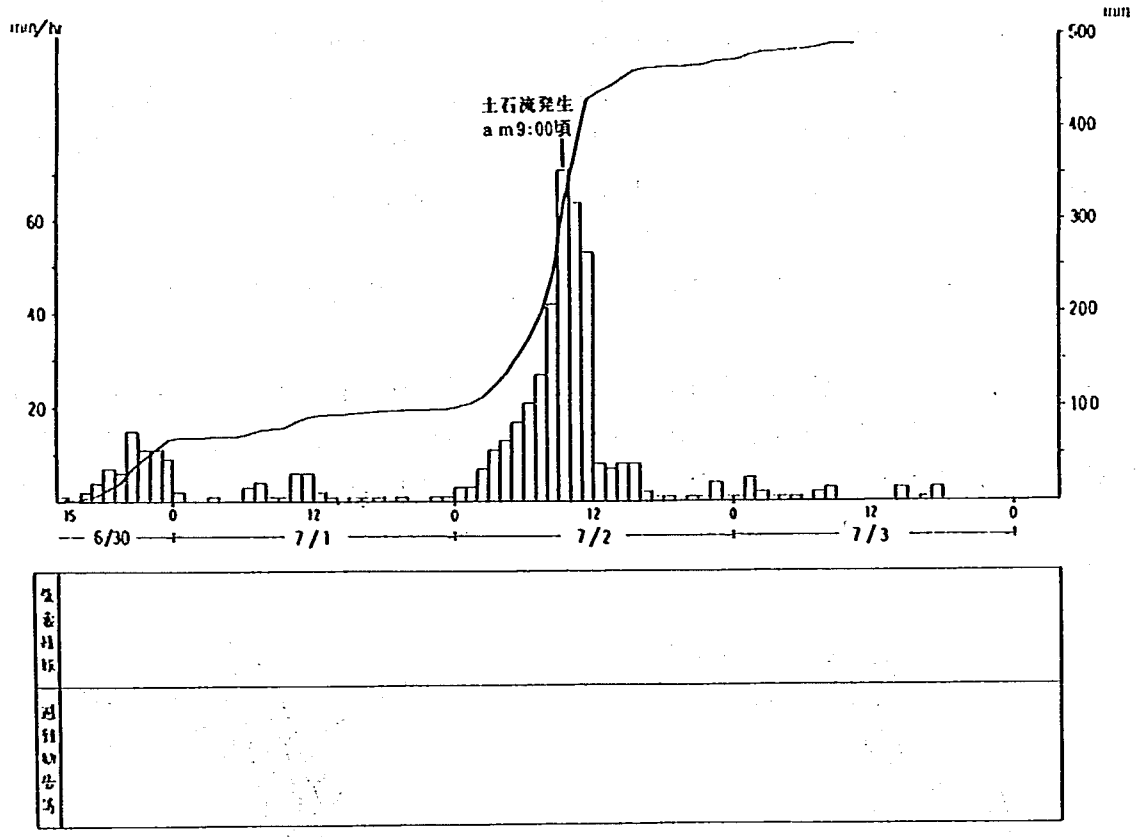


図－2.2　土石流発生区域の斜面模式断面

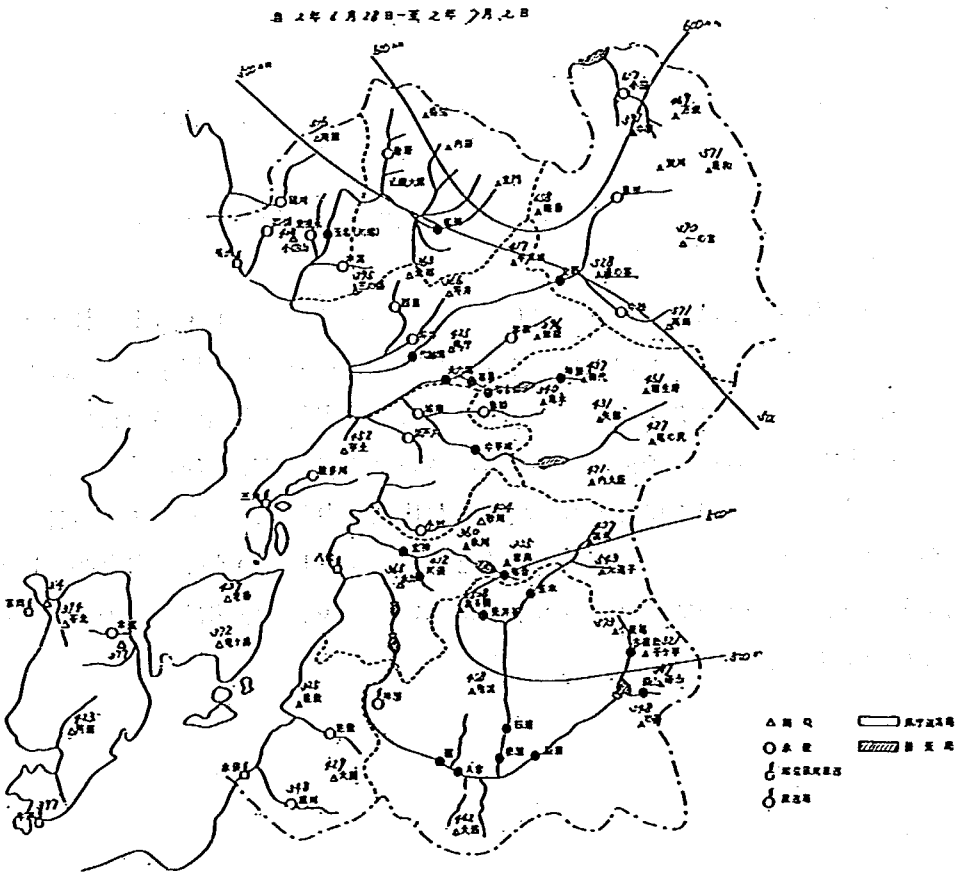
(2) 植　生

5渓流の流域内の植生は，おもに草地（ススキ）・草地（牧草）・スギ植林・広葉樹自然林（アカガシ・ツバキなどを主とした暖温帯林）に大別される。このほか，根子岳の1,000m以上の斜面では，ノリウツギ，ダンナサワフタギ，エゴノキなどからなる広葉樹自然林が分布する。

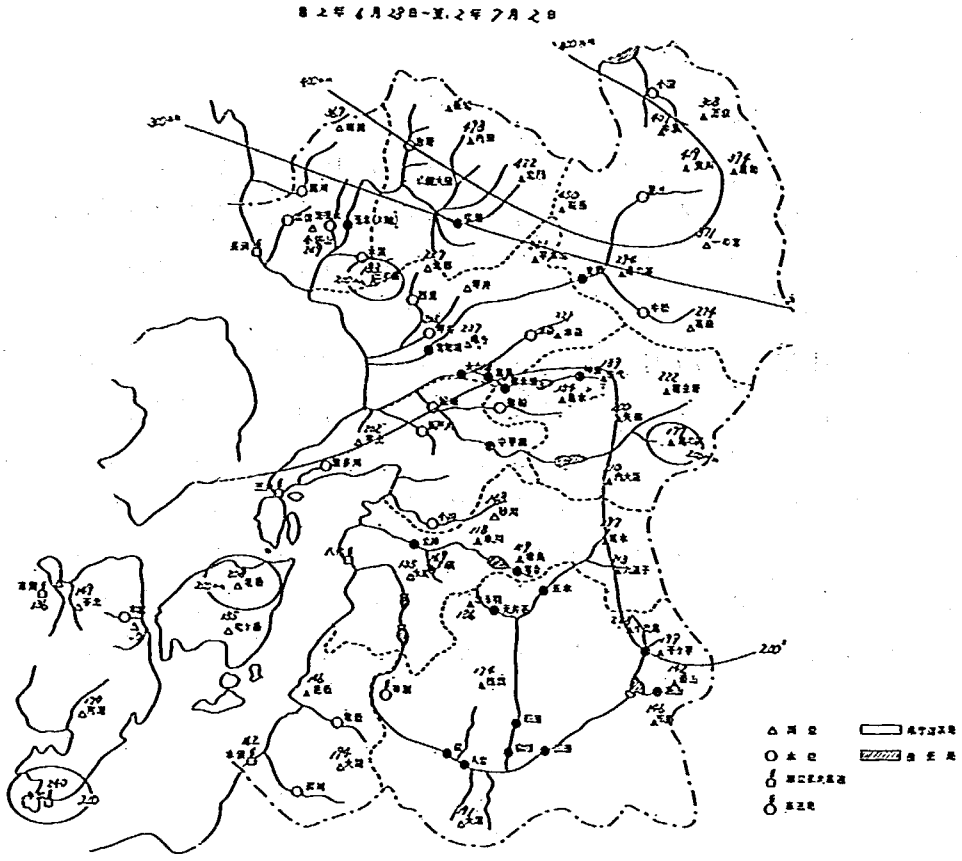
広葉樹自然林は，おもに根子岳・高岳斜面の植林が不可能な極急傾斜地または露岩地周辺に残存しているので，全般に成長が不良で大木（高木）が比較的少ない。一方，スギ植林は山腹～山麓を中心とした急傾斜～緩急斜地で土壌が十分にあるところに立地しているので樹高30m以上に成長している立木もある。また，単位面積当りの樹木本数が多い。カルデラ壁側は一部のスギ植林地を除いて大半はススキ草原である。



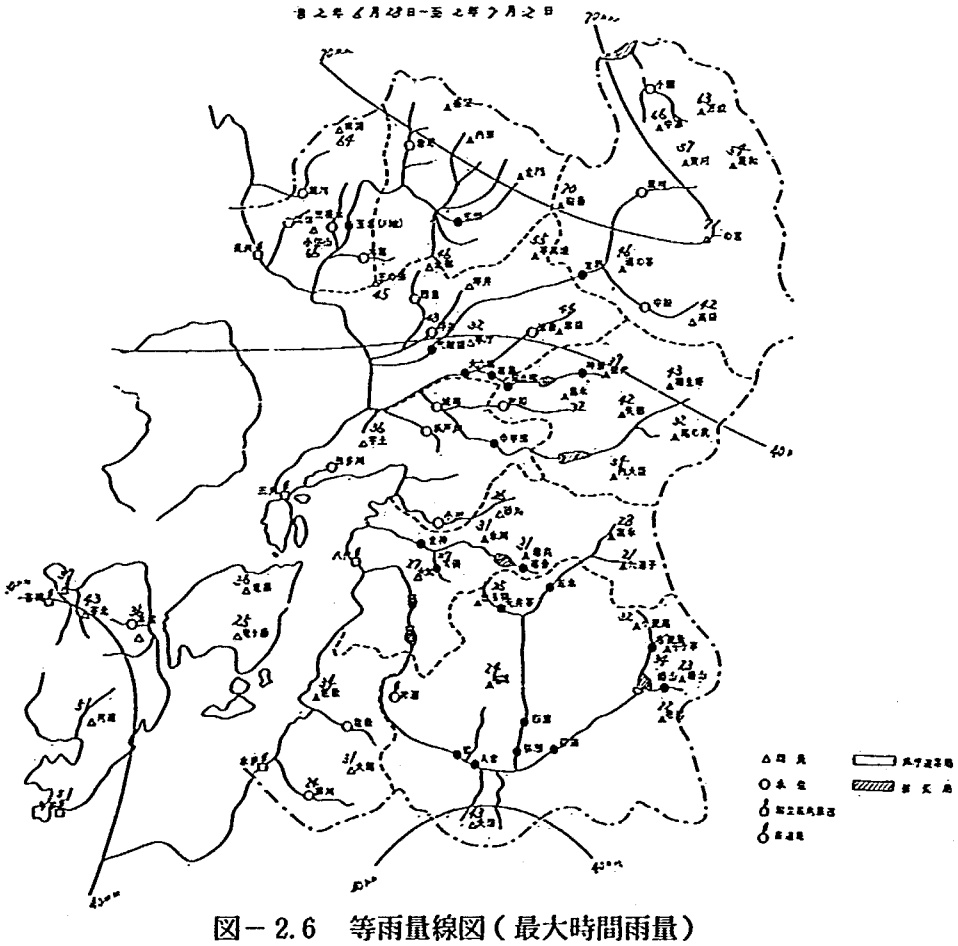
図－2.3　時間雨量（一の宮）



図－2.4　等雨量線図（連続雨量）



図－2.5　等雨量線図（最大24時間雨量）



図－2.6　等雨量線図（最大時間雨量）

2.2　気象の概要

(1)　土石流発生時前後の気象

土石流の発生した平成2年7月2日を含む，6月30日15時から7月4日0時までの一の宮観測所（熊本県）における時間雨量を図－2.3に示す。一の宮では時間最大雨量は7月2日午前9時から10時の間に71mmを記録している。また降り始め（7月1日22時）から（7月2日19時）までの総雨量は，370mmに達している。

図－2.4に，6月28日から7月2日までの連続雨量の等雨量線を，図－2.5に同じ期間の最大24時間雨量の等雨量線，図－2.6に最大時間雨量の等雨量線を示す。連続雨量では一の宮は500～600mmの間にあり，他地域よりは高い値を示しているが，鞍岳（658mm）や小国（617mm）などさらに雨量の大きい地区があるので，連続雨量からみれば必ずしも最大値を示す地区ではない。また，最大24時間雨量についても300～400mmの高い値を示すが，これも内田（498mm），鞍岳（450mm）などさらに高い値を示す地区がある。しかし，最大時間雨量では，一の宮が最大値（71mm）を示しており，それが，今回の土石流をこの地区で最も著しく発生させた直接の要因と考えられる。

3．土石流発生部の斜面安定解析

本章は，崩壊地の特性を定性的に述べるとともに土質試験結果により崩壊地の特性を定性的に把握している。また，6斜面については，土質試験結果を用いて斜面安定解析を行った。

3.1　崩壊地の形状・地質・土質的特性

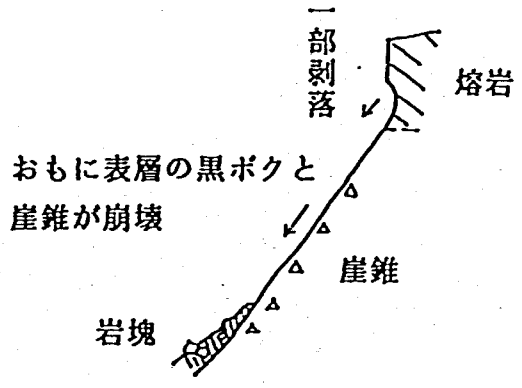
各渓流の土石流発生区域における崩壊地サンプル地点の地形・地質・土質などについて以下に述べる。

(1) 古 恵 川

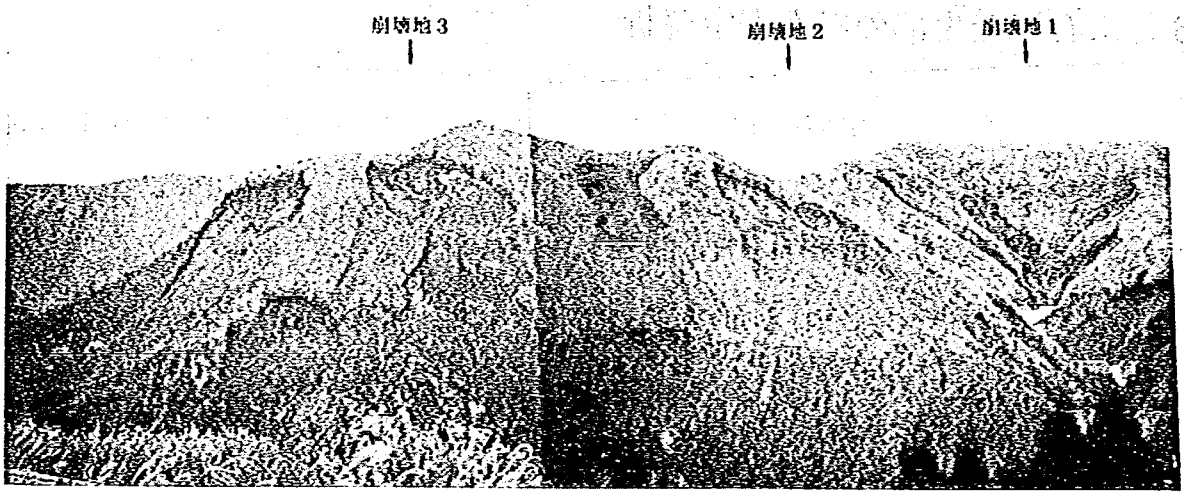
古恵川の土石流発生区域は，外輪山カルデラ壁から根子岳斜面にわたっているので，崩壊地サンプルはカルデラ壁で3箇所（サンプル№1，2，3），根子岳斜面で1箇所（サンプル№4）とした（付図1/14「崩壊地分布図」）。

カルデラ壁の崩壊地（サンプル№1，2，3）は，杓子状・板状をなす比較的小規模なもので（写真－3.1），いずれも崩壊深が1mほどとなっている。崩壊を起こした土層は，厚さ1m前後の火山灰起源の黒ボク土で，場所によっては最大径100cm，平均径15cmの安山岩角礫を介在させている（写真－3.2）。ベースとなる茶褐色半固結火山灰（カルデラ壁の最上部を構成する古い火山灰）は，ほとんど崩壊していない。すなわち，黒ボク土と茶褐色半固結火山灰の境界をすべり面として崩壊したものと考えられる。また，サンプル№2，3の崩壊地下端では，高さ50cmほどの崩壊した土塊（草付）が認められる（写真－3.3）。

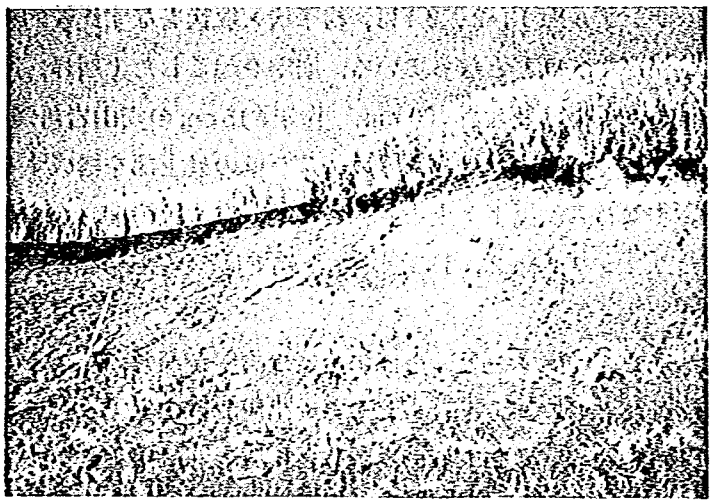
根子岳斜面の崩壊地（サンプル№4）は，上部に溶岩の岩壁があり，その下方に最大径300cm，平均径40cm安山岩角礫からなる崖錐と，それをおおう火山灰起源の黒ボクがみられる。おもにこれらが崩壊を起こしており，特に向って左側上部の崩落崖には厚さ3m以上の火山灰があり，そこでは崩壊深も深くなっている。最上部の岩壁には比較的新鮮な（未風化な）削離面があり，下方の残土中に岩塊が含まれることから，溶岩の削落も生じた可能性がある（図－3.1）。



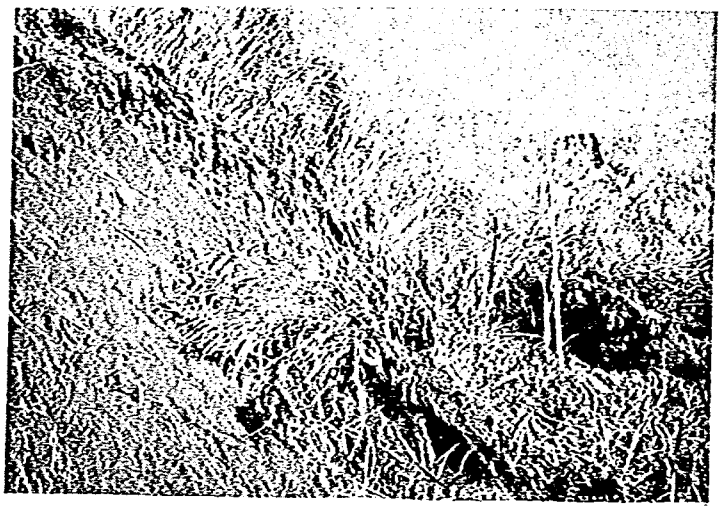
図－3.1　サンプル№4の崩壊地の模式図



写真－3.1　古恵川崩壊地№1，2，3



写真－3.2　サンプル№3の崩壊地の安山岩角礫



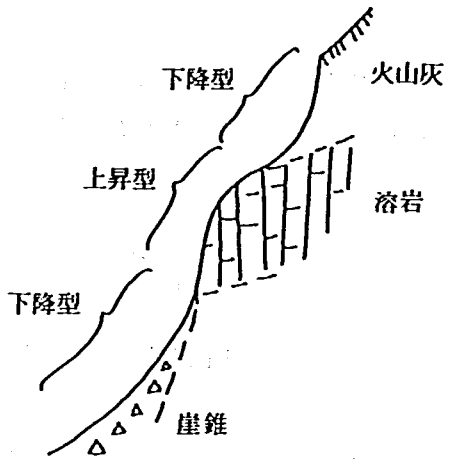
写真－3.3　サンプル№2の崩壊地下端の土塊

(2) 東 岳 川

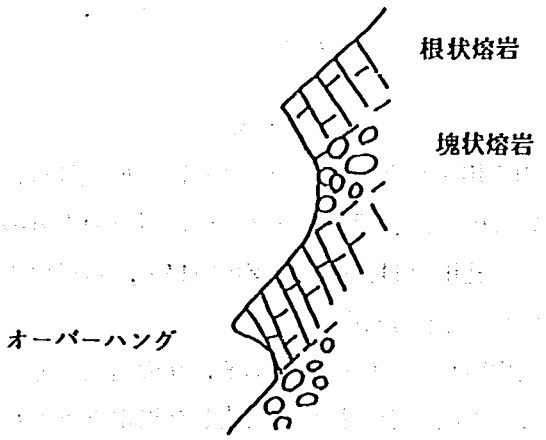
東岳川の土石流発生区域は，阿蘇中央火口丘の高岳から山麓の火山麓扇状地にわたっているので，崩壊地サンプルは高岳斜面で2箇所（サンプル№5，6），火山麓扇状を侵食した谷壁斜面で1箇所（サンプル№7）とした。

高岳斜面の崩壊地（サンプル№5，6）は樹枝状をなし斜面長が90mまたは70mにおよぶ大規模なものである。崩壊地の地質は，上部が火山灰，中部が溶岩，下部が崖錐となっている。崩壊地の縦断面形についてみると，上部の火山灰の部分では下降型，中部の溶岩の部分で上昇型，下部の崖錐の部分で下降型となっており，おもに火山灰（古い火山灰も一部含む）と崖錐が崩壊したことがわかる（図－3.2）。ただし，溶岩の部分でも岩塊のオーバーハングが認められることから，崩壊による溶岩の削落が促されたようである。崩壊地№6も，ほぼ同様で，おもに斜面表層をおおう火山灰と崖錐がおもに崩壊を起こしている。また，斜面の基盤となる溶岩は，塊状溶岩の部分が崩壊深が深く，板状溶岩の部分は崩壊深が浅く一部でオーバーハングが認められる（図－3.3）。このことから塊状溶岩もかなり崩壊したことがわかる。

崩壊地№7は火山麓扇状地を開析した谷壁斜面が崩壊したものである。この部分は火山麓扇状地は

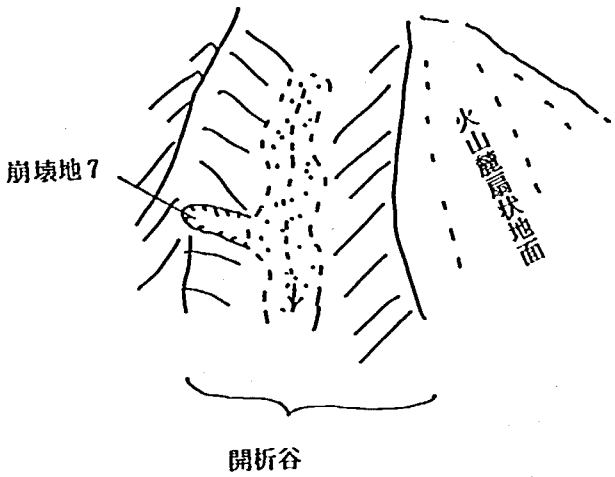


図－3.2　崩壊地5の模式断面



図－3.4　崩壊地6の溶岩がつくる縦断面

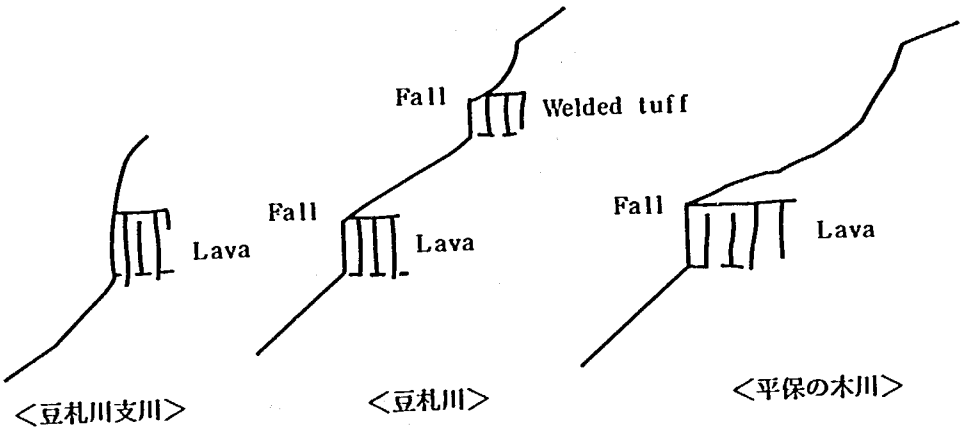
原面を残さないほど開析され，尾根となって残るのみであるが（図－3.4），構成物（地質）が火山灰と成層した角～亜角礫層からなっていることから，火山麓扇状地の領域とした。ここでも，崩壊上部の火山灰の一部と斜面表層の火山灰起源の黒ボク土が崩壊を起こしている。



図－3.4　崩壊地7の位置

(3)　豆札川・豆札川支川・平保の木川

これらの渓流は，いずれも阿蘇外輪山カルデラ壁を侵食した小渓流であり，カルデラ壁に露出する溶岩または熔結疑灰岩によって，著しい遷急点（岩壁）をもつ（図－3.5）。



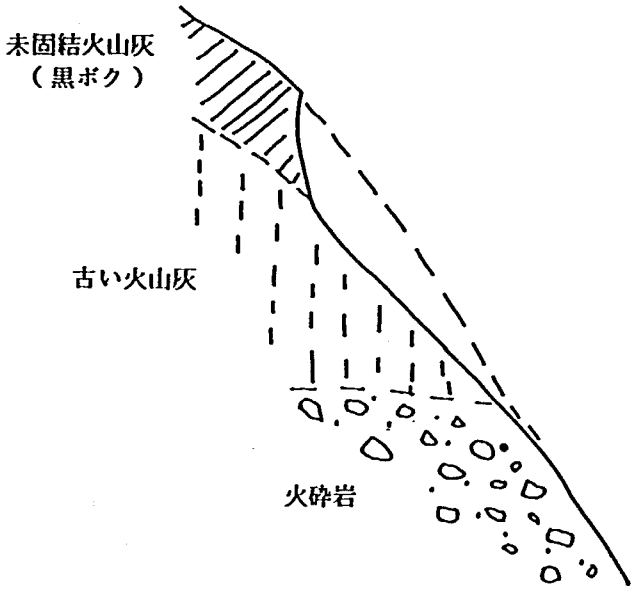
図－3.5

図－3.5の豆札川・豆札川支川・平保の木川の模式縦断面崩壊地は，これらの岩壁の上方，下方，または岩壁中にも分布しているので，崩壊地サンプルは，岩壁の上方の谷頭付近（豆札川No.10，平保の木川No.8，9），岩壁中（豆札川No.11，豆札川支川No.14），岩壁の下方（豆札川No.12，豆札川支川No.13）に配分した（付図1/14「崩壊分布図」）。

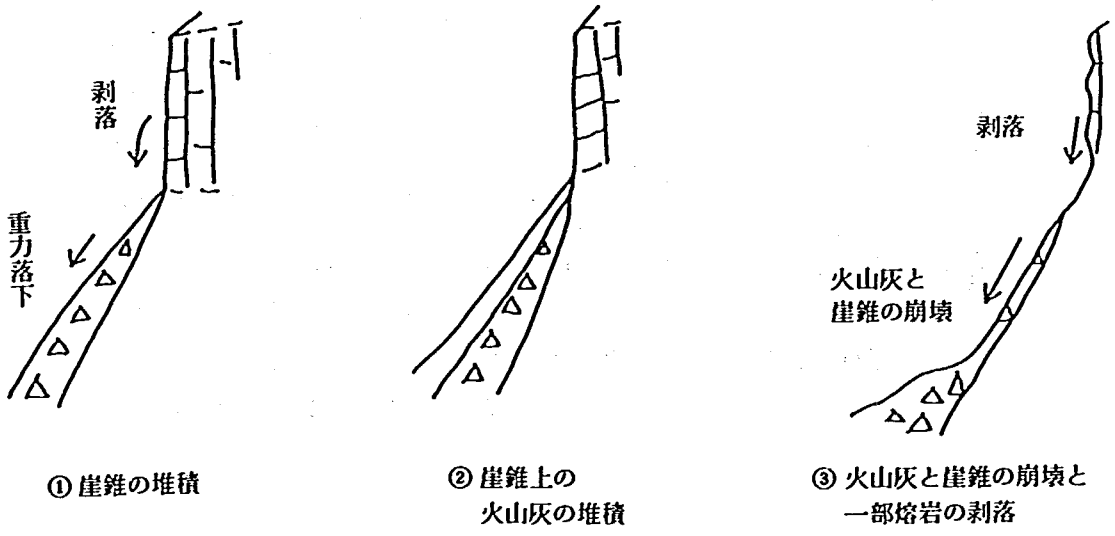
谷頭部付近に位置する豆札川No.10，平保の木川No.8，9の崩壊地（サンプルNo.8，9，10）は，いずれも表層部の厚さ1～2mの火山灰やそれが土壌化した黒ボク土（写真－3.4）がおもに崩壊を起こしており，ベースとなる火砕岩（径20～1cmほどの安山岩亜角礫と火山灰からなる半固結堆積物）（写真－3.5）は表面をわずかに削落させたのみである（図－3.6）。

岩壁中に位置する豆札川No 11，豆札川支川No 14の崩壊地も基本的には岩壁上部の表層の火山灰層が崩落することによって崩壊が促されたようである。ただし，豆札川支川No14の崩壊地には，岩壁上部に著しく開口した節理のある溶岩，中部に火砕岩，また岩壁基部に溶岩の岩塊からなる古い崖錐がみられ，また下方の氾濫区域には径1～2mの岩塊が点在していることから，それらからの供給もかなりあったものとみられる。

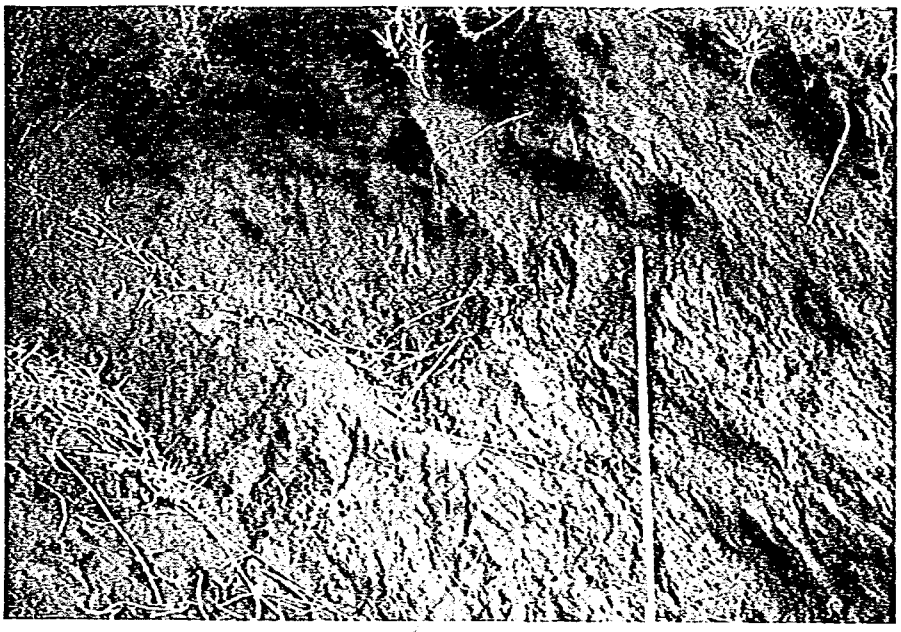
岩壁下方に位置する豆札川No 11，豆札川支川No 13の崩壊地はともに過去に岩壁からもたらされた崖錐堆積物（径1.5m以下の岩塊と火山灰からなる未固結堆積物）が，今回おもに崩落している（図－3.7）。特に，豆札川支川No 13は崩壊深が平均2.5mにおよび，崖錐堆積物から多数の岩塊を氾濫域に供給した。



図－3.6　豆札川，平保の木川谷頭付近の崩壊地模式縦断図



図－3.7　崖錐の形成から崩壊の発生に至る順序



写真－3.4　平保の木川サンプル№8の崩壊地の崩壊土層
火山灰起源の黒ボクとそれに狭在する黄色軽石からなる

写真－3.5　平保の木川谷頭部にみられる半固結火砕岩
（ほとんど崩壊していない）

3.2　斜面安定解析

本節では，土石流発生源頭部において崩壊発生原因を検討するために力学・物理・透水試験を行い，その結果と測量成果より斜面の安定解析を行い，定量的に崩壊地，未崩壊地について考察を行った。なお，巻末に土質試験結果を付した。また，図－3.8に土質試験試料サンプリング位置を示した。安定解析を行った斜面は，一面せん断試験を行った4斜面（古恵川カルデラ壁3サンプル，東岳川斜面1サンプル）と根子岳斜面およびカルデラ壁谷型斜面の計6斜面で行うこととした。解析した地点の位置図を図－3.8に示した。このうち，一面せん断試験を行った古恵川カルデラ壁の3サンプルは，勾配，地質ともに似通っており，土質特性を把握することにより崩壊と未崩壊，流動と非流動となった原因について考察した。ただし，流動・非流動については，現地調査での相対的な比較による流動状況であり各々の流動・非流動は正確に把握されているわけではない。なお，斜面安定解析を行った斜面について諸元を表－3.1に示した。

表－3.1　安定解析を行った斜面の諸元

No.および斜面名	流動形態	谷の横断形状	勾配(度)	土層		試験	測量
				上部	下部		
1　古恵川	流動	谷型	34	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	無し	有り
2　古恵川	非流動	平行	41	同上	同上	有り	有り
3　古恵川	流動	平行	35	同上	同上	有り	有り
4　古恵川	未崩壊	平行	46	同上	同上	有り	有り
5　根子岳斜面	流動	平行	50	同上	同上	無し	有り
6　東岳川斜面	流動	平行	41	同上	同上	有り	無し

