

基本計画の概要

計画名	小江流域土砂災害対策及び自然環境修復に関わる基本計画		
対象地域	長江上流金沙江の支川である小江流域 (3,056km ²)		
対象流域の概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. 行政： 流域の48%を昆明市東川区、33%を昆明市尋甸県、19%を曲靖市会澤県が占める。 2. 人口： 約47万人。東川区で6.5%、尋甸県で21.7%、会澤県では5.0%は少数民族である。 3. 産業： 農業が主要産業だが、生産性は低い。農民の平均年収は1,200元/人に過ぎない。 4. 環境： 概して地形は急峻であり、また断層による破砕や風化を受けた斜面には地すべり、ガリーが発達している。長い間の森林伐採で植生は流域面積の25%程度に過ぎない。土砂収支検討結果によれば、小江流域の生産土砂量は42百万tf/年、金沙江への流出土砂量は18百万tf/年である。 5. 災害： 土石流や地すべりなどの土砂災害が頻発しており、60年代以降、死者66人、家屋被害1,700軒、農地被害50千畝(3,300ha)、鉄道、道路被害。 		
計画の目的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安全の確保：土石流、地すべり、洪水氾濫から人命を守り、かつ被害を軽減。 2. 自然環境の修復：森林を復元し、水土流失を削減。 3. 実施、運用管理体制の確立：基本計画の円滑な実施、持続的な運用管理を行う体制を確立。 		
目標年	短期計画(2010年目標)と長期計画(2020年目標)から成る。		
短期計画	短期計画は総額265百万円で、以下の事業から成る。		
	プロジェクト	事業費 (百万円)	内容
	小江工程管理局の設立	-	基本計画の実施・運用維持管理組織の設立
	4優先小流域の土砂災害対策と自然環境修復	254	4優先小流域での土石流対策(砂防えん堤、流路工、導流工)、水系砂防対策(造林、退耕還林、山腹工、棚畑化)、非施設対策。
	予警報システム	11	小江流域の雨量テレメータ網と東川市街地の土石流予警報システム。
	合計	265	
長期計画	長期計画は総額2,172百万円で、以下の事業からなる。		
	プロジェクト	事業費 (百万円)	内容
	4優先小流域以外の土砂災害対策と自然環境修復	1,993	4優先小流域での土石流対策(砂防えん堤、流路工、導流工)、水系砂防対策(造林、退耕還林、山腹工、棚畑化)、非施設対策。
	小江治水(本川改修)	122	計画的転流による本川改修
	予警報システム	57	局地レーダ雨量計の導入
	合計	2,172	
実施体制	小江工程管理局(仮称)が、関係機関(省、市、区県)との管理、支援、協力の下、実施、運営管理にあたる。		
経済評価	基本計画全体の経済的内部収益率は9.68%、予警報システムの費用を加えても9.24%、緊急計画のプロジェクトの経済的内部収益率は11.14%、予警報システムの費用を加えても10.57%。		
環境社会配慮	社会環境、自然環境面でいくつかの小さな影響が危惧されるが、計画段階から住民との協議、住民参加を確保することにより、影響の回避・軽減は十分に可能である。		
緊急プロジェクトの選定	<p>フィージビリティ調査の対象となる緊急プロジェクトとして、緊急計画の6プロジェクトが選定された。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 小江工程管理局(仮称)設立プロジェクト 2. 豆腐沟土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト(優先小流域) 3. 乌龙河土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト(優先小流域) 4. 东川土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト(優先小流域) 5. 桃家小河土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト(優先小流域) 6. テレメータ雨量計を利用した予警報システムプロジェクト 		

緊急プロジェクトの概要

プロジェクト	項目	内容
豆腐沟流域土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	対象地域	流域面積：16.2km ² 、人口：3,500人、行政：东川区拖布卡鎮
	土石流対策	流入部床固め工3基、導流工総延長5,700m
	水系砂防対策	造林3.5km ² 、造林+山腹工0.37km ² 、谷止め工600基、棚畑（田）化0.85km ²
	非施設対策	広域ハザードマップ+地区防災マップの作成活用、群側群防強化対象候補7地区
	事業費・経済評価	総事業費29百万元、経済的内部収益率8.04%
	環境/社会配慮	災害被害減少、自然環境改善。工事実施期間中の若干の悪影響は通常の環境対策で緩和可能。
乌龙河流域土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	対象地域	流域面積：132.9km ² 、人口24,600人、行政：东川区乌龙鎮、红土地鎮
	土石流対策	流入部床固め工1基、導流工総延長1,400m
	水系砂防対策	造林16.4km ² 、造林+山腹工0.96km ² 、谷止め工3,500基、棚畑（田）化11.1km ²
	非施設対策	広域ハザードマップ+地区防災マップの作成活用、群側群防強化対象候補59地区
	事業費・経済評価	総事業費68百万元、経済的内部収益率8.04%
	環境/社会配慮	災害被害減少、自然環境改善。工事実施期間中の若干の悪影響は通常の環境対策で緩和可能。
东川市街地流域土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	対象地域	流域面積：56.0km ² 、人口70,000人、行政：东川区銅都鎮
	土石流対策	砂防えん堤23基、流路工総延長17,500m
	水系砂防対策	造林8.6km ² 、造林+山腹工0.11km ² 、谷止め工1,050基、棚畑（田）化1.5km ²
	非施設対策	広域ハザードマップ+地区防災マップの作成活用、群側群防強化対象候補23地区
	事業費・経済評価	総事業費64百万元、経済的内部収益率16.89%
	環境/社会配慮	災害被害減少、自然環境改善。工事実施期間中の若干の悪影響は通常の環境対策で緩和可能。
桃家小河流域土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	対象地域	流域面積：71.0km ² 、人口7,000人、行政：会泽県驾车郷、东川区阿旺鎮
	土石流対策	流入部床固め工1基、導流工総延長3,300m
	水系砂防対策	造林11.0km ² 、造林+山腹工1.03km ² 、谷止め工1,200基、棚畑（田）化3.2km ²
	非施設対策	広域ハザードマップ+地区防災マップの作成活用、群側群防強化対象候補43地区
	事業費・経済評価	総事業費45百万元、経済的内部収益率8.54%
	環境/社会配慮	災害被害減少、自然環境改善。工事実施期間中の若干の悪影響は通常の環境対策で緩和可能。
予警報システムプロジェクト	対象地域	小江全流域：3,056km ² （东川市街地流域は土石流対策重点地域）
	情報収集SS	テレメータ雨量局8局、土石流監視局8局、データ通信：GSM携帯電話回線
	情報処理SS	防災情報センター設立、雨量・土石流監視制御装置
	情報伝達SS	簡易型警報局9局、インターネットを通じて関連機関へ情報提供
	事業費、OM費	総事業費：2.7百万元、OM（維持管理）費用：180千元/年
小江工程管理局の設立プロジェクト	組織の形態	項目法人 小江工程管理局（区・県と同レベルかそれ以上）
	組織の業務	基本計画の計画、設計、実施（施工）、運営・維持管理
	職員	正式職員、臨時職員、出向職員の混成、職員数は段階に応じて18～31名
	維持管理費用	総運用維持管理費用：12百万元/年
	期待される収益	農地開発、経済林、農地改良（棚畑化）、温暖化ガス取引（CDM）等総額：22百万元/年
総括	実施機関	小江工程管理局
	資金源	海外融資機関、中央政府、云南省、昆明市、曲靖市、东川区、会泽県
	事業費・経済評価	総事業費208百万元、経済的内部収益率10.91%
	環境/社会配慮	災害被害減少、自然環境改善。工事実施期間中の若干の悪影響は通常の環境対策で緩和可能。

SS: サブシステム

最終報告書 要約

目次

調査対象位置図

小江基本計画図

優先小流域緊急プロジェクト概要図

基本計画の概要

緊急プロジェクトの概要

	頁
基本計画編	1
1. 序	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査の上位目標	1
1.3 調査対象地域	1
2. 小江流域の現状	1
2.1 社会経済状況	1
2.2 自然環境状況	1
2.3 災害記録	2
3. 土砂災害対策および自然環境修復に係わる現状	2
3.1 施設対策	2
3.2 非施設対策	3
4. 基礎解析	3
4.1 水文・水理解析	3
4.2 地形/地被判読	3
4.3 実績土砂収支検討	3
4.3 住民意識調査・ワークショップの開催	4
5. 基本計画作成方針	4
5.1 土砂災害対策及び自然環境修復基本計画の必要性	4
5.2 基本計画作成のための基礎条件	5
5.3 基本計画のコンセプト	6
5.4 110小流域のインベントリーの作成と代表流域の特性	7
6. 代表流域での施設案の検討	8
6.1 土石流に対する施設対策の検討	8
6.2 水系砂防施設対策の検討	9
7. 小江流域基本計画の作成	12
7.1 施設対策の代表流域から小江流域全体への展開	12
7.2 小江本川の治水計画	13
7.3 非施設対策	14

7.4	事業実施計画	16
7.5	事業評価	18
8.	緊急プロジェクトの選定	18
フィージビリティ調査編		20
1.	序	20
1.1	緊急プロジェクト	20
1.2	優先週流域の概要	20
2.	基礎調査・解析	21
2.1	小組に関するアンケート調査	21
2.2	ワークショップの実施	21
2.3	ハザードマップの作成	21
2.4	群測群防のための簡易観測計器の設置	21
3.	優先小流域緊急プロジェクトの基本方針	22
3.1	緊急プロジェクトの構成	22
3.2	土石流対策	22
3.3	水系砂防対策	23
3.4	非施設対策	24
4.	豆腐沟流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト	25
4.1	土石流対策	26
4.2	水系砂防対策の検討	28
4.3	非施設対策の検討	29
5.	乌龙河流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト	30
5.1	乌龙河流域の現状	30
5.2	土石流対策の検討	30
5.3	水系砂防対策の検討	32
5.4	非施設対策の検討	33
5.5	群測群防の強化	34
6.	东川市街地流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト	34
6.1	东川市街地流域の現状	34
6.2	構造物対策の検討	35
6.3	水系砂防対策の検討	37
6.4	非施設対策	38
7.	桃家小河流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト	39
7.1	桃家小河流域の現状	39
7.2	土石流対策の検討	40
7.3	水系砂防対策の検討	41
7.4	非施設対策の検討	42
8.	予警報システムプロジェクト	43
8.1	緊急プロジェクトの内容	43
8.2	緊急プロジェクトのシステム仕様	43

8.3	防災情報センターの業務	44
9.	小江工程管理局設立プロジェクト	45
9.1	新組織の必要性	45
9.2	新組織の基本方針	45
9.3	組織設立のプロセス	47
9.4	財務計画の検討	47
10.	プロジェクト実施計画の作成	48
10.1	副産物利用計画	48
10.2	事業実施工程計画	48
10.3	運営管理計画・人材育成計画	49
10.4	概算事業費	49
10.5	資金調達	50
11.	プロジェクト評価	52
11.1	経済評価	52
11.2	財務能力評価(償還能力検討)	52
11.3	技術評価	53
11.4	環境/社会配慮	55
12.	結論および提言	57
12.1	結論	57
12.2	提言	57

表一覧

表R 1	地形/地被判読結果(小江流域全域)	3
表R 2	安全の確保のための対策案.....	6
表R 3	自然環境修復(水系砂防)のための対策案	7
表R 4	代替案として適用が考えられる対策	8
表R 5	代表流域の土石流対策最適案.....	9
表R 6	水系砂防対策による年間生産土砂抑制量制量	11
表R 7	代表流域水系砂防対策の工事費及び経済評価検討結果.....	12
表R 8	代表流域の土石流対策最適案.....	12
表R 9	造林及び山腹緑化工の対象面積	13
表R 10	代替案検討結果	14
表R 11	小江工程管理局	15
表R 12	予警報システムの主要施設.....	16
表R 13	概算事業費	17
表R 14	2010年まで完成予定の緊急プロジェクト案	19
表R 15	優先小流域の概要	20
表R 16	ハザードマップ作成方法.....	21
表R 17	土石流対策代替案の比較	23
表R 18	被害算定項目一覧.....	23
表R 19	生物対策の基本方針.....	24
表R 20	構造物対策の基本方針.....	24
表R 21	2種類のハザードマップの利用方法	25
表R 22	群測群防の問題点と強化のための支援策	25
表R 23	豆腐沟流域土石流対策代替案比較	27
表R 24	土石流対策代替案の経済評価.....	27
表R 25	豆腐沟基準点1の土石流対策最適案の概要	27
表R 26	豆腐沟基準点2の土石流対策最適案の概要	27
表R 27	水系砂防生物的対策の概要	28
表R 28	水系砂防構造物対策の概要	28
表R 29	非施設対策と対象とする災害	29
表R 30	乌龙河流域土石流対策代替案比較	31
表R 31	土石流対策代替案の経済評価.....	31

表R 32	乌龙河基準点 6 の土石流対策最適案の概要	32
表R 33	水系砂防生物的対策の概要	32
表R 34	水系砂防構造物対策の概要	33
表R 35	非施設対策と対象とする災害	33
表R 36	东川区市街地流域土石流対策代替案比較	35
表R 37	土石流対策代替案の経済評価	36
表R 38	深沟基準点の土石流対策最適案の概要	36
表R 39	石羊沟基準点の土石流対策最適案の概要	37
表R 40	水系砂防生物的対策の概要	37
表R 41	水系砂防構造物対策の概要	38
表R 42	非施設対策と対象とする災害	38
表R 43	桃家小河流域土石流対策代替案比較	40
表R 44	土石流対策代替案の経済評価	40
表R 45	桃家小河基準点1の土石流対策最適案の概要	41
表R 46	水系砂防生物的対策の概要	41
表R 47	水系砂防構造物対策の概要	42
表R 48	非施設対策と対象とする災害	42
表R 49	小江工程管理局の業務内容	46
表R 50	工程管理局の収益と費用の比較	48
表R 51	緊急計画事業実施工程	49
表R 52	小江緊急プロジェクトの人材育成計画	49
表R 53	優先小流域緊急プロジェクト概算工事費集計	50
表R 54	優先小流域緊急プロジェクト概算事業費集計	50
表R 55	緊急プロジェクト全体の経済評価	52
表R 56	緊急プロジェクトの感度分析結果	52
表R 57	事業の環境影響と提案された主要な環境対策	56

図一覧

図R 1	小江流域の年間土砂収支模式図.....	4
図R 2	小江流域の土砂災害・自然環境劣化の悪循環.....	5
図R 3	基本計画のコンセプト.....	6
図R 4	天井川および堤防倒壊概念図.....	13
図R 5	局地レーダ雨量計を利用した予警報システムでのデータ・情報の流れ	15
図R 6	基本計画実施工程	17
図R 7	基本計画実施体制	18
図R 8	『砂防えん堤＋流路工』と『導流工＋流入部床固め』.....	22
図R 9	予警報システム全体構成図.....	44
図R 10	予警報システム全体構成図.....	46

基本計画編

1. 序

1.1 調査の目的

調査の目的は以下のとおりである：

- (1) 日本側は、中国側と協力して、小江流域の土砂災害対策及び自然環境修復計画に関わる基本計画の策定と緊急プロジェクトのフィージビリティ調査を行い、小江流域の土砂災害対策及び自然環境修復計画を取りまとめる。
- (2) 日本側は、本調査の期間中、調査に参加する中国側専門家に対し、現地調査業務を通じ、砂防に関する技術移転を行う。

1.2 調査の上位目標

上記目的を達成し、到達を目指す上位目標は、小江流域の中・長期的な土砂災害が軽減され、自然環境が改善されることである。

1.3 調査対象地域

調査対象流域は小江の全流域、及び以下の優先度の高い4地域である。

- (1) 深沟（深溝）、石羊沟（石羊溝）の2流域を含む昆明市东川区市街地域（祝国寺沟（祝国寺溝）は深沟流域に含まれる）
- (2) 乌龙河（烏龍河）流域
- (3) 豆腐沟（豆腐溝）流域
- (4) 桃家小河流域

2. 小江流域の現状

2.1 社会経済状況

小江流域 3,058km² は昆明市に属する东川区、寻甸県および曲靖市に属する会泽県より構成される。このうち东川区は1,462km² (48%)、寻甸県は1,002km² (33%)、会泽県は594km² (19%)を占める。流域内人口は約47万人と推定され、东川区では彝族、寻甸県と会泽県では回族などの少数民族が多く、东川区では人口の6.5%、寻甸県は21.7%、会泽県は5.0%を少数民族が占める。

小江流域では古来銅の採掘が盛んで鉱業が基幹産業であったが、近年銅鉱は衰退し、現在では農業が基幹産業となっている。しかし地形条件が厳しい上、地すべり・土石流・干ばつ等の自然災害が多いため、農業の生産性は低い。3区県における農民一人当たりの平均年収は1,200元（約15,000日本円）程度に過ぎず、貧困対策が大きな課題となっている。

2.2 自然環境状況

小江は云南省北東部の魚味后山（標高2,975m）を源流とし、南北に走る小江断層沿いに北流し、標高695mで金沙江（長江の上流部）に合流する流域面積約3,058km²、流路長138.2kmの河川である。東西の分水嶺には標高4,000m級の山々が連なり、比高差が

3,000m以上となる支川もある。とくに中下流部では起伏量、起伏量比とも大きな支川が多く、断層による破砕や風化を受けた斜面には地すべり、崩壊、ガリーが発達し、土石流の発生が顕著である。

小江断層は中国における大地震発生地帯のひとつとなっており、1966年2月5日にはマグニチュード6.5の地震が発生した。その後も、今日までの約40年間でマグニチュード4以上の地震が計12回も小江流域周辺に起こっている。このような頻発する地震も小江流域の荒廃の一因となっている。

小江流域は熱帯モンスーン気候の影響を受け、雨季(5月から10月)と乾季(11月から4月)が明瞭となっている。年間降水量は約800mm程度である。

また鉱山活動や農地化などによる長い間の森林伐採により、小江流域には植生の乏しい地域が広く分布しており、流域の荒廃や自然環境悪化の原因の1つとなっている。

2.3 災害記録

小江流域では以上の厳しい自然状況から土石流や地すべりなどの土砂災害が頻発している。60年代以降の記録に表れた被害だけでも、死者は累計66人、家屋被害約1,700軒、農地被害は50千畝(約3,300ha)、直接損失は時価で1億元に達している。この他に主な間接被害として東川区での道路や東川支線鉄道の被災による交通遮断が挙げられ、小江流域のほぼ中心に位置する新村(東川)は災害による交通遮断によって度々孤立状態に陥ったようである。

代表的土砂災害現象としては、土石流と地すべり(表層崩壊やがけ崩れのような小規模な崩壊現象も含む)が挙げられる。一方、災害現象が発生した場所から離れたところで被害を受けるものがある。例えば、蔣家沟や大白泥沟、小白泥沟の土石流が小江や大白河を閉塞させ、その上流区間に洪水被害を引き起こしている。また経年的な小江への土砂堆積による堰、道路、橋梁など構造物の埋没・比高差の減少や天井川化そして洪水氾濫、さらに下流の金沙江への土砂流出などもこれに相当する。

3. 土砂災害対策および自然環境修復に係わる現状

上記のような状況の下、中国政府は土砂災害対策および自然環境修復の努力を続けている。しかし財源不足などによりその効果はごく一部に限られており、今後の推進、展開が求められている。

3.1 施設対策

流域内での本格的土石流対策は1960年代から開始されている。3区県水務局や国土資源局などが、流域内23支川に対し、約3千万元(約4億日本円)かけて、砂防えん堤、床固工、谷止工、流路工の構造物対策や造林、退耕還林、封山育林等の生物的対策と合わせた総合対策を実施している。しかし予算が限られていること、造林・退耕還林等の生物的対策を重視していることなどから、流域の大きさ、荒廃度からみると、構造物対策の絶対量は圧倒的に不足しているものと考えられる。

3区県林業局は長江中流・上流保護林プロジェクト、天然林保護プロジェクト、退耕還林プロジェクトなどの国家プロジェクトを中心に造林を実施している。このような造林事業を通じて、例えば東川区で1990年当時の森林被覆率14.6%から2001年時点では31.9%まで回復したようである。今後の課題として、安定した資金の確保、厳しい自然条件(乾熱河谷や高標高地域)での造林技術の開発、住民の協力などが上げられている。

3.2 非施設対策

小江流域の災害警戒体制には、地すべりや土石流災害を主な対象とした群測群防と呼ばれる住民主体の監視活動と洪水を対象とした水防活動の2系統あるが、観測・予測精度の向上、群測群防の強化などが課題となっている。中国政府は、住民移転を土砂災害対策の大きな柱の一つと位置づけ、積極的に移転事業を推進しているが、移転費用や移転先の土地確保が難しくなっている。また水土保持法や森林法などに基づく流域管理については、深刻な影響を与える悪質な建設作業、採石、採砂、採鉱活動はほとんど姿を消したとのことであるが、一方で小規模な個人的な活動の取り締まりは難しいようである。

4. 基礎解析

4.1 水文・水理解析

小江流域内に計7箇所の自記雨量計と6箇所に水位標尺を設置し、雨量、水位、流量、流砂量観測を実施した。その観測結果や気象局の降雨資料などを基に、降雨解析、流出解析を行い、降雨特性、流出特性の検討を行うとともに確率規模毎の基本高水流量を算定した。さらに本調査で実施した河川測量結果を用いて現況河道の流下能力を算定した結果、2年確率流量も流せない区間が小江中流などにあることが判明した。

4.2 地形/地被判読

1974年作成の1/50,000地形図、1979年12月撮影の1/28,000航空写真、2004年3月撮影のSPOT衛星写真(解像度2.5m)を用いて地形/地被判読し、谷次数区分図、地形分類図、崩壊地推移・河床変動状況図、地被状況図などを作成した。これらの図面をGIS化し、生産土砂量算定、土石流危険溪流検討、ハザードマップ作成に利用している。

判読結果に基づき、小江流域全域3,058km²に関する谷次数延長、崩壊地面積率および地被別面積率を集計すると以下ようになる。小江の谷次数は7次であり、0次谷を含む谷の総延長は1万kmにも達する。また近年の土石流対策事業などにより、崩壊地は若干減少しているようではあるが、それでも流域の2.4%(74km²)が未だに崩壊地となっている。また林地は全流域面積の1/4程度に過ぎない。

