

中華人民共和国  
云南省水利庁

中華人民共和国  
云南省小江流域総合土砂災害対策  
及び自然環境修復計画調査

最終報告書  
第4巻  
付属報告書

2006年3月

本件調査では費用積算を中国人民元で表示している。使用した通貨換算率は以下の通りである。

1.00 米ドル = 8.2865 中国人民元 = 102.440 日本円

2005年1月1日現在

# 最終報告書の構成

## 日文

- 第1巻：要約
- 第2巻：主報告書 基本計画編
- 第3巻：主報告書 フィージビリティ調査編
- 第4巻：付属報告書
- 第5巻：データ集

## 中文

- 第1巻：规划概要
- 第2巻：基本规划
- 第3巻：可行性研究报告

# 付属報告書

## 目次

- 分野 A 測量
- 分野 B GIS設計
- 分野 C 水理・水文
- 分野 D 地形・地質
- 分野 E 土砂水理
- 分野 F 治水・河川計画
- 分野 G 砂防施設設計・積算
- 分野 H 山腹緑化計画
- 分野 I 非構造物対策
- 分野 J 環境/社会配慮
- 分野 K 社会経済/組織制度

分野 A

測量

付属報告書  
分野A 測量

## 目次

	頁
<b>1. 1/50000 オルソフォトマップ作成.....</b>	<b>A-1</b>
1.1 標定点測量.....	A-1
1.2 空中三角測量 .....	A-2
1.3 等高線数値図化 .....	A-2
1.4 DTMの作成.....	A-2
1.5 オルソフォトマップの作成.....	A-2
<b>2. 河川横断測量 .....</b>	<b>A-3</b>
2.1 基準点測量.....	A-3
2.2 横断測量 .....	A-3
2.3 横断図作成.....	A-3
<b>3. 1/20000 航空写真撮影 .....</b>	<b>A-4</b>
<b>4. 1/5000 数値地形図作成.....</b>	<b>A-5</b>
4.1 標定点測量.....	A-5
4.2 空中三角測量 .....	A-5
4.3 数値図化 .....	A-5
4.4 現地調査 .....	A-5
4.5 数値編集 .....	A-5

## 表一覧

表R A.1	横断測量成果 .....	A-3
--------	--------------	-----

## 図一覧

図R A.1	標定点配点図 .....	A-1
図R A.2	標定点 .....	A-2
図R A.3	1/50000 オルソフォトマップ .....	A-2
図R A.4	撮影標定図 .....	A-4
図R A.5	1/5000 数値地形図 .....	A-5

## A. 測量

### 1. 1/50000 オルソフォトマップ作成

調査対象地域全体（3100K m<sup>2</sup>）の 1/50000 オルソフォトマップを作成した。

当初は予定されていた 1/40000 全流域（3000K m<sup>2</sup>）の航空写真撮影を使用する予定であったが、天候不良の為実施出来ず SPOT 衛星画像（カラー 2.5m 解像度）を購入して作成した。

#### 1.1 標定点測量

空中三角測量を実施する為に標定点 12 点を GPS 測量により設置した。

標定点は図上計画された地点付近に GPS 観測が可能でかつ刺針が可能な地点を選点、設置した。標定点の位置を、図 R A.1 に示す。

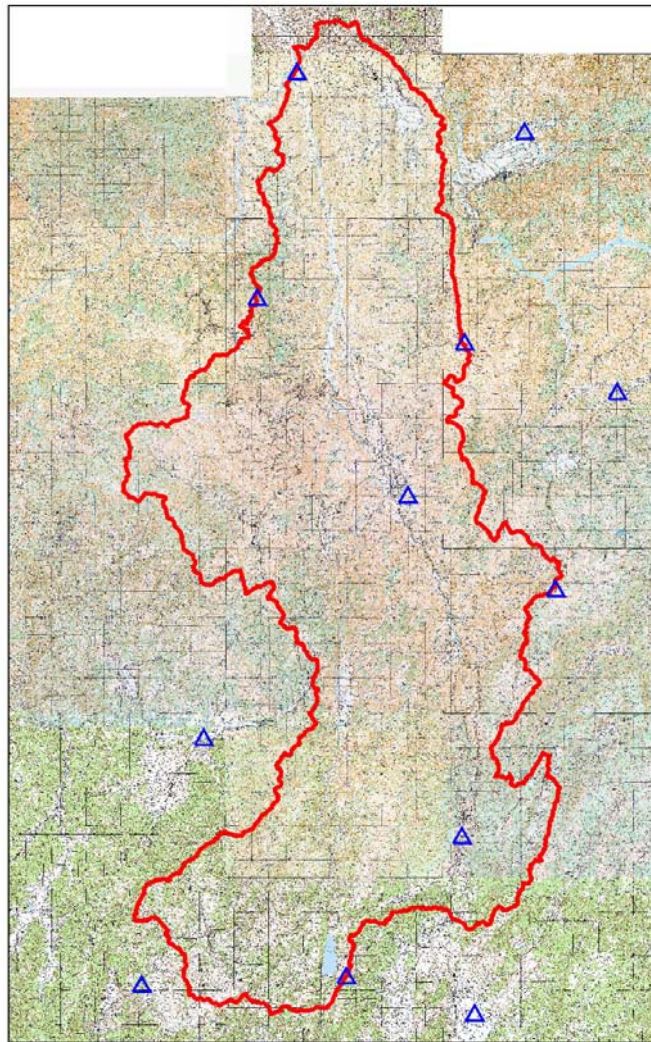


図 R A.1 標定点配点図





図 R A.2 標定点

## 1.2 空中三角測量

SPOT 衛星画像の撮影諸元及び、標定点測量の成果を使用して調査対象地域全域の空中三角測量を実施した。

## 1.3 等高線数値図化

数値図化機を使用して、SPOT 衛星画像と空中三角測量の成果を基にステレオモデルを作成し、調査対象地域全域の等高線を、主曲線 20m、計曲線 100m で図化を行った。

## 1.4 DTM の作成

図化した等高線を使用して、TIN（三角形不規則網）を作成した。

これらの結果を 1/50000 既存図及び河川測量の成果を使用して点検、修正を行い、このデータを基に 100m メッシュの標高点からなる DTM を作成した。

## 1.5 オルソフォトマップの作成

SPOT 衛星画像、空中三角測量の結果及び DTM を基に 1/50000 既存図の図葉単位にオルソフォトマップを作成した。

モデル毎に作成したオルソフォトをモザイクして、図葉毎に切り出しを行い、図化した等高線を重ねて完成させた。完成したオルソフォトマップを図 R A. 3 に示す。



図 R A. 3 1/50000 オルソフォトマップ

## 2. 河川横断測量

小江本川及び優先 4 支川の 140 断面の河川横断測量を行った。

### 2.1 基準点測量

既存の三角点及び国家水準点を使用し、GPS 測量及び直接水準測量により各橋梁部に基準点を設置した。

### 2.2 横断測量

設置した基準点から間接水準測量により横断測量を行った。横断測量結果を表 R A. 1 に示す。

表 R A.1 横断測量成果

点名	X	Y	Z
K003P1	2889754.19	313027.36	1177.85
1	2889750.59	313034.07	1174.62
2	2889738.28	313057.11	1162.53
3	2889732.24	313068.41	1156.48
4	2889728.89	313074.67	1153.47
5	2889727.06	313078.09	1150.79
6	2889722.15	313087.27	1150.96
7	2889711.11	313107.92	1150.86
8	2889703.23	313122.65	1150.94
9	2889694.42	313139.12	1150.97
10	2889679.04	313167.90	1150.93
11	2889671.08	313182.79	1150.43
12	2889666.38	313191.56	1150.85
13	2889657.34	313208.47	1155.46
K003P2	2889655.77	313211.41	1157.86
14	2889652.88	313216.81	1162.56

### 2.3 横断図作成

横断測量の成果を CAD ソフトを用いて展開、作図を行い横断図を完成させた。

### 3. 1/20000 航空写真撮影

優先小流域 4 流域 (300K m<sup>2</sup>) の航空写真撮影を以下の仕様で行った。

撮影縮尺	: 1/20000
撮影面積	: 300K m <sup>2</sup>
オーバーラップ	: 60%
サイドラップ	: 30%

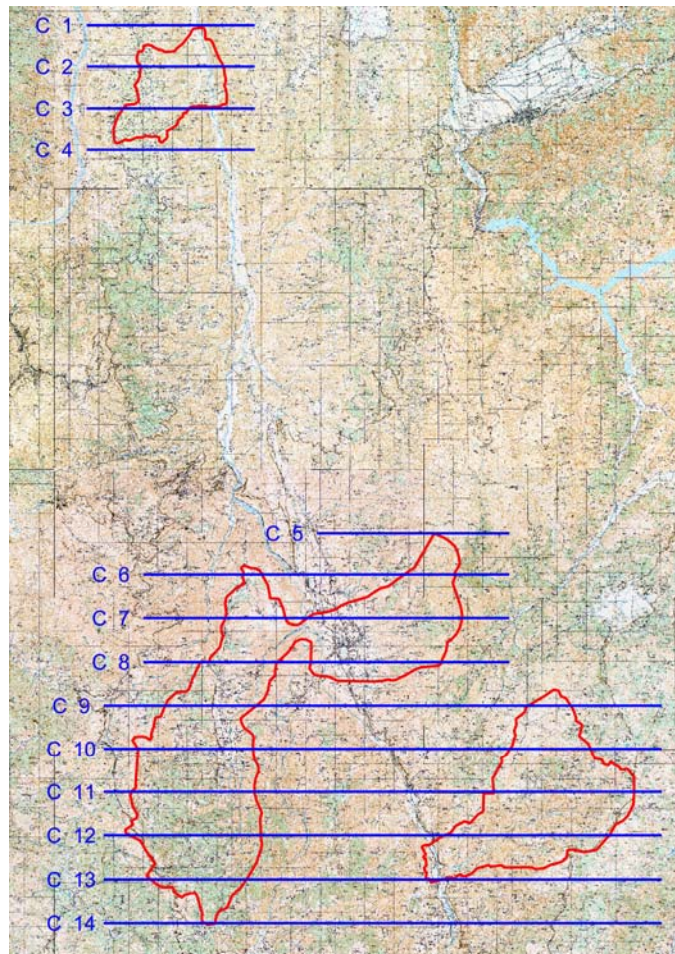


図 R A.4 撮影標定図

## 4. 1/5000 数値地形図作成

1/20000 航空写真を使用して優先小流域 4 流域 (300K m<sup>2</sup>) の 1/5000 数値地形図を作成した。

### 4.1 標定点測量

空中三角測量を実施する為に標定点を GPS 測量により設置した。

標定点は図上計画された地点付近に GPS 観測が可能でかつ刺針が可能な地点を選点、設置した。

### 4.2 空中三角測量

1/20000 航空写真及び、標定点測量の成果を使用して優先小流域 4 流域の空中三角測量を実施した。

### 4.3 数値図化

数値図化機システムを使用して優先小流域 4 流域の数値図化を行った。

中国 1/5000 地形図図式にしたがって各地物の位置情報を入力し地形図データファイルを作成した。

### 4.4 現地調査

数値図化での不明点の確認及び地名、地物名の調査の行う為に現地調査を行った。

### 4.5 数値編集

現地調査結果の盛り込み、図化データの転移、陰線処理及び整飾の作成等の数値編集を CAD ソフトを使用して行い 1/5000 数値地形図を完成させた。完成した 1/5000 数値地形図の一部を図 R A.5 に示す。

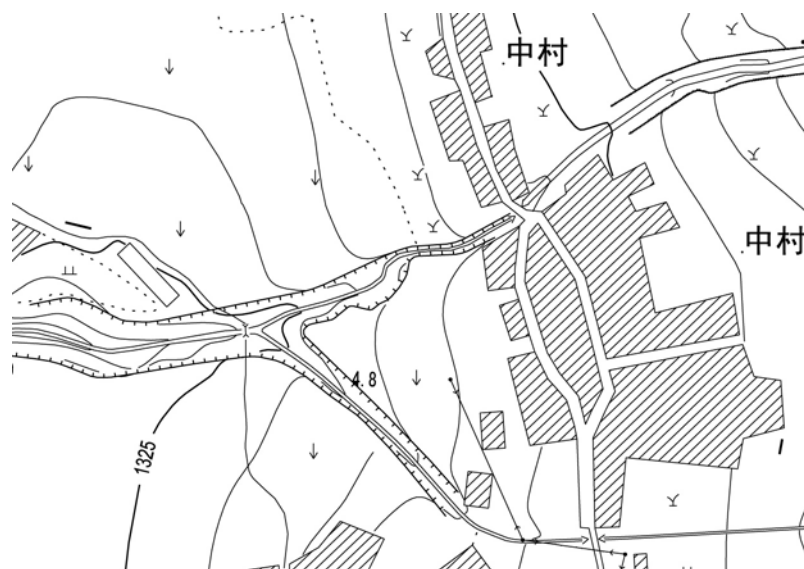


図 R A.5 1/5000 数値地形図

**分野 B**

**GIS 設計**

付属報告書  
分野 B GIS 設計

目次

	頁
1. 流域データ界作成 .....	B-1
1.1 全域流域界データの作成.....	B-1
1.2 全域流域界データの作成.....	B-1
2. 等高線データ作成 .....	B-2
2.1 全域等高線データ .....	B-2
2.2 優先流域等高線.....	B-2
3. 地形分類データ作成 .....	B-2
4. 崩壊地データ作成 .....	B-3
5. 地被データ作成.....	B-3
6. 谷次数データ作成 .....	B-4
7. 氾濫データ作成.....	B-4
8. 建物・道路・河川データ作成 .....	B-4

表一覧

表 R B.1 ファイル一覧表 .....	B-5
-----------------------	-----

図一覧

図 R B.1 全域流域界図と優先流域界図 .....	B-1
図 R B.2 全域等高線と優先流域等高線 .....	B-2
図 R B.3 地形分類図 .....	B-2
図 R B.4 崩壊地図.....	B-3
図 R B.5 地被図 .....	B-3
図 R B.6 谷次数図.....	B-4
図 R B.7 氾濫図 .....	B-4