3.2.1　一面せん断試験

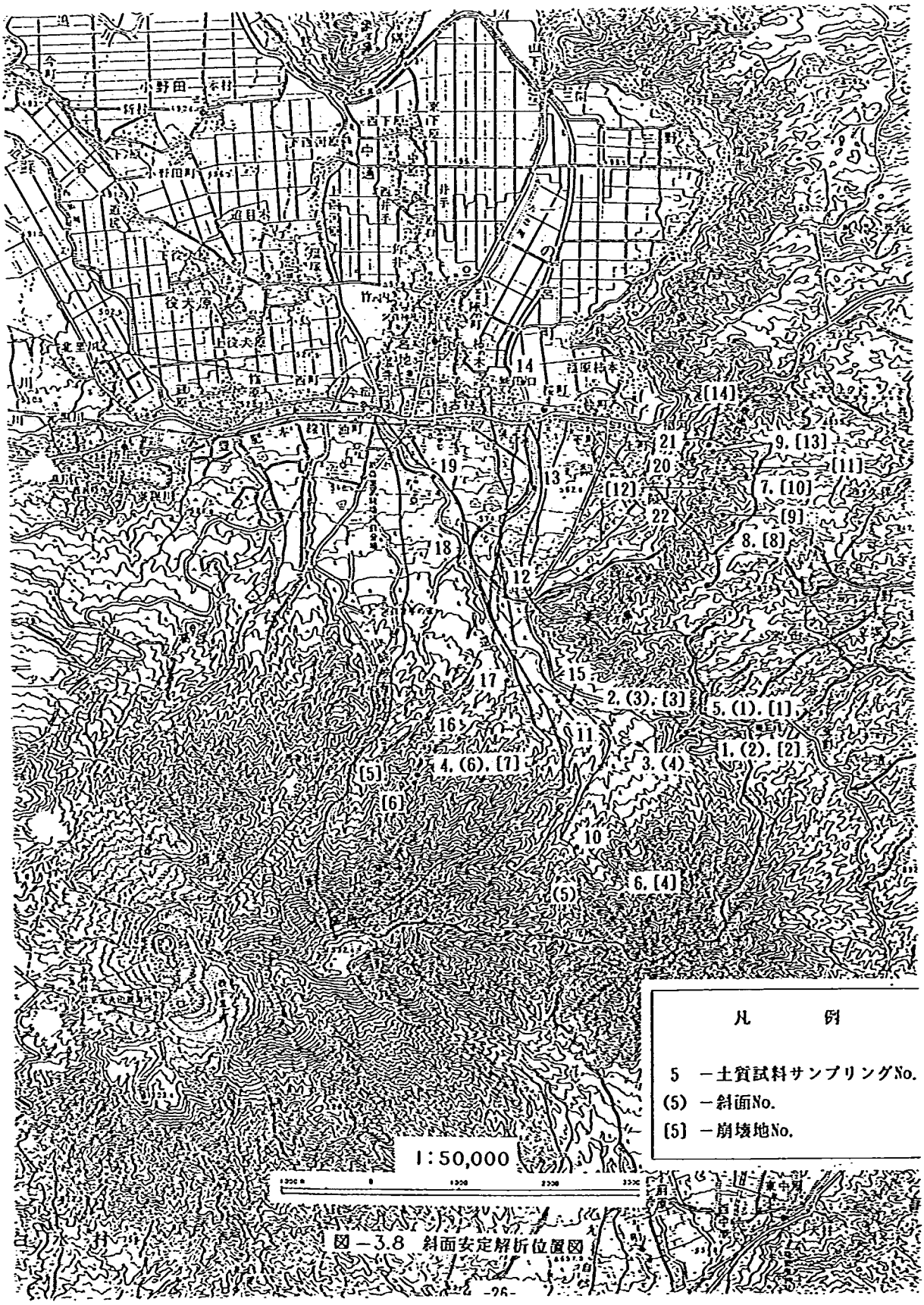
斜面安定解析を行うために，土層のせん断強度を把握しなければならない。そこで，一面せん断試験を行った。一面せん断試験には，非圧密非排水試験（ＵＵ試験），圧密非排水試験（ＣＵ試験），圧密排水試験（ＣＤ試験）がある。圧密は破壊に起こる地盤上に土塊が存在し，長い時間が経過されるとその荷重により生じる性質のものである。一方，排水はせん断中間隙水圧が常に消散するという条件が生じる性質のものであり，載荷が非常に遅い速度で行われる場合である。今回の崩壊発生という条件下では，地盤は圧密状態になりかつ，豪雨時の載荷は急激に起こり間隙水圧が生じると考えられるので，一面せん断試験は，ＣＵ試験を行った。これにより，有効粘着力，有効せん断抵抗角を求め安定解析に用いた。

(1)　サンプリング方法

土石流発生源の崩壊斜面の土質特性を調べるために崩壊地の滑り面と推定される面の上部と下部の土層から“釘打ち込み法”（写真－3.6）により不撹乱試料を採取した。

(2)　土質試験結果

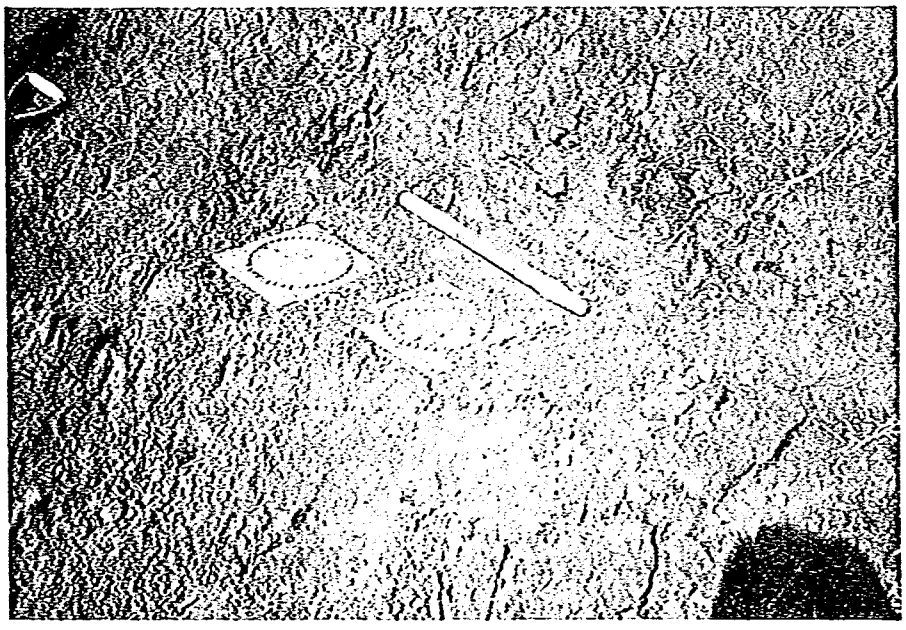
一面せん断試験の結果によって得られた強度定数を表－3.2に示す。また，土層の物理特性について表－3.3に示した。



図－3.8　斜面安定解析位置図

表－3.2　一面せん断試験結果（強度定数）一覧表

No および斜面名	滑り面上部		滑り面下部	
	有効粘着力 (kgf/㎡)	有効せん断抵抗角 (度)	有効粘着力 (kgf/㎡)	有効せん断抵抗角 (度)
2　古恵川	0	34.7	0.130	44.0
3　古恵川	0.07	37.1	0.840	51.1
4　古恵川	0	34.7	0	39.8
6　東岳川	0	39.4	0.475	28.8
平均値	0.02	36.5	0.361	40.9



写真－3.6　"釘打ち込み法"サンプリング状況

表－3.3　物理特性試験結果

No. および斜面名	比重 Gs	間隙比 e	飽和度 Sr	水の単位体積重量 γ_w (g/cm³)	土の湿潤単位体積重量 γ_t (g/cm³)	土の飽和単位体積重量 γ_{sat} (g/cm³)
2　古恵川	2.721	4.55	81.3	1.0	1.15	1.310
	2.824	3.28	85.3	〃	1.31	1.426
3　古恵川	2.682	4.59	80.1	〃	1.14	1.301
	2.852	2.48	76.5	〃	1.35	1.532
4　古恵川	2.611	2.68	64.0	〃	1.16	1.438
	2.653	3.42	78.6	〃	1.21	1.374
6　東岳川	2.708	2.53	61.5	〃	1.19	1.485
	2.924	3.50	80.2	〃	1.28	1.428
平　均	2.681	3.59	71.7	〃	1.16	1.384
	2.813	3.17	80.2	〃	1.29	1.440

表中の上欄は滑り面上部の供試体試験結果，下欄は滑り面下部の供試体試験結果を示す。また，土の湿潤単位体積重量は，式（3－1），土の飽和単位体積重量は，式（3－2）によってそれぞれ算出した。

$$\gamma_t = \frac{Gs + Sr/100 * e}{1 + e} * \gamma_w \quad \cdots\cdots (3-1)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{Gs + e}{1 + e} * \gamma_w \quad \cdots\cdots (3-2)$$

3.2.2　斜面安定解析

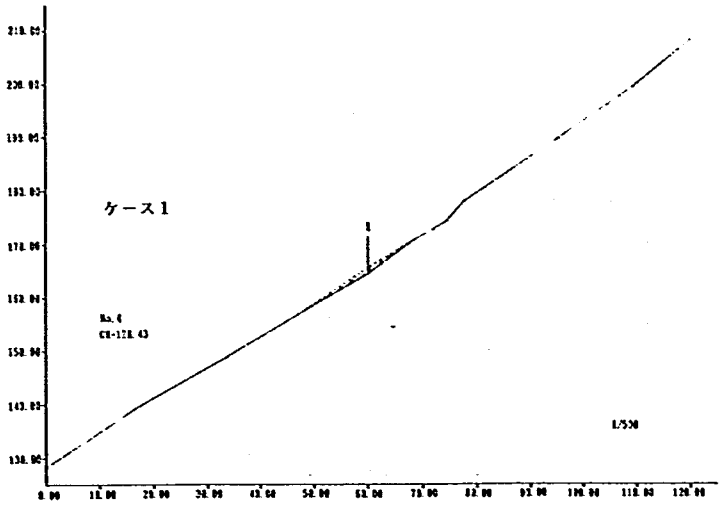
安定解析の対象とした斜面は，表－3.1に示した。これらの斜面の測量結果を用いて崩壊斜面の解析縦断図を図－3.9 (1)～(6) に，測線を図－3.10(1)～(3) に示した。測量成果の結果および現地観察によれば崩壊の長さに対して，崩壊の深さが極めて浅く，かつ平坦な典型的な表層剥離型崩壊であると言える。そこで，土質試験結果をもとに無限長斜面を想定してブロック間の相互作用力を無視したスライス法により斜面の安定解析を行った。なお，解析手法は，水山，石川ほかと同様のものとした。

(1)　斜面安定解析ケース

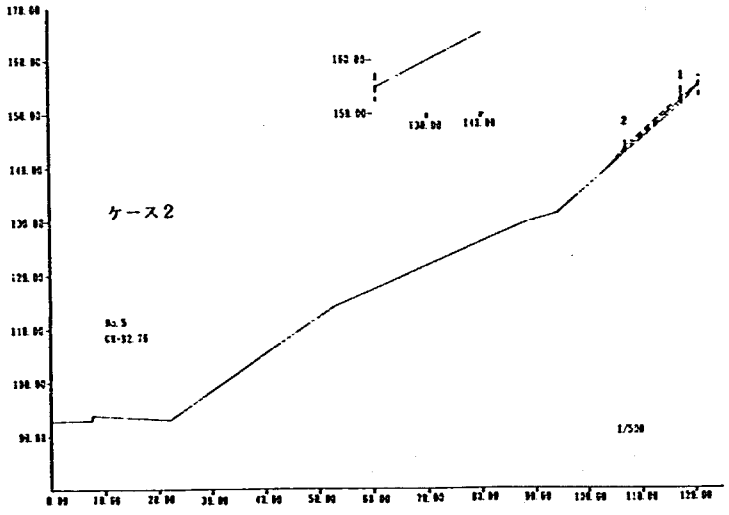
解析時における斜面内浸透流については降雨の継続にともない，斜面内で浸透水位が上昇していくものと考え3ケースを想定した。想定したケースは，表－3.4に示した。

表－3.4　安定解析の想定した3ケース

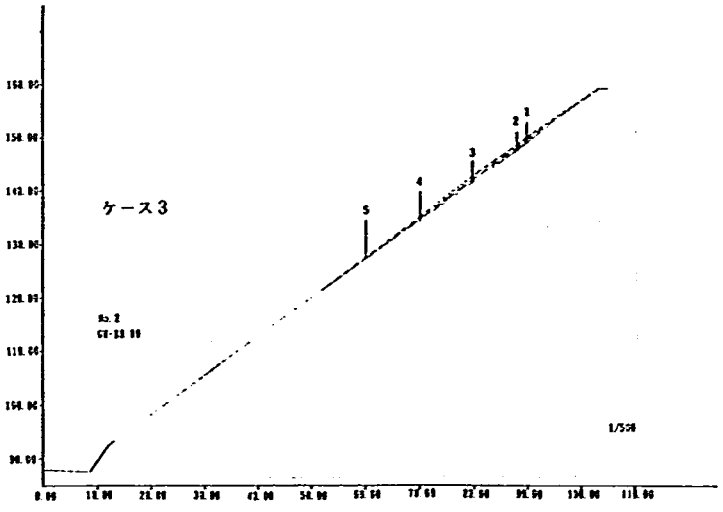
ケース1	水位が滑り面に達した場合
ケース2	ケース1よりも水位が上昇し，滑り面と地表面のほぼ中央まで達した場合
ケース3	水位がさらに上昇し，地表面まで達した場合



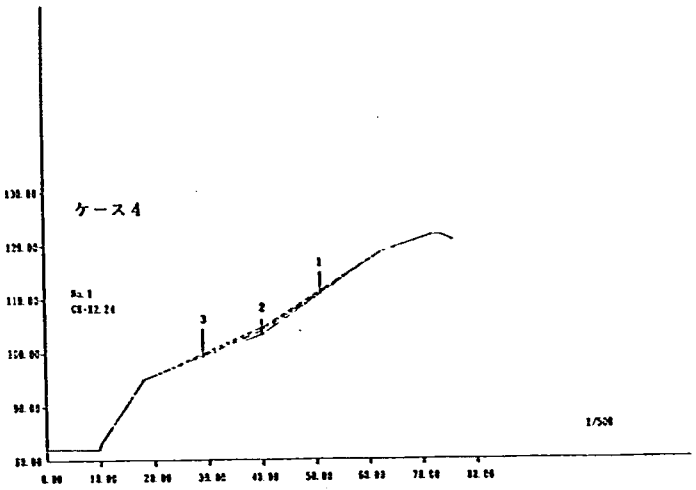
図－3.9 (1)　解析縦断図



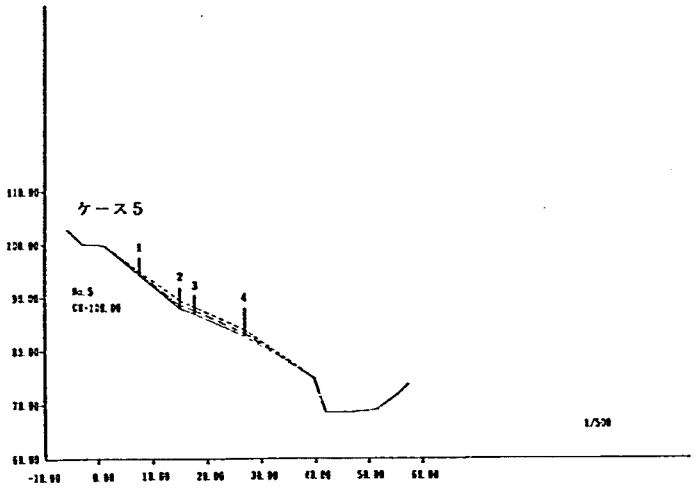
図－3.9 (2)　解析縦断図



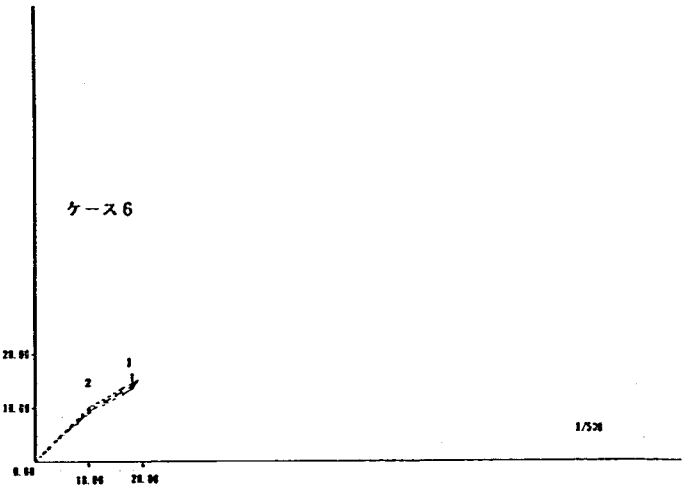
図－3.9 (3)　解析縦断図



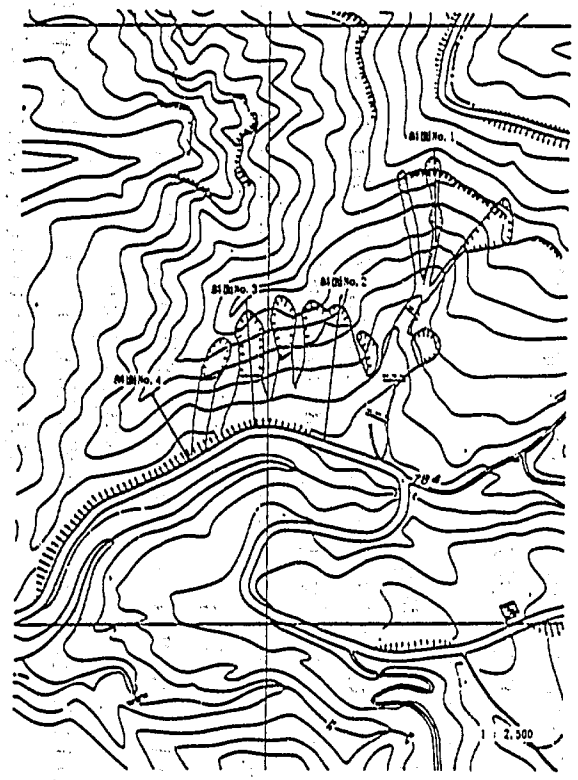
図－3.9(4)　解析縦断図



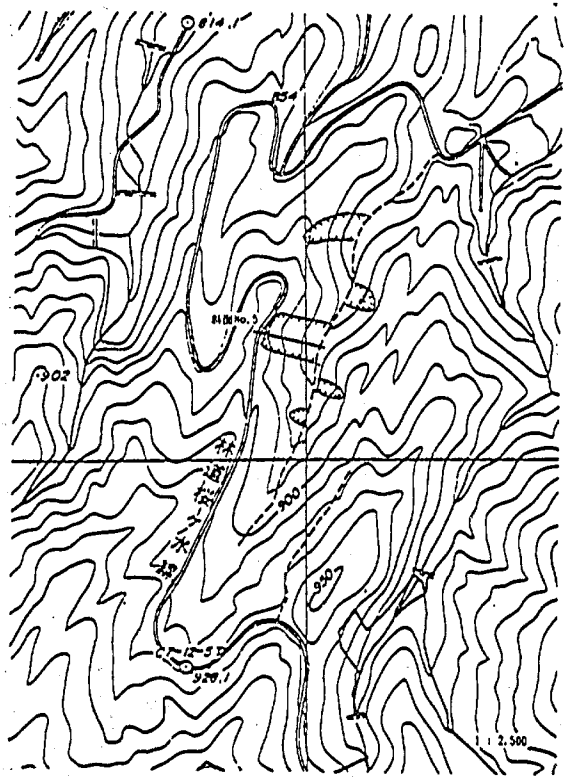
図－3.9(5)　解析縦断図



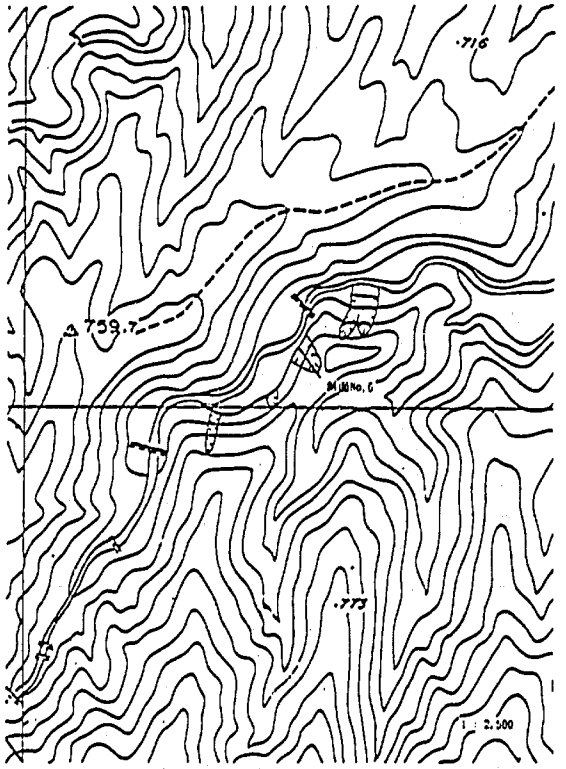
図－3.9(6)　解析縦断図



図－3.10(1) 測線位置図



図－3.10(2) 測線位置図



図－3.10(3) 測線位置図

(2) 斜面安定解析方法

安定解析は，勾配の変化点で斜面を単元ブロックに分割し，各々のブロックごとのせん断力とせん断抵抗力を合計して安全率を求めた（図－3.11参照）。手順については，式（3－3）～式（3－10）に示した。単元ブロックの体積は，湿潤部については式（3－3）に，飽和部については（3－4）により算出した。

$$V_1 = (H_1 + H_2) * B * 1/2 \quad \cdots\cdots (3-3)$$

$$V_2 = (h_1 + h_2) * B * 1/2 \quad \cdots\cdots (3-4)$$

V_1 ：湿潤部の単元ブロックの体積

V_2 ：飽和部の単元ブロックの体積

B ：ブロックの水平距離

H_1, H_2 ：湿潤部ブロックの鉛直高さ

h_1, h_2 ：飽和部ブロックの鉛直高さ

また，ブロックの重量は，式3－5により算出される。

$$W = V_1 * \gamma_t + V_2 * \gamma_{sat} \quad \cdots\cdots (3-5)$$

W ：ブロックの重量

γ_t ：湿潤部単位体積重量

γ_{sat} ：飽和部単位体積重量

従って，斜面のせん断力および垂直効力は，式3－6と式3－7で表される。

$$T = W \sin\theta \quad \cdots\cdots (3-6)$$

$$N = W \cos\theta \quad \cdots\cdots (3-7)$$

T ：せん断力

N ：垂直効力

一方，浸透流により発生する間隙水圧の滑り面に垂直な成分は式（3－8）に示されるために斜面のせん断抵抗力は式（3－9）で表される。

$$u = (\gamma_w * B * (h_1 + h_2) * 1/2) * \cos\theta \quad \cdots\cdots (3-8)$$

$$F = C + (N - u) * \tan\phi \quad \cdots\cdots (3-9)$$

u ：浸透流により発生する間隙水圧の垂直成分

F ：斜面のせん断抵抗力

C ：土の粘着力

ϕ ：土のせん断抵抗角

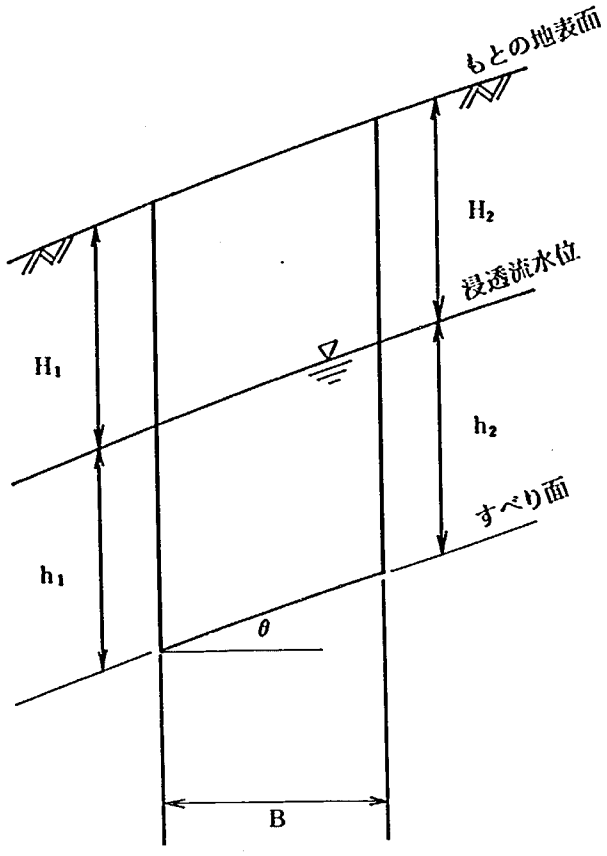
従って，斜面の安全率は，式（3－10）によって表され，安全率が1以上か否かが焦点となる。参考までに最小安全率の標準値として以下のことが一般に言われる。

$$F_s = \Sigma F_n / \Sigma T_n \quad \cdots\cdots (3-10)$$

① 安全率が1以下の場合　：不安定

② 安全率が1以上，2以下の場合：特殊な条件の元において（例えば一時的，小規模，軽易な構造物）安定

③ 安全率が1.2以上の場合　：盛土斜面，アースダムに対する標準値，切り土斜面は不確定要素が多いので大きめにする。



図－3.11　斜面安定解析図

(3) 斜面安定解析結果

各斜面の解析縦断図によるデータ一覧表を表－3.5に示した。

表－3.5　斜面の解析縦断図によるデータ一覧表

斜面No	断面No	H (m)	h (m)	長さ (m)	断面積 (㎡)	勾配 (度)
1	1	0.5	0.5	9.3	2.33	36
				11.5	2.88	30
					5.21	
2	1	0.6	0.6	3.2	0.96	49
	2	0.5	0.5	10.5	5.78	41
				3.1	0.78	41
					7.52	
3	1	0.4	0.4	13.4	2.68	37
	2	0.4	0.4	1.6	0.64	41
	3	0.5	0.5	8.1	3.65	36
	4	0.3	0.3	9.9	3.96	36
	5	0.1	0.1	10.0	2.00	36
				8.0	0.40	36
					13.3	
4	1	0.3	0.3	11.4	1.71	35
	2	0.5	0.5	11.0	4.40	35
	3	0.3	0.3	11.0	4.40	22
				11.0	1.65	22
					12.16	
5	1	0.3	0.3	7.5	1.13	40
	2	0.6	0.6	7.5	3.38	40
	3	0.5	0.5	2.8	1.54	18
	4	0.3	0.3	9.0	3.60	25
				13.2	1.98	31
					11.63	
6	1	0.4	0.4	1.0	0.20	56
	2	0.4	0.4	7.8	3.12	29
				10.0	2.00	41
					5.32	

表－3.6(1)　安全率算出表

斜面No.—ケースNo.	断面	H (m)	h (m)	長さ (m)	断面積 (m²)	勾配 (度)	水の単位体積 (t/m3)	湿潤単位体積重量 (t/m3)	飽和単位体積重量 (t/m3)	粘着力 (t/m²)	抵抗角 (度)	W (t/m)	T (t/m)	ΣT (t/m)	N (t/m)	U (t/m)	F (t/m)	ΣF (t/m)	安全率
1-1				9.3	2.33	36	1	1.142	1.311	0.35	35.9	5.3	3.1		4.3	0.0	3.5		
	1	0.5	0.5	11.5	2.88	30	1	1.142	1.311	0.35	35.9	6.6	3.3	6.4	5.7	0.0	4.5	7.9	1.24
1-2				9.3	2.33	36	1	1.142	1.311	0.35	35.9	5.7	3.4		4.6	1.9	2.3		
	1	0.5	0.5	11.5	2.88	30	1	1.142	1.311	0.35	35.9	7.1	3.5	6.9	6.1	2.5	3.0	5.3	0.77
1-3				9.3	2.33	36	1	1.142	1.311	0.35	35.9	6.1	3.6		4.9	3.8	1.2		
	1	0.5	0.5	11.5	2.88	30	1	1.142	1.311	0.35	35.9	7.5	3.8	7.3	6.5	5.0	1.5	2.7	0.36
2-1				3.2	0.96	49	1	1.150	1.321	0.00	34.7	2.2	1.7		1.4	0.0	1.0		
	1	0.6	0.6	10.5	5.78	41	1	1.150	1.321	0.00	34.7	13.3	8.7		10.0	0.0	6.9		
	2	0.5	0.5	3.1	0.78	41	1	1.150	1.321	0.00	34.7	1.8	1.2	11.5	1.3	0.0	0.9	8.9	0.77
2-2				3.2	0.96	49	1	1.150	1.321	0.00	34.7	2.4	1.8		1.6	0.6	0.6		
	1	0.6	0.6	10.5	5.78	41	1	1.150	1.321	0.00	34.7	14.3	9.4		10.8	4.4	4.4		
	2	0.5	0.5	3.1	0.78	41	1	1.150	1.321	0.00	34.7	1.9	1.3	12.4	1.4	0.6	0.6	5.7	0.46
2-3				3.2	0.96	49	1	1.150	1.321	0.00	34.7	2.5	1.9		1.7	1.3	0.3		
	1	0.6	0.6	10.5	5.78	41	1	1.150	1.321	0.00	34.7	15.3	10.0		11.5	8.7	1.9		
	2	0.5	0.5	3.1	0.78	41	1	1.150	1.321	0.00	34.7	2.0	1.3	13.3	1.5	1.2	0.3	2.5	0.19
3-1				13.4	2.68	37	1	1.123	1.300	0.70	37.1	6.0	3.6		4.8	0.0	4.3		
	1	0.4	0.4	1.6	0.64	41	1	1.123	1.300	0.70	37.1	1.4	0.9		1.1	0.0	1.5		
	2	0.4	0.4	8.1	3.65	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	8.2	4.8		6.6	0.0	5.7		
	3	0.5	0.5	9.9	3.96	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	8.9	5.2		7.2	0.0	6.1		
	4	0.3	0.3	10.0	2.00	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	4.5	2.6		3.6	0.0	3.4		
	5	0.1	0.1	8.0	0.40	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	0.9	0.5	17.8	0.7	0.0	1.2	22.4	1.26
3-2				13.4	2.68	37	1	1.123	1.300	0.70	37.1	6.5	3.9		5.2	2.1	3.0		
	1	0.4	0.4	1.6	0.64	41	1	1.123	1.300	0.70	37.1	1.6	1.0		1.2	0.5	1.2		
	2	0.4	0.4	8.1	3.65	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	8.8	5.2		7.1	2.9	3.9		
	3	0.5	0.5	9.9	3.96	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	9.6	5.6		7.8	3.2	4.1		
	4	0.3	0.3	10.0	2.00	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	4.8	2.8		3.9	1.6	2.4		
	5	0.1	0.1	8.0	0.40	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	1.0	0.6	19.2	0.8	0.3	1.0	15.7	0.82
3-3				13.4	2.68	37	1	1.123	1.300	0.70	37.1	7.0	4.2		5.6	4.3	1.7		
	1	0.4	0.4	1.6	0.64	41	1	1.123	1.300	0.70	37.1	1.7	1.1		1.3	1.0	0.9		
	2	0.4	0.4	8.1	3.65	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	9.5	5.6		7.7	5.9	2.0		
	3	0.5	0.5	9.9	3.96	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	10.3	6.0		8.3	6.4	2.2		
	4	0.3	0.3	10.0	2.00	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	5.2	3.1		4.2	3.2	1.4		
	5	0.1	0.1	8.0	0.40	36	1	1.123	1.300	0.70	37.1	1.0	0.6	20.6	0.8	0.6	0.8	9.1	0.44
4-1				11.4	1.71	35	1	1.130	1.415	0.00	34.7	3.9	2.2		3.2	0.0	2.2		
	1	0.3	0.3	11.0	4.40	35	1	1.130	1.415	0.00	34.7	9.9	5.7		8.1	0.0	5.6		
	2	0.5	0.5	11.0	4.40	22	1	1.130	1.415	0.00	34.7	9.9	3.7		9.2	0.0	6.4		
	3	0.3	0.3	11.0	1.65	22	1	1.130	1.415	0.00	34.7	3.7	1.4	13.0	3.5	0.0	2.4	16.6	1.27
4-2				11.4	1.71	35	1	1.130	1.415	0.00	34.7	4.4	2.5		3.6	1.4	1.5		
	1	0.3	0.3	11.0	4.40	35	1	1.130	1.415	0.00	34.7	11.2	6.4		9.2	3.6	3.9		
	2	0.5	0.5	11.0	4.40	22	1	1.130	1.415	0.00	34.7	11.2	4.2		10.4	4.1	4.4		
	3	0.3	0.3	11.0	1.65	22	1	1.130	1.415	0.00	34.7	4.2	1.6	14.7	3.9	1.5	1.6	11.4	0.77
4-3				11.4	1.71	35	1	1.130	1.415	0.00	34.7	4.8	2.8		4.0	2.8	0.8		
	1	0.3	0.3	11.0	4.40	35	1	1.130	1.415	0.00	34.7	12.5	7.1		10.2	7.2	2.1		
	2	0.5	0.5	11.0	4.40	22	1	1.130	1.415	0.00	34.7	12.5	4.7		11.5	8.2	2.3		
	3	0.3	0.3	11.0	1.65	22	1	1.130	1.415	0.00	34.7	4.7	1.7	16.3	4.3	3.1	0.9	6.1	0.37

表－3.6(2) 安全率算出表

斜面No.－ケースNo.	断面	H (m)	h (m)	長さ (m)	断面積 (m²)	勾配 (度)	水の単位体積 (t/m3)	湿潤単位体積重量 (t/m3)	飽和単位体積重量 (t/m3)	粘着力 (t/m²)	抵抗角 (度)	W (t/m)	T (t/m)	ΣT (t/m)	N (t/m)	U (t/m)	F (t/m)	ΣF (t/m)	安全率
5-1				7.5	1.13	40	1	1.128	1.390	0.20	36.5	2.5	1.6		1.9	0.0	1.6		
	1	0.3	0.3	7.5	3.38	40	1	1.128	1.390	0.20	36.5	7.6	4.9		5.8	0.0	4.5		
	2	0.6	0.6	2.8	1.54	18	1	1.128	1.390	0.20	36.5	3.5	1.1		3.3	0.0	2.6		
	3	0.5	0.5	9.0	3.60	25	1	1.128	1.390	0.20	36.5	8.1	3.4		7.4	0.0	5.6		
	4	0.3	0.3	13.2	1.98	31	1	1.128	1.390	0.20	36.5	4.5	2.3	13.3	3.8	0.0	3.0	17.5	1.31
5-2				7.5	1.13	40	1	1.128	1.390	0.20	36.5	2.8	1.8		2.2	0.9	1.2		
	1	0.3	0.3	7.5	3.38	40	1	1.128	1.390	0.20	36.5	8.5	5.5		6.5	2.6	3.1		
	2	0.6	0.6	2.8	1.54	18	1	1.128	1.390	0.20	36.5	3.9	1.2		3.7	1.5	1.8		
	3	0.5	0.5	9.0	3.60	25	1	1.128	1.390	0.20	36.5	9.1	3.8		8.2	3.3	3.9		
	4	0.3	0.3	13.2	1.98	31	1	1.128	1.390	0.20	36.5	5.0	2.6	14.9	4.3	1.7	2.1	12.1	0.81
5-3				7.5	1.13	40	1	1.128	1.390	0.20	36.5	3.1	2.0		2.4	1.7	0.7		
	1	0.3	0.3	7.5	3.38	40	1	1.128	1.390	0.20	36.5	9.4	6.0		7.2	5.2	1.7		
	2	0.6	0.6	2.8	1.54	18	1	1.128	1.390	0.20	36.5	4.3	1.3		4.1	2.9	1.0		
	3	0.5	0.5	9.0	3.60	25	1	1.128	1.390	0.20	36.5	10.0	4.2		9.1	6.5	2.1		
	4	0.3	0.3	13.2	1.98	31	1	1.128	1.390	0.20	36.5	5.5	2.8	16.4	4.7	3.4	1.2	6.7	0.41
6-1				1.0	0.20	56	1	1.100	1.423	0.00	39.4	0.4	0.4		0.2	0.0	0.2		
	1	0.4	0.4	7.8	3.12	29	1	1.100	1.423	0.00	39.4	6.9	3.3		6.0	0.0	4.9		
	2	0.4	0.4	10.0	2.00	41	1	1.100	1.423	0.00	39.4	4.4	2.9	6.6	3.3	0.0	2.7	7.9	1.19
6-2				1.0	0.20	56	1	1.100	1.423	0.00	39.4	0.5	0.4		0.3	0.1	0.1		
	1	0.4	0.4	7.8	3.12	29	1	1.100	1.423	0.00	39.4	7.9	3.8		6.9	2.7	3.4		
	2	0.4	0.4	10.0	2.00	41	1	1.100	1.423	0.00	39.4	5.0	3.3	7.5	3.8	1.5	1.9	5.4	0.72
6-3				1.0	0.20	56	1	1.100	1.423	0.00	39.4	0.6	0.5		0.3	0.2	0.1		
	1	0.4	0.4	7.8	3.12	29	1	1.100	1.423	0.00	39.4	8.9	4.3		7.8	5.5	1.9		
	2	0.4	0.4	10.0	2.00	41	1	1.100	1.423	0.00	39.4	5.7	3.7	8.5	4.3	3.0	1.0	3.0	0.36

表－3.5および表－3.2，表－3.3のデータを式（3－3）～式（3－10）により計算を行った。全率算出表を表－3.6に示し，それぞれの斜面についての安全率を表－3.7に示した。

表－3.7　斜面安定解析結果

斜面No	ケースNo	安全率	斜面No	ケースNo	安全率
1	1	1.24	4	1	1.27
	2	0.77		2	0.77
	3	0.36		3	0.37
2	1	0.77	5	1	1.31
	2	0.46		2	0.81
	3	0.19		3	0.41
3	1	1.26	6	1	1.19
	2	0.82		2	0.72
	3	0.44		3	0.36

表－3.7により安全率は，斜面No.2，6を除き滑り面以下の浸透流水面の場合（即ち，ケースNo.1）安全率が1以上となっており安定である。しかしながら，ケース2になると解析を行ったどの斜面についても安全率は，1以下となり不安定となる。一方，土質試験により透水係数，コンシステンシー限界の結果は，表－3.8となっている。これらのことから，崩壊の発生および流動化について考察する。

表－3.8　透水試験および液性・塑性限界試験結果一覧表

斜面No	サンプル番号	透水係数	液性限界	塑性限界
1 上	5 上		65.8	46.1
下	下		110.0	57.3
2 上	1 上	3.01×10^{-4}	43.9	34.7
下	下	5.67×10^{-4}	134.2	89.2
3 上	2 上	2.45×10^{-4}	165.7	110.1
下	下	2.17×10^{-4}	96.9	66.2
4 上	3 上	3.69×10^{-3}	101.2	65.7
下	下	2.57×10^{-3}	125.2	71.1
6 上	4 上	1.78×10^{-3}	51.7	35.8
下	下	6.90×10^{-4}	118.0	66.0
平均	上	1.50×10^{-3}	85.7	58.5
	下	1.01×10^{-3}	116.9	70.0

