

第6章 治山計画

6-1 治山計画策定基礎調査

6-1-1 安寧河流域の概況

安寧河流域の自然環境の概要については、既に第2章で述べたところであるが、安寧河の本流の概況、安寧河流域の山地の荒廃状況、既往の水害及び土砂災害の概況は次の通りである。

1. 安寧河本流について

安寧河は、地質構造に起因し、北から南にほぼ直線状に流れている。大きな断層に沿って河川が発達したもので、源流部は免寧県の「苗沖河」「中江河」（北緯28度49分、東経102度15分付近）で、主要流路延長約278.8kmに達し、西昌市、徳昌県、米易県を流下し、攀枝花市の東約24kmで雅龍江と合流している（北緯26度44分、東経101度52分付近）。下流部では地形の影響で、若干蛇行が見られる。西昌市の中央部付近で見られるように、沖積地帯・平坦部では乱流もあり、年々、多量の土砂が堆積し、中州を形成しているが、下流部では河川幅の比較的狭いところもあり、このような部分では流れは急である。このような現況は、概略で描いた河川縦断図からも読み取ることができる。

主要な流域地形特性をまとめると次のとおりである。

現地での観察や次表の数値からもわかるように、狭長な流域の本流に、兩岸からの数多くの支流がほぼ直角に流入しており、豪雨時には本流の水量が一気に増加する水系であるといえる。

表6-1-1 安寧河の流域地形特性

河川名	流域面積 (km ²)	主要流路長 (km)	流域平均幅 (km)	形状係数	河川密度 (1/km)
安寧河	11,149	278.8	39.99	0.143	0.128

注：1 流域平均幅は流域面積を主要流路長で除したものである。

2 形状係数は流域平均幅を主要流路延長で除したもので、流域が正方形に近い形(1.0)か、円形(0.79に近い)扇形(0.52)、あるいは狭長な矩形かを示し、数値が小さい場合狭長度が高いことを示している。

2. 山地の荒廃状況

現地での観察からも山地の表土流失そして河川への土砂流出が著しいことは明らかで

あるが、当該地における表土流失を定量的に把握しようとした場合、2、3の数値が見られるものの、いずれも確固たるものではないと考えられ、さらに、山地での実測例もない状況である。

しかしながら、現存の資料により、次のとおり安寧河流域全体について試算してみた。中国科学院成都山地災害与環境研究所編「四川省国土資源地図集」(1990・成都地図出版社)によれば、四川省全域を対象に年間の土壌流失状況の分布図があり、流失強度を次のとおり6段階に分けている。

強度の等級	年平均流失厚度 (mm)
1	<1.9
2	1.9
3	1.9 - 3.7
4	3.7 - 5.9
5	5.9 - 10.0
6	>10.0

これにより、安寧河流域について試算してみると次のとおりである。

表 6-1-2 安寧河流域の侵食土砂量 (試算)

強度の等級	面積 (km ²)	区域の比率 (%)	算出した侵食土砂量 (m ³)
3の区域	527.7	5	1,478×10 ³
2の区域	3,892.1	35	7,395×10 ³
1の区域	6,728.7	60	6,392×10 ³
計	11,148.5	100	15,265×10 ³

注：1 強度3の区域の流失厚度は2.8mm/年として算出した。

2 強度1の区域の流失厚度は0.95mm/年として算出した。

このように、安寧河流域全体では約15,265千m³の表土が毎年失われていると試算される。この試算には、平坦地の部分も全て含まれているが、全域では毎年1.36mmの厚さの表土流失があることになる。

一方、関係5市県林業局の資料(中国四川省安寧河流域造林計画・S/W協議・調査報告書—平成12年7月)によれば、5市・県で水土流出面積5,394ha、年間流出量8,805千m³との数値があり、この数値によれば流失厚度は、最大227.6mm、平均163.2mmと試算できる。この5市県林業局の資料による流失厚度は、非常に大きいように思われるが、対象は崩壊地であったり、崩壊が集中している部分であると思われる。