表 R 1 地形/地被判読結果(小江流域全域)

谷次数別延長 (km)			崩壊地面積率 (%)			地被別面積率 (%)		
0次谷	1~7次谷	合計	1979年	2004年	増減	荒山草地	耕地	林地
6,159.6	4,517.3	10,676.9	2.6	2.4	-0.2	24	38	26

4.3 実績土砂収支検討

谷次数区分、小流域主流路縦断勾配、崩壊地推移、河床変動状況、地被状況、現地調査結果等の流域特性データを用いて年平均生産土砂量および河道堆積土砂量を算出し、土砂の生産・移動現象を各小流域から小江本川へ、小江本川から金沙江へと流出土砂の移動経路に沿って、次図のように追跡した。すなわち、小江流域全体の生産土砂量は42百万tf/年であり、そのうち23百万tf/年が河道内に堆積し、残りの19百万tf/年が金沙江へ流出する。

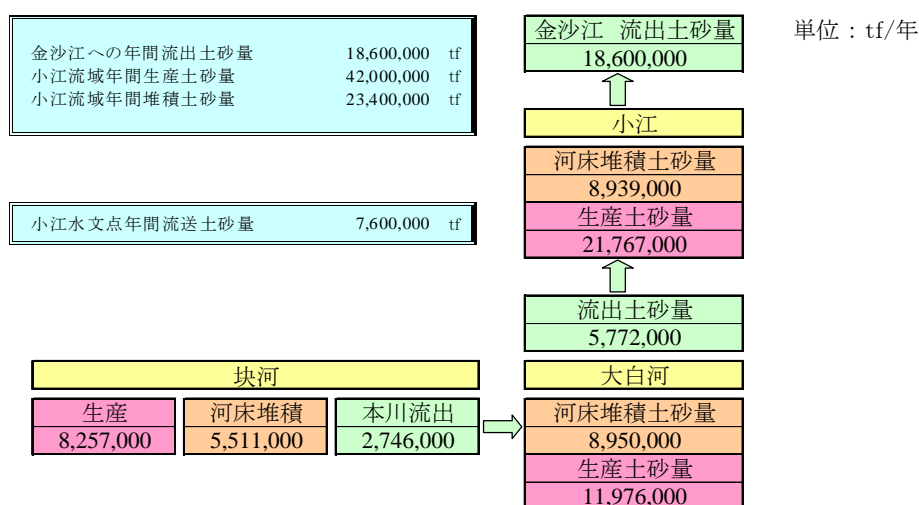


図 R 1 小江流域の年間土砂収支模式図

4.3 住民意識調査・ワークショップの開催

桃家小河、黒水沟、乌龙河、豆腐沟、大桥河、东川市街地域（深沟、石羊沟）の5流域に対して、各流域25戸ずつ、聞き取り調査を実施した。また住民が抱えている問題やニーズを把握するために东川市街地流域（深沟、石羊沟）、豆腐沟下流域三家村、豆腐沟中上流域の3箇所においてPCMワークショップを行った。

その結果、ほとんどの住民が土石流や地すべりに被災、またはその脅威を受けていること、一方で住民の多様性、地域による多様性が認められ、計画作り・事業の実施にあたって住民を参加させる方策が必要であることなどが明らかになった。

5. 基本計画作成方針

5.1 土砂災害対策及び自然環境修復基本計画の必要性

現地調査、情報収集、基礎解析などを通じて、小江流域は厳しい自然条件の下、以下に示すような「流域の荒廃」→「災害の発生・生態環境の悪化・水土流失」→「災害による損失・地域経済の停滞」→「森林破壊・無秩序な採鉱・道路開発」→「流域の荒廃」という土砂災害・自然環境劣化の悪循環を繰り返している実態が明らかになってきた。この様な悪循環に対し、現地政府は様々な施設対策・非施設対策を実施しているが、その実施状況は圧倒的な流域の荒廃、大規模な災害、極限的な貧困状況に対して微々たるものに過ぎず、問題の解決には程遠い。この悪循環はさらに下流域にダム貯水池の堆砂、河床上昇などの悪影響をも引き起こしている。

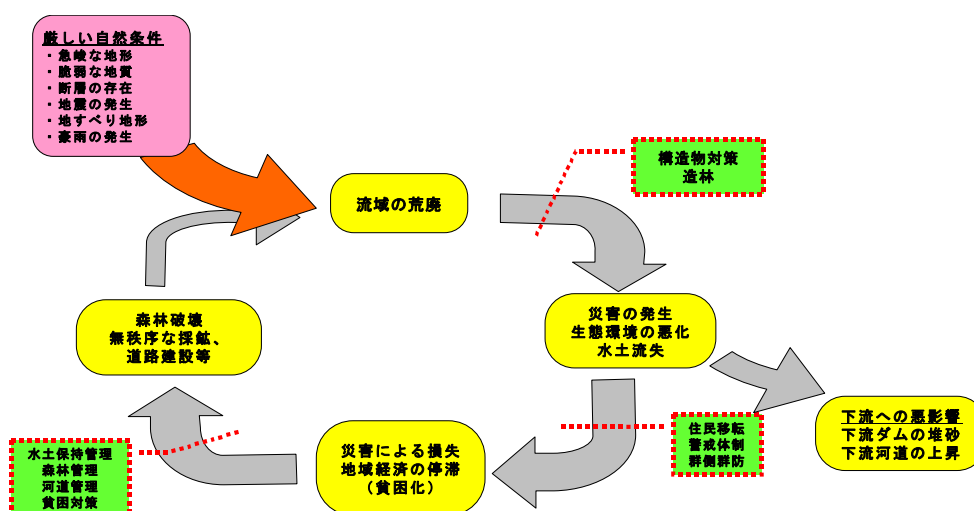


図 R 2 小江流域の土砂災害・自然環境劣化の悪循環

小江流域は云南省にとっても長江（金沙江）流域にとっても、荒廃の激しい特別な地域となっている。云南省水利庁が作成した水土流失現況図を見ると、云南省の中でとくに小江流域部分に強度侵食～劇烈侵食判定地域が集中している様子が理解される。また金沙江（長江）にとっても小江は重要な土砂供給源となっていることが金沙江屏山水文観測点での流出土砂量データから判明した。

上記の悪循環を断つためには、あらゆる局面において抜本的対策を施す必要がある。しかし人間の力のとうてい及ばない、余りにも厳しい自然条件のため、完全なる解決は、財政的のも技術的にも難しい。したがって限られた投入で、最大の効果を上げるためには、技術、費用、人的資源等を総合的かつ合理的に配分することが重要である。「小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」は、そのような総合的かつ合理的に投入を実施するための指針となるべきものである。

小江流域における土砂災害対策及び自然環境修復については国家政策と合致するところであり、また住民意識調査やワークショップを通じて住民の期待が大きいことが明らかにってきている。

5.2 基本計画作成のための基礎条件

小江流域の土砂災害対策および自然環境修復基本計画の目標年次は、2003年11月12日、日本国独立行政法人国際協力機構と中国云南省水利庁とで交わされた協議議事録に記されているとおり、2020年とする。

基本計画の開発レベルとしては、経済性や財政能力などに配慮しつつ技術的に許される最大限の開発レベルを想定することとする。具体的には、後述するように基本計画の中心となる、土石流、洪水対策では中国での基準に応じた計画規模を採用し、水系砂防対策では可能な限りの広域の地域で造林、山腹工、棚畑化を実施する方針とする。そしてその妥当性について、経済性、財政能力、技術、環境・社会配慮の面から「7.5 事業評価」において検証する。

5.3 基本計画のコンセプト

基本計画のコンセプト設定にあたり、まず小江流域の土砂災害対策及び自然環境修復のあるべき姿を想定してみると、「小江流域の土砂災害を防止して自然環境の修復を図り、かつ下流の金沙江・長江へ土砂流出を削減すること」が上げられる。当然、そのあるべき姿に向かって基本計画のコンセプトは構成されるべきであるが、流域の荒廃がひどく、あまりに膨大な生産土砂量のため、本川河床上昇を解消することは不可能であり、本川の治水対策は河床上昇を前提とせざるを得ないなどの技術上・財政上の限界・制約がある。以上のような技術的、財政的、経済的な限界・制約をも考慮した上で、現実的に妥当と思われる全ての対策を取り込むこととし、「小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」のコンセプトを以下のように設定する。

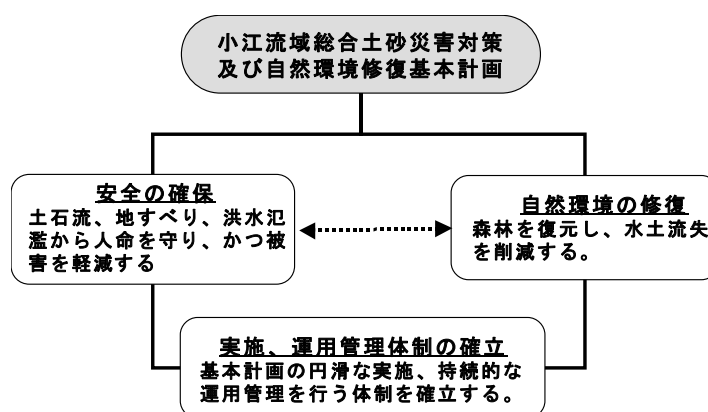


図 R 3 基本計画のコンセプト

まず本調査の目的の趣旨に則って、「安全の確保」と「自然環境の修復」を、基本計画の支柱となる2つのコンセプトとして掲げる。この2つのコンセプトは互いに補完しあう関係にあり、「安全の確保」の対策を実施することによって「自然環境に修復」にも寄与することにもなり、その逆も云える。そして2つの柱の実現と持続的発展を支えるために、もう一つのコンセプト、「実施・運用管理体制の確立」を加える。

これら個々のコンセプトの具体的な中身は以下のとおりである。

1) 安全の確保

土石流、地すべり、洪水氾濫から人命を守り、資産の被害を軽減することである。取り得る対策案は、災害の種類に応じて下表のようになる。地すべりに対しては、前述したような技術的限界から、非施設対策で対応する。非施設対策は洪水予警報システム整備、群測群防の強化、ハザードマップの整備・活用などを主体とし、人命保護を第1目標とする。

表 R 2 安全の確保のための対策案

災害の種類	施設対策	非施設対策
土石流	重要溪流での土石流対策工	洪水予警報システムの整備 群測群防の強化 ハザードマップの整備・活用
地すべり（がけ崩れを含む）	適用せず	洪水予警報システムの整備 群測群防の強化 ハザードマップの整備・活用
本川河川氾濫	河床上昇を前提にした洪水対策工	洪水予警報システムの整備 ハザードマップの整備・活用 河道管理の強化

2) 自然環境の修復

森林を復元して、水土流失を削減する。自然環境の修復には森林の回復が不可欠であることから、造林を主体とする対策を実施する。また造林に加え、傾斜農地には退耕還林あるいは棚畑化、また崩壊地には山腹工などの水土保持対策を実施して、生産土砂の削減を図る。この自然環境の修復対策の検討に際して、水系全体の土砂収支に着目し、「水系砂防」の観点から検討を行う。

非施設対策については、流域や森林を保全する管理を強化するとともに、貧困対策の一つとして副産物利用を行い、住民の収入増、生活改善を図り、住民の流域・森林破壊の自粛を促す。

表 R 3 自然環境修復(水系砂防)のための対策案

対策の種類		内容
施設対策	構造物対策	崩壊地に山腹基礎工の実施 急傾斜農地の棚畑化
	生物的対策	植林可能地全てに造林の実施(退耕還林を含む) 崩壊地、ガリーに山腹緑化工
非施設対策		水土保持、森林保護管理の強化 副産物利用による貧困対策の実施

3) 実施・運用管理体制の確立

基本計画の円滑な実施と持続的な運用管理のための体制を確立する。現状では云南省の中で小江流域の管理を担当する専門部署はなく、小江流域は行政的に3区県に分かれ、さらに水務局、林業局、土地資源局が独自に関連事業を進めている状況である。基本計画は、従来の事業に比べ、規模、多様性、総合性のいずれの面からも桁違いに大きいものであり、既存の組織がそのままに、この基本計画を実施、運用管理していけるものではない。したがって小江流域の確実な実施と持続的な発展を担保するためには実施・運用管理組織の確立は重要な課題となっている。

5.4 110小流域のインベントリーの作成と代表流域の特性

土石流対策および水系砂防などの施設対策検討を効率的に進めるため、『代表小流域をいくつか選定し、それらについて重点的に検討を行って基本計画案をまとめ、その検討から得られる知見をさらに他の流域に展開・拡張することで小江流域全体の基本計画とする』、という段階的な方法を採用する。

そこでまず、小江流域を110の小流域に分割し、分割した小流域について、前章までの情報収集、解析検討結果をもとに、社会、地形、土砂量関係、過去の災害記録等について、各小流域ごとに小流域インベントリーを作成した。また優先小流域(豆腐沟、乌龙河、东川市街地(深沟、石羊沟等)、桃家小河)が110小流域を概ね代表しうることを確認し、この4優先小流域を代表流域とする。

1) 土石流対策

土石流対策では、110小流域内における全ての1次谷の河川・溪流から保全すべき資産を持つ土石流溪流を計106本の溪流を抽出し、それらを土石流対策検討対象溪

流として対策案を検討する。計画土砂量は1洪水における土砂量を原則として用いる。また計画規模としては、小江流域での慣例に従って新村鎮、碧谷鎮の市街地（深沟、石羊沟、田坝干沟）では100年確率、その他の地域では20年確率を採用する。

2) 水系砂防

水系砂防では小江流域全体を対象とし、本川、支川の河床上昇や下流の金沙江、長江への土砂流出の抑制を図る方策について検討する。したがって土砂量としてはより長期間の年平均土砂量を扱うことになる。「4.3 実績土砂収支検討」での土砂生産・流出量を基本データとする。

6. 代表流域での施設案の検討

6.1 土石流に対する施設対策の検討

代表流域（豆腐沟、乌龙河、东川区市街地、桃家小河の各流域）の計14本の土石流溪流に対して施設対策の検討を行った。

1) 代替案の選定

土石流対策の代替案としては以下のものが考えられるが、荒廃の著しい小江流域で土石流発生抑制および土石流貯留対策は非効率かつ不経済である。一方砂防えん堤を中心とした土石流抑制・調節対策や導流工建設による流下対策は従来から小江流域で採用されてきた対策で、数が圧倒的に不足しているもののそれなりの成果を上げてきており実用的な対策と言える。以上から検討する代替案としては、『土石流調節を目的とした砂防えん堤』及び『土石流を安全に流下させることを目的とした導流工』を採用した。

表 R 4 代替案として適用が考えられる対策

分類	内容	構造物対策	生物的対策
土石流発生抑制対策	土石流発生域において土石流の発生を抑制する施設対策	砂防えん堤、床固工、護岸工、溪流保全工	山腹工、造林
土石流貯留対策	土砂流下区間において土石流を貯留する施設対策	遊砂地工、砂防えん堤（貯砂）	—
土石流抑制・調節対策	土砂流下区間において土石流を抑制・調節する施設対策	砂防えん堤（抑制・調節）	—
土石流流下対策	土石流流下区間および堆積区間において、土石流ピーク流量を安全に流下させる施設対策	導流工	—

a) 砂防えん堤

また砂防えん堤の型式に関して、上流域においては捕捉効果が大きい透過型砂防えん堤を配置し、基準点、補助基準点直上流など近傍に重要な保全対象が控えている箇所については機能が安定し実績のある不透過型砂防えん堤を配置するものとする。最下流の砂防えん堤の下流には後続流を無害に流下させるため、また、河床低下を防止するために流路工を設置する。

b) 導流工

導流工は発生した土石流を氾濫させることなく、無害なところまで速やかに流下させる方法である。導流工の流入部には、河道を固定し土石流を滑らかに導流工に導くために床固め工を設置する。

導流工は砂防えん堤に比べ、廉価であるが、土石流の流下を許容することになるため、発生時に導流工内およびその周辺から確実に人々を避難させておく必要がある。このことから、導流工採用にあたっては、経済分析のみでなく下流の状況、特に人家の有無、規模等に配慮する必要がある。

2) 最適案の検討

代替案として代替案 1:砂防えん堤+流路工と代替案 2:導流工+流入部床固め工の施設を上げ、費用、経済性などを比較検討した。

この計算結果によれば、代替案 2 は代替案 1 に比べて工事費は安くなっており、経済指標の値も高いものになっている。すなわちこの経済評価だけ見た場合、代替案 2 は代替案 1 よりも有利となる。しかしこれは代替案 1 と代替案 2 の便益を同額としたことの結果であるが、実際には便益算定に反映されなかった便益の差が両者にはある。例えば、代替案 2 は土石流の流下を容認することになるため、発生時に人が導流工に入っていた場合、被災する恐れがある。また轟音を立てながら流下することになるため、恐怖感を近隣住民に与えることになる。

このことから、人家が 100 件以上ある場合、および人家が 100 軒以下でも B/C が 1 以上である場合に限り、基準点下流への計画流出土砂量を 0 m³ と設定している代替案 1 を採用するものとする。

表 R 5 代表流域の土石流対策最適案

支川流域	基準点	流域面積 (km ²)	えん堤 基数	流路工延長 (m)	導流工延長 (m)	工事費 (千元)	費用便益 B/C	
豆腐沟	1	12.7	-	-	4,500	13,150	1.37	
	2	1.9	-	-	1,100	2,160	3.01	
烏龍河	1	4.5	2	1,300	-	3,250	1.03	
	2	1.8	3	2,000	-	4,480	1.11	
	3	3.9	4	2,000	-	5,770	1.01	
	4	2.1	3	1,300	-	3,580	1.06	
	5	0.5	-	-	1,100	1,180	1.20	
	6	0.7	2	1,500	-	2,000	1.57	
东川市街地	深沟	1	24.2	3	3,900	-	11,080	3.32
		2	2.8	4	3,700	-	8,370	1.44
		3	0.9	3	1,600	-	4,790	3.48
	石羊沟	1	7.3	4	3,700	-	9,610	2.33
		2	1.8	3	3,700	-	7,220	2.97
桃家小河	1	72.6	-	-	4,000	11,750	1.01	
計		137.7	31	24,700	10,700	88,390	1.90	

6.2 水系砂防施設対策の検討

代表流域（豆腐沟、烏龍河、东川区市街地、桃家小河の各流域）を対象に、自然環境修復に配慮し、生産・流出土砂量の削減を目的とした水系砂防対策を検討する。

1) 施設対策の方針

崩壊地面積率が2%以上、また、流域の3割近くが緑のほとんどない荒山草地に分類されるなど小江流域は激しく荒廃している。42,000,000 tfにも達する年間生産土砂量は、溪流を埋め農地を飲み込む。また小江本川においては年間河床上昇量が1m近くになる箇所がある。このように荒廃の進んだ流域で水系砂防施設対策に望まれることは、豊かな自然環境・生態系を回復するために流域の荒廃を止め自然の治癒力を回復させることである。

以上の観点から、現状の問題に対処する生産土砂発生抑制対策として、①荒山草地造林、②急傾斜耕地造林（退耕還林）、③崩壊地に対する山腹工、④0次谷（ガリー含む）に対する山腹工、⑤傾斜農地の棚畑化について検討を行う。合わせて、自然条件に合った樹種の選定についても検討を加えた。

2) 施設対策の対象面積

a) 荒山草地に対する造林

林業用地として適さない標高3000m以上及び傾斜45度以上の土地を除いた荒山草地面積を基本とし、土地資源局・林業局等が公表している林業用地面積を参考として造林可能と思われる荒山草地面積を算出した。

b) 急傾斜農地に対する造林（退耕還林）

急傾斜農地のうち25度を越える農地については、水土保持・土砂流出上対策が必要ということで従来から退耕還林の対象地域として国家プロジェクトが進められている。ここでは、村々での土地利用状況、生活環境等を考慮し25度を越える傾斜農地の75%について造林（退耕還林）を進めることとし、残り25%は農地として残すこととした。

c) 崩壊地に対する山腹工

崩壊地の拡大による土砂生産を抑制するために、崩壊地について土留工等の崩壊面安定工を施したうえで造林緑化を行う。この山腹工対象としては、傾斜45度以内、標高3000m以下の斜面に存在する崩壊地面積の50%とした。

d) ガリーを含む0次谷に対する山腹工

小江流域全体の0次谷（ガリー含む）は総延長6,000kmに及んでおり、大きな土砂生産源の一つとなっている。この侵食抑制対策として流域内の0次谷の50%について山腹工を行うものとした。

e) 傾斜農地の棚畑（田）化

一般に斜面の勾配が15～18度を超えると表流水による土壌浸食の度合いが急激に強くなると言われている。ここでは、15～25度の傾斜農地に対して切土盛土、石積みを組合せて農地の水平化（棚畑化）を図る。地被状況図、傾斜区分図から導いた傾斜耕地面積の50%を対象とした。

3) 施設対策の規模と生産土砂抑制効果

水系砂防として下記の対策規模を提案した。これらの対策は、表面侵食エネルギー軽減効果により表面侵食土砂量を抑制する。また、森林の斜面崩壊防止、山腹工の拡大崩壊防止についても流域のデータ分析の結果、効果があるという結論を得た。これらの検討結果に基づき、代表流域における水系砂防対策の年間生産土砂抑制量は1,267,800 tf/年で、現況の代表流域の生産土砂量 3,285,000 tf/年の約 39%に相当する。

表 R 6 水系砂防対策による年間生産土砂抑制量

対策	対策規模	表面侵食抑制量 (tf/年)	新規崩壊抑制量 (tf/年)	拡大崩壊抑制量 (tf/年)	計 (tf/年)
荒山草地造林	46,614,000 m ²	216,200	149,200	-	365,400
耕地造林 (退耕還林)	15,202,000 m ²	182,100	-	-	182,100
山腹工 (崩壊地)	3,129,000 m ²	62,400	-	344,200	406,600
山腹工 (0次谷)	280,000 m	190,200	-	-	190,200
傾斜農地棚畑化	20,665,000 m ²	123,500	-	-	123,500
合計	-	774,400	149,200	344,200	1,267,800