まず，斜面No.1については滑り面上部の土層の液性限界が65.1%と斜面No.3，4から比べると低い値となっており，比較的流動化しやすい土質特性と考えられる。実際にこの崩壊地は流動化して下流に流下している。

斜面No.2については，滑り面上部の土層の液性限界が43.9%と安定計算を行った斜面の中で最も液

性限界の値が小さく流動化しやすい土質特性を持っていると考えられる。しかしながら，実際の崩壊地では，流動化せずに斜面中腹部に土塊がとどまっている。これは，崩壊の発生した斜面の直下が緩勾配となっているためと考えられる。

斜面No.3については，実際の崩壊では流動化して下流に流下しているが，土質試験の結果によると最も液性限界の値が高くなっている。即ち，流動化しにくい土質特性を持っていると考えられる。ただし，安定計算の結果では，斜面No.2，6に次いで3番目に低い結果となっている。この斜面が斜面No.2と異なる点は，滑り面が若干円弧状になっており，一方の斜面No.2は平行であるということである。このことから推測すると斜面No.3の方が流動化したのは集水しやすく浸透流水位が高かったためと考えられる。

斜面No.4については，他の斜面と比べて透水係数が高く，若干ではあるが斜面勾配も緩い。また，液性限界についても他の斜面よりも比較的高い。このため，崩壊しなかったと考えられる。

斜面No.6については，滑り面上部の透水係数を除いて斜面No.2と似ている。安定計算の結果では，No.2に次いで安全率が小さくなっておりもともと比較的不安定な斜面であったと考えられる。このために崩壊流出したのであろう。

斜面No.5については，安定計算では比較的安定な斜面であるといえる。ただし，他の斜面（斜面No.4を除く）同様に今回の降雨により崩壊をしている。

3.3　崩壊調査および土質試験調査のまとめ

崩壊調査地点は，図－8および付図崩壊地分布図に示した。また，表－3.8に崩壊地の現地調査結果および土質試験結果の一覧を示し，図－3.12，13に粒度試験結果および物理試験結果を示した。崩壊地の特徴を調べるために，表－3.8の結果をもとに調査を行った崩壊地を崩壊を起こした土層（物質）と流動状況の違いにより層別し，以下に考察を行った。ただし，流動状況については，現地調査での相対的な比較による流動状況であり各々の流動・非流動を正確に把握されているわけではない。

まず全体では，崩壊深は0.4～3.0mであり平均では1.3m，斜面勾配は，32～56度であり平均では40.4度，崩壊地面積は，大きなばらつきがあり126～2,700m²となっており平均で890m²，崩壊残土は最もばらつきが大きく5～70％であり平均では27％，液性限界は43.9～165.7％であり平均では97.9％，塑性限界は34.7～110.1％であり平均では63.0％となっている。また，崩壊した土層の粒径の礫・砂分の比率は13～55％であり平均では35.7％となっている。

次に，これを層別したカテゴリー別にみると，崩壊した土層（物質）別では，黒ぼくのみ，すなわち表層崩壊の場合，岩盤や崖錐堆積物を含んだ崩壊よりも平均値で崩壊深が浅く（1.0mと1.5m），斜面勾配が緩く（38.3度と42.5度），崩壊地面積が小さく（298m²と1,339m²），崩壊残土が少なく（21％と35％），液性限界が大きく（98.6％と96.3％），塑性限界が大きく（64.0％と60.4％），礫・砂分が少ない（29.0％と52.5％）という結果となった。この中でも，特に崩壊深，崩壊地面積，崩壊残土，および礫・砂分が明瞭に異なる。これらは，いずれも表層崩壊の特徴を示し，規模が小さいこと，崩壊物質が岩盤等を含まないため，細粒で流下しやすいことを示している。

一方，流動状況別では，流動型崩壊の場合，非流動型崩壊よりも平均値で崩壊深が浅く（1.2mと1.5m），斜面勾配が緩く（39.6度と41.8度），崩壊地面積が小さく（507m²と1,580m²），崩壊残

土が少なく（21％と37％），液性限界が大きく（112.3％と78.8％），塑性限界が大きく（71.3％と51.8％），礫・砂分が小さい（25.5％と49.3％）という結果となった。この結果は，特にその傾向は，上記の表層崩壊の特徴に酷似し，表層崩壊がすなわち流動型崩壊的であることが推定される。

次に崩壊の滑り面の上位の土層と下位の土層の相違について考察を行うこととする。表－3.9に崩壊地の土質試験結果のまとめを示した。このうち，サンプリング№3の地点は未崩壊斜面の土層からのサンプルである。

この未崩壊斜面と他の崩壊斜面との顕著な違いは透水係数が未崩壊斜面のほうが上下に関わらず他の斜面より1オーダー程度大きいことである。

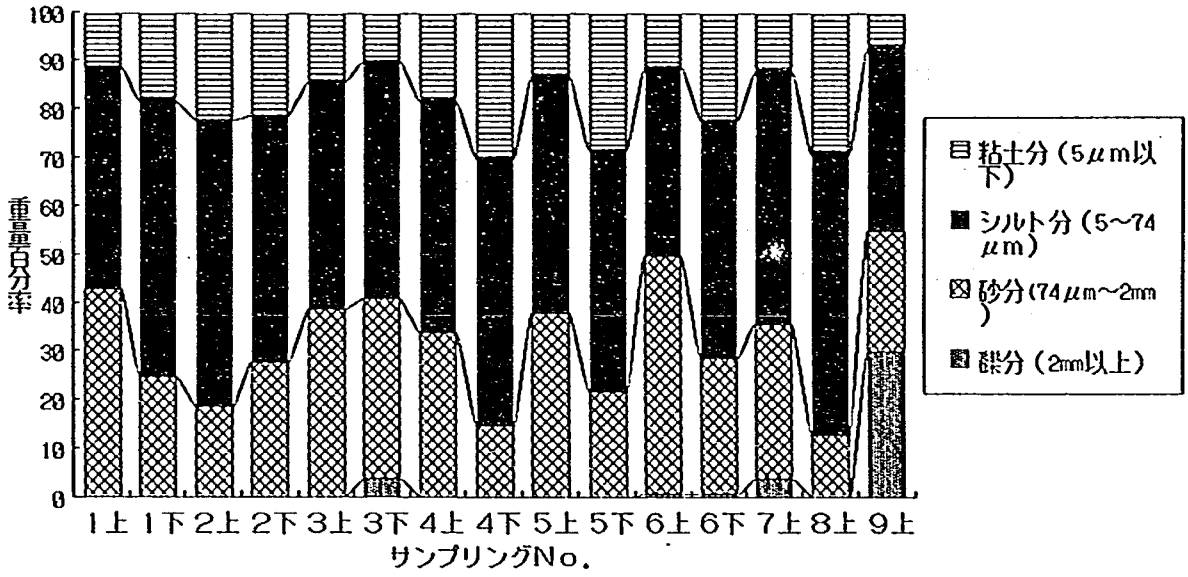
一方，上下の相違については上位の土層の場合，下位の土層よりも平均値で液性限界が小さく（82.6％と121.1％），塑性限界が小さく（56.5％と74.4％），礫・砂分が多く（37％と27％），自然含水比が大きく（99.0％と90.7％），透水係数が大きい（$1.50 * 10^{-3}$ cm/sec と $1.01 * 10^{-3}$ cm/sec）という結果となった。この中でも特に液性限界，塑性限界，礫・砂分において顕著な相違を示している。これは，いずれも上位の土層が下位の土層よりも粗粒で流動化しやすいことを示している。一方，自然含水比と透水係数については，特に明瞭な傾向は見られなかった。なお，液性限界の値よりも自然含水比の値が大きくなっている矛盾は，サンプリング№2の試料採取の際，不撹乱土と乱した試料を近傍から採取していたのだが，結果的に性質の異なった試料をサンプルしたためと考えられ，これが平均値に大きく及ぼしていると考えられる。

表－3.8　崩壊地調査及び土質試験結果一覧表

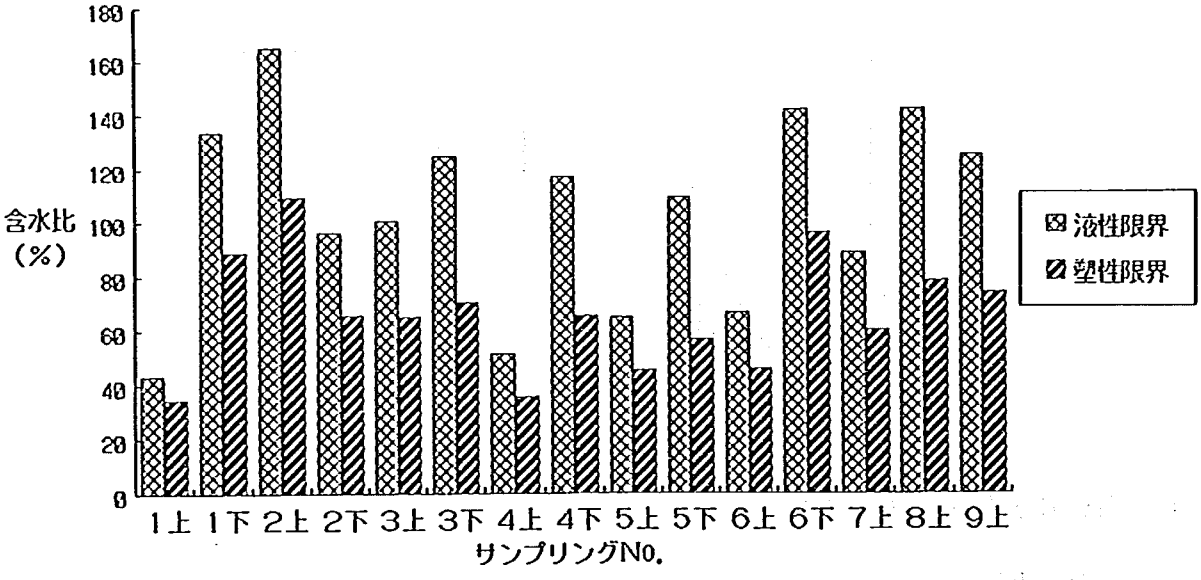
崩壊地NO.	崩壊を起こした物質	流動状況	崩壊深（m）	斜面勾配（度）	崩壊面積（m2）	崩壊残土（%）	液性限界（%）	塑性限界（%）	礫．砂分（%）
1	黒ぼく	流動	0.9	34	126	15	----	----	----
2	黒ぼく	非流動	1.0	41	450	30	43.9	34.7	43.0
3	黒ぼく	流動	1.0	35	275	30	165.7	110.1	19.0
4	黒ぼく，岩盤	非流動	0.4	42	1050	70	67.1	46.3	50.0
5	黒ぼく，岩盤，崖錐堆積物	非流動	1.3	43	2700	15	----	----	----
6	黒ぼく，岩盤，崖錐堆積物	流動	3.0	39	1190	5	----	----	----
7	黒ぼく	流動	0.5	41	460	20	51.7	35.8	34.0
8	黒ぼく	流動	2.0	32	425	25	142.6	78.8	13.0
9	黒ぼく	流動	0.2	50	200	10	----	----	----
10	黒ぼく	流動	1.5	35	150	15	89.1	60.6	36.0
11	黒ぼく，岩盤	流動	0.5	56	1440	30	----	----	----
12	黒ぼく，岩盤	流動	1.2	34	300	40	----	----	----
13	黒ぼく，岩盤	非流動	2.5	43	2500	60	125.4	74.4	55.0
14	黒ぼく，岩盤	非流動	2.0	40	1200	10	----	----	----
平均			1.3	40.4	890	27	97.9	63.0	35.7
崩壊した土層平均値	黒ぼくのみ		1.0	38.3	298	21	98.6	64.0	29.0
	その他		1.7	42.5	1439	35	96.3	60.4	52.5
流動状況平均値	流動		1.2	39.6	507	21	112.3	71.3	25.5
	非流動		1.5	41.8	1580	37	78.8	51.8	49.3

表－3.9　土質試験結果のまとめ

サンプリングNO.	液性限界（%）	塑性限界（%）	礫・砂分（%）	自然含水比（%）	透水係数 K15(10^-4 cm/sec)
1上	43.9	34.7	43	136.0	3.0
1下	134.2	89.2	25	99.0	5.7
2上	165.7	110.1	19	137.0	2.5
2下	96.9	66.2	28	66.5	2.2
3上	101.2	65.7	39	65.6	36.9
3下	125.2	71.1	41	101.4	25.7
4上	51.7	35.8	34	57.2	17.8
4下	118.0	66.0	15	96.0	6.9
5上	65.8	46.1	38	----	----
5下	110.0	57.3	22	----	----
6上	67.1	46.3	50	----	----
6下	142.5	96.7	29	----	----
平均値	101.9	65.4	32	94.8	12.6
上平均値	82.6	56.5	37	99.0	15.0
下平均値	121.1	74.4	27	90.7	10.1



図－3.12　崩壊地粒度試験結果

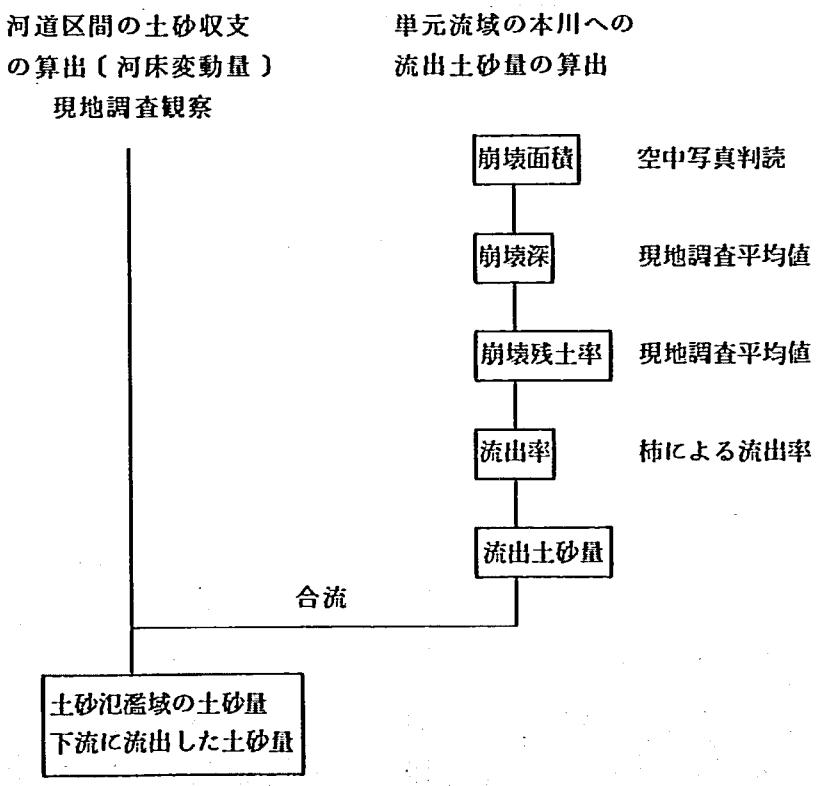


図－3.13　崩壊地物理試験結果

以上のように，崩壊の発生と流動について土質試験をして考察を行ったが，今回対象となっている土層は，みな火山灰質粘性土であり，関東ローム層に近い土質といえるために特別な土質といえる。例えば，関東ローム層の場合液性限界では撹乱，不撹乱によって値が大きく変わったりすることや，同じ区域内でも工学的なばらつきが大きくなるといったことである（土質試験法参照）。このために土質を考慮して崩壊の発生，流動化について考察するには，過去のデータあるいはさらなるデータを得ることによってもっと明らかにしていかなければならない。

4．土　砂　収　支

古恵川および東岳川に発生した土石流に伴う土砂の生産・流下・堆積状況を定量的に求めて土砂収支を行った。土砂収支の方法は本川河道における河床変動量と本川河道への支川流域からの流出土砂量を合計するものである。流出土砂量算出のための単元流域は，古恵川が９流域，東岳川が10流域とした。なお，本川への流出土砂量の土砂生産源として，単元流域の河道に存在している移動可能土砂量は，崩壊土砂量に比べて流出の割合が非常に小さいと考えられるのでカウントしていない。土砂収支の手順を，図－4.1に示す。



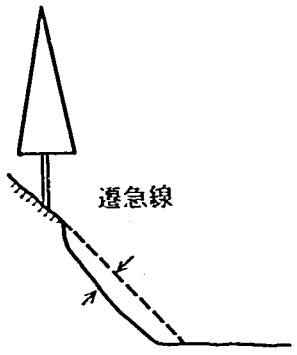
図－4.1　土砂収支の手順

4.1　河道における土砂収支

河道における土砂収支を実施するために，まず，計算断面に用いる河床横断面図を作成した。古恵川上流域においては，河床の縦断測量と200ｍごとの横断測量を実施し，その成果をもとに河床横断面図を作成した。また，古恵川の下流域においては，既成の横断測量の成果（古恵川砂防災害復旧工事測量成果）があるので，一部それを利用して河床横断面図を作成した。その他の河川においては，およそ200ｍごとに河床の横断形を現地観察して河床横断面図を作成した。その際にあらかじめ空中写真を用いて土石流の発生，流下，堆積区域を判読し，その結果を参考に現地で河道の侵食および堆積区域を明らかにした。次に，200ｍごとに得られた河床横断面図に土石流による土砂の侵食および堆積範囲と侵食深および堆積厚を現地調査時に推定して求めた。

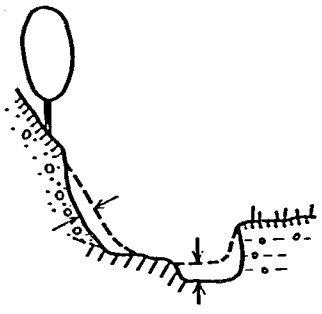
土砂収支は，こうして求めた河床横断面図をもとに平均断面法による各２測線における平均の侵食面積および堆積面積を求め，それに区間距離を乗じて，それぞれ侵食土量，堆積土量を求め，上流より下流に累加した。

なお，現地における侵食深および堆積厚の推定基準は以下のとおりである。



渓岸に新鮮な崩壊面が見られる場合，渓岸の遷急線以下が，崩壊面とほぼ平行に侵食されたとみなす。

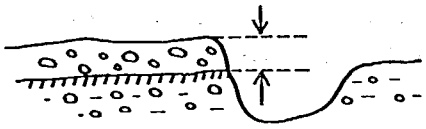
小段丘崖の上端にオーバーハングがある場合，その段丘崖は平行的に後退（侵食）したものとみなす。



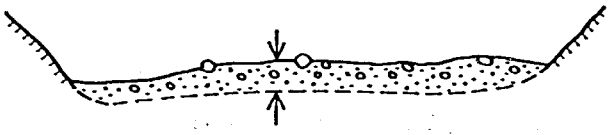
両岸に新鮮な崩壊面があり，河床に階段状の横断面形がみられる場合，両岸および河床が侵食されたとみなす。

図－4.2　侵食深，堆積厚の推定基準(1)

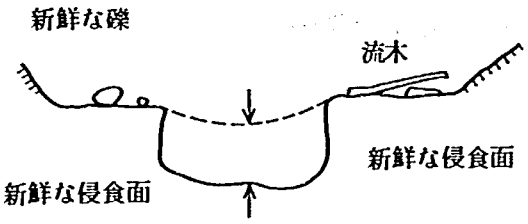
土石流堆などの河床面上に土砂が舌状に堆積する場合，河床面との比高を堆積厚とする。



堆積後の侵食によって断面が観察される場合，堆積前の面などを埋積された旧表土などから求め，それ以上を堆積厚とする。



河床全域に新鮮な砂礫が堆積している場合，少なくとも数10cm以上の堆積厚があるものと推定する。



新鮮な礫や流木の載る一定のレベルから，新鮮な崩壊面をもって急激に下降する袋状の断面をもつ場合，袋状の部分が侵食されたものと推定する。

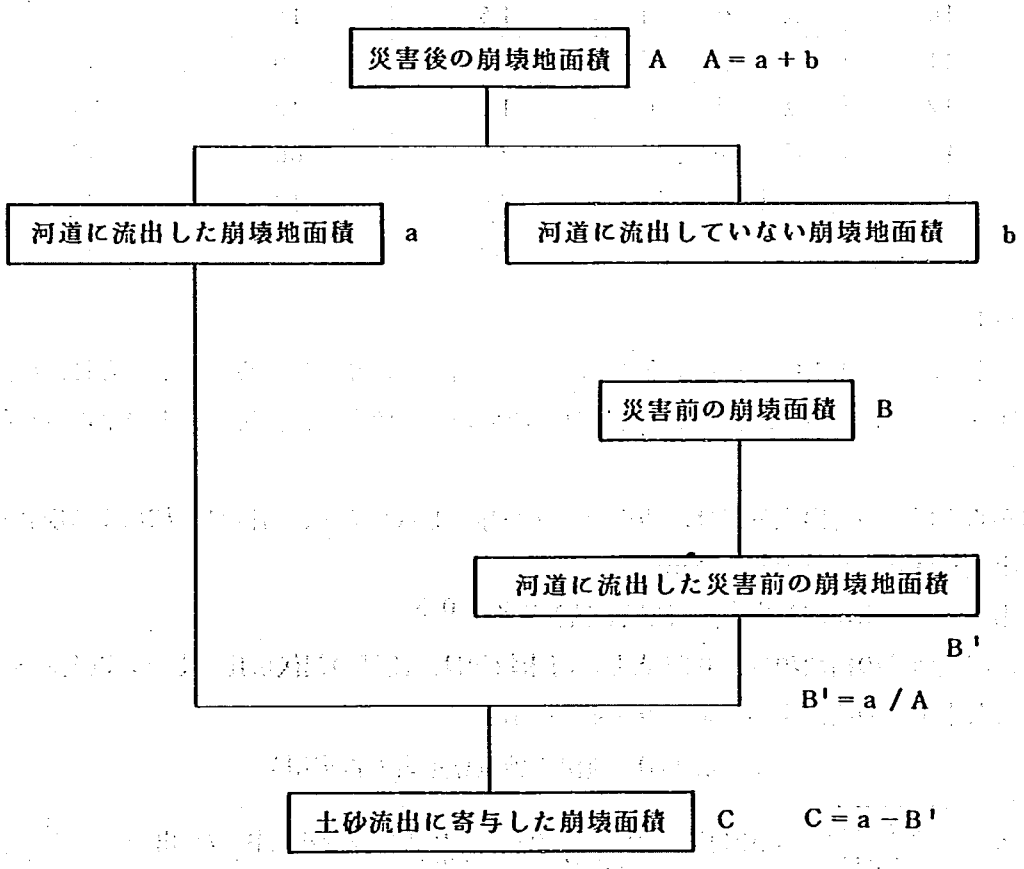
図－4.2　侵食深，堆積厚の推定基準(2)

4.2　本川への流出土砂量

本川への流出土砂量を算出するに当たって生産土砂量は，山腹および渓岸からの崩壊土砂量を対象とした。ただし，土砂収支に用いた崩壊土砂量は，空中写真判読によって崩壊土砂が河道に流出した土砂についてのみとした。

(1)　崩壊地面積

災害前から既に存在していた崩壊地については，ほとんど土砂を生産していないという仮定に基づき対象とする崩壊地面積は，災害後の崩壊地面積から災害前の崩壊地面積を差し引いた面積とした。ただし，災害前の崩壊地面積は，災害後に河道に流出した崩壊か否か判定せずに災害後の面積比（河道に流出：非流出）で，配分して算出した。手順を図－4.3に示した。



図－4.3　土砂流出に寄与した崩壊面積算出の手順

(2)　崩 壊 深

崩壊深は，一般に地質の特性によって異なると言われているが，本調査では，顕著な違いが見られなかったことにより現地調査を行った崩壊地の平均値を用いた。表－4.1に崩壊地調査結果一覧表を示す。

表－4.1　崩壊地調査結果一覧表

崩壊地No	流　　域	崩 壊 深	残土率(%)	勾　配
1	古　恵　川	0.9	15	34
2	古　恵　川	1.0	30	41
3	古　恵　川	1.0	30	35
4	古　恵　川	0.4	70	42
5	東　岳　川	1.3	15	43
6	東　岳　川	3.0	5	39
7	東　岳　川	0.5	20	41
8	平保の木川	2.0	25	32
9	平保の木川	1.0	10	50
10	豆　札　川	1.5	15	35
11	豆　札　川	0.5	30	56
12	豆　札　川	1.2	40	34
13	豆札川支川	2.5	60	43
14	豆札川支川	2.0	10	35
平　均		1.3	27	40

(3)　崩壊残土率

崩壊残土率は，表－4.1に示したように今回の現地調査では非常にばらつきが見られたが，特に明瞭な傾向は見受けられなかった。そこで今回は，流域の代表値として，現地調査の平均値を用いた。

(4)　流 出 率

各支川から本川への流出土砂量は，調査データが存在しないので，今回は，柿による次式を用いた。

流出土砂量＝生産土砂量＊流出率

流出率＝（河床勾配）$^{0.4}$ /（流域面積）$^{0.2\sim0.3}$

ここで，流域面積の指数項は，0.25とし，河床勾配は，流域の起伏量比とした。以上の手順によって算出された本川への流出土砂量を，表－4.2に示す。

表－4.2(1)　流出土砂量算定表（古恵川）

流域番号	流域面積 (km²)	河床勾配	崩壊地面積 (100m²)	崩 壊 深 (m)	崩壊残土率	流 出 率	流出土砂量 (m³)
1	0.84	0.270	689	1.3	0.27	0.62	40,539
2	0.60	0.093	63	1.3	0.27	0.44	2,630
3	2.89	0.130	2,854	1.3	0.27	0.34	92,087
4	0.31	0.047	0	1.3	0.27	0.39	0
5	2.39	0.135	1,094	1.3	0.27	0.36	37,375
6	0.21	0.051	0	1.3	0.27	0.45	0
7	0.68	0.290	1,309	1.3	0.27	0.67	88,380
8	0.42	0.132	237	1.3	0.27	0.55	12,370
9	1.21	0.029	73	1.3	0.27	0.23	1,593

表－4.2(2)　流出土砂量算定表（東岳川）

流域番号	流域面積（km²）	河床勾配	崩壊地面積（100m²）	崩壊深（m）	崩壊残土率	流出率	流出土砂量（m³）
1	0.70	0.344	1,615	1.3	0.27	0.71	108,884
2	0.60	0.061	415	1.3	0.27	0.37	14,572
3	1.31	0.196	1,668	1.3	0.27	0.49	77,564
4	0.06	0.030	19	1.3	0.27	0.50	902
5	0.76	0.120	364	1.3	0.27	0.46	15,890
6	0.18	0.032	6	1.3	0.27	0.39	222
7	0.20	0.081	6	1.3	0.27	0.55	313
8	0.34	0.067	1	1.3	0.27	0.44	42
9	1.66	0.196	684	1.3	0.27	0.46	29,859
10	0.98	0.044	0	1.3	0.27	0.29	0

表－4.2(3)　流出土砂量算定表（豆札川支川）

流域番号	流域面積（km²）	河床勾配	崩壊地面積（100m²）	崩壊深（m）	崩壊残土率	流出率	流出土砂量（m³）
1	0.03	0.422	24	1.3	0.27	1.00	2,278
2	0.03	0.193	18	1.3	0.27	1.00	1,708

表－4.2(4)　流出土砂量算定表（豆札川）

流域番号	流域面積（km²）	河床勾配	崩壊地面積（100m²）	崩壊深（m）	崩壊残土率	流出率	流出土砂量（m³）
1	0.04	0.387	49	1.3	0.27	1.00	4,650
2	0.06	0.375	141	1.3	0.27	1.00	13,381
3	0.09	0.332	74	1.3	0.27	1.00	7,023
4	0.03	0.158	19	1.3	0.27	1.00	1,803
5	0.18	0.282	228	1.3	0.27	0.93	20,122
6	0.06	0.090	21	1.3	0.27	0.78	1,554

表－4.2(5)　流出土砂量算定表（平保の木川）

流域番号	流域面積（km²）	河床勾配	崩壊地面積（100m²）	崩壊深（m）	崩壊残土率	流出率	流出土砂量（m³）
1	0.02	0.380	39	1.3	0.27	1.0	3,701
2	0.00	0.165	30	1.3	0.27	1.0	2,847
3	0.02	0.390	22	1.3	0.27	1.0	2,088
4	0.01	0.116	7	1.3	0.27	1.0	664
5	0.05	0.237	6	1.3	0.27	1.0	569
6	0.13	0.291	38	1.3	0.27	1.0	3,606

4.3　堆積，氾濫域

空中写真判読によって，氾濫面積の測定を行った。また，土砂堆積深は，現地調査の結果より求め，氾濫面積に乗じて氾濫土砂量を算出した（表－4.3）。

表－4.3　流域別の氾濫土砂量

流域名	氾濫堆積面積	堆積深	氾濫土砂量	
古恵川	1,644,000㎡	0.1 m	164,400㎥	
東岳川	39,000	0.1	3,900	
平保の木川	368,642	0.15	55,296	豆札川を含む
豆札川	…	…	…	
豆札川支川	15,801	0.2	3,160	

以上の結果を用いて最終的に流域全体の土砂収支を行った。なお，流域系統図および土砂収支表を図－4.4，表－4.4に示す。この結果，古恵川では約20万m^3の，東岳川では約15万m^3の土砂を国道付近まで流しているが，古恵川では4分の3近くが氾濫しているのに対して，東岳川では，ほとんどが下流に流下していることが特徴的な違いである。また，豆札川支川では，約2千m^3，豆札川を含む平保の木川では，約4万m^3がそれぞれ流出している計算になる。これは表－4.3の氾濫土砂量の計算値より少ない値となってしまっており，流出土砂量の見積りが小さいのか，氾濫土砂量の見積りが大きいのか，原因は判別できないが，流出した土砂のほとんど全てが氾濫したことはわかる。

表－4.4(1) 古恵川土砂収支表（㎥）

流域No	断面No	流入土砂量	区間収支 侵食量	流出土砂量
①		－	－	40,539
②		－	－	2,630
	27	43,169	－	43,169
	26	43,169	100	43,269
	25	43,269	－600	42,669
	24	42,669	－800	41,869
	23	41,869	－1,300	40,569
	22	40,569	－2,300	38,269
③		－	－	92,087
④		－	－	0
	20	130,356	－5,600	124,756
	19	124,756	－2,700	122,056
⑤		－	－	37,375
⑥		－	－	0
	18	159,431	－2,805	156,626
	17	156,626	－3,120	153,506
⑧		－	－	89,450
⑨		－	－	1,593
	16	244,549	200	244,749
	15		400	245,149
	14		－2,600	242,549
	13		－3,450	239,099
	12		－7,200	231,899
	11		－5,300	226,599
	10		－400	226,199
	9		－276	225,293
	8		904	226,827
	7		760	227,587
	4		－2,280	225,307
	3		－1,300	224,007
	2		－1,800	222,207
	1		－990	221,217
		氾濫土砂量	164,000	
		流下土砂量	57,217	

表－4.4(2) 黒川土砂収支表（㎥）

流域No	断面No	流出土砂量	区間収支 侵食量	流出土砂量
⑦				88,380
⑧				12,370
	36	100,750	－	100,750
	35		－5,100	95,650
	34		－2,800	92,850
	33		－800	92,050
	32		－900	91,150
	31		－500	90,650
	30		－300	90,350
	29		－300	90,050
	28		－600	89,450

表－4.4(3) 東岳川土砂収支表（㎥）

流域No	断面No	流入土砂量	区間収支 侵食量	流出土砂量	
①		－	－	108,884	
②		－	－	14,572	
	33	123,456	－	123,456	
	32	123,456	－3,500	119,956	
	31	119,956	－3,150	116,806	
	30	116,806	－4,400	112,406	
	29	112,406	－4,095	108,311	
	28	108,311	－1,235	107,076	
	27	107,076	－1,150	105,926	
	26	105,926	270	106,196	
	25	106,196	－700	105,496	
③		－	－	0	未満砂ダムがあるため0とした
④		－	－	902	
	23	106,398	－1,560	104,838	
	22	104,838	－420	104,418	
⑤		－	－	15,890	
⑥		－	－	222	
	20	120,530	－450	120,080	
	19	120,080	－285	119,795	
	18	119,795	－2,280	117,515	
	17	117,515	－2,990	114,525	
⑦		－	－	313	
⑧		－	－	42	
	16	114 880	700	115,580	
	15	115,580	1,300	116,880	
	14	116,880	400	117,280	
	13	117,280	360	117,640	
⑨		117,640	－	29,859	
⑩		147,499	－	0	
	11	147,499	720	148,219	
	10	148,219	665	148,884	
	9	148,884	－80	148,804	
	8	148,804	－200	148,604	
	7	148,604	75	148,679	
	6	148,679	0	148,679	
	5	148,679	－570	148,109	
	4	148,109	－690	147,419	
	3	147,419	0	147,419	
	2	147,419	0	147,419	
	1	147,419	－340	147,079	
		氾濫土砂量	4,000		
		流下土砂量	143,079		

表－4.4(4)　豆札川支川土砂収支表（㎥）

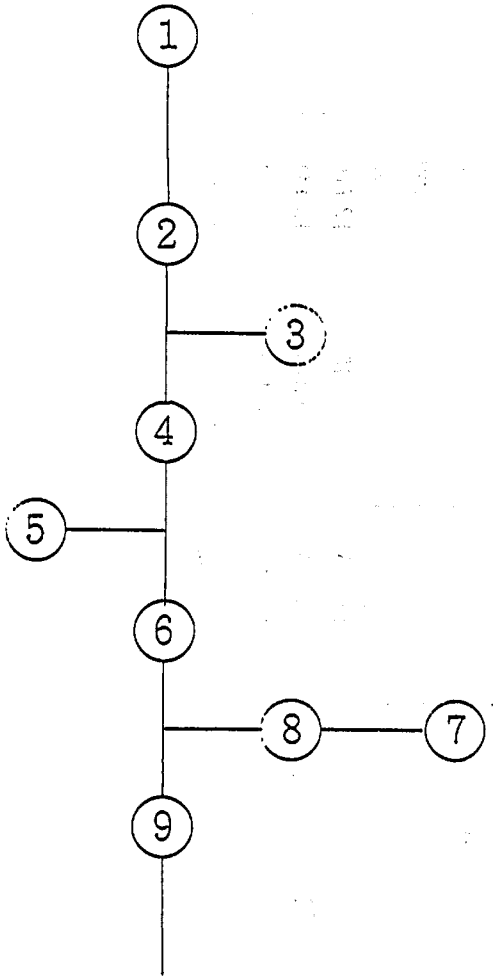
流域No	断面No	流入土砂量	区間収支 侵食量	流出土砂量
①		－	－	2,278
②		－	－	1,708
	3	3,986	－	3,986
	2	3,986	－840	3,146
	1	3,146	－1,200	1,946

表－4.4(5)　豆札川土砂収支表（㎥）

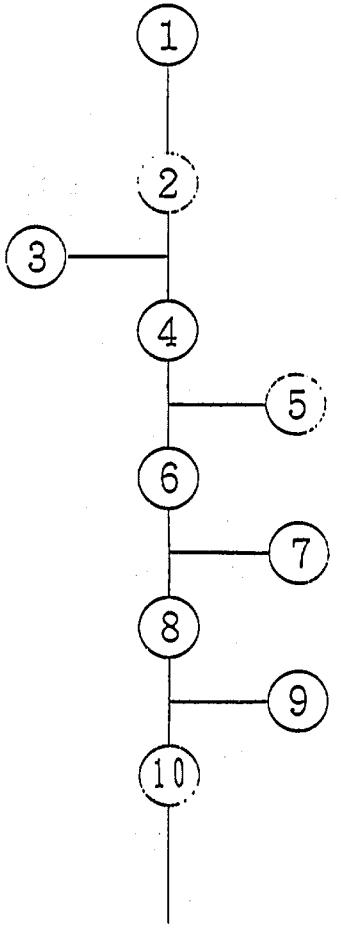
流域No	断面No	流入土砂量	区間収支 侵食量	流出土砂量
①		－	－	4,650
②		－	－	13,381
③		－	－	7,023
④		－	－	1,803
⑤		－	－	20,122
⑥		－	－	1,554
	2	48,533	－	48,533
	1	48,533	－13,509	35,024