付け加えれば上記で述べた数値は、山地における表土の侵食量、失われる量であり、これらの流出土砂が全て一度に河川下流に流出するものではなく、途中での堆積、侵食

を繰り返しながら下流部に運ばれるものと考えられる。

3. 既往の水害及び土砂災害

安寧河に注ぐ各支流はほぼ直角に注いでおり、かつ、安寧河の流域幅が狭いことや山腹傾斜の急な部分が多いこと、さらに林地が少ないことから、豪雨の際の流出率が高く、降雨が集中的に安寧河に流入するものと考えられる。しかも、夏期に年間の70～80%余りの降雨があり、洪水や土砂災害が発生し易いことは十分明らかである。

小溪流から土砂礫が急激に流出する土石流も起き易いものと考えられる。溪流の出口の扇状地には集落などが発達している場合や道路、鉄道などが横切っている場合は一層被害が大きくなる。しかし、かならずしも人家や施設が溪流の出口にない場合も度々見られる。

死者数千人を出した1998年夏期の長江下流部での大洪水は良く知られているところであるが、当安寧河の下流部の米易県などにおいても洪水の被害が発生している。

ここでは、関係県林業局から得た資料により、年降雨量の多少と洪水被害発生との関連について考察してみた。

上流部は急傾斜の部分が多く洪水被害は殆どない。下流の平坦部で土地利用が進んでいる場合に洪水被害が発生し易い。下流部の米易県では過去19年間で5回洪水被害が発生しており、約4年に1回の割合である。現地の土地利用状況をみると、年々の堆積土砂により河床が上昇しているうえに、水流の近くにまで耕地として利用されており、わずかな増水でも被害が起き易い状況にある。過去のデータを用い年降水量と洪水被害額の関係を考察してみると、年降水量が平均値より少ない年でも被害が発生しているが、ほとんどは年降水量が平均より多い年であり、かつ、年降水量が多い場合、被害の程度も著しく増加する傾向がみられる。

なお、1998年の大洪水における年降水量の再現期間を試算してみると、約45年に一回発生する程度の規模の降雨量であったことがわかる。

4. 水利用状況

安寧河の本流を始め、各々の支流からの水は様々な形で利用されているのが散見される。西昌市においては邛海及び西河の上流から水道用水を取水しているが、将来は安寧河からの取水も考えられている様子である。山地においても、水量の豊富な溪流では発電用に取水されているのを始め、農地の灌漑用に最上流から取水し等高線に沿った素掘りの水路により下方部まで運ばれ利用されているのが度々見られた。

6-1-2 重点調査区域の荒廃状況と治山計画

1. 荒廃の成因と荒廃の形態

1) 荒廃の成因

山地の荒廃地の成因を考える場合、先ず、素因と誘因に分けて考える必要がある。

- ・素因——地形、地質、土質、植生被覆
- ・誘因——降雨、地下水、凍上、地震、火山、人為的要因

これらの、いくつかの因子が山地の荒廃の成因・拡大に及ぼす影響の度合いは、それぞれのおかれている条件によって異なり、明らかにできる場合もあるし、十分明らかにできない場合もある。例えば、急傾斜の場合崩壊し易いが、緩やかな斜面でも崩壊している場合もある。また、花崗岩が風化している場合、崩壊し易いことは良く知られているが、比較的崩壊し難い地質もある。当地域の場合、第三紀層が殆どを占めており、このような新しい地質は、崩壊し易いとも見られている。

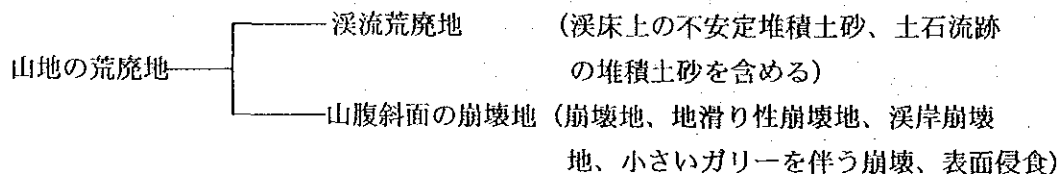
当地域の山地荒廃の成因・拡大について要因とその影響度合いをまとめて簡明に述べることは難しいところである。