## B. GIS 設計

### 1. 流域データ作成

測量成果の数値地形図 CAD データを利用し、流域界データを作成した。

#### 1.1 全域流域界データの作成

調査対象地域全体 (3,100km<sup>2</sup>) の流域界データを作成した

#### 1.2 優先流域界データの作成

優先小流域 4 流域 (300km<sup>2</sup>) の流域界データを作成した

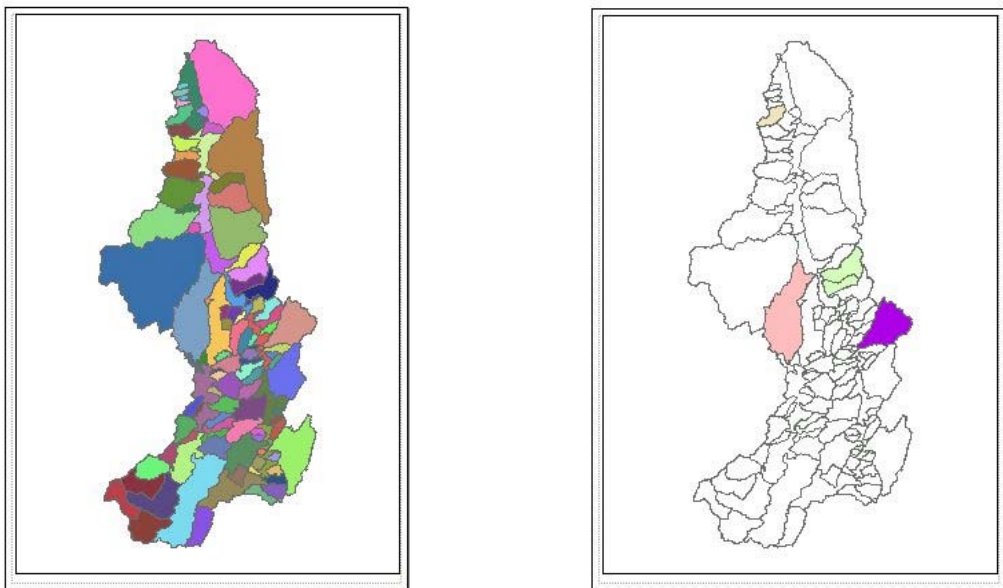


図 R B.1 全域流域界図と優先流域界図

## 2. 等高線データ作成

測量成果の数値地形図 CAD データを利用し、等高線データを作成した。

### 2.1 全域等高線データ

25m 及び 100m の全域等高線データを作成した。

### 2.2 優先流域等高線

10m の優先流域等高線データを作成した。

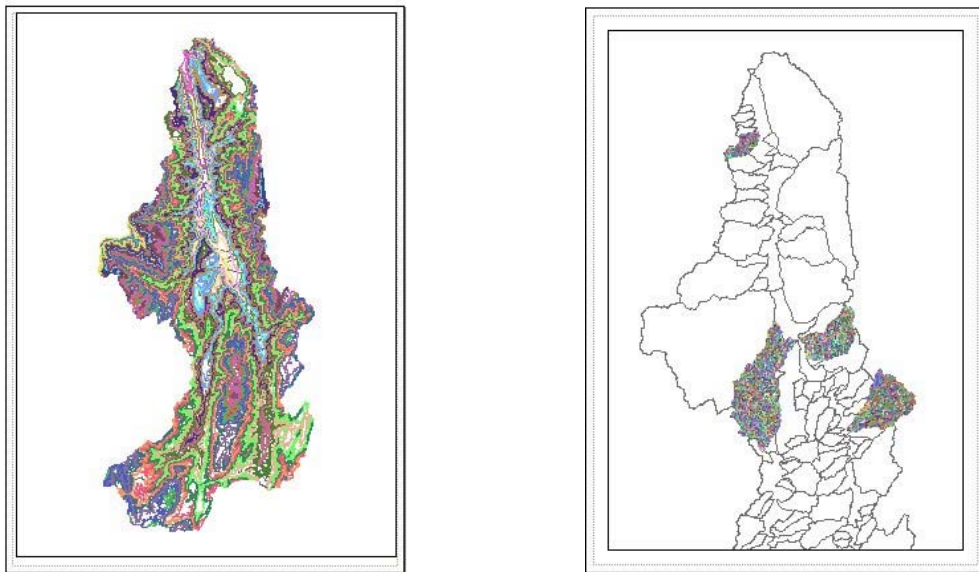


図 R B.2 全域等高線と優先流域等高線

## 3. 地形分類データ作成

航空写真の判読結果により、地域全体と優先流域の地形分類データを作成した。

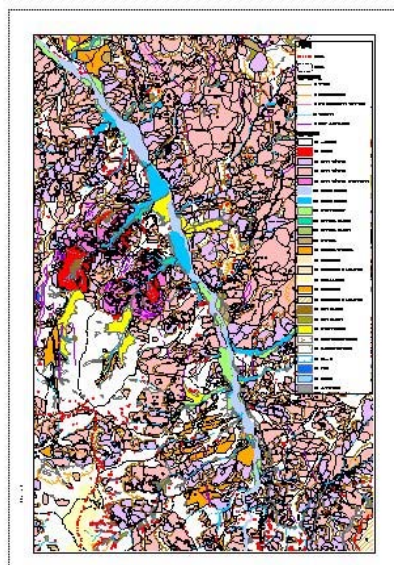


図 R B.3 地形分類図



#### 4. 崩壊地データ作成

航空写真の判読結果により、地域全体と優先流域の崩壊地データを作成した。

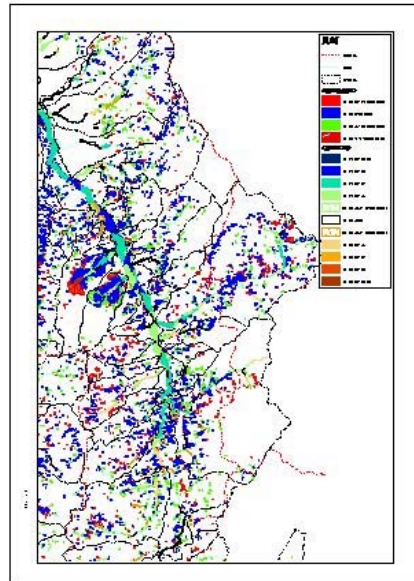


図 R B.4 崩壊地図

#### 5. 地被データ作成

航空写真の判読結果により、地域全体と優先流域の地被データを作成した。

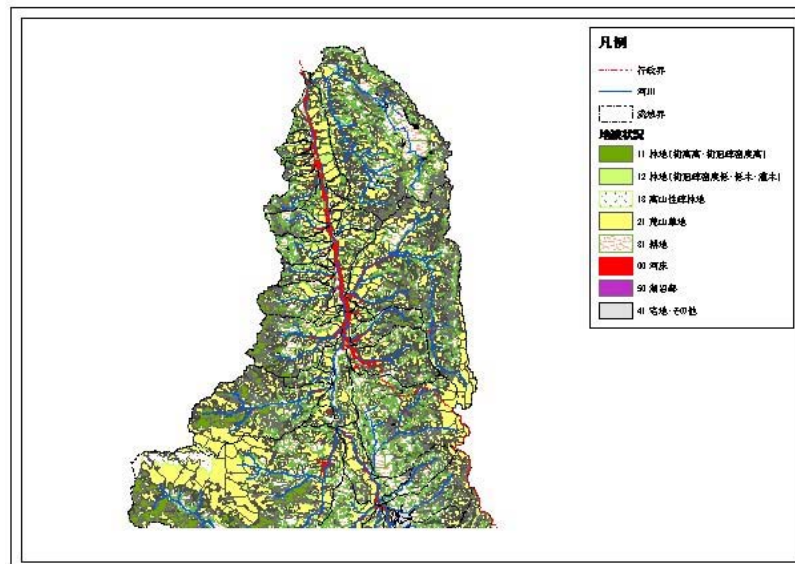


図 R B.5 地被図

## 6. 谷次数データ作成

測量成果の数値地形図 CAD データを利用し、谷次数データを作成した。

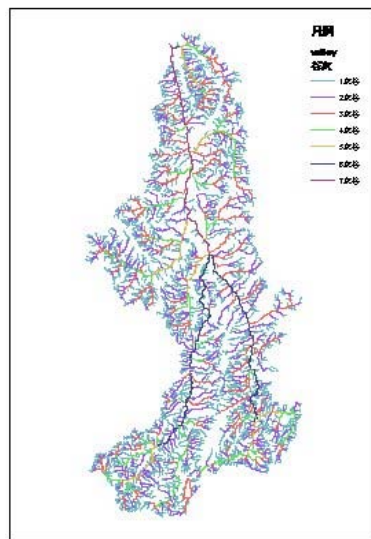


図 R B. 6 谷次数図

## 7. 氾濫データ作成

別途氾濫データ作成プログラムを開発し、氾濫データを作成した。

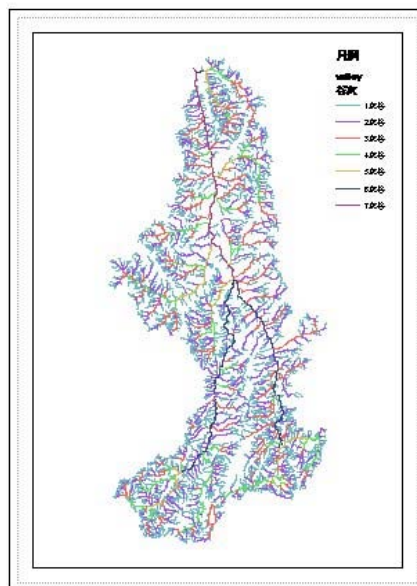


図 R B. 7 氾濫図

## 8. 建物・道路・河川データ作成

測量成果の数値地形図 CAD データを利用し、建物・道路・河川データを作成した。

上記基礎 GIS データを基に、必要に応じて解析用の各種 TIN GRID 10m メッシュデータを作成した。

表 R B.1 ファイル一覧表

## 1. 基礎データ

ファイル名	情報	幾何形状
xingzhenqu. shp	行政界	面
Jianzhuwu. shp	建物	点
Mijidi. shp	市街地における住宅密集地	面
daolu. shp	道路	線
qiaoliang. shp	橋	点
difuqufen. shp	地覆区分	面
hechuan. shp	河川計画	面

## 2. 地形・地質データ

ファイル名	情報	幾何形状
dixing. shp	地形分類	面
dixingL. shp	地形分類	線
dizhi. shp	地質区分	面
Benghuaidi. shp	崩壊地変化図	面
Valley. shp	谷次数区分	線
Liuyujie. shp	流域界	面
Denggaoxian. shp	等高線	線

## 3. 災害関連データ

ファイル名	情報	幾何形状
oldzaihai. shp	既往災害	点
Zaihaiyuce. shp	広域ハザードマップ	面・線

## 4. 社会・環境データ

ファイル名	情報	幾何形状
senlin. shp	森林分布図	面
zhuminyishi. shp	住民意識	点

分野 C

水理・水文

附属報告書  
分野 C 水理・水文

目次

	頁
1. はじめに(参考資料について) .....	C-1
2. 気象・気候 .....	C-1
2.1 気候 .....	C-1
2.1.1 気温 .....	C-1
2.1.2 湿度 .....	C-2
2.1.3 気候特性概要 .....	C-2
2.2 気象 .....	C-2
2.2.1 降水 .....	C-2
2.2.2 蒸発量 .....	C-3
2.2.3 風速 .....	C-3
2.2.4 気圧 .....	C-4
2.3 優先小流域における気象・気候 .....	C-4
2.3.1 豆腐沟 .....	C-4
2.3.2 乌龙沟 .....	C-4
2.3.3 东川市街地流域 .....	C-4
2.3.4 桃家小河 .....	C-5
3. 降雨・流出特性 .....	C-6
3.1 小江流域における水文観測の現状 .....	C-6
3.2 水文データの収集・整理 .....	C-7
3.3 水文観測 .....	C-7
3.3.1 観測機器の設置および製作 .....	C-8
3.3.2 水文観測の実施 .....	C-8
3.3.3 観測結果の整理 .....	C-9
3.4 降雨特性概略 .....	C-10
3.5 流出特性 .....	C-11
4. 水文解析 .....	C-13
4.1 年間降雨量 .....	C-13
4.1.1 年間降雨量経年変化 .....	C-13
4.1.2 月別および季別雨量 .....	C-13
4.2 日雨量 .....	C-14
4.2.1 最大日雨量 .....	C-14
4.2.2 降雨の集中する時間帯 .....	C-15

4.2.3	豪雨の場所的分布 .....	C-16
4.3	雨量－高度関係 .....	C-16
4.4	降雨継続時間 .....	C-17
4.4.1	降雨の時間的分布 .....	C-17
4.4.2	一連降雨の継続時間 .....	C-17
4.4.3	継続時間別降雨強度 .....	C-17
4.5	降雨確率計算 .....	C-18
4.5.1	継続時間別降雨確率 .....	C-18
4.5.2	確率規模別降雨強度式の算定 .....	C-19
<b>5.</b>	<b>流出解析 .....</b>	<b>C-20</b>
5.1	流域分割 .....	C-20
5.2	流出解析モデルの構築 .....	C-20
5.2.1	流出計算手法の選定 .....	C-20
5.2.2	モデルスキーム .....	C-20
5.2.3	初期条件設定 .....	C-21
5.2.4	再現計算の実施 .....	C-24
5.2.5	基本高水流量の設定 .....	C-25
<b>6.</b>	<b>土石流氾濫解析 .....</b>	<b>C-27</b>
6.1	土石流氾濫解析の概略 .....	C-27
6.1.1	目的及び対象範囲 .....	C-27
6.1.2	土石流氾濫解析手法 .....	C-27
6.1.3	計算ケース .....	C-28
6.2	土石流氾濫解析モデルの構築 .....	C-29
6.2.1	シミュレーションエリアの設定およびメッシュ分割 .....	C-29
6.2.2	DEM(デジタル・エレベーション・マップ)の作成 .....	C-30
6.2.3	泥流に関するデータの設定 .....	C-30
6.2.4	土石流ハイドログラフの作成 .....	C-31
6.3	土石流氾濫解析結果 .....	C-34

巻末付表

巻末付図

## 表一覧

表R C.1	観測所諸元 .....	C-1
表R C.2	小江流域の月平均気温(°C) .....	C-2
表R C.3	小江流域の月平均湿度(%) .....	C-2
表R C.4	垂直性気候 .....	C-2
表R C.5	云南省における大雨の月平均回数(回) .....	C-3
表R C.6	小江流域の月平均蒸発量(mm) .....	C-3
表R C.7	小江流域の平均風速(m/s) .....	C-3
表R C.8	小江流域の気圧(mb) .....	C-4
表R C.9	気象観測記録(新村観測所) .....	C-5
表R C.10	小江流域における雨量観測の現状 .....	C-6
表R C.11	鉦山局による水位・流量観測記録 .....	C-7
表R C.12	水文観測資料の収集状況 .....	C-7
表R C.13	水文観測資料の収集状況 .....	C-8
表R C.14	水文観測地点および期間 .....	C-9
表R C.15	雨量観測結果 .....	C-9
表R C.16	水位流量関係式 .....	C-9
表R C.17	月平均降雨量 .....	C-10
表R C.18	小江流域の月平均流量(1957年から1979年の平均)(流量:m <sup>3</sup> /s) .....	C-11
表R C.19	小江水文点における洪水ピーク流量 .....	C-12
表 R C.20	年間総雨量に対する雨季と乾季の降雨量の割合 .....	C-14
表R C.21	日雨量の整理 .....	C-14
表 R C.22	観測所の海拔高度と年間総雨量 .....	C-16
表R C.23	継続時間別降雨強度(东川泥石流防治研究所) .....	C-18
表R C.24	継続時間別降雨強度(新村観測所) .....	C-18
表R C.25	継続時間別最大雨量 .....	C-18
表R C.26	降雨強度式 .....	C-19
表R C.27	小江流域の蒸発量 (mm) .....	C-21
表R C.28	タンクモデルの初期パラメータ .....	C-23
表R C.29	河道諸元一覧 .....	C-24
表R C.30	対象洪水(既往最大洪水) .....	C-25
表R C.31	タンクモデルの最終パラメータ .....	C-25

表R C.32	再現計算結果.....	C-25
表R C.33	河道諸元一覧(現況河道).....	C-26
表R C.34	基本高水ピーク流量とピーク時間 (流量:m <sup>3</sup> /s, 時間:Hour).....	C-26
表R C.35	計算ケース一覧 .....	C-28
表R C.36	計算対象区域におけるメッシュ分割 .....	C-29
表R C.37	計算対象区域におけるメッシュ分割 .....	C-30
表R C.38	堆積物の体積濃度 .....	C-30
表R C.39	流入砂および河床の粒度分布(豆腐沟).....	C-31
表R C.40	流入砂および河床の粒度分布(东川市街地流域の対象河川:乌龙河).....	C-31
表R C.41	流入砂および河床の粒度分布(东川市街地流域の対象河川:深沟).....	C-31
表R C.42	流入砂および河床の粒度分布(东川市街地流域の対象河川:2).....	C-31
表R C.43	流入砂および河床の粒度分布(桃家小河).....	C-31
表R C.44	深沟洪水到達時間および有効降雨強度 .....	C-32
表R C.45	清水ピーク流量.....	C-33
表R C.46	土石流ピーク流量の算定手法 .....	C-33

## 図一覧

図R C.1	月平均降雨量 .....	C-10
図R C.2	小江の流量ハイドロ(小江水文点) .....	C-11
図 R C.3	2004年6月10日洪水 水位・降雨ハイトグラフ .....	C-12
図 R C.4	年間降雨量の時系列変化(10ヵ年移動平均値) .....	C-13
図 R C.5	月別降雨量(統計期間の月別平均値).....	C-14
図 R C.5	日雨量のヒストグラム .....	C-15
図 R C.7	日雨量の時間分布 .....	C-15
図 R C.7	年間降雨量と海拔標高の関係 .....	C-16
図 R C.8	年間降雨量と海拔標高の関係 .....	C-17
図R C.9	タンクモデル概念図 .....	C-21
図 R C.10	面積降雨量関係(世界気象機構,1983) .....	C-22
図 R C.11	土石流氾濫解析モデル作成概略フロー .....	C-29