表－4.4(6)　平保の木川土砂収支表（㎥）

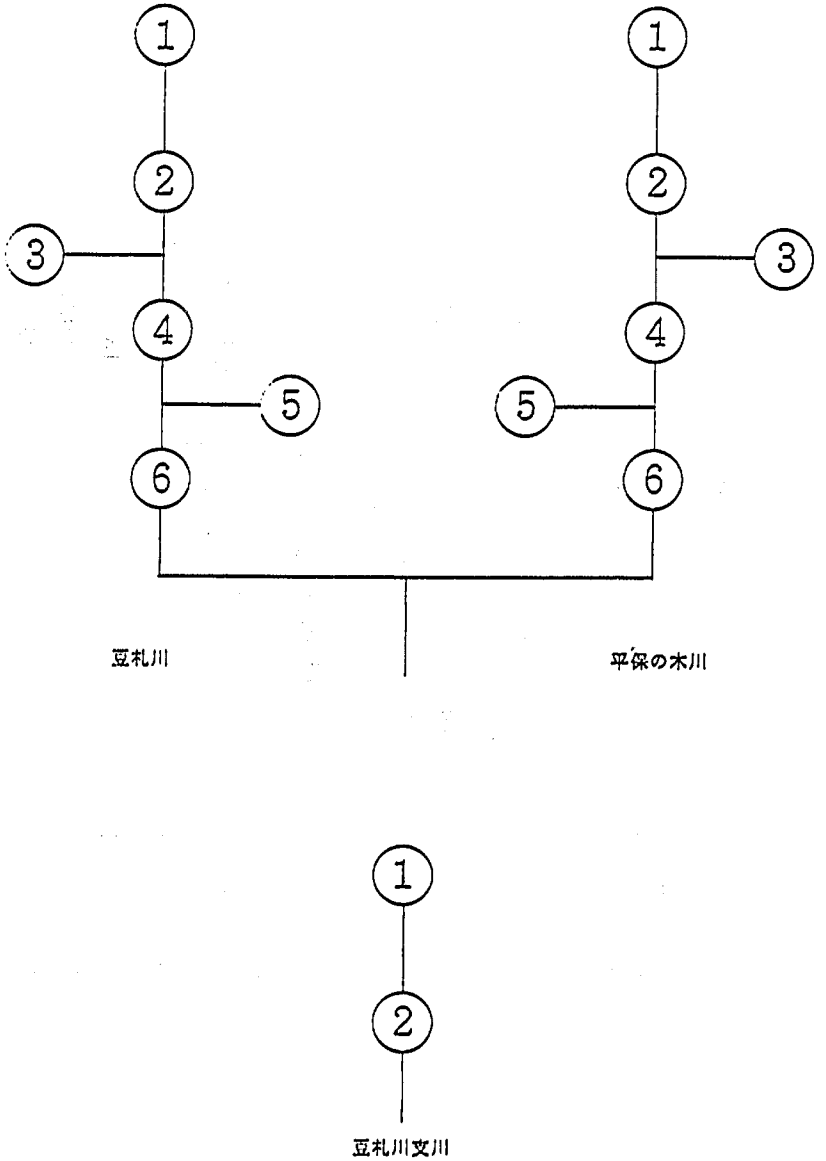
流域No	断名No	流入土砂量	区間収支 侵食量	流出土砂量
①		－	－	3,701
②		－	－	2,847
③		－	－	2,088
	5	8,636	－	8,636
	4	8,636	80	8,716
④		－	－	664
⑤		－	－	569
⑥		－	－	3,606
	3	13,555	215	13,770
	2	13,770	－329	13,441
	1	13,441	－6,480	6,961



図－4.4 (1)　古恵川流域系統図



図－4.4 (2)　東岳川流域系統図



図－4.4 (3)　豆札川，豆札川支川，
平保の木川流域系統図

次に，図－4.5 (1), (2)に古恵川，東岳川の縦断図と粒径，流送形態，および各断面の河床の変動量を示した。また，図－4.6に流送形態区分平面図を示した。以下に，それぞれの侵食，堆積の原因を考察することとする。古恵川では，①の区間では，上流からの崩壊生産土砂量が多く，しかも上域の流砂能力が大きい。したがって，下流に比べて勾配が大きいにも関わらず流砂能力以上の流入土砂があったために堆積したと考えられる。

②の区間では，支川からの流入土砂量が多く，しかも縦断図の形状が下流に向かって凸となっており，地形的に堆積しやすい区間であったためと考えられる。

③の区間では，砂防ダムがほとんど全損し流出してしまったために侵食区間となっている。

④の区間では，ダム下流部の区間のために侵食傾向となっている。

⑤の区間では，河道の屈曲が多い区間であり，しかも河床勾配が緩くなっているために，土砂が堆積したものと推定される。

⑥の区間では，②の区間と同様に縦断図の形状が下流に向かってやや凸となっており，地形的に堆積しやすい区間であったためと考えられる。

⑦の区間では，他の区間よりも川幅が狭くなっており，そのために侵食傾向となったと考えられる。

⑧の区間では，砂防施設が他の区間よりも多くあり河床が安定しており，若干の調節効果によって堆積区間になっている。

一方，東岳川では，①の区間では，古恵川同様に上流からの崩壊生産土砂量が多く，しかも上流域の流砂能力が大きいために下流に比べて勾配が大きいにも関わらず流砂能力以上の流入土砂があったために堆積したと考えられる。

②の区間では，断面をとった地点がダム下流部であったため侵食区間となったと考えられる。

③の区間では，比較的大きい（有効高10m）砂防ダムがあったために調節効果があったものと考えられる。

④の区間では，縦断形が下流に向かってやや凸になっており，堆積しやすい地形になっていたこと，および支川からの流入土砂量があったため堆積しやすかったためと考えられる。

⑤の区間では，縦断図をみると急勾配となっており侵食区間になるように思われるが，この区間には砂防ダム（有効高10m）があるためである。実際の区間は，緩い勾配となっており，堆積区間になっている。

⑥の区間では，工事中の人工河道断面となっており，土砂の掘削・移動により堆積区間になっていた可能性がある。自然の断面ではないので実際には，侵食していたと考えられる。事実，初動調査時から時間を経て人工的に改変されたものである。

⑦の区間では，砂防施設が少なく，そのため侵食傾向になったと考えられる。

⑧の区間では，他の区間よりも川幅が狭い。そのために，侵食区間となったと考えられる。

⑨の区間では，砂防施設により河床が安定しており若干の調節効果を発揮したために堆積区間となったと考えられる。

次に，粒径と縦断形について考察を行う。まず，古恵川については，本川断面27～18までは平均粒径が10cm前後となっており，断面17では極端に大きくなっている。この極端に大きくなっている原因は，砂防施設12によって土石流を捕捉しているために土石流堆が存在するためである。国道橋と断面17までの区間は，20～25cmの平均粒径であり，その傾向は，上流区間が急勾配である区間すな

わち遷緩点下流に粒径の大きい堆積物が卓越している。また，支川である断面の 28～36 の区間については，砂礫型土石流が堆積し断面34より上流が粒径が大きく 10～20 cm となっているが，断面34より下流では本川合流点より下流の粒径のほうが大きくなっていることより，土石流の勢力は，本川が卓越していたことがうかがえる。

一方，東岳川については，断面 29 よりも上流の区間では粒径が大きく，その下流の断面 17 間では粒径が小さい。そして，断面15よりも下流では，上流区間と同等の粒径となっている。これは，粒径が大きい支川のゴミ崎川が合流しているために下流区間の粒径が大きくなっている。

次に，送流形態について考察を行う。まず，古恵川については，本川では，断面 8 より上流の区間を砂礫型土石流で流下した形跡があり，遷移区間を経て断面 2 より下流区間で泥流型に変化した形跡がある。また，支川については断面34（砂防施設12 ）付近で砂礫型土石流は止まっている。これは，砂防施設によってせき止められたと考えられる。

一方，東岳川についてはほとんど砂礫型の土石流の痕跡は見られず，僅かに断面29より上流にあるのみであった。この砂礫型土石流も砂防施設効果によってせき止められたと考えられる。そのため，断面29より下流については，泥流型の土石流であったと考えられる。

なお，河道の堆積物の粒径が大きかった地点については，線格子法を行った。線格子法による結果は，巻末資料に示した。なお，線格子法の手法は河村ら[1]（1970）にならい以下のようにした。

$$d_m = (a + b + c)/3$$

d_m：代表粒径

a，b，c＝長径，中径，短径

$$V = c^2 (ab)^{1/2}$$

V：体積

$$W = V\sigma$$

σ：密度

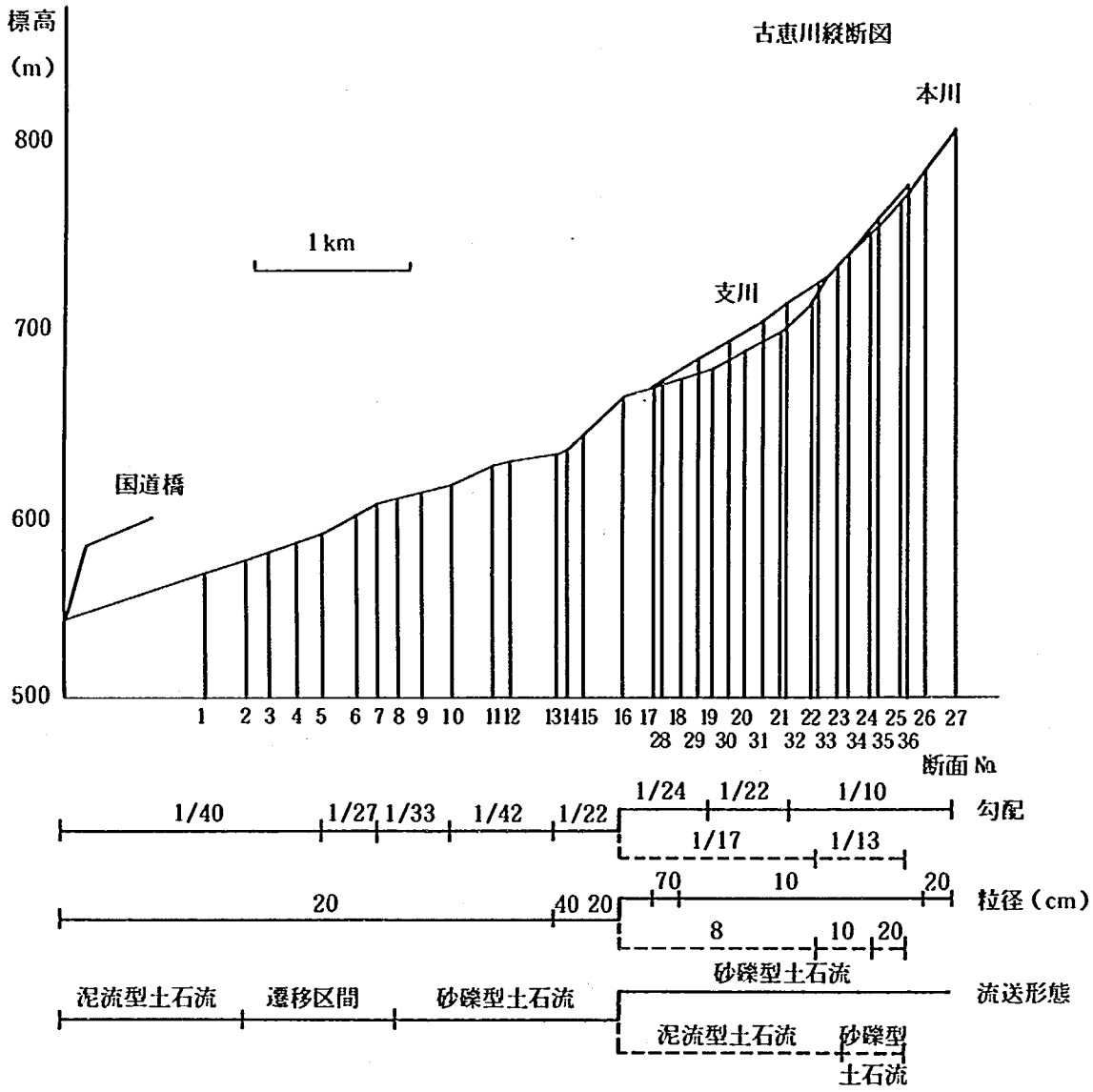
累加百分率は，個数，重量および平均百分率を示した。

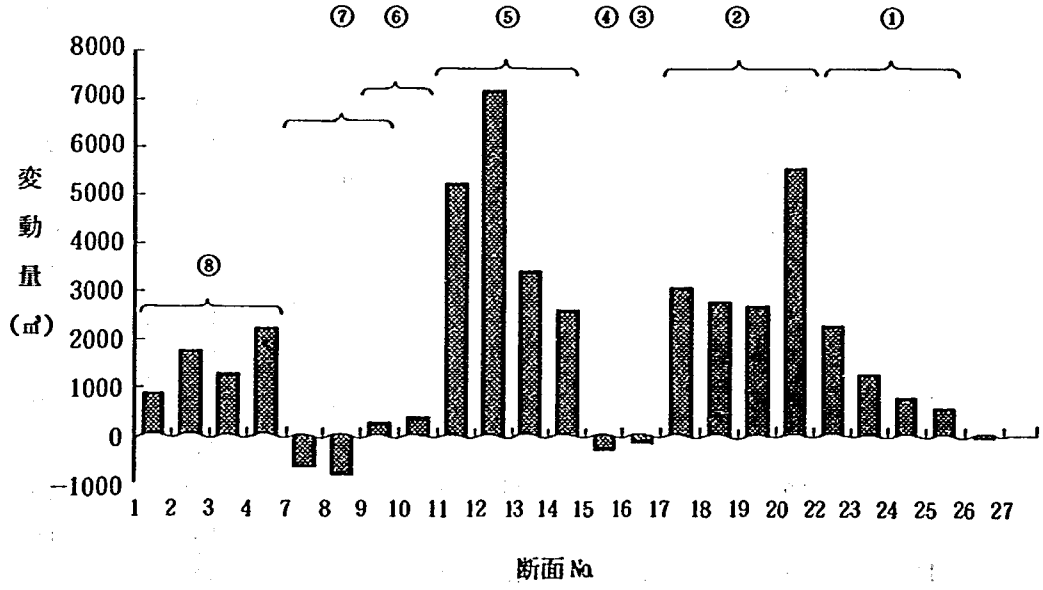
表－4.5 A　河道状況一覧表（古恵川）

調査断面No	河　幅	最大粒径	平均粒径	調査断面No	河　幅	最大粒径	平均粒径
1	4	100	20	20	20	350	10
2	30	200	25	21			
3	15	180	20	22	14	300	10
4	13	200	25	23	4	200	10
5				24	6		
6				25	15	50	8
7	23	100	20	26	6	150	20
8	6	80	20	27	6		
9	19	80	15	28	20	0.02	0.02
10	7	110	25	29	3	40	3
11	14	90	15	30	6	100	10
12	50	400	20	31	2	80	15
13	25	200	30	32	8	200	2
14	25	500	50	33	8	80	8
15	9	80	20	34	6	150	10
16	4	100	20	35	20	50	8
17	15	300	70	36	20	300	20
18	34	150	15				
19	35	300	6	平均値	15	168	18

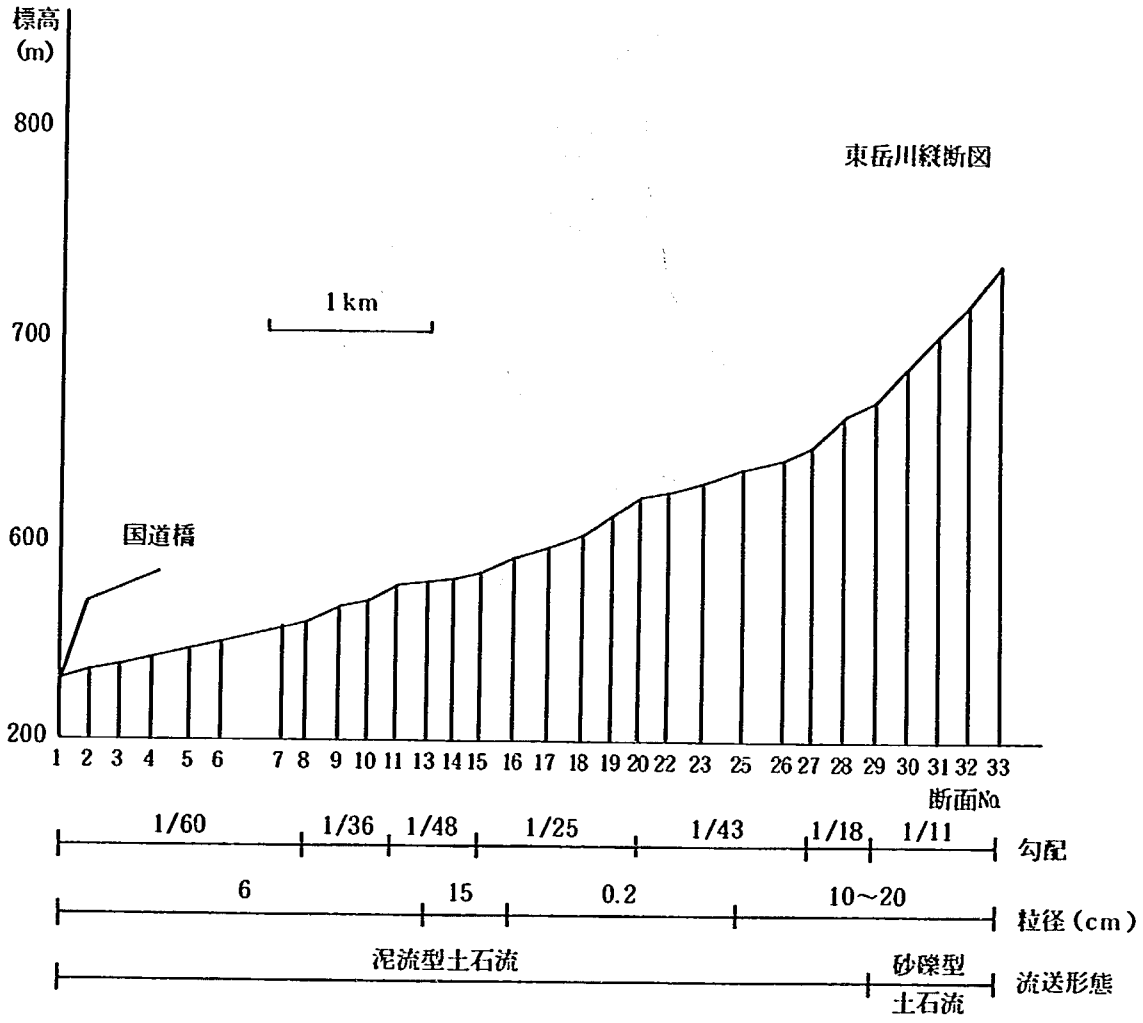
表－4.6 B　河道状況一覧表（東岳川）

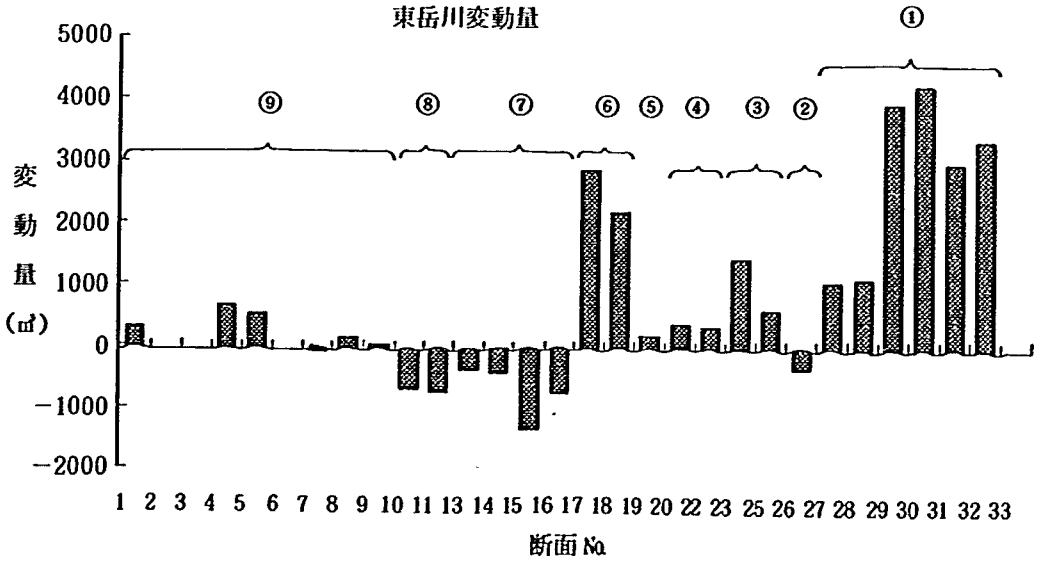
調査断面No	河　幅	最大粒径	平均粒径	調査断面No	河　幅	最大粒径	平均粒径
1	14	30	6	18	3	0.001	0.001
2	18			19	5	1	1
3	8			20	8	0.02	0.02
4	8			21	4	20	0.02
5	12	15	3	22	5	10	0.02
6	5	50	8	23	5	100	0.02
7	10	60	8	24	20	30	3
8	2	80	5	25	25	2	0.02
9	6	80	0.001	26	5	150	15
10	6	60	8	27	5	100	10
11	4	200	5	28	45	100	0.1
12	10	200	5	29	7	80	8
13	4	100	5	30	32	270	11
14	7	150	10	31	13	150	20
15	5	70	10	32	25	100	15
16	15	80	20	33	4	300	20
17	5	80	0.001	平均値	11	89	7



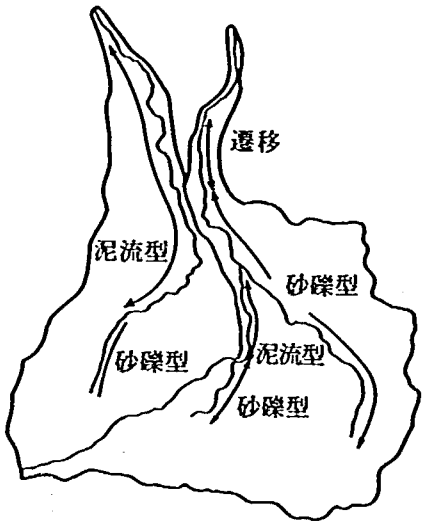


図－4.5 (1) 古恵川河床変動量





図－4.5 (2) 東岳川河床変動量



図－4.6　流送形態区分平面図

5．流　木　収　支

本章では，古恵川，東岳川について流木収支を行っている。今回の災害では，崩壊や側岸侵食によって発生した流木が，下流の人家，構造物に多大の被害を与えている。この流木の収支を行うことによって，どの様に流木が発生・流下したのかを把握することは，今後の流木対策にとって重要である。

5.1　樹林密度のサンプリング調査

現地調査により古恵川・東岳川流域の樹林密度を計測した。サンプリング位置は，付図（林相区分図）に示した。樹林密度の調査結果を表－5.1に示す。

表－5.1　樹林密度調査結果

流　域	サンプル番　号	樹　種（相　観）	平均樹高（m）	平均胸高直径（cm）	密　度（本/100㎡）	幹材積（㎥/本）
古恵川	1	ススキ	2（群高）	—	—	
	2	ススキ	0.6（群高）	—	—	
	3	ススキ	2（群高）	—	—	
	4	スギ	14	18	29	0.200
	5	スギ	14	20	15	0.257
	6	スギ	12	17	20	0.150
	7	スギ	16	23	21	0.428
	8	スギ	12	17	31	0.159
	9	ヒノキ	14	19	16	0.226
東岳川	10	広葉樹	3	8	15	0.014
	11	広葉樹	4	11	9	0.032
	12	混交林	6	12	6	0.028

なお，幹材積は，以下の式で求めた。

$$V = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d}{100}\right)^2 fh$$

V：幹材積（cm^3）
d：胸高直径（cm）
f：胸高係数
h：樹高（m）

fの胸高係数は，樹高および樹種により変化するものとし，大隅（1987）の表－5.2を用いた。

表－5.2　胸高形数表[1)]（形状高を追加）

樹高(m)	第　一	第　二	第　三	*hf*（第三）	樹高(m)	第　一	第　二	第　三	*hf*（第三）
5	0.6550	0.6529	0.6517	3.3	25	0.5066	0.4874	0.4524	11.3
6	0.6191	0.6138	0.6064	3.6	26	0.5054	0.4859	0.4505	11.7
7	0.5954	0.5878	0.5759	4.0	27	0.5043	0.4846	0.4487	12.1
8	0.5786	0.5692	0.5538	4.4	28	0.5032	0.4833	0.4470	12.5
9	0.5660	0.5552	0.5371	4.8	29	0.5023	0.4822	0.4454	12.9
10	0.5562	0.5442	0.5238	5.2	30	0.5014	0.4811	0.4440	13.3
11	0.5483	0.5354	0.5131	5.6	31	0.5005	0.4801	0.4426	13.7
12	0.5421	0.5282	0.5042	6.0	32	0.4997	0.4791	0.4413	14.1
13	0.5365	0.5221	0.4966	6.5	33	0.4990	0.4782	0.4401	14.5
14	0.5320	0.5169	0.4902	6.9	34	0.4983	0.4773	0.4389	14.9
15	0.5281	0.5124	0.4846	7.3	35	0.4976	0.4765	0.4378	15.3
16	0.5247	0.5085	0.4796	7.7	36	0.4970	0.4758	0.4367	15.7
17	0.5217	0.5050	0.4753	8.1	37	0.4964	0.4750	0.4357	16.1
18	0.5191	0.5020	0.4714	8.5	38	0.4958	0.4743	0.4348	16.5
19	0.5167	0.4992	0.4679	8.9	39	0.4953	0.4737	0.4339	16.9
20	0.5146	0.4968	0.4647	9.3	40	0.4948	0.4731	0.4330	17.3
21	0.5127	0.4945	0.4618	9.7	41	0.4943	0.4725	0.4321	17.7
22	0.5110	0.4925	0.4591	10.1	42	0.4938	0.4719	0.4314	18.1
23	0.5094	0.4907	0.4567	10.5	43	0.4934	0.4714	0.4306	18.5
24	0.5080	0.4890	0.4545	10.9	44	0.4930	0.4708	0.4229	18.9

（備考）第一　エゾマツ，トドマツ
第二　ヒノキ，サワラ，アスナロ，コウヤマキ
第三　スギ，マツ，モミ，ツガその他の針葉樹および広葉樹
hf（第三）形状高　　大隅（1987）より

ここで，樹高4mの場合のfは大隅ほか（1977）による以下の式を用いて求め，f＝0.7188とした。

$$f = \frac{m}{m+1} \cdot \frac{\left(\frac{h}{h'}\right)^m}{\left(\frac{h}{h'}\right)^m - 1}$$

ここにm：樹種に固有の常数
m＝5/8
h：樹高（m）
h：胸高（m）
h/h′＝1.2
とした。

表－5.1により針葉樹の100m²当たりの平均立木数は22本，広葉樹の場合11本となった。算出されたこの値をベースにして崩壊地分布図と林相区分図より林相区分ごとの崩壊地面積を計測し発生した流木の数を推定した。このとき災害のときの降雨によって起こった崩壊でかつ河道に土砂が流出した崩壊を対象に林相ごとの崩壊地面積を計測した。表－5.3に流域ごとの流木本数の一覧表を示した。また，幹材積については針葉樹の1本当たり平均0.233m³，広葉樹の1本当たりの平均0.022m³となった。この結果，1本当たりの針葉樹の幹材積は広葉樹の幹材積の約10倍となった。

表－5.3(1)　流木本数一覧表（古恵川）

流域No.	針葉樹林帯崩壊地面積（㎡）	広葉樹林帯崩壊地面積（㎡）	草地崩壊地面積（㎡）	針葉樹林帯河岸侵食面積（㎡）	広葉樹林帯河岸侵食面積（㎡）	残木率	針葉樹流出流木数（本）	広葉樹流出流木数（本）
1	14,200	37,100	17,600	6,430	38,943	0.27	3,313	6,106
2	3,600	2,700	0	19,173	1,046	0.27	3,657	301
3	78,000	164,600	42,800	60,742	34,951	0.27	22,282	16,024
4	0	0	0	14,096	0	0.27	2,264	0
5	28,500	20,100	60,800	17,817	12,208	0.27	7,439	2,594
6	0	0	0	8,137	0	0.27	1,307	0
7	8,400	115,900	6,600	623	0	0.27	1,449	9,307
8	11,000	1,700	11,000	1,413	4,695	0.27	1,994	514
9	1,400	0	3,800	47,202	0	0.27	7,805	0
合計	145,100	342,100	142,600	175,633	91,843		51,510	34,846

表－5.3(2)　流木本数一覧表（東岳川）

流域No.	針葉樹林帯崩壊地面積（㎡）	広葉樹林帯崩壊地面積（㎡）	草地崩壊地面積（㎡）	針葉樹林帯河岸侵食面積（㎡）	広葉樹林帯河岸侵食面積（㎡）	残木率	針葉樹流出流木数（本）	広葉樹流出流木数（本）
1	0	155,500	6,000	0	425	0.27	0	12,521
2	15,200	24,700	900	1,345	3,065	0.27	2,657	2,230
3	11,300	106,100	49,400	1,615	5,375	0.27	2,074	8,951
4	100	1,100	7,000	0	0	0.27	16	88
5	1,600	28,700	6,100	2,640	4,655	0.27	681	2,678
6	600	0	0	4,530	0	0.27	824	0
7	600	0	0	0	0	0.27	96	0
8	100	0	0	0	0	0.27	16	0
9	2,800	61,100	1,200	2,650	32,685	0.27	875	7,531
10	0	0	0	0		0.27	0	0
合計	32,300	377,200	70,600	12,780	46,205		7,240	33,999

表中の残木率とは，崩壊によって倒れた樹木のうち流出しないで残留したであろう樹木の率である。これは，崩壊調査の残土と同様に考慮したものであり，その値は残土率と同じとした。

表－5.3を見ると広葉樹の数ではほとんど変わっていないが，古恵川の針葉樹の流出が東岳川に比べて圧倒的に多いのに気が付く。広葉樹の場合針葉樹と比べて幹材積も小さく災害にそれほど関係ないと考えられるが，針葉樹の数が大きく異なっているというのは，直接災害の大小に関わってくると考えられる。被害の大きかった古恵川では，この針葉樹の流木の数が多かったのである。

次に，河道沿いの流木の堆積を考慮し，流木の収支を行った表を表－5.4に示す。なお，支川からの流入流木数は河道に途中で堆積している流木は微小であると考えすべて本川に流入しているとした。また，広葉樹は河道に堆積している状況がなかったために流木収支には考慮していない。推測ではあるが，広葉樹の場合，流下中に細かく折れたり下流に流出したりしたために河道で確認できなかったのであろう。

流木収支の結果，古恵川には約51,000本の針葉樹が国道付近に流れ，そのうちの約4割が氾濫し災害を引き起こしたと考えられる。一方，東岳川では，針葉樹の流下が約6,000と少なく，すべて下流に流れたと考えられる。

なお，表－5.5 (1), (2)に流域ごとの流木の幹材積および本数を示した。

次に，表－5.6 (1), (2)に古恵川流域，東岳川流域における植生の占有率，崩壊面積率を示した。古恵川，東岳川流域全体の崩壊面積率はそれぞれ，6.6％，7.7％であった。

また，植生の占有率では，古恵川では，針葉樹が約4割，広葉樹が約2割，草地が約4割となっており，東岳川では，針葉樹が約2割，広葉樹が約3割，草地が約4割となっている。一方，植生別の崩壊面積率は，古恵川では，針葉樹が4.0％，広葉樹が19.6％，草地が4.0％となっており，東岳川では，針葉樹が2.6％，広葉樹が21.1％，草地が2.4％となっている。

これらの結果より特徴的な点は，

1. 広葉樹林帯の崩壊面積率が他の植生に比べて非常に大きい。
2. 針葉樹林帯と草地は，古恵川，東岳川ともに崩壊面積率がほぼ同程度である。

が挙げられる。これらの結果になった理由としては，崩壊の多かった流域の上流部は，広葉樹が卓越しているために（斜面勾配が急で植林不可能な地域が多い）崩壊面積率が大きくなっている。また，針葉樹と草地については，顕著な結果は見受けられなかった。

表－5.4(1)A　古恵川流木収支表

流域No. 断面No.	流入本数	区間収支数 流出数	流出本数
①	－	－	3300
②	－	－	3700
27	7000	－	7000
26	7000	0	7000
25	7000	0	7000
24	7000	0	7000
23	7000	0	7000
22	7000	-10	6990
③	－	－	22300
④	－	－	2300
20	31590	-20	31570
19	31570	0	31570
⑤	－	－	7400
⑥	－	－	1300
18	40270	-20	40250
17	40250	-60	40190
⑧	－	－	3320
⑨	－	－	7800
16	51310	-30	51280
15	51280	0	51280
14	51280	-50	51230
13	51230	-50	51180
12	51180	-60	51120
11	51120	-50	51070
10	51070	0	51070
9	51070	-10	51060
8	51060	-20	51040
7	51040	-10	51030
4	51030	-120	50910
3	50910	-70	50840
2	50840	-60	50780
1	50780	-50	50730
	氾濫本数		19000
	流下本数		31730

表－5.4(1)B　黒川流木収支表

流域No. 断面No.	流入本数	区間収支数 流出数	流出本数
⑦	－	－	1400
⑧	－	－	2000
36	3400	－	3400
35	3400	0	3400
34	3400	0	3400
33	3400	0	3400
32	3400	-40	3360
31	3360	-40	3320
30	3320	0	3320
29	3320	0	3320
28	3320	0	3320

表－5.4(2)　東岳川流木収支表

流域No. 断面No.	流入本数	区間収支数 流出数	流出本数
①	－	－	0
②	－	－	2700
33	2700	－	2700
32	2700	-50	2650
31	2650	-20	2630
30	2630	0	2630
29	2630	-420	2210
28	2210	-490	1720
27	1720	-140	1580
26	1580	0	1580
25	1580	-40	1540
③	－	－	2100
④	－	－	0
23	3640	-30	3610
22	3610	0	3610
⑤	－	－	700
⑥	－	－	800
20	5110	0	5110
19	5110	0	5110
18	5110	-40	5070
17	5070	-50	5020
⑦	－	－	100
⑧	－	－	0
16	5120	0	5120
15	5120	0	5120
14	5120	0	5120
13	5120	0	5120
⑨	－	－	900
⑩	－	－	0
11	6020	0	6020
10	6020	0	6020
9	6020	0	6020
8	6020	0	6020
7	6020	0	6020
6	6020	0	6020
5	6020	0	6020
4	6020	0	6020
3	6020	0	6020
2	6020	0	6020
1	6020	0	6020
	氾濫本数		0
	流下本数		6020

表－5.5(1) 幹材積累積（古恵川）

流域No.	針葉樹本数	広葉樹本数	合計本数	累積本数	針葉樹幹材積(m3)	広葉樹幹材積(m3)	幹材積合計(m3)	幹材積累積(m3)
①	3300	6100	9400	9400	768.9	134.2	903.1	903.1
②	3700	300	4000	13400	862.1	6.6	868.7	1771.8
③	22300	16000	38300	51700	5195.9	352.0	5547.9	7319.7
④	2300	0	2300	54000	535.9	0.0	535.9	7855.6
⑤	7400	2600	10000	64000	1724.2	57.2	1781.4	9637.0
⑥	1300	0	1300	65300	302.9	0.0	302.9	9939.9
⑦	1400	9300	10700	76000	326.2	204.6	530.8	10470.7
⑧	2000	500	2500	78500	466.0	11.0	477.0	10947.7
⑨	7800	0	7800	86300	1817.4	0.0	1817.4	12765.1
合計	51500	34800	86300		11999.5	765.6	12765.1	

表－5.5(2) 幹材積累積（東岳川）

流域No.	針葉樹本数	広葉樹本数	合計本数	累積本数	針葉樹幹材積(m3)	広葉樹幹材積(m3)	幹材積合計(m3)	幹材積累積(m3)
①	0	12500	12500	12500	0.0	275.0	275.0	275
②	2700	2200	4900	17400	629.1	48.4	677.5	952.5
③	2100	9000	11100	28500	489.3	198.0	687.3	1639.8
④	0	100	100	28600	0.0	2.2	2.2	1642.0
⑤	700	2700	3400	32000	163.1	59.4	222.5	1864.5
⑥	800	0	800	32800	186.4	0.0	186.4	2050.9
⑦	100	0	100	32900	23.3	0.0	23.3	2074.2
⑧	0	0	0	32900	0.0	0.0	0.0	2074.2
⑨	900	7500	8400	41300	209.7	165.0	374.7	2448.9
⑩	0	0	0	41300	0.0	0.0	0.0	2448.9
合計	7300	34000	41300		1700.9	748	2448.9	