ただ、地質、土質の点からも侵食・崩壊し易い箇所がほとんどであり、しかも、下流への土砂流出を考えた場合、夏期には豪雨が集中して降ることや、加えて、上流部の急斜面の部分も耕地として多くが利用されていること等、いくつかの要因が重なり、いずれも荒廃を加速する方向に働いているといえよう。

一方、森林を始めとする植生被覆が少ないうえ、山地植生の生育・増加を妨げる自然条件がいくつもあることが、土砂流出の増加を抑えることなく助長さえしている結果となっている。

2) 荒廃の形態

土砂の流出源である流域内の荒廃状況を把握するためにも、水土保持対策(治山事業)の計画のためにも先ず、荒廃地(土砂量)を定量的に調査しまとめる必要がある。そのため、荒廃地の形態を分類することが大切である。山地の荒廃地の分類については、その成因、形状あるいは発生場所などに注目した分類が様々な方法で行われているが、ここでは、今後、引き続き対策工法を考える必要があり、この観点から以下のように分類してみた。先ず、溪流における荒廃と山腹斜面における荒廃とに分ける。



* 注：溪流は山腹面より緩やかで、常時流水のあるところ、または洪水時に流水のあるところ。

さらに、当地域の場合、著しいガリー侵食溝が目立って、多くあることから上記にガリー侵食溝を加えた。

ガリー侵食溝（山腹面に発達しつつある比較的小さいもの、溪流源頭部で比較的大きく拡大しつつあるもの）

* 注：ガリー侵食溝は、土壌層が深く、かつ脆いため雨水により先ず縦方向に侵食が進む。そして横方向にも侵食・崩落し拡大していくものと思われる。

荒廃地をこのように分類して現地を調査して取りまとめるものであるが、上記のように区別が難しい場合もある。例えば地滑り性崩壊と単なる崩壊との区別に当たって、次の2形態を地滑り性崩壊とした。

① 土塊の乱れは少なく、原形を保って滑落しているもの。

② 亀裂が発生し、滑落の徴候がみられるもの。

崩壊の形態は種々あり一様ではないが主要なものを模式図で示すと、別添資料 6-1-1

(1) (2) の通りである。

2. 重点調査区域の地形等と荒廃状況

重点調査区域別の地形等及び荒廃の概況は次の通りである。

① 喜徳県：熱柯依達区域

この区域は安寧河に合流する孫水河の重要な支流である米市川の流域にあり、安寧河との合流点から約76km上流にある。孫水河流域は喜徳県の約70%余りを占め、常に赤色の濁水を安寧河に注いでいる。最上流部は、森林はあるものの、比較的緩やかな斜面はもちろん、35度以上の急斜面でもあちらこちらで耕地として利用され、全域では広大な面積が耕地となっている。

孫水河は、源流では、最初、南東方向に流れ、次いで、北の方向に流れながら多数の支流を合流させ、さらに西方向に流れて安寧河に合流していることからわかるように、地形の成り立ちは複雑で、頁岩、泥岩等、ブロック化した部分があちらこちらで見られる。そしてほとんどは、非常に脆い。この区域の土壌は6種分布するが、その中で酸性紫色土壌の分布が最も広く、土壌層は深い崩壊する場合も深く次々と崩落する。酸性紫色土壌の影響を受けて、孫水河は常に、紅色の濁水となっている。

溪岸崩壊、表土の侵食、ガリー侵食溝、地滑り性崩壊や土石流の跡もあちこちにみられる。

② 昭覚県・東河・孫水河区域

西昌市の市街を流れる東河の最上流部と喜徳県・孫水河の最上流部2支流からなる区域である。頂上部分は、緩やかな地形が大部分を占めており、湿地帯もみられる。

上部は、森林のある部分もあるものの、大部分の標高は、3,000m程度と高く、風が強いこともあり、矮性化した林木あるいは草地の部分が多い。

荒廃状況についてみると、東河上流は緩やかな斜面が広がっている部分もあるが、溪岸の全域に亘り、崩壊・崩落が著しく、溪岸崩壊、大小のガリー侵食溝、地滑り性崩壊が見られ、これらの中には大規模のものもあり、毎年、降雨季には下流に相当量の赤色の土砂が流出しているものと思われる。東河流域の土壌は酸性紫色土壌の占める割合が多く、その土壌層は深い。