### 卷末付表一覧

表 C.1	雨量観測記録インベントリー表 .....	T-C-1
表 C.2	年間最大日雨量表.....	T-C-2
表 C.3	継続時間毎の年最大雨量(东川泥石流防治研究所) .....	T-C-3
表 C.4	降雨強度(东川泥石流防治研究所) .....	T-C-3
表 C.5	継続時間毎の年最大雨量(新村観測所) .....	T-C-4
表 C.6	降雨強度(新村観測所) .....	T-C-4
表 C.7	流域諸元.....	T-C-5
表 C.8	計画ハイトグラフの作成.....	T-C-6
表 C.9	土石流ピーク流量比較 .....	T-C-13
表 C.10	土石流ピーク流量算定結果.....	T-C-14
表 C.11	土石流の継続時間.....	T-C-16
表 C.12	土石流氾濫解析結果 .....	T-C-16

### 卷末付図一覧

図 C.1	东川気象局および东川泥石流防治研究所試験農場位置図.....	F-C-1
図 C.2	水文観測機器設置位置図.....	F-C-2
図 C.3	掃流砂-浮遊砂-流量関係図.....	F-C-3
図 C.4	近接する2観測所における時間雨量の比較.....	F-C-4
図 C.5	既往最大5洪水における時間雨量の分布 .....	F-C-5
図 C.6	降雨強度曲線図.....	F-C-6
図 C.7	流出解析モデル用流域分割図.....	F-C-7
図 C.8	流出解析模型図.....	F-C-8
図 C.9	再現計算結果 .....	F-C-9
図 C.10	確率規模別降雨ハイトグラフおよび高水流量.....	F-C-10
図 C.11	泥石流源土粒度分布 .....	F-C-11
図 C.12	土石流氾濫解析結果 .....	F-C-12

## C. 水理・水文

### 1. はじめに(参考資料について)

気象・気候および降雨・流出特性については、収集資料・データおよび調査期間中に実施した水文観測結果を用いてとりまとめる。主要な収集資料等は次に列挙する通りである。

- (i) 西部山区河滩地开发与保护规划研究:科学出版社
- (ii) 云南滑坡泥石流研究:商务印书馆
- (iii) 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究:科学技术文献出版社重庆分社
- (iv) 云南蒋家沟泥石流观测研究 科学出版社
- (v) 东川气象局、东川水務局から収集した降雨データ
- (vi) 調査期間中に実施した水文観測結果

### 2. 気象・気候

2章の気象・気候については主に気象局管轄の新村、湯丹、落雪測候所における観測記録結果に基づいてとりまとめる。これらの観測所における観測記録は観測期間が長く、中国において小江流域の諸研究にも重用されている。なお、観測所の諸元および位置については、それぞれ表 R C.1 および巻末図 C.1 に整理した。

表 R C.1 観測所諸元

測候所	観測期間	場所	管轄	海拔標高(m)
新村	1954-現在	新村鎮対門山	东川气象局	1,254
湯丹	1954-1993	湯丹鎮元宝山	东川气象局	2,252
落雪	1954-1989	202 東側	东川气象局	3,228

#### 2.1 気候

##### 2.1.1 気温

云南省は、冬季は熱帯大陸気団におおわれ気温低下が小さく、夏季は海拔標高の影響により気温上昇が小さい。云南省の東北部に位置する省都昆明は、この影響を受けて、年間を通じて気温の変化が少ない傾向にあるため春城と呼ばれている。

また、昆明に包括される小江流域については、新村（东川市街地の標高に近い）における気温からみると年間を通じて比較的温暖な傾向を示している。具体的には、表 R C.2 に示すように、新村の年間を通じての気温は約 12 度から約 25 度の範囲にあり、年間平均気温は 20.2 度となっている。

なお、小江流域は起伏度が大きいため、緯度よりも標高の差が気温の変化に対して支的であることが伺える。表 R C.2 をみても標高差は確実に気温差へ影響している。なお、測候所が中流部に集中しているため小江流域の全域の気温分布を把握することは難しいが、調査団による数回の現地調査によって、小江沿川の谷底平野部においては、標

高の低くなる北方にいくほど、漸次気温が上昇することが体感されている。加えて、云南小江泥石流综合考察与防治规划研究(科学技术文献出版社重庆分社)によると、小江と金沙江の合流点(標高約 670m)における平均気温は 24℃であることに對して、標高 4,344m の矿王山脈雪岭の平均気温は 0℃であり、標高差の気温差への影響は顕著である。

表 R C.2 小江流域の月平均気温(℃)

測候所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均	海拔標高(m)
新村	12.5	15.3	20.6	23.9	25.1	24.1	25.2	24.4	23.0	19.5	16.0	13.1	20.2	1,254
汤丹	5.9	7.9	12.7	15.7	17.1	16.9	18.1	17.8	16.1	12.7	9.4	6.6	13.1	2,252
落雪	1.3	2.5	5.5	8.6	10.4	11.1	11.8	11.0	9.6	7.1	3.8	2.2	7.1	3,228

注) 気象局による 21 年間の観測記録の平均値

## 2.1.2 湿度

表 R C.3 に代表地点における月平均湿度を整理した。新村は东川市街地が現存する小江沿川の谷底平野部付近に位置するが、雨季においても比較的湿度の上昇は穏やかで過ごし易いことが伺える。平均値をみると標高が高いほど湿度が高くなっている。

表 R C.3 小江流域の月平均湿度(%)

測候所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均	海拔標高(m)
新村	47	41	35	38	49	66	67	69	65	66	58	52	54	1,254
汤丹	58	54	46	49	63	79	79	77	78	80	72	65	67	2,252
落雪	55	55	51	59	74	87	88	88	88	84	70	56	71	3,228

注) 気象局による 21 年間の観測記録の平均値

## 2.1.3 気候特性概要

云南小江泥石流综合考察与防治规划研究に掲載されている“熱量と気象要素の総合分析”によると、小江の河谷の気候は垂直性気候と特色付けられており、標高によって亜熱帯半乾燥河谷区、温暖帯半湿潤地区、寒温暖帯湿潤山地区の三つの気候帯に区分されている。それぞれの区分帯における気候の概要を表 R C.4 にまとめる。

表 R C.4 垂直性気候

気候区分帯	標高(m)	気温(℃)			年間降水量(mm)	年間蒸発量(mm)
		年平均	最高	最低		
亜熱帯半乾燥河谷区	900m~1,300m	20	40	-2	700	2,099
温暖帯半湿潤山地区	1,300m~2,300m	13	31	-9	830	988
寒温暖帯湿潤山地区	2,300m~3,300m	7	22	-16	1,200	909

## 2.2 気象

### 2.2.1 降水

小江流域は、云南省全体がそうであるように、熱帯モンスーン気候の影響により、南アジアや東南アジアと同様に雨季と乾季の境が明瞭な気候となっている。気象局から入

手した情報や降雨観測記録によると、雨季である5月から10月の降雨量は、年間降雨量(表 R C. 4 参照)の約87%を占めており、11月から4月の乾季の期間の降水量は約13%となる。また、表 R C. 5 に整理したように云南省においては7月に最も大雨が多く、最も少ないのは1月であり、东川气象局によると小江流域においても同様の傾向がある。

表 R C. 5 云南省における大雨の月平均回数(回)

日雨量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
25~50mm	5.3	12.1	14.7	32.7	115.0	254.0	305.0	290.0	166.0	103.0	47.5	13.6
50~100mm	0.4	1.1	2.4	3.7	20.7	51.0	63.5	55.8	30.9	14.9	8.0	1.5
100mm以上	0.0	0.0	0.1	0.1	1.1	3.3	4.9	3.4	1.9	0.7	0.3	0.0

注) 云南省の気象観測所(127箇所)における35年間(1961年~1995年)の日雨量データを使用

雨季は、インド洋から吹く西南の季節風と南海からの東南の季節風が小江流域に湿った水蒸気を運び、この水蒸気と南下する冷たい空気がぶつかり大量の雨を降らせる。雨季の終わりが近づくと、徐々に西風が東南および西南からの風よりも強くなっていく。そして、乾季は流域上空の強い西風が支配的になり、熱帯性大陸気団におおわれて晴れの日が多くなる。

降水の時間分布は不均等であり、狭範囲に短時間集中型の降雨強度の大きい雨が頻発する。また、小江流域は“垂直性気候”と呼ばれる気候特性を有し、高い標高ほど雨量が多く、標高に応じて雨量が変化するという特性が顕著である(2章参照)。

### 2.2.2 蒸発量

蒸発量は雨季(5月~10月)に小さく、乾季(11月~4月)に大きい。また、標高が低くなるほど大きくなる傾向にある。表 R C. 6 に云南小江泥石流综合考察与防治规划研究から月別平均蒸発量の値を抜粋する。

表 R C. 6 小江流域の月平均蒸発量(mm)

測候所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
新村	144	175	274	311	283	169	168	150	147	123	118	115	2,099
汤丹	72	87	138	150	126	82	85	87	74	53	53	59	988
落雪	95	97	140	133	95	59	57	56	65	49	62	95	909

注) 气象局による21年間の観測記録の平均値

### 2.2.3 風速

东川气象局の観測記録によると、風速の月平均値は雨季と乾季が移り変わる時期に最大値を示している。表 R C. 7 に云南小江泥石流综合考察与防治规划研究から月別平均風速の値を抜粋する。

表 R C. 7 小江流域の平均風速(m/s)

測候所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
新村	3.2	4.1	4.5	4.7	4.1	3.0	3.1	2.4	3.2	2.8	2.9	2.9	3.4
汤丹	2.4	2.8	2.9	2.8	2.6	2.3	2.2	2.4	2.4	1.9	1.8	1.9	2.4
落雪	5.3	5.3	5.1	4.3	3.0	2.3	2.2	2.2	2.2	2.8	3.7	4.8	3.1

注) 气象局による21年間の観測記録の平均値

## 2.2.4 気圧

気圧は、年間を通じて変化が少なく、ほぼ一定である。表 R.C.8 に云南小江泥石流綜合考察与防治规划研究から月別平均気圧の値を抜粋する。

表 R.C.8 小江流域の気圧(mb)

測候所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
新村	875	873	872	870	870	869	868	870	873	877	878	877	873
湯丹	776	775	775	775	775	775	774	776	778	778	780	778	776
落雪	693	692	693	694	694	694	694	695	697	697	696	693	695

注) 気象局による 21 年間の観測記録の平均値

## 2.3 優先小流域における気象・気候

### 2.3.1 豆腐沟

標高約 900m～約 2000mの範囲の起伏(平均標高が約 1600m)を有する豆腐沟流域は、垂直性気候区分によると、亜熱帯半乾燥河谷地区および温暖半湿潤山地区に属する。これらの気候区分地区の気候特性から、豆腐沟流域における年間降水量、年間可能蒸発散量、年平均気温は、それぞれ 700mm～830mm、約 1000mm～約 2000mm、摂氏 13℃から 20℃であると推定される。

なお、豆腐沟の平均標高は優先小流域の中で最も低いため、小江流域の降雨特性(垂直性気候)から判断すると、年間降雨量においても他の優先小流域よりも少ないエリアであることが伺える。ちなみに、本件調査において実施した雨量観測結果(2004年6月～11月)によると豆腐沟(坪子窑観測所：东川区播卡乡播卡村)における総雨量(427mm)及び最大日雨量(37.8mm)は、ともに同時期の他の優先小流域における降雨量に比べて最も少なかった。

### 2.3.2 乌龙沟

乌龙沟流域の標高は 2700m(水源地の龙樹坪)から 1100m(三江口：小江本川との合流部)の範囲にあり平均標高は 2000mである。垂直性気候区分によれば、乌龙沟流域は、温暖帯半湿潤山地区および寒温帯湿潤山地区に属し、年平均気温は摂氏約 7℃～13℃、年間降水量約 830mm～1,200mm、年間蒸発散量約 900～1000mmの気候を有する。なお、中流部の乌龙村付近の台地は、温暖帯半湿潤山地区に属し、年平均気温約 13℃、最高気温 31℃、最低気温約-9℃、年間降水量約 830mm、年間蒸発散量約 900mmと推測される。

### 2.3.3 东川市街地流域

东川市街地流域の標高は、約 1,200m(小江近傍)から約 4,000m(牯牛寨)の範囲にある。その 75%以上は標高 1400m以上の山地であり、残りの 25%を占める台地には东川市街地の資産が標高約 1200m～約 1400mの範囲に分布している。垂直性気候区分からみると、东川市街地流域は 3段階に別れる垂直性気候(亜熱帯半乾燥河谷区、温暖帯半湿潤山地区、寒温帯湿潤山地区)の全ての特徴を有する流域になっており、东川市街地は亜熱帯半乾燥河谷区タイプの気候特徴を有すると考えられる(表 R.C.4 参照)。

なお、东川市街地内近傍の东川気象局(新村：標高 1254m)においては、長期間の気象観測を継続して実施している。新村観測所は东川市街地に近く、东川市街地の標高とは

ぼ同じ位置にあるため、东川市街地周辺の気象についてはこの観測記録より伺うことができる。新村観測記録を整理した表 R C. 9 によると、东川市街地の台地周辺は、年間を通じて比較的温暖で湿度の上昇も穏やかであることから非常に過ごし易い気候であることが伺える。なお、雨季(5月から10月)の降雨量は、年間降水量の約87%を占めており、年間降水量は700mm(蒸発散可能量は約2,100mm)に達する。

表 R C.9 気象観測記録(新村観測所)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
降雨量	7.6	13.7	9.6	19.8	72.5	154.4	127.9	101.4	86.9	65.9	25.1	8.3	693.1
気温	12.5	15.3	20.6	23.9	25.1	24.1	25.2	24.4	23.0	19.5	16.0	13.1	20.2
蒸発量	144	175	274	311	283	169	168	150	147	123	118	115	2,099
湿度	47	41	35	38	49	66	67	69	65	66	58	52	54

単位：降雨量(mm), 気温(摂氏°C), 蒸発量(mm), 湿度(%)

### 2.3.4 桃家小河

桃家小河流域の標高は約1600mから3000mの範囲にあり、平均標高は2500mである。この標高の範囲に位置する流域は、垂直性気候区分によると温暖帯半湿潤山地区、寒温帯湿潤山地区の気候区分に属する。これらの気候区分地区の気候特性から、桃家小河流域における年間降水量、年間可能蒸発散量、年平均気温は、それぞれ830mm～1200mm、約900mm～約1000mm、摂氏7°Cから13°Cであると推定される。

### 3. 降雨・流出特性

#### 3.1 小江流域における水文観測の現状

##### 1) 雨量観測の現状

###### a) 観測所位置

現在、小江流域においては、気象局、郷・鎮および泥石流研究機関によって雨量観測が実施されている。なかでも気象局は自記雨量計によって比較的長期間の観測を実施している。一方、東川泥石流観測所等の泥石流関連の研究機関においては、降雨量を観測しているが、気象局ほど連続的かつ長期的な観測は実施していない。また、郷・鎮においては、短期的あるいは必要に応じて実施しているとのことであり観測記録の所在は明らかにならなかった。

なお、これまで気象局において設置された観測所の位置を本セクター末の図 C.1 に整理した。示す観測所位置図からみると、過去および現在の観測所は小江の中央部に固まっており、小江上流部の降雨特性を知ることは非常に難しい状況である。