表－5.6(1)　古恵川流域崩壊地面積率

古恵川崩壊

流域Ｎｏ．	項目	流域面積 (Km2)	針葉樹面積 (Km2)	広葉樹面積 (Km2)	草地面積 (Km2)	その他 (Km2)	崩壊地面積 (1000m2)	針葉樹崩壊 (1000m2)	広葉樹崩壊 (1000m2)	草地面積 (1000m2)	その他 (1000m2)
1	流域面積	0.84	0.25	0.52	0.07	0.00	68.9	14.2	37.1	17.6	0.0
	面積占有率	(100)	(30)	(62)	(9)	(0)	(100)	(21)	(54)	(26)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(8.2)	(5.7)	(7.1)	(24.4)	(0.0)
2	流域面積	0.60	0.46	0.10	0.04	0.00	6.3	3.6	2.7	0.0	0.0
	面積占有率	(100)	(77)	(17)	(6)	(1)	(100)	(57)	(43)	(0)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(1.1)	(0.8)	(2.7)	(0.0)	(0.0)
3	流域面積	2.89	1.34	0.81	0.74	0.00	285.4	78.0	164.8	42.8	0.0
	面積占有率	(100)	(46)	(28)	(26)	(0)	(100)	(27)	(58)	(15)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(9.9)	(5.8)	(20.3)	(5.8)	(0)
4	流域面積	0.31	0.29	0.01	0.02	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	面積占有率	(100)	(92)	(3)	(5)	-(1)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
5	流域面積	2.39	0.57	0.10	1.71	0.01	109.4	28.5	20.1	60.8	0.0
	面積占有率	(100)	(24)	(4)	(72)	(1)	(100)	(26)	(18)	(56)	(0.0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(4.6)	(5.0)	(19.7)	(3.6)	(0.0)
6	流域面積	0.21	0.07	0.00	0.14	0.00	0	0	0	0	0
	面積占有率	(100)	(32)	(0)	(67)	(0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
7	流域面積	0.68	0.03	0.16	0.18	0.31	130.9	8.4	115.9	6.6	0.0
	面積占有率	(100)	(4)	(24)	(27)	(45)	(100)	(6)	(89)	(5)	(0.0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(19.3)	(28.0)	(72.4)	(3.6)	(0.0)
8	流域面積	0.42	0.13	0.04	0.25	0.00	23.7	11.0	1.7	11.0	0.0
	面積占有率	(100)	(31)	(10)	(59)	(0)	(100)	(46)	(7)	(46)	(0.0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(5.6)	(8.5)	(4.1)	(4.4)	(0.0)
9	流域面積	1.21	0.52	0.00	0.39	0.30	7.3	1.4	0.0	3.8	2.1
	面積占有率	(100)	(43)	(0)	(33)	(25)	(100)	(19)	(0.0)	(52)	(0.0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(0.6)	(0.3)	(0.0)	(1.0)	(0.0)
合計	流域面積	9.55	3.65	1.74	3.54	0.62	631.90	145.10	342.10	142.60	2.10
	面積占有率	(100)	(38)	(18)	(37)	(6)	(100)	(23)	(54)	(23)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(6.8)	(4.0)	(19.6)	(4.0)	(0.3)

表－5.6(2)　東岳川流域崩壊地面積率

東岳川崩壊

流域Ｎｏ．	項目	流域面積 (Km2)	針葉樹面積 (Km2)	広葉樹面積 (Km2)	草地面積 (Km2)	その他 (Km2)	崩壊地面積 (1000m2)	針葉樹崩壊 (1000m2)	広葉樹崩壊 (1000m2)	草地面積 (1000m2)	その他 (1000m2)
1	流域面積	0.70	0.00	0.62	0.02	0.06	161.5	0	155.5	6	0.0
	面積占有率	(100)	(0)	(88)	(2)	(9)	(100)	(0)	(96)	(4)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(23.1)	(0.0)	(25.2)	(35.3)	(0.0)
2	流域面積	0.60	0.07	0.15	0.36	0.02	41.5	15.2	24.7	0.9	0.7
	面積占有率	(1)	(12)	(26)	(60)	(3)	(100)	(37)	(60)	(2)	(2)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(6.9)	(21.7)	(16.1)	(0.2)	(4.4)
3	流域面積	1.31	0.13	0.28	0.89	0.01	166.8	11.3	106.1	49.4	0.0
	面積占有率	(100)	(10)	(22)	(68)	(0)	(100)	(7)	(64)	(30)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(12.7)	(8.5)	(37.4)	(5.6)	(0.0)
4	流域面積	0.06	0.01	0.01	0.02	0.02	1.9	0.1	1.1	0.7	0.0
	面積占有率	(100)	(17)	(12)	(33)	(38)	(100)	(5)	(58)	(37)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(3.2)	(1.0)	(15.7)	(3.5)	(0.0)
5	流域面積	0.76	0.09	0.20	0.47	0.00	36.4	1.6	28.7	6.1	0.0
	面積占有率	(100)	(12)	(26)	(62)	(0)	(100)	(4)	(79)	(17)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(4.8)	(1.8)	(14.4)	(1.3)	(0)
6	流域面積	0.18	0.17	0.00	0.01	0.00	0.6	0.6	0	0	0
	面積占有率	(100)	(94)	(0)	(6)	(0)	(100)	(100)	(0)	(0)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(0.3)	(0.4)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
7	流域面積	0.20	0.13	0.00	0.06	0.01	0.6	0.6	0	0	0.0
	面積占有率	(100)	(67)	(0)	(31)	(3)	(100)	(100)	(0)	(0)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(0.3)	(0.4)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
8	流域面積	0.34	0.02	0.00	0.32	0.00	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	面積占有率	(100)	(6)	(0)	(94)	(1)	(100)	(100)	(0)	(0)	(0.0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(0.0)	(0.5)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
9	流域面積	1.66	0.30	0.50	0.53	0.33	68.4	2.8	61.1	1.2	3.3
	面積占有率	(100)	(18)	(30)	(32)	(20)	(100)	(4)	(89)	(2)	(5)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(4.1)	(0.9)	(12.3)	(0.2)	(1.0)
10	流域面積	0.98	0.32	0.03	0.02	0.61	0	0	0	0	0
	面積占有率	(100)	(32)	(3)	(2)	(63)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
合計	流域面積	6.79	1.24	1.79	2.70	1.08	477.80	32.30	377.20	64.30	4.00
	面積占有率	(100)	(18)	(26)	(40)	(16)	(100)	(7)	(79)	(13)	(1)
	崩壊面積率	--------	--------	--------	--------	--------	(7.0)	(2.6)	(21.1)	(2.4)	(0.4)

6．立木と流木の関係

土石流により流出した流木が，流下・堆積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・堆積区域で堆積している流木の調査結果をもとに検討した。

表－6.1，図－6.1に立木と堆積流木の長さ，胸高直径の頻度を示した。図－6.3に，樹高・平均胸高直径を示す。さらに，表－6.2に流下区域における流木の種類・長さ・直径を示す。

表－6.1　立木と堆積流木の長さ，胸高直径の頻度

長さ（m）	立　木		堆積流木	
	本　数	比率(%)	本　数	比率(%)
1 － 4.9	28	17	165	90
5 － 9.9	21	13	18	10
10 － 14.9	57	34	0	0
15 － 19.9	56	34	0	0
20 －	5	3	0	0
合　計	167	100	183	100
直径（cm）	立　木		堆積流木	
	本　数	比率(%)	本　数	比率(%)
5 － 9.9	30	18	53	29
10 － 14.9	27	16	57	31
15 － 19.9	52	31	28	15
20 － 24.9	40	24	23	13
25 －	18	11	22	12
合　計	167	100	183	100

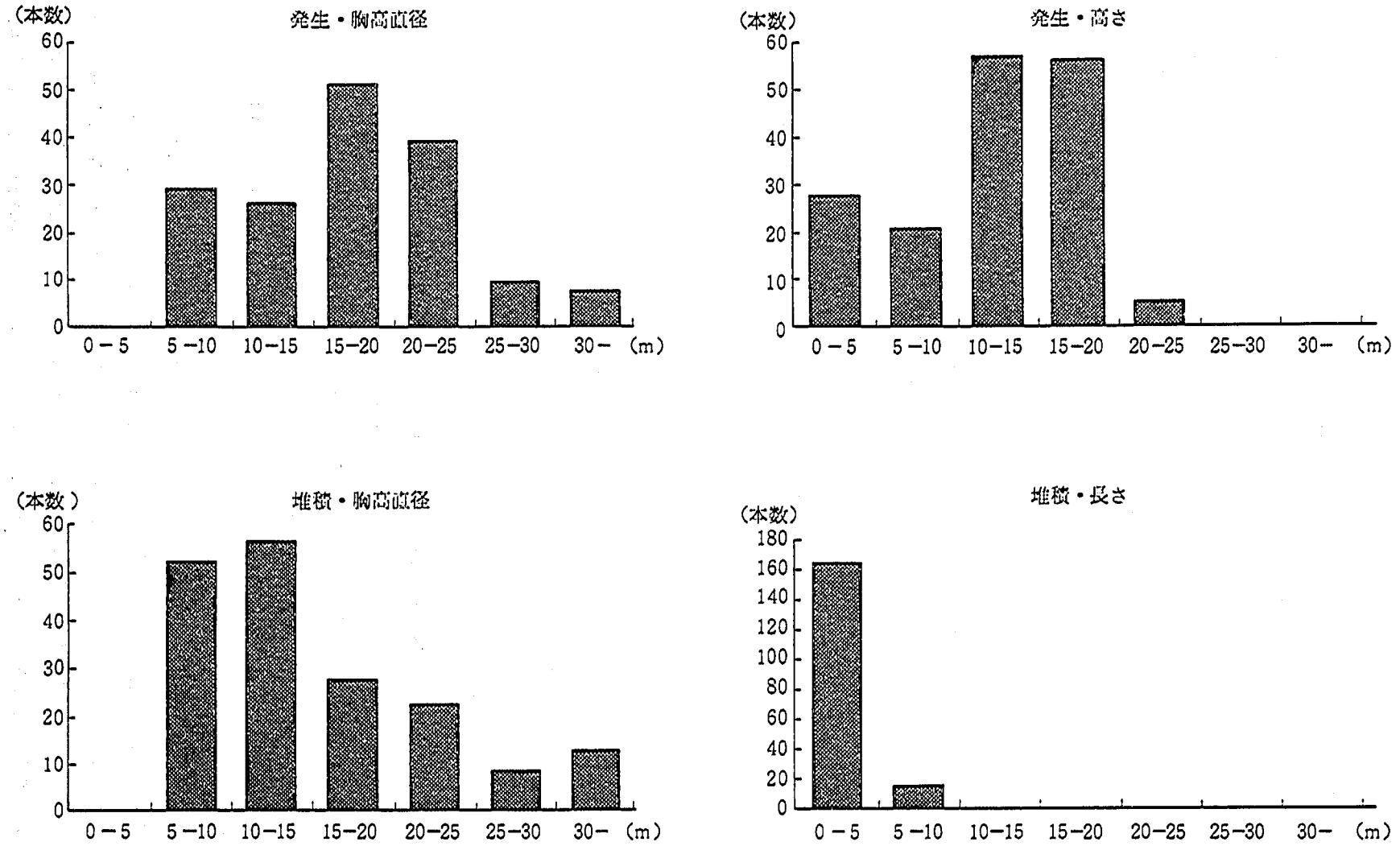
立木の樹高は，全体の約68%が10～20mの間にある。一方，堆積流木の長さは，全体の約100%が10m未満である。さらに立木の胸高直径と堆積流木の直径の関係を見ると，径15cm以上のものは立木に多く径5～15cmのものは堆積流木に多いことが判る。

これらのことから以下のことが指摘できる。

(1) 立木と堆積流木を比べると明らかに堆積流木は短くその長さは，発生流木の1/2～1/5程度になっている。

(2) 立木と堆積流木を比べると明らかに堆積流木のほうが径が小さくなっている。

以上のことから，崩壊，土石流の侵食によって発生した流木は，流下中に土砂や流木間で衝突を繰り返しながら流下するために，折れる。その程度は，ことごくと10m以下となっている（このうち90%が5m以下）。また，堆積した流木は立木よりも細い傾向があった。これは，土石流，泥流区間が長かったために流木が折れる機会が多く，なおかつ折れる部分は，断面の小さい（即ち径の細い部分）部分に力学的に偏ると考えられるために実際の立木よりも径の小さい流木が堆積したと考えられる。


発生・胸高直径
(本数)
60
50
40
30
20
10
0
0－5
5－10
10－15
15－20
20－25
25－30
30－
(m)
発生・高さ
(本数)
堆積・胸高直径
(本数)
堆積・長さ
(本数)
180
160
140
120
100
80
60
40
20

図－6.1

これは，立木の70％以上が15ｍ以上の長さに比べ堆積した90％の流木が５ｍ以下になっていることからも示唆されている。

次に表－6.2に古恵川，東岳川の流下区域における流木について示した。この表から次の点が指摘できる。

立木の平均樹高と流木の平均長とは明らかに異なり，流下中に折損して，1/2以下の長さになったものが多いことがわかる。また，立木の平均胸高直径と堆積流木の平均直径とは，スギの場合堆積流木の直径が拡散しており，立木のサンプル地点以外の多くの場所から多様なサイズのものが供給され流下堆積していたと推定される。広葉樹に関しては立木と流木の直径に大差なく，流下中に直径が変化するような裂損はなかったとみなされる。さらに表－6.2にみられるように，根付きの流木が多いことから，立木は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，流出したものと思われるまた，その過程で流出した立木は折れていき，流出の1/2以下の長さになったと考えられる。古恵川，東岳川ともに土石流発生区域の植生は，カルデラ壁のススキ草原や根子岳・高岳斜面の広葉樹林が大半を占める。一方，土石流流下区域の植生はおもにスギ植林である。スギ植林は渓岸で，倒木・立ち枯れしているものも目立つ（写真－6.1）。流木は土石流流下区域の至る所に認められるが，その種類はスギが卓越する。これらの事実から，以下の点が推定される。

1）土石流発生区域に多発した崩壊は，土砂とともに流木を渓床に供給したはずであるが，成長の不良な広葉樹は長さ・直径ともに小さく，さらに下流側へ運搬され，流木サンプル地点には堆積しなかった。（黒川32，33，東岳川28～33）

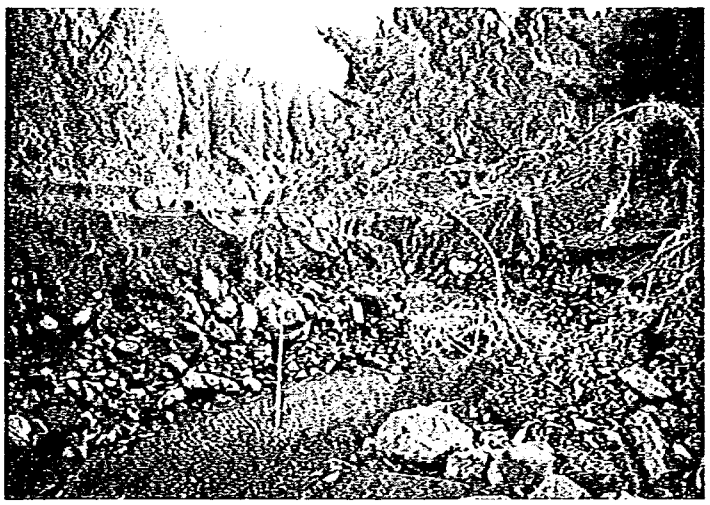
2）一部のスギ植林地に起こった崩壊によって流木が渓床に供給された。さらに流下区域に起った渓岸侵食により，河岸のスギの大木が転倒し，下流側に流木となって運搬された。その間，多くは折損した。

表－6.2ａ　古恵川流下区域における流木

渓　流	断面№	種　類	根付	長さ	直径	本数/50m
古恵川	18	スギ	－	5ｍ	10cm	10
	17	〃	○	12	15	15
	14	〃	○	10	12	50
	13	〃	○	8	12	4
	12	〃	－	10	10	25
	10	アカマツ	○	18	30	1
	9	スギ	○	5	6	5
	8	〃	－	5	5	5
	7	〃	－	6	7	2
	4	〃	○	7	15	30
	3	〃	○	5	10	5
	2	〃	○	6	25	30
	1	〃		3	10	
古恵川	33	広葉樹	－	3	8	2
（黒川）	32	〃	○	3	5	20

表－6.2 b　東岳川流下区域における流木

渓　流	断面No	種　　類	根　付	長　さ	直　径	本数/50m
東　岳　川	33	スギ・広葉樹	○	8m	8cm	13
	32	ス　　ギ	－	6	8	10
	31	スギ（幹＋枝）	－	6	8	100
	29	ス　　ギ	○	6	5	200
	28	スギ・広葉樹	○	3	5	100
	25	〃	○	6	10	14
	24	ス　　ギ	－	4	8	20
	21	〃	○	10	10	10
	20	ア　カ　マ　ツ	○	8	8	2
	18	ス　　ギ	－	3	5	20
	13	〃	○	5	10	
	12	〃	○	2	5	



写真－6.1　古恵川断面８付近での立枯れと倒木

7．砂防施設による土砂の調節効果

古恵川，東岳川に今回発生した土石流は，既存の砂防ダムによりかなり捕捉されその調節効果が認められる。一方，ダムを通過した越流水は，ダムを破損させたり，下流側に洗堀をひきおこしたりしている。表－7.1に古恵川と東岳川の砂防施設の諸元，今回の土石流による破損状況，調節効果などを列記した。また，図－7.1に砂防施設の位置を示した。

土石流の捕捉が認められた砂防施設で⑦，⑨，⑩，⑪，⑬，⑫-3，⑫-7，⑫-8の10箇所，東岳川で本川⑱，支流沸崎川②，③，⑤，⑩，⑫の6箇所である。このうち，古恵川の⑨，⑪，⑬は上流側に特に大きな土石流堆が存在し，調節効果量が大きかったことを示す（図－7.2）。

表－7.1(1)　ダム諸元，破損状況，調節効果

渓流名	施設番号	工種	ダム高(m)	ダム長(m)	堆砂状況	破損状況	調節効果	備考
古恵川	1	床固工	3.0	20.1	満砂	水通し部	なし	
	2	床固工	1.8	11.0	満砂	水通し部	なし	
	3	床固工	1.2	11.0	満砂	水通し部	なし	
	4	床固工	2.6	16.5	満砂	水通し部・袖部・水たたき工	なし	水通し部（高さ 2.6m）が全損
	5	床固工	3.0	35.7	満砂	袖部・水たたき工・副ダム	なし	
	6	床固工	2.7	22.0	満砂	水通し部・袖部	なし	
	7	床固工	3.8	50.5	満砂	水通し部・袖部	あり	
	8	ダム工	5.0	34.7	－	（全損?）	－	全く見あたらず、全壊流出か?
	9	ダム工	6.5	43.0	満砂	水通し部・水たたき工	あり	長さ 120m、巾10m、厚さ 2mの土石流を捕捉
	10	床固工	4.0	33.5	満砂	水通し部・水たたき工	あり	長さ70m、巾 5m、厚さ 0.5mの土石流を捕捉
	11	ダム工	7.3	72.3	満砂	水通し部・袖部・護岸工	あり	長さ 150m、巾 5m、厚さ 1mの土石流を捕捉
	12	ダム工	5.0	46.0	満砂	水通し部	なし	水通し部高さ 4mにわたって全損上・下流側とも侵食傾向
	13	床固工	4.5	35.8	満砂	水通し部	あり	長さ 100m、巾15m、厚さ 1.5mの土石流を捕捉
	14	ダム工	6.5	29.7	満砂	なし	なし	
黒川（古恵川）	12－1	ダム工	6.8	36.1	満砂	なし	なし	
	－2	床固工	4.1	33.2	満砂	なし	なし	
	－3	床固工	5.1	43.7	満砂	なし	あり	長さ 100m、巾10m、厚さ 1mの土石流を捕捉

表－7.1(2)　ダム諸元，破損状況，調節効果

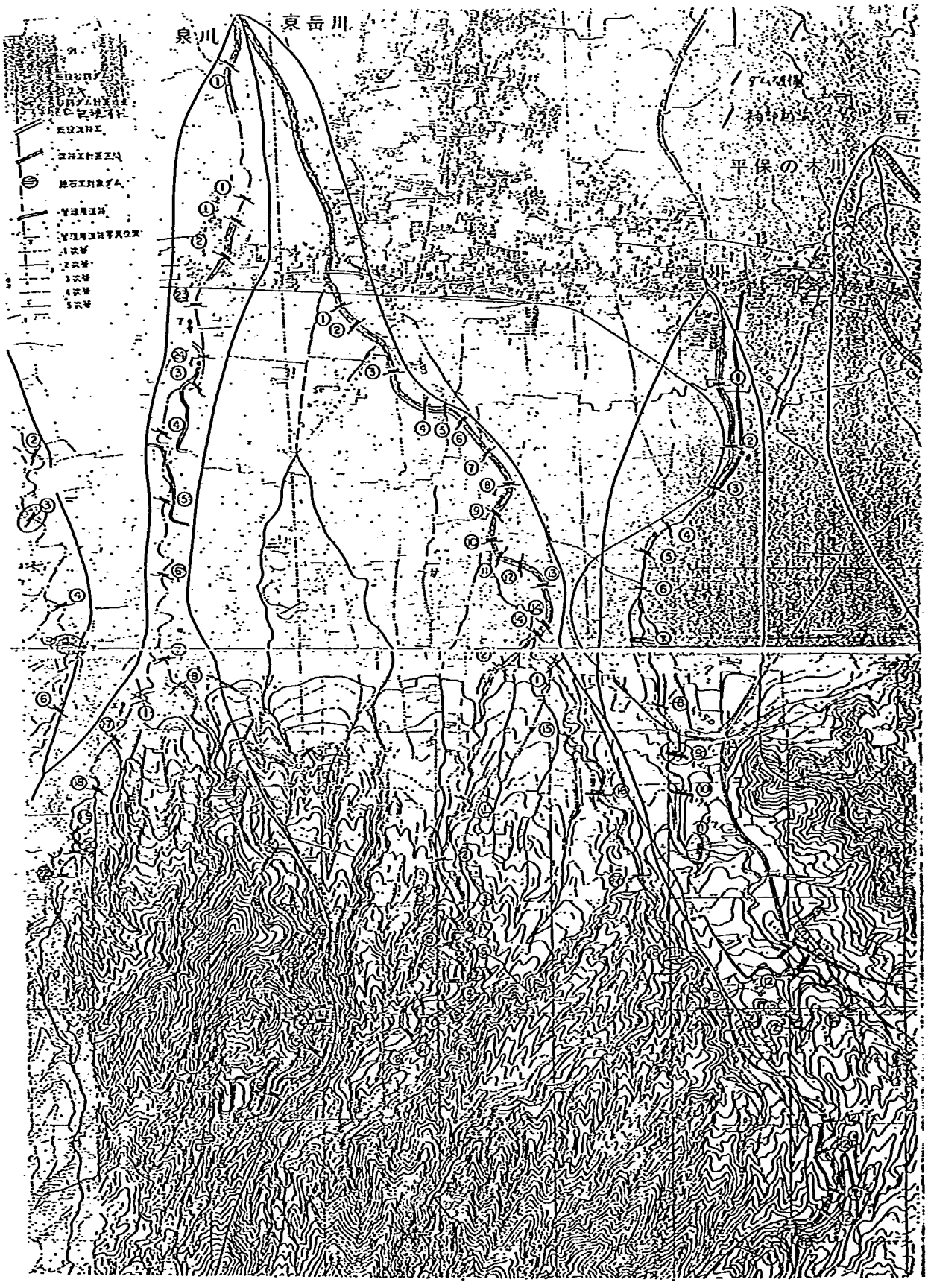
渓流名	施設番号	工種	ダム高(m)	ダム長(m)	堆砂状況	破損状況	調節効果	備考
黒川（古恵川）	12－4	床固工	3.5	34.0	満砂	なし	あり	若干の捕捉
	－5	床固工	3.2	19.7	満砂	なし	なし	
	－6	床固工	4.0	38.6	満砂	なし	あり	若干の捕捉
	－7	ダム工	7.0	29.1	満砂	水通し部	あり	
	－8	床固工	2.7	26.6	満砂	水通し部	あり	
東岳川	1	床固工	1.0	23.0	満砂	なし	なし	
	2	床固工	1.0	26.3	満砂	なし	なし	
	3	床固工	1.4	32.0	満砂	なし	なし	
	4	床固工	2.0	27.2	満砂	なし	なし	
	5	床固工	2.8	26.2	満砂	なし	なし	
	6	床固工	2.15	19.0	満砂	なし	なし	
	7	床固工	2.0	15.8				
	8	床固工	1.4	24.7	満砂	なし	なし	
	9	床固工	1.4	23.9	満砂	なし	なし	
	10	床固工	1.4	26.4	満砂	なし	なし	
	11	床固工	1.7	24.45	満砂	なし	なし	
	12	床固工	1.3	25.5	満砂	なし	なし	

表－7.1(3)　ダム諸元，破損状況，調節効果

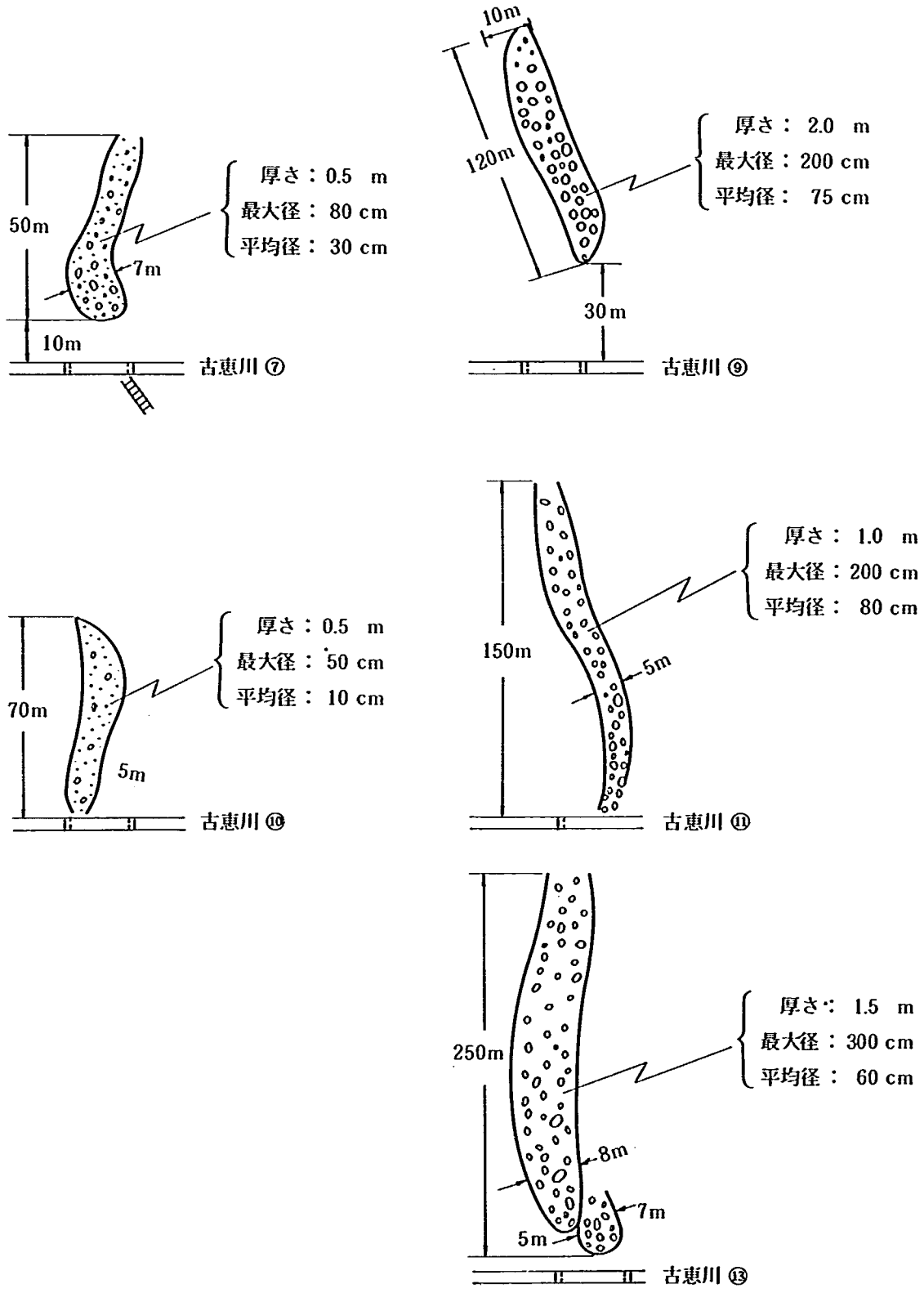
渓流名	施設番号	工種	ダム高(m)	ダム長(m)	堆砂状況	破損状況	調節効果	備考
東岳川	13	床固工	1.4	25.9	満砂	なし	なし	
	14	床固工	1.1	21.0	満砂	なし	なし	
	15	床固工	4.6	39.9	満砂	副ダム	なし	
	16	床固工	4.9	48.3	未満砂(4m)	水たたき工	なし	
	17	ダム工	12.0	62.9	満砂	なし	なし	
	18	ダム工	11.5	55.9	満砂	なし	あり	長さ40m、厚さ 0.8mの土石流を捕捉
	19	ダム工	14.5	28.0	未満砂(9m)	なし	なし	
汐崎川(東岳川)	1	床固工	2.8	27.0	満砂	水通し部	なし	
	2	床固工	4.0	25.5	満砂	なし	あり	長さ20m、厚さ 1.8mの土石流を捕捉
	3	床固工	4.9	60.8	満砂	なし	あり	厚さ 0.5mの土石流を捕捉
	4	ダム工	8.7	69.4	満砂	なし	なし	
	5	床固工	2.9	39.3	満砂	なし	あり	
	6	床固工	3.0	24.2	満砂	なし	なし	
	7	ダム工	5.4	44.1	満砂	なし	なし	
	8	床固工	4.4	51.5	満砂	なし	なし	
	9	床固工	2.8	50.5	満砂	なし	なし	
	10	ダム工	7.4	63.4	満砂	なし	あり	若干の捕捉

表－7.1(4)　ダム諸元，破損状況，調節効果

渓流名	施設番号	工種	ダム高(m)	ダム長(m)	堆砂状況	破損状況	調節効果	備考
汐崎川(東岳川)	11	ダム工	5.8	58.3	満砂	なし	なし	
	12	ダム工	6.0	46.9	満砂	水通し部・水たたき工	あり	若干の捕捉



図－7.1　砂防施設位置図



図－7.2　古恵川砂防施設⑦・⑨・⑩・⑪・⑬による土石流調節効果

調節効果量の推定できた砂防施設を表－7.2に示す。

表－7.2　砂防施設の調節効果量

砂防施設名	調節効果量 (㎥)	最大粒径 (cm)
古恵川⑨	2,400	200
古恵川⑩	175	50
古恵川⑪	750	200
古恵川⑬	3,000	300
古恵川⑫－3	1,000	100

8．被災家屋・構造物の状況

土石流にともなう泥水・流木の氾濫によって家屋の多くが被災した。図－8.1，2，3は，被災した各家屋について，初動時の現地調査（平成2年7月），被災後約4箇月経過した11月上旬の現地調査，被災直後の7月5日撮影の空中写真の判読などによって被災形態を以下のように区分して図示したものである。

全壊家屋；床面積の70％以上が破損したもの。

実際には，初動時の現地調査により，床の約半分以上に破損または土砂流入の認められたもの。

11月上旬までの間に，撤去され皿地になったところが多い（写真－8.1，2）。

半壊家屋；床面積の20～70％が破損したもの。

実際には，初動時の現地調査により，床の約半分以下に破損または土砂流入の認められたもの（写真－8.4）。

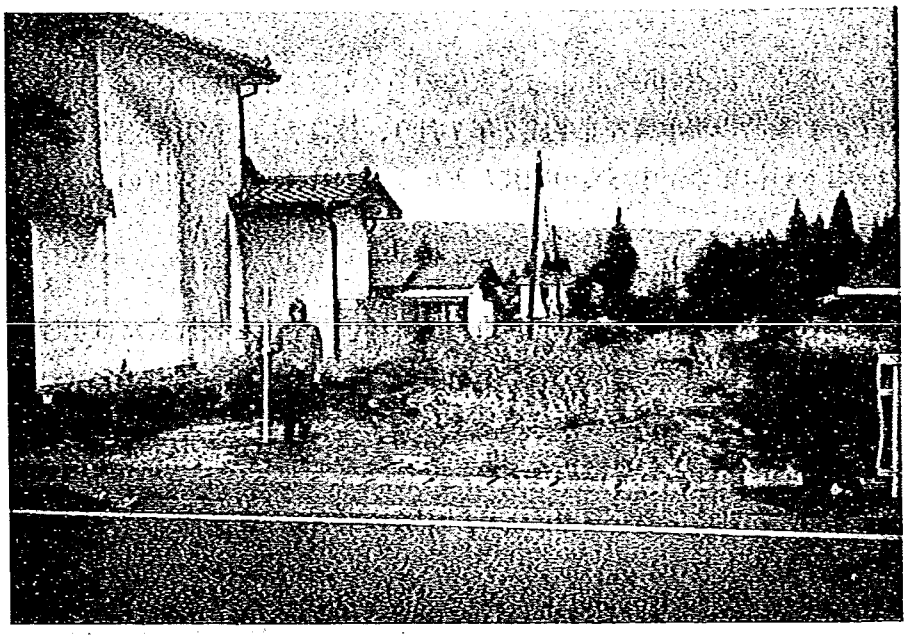
一部破損；家屋の周囲が泥水におおわれ，壁・塀などの一部が破損したか，または泥水によって汚染したもの（写真－8.6，7）。7月5日撮影の空中写真によって泥水が氾濫した範囲内の家屋で，全壊・半壊以外は全てこれに含めた。

古恵川流域の被災家屋は，全壊91棟，半壊78棟，軽微な被害307棟に達している。特に，古恵川流域において全壊家屋を含む顕著な被災があった古恵川では，土石流は砂防施設の調節効果により中流域ではほとんど停止しているが，それにより下流側の豊肥線と平行する附近で泥流が両岸の水田に氾濫し，さらに国道57号線の上流側約150m附近で再び両岸に氾濫し，一方は家屋密集地に被害をもたらし，もう一方は国道に沿って流下した。7月5日撮影の空中写真上では，国道の橋に流木がつまっている状況が判読される。それにより，河川がダムアップし，両岸に泥水を氾濫させた。

東岳川では，砂防施設⑤から右岸側に泥水が氾濫し，10棟が被災したが（図－8.2），氾濫の規模も小さく，全壊・半壊家屋は認められない。

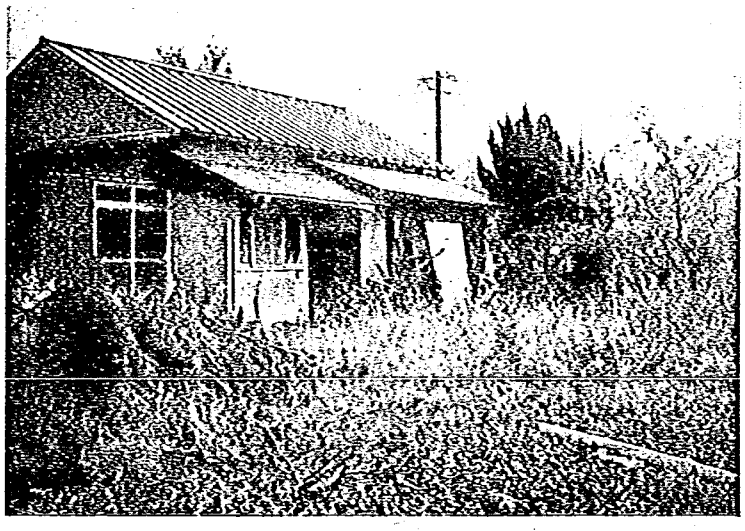
平保の木川，豆札川では，古恵川と同じく広い範囲に泥水が氾濫したが，豆札川の1棟の全壊家屋（写真－8.8）を除いて，全壊・半壊家屋は認められない。広い地域が泥水におおわれたものの，その破壊力は小さかったと推定される。

豆札川支川では，氾濫域は比較的狭い範囲であるが，その氾濫域縁の1棟が全壊している（写真－8.9）。この家屋は氾濫域の縁辺部にあったものの，土石流発生域に近い位置にあって，その破壊力が大きかったために全壊したものとみられる。