孫水河の上流は大規模なガリー侵食溝は少ないが、小規模の表層崩壊や侵食溝が見られる。

③ 西昌市：佑君・中壩区域

安寧河の右岸で西昌市の南部に位置する、4～5の溪流が扇状を成す区域で、上部は森林が多いものの、下方部や上部の森林地帯においても耕地があり、さらに、無立木地も比較的多く、自然発生の山腹崩壊も数多く見られる。40度近い急斜面も多く、溪流に近いところ、あるいは山腹上部などに大小の崩壊が発生しており、土砂流出の源となっている。急斜面では耕地が崩落し、崩壊地化している。このようにこの区域は風化した花崗岩を主体とし、所により泥岩、砂岩、頁岩の箇所が存在する非常に脆弱でもろい地質であり、崩壊や侵食を受け易い。

各溪流の下流部(平坦部)には、毎年、細粒の土砂が異常な量で堆砂し、多くの小溪流は天井川となり、両岸に土砂を積み上げている風景が見られる通り橋梁などの施設、周辺の人家・建物などにも影響を与えている。

一部の溪流では、上流での道路改良に伴う流出土砂も含まれているものの、下流からみた場合、細粒の土砂流出が非常に多く見られる流域である。

④ 徳昌県：角半溝・曾家堡子区域

徳昌の北方に接して安寧河の右岸に位置し、当区域は大きく三つの流域からなっている。最南端の角半溝流域の場合、森林が多いものの、高海拔の山系が多く左岸上流部では無立木地も多くあり、崩壊、ガリー侵食が見られる。さらに、上流右岸部には土砂礫の流出の著しい溪流があり、溪床上に多くの砂礫が堆積しているのが見られる。

曾家堡子流域(仁寿溝)は下方部は、森林が多いが最上部は耕地も相当面積あり、無立木地の部分が多い。地形の緩やかな部分では土砂流出は少ないが、急傾斜地では崩壊も散見される。なお、当流域の本流(下方部)の水量は豊富である。

やや小さいが、仁寿溝の北隣の流域(黄家坦)の場合、無立木地が多く、ガリー侵食溝、溪岸崩壊などが目立ち、風化花崗岩も見られる。この区域には多くの土壌が分布するが、その中で褐色土壌の占める割合が大きい。

最北端の阿月溝の場合、右岸部分のみが区域内であり、森林状況は良く崩壊は少ない。

⑤ 米易県・撤蓮鎮、攀蓮鎮区域

安寧河の右岸部で、北端は対岸の米易に接している。比較的小さい流域も含めて 9 溪流が直接安寧河に注いでいる区域で、それぞれ若干異なる点があるものの主要な流域についてみると次のとおりである。

攀蓮鎮地区の場合、下方部から中腹部にわたっては、無立木地が目立ち、表層はやや深く非常に脆いが現在崩壊はあまり見られない。しかしながら、かなり深部まで脆弱でかつ急傾斜であり、豪雨やその他のきっかけで容易に崩壊・侵食を起こすものと思われる。

頭子溝流域は、下方部は無立木地が多いが、上方部とくに北向き斜面は、森林・植生が多い。上方部にはガリー侵食を伴った崩壊が散見される。上方部、南向き斜面の凸地形部分は表土流出が見られ裸地化している部分が多い。下方部の無立木地帯の土壌は非常に脆いため小さい崩壊や小さいガリー侵食の発達が目立つ。

老廠溝流域は、上流部には森林があるものの耕地として利用されている斜面もやや多い。礫岩が散見されるが、溪岸崩壊、ガリー侵食を伴った崩壊が見られる。

消水溝流域では、上方部においても耕地が多い。崩壊地の数は多くないが、一部、やや大きい溪岸崩壊が集中しているところがある。

区域の最南端部についてであるが、4つの溪流があり、上部に大きい崩壊が遠望される溪流や土砂流出が著しく小さい扇状地を形成している溪流もある。さらに、安寧河本流に接する部分は、急斜面が多くガリー侵食や表土流出があり、小さい崩壊もやや多く見られる。