###### b) 観測状況

小江流域における降雨観測状況の現状をまとめると下記の通りである。

表 R C.10 小江流域における雨量観測の現状

No	担当機関	観測状況	観測方法
1	東川気象局	<ul style="list-style-type: none"> <li>1955年から現在まで観測が継続されており、長期間の資料が保管されている。</li> <li>過去5つの観測所が設置されていたが、現在では新村の1観測所においてのみ観測が継続されている。</li> <li>雨量データのデジタル化は進んでいない。</li> </ul>	自記雨量計、雨量杓
2	郷・鎮	<ul style="list-style-type: none"> <li>観測期間および観測者や観測位置に関する情報が正確に把握されていない。</li> <li>2004年から観測機器を設置しはじめているということであるが詳細は不明。</li> </ul>	不明
3	東川泥石流防治研究所	<ul style="list-style-type: none"> <li>1987年から12年間研究所内において観測しており、観測記録は全て保管されている。</li> <li>2004年の初めから深沟および研究所内において観測を再開している。</li> <li>雨量データのデータベース化は実施していない。</li> </ul>	自記雨量計
4	蔣家溝泥石流研究所	<ul style="list-style-type: none"> <li>主に雨季の6月～9月の間観測されていたが、現在は研究チームの撤退とともに観測を中止している。</li> <li>観測所数は蔣家溝流域内に複数あったが、詳細は不明。</li> <li>泥石流発生時の雨量や流量の1部は研究関連書籍等にとりまとめられているが、生データに関しては管理者、所在ともに不明である。</li> </ul>	自記雨量計等
5	東川区鉦山局	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢局とともに観測は中止され、データの所在は不明である。</li> </ul>	不明

## 2) 水位・流量

主に旧鉱山局が水位・流量観測を実施していたが、現在は水位・流量観測を継続的に実施している機関は存在しないようである。旧鉱山局の資料室には過去の流量データの1部が保管されているが、大部分は鉱山局の閉局とともに行方不明である。旧鉱山局資料室には流量データの存在表(下表)が保存されていたが、データそのものの存在の確認はできなかった。

表 R C.11 鉱山局による水位・流量観測記録

内容	No.	河川名	観測期間	備考
流量	1	大白河	1954年7月-1957年12月	
	2	塊河	1954年7月-1957年12月	
	3	小江本川	1957年1月-1957年12月	
	4	石門炊河	1954年1月-1957年12月	
	5	深沟	1954年7月-1956年6月	
	6	乌龙河	1956年4月-1956年5月	
	7	黒水河	1954年7月-1956年6月	
	8	小海河	1954年10月-1956年6月	
	9	石羊河	1954年10月-1956年6月	
	10	老干溝	1954年10月-1956年6月	
	11	大橋河	1954年10月-1956年6月	
水位	1	大白河	1954年7月-1957年12月	日水位
	2	塊河	1956年1月-1957年12月	日水位
	3	小江河	1957年1月-1957年12月	日水位
	4	石門炊河	1955年1月-1957年12月	日水位
	5	深沟	1955年1月-1956年6月	

### 3.2 水文データの収集・整理

気象局および東川泥石流防治研究所および蔣家溝泥石流研究所より降雨資料を収集した。下表に収集したデータの期間、種類等について整理する。なお、本セクター末の表 C-1 にデータの存在状況の詳細を整理した。

表 R C.12 水文観測資料の収集状況

No	観測機関	観測所名 或いは位置	収集期間	データ形式	備考
1	気象局	新村	1955-2004	デジタル	・日雨量(全統計期間) ・時間雨量(一部) ・10分間雨量(一部) ・日界:20時
		湯丹	1955-1993	デジタル	
		落雪	1955-1988	デジタル	
		濫泥坪	1957-1967	デジタル	
2	東川泥石流 防治研究所	研究所農園 内	1985-1997	自記雨量計 記録用紙	・雨季のみ ・日界:19時
3	蔣家溝泥石流研究所	蔣家溝	1983-1985 (欠測が多い)	デジタル	・雨季のみ ・欠測が多い ・日界:19時

### 3.3 水文観測

本調査期間中に実施した水文観測(雨量、水位、流量、流砂量)について以下にその観測内容や結果をまとめる。



### 3.3.1 観測機器の設置および製作

本調査においては、水位標尺および自記雨量計をそれぞれ7箇所および6箇所を設置し、2004年6月から同年11月にかけて、水文観測を実施した。設置位置は下表および本セクター末の図C.2に示すとおりである。

表 R C.13 水文観測資料の収集状況

観測内容	No.	観測所名	標高(m)	場 所	備 考
雨量	1	格勒	766	东川区播卡乡格勒村	小江下流
	2	坪子窑	1,831	东川区播卡乡播卡村	豆腐沟流域
	3	节基坪	2,758	东川区碧谷镇李子沟村	深沟流域
	4	乌龙乡	1,504	东川区乌龙乡乌龙街	乌龙河流域
	5	驾车乡	2,610	会泽县驾车乡政府	桃家小河流域
	6	小平地	2,440	寻甸县金所乡清水海头村	塊河流域
	7	功山大街	1,924	寻甸县功山镇大街村	大白河流域
水位	1	小江口桥	735	小江流末道路橋付近	
	2	小江桥	1,086	元小江水文観測所付近	小江水文点
	3	乌龙河桥	1,424	乌龙河中流部道路橋付近	
	4	桃家小河桥	1,400	桃家小河道路橋付近	
	5	深沟伏龙桥	1,594	深沟中流部砂防堰堤	砂防ダム近傍
	6	豆腐沟桥	940	豆腐沟道路橋下	

また、掃流砂量観測に必要な掃流砂採取器は中国現地において製作した。



写真 中国現地で製作した掃流砂採取器と掃流砂採取状況

### 3.3.2 水文観測の実施

水文観測として、雨量・水位・流量・流砂量観測を実施した。各観測について、実施期間等を次表に整理した。

表 R C.14 水文観測地点および期間

観測項目	観測期間	観測地点
雨量	6ヶ月(6月～11月)	本セクター末の図 C.2 参照
水位	6ヶ月(6月～11月)	本セクター末の図 C.2 参照
流量	2ヶ月(7月～8月)	水位観測と同地点
流砂量(掃流砂)	1ヶ月(7月)	小江水文点(小江橋)と小江流末(格勒)
流砂量(浮遊砂)	1ヶ月(7月)	小江水文点(小江橋)と小江流末(格勒)

### 3.3.3 観測結果の整理

#### 1) 雨量観測結果

表 R C. 15 に観測期間中の月雨量、総雨量、最大日雨量等の雨量観測記録と観測所の標高を整理した。半年という短い期間の観測記録であるため以下参考程度までに述べる(ちなみに今年度は乾季であるはずの5月にもかなりの降水量があった)。観測結果をみると、標高が高いほど総雨量は多くなっているが、最大日雨量については正相関であるものの総雨量－標高ほど標高との関係が顕著にはなっていない。

表 R C.15 雨量観測結果

観測所(流域) 降水量(mm)	格勒 (小江下流)	坪子窑 (豆腐沟)	节基坪 (深沟)	乌龙乡 (乌龙河)	驾车 (桃花小河)	小平地 (块河)	功业 (大白河)
6月	67.8	111.5	259.0	231.9	186.5	188.5	171.1
7月	136.1	150.6	272.3	157.5	263.1	170.7	184.2
8月	58.9	66.7	141.2	102.7	118.3	160.0	187.5
9月	33.8	48.7	134.4	74.0	90.9	147.8	67.4
10月	17.7	31.4	59.4	66.4	46.1	37.1	30.8
11月	13.3	18.2	26.7	20.7	28.6	23.5	20.1
総雨量	327.6	427.1	893.0	653.2	733.5	727.6	661.1
最大日雨量	39.9	37.8	62.2	55.9	48.3	44.0	64.7
標高(m)	766	1,831	2,758	1504	2,610	2,440	1,924

#### 2) 水位・流量関係

主要支川である乌龙河、桃家小河、深沟、豆腐沟および本川 2 箇所(小江水文点および小江流末)において、流量観測を実施した。流量観測結果と量水標尺の読みから水位流量関係式を作成し、表 R C.16 に整理した。

表 R C.16 水位流量関係式

観測所名	河川	水位流量関係式
各勒	小江本川流末	$Q=7.612(H+1.527)^2$
小江橋	小江本川中流部	$Q=11.018(H+3.043)^2$
桃家小河橋	桃家小河	$Q=19.082(H-0.596)^2$
深沟端	深沟	$Q=0.634(H-0.018)^2$
乌龙橋	乌龙川	$Q=0.346(H-1.910)^2$
豆腐沟橋*	豆腐沟	—

\* 出水が1度しかなかったため、水位流量関係が不明確。

ただし、流量観測期間中においては、小規模な増水しか発生しなかったため、作成した水位流量関係は高水時には適応し難いと考えられる。

### 3) 流砂量

流砂量観測は小江水文点と小江流末において流量観測と同時に実施している。本セクター末の図 C.3 に浮遊砂量および掃流砂量と流量の関係を整理した。

#### 3.4 降雨特性概略

小江流域の降雨量は年間約 700mm～1,500mm 程度であり、雨季の 5 月から 10 月にその 80%以上を占める。また、特に雨季の中でも、特に 6～8 月が多く、この 3 ヶ月間の雨量は年降雨量の半分以上を占める。その、土石流もこの 3 ヶ月間に集中して発生するケースが多い。表 R C.17 および図 R C.1 に小江中流の左岸に位置する湯丹、落雪観測所および右岸に位置する新村観測所における月雨量を示す。

表 R C.17 月平均降雨量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間	雨季
新村	7.6	13.7	9.6	19.8	72.5	154.4	127.9	101.4	86.9	65.9	25.1	8.3	693.1	609
湯丹	10.8	16.5	14.8	23.5	82.5	164.8	163.7	131.4	103.5	78.9	29.0	10.5	829.9	724.8
落雪	11.9	15.2	21.8	32.8	104.5	211.8	246.1	209.4	141.5	100.4	32.7	14.1	1143.7	1013.7

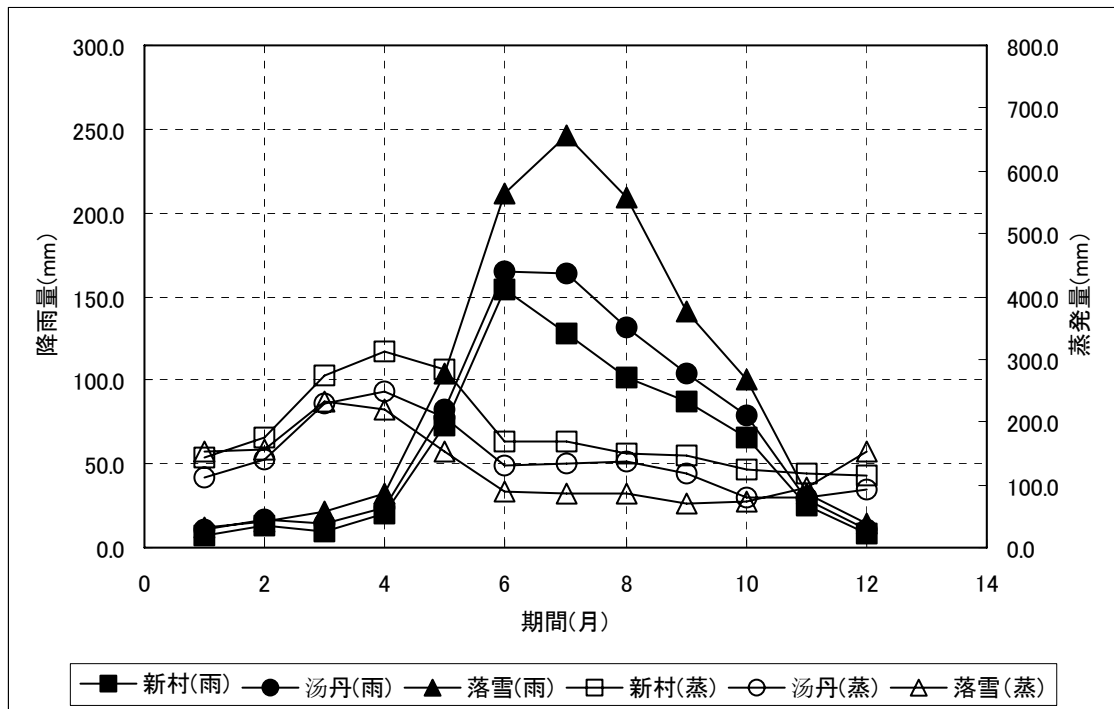


図 R C.1 月平均降雨量

また、観測記録によると、最大日降水量は 108.6mm (気象局新村観測所) であり、年間降水量の最大値は 1,397mm (気象局落雪観測所)、最小値は 450mm (新村観測所) である。

### 3.5 流出特性

#### 1) 年間流出

小江水文観測所における観測記録によると、小江本川の流量ハイドロは6月から上昇し始め、7、8月にピークを迎え、雨季のおわりとともに下降し、4、5月に最低となる。水量が豊富な6月から12月の水量は全体の85.3%を占め、1月から5月にかけては14.7%程度である。小江水文観測所で観測された最大流量は674 m<sup>3</sup>/s、最小流量が6.1 m<sup>3</sup>/sである。平常時においては、殆どの区間において水流は網状を呈し、堤防により川幅が狭められている区間や支川扇状地の発達の大いところで、水流がまとまり1本となる場合もある。

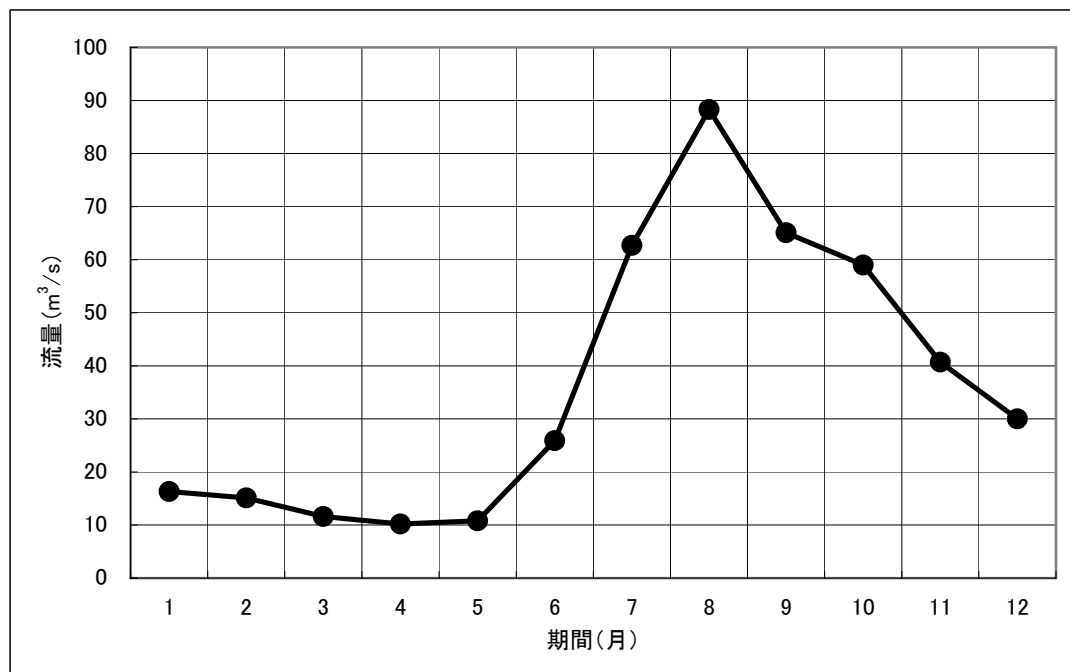


図 R.C.2 小江の流量ハイドロ(小江水文点)

表 R.C.18 小江流域の月平均流量(1957年から1979年の平均) (流量:m<sup>3</sup>/s)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
流量	16.3	15.1	11.6	10.2	10.8	25.9	62.7	88.3	65.1	59.0	40.7	30.1	36.3
%	3.7	3.5	2.7	2.3	2.5	6.0	14.4	20.3	14.9	13.5	9.3	6.9	-

出典: 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究: 科学技术文献出版社重庆分社

#### 2) 洪水

##### a) 洪水氾濫形態

小江流域の洪水は6月～8月に集中しており、1回の洪水は1日程度でおさまり、増減が激しいという特徴が観測記録より認識されている。ただし、小江中流部の小江水文点においては28年間流量観測が実施されていたが、観測を担当していた鉞山局の廃止とともに、観測資料の所在は不明である。