4) 水系砂防施設対策の工事費と経済性評価

水系砂防施設対策の工事費を下表に示す。また、生産土砂抑制効果、保水効果等の便益を用いて、費用便益比較を行った結果をあわせて示す。この表に示す通りいずれの流域においても割引率8%を適用した場合のB/Cは1を越えており、自然環境・生態系回復のための事業は経済的にも充分成り立つと言える。

表 R 7 代表流域水系砂防対策の工事費及び経済評価検討結果

事業	工事費 (千元)	経済費用		便益		内部 収益率 (%)	純経済 価値 NPV (B-C)	便益 費用 比率 B/C
		単純合計 (千元)	現在価値 (千元)	合計 (千元)	現在価値 (千元)			
1. 豆腐沟	11,085	9,856	7,347	52,316	8,595	9.19	1,248	1.17
2. 乌龙河	77,306	68,733	51,240	323,879	54,679	8.49	3,439	1.07
3. 东川市街地	19,983	17,767	13,245	93,601	15,432	9.16	2,186	1.17
4. 桃家小河	40,828	36,300	27,062	172,404	27,955	8.23	893	1.03
代表流域全体	149,202	132,655	98,895	642,201	106,661	8.57	7,767	1.08

注) 現在価値の基準年は 2005 年、割引率は 8%。

5) 水系砂防対策実施上の留意事項

水系砂防を実施する上でとくに退耕還林や傾斜農地の棚畑(田)化については、農民の生活手段である農地に係わる事業であるため、住民参加・住民合意のもとでの実施が不可欠である。

7. 小江流域基本計画の作成

7.1 施設対策の代表流域から小江流域全体への展開

前章での代表流域について検討した施設対策を残る 105 小流域に拡大・展開することによって、小江流域全体の施設対策基本計画を作成する。

1) 土石流対策

代表流域と同様な方針により、残る 102 本の土石流溪流に対する対策工を決定した。純経済価値(NPV)が大きく費用対効果の高い順に、また、土石流氾濫域に人家存在し、緊急性の高い溪流から事業を進めていくこととし、3つのグループに分けている。

代表流域以外の土石流対策最適案概要は下記のとおりである。

表 R 8 代表流域の土石流対策最適案

グループ	主な小流域名	流域 面積 (km ²)	溪流 数	えん堤 基数	流路工 延長 (m)	導流工 延長 (m)	工事費 (千元)
1	盐水沟、田坝干沟、黑水河、阿旺小河、大桥河、老干沟、沙湾大沟、安乐沟、花沟等	455.6	49	69	23,600	22,500	161,210
2	大白泥沟、牛坪子、小白泥沟、幸福村沟、达朵沟、老村沟、小石洞沟、达德河、许家小河、老干沟、腊利河、太平村沟等	383.8	35	0	0	42,400	121,130
3	泥浆沟、小河箐沟、蒋家沟、黄水箐、尖山沟等	412.1	8	0	0	26,750	123,710
計	-	1,251.5	92	69	23,600	91,650	406,050

2) 水系砂防

代表流域と同様にして、以下のように造林、山腹工、棚畑（田）化を実施することとする。

表 R 9 造林及び山腹緑化工の対象面積

地被分類	対策	面積算定	対象面積 (km ²)	
荒山草地	造林のみ	各区・県の林業局提示による面積を対象	430	
耕地	造林のみ	耕地のうち25度以上の面積の75%を対象	104	
崩壊地	荒山草地	造林+山腹緑化工	荒山草地内にある崩壊地の50%を対象	19
	耕地	同上	耕地内にある崩壊地の50%を対象	6
	林地	同上	林地内にある崩壊地の50%を対象	6
ガリー侵食地	山腹緑化工		3 km	
傾斜農地棚畑化			182	

注) 対象面積は代表流域をも含めた小江全流域

小江全流域に対する水系砂防の総工事費は 13.7 億円である。また経済効果は B/C で 1.08（割引率 8%）と、十分経済的に投資可能な数字となっている。

7.2 小江本川の治水計画

1) 将来も続く河床上昇と計画的転流の必要性

小江、大白河、埡河の計 110km の区間において約 23km² (34,000 畝) もの河川敷が主に水田として利用されている。これらの農地を洪水から守るために、石積み堤防が水務局、土地資源局、郷鎮政府あるいは農民自身によって建設されているが、荒廃した流域から流出した土砂による堆積のため流下能力は小さく、洪水、土砂被害を度々受けている。

河床変動計算によると、7.1 で提案した水系砂防対策を施しても河床上昇を抑えることは難しく、今後も平均 20~30cm/年、河床が上がり続けると想定され、農地を洪水から守るためにはこれからも河床の上昇に合わせてその堤防を嵩上げしていかなければならない。しかし、河床上昇に伴って嵩上げを実施していくと、下図のように河床が周辺の農地よりも高くなる天井川の状態となり、土圧または水圧により石積み堤防が倒壊していくこととなり、永遠に嵩上げを実施することは物理的にも無理である

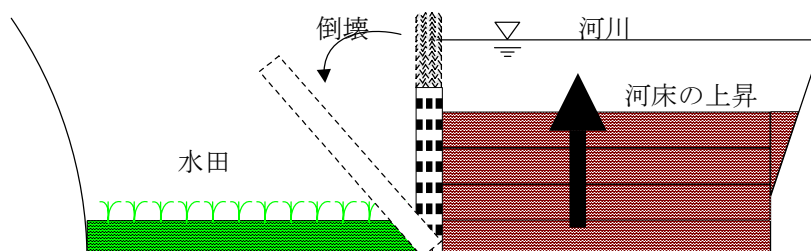


図 R 4 天井川および堤防倒壊概念図

そこで、そのような事態が生じる前に計画的に転流を実施して、農地を継続的に確保できるようにする方策が考えられる。現在の水の流路を低くなった農地の方に転換し、もともとの流路を農地として利用する方法である。従来は計画的ではなかったにしろ、結果的にこのような転流を余儀なくされてきたというのが、小江流域河川敷内の農業の歴史ではないかと想像され、それをより効率的に進めようとしたのがこの計画的転流である。

この計画的転流では、転流後の新規開発農地が3～4年使えないこと、住民にとっては農地の転換になること、河川の流路が変わることにより管轄郷鎮が変わってしまうこと等、とくに社会的に難しい面がある。しかし洪水・土砂災害を最小限に抑え、限られた土地（農地）をより有効的に使用する一方法として、以下に提案する。

2) 計画的転流を考慮した治水計画

洪水の防御対象は農地のみであること、中国の農村部での洪水防止基準が10～20年であることを勘案し、計画の治水安全度としては5、10、20年確率の3ケースを代替案として検討した。

治水計画の内容は以下の通りである。

- 流下能力不足箇所について練り石積みによる嵩上げもしくは築堤
- 毎年の河床上昇に対応した嵩上げ
- 比高差2～3mの天井川になった場合には転流する

最適案を選定するために、各代替案について工事費および被害軽減便益を計算し、費用便益比（B/C）および年超過便益（B-C）を求めた。その結果を以下に示すが、20年確率のケースが最も経済性が高く、これを最適案とする。

表 R 10 代替案検討結果

計画規模	延長(km)		工事費 (千元)		費用対効果	
	築堤・嵩上	転流用築堤	築堤・嵩上	転流用築堤	B/C	B-C(千元)
5年	76.8	23.0	57,555	22,772	1.50	35,756
10年	91.4	23.0	66,092	24,360	1.61	49,701
20年	92.1	23.0	67,611	24,754	1.73	60,010

7.3 非施設対策

1) 基本計画実施・運用管理体制の確立

非施設対策には1) 関連法規に基づく水土保持管理の強化、2) ハザードマップによる危険区域の周知、移転、避難計画への利用、3) 予警報システムの現代化、群測群防の強化などが考えられる。しかし施設対策を含めてこれら非施設対策を実際に行っていくとなると、現状の水務局などの関連組織では組織体制、財務および人的資源上に大きな制約があり、実現は困難と思われる。そこでまず、施設対策・非施設対策を合わせた基本計画の実施組織として、水利庁の管轄下に小江工程管理局（仮称）を設立し、それが中心となって非施設対策を進めていくことを提案する。この組織は土砂災害を緩和して自然環境を修復し、副産物利用を含めた小江流域の開発を目標とする。

表 R 1 1 小江工程管理局

名称	小江工程管理局（仮称）
管轄	云南省（水利庁）
行政格	処長・県長級もしくは副局長級
目的	土砂災害の軽減、自然環境の修復、地域開発（貧困対策）
役割	<ul style="list-style-type: none"> 土石流対策、環境修復、地域整備（貧困対策）の一体化推進、山・水・林・田・路の総合開発・一体化整備の実行 事業計画から資金調達、工事の実施、完成後の管理まで事業の全過程の参与 関係機関、関係自治体間の円滑な調整
業務内容	<ul style="list-style-type: none"> 開発資金・運用維持管理資金の調達管理、資金の返済 プロジェクトの計画・設計・工事管理 プロジェクト完成後の施設の管理、予警報システムの運用・管理 扇状地の開発 関係機関への技術指導・人材育成（水土保持管理、森林管理、群測群防） 扇状地の開発、副産物利用の企画、支援 水土流失モニタリング、ハザードマップの作成・更新

2) 局地レーダ雨量計を利用した予警報システム

一方、小江流域の降雨は局所的であり、従来型の地上に設置した雨量計に基づく予警報システムでは詳細な状況把握や降雨予測は難しいところがある。そこで、解決案の1つとして、日本での土砂災害の予警報システムに威力を発揮している局地レーダ雨量計や雨量テレメータ、土石流センサー等を利用し、既存の群測群防や水防体制という人材システムに融和させた予警報システム案の概要を以下のように提案する。

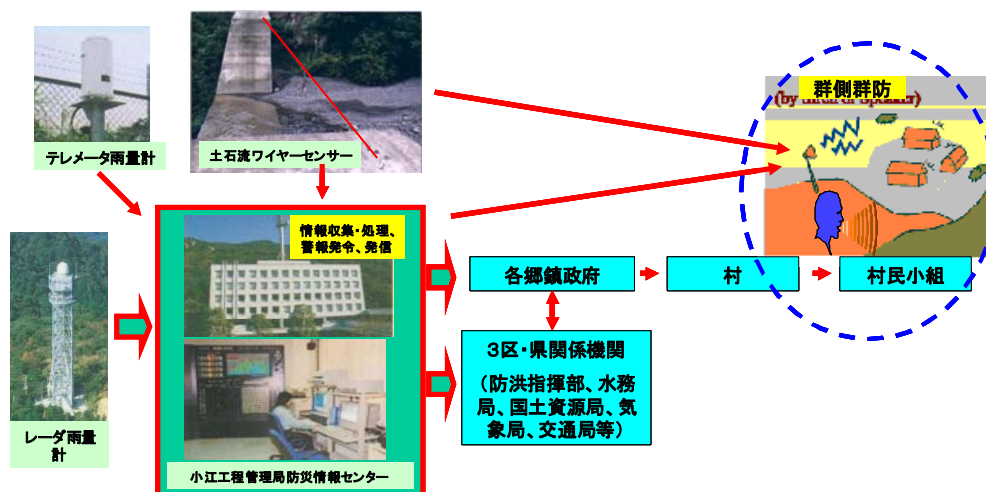


図 R 5 局地レーダ雨量計を利用した予警報システムでのデータ・情報の流れ

表 R 1 2 予警報システムの主要施設

施設	箇所数	実施段階	適用
防災情報センター	1	第1段階	小江工程管理局内
雨量テレメータ	8	第1段階	东川市街地流域に3箇所
土石流センサー	8	第1段階	东川市街地流域の土石流溪流
局地レーダ雨量計	1	第2段階	
警報局	9	第1段階	东川市街地

一方、雨量テレメータや土石流センサーについては中国国内でいくつか実績があるものの、局地レーダ雨量計は中国において全く新しい技術である。したがって、整備にあたっては先に雨量テレメータ、土石流センサー、警報局等の従来型のシステムを先ず整備し、数年後ある程度システム全体の運用に慣れた後に、局地レーダ雨量計の導入を検討する。

3) 副産物利用案

基本計画の実施により派出する利用可能な副産物としてまず第一に農地が上げられる。土石流対策により約 16,000 畝 (1,070ha) の新規農地開発が見込まれ、優先流域でも豆腐沟、乌龙河、桃家小河から合計 2,180 畝 (145ha) の開発が可能となる。

一方、堆積土砂の掘削から発生する砂利、造林により発生する樹木・葉、扇状地等農地開発から生産する農産品なども副産物として上げられる。これらの副産物を有効に利用することにより地域開発および貧困対策の一助とすることが本基本計画の課題の1つとなっている。

4) 住民参加の必要性

造林、封山育林、傾斜農地の棚畑化などの事業が行われることになる山腹斜面は多くの住民の生活場となっている。また計画的転流を考慮した本川の治水対策、群測群防、ハザードマップ作り、住民移転、副産物利用については住民自身が主人公であるべき活動・事業である。したがって彼らを疎外したような計画作り、事業の推進では、成功はとてもおぼつかない。まして基本計画の実施を担当する工程管理局は大規模組織となり、ともすれば住民の疎外することにもなりかねない。したがって、住民参加を担保する仕組みを新組織に、または他の手だてを確保する必要がある。

7.4 事業実施計画

1) 実施工程

5.1.2 に記したとおり計画目標年として 2010 年までを緊急計画、2020 年までを長期計画と位置付ける。できるだけ早く確実に事業実施効果を得るためには、小江流域で従来から行われているように、小流域毎に重点的に整備をしていく方法が望ましい。そこで中国側の意向に沿って、豆腐沟、乌龙河、東川（深沟、石羊沟）、桃家小河の4優先小流域について、土石流対策・水系土砂管理を合わせた施設対策、非施設対策から成る総合対策を他の小流域に先駆けて一括して行うこととする。概略基本計画実施工程を下図に示す。

プロジェクト	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
緊急計画															
小江工程管理局（仮称）設立プロジェクト		■	■												
優先小流域に関わるプロジェクト		■	■	■	■										
雨量テレメータを利用した予警報システムの構築		■	■												
長期計画															
優先小流域以外の小流域関連プロジェクト					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
小江本川改修プロジェクト				■	■	■	■	■							
局地レーダ雨量計を利用した予警報システムの構築					■	■									

図 R 6 基本計画実施工程

2) 概算事業費

下表に緊急計画、長期計画の概算事業費集計を示す。

表 R 13 概算事業費

プロジェクト		工事費 (円)	物価上昇 予備費 (円)	計（事業費） (円)
緊急 計画	豆腐沟土砂災害対策及び自然環境修復	26,395,000	1,842,000	28,237,000
	乌龙河土砂災害対策及び自然環境修復	97,566,000	6,811,000	104,377,000
	東川土砂災害対策及び自然環境修復	61,053,000	4,261,000	65,314,000
	桃家小河土砂災害対策及び自然環境修復	52,578,000	3,670,000	56,248,000
	雨量テレメータを利用した予警報システム	10,000,000	529,000	10,529,000
小計		247,592,000	17,113,000	264,705,000
長期 計画	小江土砂災害対策及び自然環境修復（グループ1）	381,130,000	47,452,000	428,582,000
	小江土砂災害対策及び自然環境修復（グループ2）	363,746,000	64,179,000	427,925,000
	小江土砂災害対策及び自然環境修復（グループ3）	367,998,000	87,803,000	455,801,000
	小江土砂災害対策及び自然環境修復（グループ4） （水系砂防対策のみの小流域）	518,614,000	161,966,000	680,580,000
	小江治水（本川改修）	108,664,000	13,757,000	122,421,000
	局地レーダ雨量計を利用した予警報システム	50,000,000	6,871,000	56,871,000
小計		1,790,152,000	382,028,000	2,172,180,000
計		2,037,744,000	399,141,000	2,436,885,000

3) 事業実施体制

小江流域の土砂災害対策及び自然環境修復に関わる基本計画の実施については、前述したように新しい組織、小江工程管理局（仮称）があたることとする。この工程管理局と既存組織との関係については以下のとおりである。

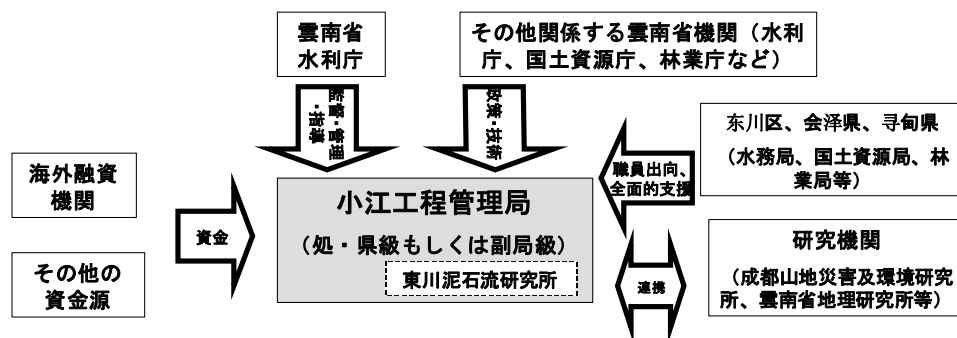


図 R 7 基本計画実施体制

7.5 事業評価

以上の基本計画について、経済性、財政負担能力（償還能力）、技術面、さらに環境・社会配慮の観点から評価を行った。

まず経済性に関しては、基本計画全体の内部収益率は9.68%、予警報システムの費用を加えても9.24%であり、中国における治水関連公共事業の機会費用8%（「漢江中下流区間洪水予警報計画調査、JICA, 1992.7」より引用）や中国の環境保全事業で予想される水準である5%内外（「中国四川省安寧河流域造林計画調査、JICA, 2002.7」より引用）を上回っており、基本計画は経済的に妥当であると判断される。

財政負担能力については、雲南省または中央政府の支援が得られるならば、基本計画の実施は財政的に可能である。基本計画では山腹工、厳しい条件下での造林技術、透過型砂防えん堤、局地レーダ雨量計などの小江流域で新しい技術を提案しているが、類似技術・経験は近隣流域もしくは中国国内に現在しており、必要な技術移転を受けることができれば十分現地に根付くことができるものであり、技術的に問題はないと判断される。また、また社会環境・自然環境面でいくつかの小さな影響が危惧されるが、計画段階から住民との協議、住民参加を確保することにより、影響の回避・軽減は十分に可能である。

以上から、基本計画は経済性、財政負担能力（償還能力）、技術面、さらに環境・社会配慮の観点から妥当であると判断される。

8. 緊急プロジェクトの選定

第2年次のフィージビリティ調査の対象となる緊急プロジェクトとして、2010年までに完成すべきプロジェクトを以下のように選定する。第2年次のフィージビリティ調査の対象となる緊急プロジェクトとして、2010年までに完成すべきプロジェクトを以下のように選定する。

表 R 1 4 2010 年まで完成予定の緊急プロジェクト案

番号	プロジェクト名 (仮称)	対象地域	プロジェクトの想定される内容	備考
1	小江工程管理局 (仮称) の設立	小江流域全体 (3,058km ²)	基本計画実施、運用組織の設立	
2-1	豆腐沟土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	豆腐沟流域 (16.0km ²)	構造物対策 (導流工 5,600m、傾斜農地の棚畑化 54ha) 生物的対策 (造林 464ha、山腹工 59ha) 非構造物対策 (ハザードマップ作成、群測群防など)	優先小流域
2-2	乌龙河土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	乌龙河流域 (134.6km ²)	構造物対策 (砂防えん堤 14 基、流路工 8,100m、導流工 1,100m、傾斜農地の棚畑化 1,223ha) 生物的対策 (造林 2056ha、山腹工 273ha) 非構造物対策 (ハザードマップ作成、群測群防など)	優先小流域
2-3	东川土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	深沟、石羊沟流域 (56.6 km ²)	構造物対策 (砂防えん堤 17 基、流路工 16,600m、傾斜農地の棚畑化 268ha) 生物的対策 (造林 825ha、山腹工 53ha など) 非構造物対策 (ハザードマップ作成、群測群防など)	優先小流域
2-4	桃家小河土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト	桃家小河流域 (72.6km ²)	構造物対策 (導流工 4,000m、傾斜農地の棚畑化 522ha) 生物的対策 (造林 1,317ha、山腹工 125ha) 非構造物対策 (ハザードマップ作成、群測群防など)	優先小流域
3	テレメータ雨量計を利用した予警報システムプロジェクト	小江流域全体 (3,058km ²)	雨量テレメータの設置 (8 箇所) 防災情報センターの設置 (1 基) 土石流センサーの設置 (东川市街地流域) 警報局の設置 (东川市街地)	

なお優先小流域緊急プロジェクトの水系砂防対策の中で検討された傾斜農地(25 度以上)のでの造林(退耕還林)については以下の理由から、F/S 調査の対象には含めない。

- この傾斜農地での造林はその農地を生活の糧としている農民の生活基盤を喪失、しいてはその地域社会の破壊に繋がりにかねないため、その実施については現地農民の生活習慣に関する基礎情報の整理から、生活補償、代替地の確保等の検討の元に、住民の参加による合意形成を図りながら慎重に進めていく必要である。
- 上記プロセスには、年単位での相当な時間を要すると考えられるのに対し、本調査で予定されている F/S 調査期間は数ヶ月であり、この短期間の間に退耕還林の妥当性の結論を出すのは、非常に困難である。
- また事業費で見れば、この退耕還林は緊急プロジェクトの全事業費のわずか 5%に過ぎず、まず退耕還林を除いた 95%の部分の妥当性を確認することが、事業を早期に始めるために重要と考えられる。

フィージビリティ調査編

1. 序

1.1 緊急プロジェクト

基本計画検討で選定した6つの緊急プロジェクトに対し、2005年5月からフィージビリティ調査を実施した。

6緊急プロジェクトのうち、プロジェクトは優先小流域（豆腐沟、乌龙河、东川市街地（深沟、石羊沟）、桃家小河流域）に関わるもので、施設対策および非施設対策を合わせて、土砂災害対策および自然環境修復を図るものである。小江工程管理局（仮称）の設立は、基本計画の実施・運用管理を行う専任組織を新たに設けようとするものである。テレメータ雨量計を利用した予警報システムプロジェクトはテレメータ雨量計を整備し、かつ东川市街地流域で土石流センサーおよび警報局の整備をしようとするものである。