3. 治山事業の必要性と治山計画

当該山地の土砂流出の源である現地の荒廃状況については前述した通りであるが、これらの山地荒廃地について全てを簡易な治山工作物で対処できないことはあきらかである。対処の方針は概ね次の通り考えられる。

① 簡易工作物で対処可能なもの

- ・ 山腹崩壊地
- ・ 浅い崩壊あるいは表面侵食
- ・ 溪岸崩壊地のうち小規模、傾斜の比較的緩やかなもの、または可能な場合崩壊地の上部の部分のみ
- ・ 小規模なガリー崩壊

② 簡易工作物で対処不可能なもの

- ・ 大規模な山腹崩壊地
- ・ 地滑り性崩壊地
- ・ 大規模なガリー侵食溝
- ・ 溪流荒廃地（溪床上の不安定土砂、土石流による堆積土砂、直立状の溪岸侵食）

一方、造林計画との関連での簡易治山工事対象地は、次の通り考えられる。

- ・ 造林計画地内の荒廃地で簡易工作物により、造林地に復旧できるもの、あるいは復旧できなくても周囲の造林地の崩壊・侵食を防ぐ必要がある場合。
- ・ 造林計画地外の崩壊地であっても、放置した場合、造林地への崩壊・侵食が進む恐れのある場合。

このように簡易治山工作物の計画は、大規模な崩壊地には不適切であり、豪雨の際の急激な下流への土砂流出や森林の崩壊防止・土砂流出防止機能を上回る規模の崩壊発生には対処することはできない。言い換えれば、簡易治山工作物の計画は、森林の崩壊防止機能、土砂流出防止機能に期待して、森林造成のために治山工作物を計画することとなる。これまで、関係林業局では治山工事については実施の経験はない。鉄道、水利部門で、溪流からの急激な土砂流出による災害に対処するため、コンクリート工作物が十分ではないものの築設されている。なお、米易県においては、最近、林業局の指導で経済林の造成と併せて、土砂流出防止のために実施したコンクリート施設（谷止工）をみることができる。

6-2 簡易治山工事実施箇所及び工法選定基本方針

1. 簡易治山工事実施箇所の選定

荒廃裸地内の治山工事実施（治山計画）の対象とする崩壊地の選定に当たっては次の考え方による事とした。

1) 施工対象予定箇所選定方法

各市県の荒廃裸地は相当広範囲に分布しており、しかもその荒廃裸地内には崩壊地も数多い。このような崩壊地をすべて本件調査期間内に現地踏査により調べ、まとめることは不可能であることから、航空写真の判読による方法を主体に行い、これまでの現地調査の結果も併せて活用することとした。使用する航空写真は縮尺約1:25,000の密着写真であり、写真上の1mmは現地では25mに相当し、現地の10mは写真上ではわずか0.4mmである。また、撮影の角度によっては対象物が十分明瞭でない場合もある。このような状況から航空写真の判読に当たっては現地の調査の経験を入れて判断した。

2) 対象とする崩壊地

(1) 崩壊地の区分

崩壊の種類は複雑にならないよう出来るだけ簡明に区別することとし、表層崩壊とガリー浸食溝の二種類とした。山腹面に発生している崩壊は形や浸食状況も様々であり、各市県によっても地質・土壌の違いを反映して異なる点が見られる。しかしながら、山腹工事実施の観点から明らかに異なる工法を採用する必要がある表層崩壊と細

長く発達しているガリー浸食溝の二種類に区分することとした。

(2) 崩壊地の規模

① 表層崩壊

0.01ha（長さ10m×幅10m）以上の崩壊地を対象とする。これまでの現地調査の結果から判断すると、簡易治山工法で施工可能で、効果が期待できる大きさは0.10ha（長さ50m×幅20m）程度までと考えられる。しかしながら、傾斜や崩壊の状態によってはこれ以上の大きいものでも工事の施工が可能なものもある。更に大きい崩壊であっても、先端部分のみを対象に施工し、林地に復旧したり、崩壊の拡大を防ぐことも考えられるので、大きい崩壊も取り上げておき、周辺の状態とも併せて、工事の可否を判断することとする。