小江本川沿い氾濫形態は、大略的に、本川の増水によって小江沿いの農地や家屋が浸水するタイプと、支川の土石流が小江本川をせき止めて氾濫に至るタ

イブに分類される。西部山区河滩地开发与保护规划研究(科学出版社)によると、前者の形態による洪水氾濫は2年に1回の頻度で発生し、後者については、蒋家溝からの土石流が代表的であり、1919年～1968年の間に、蒋家溝の土石流が7回も小江の流れをせき止め、蒋家溝合流点から上流約10kmがその天然ダムにより浸水したという事例がある。

過去の洪水記録としては、統計年数28年の観測流量を用いて下表のように整理されている。

表 R C.19 小江水文点における洪水ピーク流量

No	年月日	洪水ピーク流量(m <sup>3</sup> /s)	確率規模
1	1977.6.21	674	1/50
2	1960.7.28	531	
3	1974.9.1	507	
4	1981.6.28	481	
5	1987.7.6	445	1/20

出典： 西部山区河滩地开发与保护规划研究:科学出版社

b) 実査からみた降雨と流出の遅れ

本調査期間中において、2004年6月10日に中規模洪水が発生した。水文観測結果から、小江水文点におけるピーク流量は300m<sup>3</sup>/sであり、同地点上流における平均2日雨量は約92mmである。流域平均雨量と小江水文点における水位の時間の時系列変化は図 R C.3 の通りである。図 R C.3 より、6月14日洪水における降雨と流出の遅れ時間は、約8時間であることが伺える。

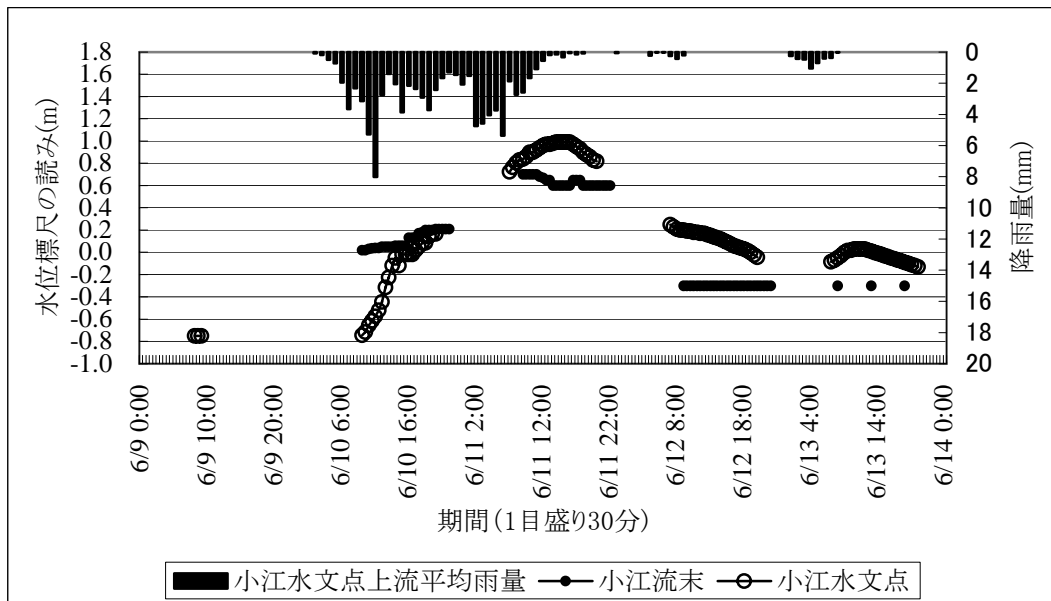


図 R C.3 2004年6月10日洪水 水位・降雨ハイトグラフ

## 4. 水文解析

### 4.1 年間降雨量

#### 4.1.1 年間降雨量経年変化

年間降雨の時間変化の特性を定量的に明らかにするため、最も長い期間にわたって観測を実施している新村観測所における年間降雨の10ヵ年移動平均値を図 R C. 4 に整理した。新村における平均雨量は約 730mm であるが、この図によると、1990 年以前の年間降雨は平均値を下回る年が多いことに対して、1991 年以降は平均値全ての年で上回っていることが判る。

また、長期的に見れば年間降雨は増減を繰り返しながら、ほぼ増加傾向にあることが伺える。

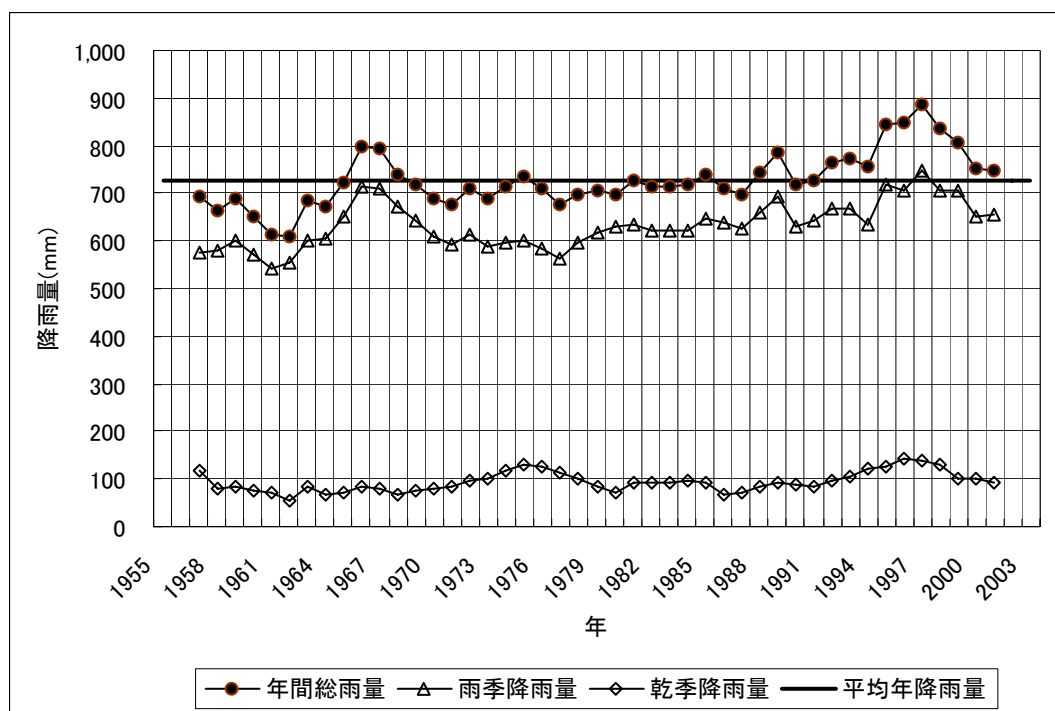


図 R C. 4 年間降雨量の時系列変化(10ヵ年移動平均値)

#### 4.1.2 月別および季別雨量

新村観測所の降雨量については、雨季(5月から10月)の降雨量は年間総雨量の約87%をしめ、乾季(11月から4月)は13%を占める。図 R C. 4 より、1973 年以降、この割合に大きな変化はない。他の観測所における降雨量に関しても同様である。

また、各観測所における年間総雨量に対する雨季と乾季の降雨量の割合を表 R C. 20 に整理した。表 R C. 20 によると、雨季の総雨量に対する割合は約 87%から 89%へと標高が高いほど若干雨季への集中が高くなる傾向のように見えるが、標高の高い観測所ほど統計期間が短いため、この関係は不確かである。

表 R C.20 年間総雨量に対する雨季と乾季の降雨量の割合

観測所	総雨量 (mm)	雨季		乾季		標高 (m)
		雨量 (mm)	総雨量に対 する割合 (%)	雨量 (mm)	総雨量に対 する割合 (%)	
新村	725.1	629.2	86.8	95.8	13.2	1254.1
汤丹	849.4	739.3	87.0	110.1	13.0	2252.0
落雪	1126.2	997.4	88.6	128.9	11.4	3227.7
滥泥坪	1346.2	1201.1	89.2	145.1	10.8	3102.9

なお、図 R C.5 の各観測所における月別降雨量より、雨季の中でも 6 月から 8 月にかけての雨量が多いことが判る。

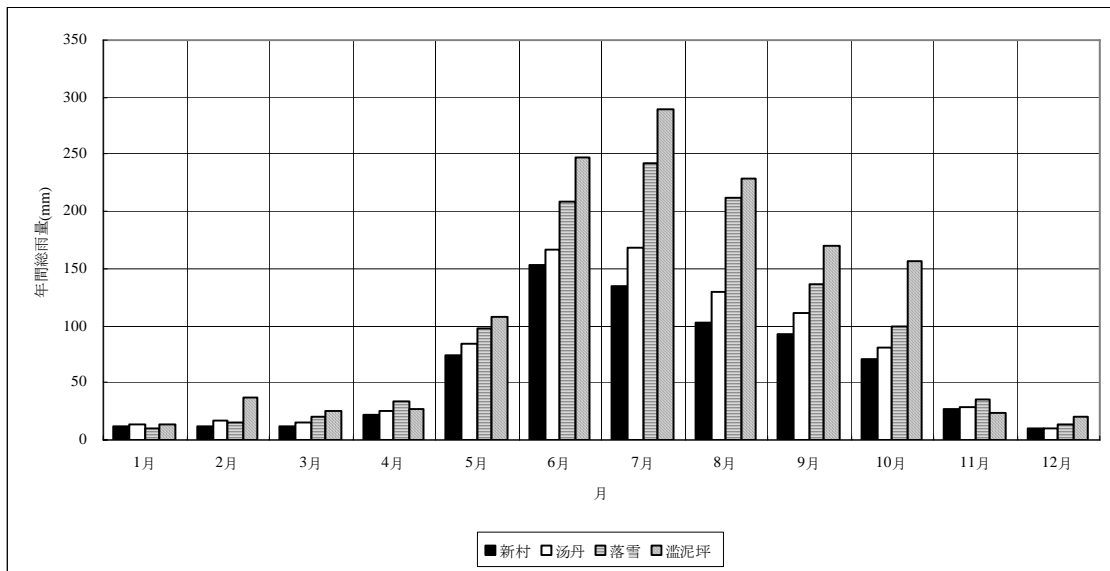


図 R C.5 月別降雨量(統計期間の月別平均値)

## 4.2 日雨量

### 4.2.1 最大日雨量

东川気象局の観測記録によると、最大日雨量は観測期間の最も短い滥泥坪を除けば約 110mm であり、平均年最大日雨量は 60mm から 70mm の範囲にある。落雪、滥泥坪、汤丹、新村観測所の観測記録において、最大日雨量等の概要について下表に整理し、年毎の最大日雨量については、本セクター末の表 C.2 に整理した。

表 R C.21 日雨量の整理

観測所名	最大 日雨量	平均年最大 日雨量	平均年間 雨天日数	標高(m)	統計年
落雪	107.9	60.3	91	3,228	1955-1993(39年間)
滥泥坪	82.7	58.2	122	3,103	1957-1967(11年間)
汤丹	107.9	66.7	103	2,252	1955-1988(34年間)
新村	108.6	67.6	74	1,254	1955-2004(50年間)

また、図 R C.6 をみてわかるように、平均年最大日雨量(60mm-70mm)を越える日雨量は、年間 1.5 日程度(0.4%)の頻度で発生する。

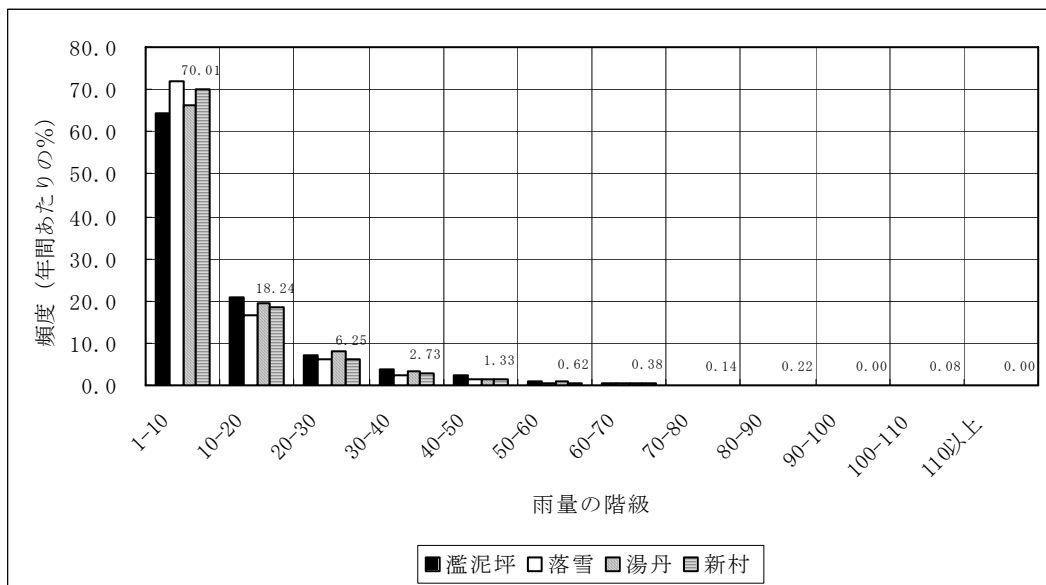


図 RC.6 日雨量のヒストグラム

#### 4.2.2 降雨の集中する時間帯

东川泥石流防治研究所から入手した自記雨量計観測記録用紙(1985-1997)をもとに統計をとると、小江流域の东川区周辺においては、21時から10時にかけて降雨が集中する時間帯となっている。また、標本数の最も多い10mm以上のケースに着目すると、最も雨の降る頻度が高い時間帯は、3時から5時となっている。

気象局は、この事象は昆明停滞前線の移動に起因すると分析している。つまり、この前線は、気温が高い昼間には小江流域より北方の西昌—会理付近へ北上し、気温の下降とともに夜間に会澤—东川へと南下するために、小江流域においては夜間の前線性降雨が発生しやすくなる。

また、上記の事象については、地域住民にとって経験的に既知の事象となっていることが、現地調査の際のインタビューによって判明している。なお、図RC.7に、代表的な雨量規模における時間的分布を示した。

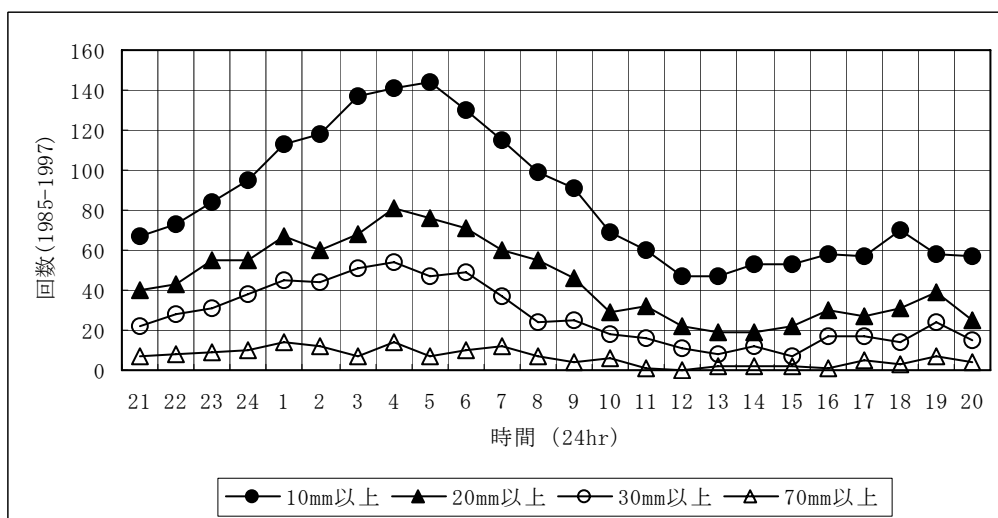


図 RC.7 日雨量の時間分布



### 4.2.3 豪雨の場所的分布

小江流域の豪雨は局所的な性格が強いようである。本セクター末の図 C.4 は小江流域内で互いに最も近い位置関係にある（直線距離で 5km 弱、本セクター末の図 C.1 参照）東川区気象局新村測候所と東川泥石流防治研究所の試験農場で観測された豪雨時の時間雨量を比較したものである。この図を見ると、5km 離れているだけで雨の降り方は大きく異なるようであることが理解される。