1.2 優先流域の概要

緊急プロジェクトの対象となる4優先小流域の特徴を下表にまとめる。

表 R 1 5 優先小流域の概要

流域	区県郷鎮	流域面積 (km ²)	流域人口* (人)	主な土地利用	林地面積率 (%)	比生産土砂量 (tf/km ² /年)	主な災害記録
豆腐沟	东川区 拖布卡鎮	16.2	3,500 (216)	荒山草地、耕地、 林地	33	62,700	土石流、 地すべり
乌龙河	东川区 乌龙鎮、红土地鎮	132.9	24,600 (185)	耕地	37	7,100	土石流、 地すべり
东川市街地 (深沟、石羊沟)	东川区 銅都鎮	56.0	70,000 (1,250)	林地、耕地、荒山 草地	24	6,000	1964 土石流、 1997 年芦柴塘 地すべり
桃家小河	会泽県駕車郷 东川区阿旺鎮、銅 都鎮	71.0	7,000 (98)	荒山草地、耕地	39	13,700	1957 年土石流、
合計		276.1	105,100 (381)		35	11,800	

* : ()内は人口密度 (人/km²)

豆腐沟流域は最も流域面積の小さな流域であるが、荒廃が深刻な点に特徴がある。住民集落のほとんどは流域西側の傾斜の緩やかな尾根上に分布しており、东川市街地からも遠く、4優先小流域の中でも最も貧しい地域となっている。

乌龙河流域は最も大きな流域であるが、比較的穏やかな地形を反映して、比生産土砂量は最も小さくなっている。流域中流部には盆地が形成されており、農業が盛んであり、东川区の食料基地となっている。

东川市街地流域は深沟、石羊沟の流域からなる都市河川流域である。流域には8本の土石流危険溪流があり、扇状地上に開かれた市街地部に生活する約6万人の住民に脅威を与えている。

桃家小河流域は上流側を曲靖市会泽県、下流側を昆明市東川区が占め、行政的に2つの区県に跨る流域である。豆腐沟流域について比生産土砂量が大きく、流域の荒廃が進んでいる。集落は流域内に点在しており、人口密度は4優先流域中最も小さい。

2. 基礎調査・解析

2.1 小組に関するアンケート調査

フィージビリティ調査の一環として4優先小流域（豆腐沟、乌龙河、東川市街地（深沟、石羊沟）、桃家小河流域）の社会経済、防災、林業に関する基礎的な情報を収集するため、現地郷鎮政府、村民委員会の協力を得、優先小流域内の村民委員会に対し、計267の小组に関するアンケート調査を行った。これらの調査結果は、次に述べるワークショップの結果などを含め、緊急プロジェクトの基本方針作りに活用されている。

2.2 ワークショップの実施

上記アンケート調査結果の確認および追加情報の収集のため、さらには住民の抱える問題、要望を直接聞き取り、計画作りに反映させるため、2005年8月から10月にかけて防災および林業に関わる参加型ワークショップをそれぞれ10回及び9回、優先小流域で実施した。1回のワークショップでの参加者は10～50名であった。これらの調査結果は、アンケート調査結果同様に、緊急プロジェクトの基本方針作りに活用されている。

2.3 ハザードマップの作成

災害危険箇所を図示したハザードマップは、防災対策の重要なツールの一つとして、広く世界各国で使われ始めている。本調査でも、ハザードマップの作成は非施設対策の重要な柱の一つであると位置づけており、優先小流域を対象に、土石流（洪水を含む）、地すべり、急傾斜地崩壊の災害に関するハザードマップを作成を試みた。これは「3.4 非施設対策」で述べる広域ハザードマップとして使用できるものである。

表 R 16 ハザードマップ作成方法

ハザードマップ	作成方法
土石流	1/5,000 数値地形図の DEM を用いて、2 次元浅水流・不定流解析計算を適用し、100 年確率土石流の氾濫区域を推定した。
地すべり	1/20,000 空中写真を用いて地すべり地形を判読し、すべり区間をも合わせて地すべり警戒区域とした（日本のマニュアルを参考）。
急傾斜地	1/5,000 数値地形図で 30° 以上の傾斜面およびその上端および下端の崩落地を合わせて警戒地域とした（日本のマニュアルを参考）。

2.4 群測群防のための簡易観測計器の設置

云南省国土資源庁発行の群測群防に関するマニュアル『地すべり土石流の予防避難知識』では地すべりなどの簡易観測が推奨されている。しかし防災ワークショップにおいて、現状の群測群防には観測機器は一切使用されておらず、目視に頼っていることが判明した。

調査団は以上のような現状を鑑み、計器を使った簡易観測の普及の契機となるように、銅都鎮岩脚村梁子上集落（東川市街地流域）をモデル地区として、2005年11月15～16日に集落内計7箇所に地すべり簡易観測計器、1箇所に簡易雨量計を設置した。

3. 優先小流域緊急プロジェクトの基本方針

3.1 緊急プロジェクトの構成

各優先小流域の緊急プロジェクトはそれぞれ施設対策である土石流対策と水系砂防対策、そして非施設対策の3つからなる。

3.2 土石流対策

1) 土石流対策溪流と計画規模

土石流災害の危険性、市街地、集落、農地、道路等保全対象などを勘案し、豆腐沟では2溪流、乌龙河流域では6溪流、东川市街地では8溪流、桃家小河では本川1溪流を土石流対策検討溪流とした。その計画規模は、基本計画検討と同じく、土石流対策：20年確率、洪水対策：5年確率を原則とする。ただし、东川市街地の溪流（深沟、石羊沟）では、その重要度、将来の発展等を考慮し、土石流対策：100年確率、洪水対策：20年確率を計画規模とする。

2) 対策施設

ここでは、『小江全流域基本計画』で述べたとおり、流域の荒廃状況、既存施設の効果等を考慮し、下記の2種の構造物対策を代替案として検討を行う。

代替案1：土石流抑制/調節を目的とした『砂防えん堤+流路工』

代替案2：土石流を安全に流下させることを目的とした『導流工+流入部床固め』

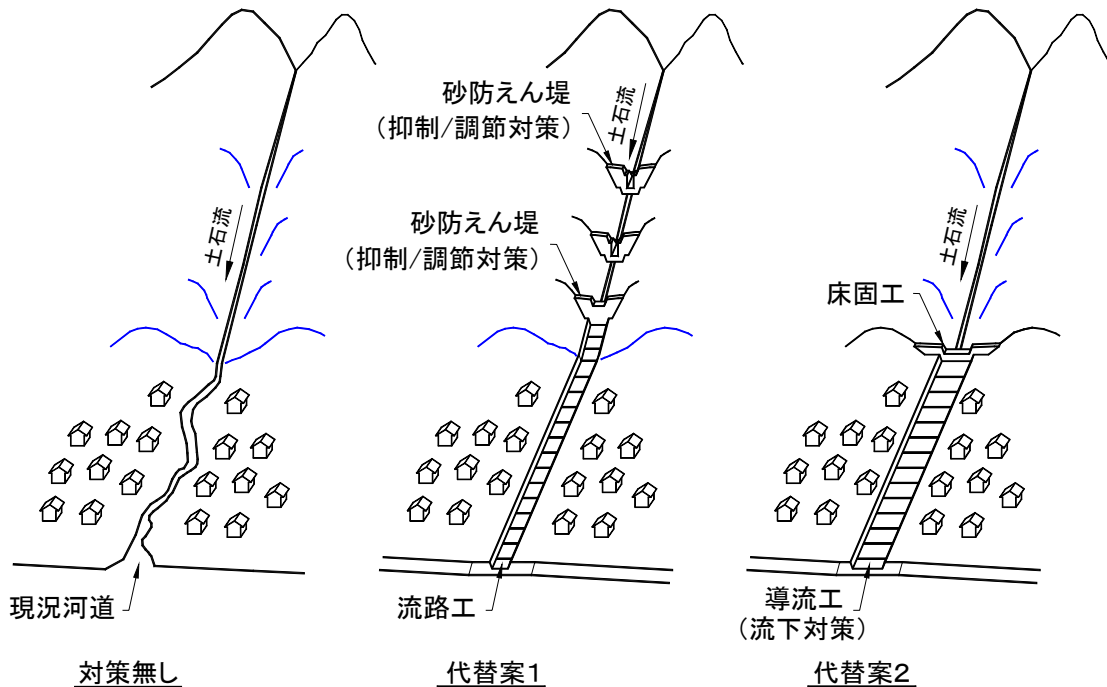


図 R 8 『砂防えん堤+流路工』 と 『導流工+流入部床固め』

表 R 1 7 土石流対策代替案の比較

代替案	特性	主な留意点
代替案1 『砂防えん堤+流路工』	砂防えん堤は、溪岸・溪床侵食の防止、流下土砂の調節、土石流の捕捉・減勢（土石流の調節）、流木の捕捉などの機能を持つ構造物である。最下流の砂防えん堤下流には後続流を無害に流下させるため、また、河床低下を防止するために流路工を設置する。	上流域においては捕捉効果が大きい透過型砂防えん堤を配置し、基準点および補助基準点直上流など下流に重要な保全対象が控えている箇所については、機能が安定し実績のある不透過型砂防えん堤を配置する。
代替案2 『導流工+流入部床固め』	導流工は発生した土石流を氾濫させることなく、無害なところまで速やかに流下させる対策方法である。	導流工は砂防えん堤に比べ廉価であるが、土石流の流下を許容することになるため、発生時に導流工内およびその周辺から確実に人々を避難させておく必要がある。

2) 便益算定

土石流対策の便益として、基本計画の検討と同様に、土石流被害軽減便益と農地開発便益を計算する。ただし、今回はより精度高く被害軽減額を推定するために、ハザードマップ作りで作成したモデルによる土石流氾濫計算結果を用いる。

表 R 1 8 被害算定項目一覧

被害の種類		対象	備考	
直接被害	家屋被害	4 優先小流域		
	家財被害	4 優先小流域		
	農地被害(水田、畑)	直接的浸水被害	4 優先小流域	
		本川閉塞浸水被害	豆腐沟、桃家小河	
	公共施設被害	一般	乌龙河、东川市街地	家屋被害の50%
		橋梁	豆腐沟、桃家小河	100年確率土石流で50%の被害
		団結渠堰	桃家小河	100年確率土石流で50%の被害
	人命被害	家屋全壊	4 優先小流域	日本の算定式採用
橋梁破壊		豆腐沟、桃家小河	1985年の老干沟の災害を参考	
間接被害	営業損失	4 優先小流域	家屋被災世帯の年収25%減	
	団結渠堰破壊による農業被害	桃家小河	100年確率土石流で10%の被害	

3.3 水系砂防対策

基本計画策定の段階で検討されたように、水系砂防対策で適用される対策として、生物的対策と構造物対策がある。生物的対策においては、荒山草地には造林、崩壊地には造林+山腹工を施す。なお標高3,000m以上、傾斜角度45度以上の荒山草地、崩壊地については現実的に造林や山腹工の設置が難しいところから生物的対策工の適用地からは除く。また構造物対策は、(1)ガリー侵食地に対する谷止め工の設置、(2)傾斜農地の棚畑(田)化の2つである。

また対象地域の選定には、本調査で作成した1/5,000数値地形図、1/20,000航空写真を判読して作成した地形分類図、土地利用図を用いる。

1) 生物的対策の基本条件

生物的対策を計画するに当たっての基本条件を下表にまとめる。

表 R 19 生物対策の基本方針

項目	基本方針
造林対象面積	土地利用図で荒山草地と判定された面積の 80%を造林対象面積とする。
山腹工対象	崩壊地と地形分類された地域を山腹工の対象地域とする。
樹種の選定	気象、水の便、標高、傾斜角度、斜面の向き、土壌、交通の便などを考慮する。
生態林、経済林、薪炭林の割合	住民からの経済林の要望が大きいが、現実的には経済林には難しい面が多々あり、林業局とも確認の上、生態林、経済林、薪炭林の割合を、東川区では 80:8:12、会澤県では 80:5:15 とする。
山腹工工法	崩壊地に対して、植栽する前に山腹工を施工する。山腹工工法として、小規模崩壊地では編柵工（木杭＋粗朶）または竹筋工（竹筋＋粗朶）、大規模崩壊地では種子の流出を防ぐためむしろ伏工をする。
造林費用の設定	造林費用は造林そのもの、および付帯施設費用からなる。造林費用は種子、苗木代、運賃、整地費用、植栽費用、農薬、養護費、肥料等からなる。付帯施設として、道路、保護員小屋の建設費用及び管理機材費用を考慮した。このほかに維持管理費用として車両・事務所機材、保護員給与、付帯施設補修費用を計上する。
便益算定	造林による便益として(1)生産土砂抑制効果、(2)温暖化ガス吸収効果、(3)保水効果、(4)経済林生産効果を計上する。(1)～(3)の効果は植樹後 8 年で、(4)の経済林生産効果は植樹後 5 年で 100%発揮されると想定する。

2) 構造物対策の基本条件

ガリー侵食対策工、傾斜農地の棚畑（田）化を計画するに当たっての基本条件は下表のとおりである。

表 R 20 構造物対策の基本方針

項目	基本方針
ガリー侵食対策対象地域	地形分類図でガリー侵食地を含む 0 次谷の 50%をガリーと考え、このうちさらに 50%をガリー侵食対策工の対象とする。
ガリー侵食対策工法	ガリー侵食対策工として石積みによる谷止め工を平均 37m に 1 基の割合で設置する。
棚畑（田）化対象地域	航空写真判読にて識別された傾斜農地のうち、1/5,000 数値地形図で傾斜角度 15°～25° の土地を対象地域とする。
棚畑（田）化工法	石積み工で法面を保護する方法を採用する。
便益算定	ガリー侵食対策工の効果として侵食防止効果、棚畑（田）化の効果として、土砂生産抑制効果と農地改良効果を計上する。

3.4 非施設対策

非施設対策としてハザードマップの作成・活用および群測群防の強化を上げ、その計画作成の基本方針を述べる。予警報システムも一つの非施設対策であるが、これについては「8. 予警報システムプロジェクト」において詳しく述べる。

1) ハザードマップの作成・活用

現在の中国でのハザードマップの取り扱いの現状やワークショップによって住民が地域のハザードマップを作成するに十分な能力を有することが判明したことから、行政が作成する広域ハザードマップおよび住民が主体となって作成する地区防災マップの 2 種類のハザードマップの作成・併用を提案する。なお「2.3 ハザード

「ドマップの作成」で作成したハザードマップは広域ハザードマップとして代用できる。

表 R 2 1 2 種類のハザードマップの利用方法

ハザードマップ	作成単位	作成者	利用者	利用目的
広域ハザードマップ	優先小流域毎	行政(小江工程管理局) 当面は調査団作成のハザードマップを活用、5年毎に見直しを行う。	行政：小江工程管理局、郷鎮政府、水務局、国土資源局、都市建設局、林業局、農業局、民生局など	<ul style="list-style-type: none"> 都市計画や土地利用計画の作成 開発事業等の審査 防災計画の立案
地区防災マップ	原則は小組毎 ただし東川市街地のような大規模扇状地は村もしくは社区毎	住民が行政(工程管理局)の指導の下に作成。5年毎に見直しを行う。	住民 行政：小江工程管理局、郷鎮政府、水務局、国土資源局、都市建設局、林業局、農業局、民生局など	<ul style="list-style-type: none"> 群測群防（警戒避難体制）の強化 住民の防災意識の向上 個々の地区での問題の把握 群測群防（警戒避難体制）への支援 移転事業計画立案

2) 群測群防（警戒避難体制）の強化

中国の土砂災害に対する警戒避難体制は、小組程度を基本単位とした住民が主体となった群測群防という防災活動が基本となっている。2004年から施行された地質災害防除条例でも、この群測群防の強化が、土砂災害地域の県、郷、村の責務として掲げられている。しかし実際に行政の支援・指導があるのは重点地区（危険地区）として選定された地区のみで、またその重点地区でもワークショップの結果では、資金不足や経験不足などの理由から政府の支援は充分でなく、住民の自発的な活動に頼るところが多く低調である。そこで以下のような群測群防強化支援策を提案する。

表 R 2 2 群測群防の問題点と強化のための支援策

項目	問題点	強化支援策
対象地区	ほとんど全ての地区で土砂災害の恐れがあるが、現状の対象地区は重点地区のみ。	ハザードマップに基づいた対象地区の拡大
監視員（責任者）	監視員は小組長か村民委の役員（多くは1名）。無報酬。責任と権限が不明確	増員（最低2名） 報酬の供与、責任と権限の明確化 監視員の判断で避難勧告の発令を可とする
監視活動	計器の供与なし、目視による観測のみ 用具（雨具、懐中電灯）なし	計器の設置 用具の供与
情報伝達	監視員が携帯電話を持っていない地区があり、村民委との情報連絡が困難。 放送施設を持たない地区では、住民へ避難等呼びかけるのが困難（大声、呼子笛）。	携帯電話の貸与、通信料の補助 銅鑼の供与
避難	安全な場所が見つからない 安全な場所を示した地図がない。	ワークショップを通じて、地区防災マップ（避難場所、避難経路）を作成。
教育訓練宣伝	避難訓練など住民に対する訓練なし。 現場での監視員への具体的な訓練なし。	避難訓練の実施 現場での監視員への指導、訓練の実施

4. 豆腐沟流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト

豆腐沟流域（16.2km²）は行政的には東川区拖布卡鎮（2005年6月の郷鎮政府改革により拖布卡郷と播卡郷は合併し拖布卡鎮となった。）に属する。人口は3,500人で人口密

度は 216 人/ km² となっている。この豆腐沟流域には他の優先小流域に較べて少数民族は少なく、最も多い布依族で 45 人、1.3%、彝族は 5 人、0.1%に過ぎない。ほとんどの集落は西側の傾斜の緩やかな、標高の高い尾根上 (1,800~2,000m) に多く、中流部の斜面上や下流部河口部には集落は少ない。

住民の主な生計手段は農牧業であるが、出稼ぎや日雇いも大きな収入源となっている。世帯あたりの平均年収は 2,300 元であり 4 優先小流域の中で最も少ない。

標高 1,700m 付近より上流域は隆起準平原と考えられる丘陵状の地形を呈する。下流では急傾斜で長大な斜面が連続し急峻な地形を呈するようになる。規模の大きな崩壊地やガリーが多数見られ、活発な土砂生産を行っている。また豆腐沟本川は典型的な粘性土石流溝で、最下流部で大規模な土石流扇状地を形成し、小江を狭めている。また林地、耕地、荒地草地の割合は流域全体で、33%、26%、35%となっている。

標高約 900m~約 2,000m の範囲の起伏(平均標高が約 1,600m)を有する豆腐沟流域は垂直性気候区分によると、標高約 1,300m を境に亜熱帯半乾燥河谷地区および温暖半湿润山地区に分かれる。

西側の上流部は比較的、急傾斜地、地すべり地は少ないが、中下流部に急傾斜地および地すべり地が集中している。約 120 軒の家屋が地すべり警戒区域に、約 40 軒の家屋が急傾斜地崩壊の警戒区域にそれぞれ入っている。

文献調査や現地調査によると、当流域内で国家重点保護動植物の存在は確認されていない。ただし、云南省を含む中国南西部に広く生息していると言われる云南トゲガエル (*Paa yunnanesis*) が、IUCN Red List of Threatened Species 2004 に記載されていることが確認された。しかしその本流域内での生息は、現地調査で確認されなかった。

4.1 土石流対策

1) 現状の課題と計画基準点の設定

豆腐沟流域においては、土石流災害の危険地帯であった下流域の大树村三家村などでは、近傍の標高の高い地域への移転がすでに行われており、家屋・人命の安全は確保されている。しかし最下流部にかかる 2 基の道路橋は、依然として土石流の危険にさらされている。この橋は、东川区市街地と小江下流域を結ぶ現時点での最大の交通手段であるとともに、2007 年完成を目指して小江沿いに建設中の东川-巧家道路の一部となる重要な構造物である。また、豆腐沟下流域は、厚く堆積した土砂により河床幅が 200~500 m にも達しており、土石流流路を固定することにより流路両岸で約 1,000 畝の農地開発が可能となる。

以上のような現状を踏まえ、豆腐沟本川 (基準点 1 : 13.07km²) と北支沟 (基準点 2 : 1.95km²) を土石流対策検討対象とする (基本計画時に設定した基準点と同じ)。

2) 代替案の検討

「3.2 土石流対策」で示した 2 つの代替案について概略設計を行い、概算費用を下記のように見積もった。

表 R 23 豆腐沟流域土石流対策代替案比較

支川流域	基準点	代替案 1:砂防えん堤+流路工			代替案 2:導流工+流入部床固め		
		えん堤 基数	流路工 延長 (m)	工事費 (千円)	導流工 延長 (m)	床固め 基数	工事費 (千円)
豆腐沟	1	8	4,810	17,330	4,810	2	13,241
	2	4	900	4,920	900	1	1,905

3) 最適案の選定

各代替案に対する経済評価を下表に示す。経済評価指標として費用便益比 (B/C)、純現在価値 (NPC=B-C) を、割引率 8%、施設の寿命 50 年として算定した。便益としては、橋梁の被害額軽減と農地開発便益がほとんどである。

表 R 24 土石流対策代替案の経済評価

流域	基準点	便益 (千円/年)		代替案 1 (砂防えん堤+流路工)				代替案 2 (導流工+流入部床固め)			
		市場価格	経済価格	費用 (千円/年)		便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千円)	市場価格	経済価格	便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千円)
				市場価格	経済価格						
豆腐沟	1	1,147	975	18,290	15,547	0.73	-4221	14,201	12,071	0.95	-618
	2	474	403	5,330	4,531	1.05	219	2,315	1,968	2.46	2,876
	計	1,417	1,204	23,250	19,763	0.71	-5792	16,146	13,724	1.03	468

農地開発のため 2 沟を 1 組として扱う。経済評価の結果によると代替案 2 は B/C が 1 以上であり、また下流に被災家屋もないため代替案 2 (導流工+流入部床固め) を最適案として提案する。