② ガリー浸食溝

大規模で常時流水のあるものから、比較的小さいガリーまで見られる。造林計画地内に発達し、現在土砂流出が行われており、今後も拡大の恐れがあるものを主体に選定することとし、ガリーの長さは150m程度以下のものを工事施工対象とすることを基本とした。しかしながら、航空写真（1:25,000）の判読からは正確に判断できないものも多く、大きいガリーや一部植生の侵入しているガリーが含まれることもありえる。

3) 工事施工の対象外のもの

明らかに工事施工の対象外とするものは次の通りである。

① 大規模な地滑り性崩壊

各市県の荒廃裸地内には、現地の地形、地質、土壌条件を反映して、主として溪流の源頭部に大規模な崩壊地が数箇所程度見られる。大規模な地すべり性崩壊やガリーが集中しているもので、ほぼ小班全域にわたるものが多く、いずれも明らかに治山工事の施工は不可能であり、小班全域を崩壊地としてあつかい、施工対象外とする。

② 大規模なガリー浸食溝

ガリー浸食溝は喜徳、昭覚県に特に多く見られる。長さ150m程度以下のものを工事施工対象としたが、荒廃裸地内には長さ200m以上のものもあり、ガリーの大きさ（幅）や周辺の状態とも併せて、工事施工が可能であると判断されるものを除き、工事施工対象外とする。

③ 傾斜角47°以上の崩壊地

崩壊地の傾斜角が40°前後以上の場合、切り取り土砂が多くなり、かえって斜面を不安定にさせがちで、工作物を築設することに無理なことが多い。しかしながら、本計画の対象地は一般にどこも急傾斜の崩壊地が多く、41~45°の崩壊も相当数に達し、放置することはできないと判断される。このため、できるだけ急傾

斜のものも工事施工の対象とすることとし、47°以上のもののみ工事対象外として扱うこととした。

上記に該当する崩壊地の数は、①に該当するもの22箇所、②に該当するもの281箇所、③に該当するもの18箇所である。

1. 簡易治山工法選定基本方針

造林計画の対象である荒廃裸地内には様々な形態の崩壊地が発生している。その地域の地形、地質、土壌条件を反映して、各市県によって異なる点が見られる。しかしながら、治山計画（施工）に当たってはこれらの様々な形態の崩壊を類型区分する必要があることから、表層崩壊とガリー浸食溝に大きく区分したもので、この二つのタイプの崩壊に対する工法を考える必要がある。このようなことから、治山工法の選定に当たっては次のような考え方を基本方針とした。

- ① 土留工など斜面安定を目的とする工法を主体とするのではなく、編柵工など山腹緑化工（植生の生育条件の改善と確保）を主体に選定する。
- ② 山腹工法としては現地の崩壊地に応じて様々な個別工法を組み合わせることとなるが、施工を考えた場合、複雑な方法は避ける必要がある。
- ③ 主たる資材としては、木材の入手は困難であるものの、現地では竹が生育しており、竹は比較的強度があり、かつ細工もし易いことから主たる材料として用いる。

以上の諸点を踏まえると、次のような工種の組み合わせにより、山腹工法として現地の崩壊に対応できるものと判断した。

1) 工法の選定

(1) 表層崩壊に対する工法

編柵工を主体にし、筋工を組み合わせる。急傾斜の崩壊（43～46°）や凍上の恐れのある寒冷地にはむしろ伏工を主体に採用する。

(2) ガリー浸食溝に対する工法

ガリー浸食溝の場合、大規模のものから小さいものまで形態がいくつかある。大規模なものは施工対象外とするが、小さいものでも林地への完全な復旧は難しいものの、出来るだけガリーからの流出土砂を防ぎ、拡大を防ぐ観点から次の考え方で対応することとした。

- ①土のう積工を横断工として用い、縦横浸食の防止を図る。
- ②草本の種子を詰めた土のう袋を水路工として用いる。
- ③常水のある箇所には可能な限り鉄線かご工を用いる。