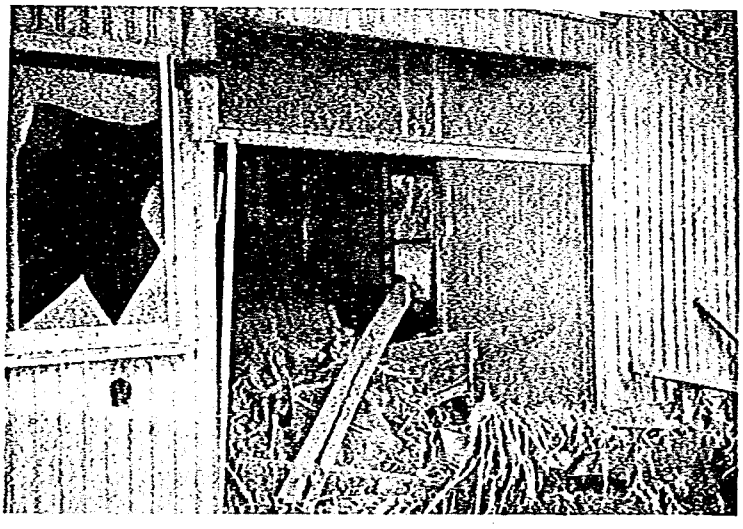


写真－8.1　家屋全壊跡地（古恵川）

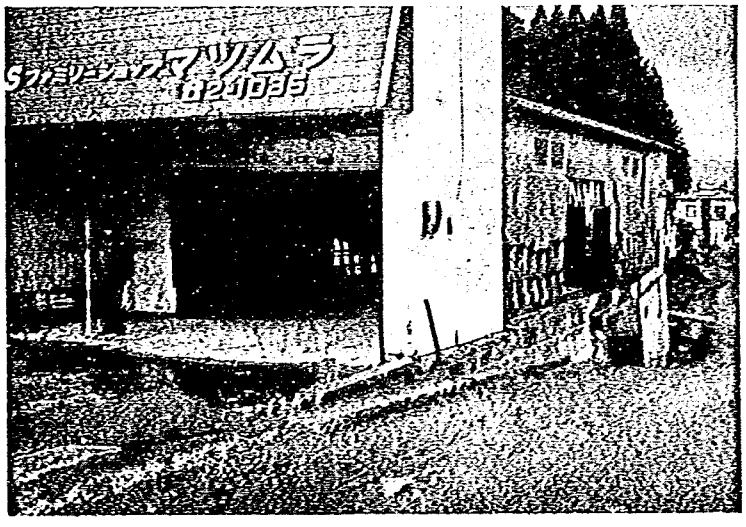
写真－8.2　家屋全壊跡地（古恵川）



写真－8.3　半壊家屋（古恵川）

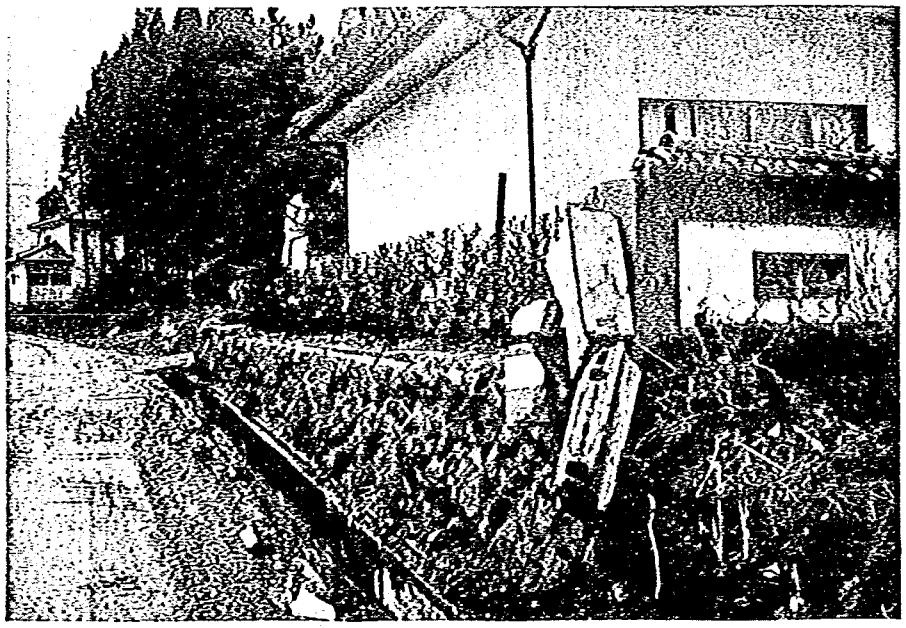


写真－8.4　半壊家屋（古恵川）

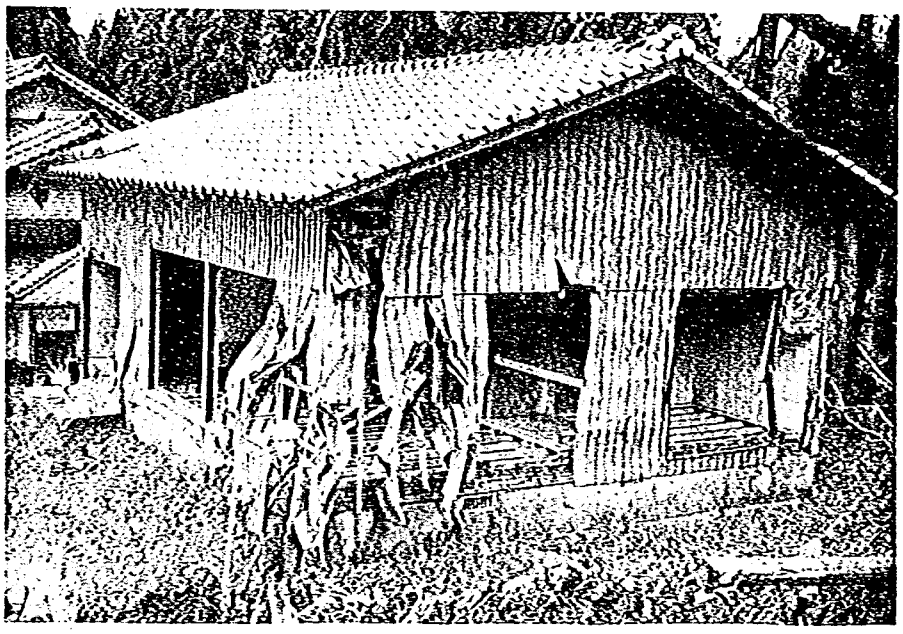


写真－8.5　半壊家屋（古恵川）

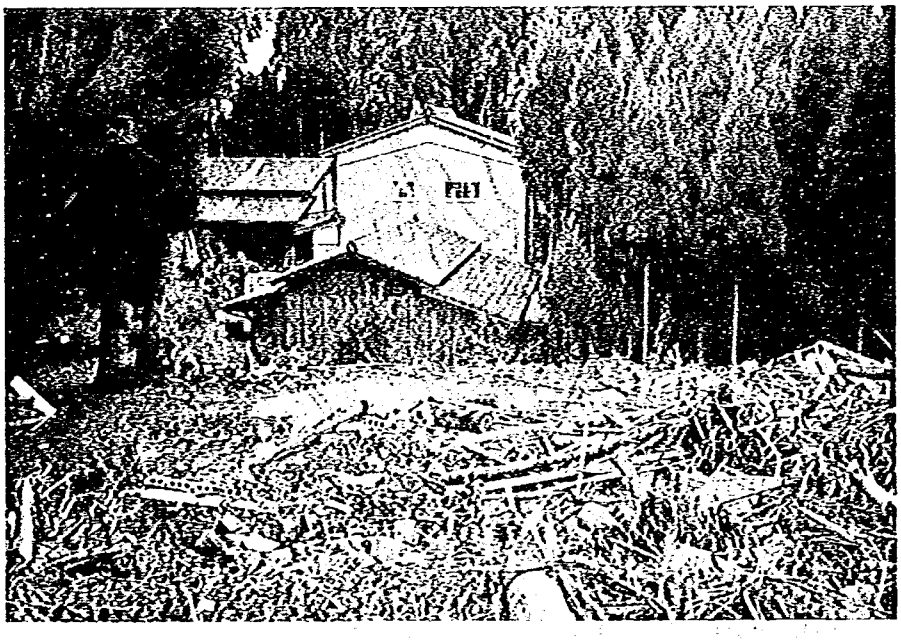
写真－8.6　周囲を泥水におおわれた家屋



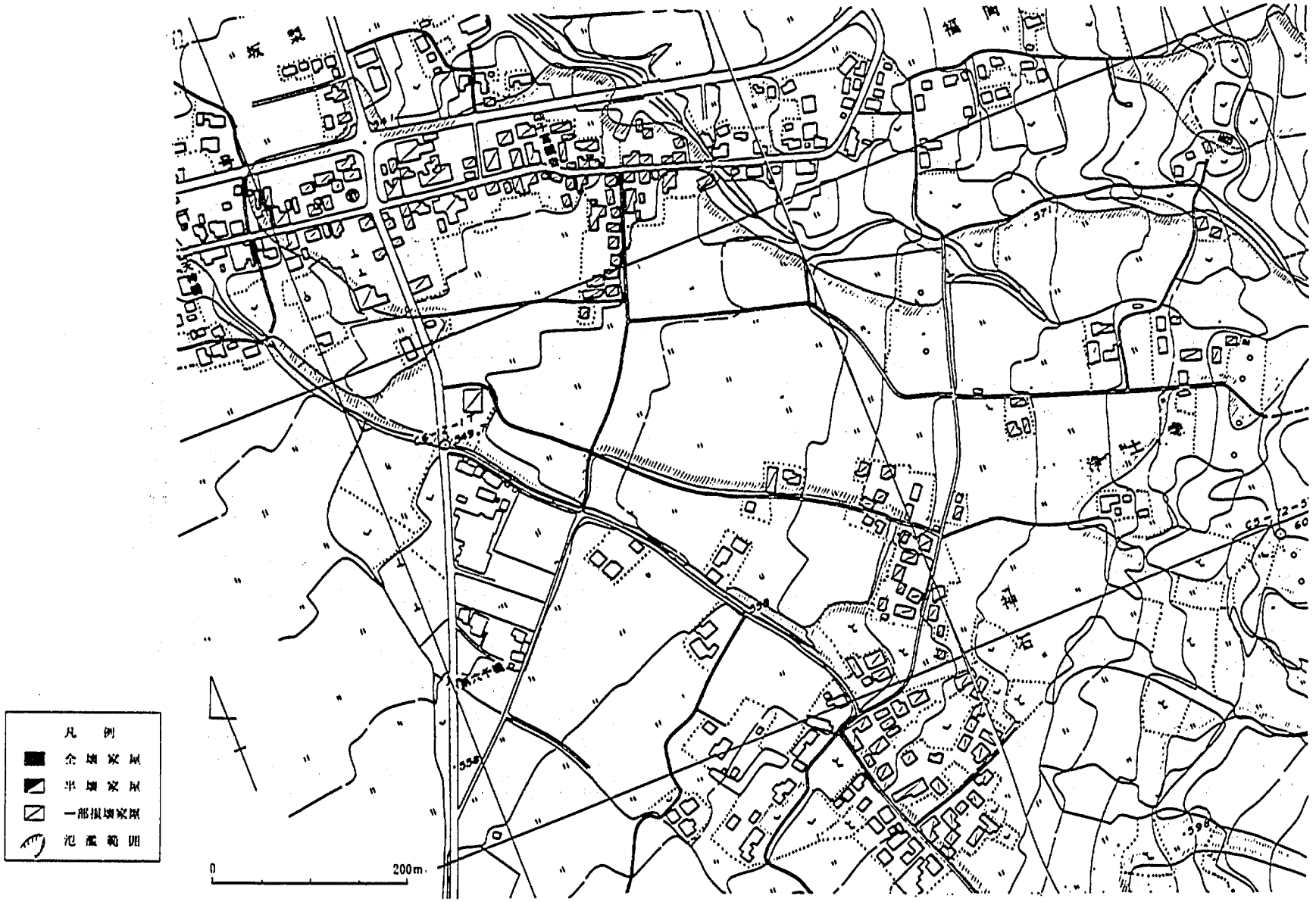
写真－8.7　塀が破損したもの



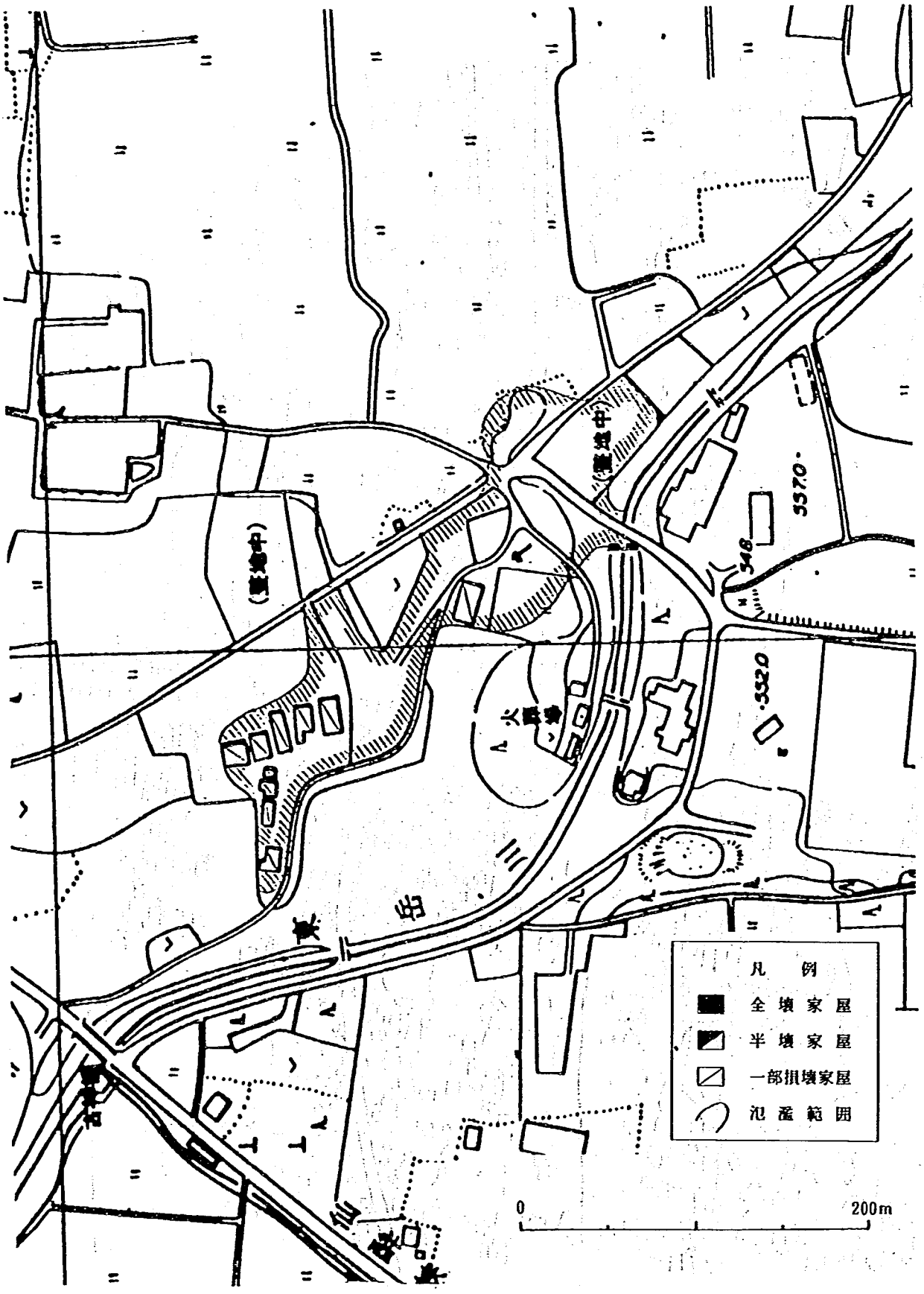
写真－8.8　全壊家屋（豆札川）



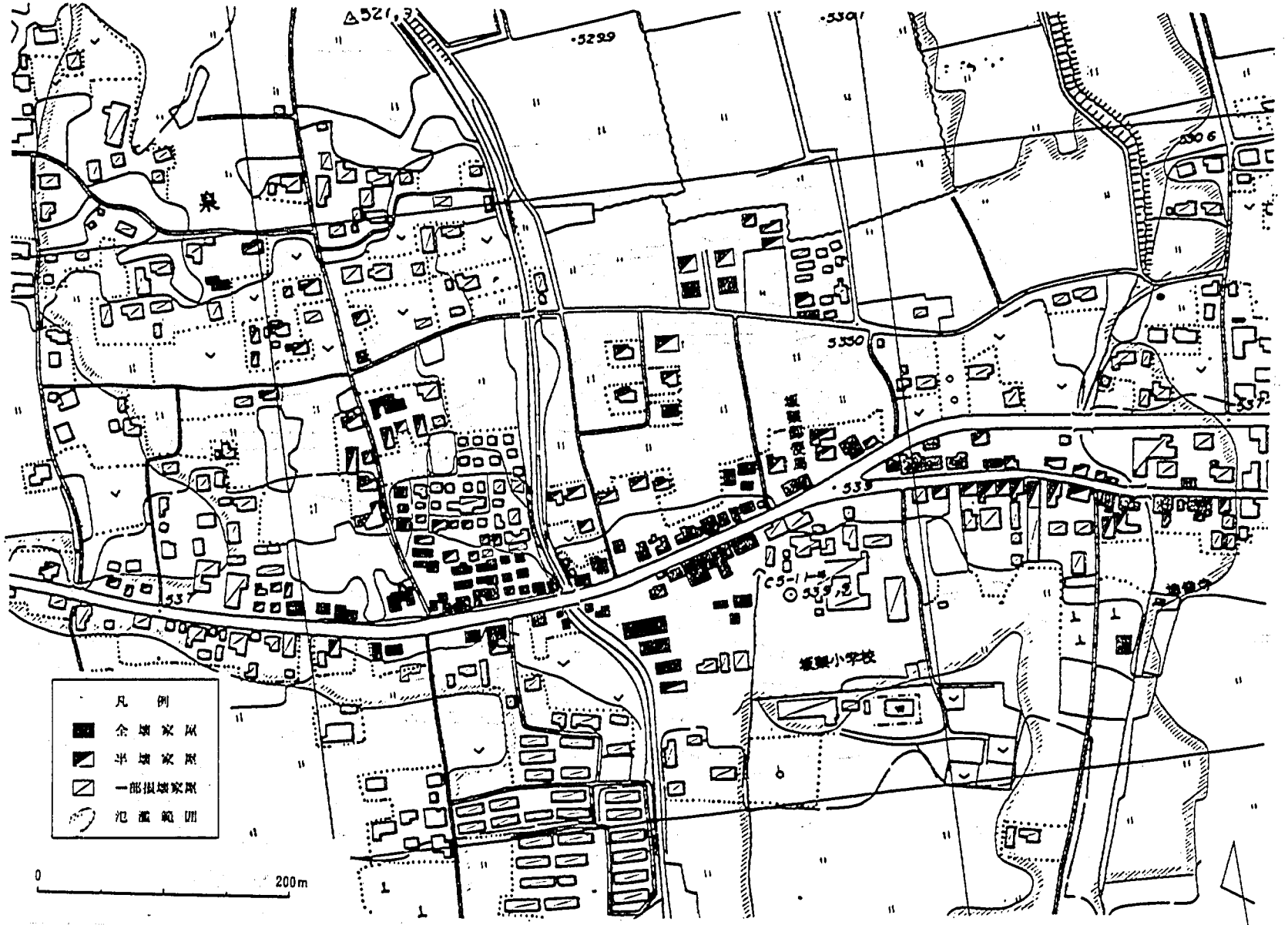
写真－8.9　家屋全壊跡地（豆札川支川）



図－8.1　古恵川被災図



図－8.2　東岳川被災図



図－8.3　豆札川，豆札川支川，平保の木川被災図

9．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) 今回の泥流が集中して氾濫したのは，一の宮町の古恵川を中心とした，東西約1km，南北約3km程度の範囲であり，被害を与えた主体となったのは泥流と多量の流木であり，巨礫は中流域で多く堆積していた。

(2) 古恵川の泥流発生区域は，大きく外輪山カルデラ壁と根子岳斜面に分けられる。外輪山カルデラの崩壊地は，杓子状・板状の小規模なものであり崩壊深は1m程度，表層の黒ぼく土が崩壊している。根子岳斜面の崩壊地は，上部の溶岩壁，下部の崖錐とその表面を覆う火山灰からなり，これらが崩壊を起こしている。

(3) 土石流発生源部において崩壊原因を検討するために，土層観察，一面せん断試験，透水試験を行い，その結果をもとに6つの斜面について安定解析を行った。別に行った液性限界試験の結果ともあわせて，崩壊斜面における諸条件の関係について検討した。

(4) 崩壊地の土層観察と粒度試験，物理特性試験（含水比，液性限界，塑性限界，比重）を行い，地形特性，土質特性と崩壊地の関係について検討した。

(5) 古恵川および東岳川の土砂収支を空中写真判読と現地調査の結果から推定を行った。その結果，古恵川では約22万m^3の土砂が国道橋付近まで到達し，そのうち約16万m^3が氾濫，残り約6万m^3が流下したと考えられる。また東岳川では約15万m^3が到達し，約4千m^3のみが氾濫，残りの大部分の土砂は流下したと考えられる。

(6) 古恵川，東岳川についてサンプリング調査をもとに流木収支について検討した。その結果，古恵川に約51,000本の針葉樹が国道付近に流れ，そのうち約4割が氾濫し災害を引き起こしたと考えられる。一方東岳川では，針葉樹の流下が約6,000本と少なく全て下流に流れ去ったと考えられる。

(7) 立木と流木の関係について検討した。その結果，長さについては流木長は立木の1/2～1/5程度になっていた。また径については，立木では15cm以上の割合が70%近くあるが，流木では25%程度しかなく，明らかに流木の方が径が小さくなっている。

(8) 古恵川，東岳川に配置されていた砂防ダムは巨礫を中心にかなりの量の土砂を捕捉していた。またいくつかの練石積みのダムは損傷を受けていた。

(9) 今回の泥流・流木による古恵川流域の被災家屋は，全壊91棟，半壊78棟，軽微な被害307棟に達した。

参 考 文 献

1）河村三郎，小沢功一：山地河川における河床材料のサンプリング方法と粒度分布，土木学会誌 55－12（1970）

2）水島高久，石川芳治ほか：平成元年9月愛知県伊香川土石流・流木災害調査報告書，土石研究所資料第2833号

資　料　編

付表１．土質試験結果一欄

土質試験結果一覧表（基礎地盤用）

報告用紙

調査名・調査地点　　整理担当者

試料番号			No. 1 上	No. 1 下	No. 2 上	No. 2 下	No. 3 上	No. 3 下
深さ		m	～	～	～	～	～	～
粒度特性	礫分（2000μm以上）	%	0	0	0	0	0	4
	砂分（74～2000μm）	%	43	25	19	28	39	37
	シルト分（5～74μm）	%	46	57	59	51	47	49
	粘土分（5μm以下）	%	11	18	22	21	14	10
	最大粒径	mm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	9.52
	均等係数 U_c		22.4	25.0	—	—	21.9	15.7
	曲率係数 U_c'		1.28	1.23	—	—	1.00	0.86
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	%	43.9	134.2	165.7	96.9	101.2	125.2
	塑性限界 w_P	%	34.7	89.2	110.1	66.2	65.7	71.1
	塑性指数 I_P		9.2	45.0	55.6	30.7	35.5	54.1
分類	日本統一土質分類		(VH2)	(VH2)	(VH2)	(VH2)	(VH2)	(VH2)
	土質名		火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土
土粒子の比重 G_s			2.721	2.824	2.682	2.852	2.611	2.653
自然状態	含水比 w_n	%	43.6 | 136	114.5 | 99	137.5 | 137	75 | 66.5	76.6 | 65.6	92.6 | 101.4
	湿潤密度 ρ_t	g/cm³	1.15	1.31	1.14	1.35	1.16	1.21
	間隙比 e		4.65	3.28	4.59	2.48	2.68	3.42
	飽和度 S_r	%	81.3	85.3	80.1	76.5	64.0	78.6
力学特性 一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u	kg/cm²						
	乾燥密度		0.49	0.66	0.48	0.82	0.71	0.6
	飽和含水比		167.3	116.1	171.0	86.9	102.5	129.0
一面せん断試験	試験の条件(注)		CU	CU	CU	CU	CU	CU
	粘着力 c	kg/cm²	0 | c' 0	0.41 | c' 0.13	0.17 | c' 0.07	0.685 | c' 0.84	0.03 | c' 0	0.40 | c' 0
	せん断抵抗角 ϕ	度	19.0 | ϕ' 34.7	15.6 | ϕ' 44.0	16.2 | ϕ' 37.1	44.3 | ϕ' 51.1	16.1 | ϕ' 34.7	6.7 | ϕ' 39.8
三軸圧縮試験	試験の条件(注)							
	粘着力 c	kg/cm²						
	せん断抵抗角 ϕ	度						
圧密試験	圧密降伏応力 p_c	kg/cm²						
	圧縮指数 C_c							
透水試験	透水係数 K 15℃/sec		3.01×10^{-4}	5.67×10^{-4}	2.45×10^{-4}	2.17×10^{-4}	3.69×10^{-3}	2.57×10^{-3}

備考

注）非圧密非排水試験：UU
圧密非排水試験：CU
圧密非排水試験（間隙水圧を測定した場合）：$\overline{CU}$
圧密排水試験：CD

土質試験結果一覧表（基礎地盤用）

報告用紙

調査名・調査地点　　整理担当者

試料番号			No.4上	No.4下	No.5上	No.5下	No.6上	No.6下
深さ		m	～	～	～	～	～	～
粒度特性	礫分(2000μm以上)	%	0	0	0	0	1	1
	砂分(74～2000μm)	%	34	15	38	22	49	28
	シルト分(5～74μm)	%	48	55	49	50	39	49
	粘土分(5μm以下)	%	18	30	13	28	11	22
	最大粒径	mm	2.00	0.42	2.00	2.00	4.76	19.1
	均等係数 U_c		28.3	—	16.7	—	28.6	25.6
	曲率係数 U_c'		0.98	—	0.77	—	0.88	1.05
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	%	51.7	118.0	65.8	110.0	67.1	142.5
	塑性限界 w_P	%	35.8	66.0	46.1	57.3	46.3	96.7
	塑性指数 I_P		15.9	52.0	19.7	52.7	20.8	45.8
分類	日本統一土質分類		(VH2)	(VH2)	(VH2)	(VH2)	(VH2)	(VH2)
	土質名		火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土
土粒子の比重 G_s			2.708	2.924	2.733	2.775	2.729	2.787
自然状態	含水比 w_n	%	52.3 | 57.2	103.7 | 96				
	湿潤密度 ρ_t	g/cm³	1.19	1.28				
	間隙比 e		2.52	3.50				
	飽和度 S_r	%	61.5	80.2				
力学特性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u kgf/cm²						
		乾燥密度	0.77	0.65				
		乾燥含水比	92.9	119.6				
	一面せん断試験	試験の条件(注)	CU	CU				
		粘着力 c kgf/cm²	0 | c' 0	0.555 | c' 0.475				
		せん断抵抗角 φ 度	17.4 | φ' 37.4	16.1 | φ' 28.8				
	三軸圧縮試験	試験の条件(注)						
		粘着力 c kgf/cm²						
		せん断抵抗角 φ 度						
	圧密試験	圧密降伏応力 p_c kgf/cm²						
		圧縮指数 C_c						
透水試験	透水係数 k cm/sec		1.78×10^{-3}	6.90×10^{-4}				

備考

注）非圧密非排水試験：UU
圧密非排水試験：CU
圧密非排水試験（間隙水圧を測定した場合）：$\overline{CU}$
圧密排水試験：CD

土質試験結果一覧表（基礎地盤用）

報告用紙

調査名・調査地点　　整理担当者

試料番号			No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
深さ m			～	～	～	～	～	～
粒度特性	礫分(2000μm以上)	%	4	0	30	43	0	0
	砂分(74～2000μm)	%	32	13	25	53	74	76
	シルト分(5～74μm)	%	52	58	38	4	21	19
	粘土分(5μm以下)	%	12	29	7		5	5
	最大粒径	mm	4.76	0.42	50.8	50.8	2.00	0.42
	均等係数 U_c		18.2	—	21.4	16.7	10.7	12.5
	曲率係数 U_c'		1.71	—	0.91	0.78	4.08	5.56
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	%	89.1	142.6	125.4			
	塑性限界 w_P	%	60.6	78.8	74.4			
	塑性指数 I_P		28.5	63.8	51.0			
分類	日本統一土質分類		(VH2)	(VH2)	(VH2)	(SP53)	{SF}	{SF}
	土質名		火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	火山灰質粘性土	礫混り砂	砂質土	砂質土
土粒子の比重 G_s			2.644	2.757	2.637		2.790	2.773
自然状態	含水比 w_n	%						
	湿潤密度 ρ_t	g/cm³						
	間隙比 e							
	飽和度 S_r	%						
力学特性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u kgf/cm²						
		乾燥密度						
		飽和含水比						
	一面せん断試験	試験の条件(注)						
		粘着力 c kgf/cm²						
		せん断抵抗角 φ 度						
	三軸圧縮試験	試験の条件(注)						
		粘着力 c kgf/cm²						
		せん断抵抗角 φ 度						
	圧密試験	圧密降伏応力 p_c kgf/cm²						
		圧縮指数 C_c						
透水試験 透水係数 K15cm/sec								

備考

注）非圧密非排水試験：UU
圧密非排水試験：CU
圧密非排水試験（間隙水圧を測定した場合）：$\overline{CU}$
圧密排水試験：CD

土質試験結果一覧表（基礎地盤用）

報告用紙

調査名・調査地点 ..... 整理担当者 .....

試料番号			No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18
深さ m			～	～	～	～	～	～
粒度特性	礫分（2000μm以上）	%	70	0	37	58	0	21
	砂分（74～2000μm）	%	29	66	61	40	73	72
	シルト分（5～74μm）	%	1	29	2	2	23	7
	粘土分（5μm以下）	%		5			4	
	最大粒径	mm	76.2	2.00	50.8	50.8	0.42	50.8
	均等係数 U_c		30.8	8.1	8.7	33.0	10.0	4.0
	曲率係数 U_c'		0.48	2.03	0.63	0.30	4.27	1.09
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	%						
	塑性限界 w_p	%						
	塑性指数 I_p							
分類	日本統一土質分類		(GPs)	{SF}	(SPug)	(GPs)	{SF}	{S-Fg}
	土質名		礫	砂質土	礫混り砂	礫	砂質土	礫・粘土分混り砂
土粒子の比重 G_s				2.763			2.777	
自然状態	含水比 w_n	%						
	湿潤密度 ρ_t	g/cm³						
	間隙比 e							
	飽和度 S_r	%						
力学特性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u kgf/cm²						
		乾燥密度						
		飽和含水比						
	一面せん断試験	試験の条件注)						
		粘着力 c kgf/cm²						
		せん断抵抗角 ϕ 度						
	三軸圧縮試験	試験の条件注)						
		粘着力 c kgf/cm²						
		せん断抵抗角 ϕ 度						
	圧密試験	圧密降伏応力 p_c kgf/cm²						
		圧縮指数 C_c						
透水試験 透水係数 kiscm/sec								

備考

注）非圧密非排水試験：UU
圧密非排水試験：CU
圧密非排水試験（間隙水圧を測定した場合）：$\overline{CU}$
圧密排水試験：CD

土質試験結果一覧表（基礎地盤用）

報告用紙

調査名・調査地点 ……　　整理担当者 ……

試料番号			No.19	No.20	No.21	No.22		
深さ m			～	～	～	～	～	～
粒度特性	礫分（2000μm以上）	%	0	66	25	58		
	砂分（74～2000μm）	%	93	33	38	29		
	シルト分（5～74μm）	%	7	1	27	9		
	粘土分（5μm以下）	%			10	4		
	最大粒径	mm	0.84	38.1	50.8	50.8		
	均等係数 U_c		1.7	9.4	56.6	143.3		
	曲率係数 U_c'		0.99	0.63	1.22	7.75		
コンシステンシー特性	液性限界 w_L	%						
	塑性限界 w_p	%						
	塑性指数 I_p							
分類	日本統一土質分類		{S-F}	(GPu)	{SFg}	{G-F}		
	土質名		細粒分混り砂	礫	礫混り砂質土	細粒分混り礫		
土粒子の比重 G_s					2.657	2.712		
自然状態	含水比 w_n	%						
	湿潤密度 ρ_t	g/cm³						
	間隙比 e							
	飽和度 S_r	%						
力学特性	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ q_u kgf/cm²						
		乾燥密度						
		飽和含水比						
	一面せん断試験	試験の条件注)						
		粘着力 c kgf/cm²						
		せん断抵抗角 ϕ 度						
	三軸圧縮試験	試験の条件注)						
		粘着力 c kgf/cm²						
		せん断抵抗角 ϕ 度						
	圧密試験	圧密降伏応力 p_c kgf/cm²						
		圧縮指数 C_c						
透水試験 透水係数 k15cm/sec								