4) 最適案の施設概略設計

最適案の施設の概要を下表にまとめる。施設位置を巻頭の緊急プロジェクト概要図に示す。

表 R 25 豆腐沟基準点1の土石流対策最適案の概要

位置	構造物	概略工事費 (千円)
補助基準点 1-1	流入部床固め工 (有効高 5m) 1 基	485
補助基準点 1-1 から基準点 1 まで	導流工 (深さ 4.5m、幅 33m) 延長 1,740 m	4,784
補助基準点 1-2	流入部床固め工 (有効高 5m) 1 基	283
補助基準点 1-2 から基準点 1 まで	導流工 (深さ 3.8m、幅 15m) 延長 930 m	1,607
基準点 1 から小江合流点まで	導流工 (深さ 4.5m、幅 40m) 延長 2,140 m	6,082
合計	流入部床固め工 2 基、導流工総延長 4,810m	13,241

表 R 26 豆腐沟基準点2の土石流対策最適案の概要

位置	構造物	概略工事費 (千円)
基準点 2	流入部床固め工 (有効高 5m) 1 基	435
基準点 2 から小江まで	導流工 (深さ 3.8m、幅 14m) 延長 900 m	1,470
合計	流入部床固め工 1 基、導流工総延長 900m	1,905

4.2 水系砂防対策の検討

1) 流域の特性および現状の課題

当流域での林地の割合は 33%であるが、荒地草地も 35%を占めている。林地の内訳を見ると森林・灌木林・幼林の中で森林が大きな割合となっている。標高 1,600m 以下の地域は乾熱河谷植生帯とよばれ、高熱・乾燥のため植林が難しい地域である。

ワークショップなどの結果によると、造林や棚畑化の必要性について住民は高い認識を示しており、事業実施について住民の理解が得られるものと期待できる。一方、樹種割合についての住民の希望は、生態林の 54%に次いで薪炭林が 38%をも占めている。これは当流域の住民は煮炊きのエネルギーとして薪炭に大いに依存しているためと推測される。

2) 生物対策

「3.3 水系砂防対策」で述べた方針に基づき、生物対策を以下のように計画した。

表 R 27 水系砂防生物的対策の概要

対策	項目	内容
造林 (荒山草地)	計画面積	荒山草地面積 3.5km ² を対象とする。
	樹種	生態林、経済林、薪炭林の割合は 80:8:12 とする。生態林として云雲松/麻クヌギ、新銀合歡/余甘子、苦楝/膏桐、乾燥に強い坂柳/苦刺などの灌木を採用する。経済林としては花椒、板栗、薪炭林として聖誕樹/相思、坂柳などを採用する。
	事業費	付帯施設費用を含む総事業費は 3,405 千円
	便益	樹木成長後の総便益は 725 千円/年
造林+山腹工 (崩壊地)	計画面積	崩壊地面積 0.37km ² を対象とする。
	樹種	生態林の云雲松/麻クヌギ、坂柳/苦刺を採用する。
	事業費	総工事費は 3,575 千円
	便益	樹木成長後の総便益は 256 千円/年

3) 構造物対策

3.3 水系砂防対策で述べた方針に基づき、構造物対策を以下のように計画した。

表 R 28 水系砂防構造物対策の概要

対策	項目	内容
ガリー 侵食対策工	計画延長	総延長 22km とする。
	樹種	谷止め工 595 基 (1基/37m)
	工事費	総工事費は 2,166 千円
	便益	総便益は 79 千円/年
棚畑(田)化	計画面積	総面積 0.85km ² をの傾斜農地対象とする。
	工事費	総工事費は 1,955 千円
	便益	総便益は 158 千円/年

(ガリー侵食対策、棚畑化については造林に比べ経済性が低くなっているが、便益を定量的に数値化できない部分があり、この部分も含めると十分投資に見合う対策として考えられる。例えば、ガリー侵食対策の場合、ガリー侵食が崩壊や地すべりを引き起こす原因にもなっているといわれておりガリー侵食対策を進めることで

間接的な崩壊地対策や地すべり対策としての効果もあげられる。また、棚畑化については、土砂の生産抑制効果の他に、作業の効率化（作業が楽になる）、栽培作物の変化、保水効果等種々の効果が定性的に考えられるが、定量的な評価が難しい。）

4.3 非施設対策の検討

1) 本流域の災害特性と非施設対策

本流域では、まず山間部での地すべり、急傾斜地崩壊が問題である。土石流については、広域ハザードマップによると、一部中流部の河道内に建設された小屋を除き、家屋が被害を受けることは無い。しかし「4.1 土石流対策の検討」で述べたように、豆腐沟の土石流対策は土石流の流下を許容した導流工であるので、土石流発生時には河川敷内に近づかないことが肝要である。

これらの対策として、下表のようにハザードマップの活用、群測群防の強化、さらに「8. 予警報システムプロジェクト」で述べる予警報システムの整備を提案する。

表 R 29 非施設対策と対象とする災害

非施設対策	主に対象とする災害	主な保全対象
ハザードマップの活用	土石流、地すべり、急傾斜地、洪水	全地域
群測群防の強化	地すべり、急傾斜地崩壊	山間部集落
予警報システム	土石流、洪水	小江合流点付近の集落

すなわち、群測群防は山間部の集落で問題となる地すべり、急傾斜地崩壊を対象とする。小江合流点付近の住民には、従来の拖布卡鎮→村民委員会→小組という情報網を通じて土石流の危険性を知らせる。その大本となる降雨情報は第8章で述べる予警報システムから得られることになる。さらに群測群防や予警報システムに基づいた避難活動などに役立てるためにハザードマップを活用する。

2) ハザードマップの活用

ハザードマップは広域ハザードマップと地区防災マップの2種類を作成する。

広域ハザードマップは豆腐沟流域全域について、小江工程管理局(仮称)が作成し、関係機関へコピーを配布する。当面は調査団が作成したものを採用するものとするが、その後の災害実績、土地利用の変化などを参考に5年毎に見直しを行う。

地区防災マップはワークショップを通じて、住民が作成する。この地区防災マップには危険箇所他に避難地、避難経路を記入する。作成対象地区は次節で述べる7箇所の群測群防強化候補地区である。作成後は関連行政機関へコピーを配布するほか、群測群防責任者宅で掲示し、住民が簡単に閲覧できるようにする。

3) 群測群防の強化

群測群防強化は山間部の地すべり、急傾斜地崩壊を主な対象とする。調査団作成の広域ハザードマップを参考に、強化対象候補地区として計7地区を選定した。このときの選定基準は10軒以上の家屋が、地すべり警戒地域もしくは急傾斜地崩壊警戒地域に入っている集落である。

これらの7候補地区のどの地区を実際の強化地区とするかについては、現場での地区防災マップの作成、現地踏査などを通じて決定する。

5. 乌龙河流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト

5.1 乌龙河流域の現状

乌龙河流域（132.9km²）のほとんどは东川区乌龙鎮に属するが、上流流域南端の一部が紅土地鎮に、さらに流域南西端の極一部が寻甸県凤仪郷に属する。乌龙河流域の人口は約24,600人で人口密度は185人/km²である。住民の6.6%（約1,600人）は少数民族であり、回族が最も多く、5.9%（約1,400人）を占める。アンケート調査結果によると、回族は主に中流部の盆地部に固まって住んでいる。集落は流域中流部の乌龙街を中心とした盆地部や傾斜の比較的緩い尾根上に広く分布している。中流部の盆地は傾斜も緩く、水利用にも恵まれ、东川区の食糧基地にもなっている。

アンケート調査結果によると、住民の主な生計手段は農牧業であるが、出稼ぎや日雇いも大きな収入源となっている。1世帯当りの農地面積は3.6畝であり、1世帯当りの平均年収は3,800元である。

乌龙河最上流部は穏やかな山容を呈する侵食小起伏面となっていて、地すべり地形や崩壊地は少ない。乌龙河やその支川は山頂や山腹の緩斜面を次第に深く侵食するようになり乌龙盆地に至る。谷が深くなるに伴い地すべり地形や崩壊地、ガリー侵食が目立つようになる。乌龙盆地西側には数段の広い山頂・山腹緩斜面が分布する。また林地、耕地、荒地草地の割合は流域全体で、37%、38%、20%となっており、他の優先流域と較べて、耕地の割合が大きい。

乌龙河流域の標高は2,700mから1,100mの範囲にあり、垂直性気候区分によれば、乌龙河流域は、温暖帯半湿润山地区および寒温带湿润山地区に属する。

穏やかな山容を反映して他の3優先小流域と較べると、急傾斜地や地すべり地形が少ない。それでも調査団作成の広域ハザードマップによれば、地すべり警戒地域内に2,330軒、急傾斜地崩壊警戒地域内に510軒の家屋がある。中流部の盆地部の西側斜面には6本の土石流危険溪流がある。

豆腐沟流域と同様に、文献調査や現地調査によると、当流域内で国家重点保護動植物の存在は確認されていない。またIUCN Red Listに載っている云南トゲガエル(Paayunnansis)の生息は、現地調査で確認されなかった。

5.2 土石流対策の検討

1) 現状の課題と計画基準点の設定

乌龙街を中心とした中流部の盆地一帯は水利用にも恵まれ、东川区の食糧生産基地として重要な役割を果たしている。一方で活動性の地すべり地形や崩壊地、ガリー侵食が多く見られ、西から東へ流れる多数の支川は段丘面や山頂・山腹緩斜面を侵食し土石流の危険溪流となっている。

近年、老龙箐及び李家湾沟など一部の溪流において砂防えん堤、流路工などの土石流対策構造物の整備が実施されて、土石流の脅威はかなり軽減されてきていると思われる。しかし崩壊地、ガリー侵食など流域の荒廃は進んでおり、土石流の危険に対してこれらの構造物対策は十分とはいえ、氾濫計算を含めた詳細な検討を行い構造物対策の必要性を検討する必要がある。

以上の現状を踏まえ、乌龙街周辺の6溪流を乌龙河流域の土石流対策検討溪流とし、基準点を設定した（基本計画時に設定した基準点と同じで、基準点1（冉家沙沟：

4.47km²）、基準点2（薛家沟：1.64km²）、基準点3（老龙箐：3.81km²）、基準点4（李家湾沟：2.07km²）、基準点5（李家湾南支沟：0.39km²）、基準点6（大箐沟：0.79km²）。

2) 代替案の検討

「3.2 土石流対策」で示した2つの代替案について、6 溪流それぞれ概略設計を行い、概算費用を下記のように見積もった。

表 R 30 乌龙河流域土石流対策代替案比較

支川流域	基準点	代替案 1: 砂防えん堤+流路工			代替案 2: 導流工+流入部床固め		
		えん堤 基数	流路工 延長 (m)	工事費 (千元)	導流工 延長 (m)	床固め 基数	工事費 (千元)
乌龙河	1	2	1,320	3,363	1,320	1	2,140
	2	3	660	3,102	660	1	1,038
	3	4	400	4,692	400	1	965
	4	4	1,100	4,309	1,100	1	1,806
	5	2	300	1,843	300	1	499
	6	2	1,410	2,347	1,410	1	1,473

3) 最適案の選定

各代替案に対する経済評価を下表に示す。経済評価指標として費用便益比 (B/C)、純現在価値 (NPC=B-C) を、割引率 8%、施設の寿命 50 年として算定した。氾濫計算結果によると、概して集落は小高いところにあり、基準点 6 (大箐沟) を除き土石流被害は小さく、便益はさほど上がらないようである。

表 R 31 土石流対策代替案の経済評価

流域	基準点	便益 (千元/年)		代替案 1 (砂防えん堤+流路工)				代替案 2 (導流工+流入部床固め)			
		市場価格	経済価格	費用 (千元/年)		便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千元)	費用 (千元/年)		便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千元)
				市場価格	経済価格			市場価格	経済価格		
乌龙河	1	85	72	3,453	2,935	0.26	-2161	2,230	1,896	0.43	-1,083
	2	61	52	3,160	2,686	0.20	-2152	1,098	933	0.64	-335
	3	76	65	4,752	4,039	0.16	-3399	1,025	871	0.87	-115
	4	63	54	4,309	3,663	0.14	-3143	1,806	1,535	0.39	-938
	5	24	20	1,843	1,567	0.12	-1375	499	424	0.55	-191
	6	134	114	2,347	1,995	0.66	-678	1,473	1,252	1.07	92
	計	443	377	19,806	16,884	0.24	-12908	8,071	6,911	0.63	-2,570

経済評価分析に基づき、乌龙街に隣接する基準点 6 (大箐沟) については代替案 2 (導流工+流入部床固め) にて整備するものとするが、他の基準点については両代替案とも B/C が大きく 1 を下回り、またワークショップなどを通じて被災家屋数も少ないことが判明したため、構造物による土石流対策は施さないこととする。

4) 最適案の施設概略設計

最適案の施設の概要を下表にまとめる。また施設位置を巻頭の緊急プロジェクト概要図に示す。

表 R 32 乌龙河基準点 6 の土石流対策最適案の概要

位置	構造物	概略工事費 (千元)
基準点 6	流入部床固め工 (有効高 5m) 1 基	247
基準点 6 から乌龙河本川まで	導流工 (深さ 2.1m、幅 6m) 延長 1,410 m	1,226
合計	流入部床固め工 1 基、導流工総延長 1,410m	1,473

5.3 水系砂防対策の検討

1) 流域の特性および現状の課題

当流域での林地の割合は 37%であるが、耕地も 37 %を占め、農業が盛んなことを示している。林地の内訳を見ると森林に次いで幼林が多く、造林後十分に生育していないことが分かる。

ワークショップの結果によると、造林について参加者全員がその必要性を認めており、また 6 割が造林活動に参加した経験がある。棚畑化についても全員が必要と感じているなど、事業実施について住民の理解が得られるものと期待できる。

一方、樹種割合については、参加者の 64%が経済林を希望している。これは、大市場である东川市街地に地理的に近いためと推定される。

2) 生物対策

「3.3 水系砂防対策」で述べた方針に基づき、生物対策を以下のように計画した。

表 R 33 水系砂防生物的対策の概要

対策	項目	内容
造林 (荒山草地)	計画面積	荒山草地面積 16.4km ² を対象とする。
	樹種	生態林、経済林、薪炭林の割合は 80:8:12 とする。生態林として云雲松/麻クヌギ、新銀合歡/余甘子、苦棟/膏桐、坂柳/苦刺、高山松などを採用する。経済林としては石榴、柑橘類など、薪炭林として聖誕樹/相思、坂柳などを採用する。
	工事費	付帯施設費用を含む総工事費は 14,231 千元
	便益	樹木成長後の総便益は 3,260 千元/年
造林 + 山腹工 (崩壊地)	計画面積	崩壊地面積 0.96km ² を対象とする。
	樹種	生態林の云雲松/麻クヌギ、坂柳/苦刺、高山松を採用する。
	工事費	総工事費は 9,335 千元
	便益	樹木成長後の総便益は 664 千元/年

3) 構造物対策

3.3 水系砂防対策で述べた方針に基づき、構造物対策を以下のように計画した。

表 R 34 水系砂防構造物対策の概要

対策	項目	内容
ガリー 侵食対 策工	計画延長	総延長 129km とする。
	樹種	谷止め工 3,486 基 (1 基/37m)
	工事費	総工事費は 12,691 千円
	便益	総便益は 464 千円/年
棚 畑 (田)化	計画面積	総面積 11.13km ² をの傾斜農地対象とする。
	工事費	総工事費は 25,599 千円
	便益	総便益は 2,071 千円/年

5.4 非施設対策の検討

1) 本流域の災害特性と非施設対策

本流域では、まず山間部での地すべり、急傾斜地崩壊が問題である。「5.2 土石流対策の検討」で述べたように土石流については、大箆溝を除き、構造物対策は施されないため、予警報などによる警戒避難対応が必要である。

これらの対策として、下表のようにハザードマップの活用、群測群防の強化、さらに「8. 予警報システムプロジェクト」で述べる予警報システムの整備を提案する。

表 R 35 非施設対策と対象とする災害

非施設対策	主に対象とする災害	主な保全対象
ハザードマップの活用	土石流、地すべり、急傾斜地、洪水	全地域
群測群防の強化	地すべり、急傾斜地崩壊	山間部集落
予警報システム	土石流、洪水	盆地部の集落

すなわち、群測群防は山間部の集落で問題となる地すべり、急傾斜地崩壊を対象とする。盆地部の集落の住民には、従来の乌龙鎮→村民委員会→小組という情報網を通じて土石流の危険性を知らせる。その大本となる降雨情報は予警報システムから得られることになる。さらに群測群防や予警報システムに基づいた避難活動などに役立てるためにハザードマップを活用する。

2) ハザードマップの活用

ハザードマップは広域ハザードマップと地区防災マップの2種類を作成する。

広域ハザードマップは乌龙河流域全域について、小江工程管理局(仮称)が作成し、関係機関へコピーを配布する。当面は調査団が作成したものを採用するものとするが、その後の災害実績、土地利用の変化などを参考に5年毎に見直しを行う。

地区防災マップはワークショップを通じて、住民が作成する。この地区防災マップには危険箇所の他に避難地、避難経路を記入する。作成対象地区は次節で述べる59箇所の群測群防強化候補地区である。作成後は関連行政機関へコピーを配布するほか、群測群防責任者宅で掲示し、住民が簡単に閲覧できるようにする。

5.5 群測群防の強化

群測群防強化は山間部の地すべり、急傾斜地崩壊を主な対象とする。広域ハザードマップを参考に、新たな強化対象候補地区として59地区を選定した。このときの選定基準は10軒以上の家屋が、地すべり警戒地域もしくは急傾斜地崩壊警戒地域に入っている集落である。

これらの59候補地区のどの地区を実際の強化地区とするかについては、現場での地区防災マップの作成、現地踏査などを通じて決定する。

6. 东川市街地流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト

6.1 东川市街地流域の現状

东川市街地流域は深沟流域(37.6km²)と石羊沟流域(18.4km²)からなり、行政的には东川区銅都鎮に属する。深沟、石羊沟などの土石流氾濫によってできた扇状地上には市街地が形成されており、当流域は东川区の政治・経済の中心地となっている。

流域内の人口は約70,000人と推定される。人口密度は1,250人/km²で、他の優先小流域の6~12倍程度となっている。この地域の住民の約9%は少数民族であり、優先小流域の中で最も少数民族の割合が高い(彝族2.6%、回族2.4%、苗族1.8%、布依族1.0%)。これら少数民族は山間部よりも主に扇状地の市街地部やその周辺に多い。

村地区の住民の主な生計手段は農牧業で、アンケートによる世帯あたりの平均年収は2,700元である。一方社区住民の職業は、公務員、労働者、店員などであり、世帯あたりの平均年収は19,000元である。

土地利用を見ると、他の優先小流域では集落(市街地)は1%程度しかないが、东川市街地を抱える当流域は7%近くを集落(市街地)が占めている。林地・耕地・草地の割合で見ると、それぞれ24%、25%、34%となっている。一方、东川市街地西南部(石羊沟流域)では、腊利新区というハイテク、バイオ技術、医薬、軽工業、紡績などからなる総合的科学技術産業パークが造成中である。計画面積は2km²で完成目標年次は2013年であり、すでに造成工事が始まっている。

深沟最上流部と白云沟の間はきわめて急峻な地域で、地すべり地形が少ない地域となっている。それに対して深沟上流右岸や白云沟左岸、深沟中流部は地すべり地帯となっている。深沟や白云沟上流部には小中規模な崩壊地が集中するところがあるが、石羊沟と老干沟流域の崩壊地は溪岸崩壊地を主とし全般的に崩壊地の少ない流域となっている。

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。垂直性気候区分から見ると、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、温暖帯半湿润山地区、寒温带湿润山地区)の全ての特徴を有する流域になっている。

东川市街地の東側には計8本の土石流危険溪流があり、市街地に対して大きな脅威となっている。ハザードマップによると市街地の大半が100年確率の土石流氾濫に覆われる。また山間部のほとんどの集落は地すべりブロック上、急斜面上に乗っている状態にある。

文献調査や現地調査によると、当流域内で国家重点保護動植物の存在は確認されていない。また、いわゆるIUCN Red Listに載っている云南トゲガエル(*Paa yunnanensis*)について、本流域内での生息は、現地調査で確認されなかった。

6.2 構造物対策の検討

1) 現状の課題と計画基準点の設定

东川区市街地は土石流氾濫によって形成された扇状地上に発達した町で、主要溪流である深沟、石羊沟を始めとする計8本の土石流危険溪流が市街地内を東から西に流れている。

この流域での本格的な構造物土石流対策は、1964年の石羊沟土石流災害の後、东川区都市建設局などにより積極的に実施され、安全度は確実に上昇してきている。しかし現状の整備率を見ると、深沟、尼拉姑沟南支沟、石羊沟、得莫沟でそれぞれ12%、18%、40%、2%に過ぎず、今後も着実に砂防えん堤等の建設を進め整備率を上げていくことが必要である。また、腊利新区産業パークの造成に見られるように、当地区は今後も宅地開発、市街地の拡大などの土地利用の高度化、人口の集中が続くと思われ、災害時の被害ポテンシャルはますます大きくなる。

以上の現状を踏まえ、东川区市街地周辺の8溪流(深沟基準点1(深沟:24.52km²)、深沟基準点2(老干沟:2.03km²)、深沟基準点3(尼拉姑沟:0.74km²)、深沟基準点4(尼拉姑沟北支沟:0.33km²)、深沟基準点5(尼拉姑沟南支沟:0.74km²)、石羊沟基準点1(石羊沟:7.16km²)、石羊沟基準点2(徳莫沟:1.82km²)、石羊沟基準点3(余家沟:0.36km²))を土石流対策検討溪流とし、基準点を設定する(基本計画時に設定した基準点に対して、深沟で2点、石羊沟で1点増加)。

2) 代替案の検討

「3.2 土石流対策」で示した2つの代替案について、8溪流それぞれ概略設計を行い、概算費用を下記のように見積もった。

表 R 3 6 东川区市街地流域土石流対策代替案比較

支川流域	基準点	代替案 1:砂防えん堤+流路工			代替案 2:導流工+流入部床固め		
		えん堤 基数	流路工 延長 (m)	工事費 (千元)	導流工 延長 (m)	床固め 基数	工事費 (千元)
深沟	1	3	4,030	12,444	4,030	1	8,919
	2	4	3,390	6,461	3,390	1	4,292
	3	3	1,910	3,510	1,910	1	2,067
	4	2	390	1,837	390	1	577
	5	2	1,040	2,623	1,040	1	1,009
石羊沟	1	4	3,650	9,493	3,650	1	5,067
	2	3	1,150	3,953	1,150	1	1,277
	3	2	1,930	2,154	1,930	1	1,862