例えば、1991 年 6 月 21 日の豪雨では、東川泥石流防治研究所の試験農場で時間雨量 24mm 降っているとき新村測候所では 3mm 程度しか降っていない。逆に 1997 年 9 月 18 日では新村測候所で時間雨量 29mm 降っているときに試験農場では 4mm しか降っていない。また両観測所の時間雨量の相関係数は 0.53 であり、相関は低いと言わざるを得ない。

### 4.3 雨量－高度関係

小江流域周辺の各観測所における年間総雨量と観測所の海拔標高は下表の通りである。なお、これらの観測所のうち新村、落雪、汤丹を除いた観測所の位置に関する情報は入手できなかったが、殆どの観測所名と同じ地名が小江中流部において確認されていることから、これらの観測所の殆どは小江中流部に設置されていたと推定される。

表 R C.22 観測所の海拔高度と年間総雨量

観測所名	海拔高度 (m)	年平均降雨量 (mm)	統計年	観測所名	海拔高度 (m)	年平均降雨量 (mm)	統計年
田坝	920	570	51-69	汤丹	2,252	833	55-79
新村	1,254	694	55-79	因民	2,410	1,130	55-56
达德	1,360	868	57	法者	2,420	1,219	75-79
黄水箐	1,614	1,117	57	小河	2,600	1,236	65-66
布卡	2,008	890	59	烂泥坪	3,103	1,311	57-66
新乐	2,240	1,477	59-60	落雪	3,228	1,159	55-66 70-79

出典：云南小江泥石流综合考察与防治规划研究

表 R C.22 の海拔標高と年平均降雨量の関係を図化し、直線、べき乗、指数関数の式によって相関関係を調べたところ、累乗の式が最も適合し、相関係数  $R=0.809$  となった。結果を図 R C.8 に示す。

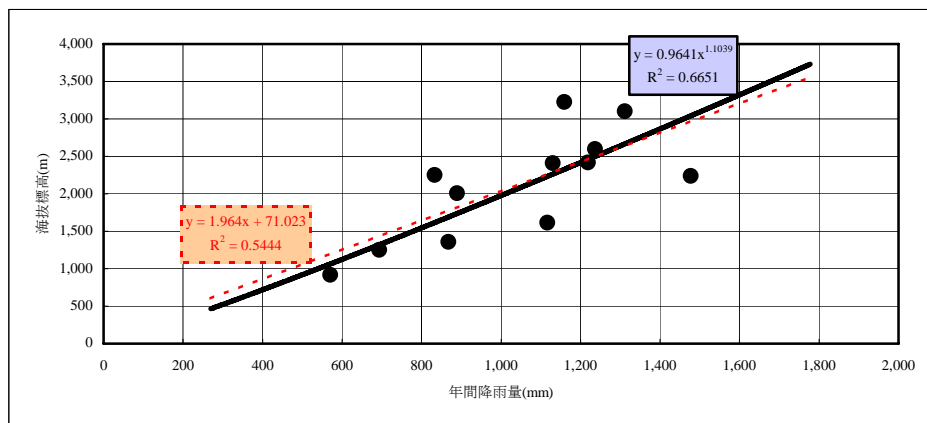


図 R C.8 年間降雨量と海拔標高の関係

さらに、統計年度が短いデータを棄却し、再度相関関係を調べたところ、相関関係 R は 0.939 と向上した。

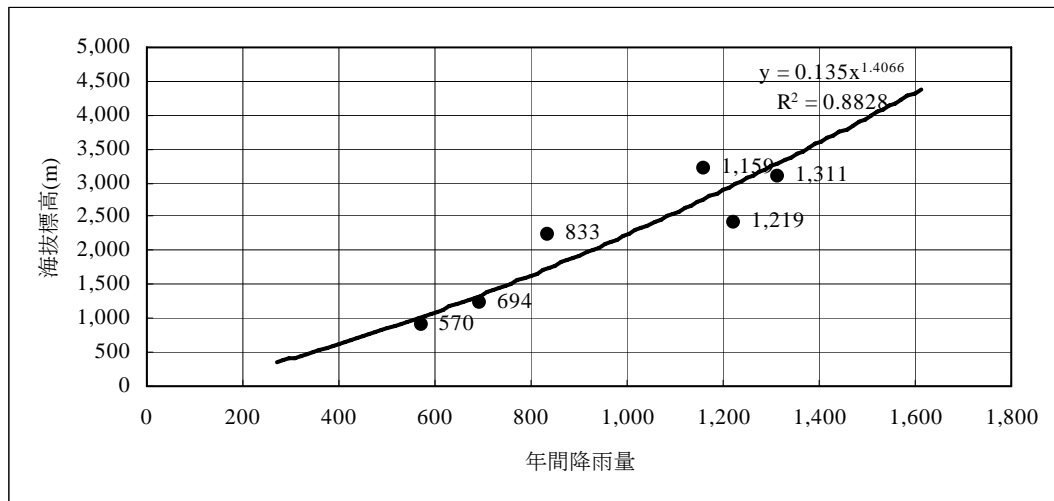


図 R C.9 年間降雨量と海拔標高の関係

#### 4.4 降雨継続時間

##### 4.4.1 降雨の時間的分布

既往最大 5 洪水時における新村観測所の降雨記録によると降雨の時間的分布は前方集中型になっていることが伺える。本セクター末の図 C.5 に既往最大 5 洪水における時間雨量を整理した。

##### 4.4.2 一連降雨の継続時間

东川泥石流防治研究所の観測所における記録用紙によると、主要な降雨はほぼ 2 日以内に降り終わっている。図 R C.9 に日雨量 30mm 以上の一連の降雨についてのマスカーブをまとめた。

##### 4.4.3 継続時間別降雨強度

###### 1) 东川泥石流防治研究所内観測所

东川泥石流防治研究所から入手した 12 年間の観測記録用紙をもとに継続時間別最大降雨量を継続時間ごと (5 分、10 分、20 分、30 分、60 分、120 分、180 分、360 分、720 分、1440 分) に抽出し本セクター末の表 C.3 に整理した。さらに、それらを降雨強

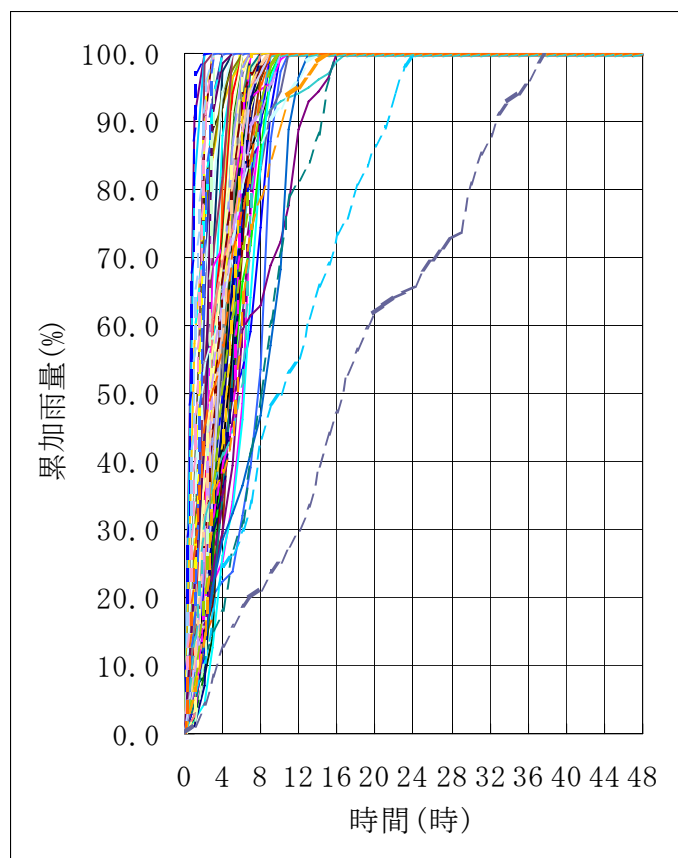


図 R C.9 連続雨量マスカーブ曲線

度(mm/hr)に換算し、本セクター末の表 C.4 に整理した。下表に継続時間別降雨強度の最大値、平均値、最小値を示す。

表 R C.23 継続時間別降雨強度(東川泥石流防治研究所)

継続時間	降雨強度(mm/hour)								降雨強度(mm/day)	
	5	10	20	30	60	120	180	360	1日	2日
平均	63.2	55.7	46.1	34.9	23.3	15.6	11.8	8.1	64.6	36.5
最大	120.0	93.6	63.8	46.0	38.0	28.6	20.0	13.8	106.4	54.3
最小	39.6	36.6	27.3	18.6	10.5	8.5	6.4	4.5	49.7	25.5

## 2) 気象局

気象局から入手した日雨量、時間雨量、10 分間雨量を用いて継続時間別別最大降雨量および降雨強度本セクター末の表 C.5 および表 C.6 に整理した。下表に継続時間別降雨強度の最大値、平均値、最小値を整理する。

表 R C.24 継続時間別降雨強度(新村観測所)

時間	降雨強度(mm/hour)		降雨強度(mm/day)	
	10分	1時間	1日	2日
平均	58.6	23.1	57.9	35.7
最大	81.6	40.4	108.6	63.4
最小	36.0	14.3	28.6	17.9

## 4.5 降雨確率計算

### 4.5.1 継続時間別降雨確率

3章において整理した降雨強度をもとに、継続時間ごとに降雨確率計算を実施し下表に整理した。なお継続時間が1時間以下の降雨強度については、観測記録用紙を入手し正確なデータが得られた東川泥石流防治研究所のデータを使用し、日雨量以上の場合は観測記録が多い気象局のデータを採用した。

表 R C.25 継続時間別最大雨量

確率年	降雨強度(mm/hr)*注1								降雨強度(mm/day)*注2	
	5min.	10min.	20min.	30min.	60min.	120min.	180min.	360min.	1day	2day
2	59.6	53.6	44.2	33.5	22.2	14.8	11.2	7.7	55.2	33.9
5	79.3	65.0	54.3	40.7	28.4	19.2	14.2	10.1	70.5	42.8
10	92.4	72.6	61.0	45.4	32.5	22.2	16.2	11.6	80.7	48.7
20	105.0	79.9	67.5	50.0	36.5	24.9	18.0	13.1	90.4	54.3
30	112.3	84.1	71.2	52.6	38.7	26.6	19.1	14.0	96.0	57.6
50	121.3	89.3	75.8	55.9	41.6	28.6	20.5	15.1	103.0	61.6
100	133.5	96.4	82.0	60.3	45.4	31.3	22.3	16.5	112.5	67.1

注1：東川泥石流防治研究所のデータを使用。注2：気象局新村観測所のデータを使用。

#### 4.5.2 確率規模別降雨強度式の算定

1) 項において整理された継続時間別最大雨量へ本セクター末の図 C.6 に示すようにプロットし、降雨強度式 (君島式  $R=a/(T^n+b)$ ) の係数を最小 2 乗法により算定した。下表に結果を整理する。

表 R C.26 降雨強度式

確率年	降雨強度式
2	$R = 1161.5 / (T^{0.85} + 15.30)$
5	$R = 1074.9 / (T^{0.80} + 9.95)$
10	$R = 1227.7 / (T^{0.80} + 10.03)$
20	$R = 995.9 / (T^{0.75} + 6.12)$
30	$R = 1058.1 / (T^{0.75} + 6.15)$
50	$R = 1135.1 / (T^{0.75} + 6.17)$
100	$R = 1236.5 / (T^{0.75} + 6.18)$

R = 降雨強度 (mm/時間), T = 時間 (分)

## 5. 流出解析

流出解析の目的は、基本高水流量の設定や、河床変動解析に用いる溪流からの流入量の算出である。

### 5.1 流域分割

本調査で入手した5万分の1の地形図を基に、小江本川へ直接流入する支川を抽出し、流域分割を行った。抽出した支川のは数は155である。さらに、流出解析モデル(タンクモデル)の計算精度を保つために、単位流域の大きさが $100\text{km}^2$ 以上となる小清川、盐水沟、黄水箐、乌龙河については、さらに流域を分割し、全ての小流域の流域を $100\text{km}^2$ 以下とした。

なお、4.4に述べた目的を踏まえて、金源郷より上流については、崩壊生産土砂量が小江流域の他の地域と比較して非常に少ないことや、他流域に比べて小河川が多いことから、流域を4次谷レベルの大きさでまとめた。

上記の流域分割結果を本セクター末の図C.7に示し、各支川の延長および支川流域の流域面積・平均標高は本セクター末の表C.7に整理した。

### 5.2 流出解析モデルの構築

#### 5.2.1 流出計算手法の選定

本業務においては、支川流域の流出計算手法として地表流成分、中間流成分、地下水流出成分の3つの貯留層を表現するタンクモデル法を採用し、河道における遅れの計算はキネマティックウェーブ手法を採用した。

小江流域のような山地流域においては、山地斜面の浸透が考慮できて、かつ急斜面の流下を表現する Manning 式等の流れの式からモデル化した計算手法である、貯留関数手法、タンクモデル法、特性曲線法等が適合するとされている。これらのモデルの中からタンクモデル手法を採用した理由は、長期的な流況を作成する必要があるということからである。

また、タンクモデルは単流域の流出しか表現できないため、各流域をつないで河道遅れ等の計算を実施するにあたり、キネマティックウェーブ手法による河道モデルを用いて、流域流出モデルを接続した。

#### 5.2.2 モデルスキーム

流出解析モデルの模型図を本セクター末の図C.8に示す。流出解析モデルは、100の流域モデルと20の河道モデルで構成されている。なお、流出解析モデルとして採用したタンクモデルの概念を次図に示す。

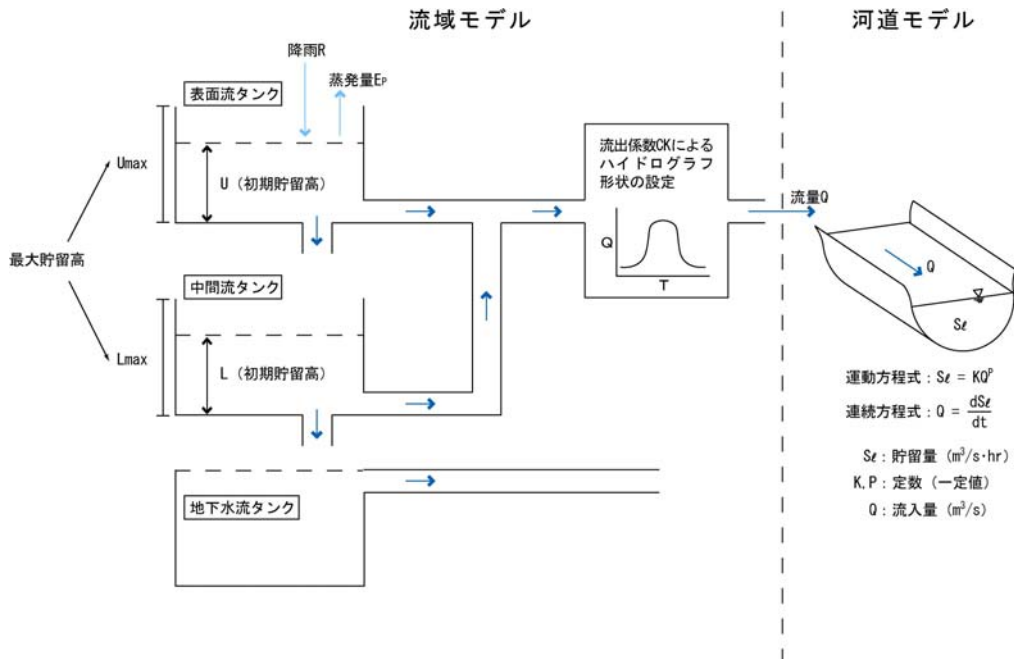


図 R C.10 タンクモデル概念図

### 5.2.3 初期条件設定

#### 1) 流域モデル

##### a) 流域諸元

各支川の流域諸元を本セクター末の表 C.7 に整理する。流出解析モデルにおける各支川への与条件は、表 C.7 に整理した流域面積、河川延長、平均標高、土地利用等を考慮して設定する。