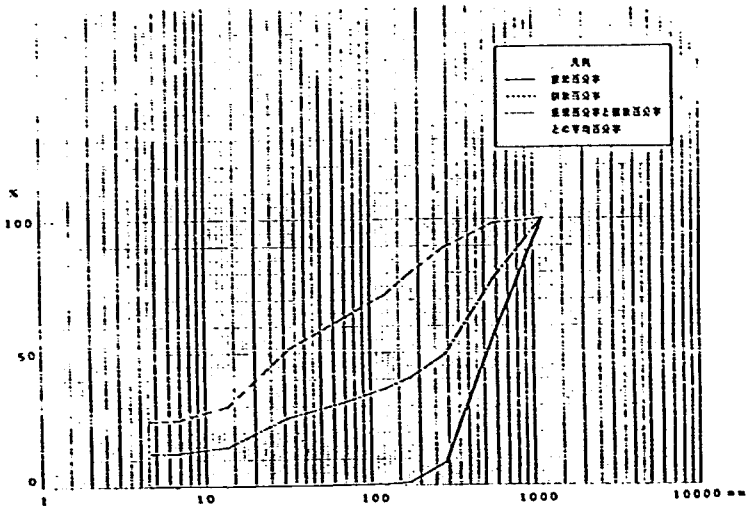
備考

注）非圧密非排水試験：UU
圧密非排水試験：CU
圧密非排水試験（間隙水圧を測定した場合）：$\overline{CU}$
圧密排水試験：CD

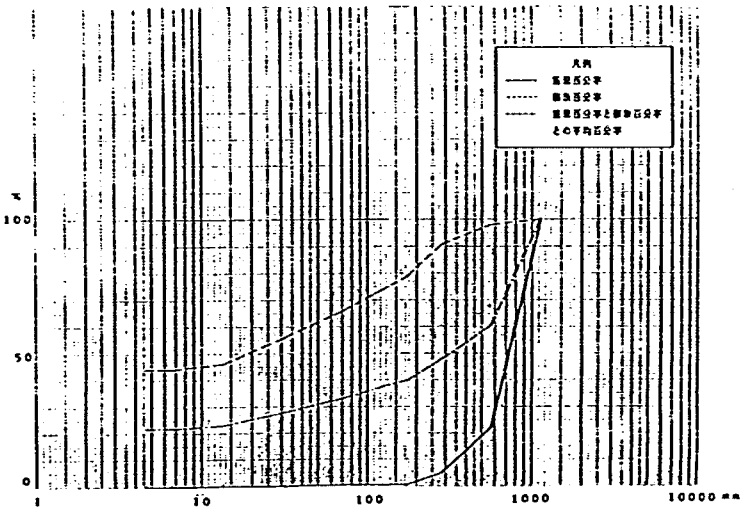
(社)土質工学会 不許複製 101

付表２．線格子法調査結果

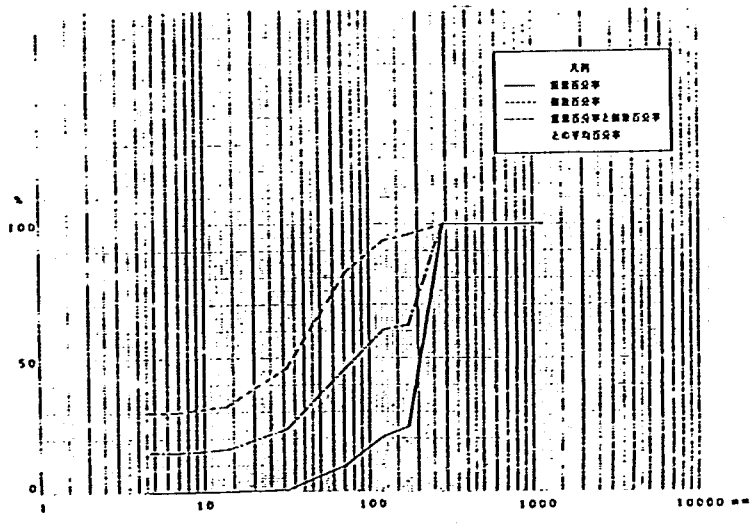
資料－219　土質試料サンプリングNo 10（古恵川）



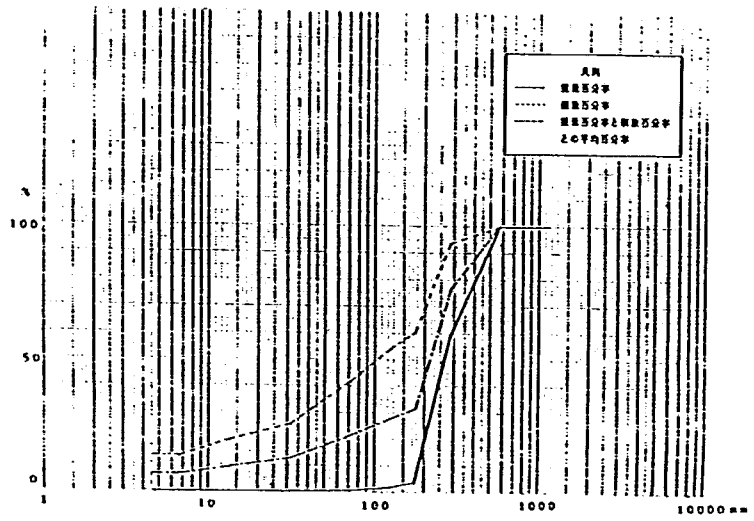
資料－220　土質試料サンプリングNo 13（古恵川）



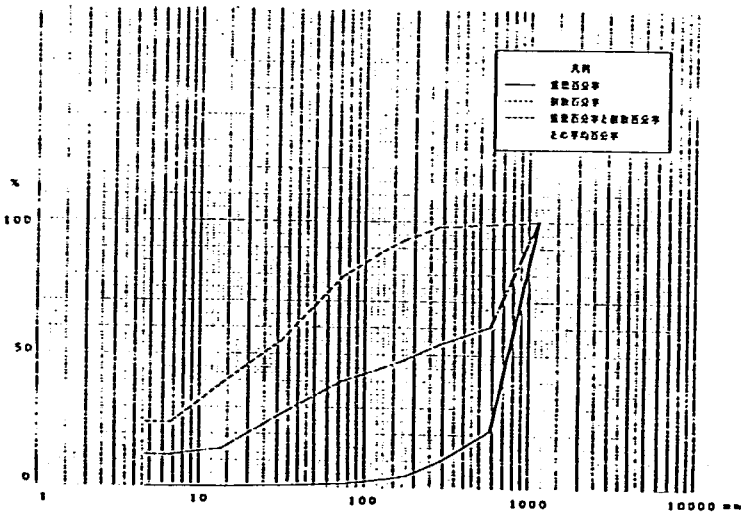
資料－221　土質試料サンプリングNo 14（古恵川）



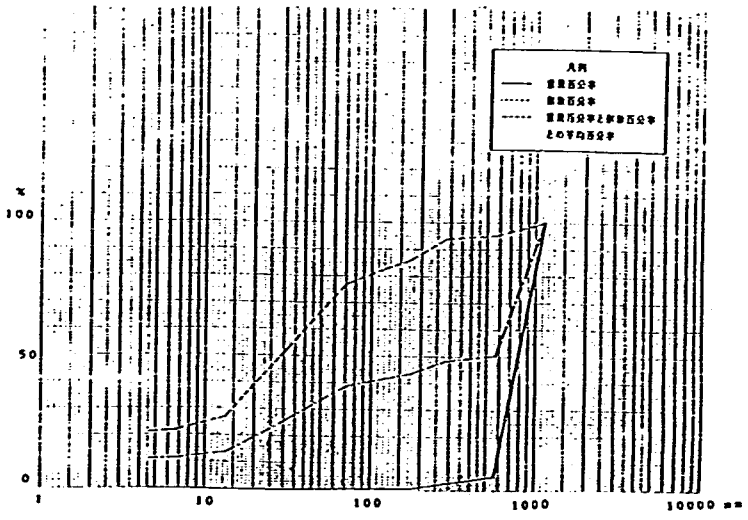
資料－222　土質試料サンプリングNo 15（古恵川）



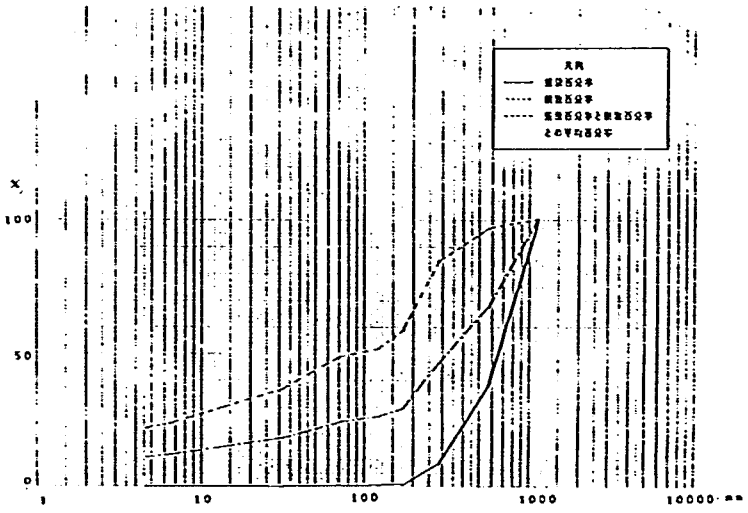
資料－223　土質試料サンプリングNo 16（東岳川）



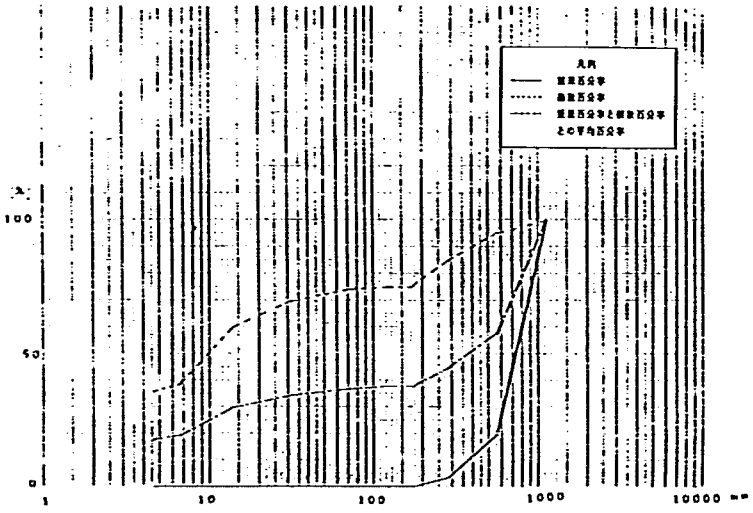
資料－224　土質試料サンプリングNo 18（東岳川）



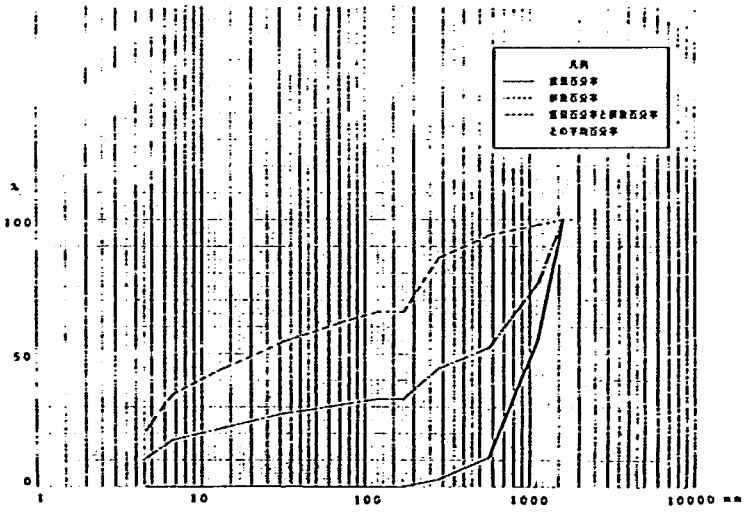
資料－225　土質試料サンプリングNo.20（豆札川）



資料－226　土質試料サンプリングNo.21（豆札川支川）

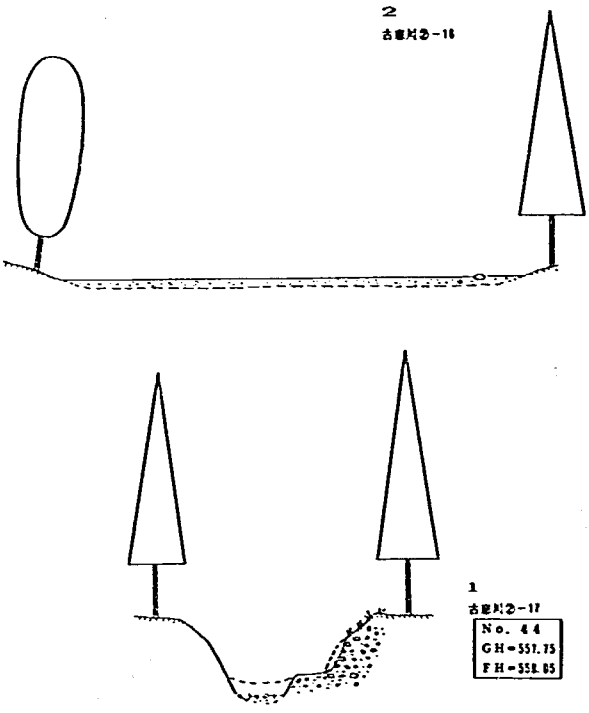


資料－227　土質試料サンプリングNo.22（平保の木川）

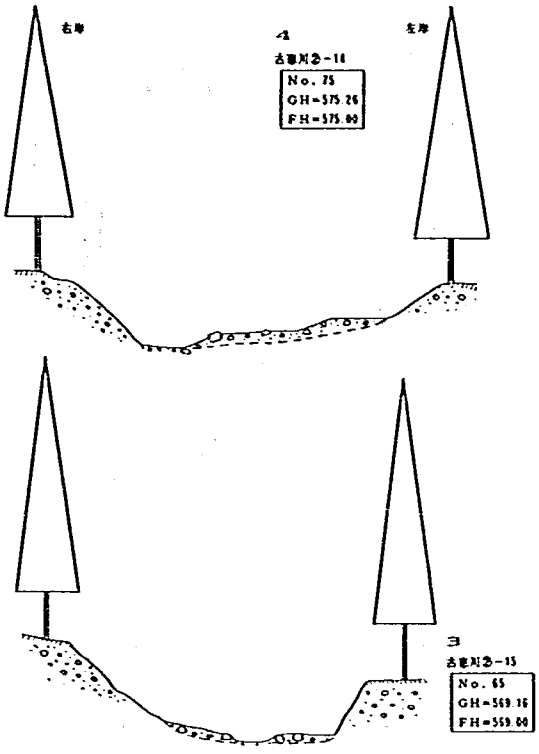


付図１．河道状況調査断面図

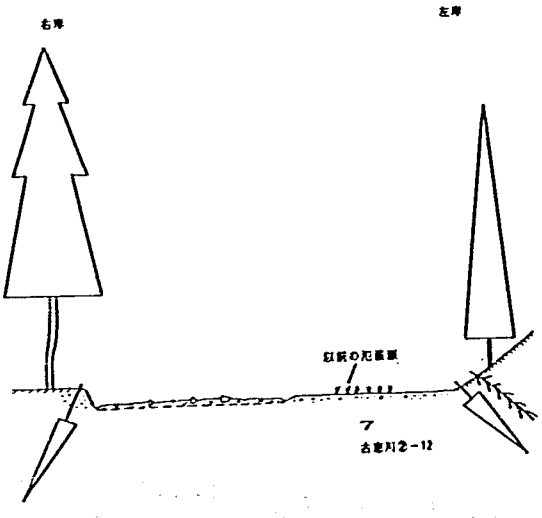
資料－29



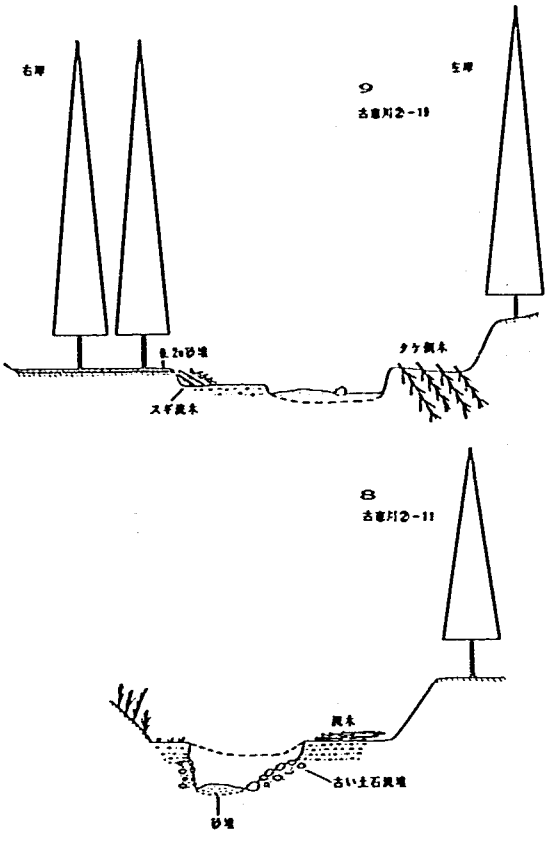
資料－30



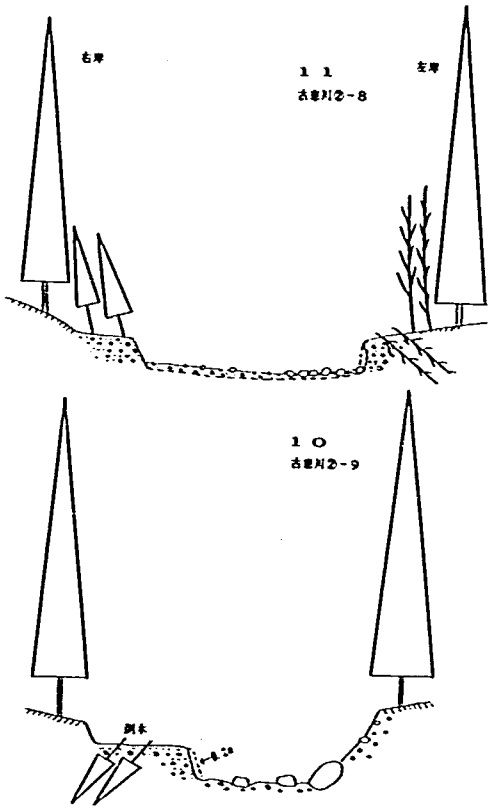
資料－31



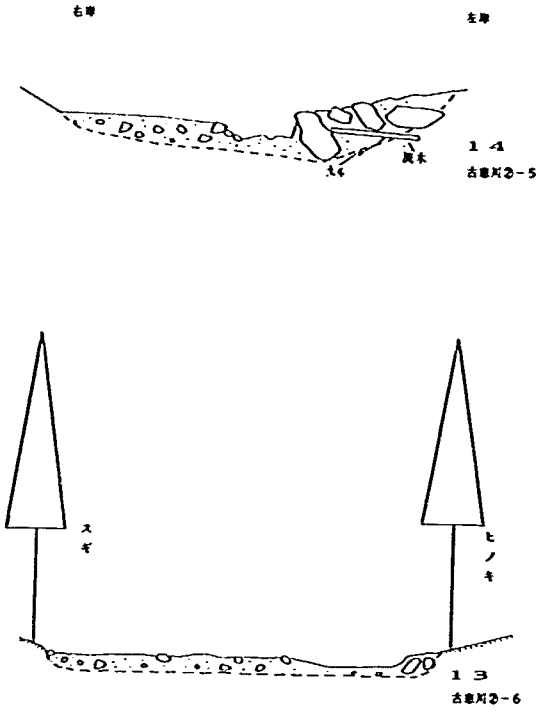
資料－32



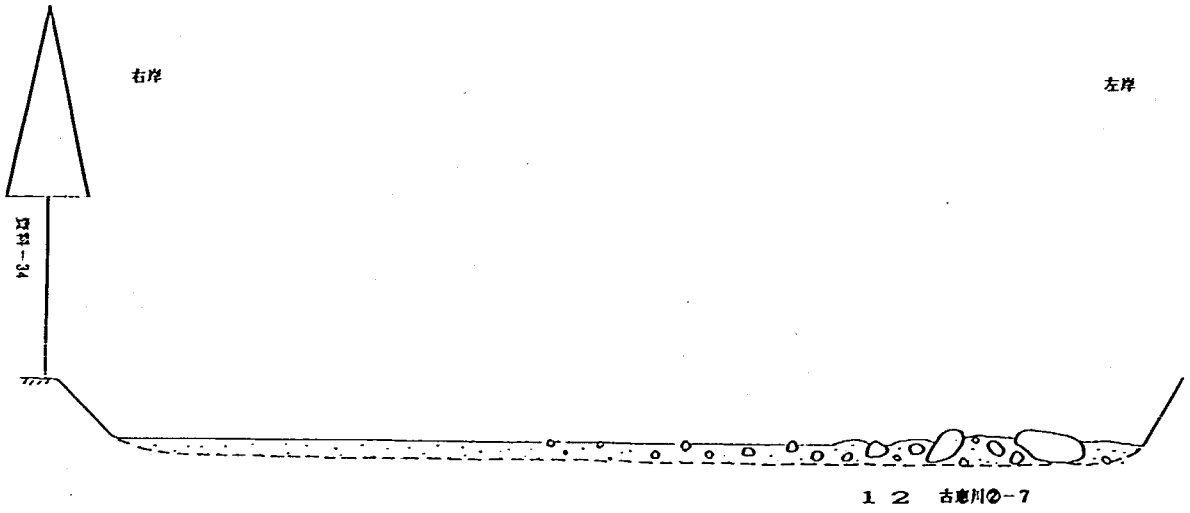
資料－33



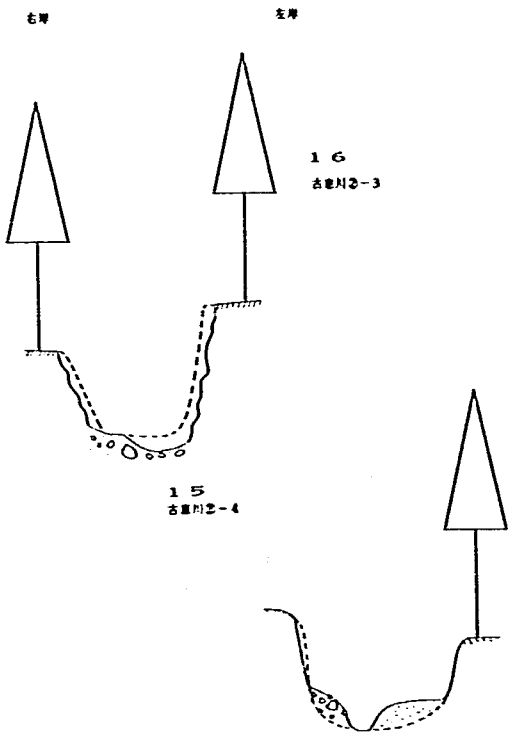
資料－35



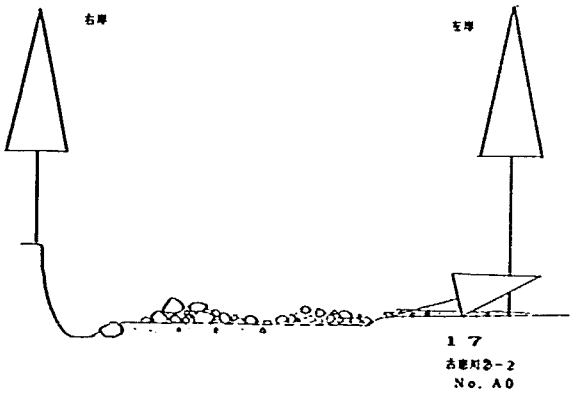
資料－34



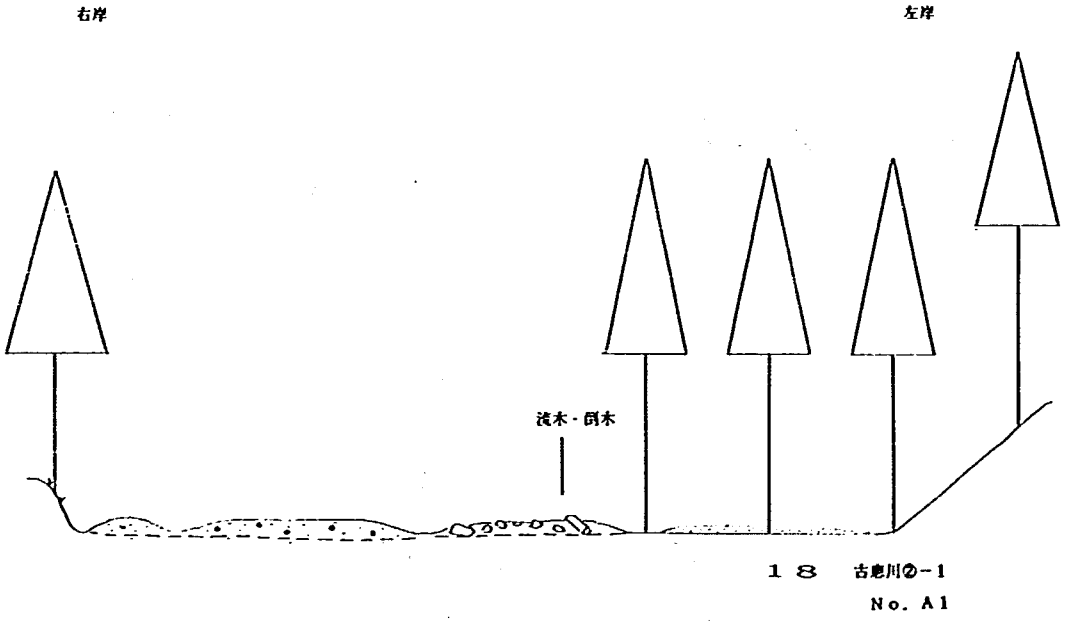
資料－36



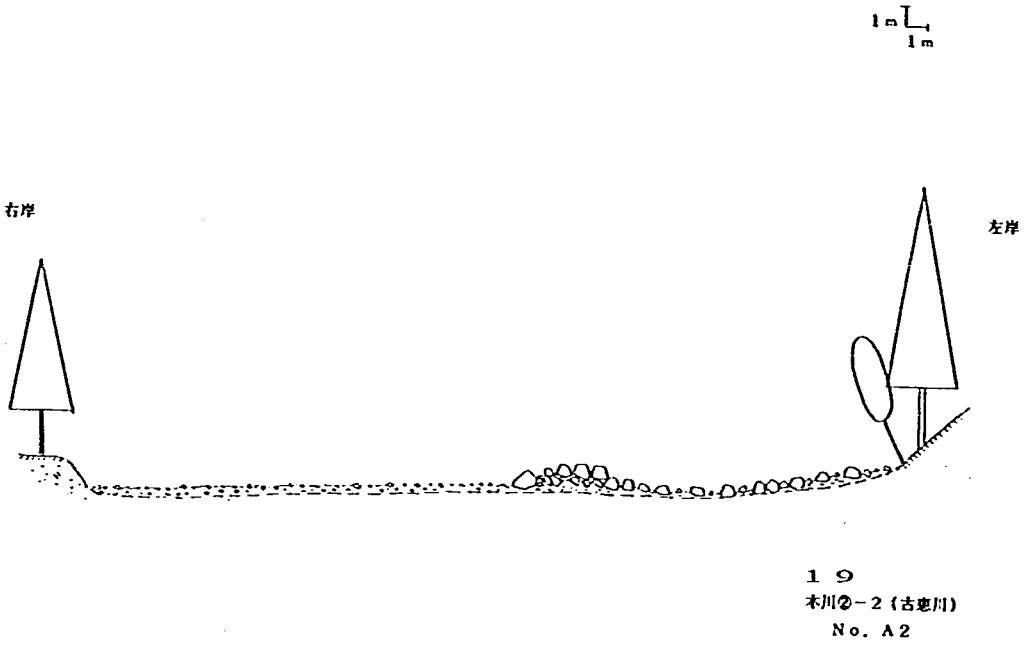
資料－37



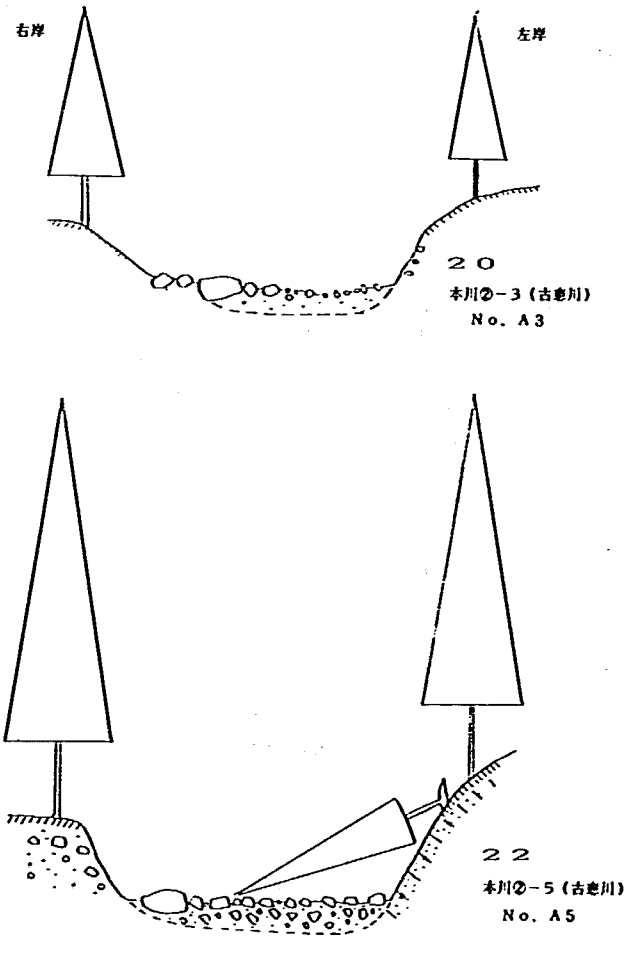
資料－38



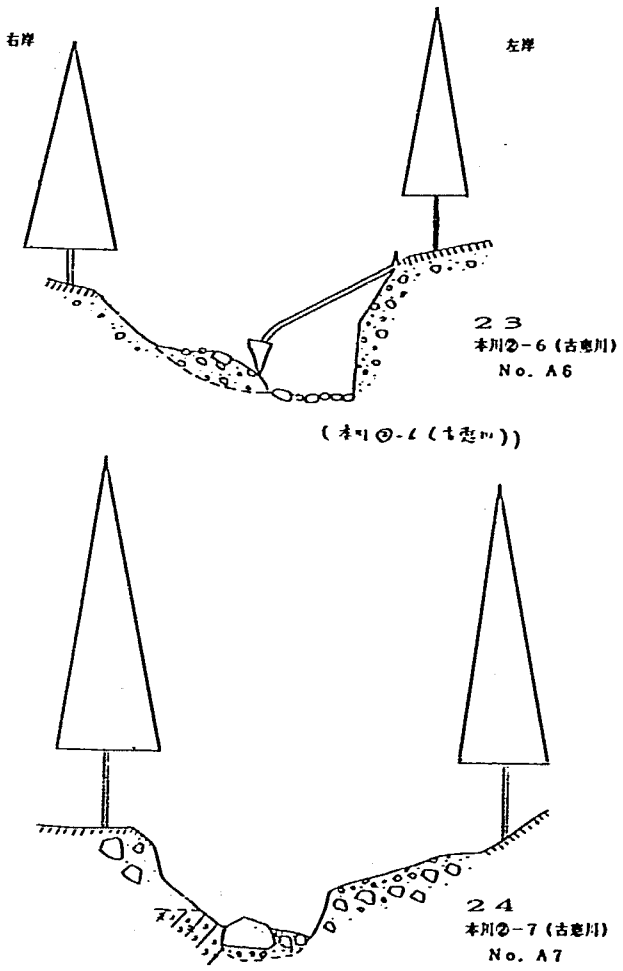
資料－39



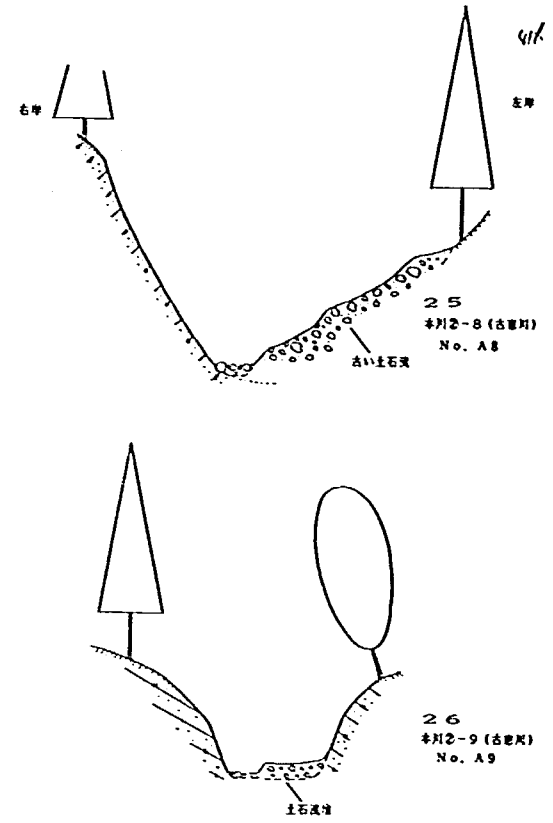
資料－40



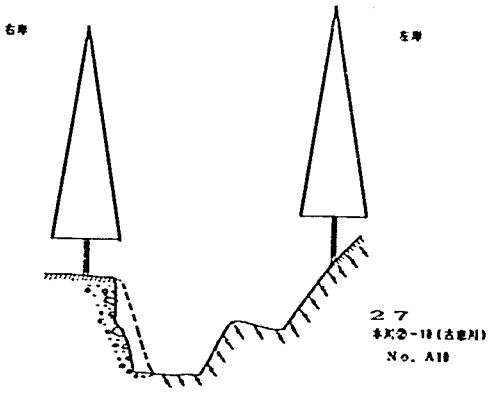
資料－41



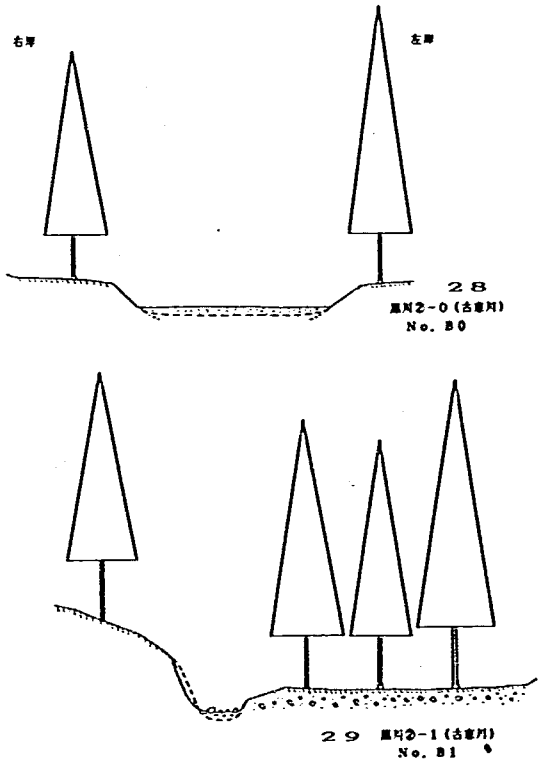
資料－42



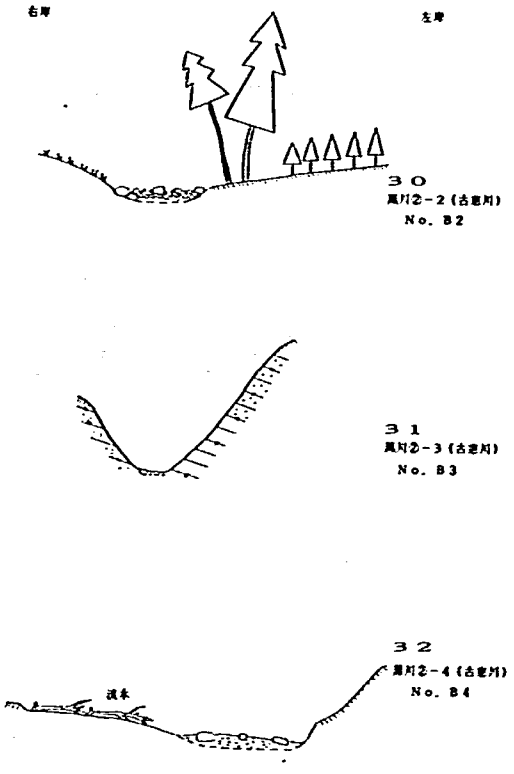
資料－43



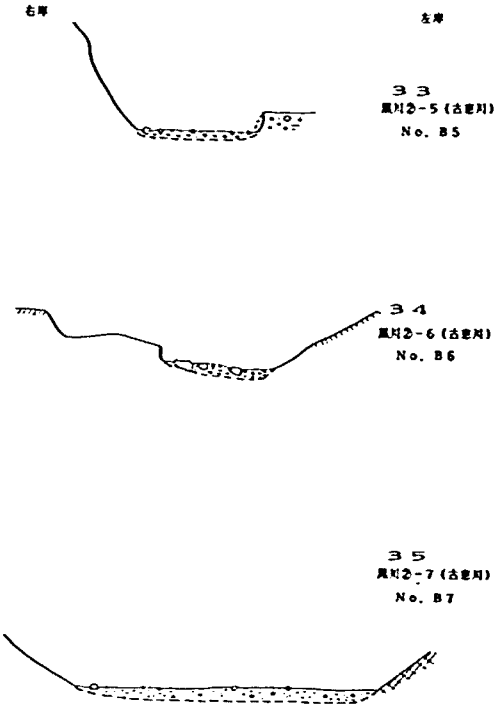
資料－44



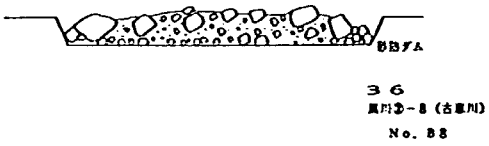
資料－45



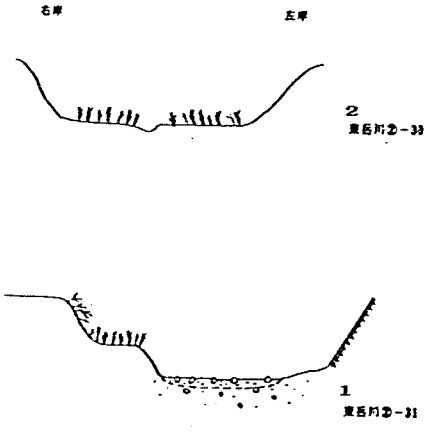
資料－46



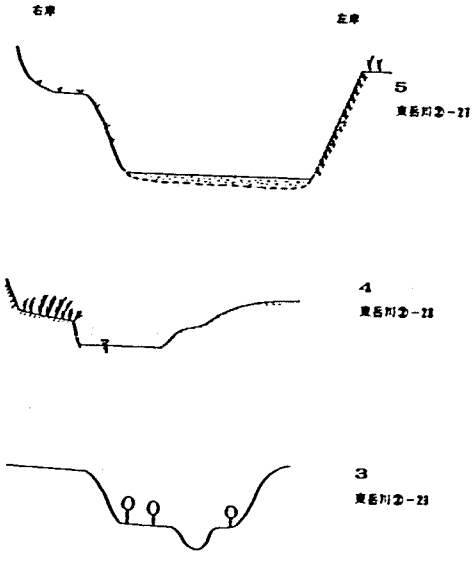
資料－47



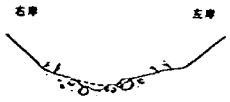
資料－48



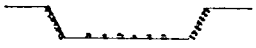
資料－49



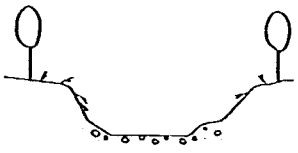
資料－50



8
東岳川②－23

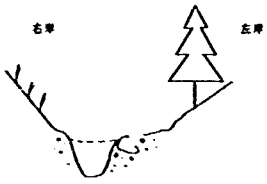


7
東岳川②－24

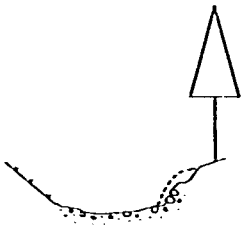


6
東岳川②－26

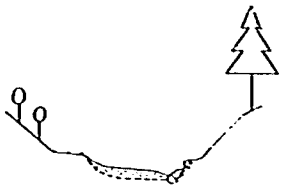
資料－51



11
東岳川②－20

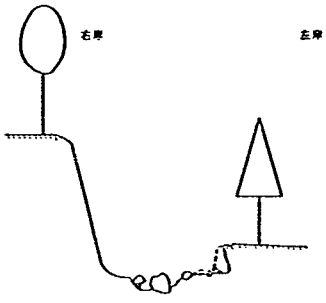


10
東岳川②－21

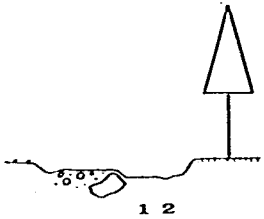


9
東岳川②－22

資料－52

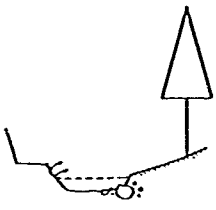


14
東岳川②－18

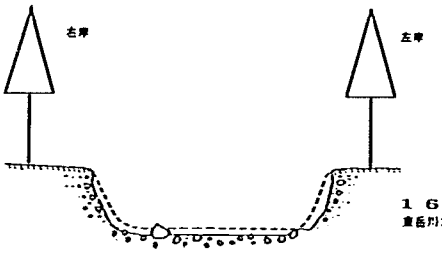


12
東岳川②－19

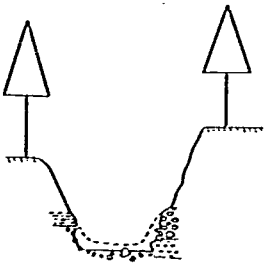
13
東岳川②－19



資料－53



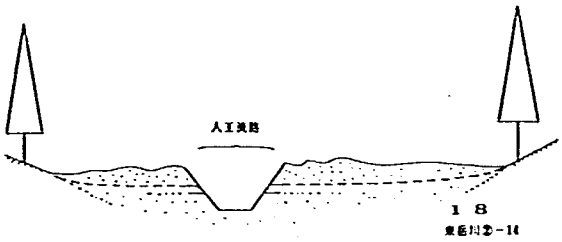
16
東岳川②－16



15
東岳川②－17

資料－54

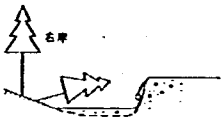
１９
東岳川②－13



１８
東岳川②－14

１７
東岳川②－15

資料－55

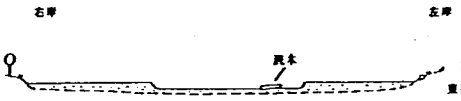


２２
東岳川②－11

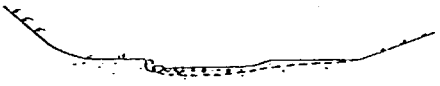
２１
東岳川②－11'