3) 最適案の選定

各代替案に対する経済評価を下表に示す。経済評価指標として費用便益比(B/C)、純現在価値(NPC=B-C)を、割引率8%、施設の寿命50年として算定した。保全対象が市街地であることから、他の優先小流域に較べて圧倒的に便益が大きい。被害の種類別では、家屋家財公共施設、間接被害で9割占め、その他人命損失被害が1割程度占めている。

表 R 3 7 土石流対策代替案の経済評価

流域	基準点	便益 (千元/年)		代替案1 (砂防えん堤+流路工)				代替案2 (導流工+流入部床固め)			
		市場価格	経済価格	費用 (千元/年)		便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千元)	市場価格	経済価格	便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千元)
				市場価格	経済価格						
深沟	1	3,364	2,859	12,444	10,577	3.26	23920	8,919	7,581	4.56	27,026
	2	367	312	6,461	5,492	0.66	-1887	4,292	3,648	1.01	24
	3	647	550	3,510	2,984	2.21	3617	2,067	1,757	3.78	4,888
	4	280	238	1,837	1,561	1.82	1285	577	490	5.88	2,395
	5	786	668	2,623	2,230	3.62	5840	1,009	858	9.47	7,262
石羊沟	1	3,664	3,114	9,493	8,069	4.67	29631	5,067	4,307	8.79	33,531
	2	331	281	3,953	3,360	0.98	-51	1,277	1,085	3.13	2,307
	3	353	300	2,154	1,831	1.96	1763	1,862	1,583	2.28	2,020
合計	計	9,792	8,323	42,475	36,104	2.78	64118	25,070	21,310	4.73	79,454

経済評価の結果に基づき、8 溪流全てについて代替案 1 (砂防えん堤+流路工) を提案する。

- 当地域は市街地であり、将来に向けてさらなる土地利用の高度化が進むと予測され、土石流の流下を抑制する代替案 1 (砂防えん堤+流路工) が望ましい。
- 経済評価のケースにおいて、深沟 2 (老干沟) や石羊沟 2 (徳莫沟) で、若干 B/C が 1 を下回るものの、当地域を一括で考えれば B/C は 3 近く、十分に高い。

4) 最適案の施設概略設計

最適案の施設の概要を下表にまとめる。また施設位置を巻頭の緊急プロジェクト概要図に示す。

表 R 3 8 深沟基準点の土石流対策最適案の概要

位置		構造物	概略工事費(千元)	
基準点 1	上流	透過型砂防えん堤 2 基 (有効高 12m、12m)	3,743	合計 12,444
	基準点付近	不透過型砂防えん堤 1 基 (有効高 12m)	2,437	
	小江本川まで	流路工 (深さ 4.0m、幅 5.8m) 延長 4,030 m	6,264	
基準点 2	上流	透過型砂防えん堤 3 基 (有効高 12m、12m、11m)	2,840	合計 6,461
	基準点付近	不透過型砂防えん堤 1 基 (有効高 10m)	833	
	基準点 1 流路工に合流	流路工 (深さ 1.6m、幅 3.9m) 延長 3,390 m	2,788	
基準点 3	上流	透過型砂防えん堤 2 基 (有効高 11m、11m)	1,824	合計 3,510
	基準点付近	不透過型砂防えん堤 1 基 (有効高 5m)	376	
	基準点 1 流路工に合流	流路工 (深さ 1.4m、幅 2.5m) 延長 1,910 m	1,310	
基準点 4	上流	透過型砂防えん堤 1 基 (有効高 12m)	680	合計 1,837
	基準点付近	不透過型砂防えん堤 1 基 (有効高 10m)	905	
	基準点 5 流路工に合流	流路工 (深さ 1.2m、幅 1.8m) 延長 390 m	252	
基準点 5	上流	透過型砂防えん堤 2 基 (有効高 12m、12m)	1,860	合計 2,623
	基準点付近	(既設えん堤)	-	
	基準点 3 流路工に合流	流路工 (深さ 1.4m、幅 2.1m) 延長 1,040 m	763	
合計		砂防えん堤 14 基、流路工総延長 10,760m	26,875	

表 R 39 石羊沟基準点の土石流対策最適案の概要

位置		構造物	概略工事費(千元)	
基準点 1	上流	透過型砂防えん堤 4 基 (有効高 10、12、12、12m)	4,111	合計 9,493
	基準点付近	(既設えん堤)	-	
	小江本川まで	流路工 (深さ 2.0m、幅 5.0m) 延長 3,650 m	5,382	
基準点 2	上流	透過型砂防えん堤 3 基 (有効高 10m、12m、12m)	2,957	合計 3,953
	基準点付近	(既設えん堤)	-	
	基準点 1 流路工に合流	流路工 (深さ 1.4m、幅 4.5m) 延長 1,150 m	996	
基準点 3	上流	透過型砂防えん堤 1 基 (有効高 9m)	546	合計 2,154
	基準点付近	不透過型砂防えん堤 1 基 (有効高 8m)	373	
	基準点 1 流路工に合流	流路工 (深さ 1.2m、幅 1.9m) 延長 1,930 m	1,235	
合計		砂防えん堤 9 基、流路工総延長 6,730m	15,600	

6.3 水系砂防対策の検討

1) 流域の特性および現状の課題

当流域での林地の割合は 24%であり、一方草地は 34%を占めおり、他の優先小流域と較べて自然環境修復があまり進んでいないようである。、耕地も 37 %を占め、農業が盛んなことを示している。林地の内訳を見ると森林、経済林、灌木林、疎林の順となっている。

ワークショップの結果によると、造林について参加者全員がその必要性を認めており、また 7 割以上が造林活動に参加した経験がある。棚畑化についても全員が必要と感じているなど、事業実施について住民の理解が得られるものと期待できる。

一方、樹種割合については、経済林に対する要望が強く、ワークショップの参加者の 90%にも及んでいる。乌龙沟流域同様に、大市場である东川市街地に地理的に近いと推定される。

2) 生物対策

「3.3 水系砂防対策」で述べた方針に基づき、生物対策を以下のように計画した。

表 R 40 水系砂防生物的対策の概要

対策	項目	内容
造林 (荒山草地)	計画面積	荒山草地面積 8.6km ² を対象とする。
	樹種	生態林、経済林、薪炭林の割合は 80:8:12 とする。生態林として云雲松/麻クヌギ、高山松、崑山松/旱冬瓜、坂柳/苦刺、新銀合歡/余甘子、などを採用する。経済林としては胡桃、花椒、石榴、柑橘類など、薪炭林として聖誕樹/相思、坂柳などを採用する。
	工事費	付帯施設費用を含む総工事費は 8,121 千元
	便益	樹木成長後の総便益は 1,770 千元/年
造林 + 山腹工 (崩壊地)	計画面積	崩壊地面積 0.11km ² を対象とする。
	樹種	生態林の云雲松/麻クヌギ、坂柳/苦刺、高山松を採用する。
	工事費	総工事費は 1,077 千元
	便益	樹木成長後の総便益は 76 千元/年

3) 構造物対策

「3.3 水系砂防対策」で述べた方針に基づき、構造物対策を以下のように計画した。

表 R 41 水系砂防構造物対策の概要

対策	項目	内容
ガリー 侵食対策 工	計画延長	総延長 39km とする。
	樹種	谷止め工 3,486 基 (1 基/37m)
	工事費	総工事費は 3,836 千円
	便益	総便益は 140 千円/年
棚畑(田) 化	計画面積	総面積 1.54km ² をの傾斜農地対象とする。
	工事費	総工事費は 3,542 千円
	便益	総便益は 286 千円/年

6.4 非施設対策

1) 本流域の災害特性と非施設対策

本流域では、扇状地市街地での土石流災害、および山間部での地すべり、急傾斜地崩壊が問題となっている。これらの対策として、上記のように土石流対策および水系砂防対策の施設対策が施されることになるが、土砂災害現象の複雑さなどを考慮すると施設対策だけでは不十分であり、ハザードマップの活用、群測群防の強化、さらに「8. 予警報システムプロジェクト」で述べる予警報システムの整備が欠かせない。

そこで各対策の特性を考慮し、効率的かつ総合的な防災対策となるように、対象とする災害、保全対象を下表のように設定する。

表 R 42 非施設対策と対象とする災害

非施設対策	主に対象とする災害	主な保全対象
ハザードマップの活用	土石流、地すべり、急傾斜地、洪水	全地域
群測群防の強化	地すべり、急傾斜地崩壊	山間部集落
予警報システム	土石流、洪水	扇状地市街地

すなわち、群測群防は山間部の集落で問題となる地すべり、急傾斜地崩壊を対象とする。扇状地部の市街地は土石流の脅威の下にあるが、これに対しては予警報システムによって対応する。さらに群測群防や予警報システムに基づいた避難活動などに役立てるためにハザードマップを活用する。

2) ハザードマップの活用

ハザードマップは広域ハザードマップと地区防災マップの2種類を作成する。

広域ハザードマップは東川市街地流域全域について、小江工程管理局が作成する。当面は調査団が作成したものを採用するものとするが、その後の災害実績、土地利用の変化などを参考に5年毎に見直しを行う。

地区防災マップはワークショップを通じて、住民が作成する。この地区防災マップには危険箇所の他に避難地、避難経路を記入する。作成対象地区は次節で述べる

23 箇所の群測群防強化候補地区のほか、扇状地部の計 7 の社区（新街、橋北、碧云、団結、沙坝、桂苑、白云）および計 8 の村（糯谷田、起夏、深沟、尼拉姑、腊利、集义、炎山、石羊）である。作成後は関連行政機関のほかに、社区、村の地区防災マップは各小組長へコピーを配布し、住民が簡単に閲覧できるようにする。

3) 群測群防の強化

群測群防強化は山間部の地すべり、急傾斜地崩壊を主な対象とする。広域ハザードマップを参考に、強化対象候補地区として 23 地区を選定した。このときの選定基準は 10 軒以上の家屋が、地すべり警戒地域もしくは急傾斜地崩壊警戒地域に入っている集落である。

これらの 23 候補地区のどの地区を実際の強化地区とするかについては、現場での地区防災マップの作成、現地踏査などを通じて決定する。

7. 桃家小河流域土砂災害対策および自然環境修復プロジェクト

7.1 桃家小河流域の現状

桃家小河流域（71.0km²）は会泽県と东川区の跨る流域である。中上流部（53.3km²）は会泽県驾车郷に属し、下流部（17.7km²）は东川区阿旺鎮（旧阿旺郷）に属する。

桃家小河流域の人口は約 7,000 人で人口密度は 4 優先小流域の中で最も少ない 98 人/km² である。住民の 5.7% は少数民族であり、彝族が大半を占め、一部の特定の集落に集中して住んでいる傾向がある。流域全体は急峻な山地であり、尾根上に集落が点在している。農業に適した平地は桃家小河の河岸を除き、ほとんど見られない。

住民の主な生計手段は農牧業であるが、出稼ぎや日雇いも大きな収入源となっている。1 世帯当りの農地面積は 3.3 畝であり、アンケートによる世帯あたりの平均年収は 3,300 元である。土地利用を、林地・耕地・草地の割合で見ると、それぞれ 39%、22%、36% であり、他の優先小流域と較べると林地の割合が高い。

桃家小河は、標高 2,600~3,300m の大部分がカルスト台地としての性格を持つ侵食小起伏面を水源としている。流域東縁の支川流域と中流部の白雲岩が岩峰を形成する急峻な一部の地域を除いて、流域全体に大きな地すべり地形が分布する。本川上流部左岸の新田集落周辺にも活動的な地すべりが多数見られるとともに岩盤地すべり前面に大規模崩壊地が存在する。多量の土砂が活動的な地すべりや崩壊地から本川に供給されているため、本川上流には幅の広い河床が形成されている。

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润山地区、寒温带湿润山地区の気候区分に属する。

作成した広域ハザードマップによると、山間部のほとんどの集落は地すべりブロック上または急傾斜地上に乗っている状態にある。地すべり警戒地域に入る家屋数は 2,255 軒、また急傾斜地崩壊警戒地域に入る家屋数は 439 軒と数えられる。一方、桃家小河本川も土石流溪流であり、最下流部の団結暗渠や巧山—新村道路橋は土石流の直撃を受ける恐れがある。

文献調査や現地調査によると、当流域内で国家重点保護動植物の存在は確認されていない。また、いわゆる IUCN Red List に載っている云南トゲガエル (*Paa yunnanensis*) について、本流域内での生息は、現地調査で確認されなかった。

7.2 土石流対策の検討

1) 現状の課題と計画基準点の設定

桃家小河の大白河合流点付近における土石流災害保全対象となるのは、昆明と东川区を結ぶ重要構造物である巧山－新村道路橋梁、団結渠の取水堰、合流点付近左岸側の7件程度の家屋、幅の広い河床を利用し石積み堤防により囲われた既存農地等である。また、流路工や導流工により流路を固定することにより流路両岸で300畝程度の農地が開発可能となる。

桃家小河本川の土石流対策として、东川泥石流研究所の設計による砂防えん堤が、大白河合流点から約4.5km上流地点に建設された。この砂防えん堤は完成から3年程度であるがすでに満砂状態であり、このえん堤の現況の効果を考慮した土石流災害に対する整備率は20%程度であり、重要施設等の保全には追加の構造物対策が必要である。

以上の現状を踏まえ、桃家小河本川の土石流対策基準点を巧山－新村道路橋梁地点(70.95km²)とし(基本計画時に設定した基準点と同じ)、以下に土石流対策検討を行った。

2) 代替案の検討

「3.2 土石流対策」で示した2つの代替案について概略設計を行い、概算費用を下記のように見積もった。

表 R 43 桃家小河流域土石流対策代替案比較

支川流域	基準点	代替案1:砂防えん堤+流路工			代替案2:導流工+流入部床固め		
		えん堤 基数	流路工 延長 (m)	工事費 (千元)	導流工 延長 (m)	床固め 基数	工事費 (千元)
桃家小河	1	3	3,290	13,661	3,290	1	9,776

3) 最適案の選定

各代替案に対する経済評価を下表に示す。経済評価指標として費用便益比(B/C)、純現在価値(NPV=B-C)を、割引率8%、施設の寿命50年として算定した。便益としては、豆腐沟と同様に公共施設(道路橋、団結渠取水堰)の被害軽減と農地開発便益が大きく、8割程度を占めている。

表 R 44 土石流対策代替案の経済評価

流域	基準点	便益(千元/年)		代替案1(砂防えん堤+流路工)				代替案2(導流工+流入部床固め)			
		市場価格	経済価格	費用(千元/年)		便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千元)	費用(千元/年)		便益費用 比率 B/C	現在価値 NPV B-C (千元)
				市場価格	経済価格			市場価格	経済価格		
桃家小河	1	981	834	14,111	11,994	0.81	-2260	10,226	8,692	1.13	1,163

上表によると、代替案1はB/Cは0.8で1を下回るが、代替案2のそれは1.1で1を上回る結果となっている。保全対象とすべき家屋は少ないことから、経済性に優れた代替案2(導流工+流入部床固め)を最適案として提案する。

4) 最適案の施設概略設計

最適案の施設の概要を下表にまとめる。施設位置を巻頭の緊急プロジェクト概要図に示す。

表 R 45 桃家小河基準点1の土石流対策最適案の概要

位置	構造物	概略工事費 (千円)
補助基準点 1-1	流入部床固め工 (有効高 5m) 1 基	1,172
基準点 1-1 から基準点 1 まで	導流工 (深さ 4.5m、幅 41m) 延長 3,040 m	7,950
基準点 1 から小江合流点まで	導流工 (深さ 4.5m、幅 41m) 延長 250 m	654
合計	流入部床固め工 1 基、導流工総延長 3,290m	9,776

7.3 水系砂防対策の検討

1) 流域の特性および現状の課題

当流域での林地の割合は 39%であり、4 優先小流域の中で最も高い値となっている。一方で林地の内訳を見ると幼林が 24%と森林の 9%を大きく上回っており、充分育成していない状況が推測される。

ワークショップなどの結果によると、他優先小流域同様に、造林や棚畑化の必要性について住民は高い認識を示しており、事業実施あたっても住民の理解が得られるものと期待できる。

一方、樹種割合についての住民の要望は、生態林 62%、経済林 25%、薪炭林 13%となっている。

2) 生物対策

「3.3 水系砂防対策」で述べた方針に基づき、生物対策を以下のように計画した。

表 R 46 水系砂防生物的対策の概要

対策	項目	内容
造林 (荒山草地)	計画面積	荒山草地面積 10.98km ² を対象とする。
	樹種	生態林、経済林、薪炭林の割合は東川区内で 80:8:12、会澤県で 80:5:15 とする。生態林として云雲松/麻クヌギ、高山松、崑山松/旱冬瓜、坂柳/苦刺、苦楝/膏桐を採用する。経済林としては胡桃、坂栗、花椒、薪炭林として聖誕樹/相思、馬桑などを採用する。
	工事費	付帯施設費用を含む総工事費は 9,957 千円
	便益	樹木成長後の総便益は 2,123 千円/年
造林 + 山腹工 (崩壊地)	計画面積	崩壊地面積 1.03km ² を対象とする。
	樹種	生態林の云雲松/麻クヌギ、坂柳/苦刺を採用する。
	工事費	総工事費は 10,031 千円
	便益	樹木成長後の総便益は 712 千円/年

3) 構造物対策

「3.3 水系砂防対策」で述べた方針に基づき、構造物対策を以下のように計画した。

表 R 47 水系砂防構造物対策の概要

対策	項目	内容
ガリー 侵食対策 工	計画延長	総延長 45km とする。
	樹種	谷止め工 1,216 基 (1 基/37m)
	工事費	総工事費は 4,426 千円
	便益	総便益は 162 千円/年
棚畑(田) 化	計画面積	総面積 3.18km ² をの傾斜農地対象とする。
	工事費	総工事費は 7,314 千円
	便益	総便益は 592 千円/年

7.4 非施設対策の検討

1) 本流域の災害特性と非施設対策

本流域でも、まず山間部での地すべり、急傾斜地崩壊が問題である。7.2 土石流対策の検討で述べたように本川の土石流については導流工が計画されており、土石流発生時には河川敷に近づかないことが肝要である。そのためには、予警報などによる警戒避難対応が必要である。

これらの対策として、下表のようにハザードマップの活用、群測群防の強化、さらに「8. 予警報システムプロジェクト」で述べる予警報システムの整備を提案する。

表 R 48 非施設対策と対象とする災害

非施設対策	主に対象とする災害	主な保全対象
ハザードマップの活用	土石流、地すべり、急傾斜地、洪水	全地域
群測群防の強化	地すべり、急傾斜地崩壊	山間部集落
予警報システム	土石流、洪水	下流部河川沿いの集落

まず、群測群防は山間部の集落で問題となる地すべり、急傾斜地崩壊を対象とする。河川沿いの集落の住民には、従来の郷鎮政府→村民委員会→小組という情報網を通じて土石流の危険性を知らせる。その大本となる降雨情報は予警報システムから得られることになる。さらに群測群防や予警報システムに基づいた避難活動などに役立てるためにハザードマップを活用する。

2) ハザードマップの活用

ハザードマップは広域ハザードマップと地区防災マップの2種類を作成する。

広域ハザードマップは豆腐沟流域全域について、小江工程管理局(仮称)が作成し、関係機関へコピーを配布する。当面は調査団が作成したものを採用するものとするが、その後の災害実績、土地利用の変化などを参考に5年毎に見直しを行う。

地区防災マップはワークショップを通じて、住民が作成する。この地区防災マップには危険箇所の他に避難地、避難経路を記入する。作成対象地区は次節で述べる43箇所の群測群防強化候補地区である。作成後は関連行政機関へコピーを配布するほか、群測群防責任者宅で掲示し、住民が簡単に閲覧できるようにする。

3) 群測群防の強化

群測群防強化は山間部の地すべり、急傾斜地崩壊を主な対象とする。広域ハザードマップを参考に、新たな強化対象候補地区として43地区を選定した。このときの選定基準は10軒以上の家屋が、地すべり警戒地域もしくは急傾斜地崩壊警戒地域に入っている集落である。

これらの43候補地区のどの地区を実際の強化地区とするかについては、現場での地区防災マップの作成、現地踏査などを通じて決定する。

8. 予警報システムプロジェクト

8.1 緊急プロジェクトの内容

小江流域では予警報システムの改善・現代化は不可欠かつ急務となっており、基本計画では2段階によるシステム整備を提案している。

この緊急予警報システムプロジェクトの目的は以下のとおりである。

- 計8箇所のテレメータ雨量計を設置して小江流域全体の降雨概況を把握し、洪水土砂災害予測の基礎情報として関連機関へ伝達する。
- 东川市街地の住民約6万人を土石流災害から守るために、东川市街地流域に重点的にテレメータ雨量計（計8箇所のうちの3箇所）、土石流センサーを配備して土石流発生を検知し、それらの情報を関係機関へ伝達するほか、市街地には警報局を設けて、直接住民へ避難警報を呼びかける。

8.2 緊急プロジェクトのシステム仕様

1) 情報収集サブシステム

計8基のテレメータ雨量局を流域全体に広く分布させて配置する。ただし3基は东川区市街地流域へ集中的に配備する。配置場所は極力、公共建物敷地内とする。また土石流監視局を东川市街地流域の計8本の土石流危険溪流に配置する。センサーとしては最も施工例の多いワイヤーセンサーを用い、既設もしくは計画の砂防えん堤に取り付ける。雨量、土石流発生検知データは、GSM 携帯電話回線にて、小江工程管理局内の災害情報センターへ送信される。

一方、东川区気象局でも区内10箇所にテレメータ雨量計を配置する計画があり、現在2006年4月30日の運転開始を目標に準備が進められている。システムの統合は当然考慮すべきであるが、現時点では気象局の仕様の詳細が不明であること、気象局との協力関係が確立していないなどの理由から本調査においては、当予警報システムだけでも単独で機能できるように計画している。