##### b) 蒸発量

小江流域における蒸発量は、表 R C.6 に示すように、海拔標高が高いほど減少する傾向にある。そこで、各支川流域における蒸発量については、新村、湯丹、落雪観測所における観測記録と、流域の平均標高との関係に基づいて設定する。設定した小流域毎の蒸発散量は本セクター末の表 C.7 の通りである。

表 R C.27 小江流域の蒸発量 (mm)

測候所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
新村	144	175	274	311	283	169	168	150	147	123	118	115	2,099
湯丹	72	87	138	150	126	82	85	87	74	53	53	59	988
落雪	95	97	140	133	95	59	57	56	65	49	62	95	909

##### c) 降雨量の設定

3章で述べたように、小江流域においては洪水時における面的降雨分布を把握するための資料が少なく、実際のところ氾濫シミュレーションモデルを構築するのに十分な降雨資料が揃っていないとは言い難い状況である。つまり、流域全体の時間的および面的な降雨分布や、流量ハイドロとピーク流量の生起時間

等の詳細が不明であるため、ピーク流量やハイドロ形状の再現は難しいということである。そこで今回は、3章の降雨解析において把握した降雨特性を用い洪水時の流域の降雨分布を仮定することとした。次段落以降にその方法について説明する。

キーステーションを観測期間が最も長い観測所である新村観測所とし、面積降水量関係および標高降雨量関係によって同観測所の降雨量を引き伸ばすことによって、各流域に流域平均降雨を与える。具体的には以下の通りである。

最初に、各支川流域の平均降雨量を、標高-降雨量関係と支川流域の平均標高から与える。3章に述べたように、流域の降雨量は標高との関係が顕著であり、その関係は図 R C. 9 に示す通りである。

次に、世界気象機構が作成した面積降雨量関係図（次図）をもとに、流域の面積に応じて、キーステーションにおける雨量を減じる。このようにキーステーションの雨量を、雨域について考慮して減ずる方法は、世界中の降雨資料の少ない地域において良く用いられている。

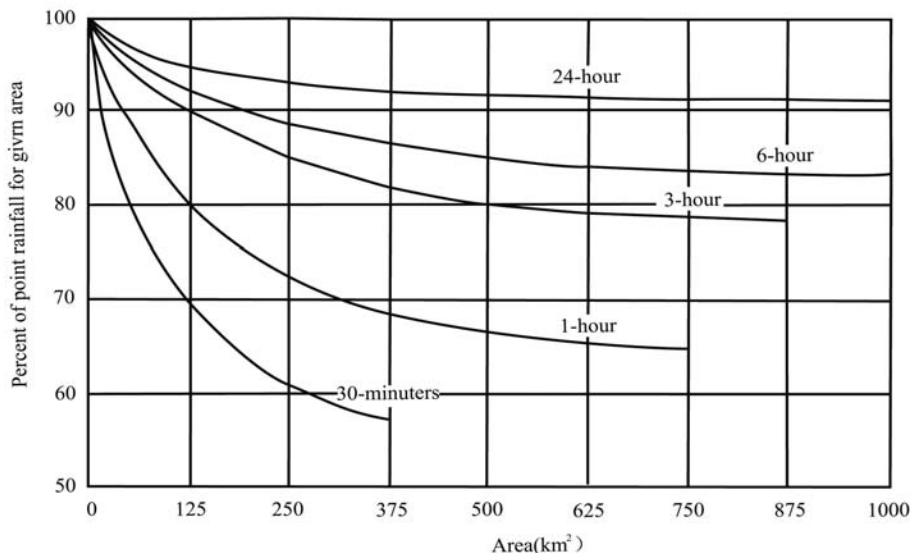


図 R C.11 面積降雨量関係(世界気象機構,1983)

なお、降雨減衰率(ここでは、図の Percentage of point rainfall for given area を言う)を算出するにあたっては、降雨継続時間 1-hour の曲線を使用した。これは、流出解析の境界条件である降雨データを時間単位で与えるからである。

#### d) タンクモデルのパラメーター設定

タンクモデルには以下の定数を初期定数として設定する。これらの定数は本調査期間中に観測した降雨データと流量データを用いて実施した単流域流出モデル(烏龍河、深沟、桃家小河)による再現流出計算によって求めた定数を参考にして設定した。なお、この初期定数は、後に記述する小江全流域についての再現計算(既往洪水実績波形とシミュレーション結果の波形を合わせるためのトライアル計算)により変更される。

表 R C.28 タンクモデルの初期パラメータ

パラメーター	比較的小さな流域	比較的大きな流域
$U_{max}$	10	10
$L_{max}$	100	100
CQOF	0.6	0.6
CKIF	800	800
CK12	10	20
TIF	0	0
TOF	0	0
TG	0	0

以下に、各パラメーターの意味を説明する。

i)  $U_{max}$  (地表面貯留の最大貯留高)

$U_{max}$  は地表面タンクの最大貯留高を意味し、(植生による)遮断貯留、地表面の凹部貯留、表層土貯留の含水量も含まれる。一般に 10~20mm の範囲の値をとり、 $U > U_{max}$  となった時点で地表流が発生する。

ii)  $L_{max}$  (ルートゾーンタンクの最大貯留高)

下部ゾーンまたはルートゾーンタンクの最大貯留高を表す。樹木群の蒸散に使用されるルートゾーン最大土壌含水量であると解釈され、一般的には  $U_{max} = 0.1L_{max}$  という関係式が使用されている。

iii) CQOF (地表面流出係数)

CQOF は 0~1 の値の範囲をとり、粗粒の砂質土が主体で不飽和地帯が広い平坦な流域では CQOF の値は小さくなり、粘土や岩など透水性の小さな地盤から構成される流域では CQOF の値は大きくなる。

iv)  $CK_{12}$  (地表流の時間定数)

$CK_{12}$  は、中間流および地表流の追跡のための時間定数であり、ハイドログラフの形状を決定する。 $CK_{12}$  の値は、通常 3~48 時間の値をとり、シミュレーション結果のピーク流量が実現象より低いときやピーク流量に到達する時間が遅いときは、補正のため  $CK_{12}$  を小さくする。

v) CKIF (中間流の時間定数)

CKIF (時間) は  $U_{max}$  と合わせて中間流の大きさを表現する。 $CKIF > CK_{12}$  という関係が成り立ち、通常 500~1000 時間の値をとる。

vi) TOF、TIF、TG (ルートゾーン閾値)

TOF、TIF、TG はそれぞれ、地表流、中間流、地下水涵養発生に関するルートゾーンの閾値。例えば、ルートゾーンタンクの含水量  $L/L_{max}$  が TOF を下回る場合には地表流は発生しない。



## 2) 河道モデル

河道モデルとしては、河道における基本的な河道の物理量(河道諸元)のみでほぼ定数を決定できる Kinematic Wave 法を採用した。Kinematic Wave 法における河道定数  $K_r$  は以下の式によって決定される。

$$K_r = B^{0.4} (n/\sqrt{I})^{P_r}$$

ここに、

$B$  :河川幅 (m)

$n$  :河床の粗度係数

$I$  :河床勾配

$P_r$  :一定値 ( $P_r=0.6$ )

下表は各河道モデルにおいて設定した河道諸元である。

表 R C.29 河道諸元一覧

河道 No.	河道延長 (km)	河床勾配	粗度係数	川幅 (m)	$K_r$	河道 No.	河道延長 (m)	河床勾配	粗度係数	川幅 (m)	$K_r$
A	14.0	1/100	0.040	600	7.5	I	13.9	1/100	0.035	200	4.4
B	6.8	1/100	0.035	400	5.9	J	9.6	1/100	0.035	200	4.4
C	7.4	1/100	0.035	400	5.9	K	9.9	1/100	0.035	300	5.2
D	4.8	1/500	0.035	750	12.2	L	16.8	1/100	0.035	100	3.4
E-1	12.2	1/200	0.035	650	8.7	M	16.4	1/100	0.035	200	4.4
d E-2	12.2	1/200	0.035	650	8.7	N	14.8	1/100	0.035	200	4.4
F	16.4	1/100	0.035	300	5.2	O	9.1	1/100	0.035	200	4.4
G	11.0	1/100	0.035	200	4.4	P	11.5	1/100	0.035	200	4.4
H	9.8	1/100	0.035	200	4.4						

### 5.2.4 再現計算の実施

#### 1) 対象洪水

3章に述べたように、再現計算時のモデルの定数設定に必要な洪水時の時系列流量データが殆ど保存されていない状況である。しかしながら、幸運なことに西部山区河滩地开发与保护规划研究等の一部の資料には、既往最大洪水時のピーク観測流量が記録されており、流出解析モデルによる再現計算を実施し、モデルの精度をある程度高めることが可能である。

対象洪水としては 1977 年 6 月 21 日に発生したである既往最大洪水(ピーク流量  $674\text{m}^3/\text{s}$ 、西部山区河滩地开发与保护规划研究における流量確率で 1/50)を選定し、5.2.3 項に示した与条件のもと再現計算を実施した。

表 R C.30 対象洪水(既往最大洪水)

No	年月日*	洪水ピーク流量* (m <sup>3</sup> /s)	新村観測所 2日雨量(mm)	確率規模* (流量確率)
1	1977.6.21	674	85.9	1/50

\*の情報は、西部山区河滩地开发与保护规划研究(科学出版社)より抜粋

## 2) 最終定数

数回の試行錯誤によって、各小流域において以下のパラメータを最終的に設定した。

表 R C.31 タンクモデルの最終パラメータ

パラメータ	設定値
U <sub>max</sub>	10
L <sub>max</sub>	100
CQOF	0.6
CKIF	800
CK12	10(20)*
TIF	0
TOF	0
TG	0

\*他の小流域と比較して河道勾配が緩やかで流域面積の大きい小清川、盐水沟、黄水箐、乌龙河は20とした。

前項で述べた通り、洪水時の流量ハイドログラフ（時系列流量データ）は不明である。そのため、ピーク流量の観測値と流出計算結果のハイドログラフにおけるピーク流量との整合を図って流出解析モデルの定数を設定した。

## 3) 再現計算結果

再現計算結果を表 R C.32 および本セクター末の図 C.9 に整理した。図 C.9 より洪水到達時間は約 8 時間と読み取れ、この値は今回の調査期間中に観測した 6 月 10 日洪水における洪水到達時間と同程度であることが伺える。また、ピーク流量の計算値においても観測値と同程度の値となっている。

表 R C.32 再現計算結果

洪水ピーク流量 生起年月日	洪水ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)		モデルに与えた 流域平均2日雨量 (小江水文点上流)	2日雨量 の観測値 (新村)	洪水到達時間
	観測値	計算値			
1977.6.21	674	650	95mm	91mm	8時間

## 5.2.5 基本高水流量の設定

### 1) 計画降雨の設定

3章において算出した確率規模別の降雨強度式と2日雨量の降雨確率から計画ハエトグラフを作成し、本セクター末の表 C.8 に整理した。そのうち20年、50年、100年確率規模については図 C.10 に図化した。なお、4.4.1 項の降雨解析結果に基

づいて、計画降雨ハイエトの形状を前方集中型とし、3章で設定された面積降雨関係、高度降雨関係によってさらに補正を加えて各支川流域に境界条件として与える。

## 2) 流域・河道設定

流域定数については、5.2.4 項において設定した値を用いた。河道定数については現況の輪中堤防を考慮して再設定し、氾濫戻しを考慮した定数とした。

表 R C.33 河道諸元一覧(現況河道)

河道 No.	河道延長 (km)	河床勾配	粗度係数	川幅 (m)	Kr	河道 No.	河道延長 (m)	河床勾配	粗度係数	川幅 (m)	Kr
A	14.0	1/100	0.040	480	6.8	I	13.9	1/100	0.035	160	4.1
B	6.8	1/100	0.035	320	5.4	J	9.6	1/100	0.035	200	4.4
C	7.4	1/100	0.035	320	5.4	K	9.9	1/100	0.035	240	4.8
D	4.8	1/500	0.035	600	11.2	L	16.8	1/100	0.035	80	3.1
E-1	12.2	1/200	0.035	520	8.0	M	16.4	1/100	0.035	160	4.1
E-2	12.2	1/200	0.035	520	8.0	N	14.8	1/100	0.035	160	4.1
F	16.4	1/100	0.035	240	4.8	O	9.1	1/100	0.035	200	4.4
G	11.0	1/100	0.035	200	4.4	P	11.5	1/100	0.035	200	4.4
H	9.8	1/100	0.035	160	4.1						

## 3) 基本高水流量

1)、2)の条件下において流出解析を実施した。その結果を下表および本セクター末の図 C.10 に整理する。

表 R C.34 基本高水ピーク流量とピーク時間 (流量:m<sup>3</sup>/s, 時間:Hour)

地点 確率年	三江口		小江水文点		小江流末		塊河流末		大白河流末	
	流量	時間	流量	時間	流量	時間	流量	時間	流量	時間
2	362	9:20	481	10:00	631	11:20	145	9:20	194	9:10
5	503	9:00	667	9:20	876	10:00	201	9:00	270	8:50
10	669	8:00	887	8:20	1166	9:00	267	8:00	359	7:40
20	703	8:40	931	9:10	1224	9:50	280	8:40	378	8:20
30	797	8:10	1056	8:40	1390	9:20	318	8:10	428	8:00
50	922	7:30	1221	8:10	1606	8:50	367	7:40	496	7:20
100	1112	7:00	1473	7:20	1932	8:10	441	7:00	599	6:40

注 1 : 計算開始時刻(計画降雨の降り始め時刻)を 23:00 としている。

注 2 : 三江口とは塊河、大白河、乌龙河が合流する地点である。

## 6. 土石流氾濫解析

### 6.1 土石流氾濫解析の概略

#### 6.1.1 目的及び対象範囲

土石流氾濫解析は土石流発生時の土石流危険区域および被害額の算定を目的として実施する。なお、土石流氾濫区域や被害額は、ハザードマップ作成や便益算定の基礎資料となる。

土石流氾濫解析の対象範囲は、F/S 対象流域である豆腐沟、乌龙河の 6 支川、东川市街地の 8 河川、桃家小河における砂防基準点下流とする。対象範囲の詳細については、7.2 項を参照されたい。

#### 6.1.2 土石流氾濫解析手法

##### 1) 手法

本調査においては、財団法人 砂防地すべり技術センターが開発したシミュレーションモデル(ソフトウェア)を使用して、土石流氾濫解析を実施する。なお、このシミュレーションソフトには①土石流状態—掃流砂量状態を表現するモデル(擬似ダイラント流体)、②マニング則を用いた乱流としての性質を表現するモデル(泥石流の流れ)のどちらかが選択できるようになっているが、小江流域の土石流は粒径が細かく流れが泥石流に近い状態であることが推測されるため、②の手法を用いて対象流域の土石流氾濫解析を実施する。ただし、小江流域の蔣家沟においては、層流状態の泥石流の流れが観測され、近年 Newtonian Fluid Model による解析が紹介され始めてきているが、この手法は現在研究段階であり、対象流域において層流状態の泥石流が発生するかということは明らかでないため、本調査においては採用していない。

##### 2) 基礎方程式

解析手法は、土石流の流れを連続流体として取り扱い、基礎方程式である運動量保存則(運動方程式)、質量保存則(連続式)を鉛直方向に積分した準 3 次元変流解析手法である。

###### 運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial}{\partial x}(vM) + \beta \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \tau_{bx}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial}{\partial x}(vN) + \beta \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \tau_{by}$$

###### 連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

## 土砂の連続式

$$c_* \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_B}{\partial x} + \frac{\partial q_B}{\partial y} = 0$$

ここに

$$M = \mu h, N = \mu h, H = h + z_b$$

 $u, v$ :  $x$ 及び $y$ 方向の水深 $h$ : 水深 $z_b$ : 流動層底面の地盤標高 $g$ : 重力加速度 $\beta$ : 運動量補正係数 $\rho$ : 流体の密度 $q_B$ : 粒径別流砂量