２０
東岳川②－12

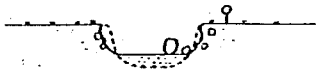
資料－56



２５
東岳川②－9

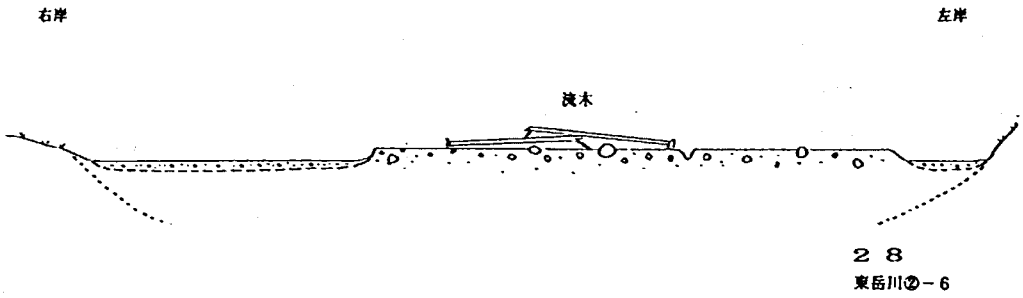


２４
東岳川②－9

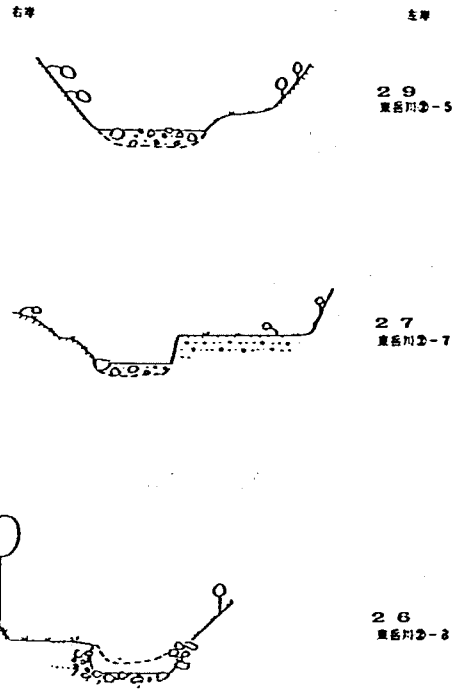


２３
東岳川②－10

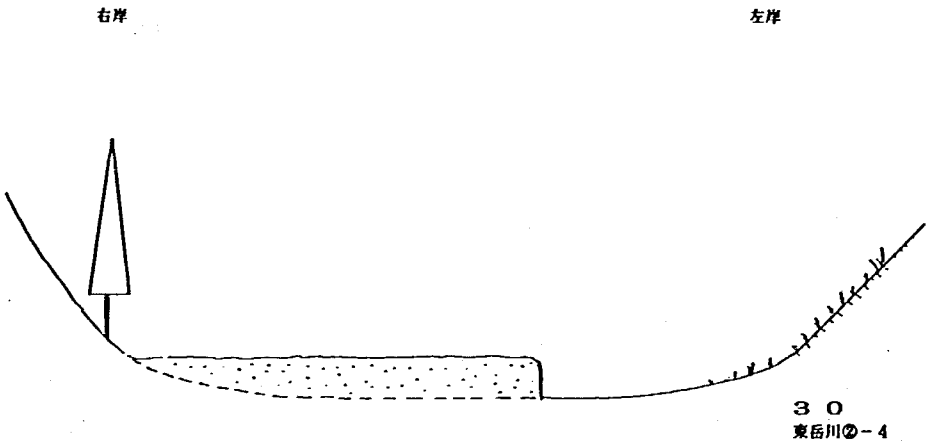
資料－57



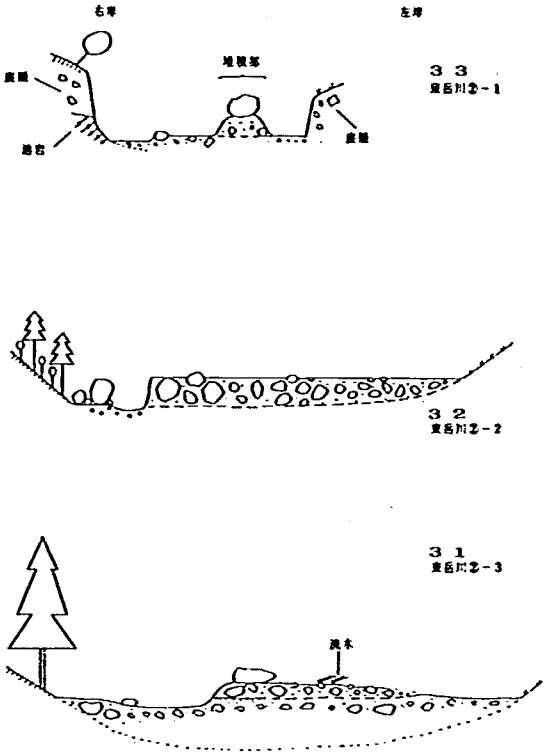
資料－58



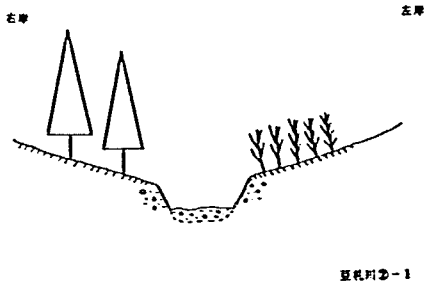
資料－59



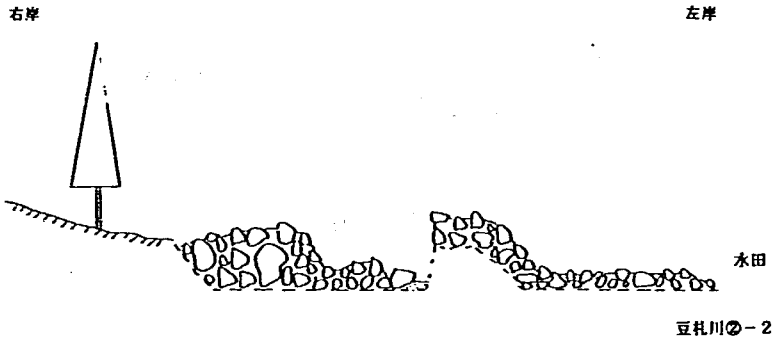
資料－60



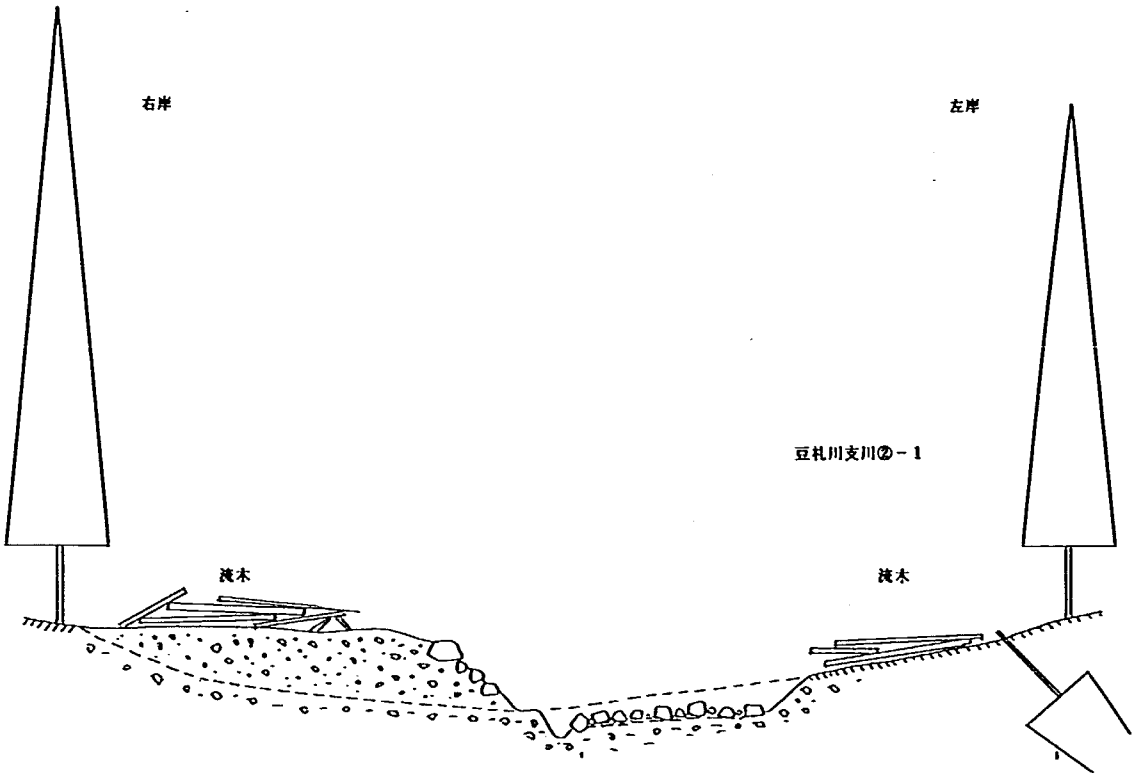
資料－６１



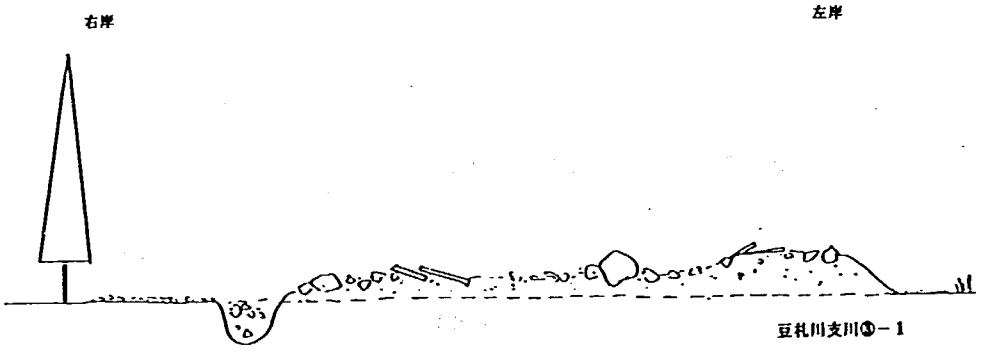
資料－62



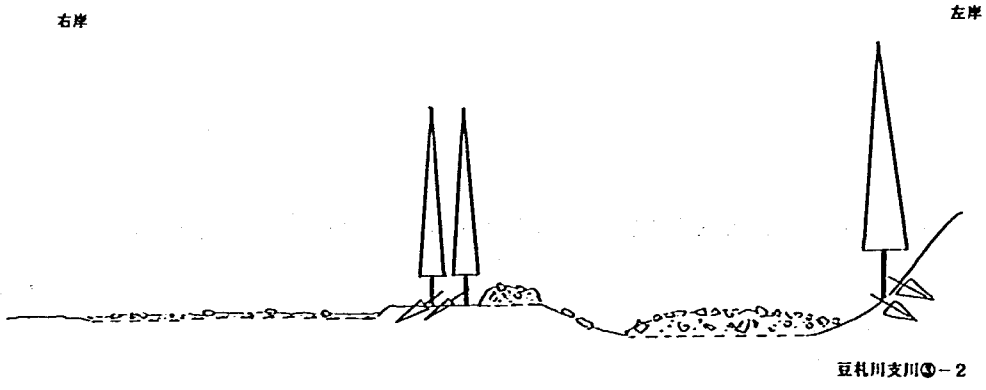
資料－63



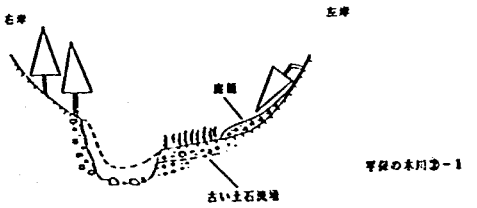
資料－64



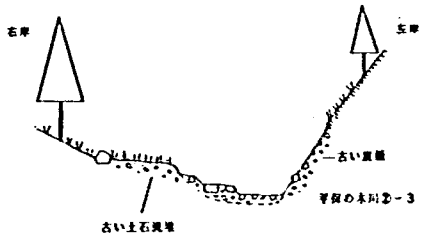
資料－65

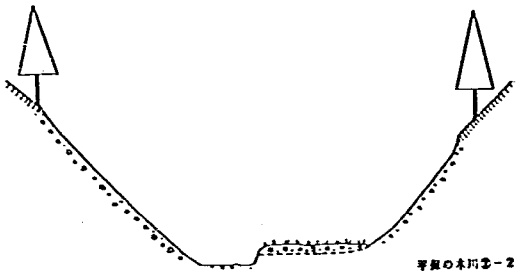


資料－66

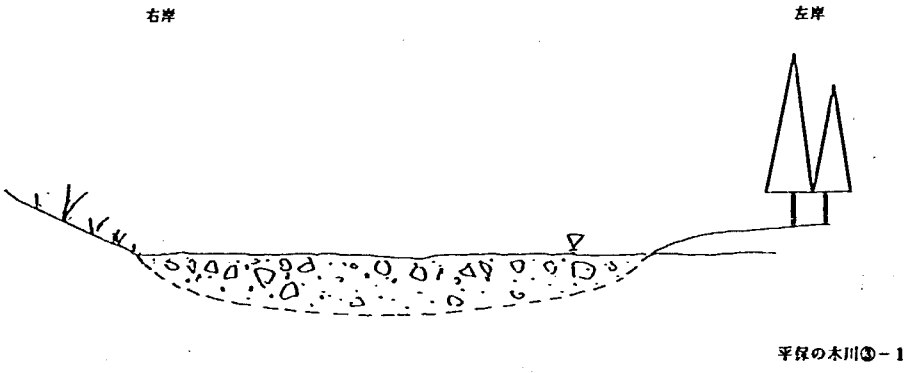


資料－67

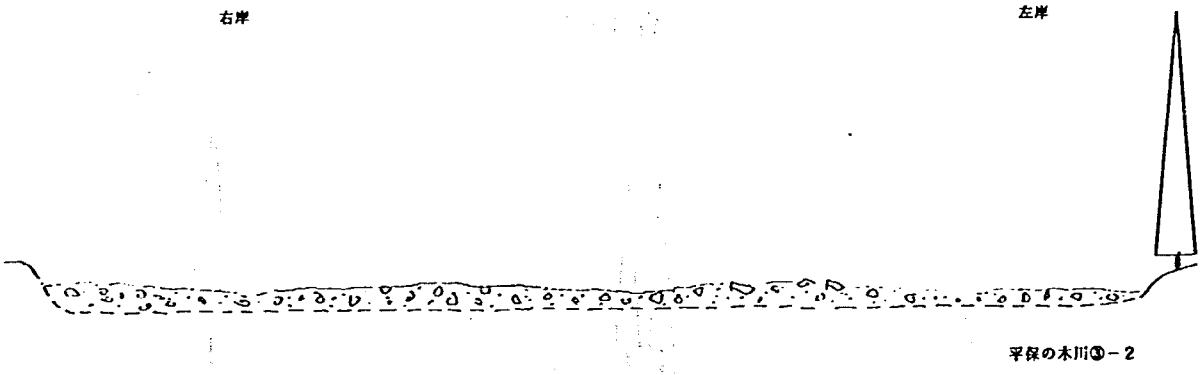




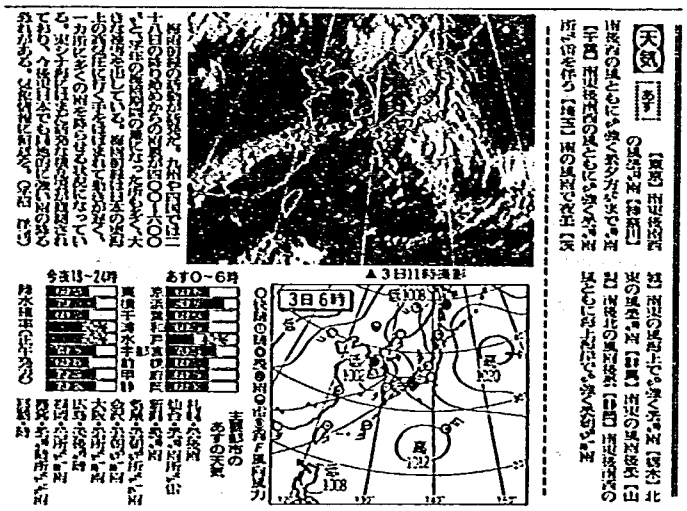
資料－68



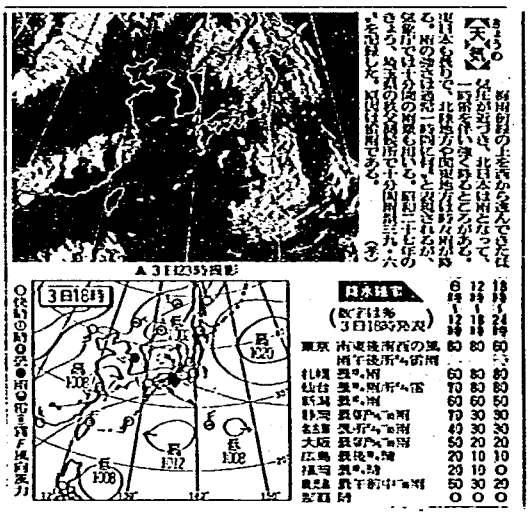
資料－69



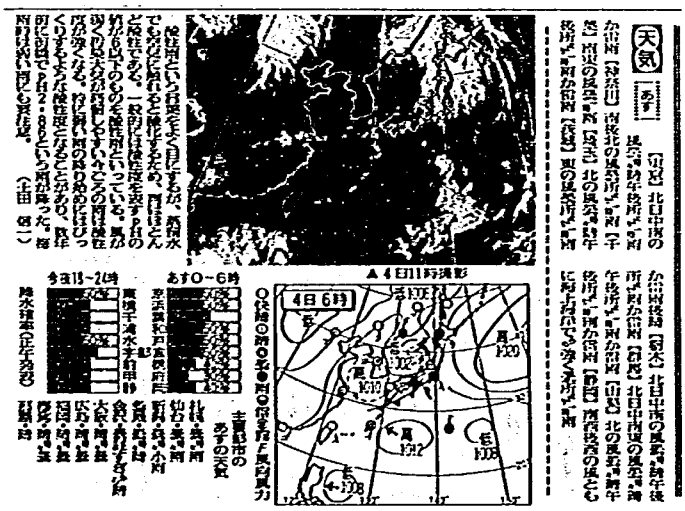
付図２．天気概況、衛星写真、天気図



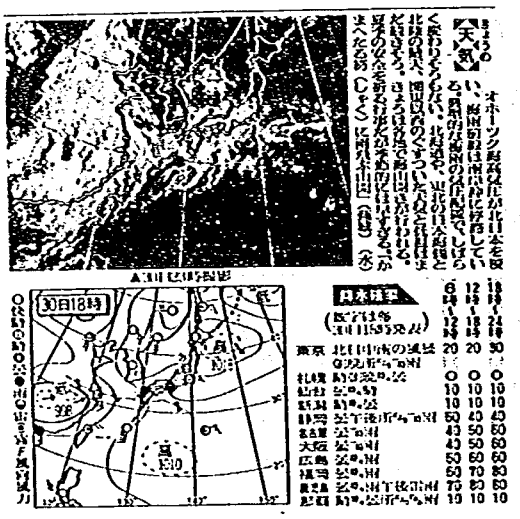
7月3日（火）　夕刊



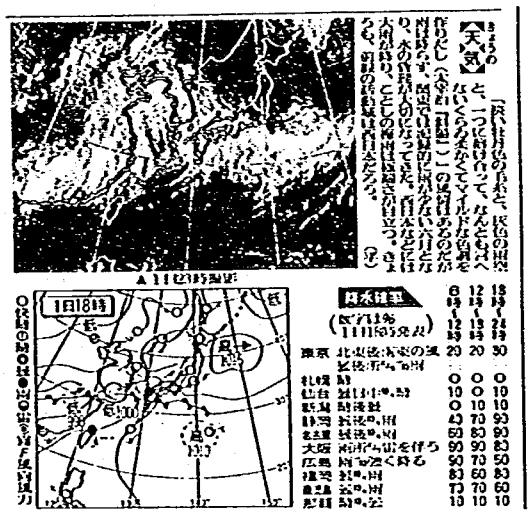
7月4日（水）　朝刊



7月4日（水）　夕刊

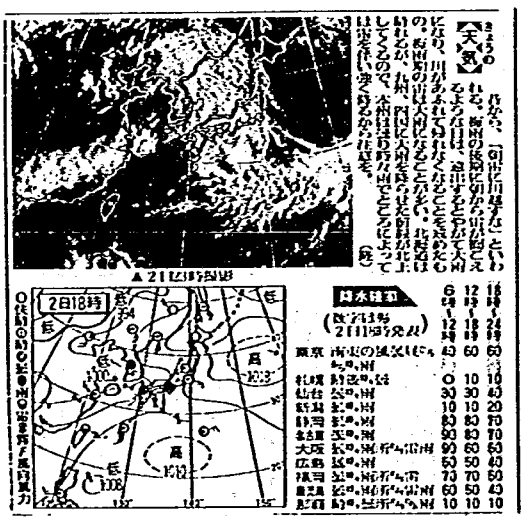


7月1日（日）　朝刊



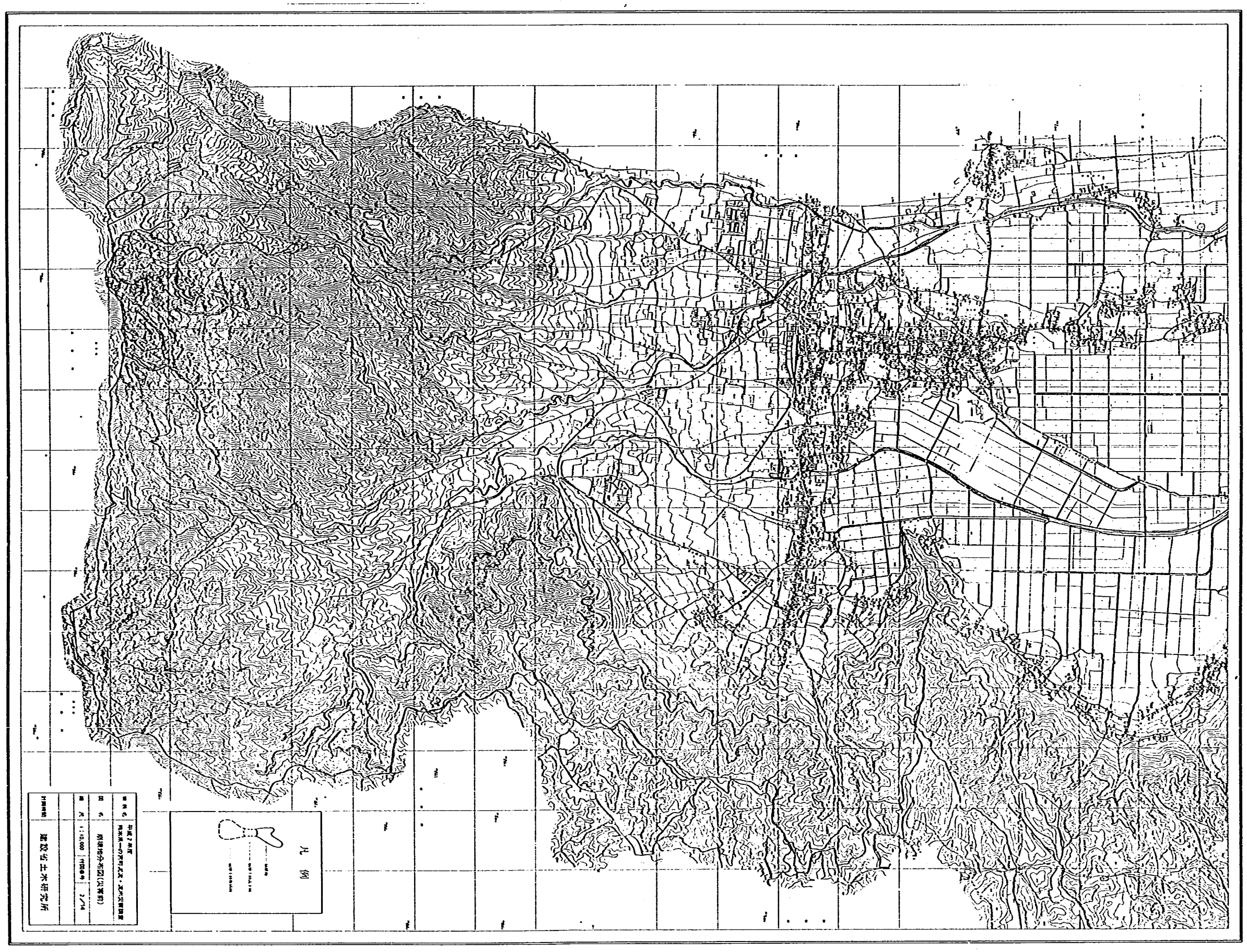
7月2日月（月）　朝刊

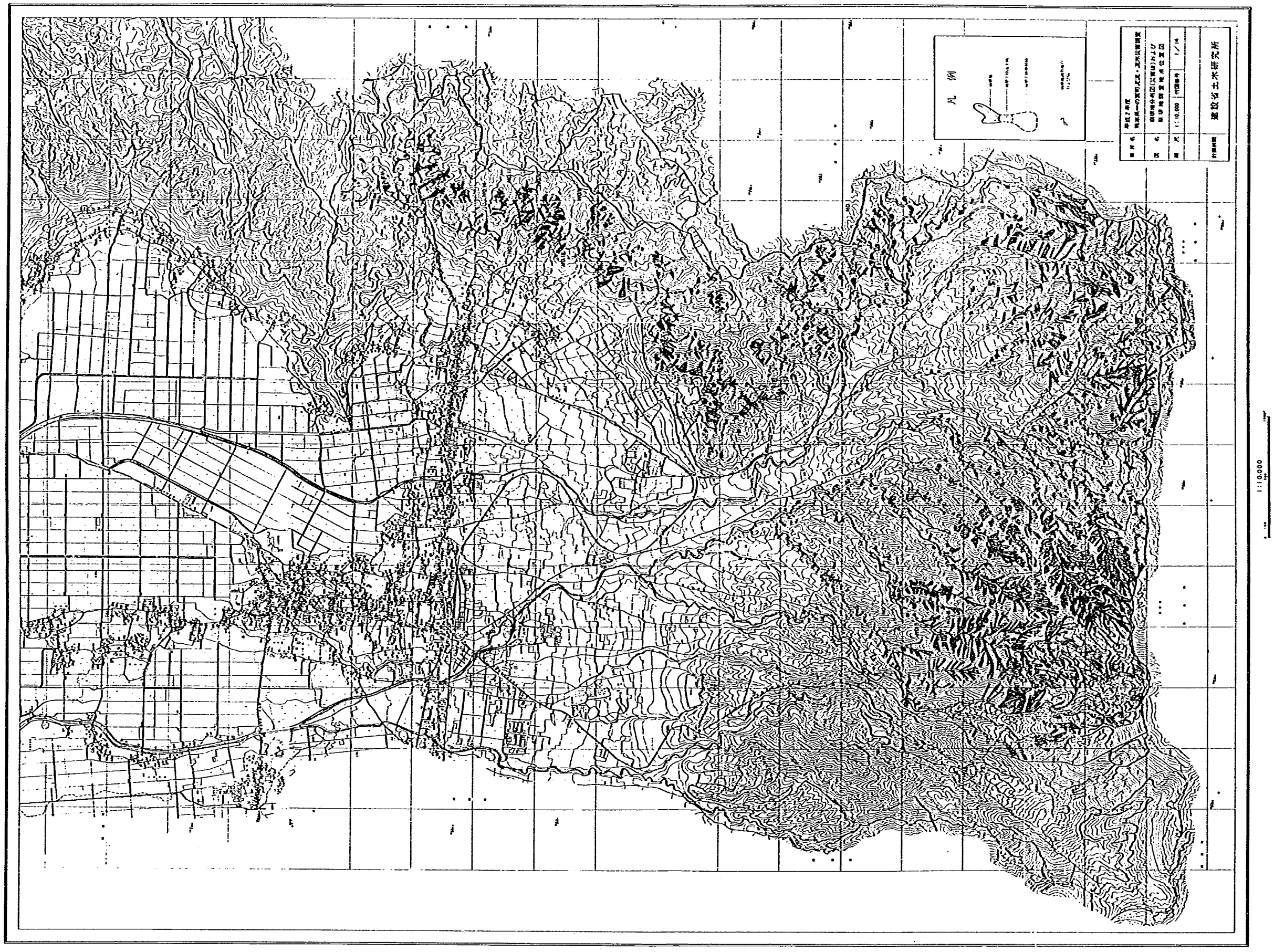
7月2日（月）　夕刊



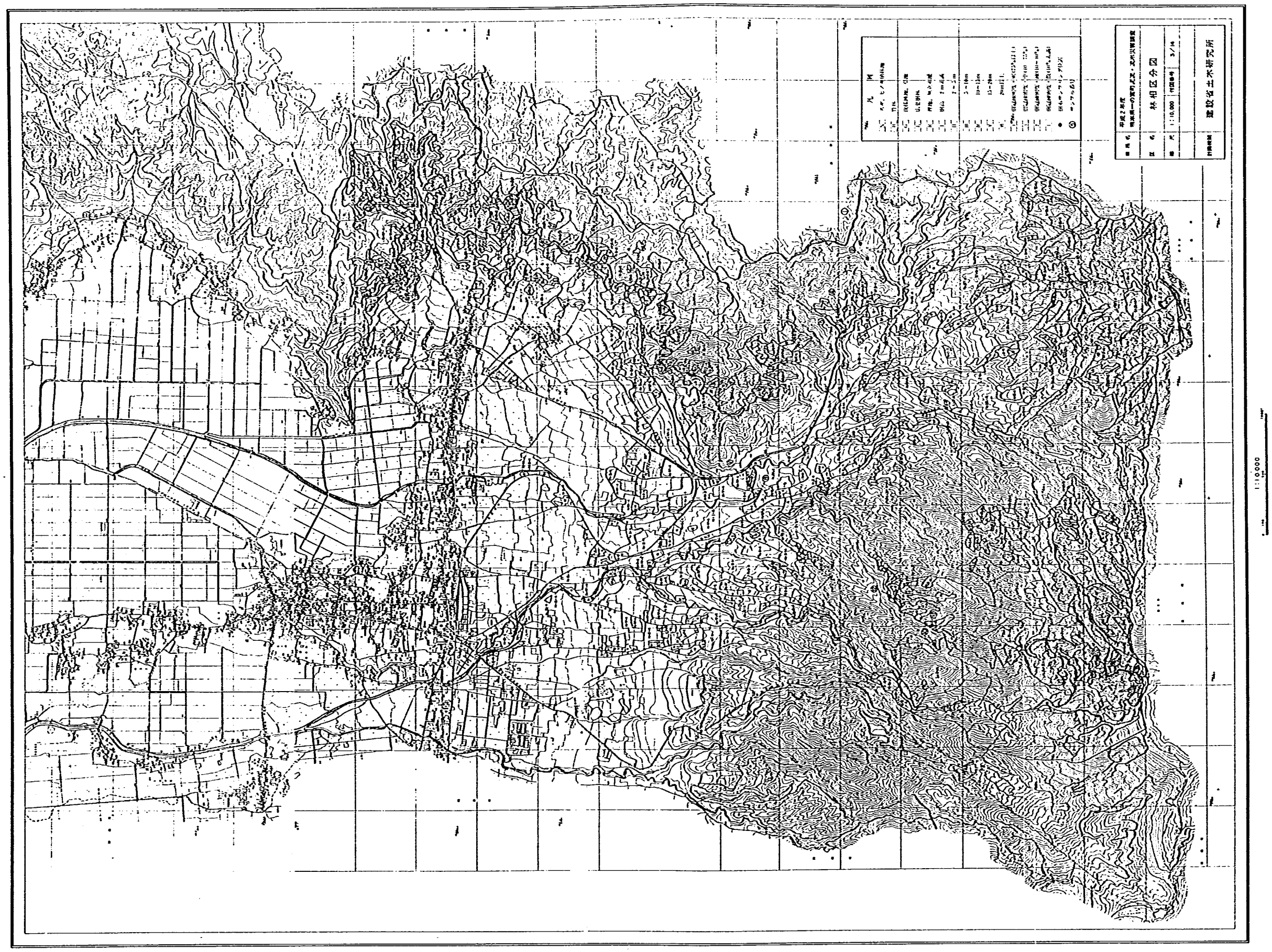
7月3日（火）　朝刊

付図3　崩壊地分布図（災害前）

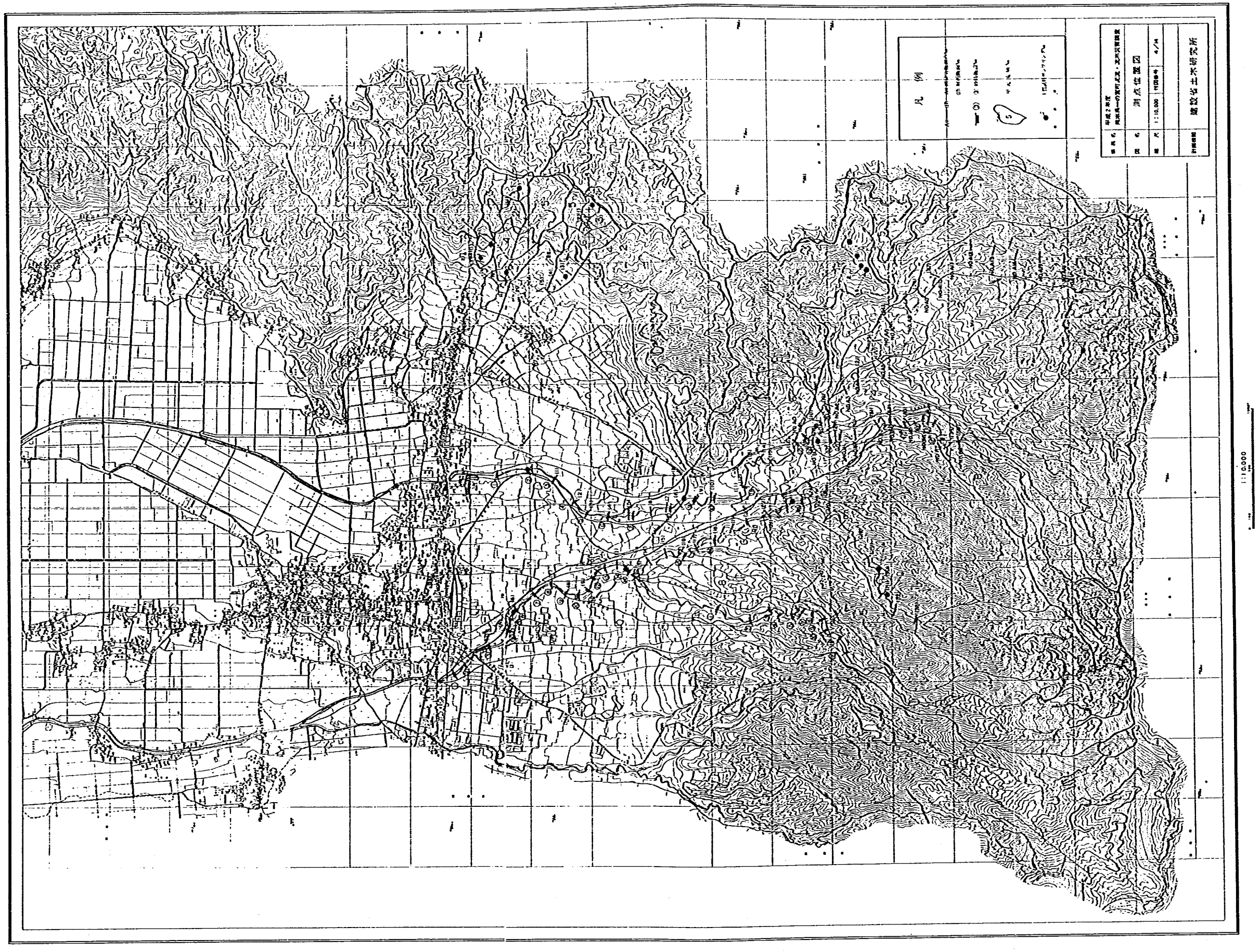




付図4　崩壊地分布図（災害後）および崩壊地調査地点位置図



付図5　林相区分図



付図6　測点位置

平成二年７月熊本県一の宮町
泥流・流木災害調査報告書

ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3026号
平成３年６月（１９９１）

砂防研究室 室　長 石川芳治
研究員 草野慎一
福澤　誠

要 旨　平成二年７月１日から２日にかけて，梅雨前線の活発化により北九州地方は集中豪雨に見舞われた。そのため熊本県阿蘇郡一の宮町では，多量の流木を含む泥流が発生・氾濫し，死者８名，全半壊家屋170棟という被害をもたらした。本調査報告書は泥流及び流木の発生，流下，堆積過程と，それらによる被害の実態を明らかにするために行った基礎的な現地調査の結果をとりまとめたものである。

キーワード：泥流，流木，災害

郵便はがき

41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
砂防部砂防研究室 御中

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3026号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印