2) 情報処理サブシステム

情報処理サブシステムとして、小江工程管理局の防災情報センター内に雨量・土石流監視制御装置が置かれる。

雨量・土製気流監視制御装置はテレメータ監視装置および演算装置（土石流監視装置）・表示端末・カラーレーザビームプリンタ・Web Server から構成される。テレメータ監視装置は、観測局から自動起動方式で伝送される雨量情報および土石流検知情報（ワイヤーセンサー情報）を受信し、LAN を経由して受信した情報を演算

装置（土石流監視装置）に出力する。演算装置（土石流監視装置）は雨量情報を求め、警戒値に基づいた警報判定を行うことで土石流発生の危険性を判定する。

3) 情報伝達サブシステム

情報伝達サブシステムとして、東川市街地の土石流氾濫区域に計9箇所の警報局を設置する。また小江工程管理局の防災情報センター内に警報監視制御装置を置く。さらに情報処理サブシステムで処理された情報はウェブサーバに転送され、インターネット経由で3区県の防洪指揮部及び関連機関に情報を提供される。また大雨時には別途、電話またはFAXで防洪指揮部及び関連機関、そして該当地域の郷・鎮政府に降雨、土石流情報が伝達される。

警報局としては、中国でも生産可能な簡易型を提案する。簡易型警報局は、基本的に音声増幅器、スピーカー、電源装置及びケーブル保安器で構成されるもので、機能は単純に入力されたサイレン擬似音、または音声を増幅、放送するものである。

4) 緊急プロジェクトの事業費および維持管理費

上記システムの工事費は2,530千円である。維持管理費用は据付後3年間は79千円/年、それ以降は180千円/年と見積もられる。

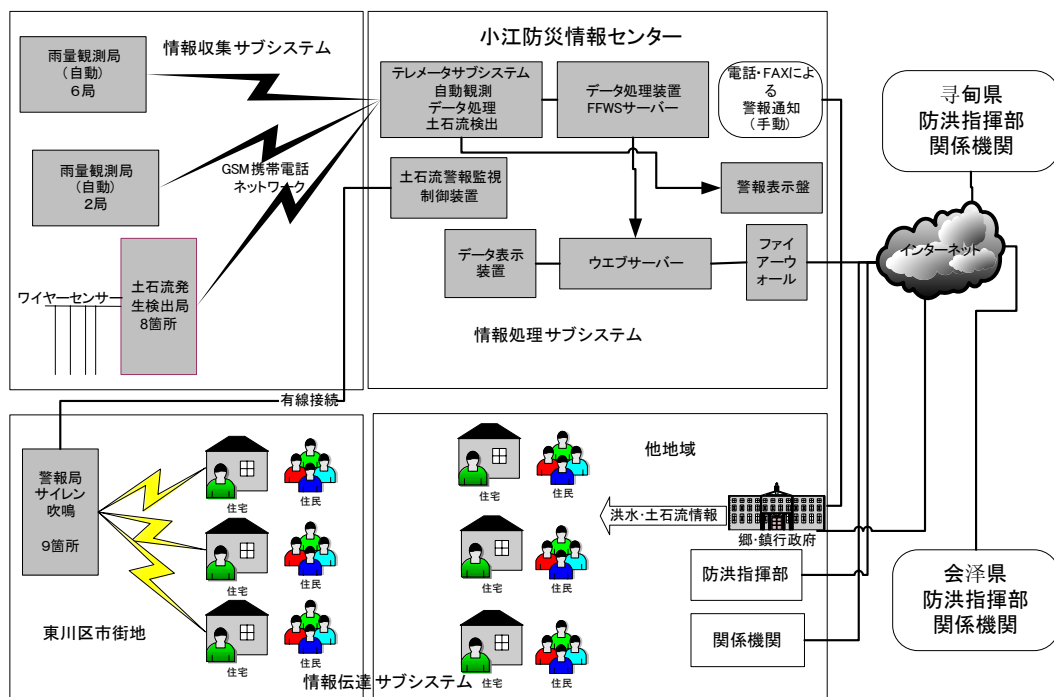


図 R 9 予警報システム全体構成図

8.3 防災情報センターの業務

小江工程管理局（仮称）内に設置される防災情報センターは以下の主要業務は以下のとおりである。

- 雨量テレメータ観測局の監視制御
- 収集した雨量データの洪水・土石流発生の解析・分析及び格納

- 土石流検出観測局よりの土石流発生信号の表示・印字・記録
- 东川区市街地に設置する警報局の制御
- 水文情報・土石流情報をインターネットや異常事態が生じた場合は電話やファックスにより、3 区県の防洪指揮部、関連機関、郷鎮政府へ伝達する。
- 予警報システム機器の維持管理

9. 小江工程管理局設立プロジェクト

9.1 新組織の必要性

小江流域は 3,058km² と広く、昆明市（东川区と寻甸県）と曲靖市（会泽県）にまたがるため、省レベルの広域的な管理が望ましい。また、この地域は土石流問題、環境修復問題、地域開発・貧困対策等の課題が多く、これらの問題を総合的に取り組む専属的な組織が必要である。

9.2 新組織の基本方針

1) 工程管理局

中国では近年、公共事業を行う場合はその事業を管轄する専門組織である項目法人を設置するのが一般的になっている。項目法人には総公司、工程管理局などがあるが、本事業のように採算性が困難な場合には政府機関と民間会社の間接的な立場である工程管理局が採用されている。このような状況を配慮し、本基本計画の実施機関として小江工程管理局（仮称）を設立することとする。

2) 事業完成後も運用維持管理を行う半恒久的な組織

完成後も実施組織が引き続き運用管理を行うことによって事業の効果が充分発揮されることを期待し、小江工程管理局は完成後も引き続き運用管理を行う半恒久的組織とする。ただし、組織が大きくなり過ぎることを防ぎ、既存の機関のノウハウを活用するために、構造物の維持管理や森林の保護管理、予警報システムの維持管理、群測群防の強化支援の実質的業務等は既存組織に外部委託（アウトソーシング）する。工程管理局は、それらの委託業務が的確に行われるように管理を行う。

3) 小江工程管理局の業務

小江工程管理局の業務は以下のとおりとする。

表 R 4 9 小江工程管理局の業務内容

名称	小江工程管理局（仮称）		
管轄	雲南省（水利庁）		
行政格	処・県級もしくは副局級		
目的	土砂災害の軽減、自然環境の修復、地域整備（貧困対策）		
役割	<ul style="list-style-type: none"> 土砂災害対策、環境修復、地域整備（貧困対策）の一体化推進、山・水・林・田・路の総合開発・一体化整備の実行。 事業計画から資金調達、工事の実施、完成後の管理まで事業の全過程の参与。 関係機関、関係自治体間の円滑な調整。 		
業務内容	計画・実施・運用管理	資金の調達・返済・管理	海外融資機関からのローンだけではなく、長江上流基金等各種の基金、環境保護団体からの寄付金等を調達し、効率的に使う。
	計画段階	事業計画の作成	調査・測量・設計を行い、事業計画を作成する。
	実施段階	プロジェクトの実施、工事の管理	優先順位、整備効果等を考慮しながら、プロジェクトを実施し、工事の管理を行う。
	運用管理段階	施設の維持管理、保護	完成した施設等（構造物、林地、棚畑、山腹工など）の維持管理、保護を行う。
		土石流対策による農地開発、開発地の管理	土砂災害対策により、扇状地等多くの開発可能な土地が利用できるようになる。これらの土地を開発し、管理を行う。
		予警報システムの運用・管理	予警報システムを整備し、運用管理を行う。災害の危険情報を関係機関に伝達する。
		群測群防支援	群測群防対象地域への財務、技術的な支援を行う。
		モニタリング	水土保持、造林地の育成状況について、空中写真または衛星写真などを基に5年毎にモニタリングを行う。
技術開発及び普及	ハザードマップ作成、水土保持モニタリング技術、環境修復技術、土石流技術、経営管理技術、副産物の加工、再利用技術等に関する研究活動、普及活動を行う。		
訓練・技術支援	群測群防関係者、森林保護員への訓練、技術支援		

4) 小江工程管理局の職員数

事業の段階に応じて業務量も変化するため、小江工程管理局は正式職員、臨時職員、関連機関からの出向職員の混成とし、総職員数は18~42人の弾力的な組織とする。

5) 組織の行政レベル・級、既存組織との関係

小江流域の広域性、多自治体に跨る特性から、小江工程管理局（仮称）は区・県と同レベルもしくはそれ以上のレベルの機関にすべきであり、組織の長は処長・県長もしくは副局長の格とする。また既存組織との関係は下図のとおりとする。

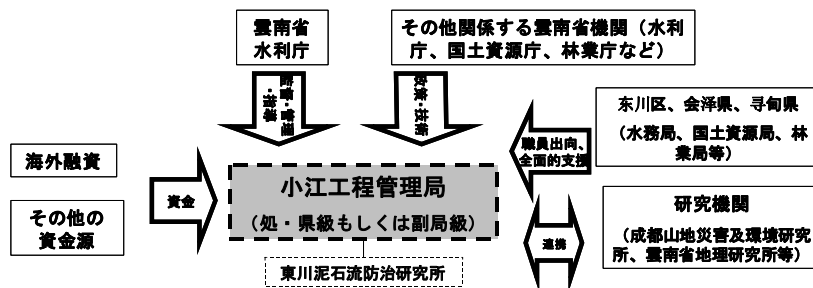


図 R 1 0 予警報システム全体構成図

9.3 組織設立のプロセス

事業実施にあたっては、事業の管轄機関である雲南省水利庁から雲南省發展改革委員会・国家發展改革委員会へ事業申請を行い、發展改革委員会より許可することになる。許可書の中に、事業内容、資金ソース、事業組織は規定されているため、その許可書に基づいて、資金の調達、組織の設立を行うことができる。

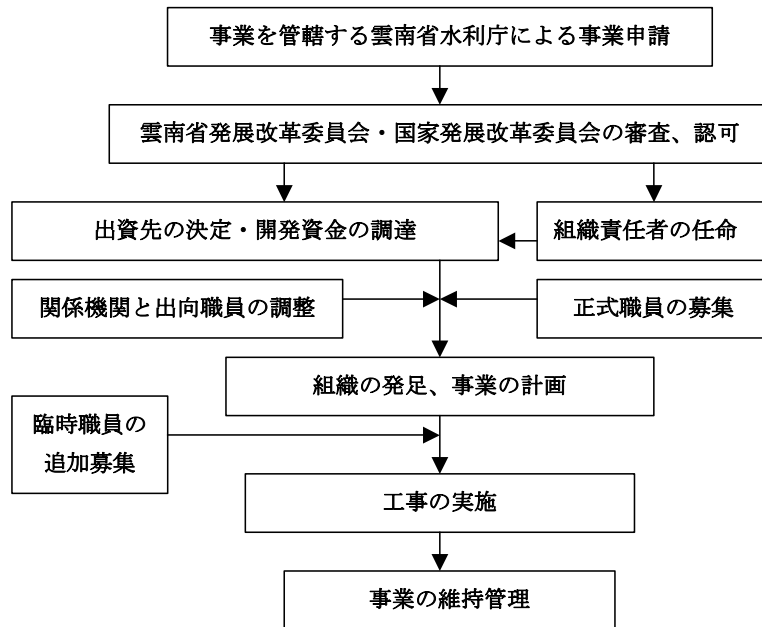


図 R 1 1 新組織設立の手順

9.4 財務計画の検討

このような公共事業を司る小江工程管理局は基本的に税金投入により運営されるべきものである。しかし、公的負担を最小化し、また住民間の不公平感を是正するためにも、収入の見込める事業からは適当な料金を徴収することが望ましい。こうすることによって、財政的自立は無理でも、運営、維持管理費用の公的負担の一部軽減となる。

その結果は小江工程管理局の年間維持管理費が 1,194 万元に対して、現実的に徴収可能な収入額は農地開発による 480 万元のみであり、維持管理費を大幅に下回る。そのため、事業の公共性から、税金の投入等公的資金による補助を行うこととし、組織設立する段階で公的資金による補助を行える制度を確立するものとする。

表 R 5 0 工程管理局の収益と費用の比較

項目		数量	原単位	収益/費用 (千元/年)
収入	農地開発	16,000 畝	300 元/畝・年	4,800
	経済林	59,000 畝	-	0
	農地改良	270,000 畝	-	0
	計			4,800
参考	CDMによる収益	845,000 畝	10.4 元/畝・年	8,788
維持 管理費	土石流対策構造物 維持管理費	5 億元	0.30%	1,500
	植林維持管理費	12 億元	0.50%	6,000
	管理局管理費 (人件費等)			540
	予警報システム	5 億元	0.30%	1,500
	群測群防			2,400
	計			11,940

10. プロジェクト実施計画の作成

10.1 副産物利用計画

1) 農地開発

地形が急峻で、まとまった農地が限られる当地域にとって農地開発は非常に重要な課題である。とくに豆腐沟、桃家小河は东川区国土資源局の農地開発重点地域になっている。本調査では、土石流対策の実施により、豆腐沟で 1,000 畝 (67ha)、桃家小河で 300 畝 (20ha) の計 1,300 畝 (87ha) の農地開発を計画している。両地域とも対象となるのは、荒地同然に放置されている河川敷が対象であり、導流工建設に合わせて、圃場、農道、灌漑施設設備を実施する。開発後は、農民に土地を貸し出すことを想定している。

2) 造林による副産物

本計画では 40km² の広大な地域の荒地草地に対して造林を提案しており、そのうち約 7% に相当する 2.8km² の地域には経済林の植樹を予定している。この広大な地域を造林することで、観光開発、木材を利用した民芸品の製作、きのこ、山菜、薬草の栽培、果物の加工品製造などの副産物の可能性が生じる。

10.2 事業実施工程計画

本報告書で検討の対象としている緊急プロジェクトは基本計画の中で緊急計画としての位置づけられており、目標年次は 2010 年とする。

下表に示すとおり、2007 年に設計/工事を開始し、2010 年までにすべての事業を終了する工程とする。

表 R 5 1 緊急計画事業実施工程

プロジェクト名	2007	2008	2009	2010
1. 豆腐沟流域土砂災害対策及び自然環境修復				
2. 烏龍河流域土砂災害対策及び自然環境修復				
3. 東川区市街地流域土砂災害対策及び自然環境修復				
4. 桃家小河流域土砂災害対策及び自然環境修復				
5. 雨量テレメータを利用した予警報システム				

10.3 運営管理計画・人材育成計画

1) 運営管理計画

緊急プロジェクトの運営・管理については小江工管理局の責務となる。その骨子は、計画、調査、設計、工事管理、施設、森林、予警報システム等の維持管理は既存組織へできるだけ外部委託するとし、工程管理局は、財務管理、委託業務・委託工事の管理、流域の管理となる。

2) 人材育成計画

人材育成の対象としては、小江工程管理局職員、関連機関（水務局、林業局、国土資源局、東川泥石流防治研究所など）の職員、および群測群防責任者や森林保護員などの当プロジェクトのために現場の最前線で働く住民代表、そして受益者である住民がいる。そこで以下のように4つのグループに分けて、人材育成計画を作成した。

表 R 52 小江緊急プロジェクトの人材育成計画

対象	人材育成の目的	研修項目	育成方法
小江工程管理局職員	管理能力の向上 技術の向上	入札図書作成、積算方法、施工管理方法、施設の維持管理方法、予警報システムの運用方法、ハザードマップ作成方法、モニタリング方法、災害発生後の現場調査、分析方法、透過型砂防えん堤の堆砂状況の観測、乾熱河谷での造林・育成方法など	<ul style="list-style-type: none"> 日々の業務での OJT(オンザジョブトレーニング) 外部の委託、施工業者によるトレーニングの実施
関係政府機関職員	管理能力の向上 技術の向上 他の機関との交流	同上	<ul style="list-style-type: none"> 工程管理局への出向 日々の業務での OJT(オンザジョブトレーニング) 外部の委託、施工業者によるトレーニングの実施
群測群防責任者、森林保護員	技術の向上 モラルの向上	観測機器の保守・使用方法、情報伝達方法、災害の予兆現象、避難誘導方法など	<ul style="list-style-type: none"> 施工への参加 ワークショップの実施 避難訓練の実施
住民	防災意識の向上 環境保護意識の向上	間伐方法、幼林育成保護方法、禁止すべき森林破壊活動、情報伝達方法、住民への宣伝方法など	<ul style="list-style-type: none"> 施工への参加 ワークショップの参加 避難訓練などへの参加

10.4 概算事業費

各流域別、対策別に算出した概算事業費を下表に集計する。なお、積算にあたっては2005年1月時点の物価及び外貨交換レートを適用している。外貨交換レートは、1US\$=8.2865 中国人民元=102.44 日本円である。また、物価上昇予備費は、年率2%の物価上昇率として算出している。

表 R 53 優先小流域緊急プロジェクト概算工事費集計

単位：千元

プロジェクト名	2007	2008	2009	2010	計
1. 豆腐沟流域土砂災害対策及び自然環境修復	8,044	12,860	3,172	3,171	27,247
2. 乌龙河流域土砂災害対策及び自然環境修復	10,310	17,673	17,673	17,673	63,329
3. 东川区市街地流域土砂災害対策及び自然環境修復	8,436	16,872	16,872	16,871	59,051
4. 桃家小河流域土砂災害対策及び自然環境修復	8,623	15,201	9,065	9,065	41,954
5. 雨量テレメータを利用した予警報システム	1,265	1,265	0	0	2,530
計	36,678	63,871	46,782	46,780	194,111

* 物価上昇予備費を含まない。

表 R 54 優先小流域緊急プロジェクト概算事業費集計

単位：千元

プロジェクト名	2007	2008	2009	2010	計
1. 豆腐沟流域土砂災害対策及び自然環境修復	8,369	13,647	3,433	3,501	28,950
2. 乌龙河流域土砂災害対策及び自然環境修復	10,727	18,755	19,130	19,512	68,124
3. 东川区市街地流域土砂災害対策及び自然環境修復	8,777	17,905	18,263	18,627	63,572
4. 桃家小河流域土砂災害対策及び自然環境修復	8,971	16,131	9,812	10,008	44,922
5. 雨量テレメータを利用した予警報システム	1,316	1,342	0	0	2,658
計	38,160	67,780	50,638	51,648	208,226

* 物価上昇予備費を含む。上記工事費に物価上昇予備費を加算した費用が事業費。

10.5 資金調達

事業実施資金については、海外融資機関からのローンを主とするが、昆明市、曲靖市、云南省、中央政府などからの資金を調達をもできるだけ調達する。さらに、長江上中流水土保持重点防止工程等や世銀プロジェクト同様に造林と傾斜農地の棚畑化については工事に対する労働力提供による住民負担（受益者負担）を考える。この結果、総事業費 208,000 千円の約 15%を公的負担（政府負担）から減じることが可能となる。

1) 住民負担（労働力提供）の実例

造林対象地の土地使用者は、経済林開発だけでなく一般の造林でも間伐材の売却などによって利益を上げることができる。また棚畑化により、農地の保水効果が向上し、土壌が改良される。それによって価格の高い農作物の栽培ができるようになるとともに、面積あたりの産量も増加する。したがって造林や棚畑化は土地使用者は受益者が明確であり、相当の住民負担を求めるのが合理的である。その住民負担の方法としては、現金収入が少ない貧困地域であることから、一般的に工事への労働力提供という形で行われている。自分の土地で自ら工事することは、オーナーシップの面からも、維持管理技術の習得のためにも望ましいことである。

長江上中流水水土保持重点防止工程は 1999 年より長江水利委員会によって行われている。小江流域近傍では会澤県が重点地域となっており、傾斜農地の棚畑化、小型貯水池建設、造林（水土保持林、経済林）バイオガス、省エネかまど、水路建設、封山育林、砂防えん堤・谷止め工建設などが実施されている。同工程の 2005 年事業予算を見ると、全体予算約 500 万元の内、中央・地方政府の補助金は全体の約 35%に過ぎず、住民による労働力投入は 65%に上っている。つまり砂防えん堤・谷止め工建設などの比較的大規模な土木工事については全額政府の補助金で請負

方式で実施されるが、それ以外は材料については政府の補助で提供されるが、労働力は住民の負担となっている。

一方、世界銀行融資プロジェクトの『云貴鄂渝四省（市）水土保持流域治理項目（Changjiang/Pearl River Watershed Rehabilitation Project）』においても住民負担が行われる予定となっている。このプロジェクトの云南省における事業費は総額 4,000 万米ドルであるが、そのうち住民負担（労働力提供）は約 800 万米ドル（約 20%）を占める。云南省水利庁によると、荒山草地造林、経済林造成などにおいて材料提供は政府の負担、植え付けなどの作業は住民負担になるそうである。

2) 造林および棚畑化への住民の参加意欲

第 2 章で説明した林業ワークショップでのアンケート結果によると、総じて造林については「無償で労働力を提供してもいい」とするものが 63～82%と「有償とすべき」とするもの 18～36%を大きく上回っている。逆に傾斜農地の棚畑化については、「有償とすべき」が 45～67%で「無償で労働力を提供してもいい」の 29～48%を上回っている。これは棚畑化の方が地形の改変を伴う重労働となるためと推定されるが、このような調査で 1/3 から半数の人が「無償で労働力を提供してもいい」としていることから、住民に切迫した事情、強い意欲があることがうかがえる。

以上からこのような労働力提供という住民負担は住民に充分受容される可能性があると判断される。

1.1. プロジェクト評価

1.1.1 経済評価

緊急計画プロジェクト全体の経済評価検討結果を下表にまとめる。この表には費用に、予警報システム、群測群防強化、環境管理、工程管理局の費用を加えたケースの計算結果もある。緊急プロジェクトの内部収益率は 10.91%、予警報システムなどの費用を加えても 10.09%であり、中国における治水関連公共事業の機会費用 8%（「漢江中下流区間洪水予警報計画調査、JICA、1992.7」より引用）もしくは中国の環境保全事業で予想される水準である 5%内外（「中国四川省安寧河流域造林計画調査、JICA、2002.7」より引用）を上回っており、事業は経済的に妥当であると判断される。