## 6. 1. 3 計算ケース

7. 1. 1(1) 目的にある内容に応じて、各流域別のシミュレーション計算ケースを下表に整理した。

表 R C.35 計算ケース一覧

流域	計算ケース	河川数	備考
豆腐沟	5 ケース (5 年, 10 年, 20 年, 50 年, 100 年確率規模)	1 河川 (豆腐沟)	粘性タイプの土石流であるため 5 年確率規模から土石流が発生すると考えられる。よって年平均被害額算定のために 5 年～100 年確率規模の氾濫解析を実施。なお、100 年確率流量における氾濫解析結果はハザードマップ作成の基礎資料となる。
乌龙河	4 ケース (10 年, 20 年, 50 年, 100 年確率規模)	6 河川 (冉家沙沟、薛家沟、老龙箐、李家湾沟、李家湾南支沟、大箐沟)	稀性タイプの土石流が発生する地域であるため、10 年確率規模から土石流が発生すると想定する。したがって、年平均被害額を算定するために 10 年確率流量から 100 年確率流量の氾濫解析を実施した。なお、100 年確率の氾濫解析結果はハザードマップ作成の基礎資料となる
深沟	4 ケース (10 年, 20 年, 50 年, 100 年確率規模)	8 河川 (深沟、老干沟、尼拉姑沟、尼拉姑沟北支沟、尼拉姑沟南支沟)	同上
桃家小家	4 ケース (10 年, 20 年, 50 年, 100 年確率規模)	1 河川 (桃家小家)	同上

## 6.2 土石流氾濫解析モデルの構築

土石流氾濫解析モデルの構築フローを下図に示す。大略的には①土石流ハイドログラフ、②格子(メッシュ)毎の標高データ、③メッシュ内のその他の物性値(粗度係数、河床材料、体積土砂濃度等)に大別できる。7.2.1 以降に、土石流氾濫解析モデルの構築について詳述する。

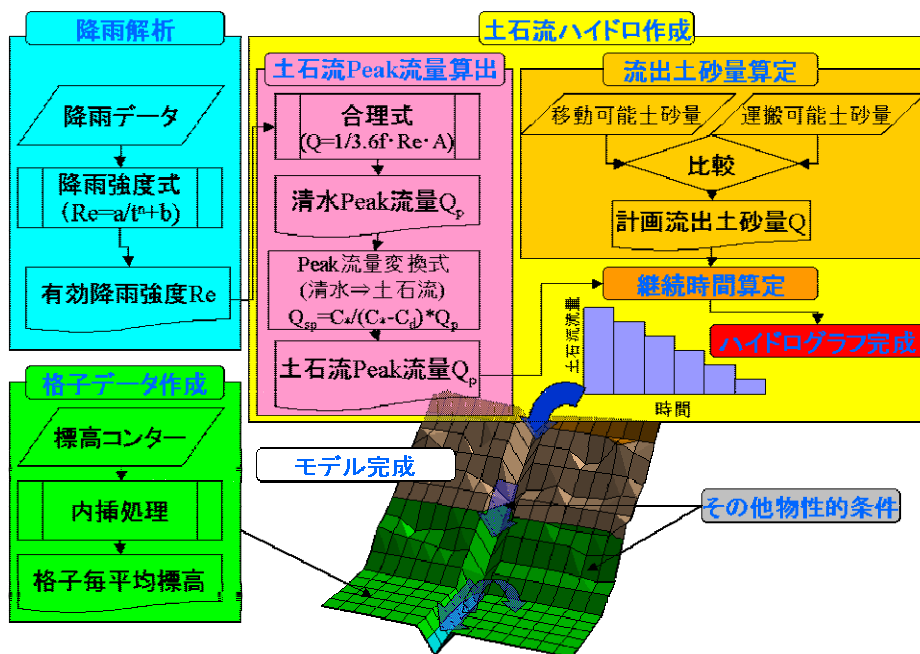


図 R C.12 土石流氾濫解析モデル作成概略フロー

### 6.2.1 シミュレーションエリアの設定およびメッシュ分割

7.1.2 項において説明した手法に基づいて土石流氾濫解析を実施するために、各小流域についてメッシュ分割を本セクター末の図 C. 12 に示すように実施した。メッシュ分割範囲は最終報告書メインレポートに詳述されている土石流氾濫危険区域を包括するように設定し、1メッシュの大きさは、計算時間や支川の谷幅が1セルに収まることを考慮し 25m×25mの正方形とした。各優先小流域におけるメッシュ分割状況は下表の通りである。

表 R C.36 計算対象区域におけるメッシュ分割

流域	流域の全体面積(km <sup>2</sup> )	対象範囲面積(km <sup>2</sup> )	メッシュ分割範囲(東西 m×南北 m)	メッシュの大きさ	メッシュ数(東西×南北メッシュ数)
深沟	56.0	29.6	6,325×4,675	25m×25m	47,311 (253×187)
豆腐沟	16.2	19.2 <sup>*1</sup>	3,950×4,850	25m×25m	35,652 (158×194)
乌龙河	132.9	11.1	2,475×4,475	25m×25m	17,721 (99×179)
桃家小家	71.0	24.0	6,475×3,700	25m×25m	38,332 (259×148)

\*1:流域を長方形で崩落するため流域面積より大きくなる。

## 6.2.2 DEM (デジタル・エレベーション・マップ) の作成

7.2.1 項において分割した各メッシュに標高データを与えるためにDEMを各優先小流域について作成した。DEMは、本調査において実施した各優先小流域（深沟、豆腐沟、乌龙河および桃家小河）についての数値地形図における等高線・標高単点を内装することにより作成した。なお、数値地形図は航空写真(2005年5月撮影)を基に作成されている。

## 6.2.3 泥流に関するデータの設定

シミュレーション上必要となる泥流の流れに関する諸性質に関する主要な物性値としては、砂礫の密度、堆積物の堆積濃度、マンニングの粗度係数、レジーム式の係数、無次元限界掃流力、内部摩擦角、土石流の粒度分布が挙げられる。これらの物性値の設定値は以下の通りである。

表 R C.37 計算対象区域におけるメッシュ分割

泥流に関するデータ	値
砂礫の密度	2.65 t/m <sup>3</sup>
マンニングの粗度係数	0.06
レジーム式の係数	5
無次元限界掃流力	0.05
内部摩擦角	35°
堆積物の体積濃度	表 R C.38 参照
流入砂および河床の粒度分布	表 R C.39～43 参照

この土石流の体積濃度については、対象流域に発生する土石流のタイプ別(粘性、粘性-稀性、稀性)に設定した。なお、堆積物の体積濃度は土石流の流動特性を決定する値であるが、対象流域それぞれにおいて発生する土石流タイプの分類と各土石流タイプにおける堆積物の体積濃度の値については小江流域に関する既往の土石流研究結果を整理した“云南小江泥石流 综合考察与防治规划研究”の内容を参考にして表 R C.38 に整理している。

表 R C.38 堆積物の体積濃度

対象流域	流域	土石流の分類*1	堆積物の体積濃度
豆腐沟流域	豆腐沟	粘性	75%
乌龙河流域	乌龙河(No.1～6)	不明(粘性-稀性)	80%
东川市街地流域	深沟(No.1)	稀性	85%
	深沟(No.2～No.5)	不明(粘性-稀性)	80%
	石羊沟(No.1～3)		
桃家小河	桃家小家	稀性	85%

\*1:不明の場合は粘性-稀性土石流とした

土石流(流入砂)の粒度分布については、“云南小江泥石流综合考察与防治规划研究”に整理されている泥石流源土粒度分布図(本セクター末の図 C.12)を元に設定し、河床材料の粒度分布については本件調査で実施した河床材料調査結果を元に設定した。

表 R C.39 流入砂および河床の粒度分布(豆腐沟)

項目	粒度分布(mm)				
	0.1	0.5	1.0	6.0	10.0
流入土砂(%)	38.0	22.0	15.0	25.0	0.0
河床材料(%)	8.0	14.0	12.0	47.0	19.0

表 R C.40 流入砂および河床の粒度分布(东川市街地流域の対象河川: 乌龙河)

項目	粒度分布(mm)				
	0.125	0.5	1.0	2.0	10.0
流入土砂(%)	45.0	5.0	4.0	7.0	39.0
河床材料(%)	4.71	11.3	39.88	10.86	33.25

表 R C.41 流入砂および河床の粒度分布(东川市街地流域の対象河川: 深沟)

項目	粒度分布(mm)				
	0.1	0.5	1.0	2.0	10.0
流入土砂(%)	15.0	15.0	2.0	2.0	3.0
河床材料(%)	4.71	11.3	39.88	10.86	33.25

表 R C.42 流入砂および河床の粒度分布(东川市街地流域の対象河川: 2)

項目	粒度分布(mm)				
	0.1	0.5	1.0	2.0	10.0
流入土砂(%)	15.0	15.0	2.0	2.0	3.0
河床材料(%)	7.0	8.0	12.0	23.0	5.0

表 R C.43 流入砂および河床の粒度分布(桃家小河)

項目	粒度分布(mm)				
	0.1	0.5	1.0	6.0	10.0
流入土砂(%)	91.0	1.5	7.5	0.0	0.0
河床材料(%)	9.67	18.37	14.92	42.1	14.94

#### 6.2.4 土石流ハイドログラフの作成

ここでは、土石流氾濫シミュレーションに必要な境界条件の1つである土石流ハイドログラフを設定するための基礎データである土石流継続時間および土石流ピーク流量



を算定する。なお、土石流ピーク流量は、各河川において確率規模別に以下のように算定する。

- (1) 角谷の式と降雨強度式より有効降雨強度( $R_e$ )を算出
- (2) 有効降雨強度( $R_e$ )を合理式に代入して清水ピーク流量を算定する。
- (3) 清水ピーク流量を体積土砂濃度、土石流の濃度(中国小江における研究結果を利用)を用いて土石流ピーク流量に変換する。
- (4) 計画流出土砂量と土石流ピーク流量の関係から土石流継続時間を推定する。

### 1) 有効降雨強度および土石流到達時間の設定

表 C.26 において整理した君島式による降雨強度式と、角谷の式(土石流対策指針(案)参照)による洪水到達時間を用い、各優先小流域における確率別有効降雨強度を算出した。下表に有効降雨強度を示す。

ここに、

$$t_c = 120A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35} \text{ (角谷式)}$$

A : 流域面積(km<sup>2</sup>)

$r_e$  : 有効雨量強度(mm/hr)

$t_c$  : 到達時間(分)

表 R C.44 深沟洪水到達時間および有効降雨強度

確率年	祝国寺河 (A=2.8km <sup>2</sup> )		深沟 (A=24.2km <sup>2</sup> )		河川 A (A=0.9km <sup>2</sup> )		石羊河 1 (A=7.3km <sup>2</sup> )		河川 B (A=1.8km <sup>2</sup> )	
	$t_c$	$R_e$	$t_c$	$R_e$	$t_c$	$R_e$	$t_c$	$R_e$	$t_c$	$R_e$
2年	51.7	21.2	94.3	14.8	38.1	24.9	67.3	18.2	45.9	22.6
5年	47.5	27.0	86.4	19.0	35.0	31.7	63.1	23.2	42.1	28.8
10年	44.9	31.7	81.5	22.4	33.1	37.1	58.4	27.4	39.9	33.8
20年	43.6	34.5	79.1	24.4	32.1	40.7	56.7	29.8	38.6	36.9
30年	42.5	37.1	77.0	26.3	31.3	43.7	55.2	32.1	37.7	39.6
50年	41.2	40.5	74.6	28.8	30.3	47.5	53.6	35.0	36.6	43.2
100年	39.7	45.0	71.9	32.0	29.3	52.7	51.6	38.9	35.3	47.9

$t_c$  : 洪水到達時間、 $R_e$  : 有効降雨量、A : 流域面積

### 2) 清水ピーク流量の算定

清水ピーク流量は合理式に 1) で求めた有効降雨強度を代入して算定した。結果は表 R C.45 に整理した。

ここに

$$Q = 1/3.6 * f * r_e * A$$

A : 流域面積(km<sup>2</sup>)

$r_e$  : 有効雨量強度(mm/hr)

f : 流出係数 (=0.8 とした)

表 R C.45 清水ピーク流量

確率年	祝国寺河 (A=2.8km <sup>2</sup> )	深沟 (A=24.2km <sup>2</sup> )	河川 A (A=0.9km <sup>2</sup> )	石羊河 1 (A=7.3km <sup>2</sup> )	河川 B (A=1.8km <sup>2</sup> )
2 年	16.5	99.2	6.2	36.9	11.3
5 年	21.0	127.4	7.9	47.0	14.4
10 年	24.6	150.7	9.3	55.5	16.9
20 年	26.8	164.1	10.2	60.3	18.4
30 年	28.9	177.0	10.9	65.0	19.8
50 年	31.5	193.4	11.9	70.9	21.6
100 年	35.0	215.4	13.2	78.9	24.0

### 3) 土石流ピーク流量の算定

#### a) 算定手法の選定

一般に、土石流のピーク流量は、それを支配する諸量(崩壊土砂量、谷底堆積物、堆積位置と量、流量等)の時間的・空間的組み合わせから、一義的に定義することはできないとされている。そこで、土石流ピーク流量を推定するために、土石流堆積物の体積土砂濃度と流動中の土石流濃度等を用いて、清水流量から土石流ピーク流量を算出する手法が用いられている。中国においても、小江流域に特化した清水流量と土石流流量の関係についての研究成果が経験則として“云南小江泥石流 综合考察与防治规划研究”等にまとめられている。中国小江および日本における土石流ピーク流量の推定式を下表に整理した。

表 R C.46 土石流ピーク流量の算定手法

土石流ピーク算定式	
日本	$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_* - C_d} * Q_p$ <p>C<sub>d</sub>:堆積土砂の濃度 (粘性土石流 : 0.75, 粘性-稀性土石流 : 0.80, 稀性土石流 : 0.85)                      C<sub>*</sub>:土石流の濃度(粘性土石流 : 0.68, 粘性-稀性土石流 : 0.53, 稀性土石流 : 0.38)</p>
小江研究成果	<p><b>稀性土石流:</b></p> $Q_c = Q_b(1 + \phi)q$ $\phi = (\gamma_{c-1}) / (\gamma_H - \gamma_c)$ <p>q = 1.3                      γ<sub>c</sub> = 泥石流比重(稀性1.5)                      γ<sub>H</sub> = 泥石流中の砂石の比重(2.7)</p> <p><b>粘性土石流:</b></p> $Q_c = Q_B(1 + \phi)\phi_c$ $\phi = (\gamma_c - 1) / (\gamma_H - \gamma_c)$ $\phi_c = 11.7Q_B^{0.21}$ <p>γ<sub>c</sub> = 泥石流比重(粘性 : 2.0)                      γ<sub>H</sub> = 泥石流中の砂石の比重(2.7)</p>

ここで、小江流域における粘性、稀性タイプの分類がされている河川について、日本式および中国式手法の両者によって土石流ピーク流量を算出し本セクター末の表 C. 9 に整理・比較したところ、両手法で算出した結果はほぼ同様な

ものであるということが判明した。しかし、中国式手法においては、粘性－稀性土石流の算出方法が明確に整理されていないこと（本件調査において烏龍河と深溝については、粘性－稀性土石流タイプが発生する流域として分類化する）から、ここでは全タイプ（粘性、稀性、粘性－稀性）の土石流に対応できる日本式により石流ピーク流量を算出しシミュレーションの境界条件として使用する。

#### b) 算定結果

対象河川における確率別土石流ピーク流量を河川毎に算出し、本セクター末の表 C. 10 に整理した。

#### 4) 土石流継続時間

土石流継続時間は、土石流の総量を 3)項で算出した土石流ピーク流量で除して算出する。ただし、土石流の総量は、想定される運搬可能土砂量から整備可能土砂量分を除いたものとする。なお、土石流の総量、ピーク流量、継続時間については、本セクター末の表 C.11 に整理した。

### 6.3 土石流氾濫解析結果

6.2 項の条件下において土石流氾濫解析を実施しその結果を本セクター末の表 C. 12 および図 C. 12 に整理した。