表 R 55 緊急プロジェクト全体の経済評価

項目	費用		便益		内部収益率 IRR	純経済価値 NPV B-C (千元)	便益費用 比率 B/C
	単純合計 (千元)	現在価値 (千元)	単純合計 (千元)	現在価値 (千元)			
1. 豆腐沟	27,306	19,266	103,808	19,356	8.04%	90	1.00
2. 乌龙河	66,107	43,595	252,333	43,807	8.04%	212	1.00
3. 东川市街地流域	58,416	39,492	473,487	86,433	16.89%	46,940	2.19
4. 桃家小河	43,115	29,164	177,135	31,147	8.54%	1,983	1.07
緊急プロジェクト全体 (土石流対策+植林)	194,945	131,517	1,006,763	180,742	10.91%	49,225	1.37
緊急プロジェクト全体 (予警報、群測群防、環境管理、 工程管理局費用など含む)	240,880	144,271	1,006,763	180,742	10.09%	36,471	1.25

注) 現在価値の基準年は2005年。割引率は8%。

上記の経済評価には、その計算の基となる費用や便益にはいくつかの不確定要素を含んでいる。そこで、費用については 0%、10%、20%増、便益については 0%、10%、20%増の 3 ケースを想定し、それぞれの組み合わせについて下表に示すように内部収益率を計算し、感度分析検討ケースとした。

表 R 56 緊急プロジェクトの感度分析結果

検討ケース		費用の増加（事業費と維持管理費）		
		0 %	10 %	20 %
便益の 減少	0 %	10.09 %	9.97 %	9.17 %
	10 %	9.08 %	9.00 %	8.25 %
	20 %	8.02 %	8.00 %	7.30 %

費用 20%増かつ便益 20%減のケースは内部収益率が 7.30%までに落ちるようである。その他のケースではすべて 8%以上となっており、この程度の変動であれば、治水関連公共事業の機会費用 8%を確保できることが判明した。

1.1.2 財務能力評価（償還能力検討）

緊急プロジェクトの総事業費は約 208 百万元であるが、前述したような住民負担（労働力の提供）により、公的な費用負担は 176 百万元となる。このうち約 90%は东川区内の事業となり、残り 10%は会泽県内の事業となる。一方で云南省水利庁及び东川区、会泽県は、その事業資金として海外融資機関からのローンを期待している。

仮に176百万元の全額を償還期間30年、据え置き期間10年、金利0.65%で借りた場合、元利支払い合計額は約198百万元で2019年に最大で9.9百万元/年程度の償還が必要となってくる。この内90%を東川区、10%を会泽県の負担とすると、それぞれ最大で8.9百万元/年、0.9百万元/年の償還となる。

一方財政状況を見ると、上級政府からの補助金等を含めたいわゆる区政府が使える資金である財政支出は2002年で251百万元であるが、1990年からの伸びを見ると12年間で5.7倍に増えている。もしこのペースで順調に伸びていくものとする、2002年の17年後となる2019年には8倍の2,008百万元に達することになる。この2,008百万元から8.9百万元の償還額をみれば、わずか0.4%に過ぎないことになる。したがって今後も地域経済が順調に伸びて行くなれば、この負担は東川区にとって決して償還不可能な数字ではないと思われる。しかし、それでも東川区にとっては大きな負担であることには変わりなく、上級機関である昆明市や云南省、または中央政府の財政支援が望まれる。

会泽県は比較的財政規模が大きく、一方で負担額は小さいため、東川区と較べて有利である。例えば2002年の財政支出588百万元に対し、最大償還額0.9百万元は0.2%に過ぎず、今後の経済発展をも考えれば十分にまかなえるものと推定される。しかし健全で安定した財政を持続していくためには、東川区同様に上級機関（曲靖市、云南省、または中央政府）の財政支援が望まれる。

海外融資プロジェクトの返済機関の例として昆明市西山区の滇池北岸水環境改善プロジェクト（38億元の総事業費の50%はJBIC借款を予定している）がある。このプロジェクトは国家発展改革委員会により許可され、現在、事業実施の準備中であるが、融資返済は昆明市によるものとされている。このような例に倣えば、本緊急プロジェクトについても、昆明市・曲靖市もしくは云南省による負担あるいは部分的な負担は当然ありうる。

1.1.3 技術評価

本調査では基本的に現地（小江流域）現存する技術を踏襲する方向で計画作りを行っている。したがって、緊急プロジェクトのほとんどは問題なく、現存する技術で充分効果を発揮するものと思われる。

その中で、地すべりおよび急傾斜地崩壊のハザードマップ作りや透過型砂防えん堤については、そもそも日本での長年の観測、調査研究、施工実績などの経験を通して開発、改良されてきた技術であり、小江流域にそのまま適用できない部分があることも十分想定される。したがって中国側においても、観測データ、調査研究、施工経験を蓄積し、小江流域の特性により合うように改良を図っていくことが重要である。

ハザードマップ作成

本調査において、急傾斜地崩壊および地すべり警戒区域の設定はいずれも日本の「土砂災害防止に関する基礎調査の手引き、平成13年6月、財団法人砂防フロンティア整備推進機構」の方法に倣って設定している。また土石流危険区域についても、日本で開発された火山泥流の解析モデル（2次元浅水流・不定流）を適用して氾濫区域の推定を行っている。

これらのこれらの手法は日本において長年にわたって観測、分析を行ってマニュアルとして整備されたものであり、そのまま小江流域に適用できるかという問題がある。災害発生後の調査結果データ（発生時刻、降雨データ、崩壊・地すべり・土石流氾濫エリア）があれば、その検証を行うことができたが、そのようなデータは残っていないため、土石流氾濫計算に小江流域で観測された土石流の濃度データを用いた外は基本的に日本

のマニュアルをそのまま活用してハザードマップを作成せざるを得なかった。このようなマニュアルはそもそも今後も観測・分析を行って随時改定されていく性格のものであり、小江流域においても、今後、観測、分析調査を行い、そのデータを基にまず今回作成した広域ハザードマップの検証を行い、必要ならば修正、さらには独自のマニュアル作りをしていく必要がある。

透過型砂防えん堤

本検討では、日本の新しい技術である透過型砂防えん堤（コンクリートスリット型）を中心とした構造物対策を提案しているが、この透過型砂防えん堤が土石流を捕捉し、土砂災害に対する保全対象の安全を確保するためには、えん堤透過部の設計技術が非常に重要となる。本検討においては、検討溪流につき1箇所（400m 区間）の巨礫粒径調査を行い、日本での実験・観測結果から導かれた実験式等によりスリット幅等を決定している。今後、実施設計の際には、日本の最新技術情報を参考にするとともに、砂防えん堤計画地点上下流各200m 区間の巨礫調査及び水理模型実験など十分な検討を行い設計を進める必要がある。さらに、えん堤完成後は、定期的いえん堤の堆砂状況についての観測・解析を行い設計法に改良を加えていくことが重要である。これらの成果を蓄積することにより、小江流域独自の設計技術の確立が可能となる。

施工に関しては、特に高度な技術を必要とはしないが、施工現場の地形条件が厳しく大型土木機械の搬入が困難なため、簡易機械及び人力主体の作業となる。このことから、骨材粒度試験、含水比試験、スランプ試験など十分な頻度の品質管理試験を実施し、コンクリート強度等の品質のばらつきを抑えることが重要である。

山腹工

山腹工は崩壊地やガリーでの浸食・崩壊を防止するものである。小江流域では従来の造林は無林地の造林化に重点が置かれ、より費用のかかる崩壊地やガリーの対策は後回しにされてきた経緯がある。しかし本調査では、崩壊地やガリーの拡大を抑えることも重要であると考え、山腹工の実施を提案したところである。この山腹工は編柵工、竹筋工、むしろ伏工、土工および植林が中心であり、工事事態は現地にある伝統的技術で十分対応可能である。また近隣の四川省安寧河流域で実施中の JICA プロジェクトである「四川省造林プロジェクト」において、山腹工の試験施工が実施中であり、このプロジェクトと交流することによっても技術移転が可能である。この試験施工で実施上の問題として挙げられた、山腹工に使用する適当な木材がなかったため竹を利用していることで、その他については特に問題として指摘されていない。（この地方で、山腹工が使われていなかったのは、技術的問題よりも経済的な問題から、従来崩壊地に山腹工のような対策を施してまで造林する必要性の認識が乏しかったことが考えられる。）

厳しい自然条件下での造林技術の開発

標高が1500m以下の地域での造林樹種は、現地での実績をもとに坂柳、苦刺を選定しており基本的にはここでの造林に対して大きな技術的問題はない。ただ、いわゆる乾熱河谷とよばれる厳しい自然条件の下ではこれらの樹種が十分育成しない場合も考えられる。こうした状況に対して、十分モニタリングをするとともに、育成が困難な場合については、リュウゼツランなど更に乾熱河谷に対して耐久性の強い樹種を選定することで対応はある程度可能と考える。

11.4 環境/社会配慮

1) 総合評価

本プロジェクトは、土石流と地すべりなどの被害に巻き込まれる可能性のある脆弱な環境に居住している世帯を、民族に関わらず等しく受益対象として設計した土砂災害対策及び環境修復事業である。受益者は東川区市街地流域の都市住民、商業施設、農民、さらに農家が主体である乌龙川流域、豆腐沟流域、桃家小河流域の世帯である。本事業の実施により、災害の発生および生態環境の悪化に起因する地域経済の停滞と、さらにそれに伴う森林破壊と流域の荒廃という土砂災害・自然環境劣化の悪循環を断ち切り、上記受益者の生活基盤を安定させ、長期的な経済の成長軌道を歩む素地が強固にされる。

当該地域は、これまで森林破壊により狼、豹などの大型野獣がほぼ絶滅し、黒首鶴の飛来も激減したと言われている。本事業の実施により、水土保持機能が回復し、森林植生が回復するため、将来、既に当該地域では存在が確認されなくなった動植物の回復も期待できる。このように本事業は経済面のみならず、自然環境面で著しい改善効果が期待される。

しかし、建設工事期間、事業実施段階において、限られた範囲ではあるが、負の環境影響が発生することが本環境影響評価調査から判明した。但し、それらはいずれも甚大な影響ではなく、通常行われている環境対策あるいは当該地域で伝統的に行われている対策を採用することによって緩和される。

2) 環境管理計画

上記の環境影響の評価結果と提案された緩和措置を次表にまとめた。緩和措置は、施工業者と事業実施機関が中心になって実施することになる。実際には事業実施機関から委託を受けた、事業の環境管理を担当する専門家（以下環境管理者）と施工時の環境管理を担当する専門家（施工環境管理者）が、これらの緩和措置が確実に実施されるよう重要な役割を果たす。

表 R 57 事業の環境影響と提案された主要な環境対策

環境影響	評価	改善措置	実施責任者	実施期間
土砂災害対策施設				
工事によって地域の交通が影響を受ける。	緩和可能	交通量の多い地点やボトルネックとなる地域を十分に考慮の上で、事業計画に支障がない範囲で、工事集中を避け、工事作業の平準化を図る。施工開始前に影響区域住民に周知させる。本要件は、実施設計段階で業者契約書に記載する。	施工業者	施工開始前と施工期間中
工事の土地改変による動植物に対する影響	影響は限定的かつ緩和可能	安全サイドに立ち、建設工事前に施設建設予定地を再度踏査し、貴重種が発見された場合には保護する。また工事期間は、写真を掲示し、施工手帳に動植物の保護の項目を記載し、労働者を教育する。	事業実施機関	施工開始前と施工期間中
コンクリート・ミックス過程で発生したアルカリ性の排水が水質に影響を与える。	緩和可能	施工廃水を集めて、中和処理してから排出する。これは施設のための投資が必要となるため費用を積算した。実施設計段階で業者契約書に、本件を記載し、確実に実行する。	施工業者	施工期間中
廃棄物が適切に処理されない。	緩和可能	施工廃棄物を指定場所に集中管理し、保護措置を実施する。実施設計段階で詳細を業者契約書に記載する。	施工業者	施工期間中
施工機械の油漏れで水質汚染と土壌汚染が発生する。	可能性は大きい改善できる	機械設備の点検修理を強化して、油漏れを防ぐ。使用済みの油を適切に処理して油漏れを防止する。点検頻度などを実施設計段階で決定し、業者契約書に記載する。	施工業者	施工期間中
施工機械の騒音と振動が現地の環境に影響する。	影響は限定的。緩和可能	工事工程の平準化を図ることにより、工事の集中を避ける。建設機械の運転に際し、始業前点検を実施して性能維持に努め、整備不良による振動の発生を抑制する。居住地は夜間の施工を避ける。本件も業者契約書に記載する。	施工業者	施工期間中
水系砂防対策				
棚畑化により農地再分割が必要になるが、境界線が分からなくなり、トラブルの原因になる。	甚大だが緩和可能	これまで現地で行われている対策（換地及び減歩率）を厳格に踏襲する。すなわち工事前の各農家の農地面積に従って、同じ比率で土地を分配する。これは住民間で協議し決定する。	事業実施機関、受益者及び村民委員会	施工開始前に住民と協議
棚畑化工事の表土の攪乱により土地生産性が低下する。	可能性がある	通常、現地で棚畑化の工事を実施する際に適用されている「表土扱い工法」を本事業においても踏襲する。	施工業者	施工期間中
棚畑化の施工期間中、耕作不可能になり、村民の生産生活に影響する。	甚大だが、影響最小化が可能	傾斜農地棚畑化はできるだけ秋収穫後から春播種までの農閑期に実施することによって影響を最小化する。可能な限り住民が工事建設に参加するようにし、農民の収入増を実現する。工事スケジュールは実施設計段階で策定する。	施工業者及び事業実施部門が調整	施工期間中に実施
棚畑化施工作業で、表土の移転で水土流失が発生する	甚大だが、緩和可能	工事は降雨時を避け、雨水浸食を最小化する。本項目も実施設計段階で業者契約書に記入する。	施工業者	施工期間中
造林及び山腹工				
苗の移植時に動植物等生態系へ影響を与える。	可能性がある	生態系への悪影響を与えないように労働者を指導する。施工手帳に動植物の保護の項目を記載し、建設労働者を教育する。	実施機関及び施工業者	施工期間
植生完全に回復まで土壌流出が続く。	甚大だが、改善できる	植生回復まで定期的に苗木移植を実施し、水土流失を観測する	事業実施機関	造林実施から植生回復まで
肥料農薬使用量が増加する。	緩和可能	農業資材の使用に関わる政策（農家への教育普及等）を協調的に強化する。	事業実施機関	長期的

1 2. 結論および提言

1 2. 1 結論

2004年3月より本調査は始まった。約1年間かけて基礎調査、基本計画作りを行い、2005年5月に中間報告書を提出して小江流域全域の土砂災害対策と自然環境修復に関わる基本計画案を発表した。

この基本計画案は砂防えん堤、流路工、導流工などからなる土石流対策、造林、山腹工、傾斜農地の造林（退耕還林）・棚畑（田）化からなる水系砂防対策、予警報システムなどの非施設対策、そして基本計画事業の実施や運営管理のための新組織（小江工程管理局）の設立などを含めた総合的な計画となっている。これらの事業は2010年までの完成を目指す緊急計画と2020年の完成を目指す長期計画の部分に分けられる。総事業費は約24億円で、経済性、財政負担能力、技術面、環境・社会配慮の面からも妥当であると判断された。

基本計画作成に引き続き、緊急計画に含まれる、4優先小流域（豆腐沟、乌龙河流域、東川市街地流域、および桃家小河）の土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト、予警報システムプロジェクト、さらに小江工程管理局の設立プロジェクトについてフィージビリティ調査が行われ、2005年12月、その結果がこの最終報告書案主報告書フィージビリティ調査編において発表される運びとなった。

4優先小流域の緊急プロジェクトは土石流対策、水系砂防対策や群測群防の強化などの非施設対策からなる総合的的事业として計画されている。予警報システムプロジェクトでは、小江全流域を対象とした雨量観測や東川市街地のための土石流予警報を重点に設計された。また小江工程管理局について、基本計画の実施や完成後の運営維持管理まで引き続き行うことを前提とした半恒久的組織とし、極力アウトソーシングを活用して弾力性に富む組織とするように提案している。以上のプロジェクトの総事業費は約2.1億円と見積もられ、経済性、財政負担能力、技術面、環境・社会配慮の面からの妥当性が確認された。

一方、2年弱の調査期間において各種の技術移転プログラムも実施されている。まず2004年1月には、現地報告書の発表を兼ね、関係機関から約60名の参加者を得て技術移転ワークショップが開催された。2005年5月にはJICA中国水利人材養成プロジェクトとの協力で、中国全土からの水土保持関係者40名、当小江調査関係者36名の計76名の参加者を得て合同セミナーを昆明にて開催した。このほかにも各種技術交流会、計20数回にも及ぶワークショップ、地すべり計測機器設置のミニパイロットプロジェクト、公聴会などの実施を通じて、技術移転・交流が図られた。

1 2. 2 提言

調査団は上記の結論を踏まえ、以下のように中国側に提言する。

1) 緊急プロジェクト、基本計画の実施の促進

小江流域では、土砂災害の発生および生態環境の悪化に起因する地域経済の停滞と、さらにそれに伴う森林破壊と流域の荒廃という土砂災害・自然環境劣化の悪循環が繰り返されている。この悪循環を断ち切り、住民の生活基盤を安定させ、長期的に地域経済発展を持続させるために、調査団は本調査で提案する緊急プロジェクトならびに基本計画の実施を強く提言する。

2) 住民参加の確保

上記提案する緊急プロジェクトや基本計画の造林、封山育林、傾斜農地の棚畑化などの事業が行われることになる山腹斜面は多くの住民の所有地もしくは生活場となっている。また計画的転流を考慮した本川の治水対策、群測群防、ハザードマップ作り、住民移転、副産物利用については住民自身が主人公であるべき活動・事業である。したがって住民を疎外したような計画作り、事業の推進では、成功はとてもおぼつかないことから、計画段階から住民との協議、住民参加を確保することが重要である。

3) 観測、調査研究、経験の蓄積による地域の特性に合った技術改良

本調査では、ハザードマップ作り、透過型砂防えん堤など、小江流域にとって新しい技術をも取り入れて計画作りや施設設計を行っている。これらソフト面、ハード面の技術は、日本での長年の観測、調査研究、施工実績などの経験を通して開発・改良され、技術指針、マニュアル、論文として整理されたものに基づいており、小江流域にそのまま適用できない部分があることも十分想定される。したがって「11.3 技術評価」で述べたとおり、今後、中国側においては、観測、データ収集解析、水理実験等の調査研究、施工経験の蓄積、構造物対策効果のモニタリング、ソフト対策のレビュー等により、小江流域の特性により合うように技術の改良を図り、独自の技術指針、マニュアルを作成していくことが望まれる。

4) 環境影響評価に関わる事項

中国政府は、本緊急プロジェクト事業の実施に先立って、環境影響評価の手続を完了することが必要である。環境審査に向けて必要となる作業事項としては以下の通りである。

- ・ 本調査の一環として、中国の環境影響評価法に基づいて中国語の環境影響評価報告書を作成している。この報告書は中国の制度で認められている正規の EIA 実施機関が、環境影響評価制度に基づき①建設事業の概況、②建設事業の周辺環境の現状、③建設事業が環境に対し与える可能性のある影響の分析、予測および評価、④建設事業の環境保護措置及びその技術、経済の論証、⑤建設事業の環境に対する影響の経済損益分析、⑥建設事業の実施に対する環境モニタリングの提案および⑦環境影響評価の結論を含む構成となっている。従って中国国内の環境許可の申請にあたっては、この報告書を利用して、早期に申請を行うことが必要である。その手順は以下の通りである。
 1. 事業主は、上記の EIA 報告書を省の環境保護局に提出する。
 2. 事業主は、建設事業環境審査受理センターの下で行われる専門家による審査結果のコメントに基づいて EIA 報告書の修正を行う。
 3. 事業主は、修正 EIA 報告書を環境保護局に提出する。
 4. 事業主は、受理センターから発行される正式な評価意見を添付して、下級の環境保護部門（東川区および会澤県の環境保護部門）に提出する。
 5. 事業主は、EIA 報告書、受理センターからの正式な評価意見および下級環境保護部門からの審査意見の 3 点を上級（省）の環境保護局に提出する。
- ・ 外国機関に融資を申請する場合は、上記に加えて、融資機関の環境審査を通過することが必要となる。この目的のために「付属報告書」にある「K 環境社会配慮」を利用することができる。本報告書は基本的に日本の国際協力銀行

(JBIC) の環境審査項目を考慮して構成し、日本語によって作成しているため、JBIC に融資の申請をする場合はそのまま利用することができる。しかし他の国際機関に融資を申請する場合は英語などに訳すことが必要となる。

5) 非自発的住民移転の回避と妥当な補償措置

東川市街地流域の土砂災害対策で予想された住民移転は、F/S 段階の設計で住民回避は回避された。詳細設計段階も継続して非自発的住民移転及び生計手段の喪失を、あらゆる方法を検討して回避に努めなければならない。このような検討を経ても回避が可能でない場合には、影響を最小化し、損失を補償するために、対象者との合意の上で実効性ある対策が講じられなければならない。

詳細な検討の上で住民移転が発生する場合は、中華人民共和国土地管理法（1998年8月公布、1999年1月施行）、土地家屋撤去管理法（2001）に従って補償計画、移転手当てを支給することが必要である。

また本案件の実施を国際機関からの融資によって賄う場合は、融資審査に先立って、OP 4.12¹（December 2001）など国際的に認められている住民移転に関わるガイドラインに基づいて移転計画を策定することが必要となる。この移転計画策定には少なくとも以下の3つの基本的精神を踏襲することが必要である。

- ① プロジェクト実施主体は、非自発的住民移転及び生計手段の喪失の影響を受ける者に対して十分な補償及び支援をより適切な時期に与えること。
- ② プロジェクト実施主体は、移転住民が以前の生活水準や収入機会、生産水準において改善又は少なくとも回復できるように努めること。これには、土地や金銭による（土地や資産の損失に対する）損失補償、持続可能な代替生計手段等の支援、移転に要する費用等の支援、移転先でのコミュニティ再建のための支援等が含まれる。
- ③ 非自発的住民移転及び生計手段の喪失に係る対策の立案、実施、モニタリングには、影響を受ける人々やコミュニティの適切な参加が促進されていなければならない。

¹ Involuntary Resettlement に関わる Operational Policy