2) 簡易治山工法に用いる資材

上記の各工法に使用する材料についてみると、現地で入手可能な材料を用いて施工可能であると判断した。ただ、多量の資材を必要とすることから、地域によっては供給が十分でない県もあるものの、西昌市からの供給を考慮すれば、十分可能であることが判明した。例えば、喜徳県、昭覚県では竹の生育は少ないものの、西昌市には竹材を扱う業者があり、むしろについては、注文により生産、入手が可能であることがわかった。以上のような状況を考えると、すでに述べた考え方で簡易治山工事の計画・施工は可能であると判断した。

2. 治山計画図の作成

(1) 基本方針

本計画では荒廃裸地内の崩壊地を調査し、形態の異なる各々の崩壊地に対し簡易治山工法による治山計画を作成するものであるが、崩壊の現況や治山対策工法の状況がわかる治山計画図を作成することとしている。その基本方針は次の通りである。

- ① 治山計画図の縮尺は1:25,000とし、すでに作成済みの林小班図をベースとする。
- ② 崩壊の現状がわかること。
- ③ 崩壊地についての対策工法がわかること。

これらはいずれも小班単位で表示することとした。

(2) 治山計画工法区分要領

次に示すような要領で作成、標示（記号）することとした。

① 現況崩壊地の分類

K1：1小班内に崩壊地形が1～2箇所存在する場合

K2：1小班内に崩壊地形が3～9箇所存在する場合

K3：1小班内に崩壊地形が10箇所以上存在する場合

② 崩壊地形のタイプ別治山計画工法区分

L1：一般的崩壊地への山腹工法

編柵工、竹筋工を施工し、牧草などの草本系種子を播種すると同時に植栽を行う。対象地は傾斜40°以下の崩壊地とする。L1は崩壊地の面積によって以下の3つに分類される。

L1-1：崩壊地の斜面積が0.01～0.03haの場合

L1-2：崩壊地の斜面積が0.04～0.05haの場合

L1-3：崩壊地の斜面積が0.06ha以上の場合

L2：急傾斜崩壊地及び寒冷地への山腹工法

表土裸出部分の全面をむしろで覆い、牧草種子、木本系種子を混播すると同時に竹筋工を施工する。対象地は傾斜43～46°の崩壊地及び標高約3,000m以上の崩壊地とする。

L3：ガリー状の細長い崩壊地（浸食溝）への山腹工法

土のう積工と水路工（鉄線かご、土のう水路）を主体とする。対象地は長さ約150m以下のガリー浸食溝とする。

L4：簡易治山工事の計画対象外

小班全体にわたって崩壊地が見られる場合、傾斜47°以上、150m以上のガリー浸食溝は簡易治山工事計画の対象外とする。

③ 治山工事緊急性区分

M1：緊急性が非常に高い M2：緊急性が高い M3：緊急性の検討の必要性あり

(3) 小班別治山工法確定要領

崩壊地別治山工法区分要領に従って、個々の崩壊地の治山工法を確定し、以下の要領で各小班の代表的工法を確定した。

- ① 各小班に一種類の工法組み合わせしかない場合は、その工法を適用する。
- ② 各小班に二種類以上の工法組み合わせがある場合は、箇所数の多い工法を適用する。
- ③ 各小班に二種類以上の工法組み合わせがあり、かつそれぞれの工法の箇所数がほぼ同じ場合は、面積の多い工法を適用する。

6-3 選定方法と選定結果

1. 簡易治山工事実施箇所

1) 航空写真等による荒廃状況の把握

今回の現地調査ではすでに完成した林小班図（1:25,000）や森林面積簿を活用することができた。林小班図には造林計画の対象地である荒廃裸地が小班単位で明示され、森林面積簿に崩壊裸地面積が記載されている。造林計画対象地である荒廃裸地の中で簡易治山工事の対象とする崩壊地はこれまでの現地調査の結果も踏まえて、林小班図を活用し、航空写真の判読により荒廃裸地内の崩壊地をまとめた。

2) 各市県の荒廃状況と簡易治山工事計画箇所

(1) 喜徳県

喜徳県は重点調査地区面積10,050haのうち、4,277.8haが森林面積簿上の荒廃裸地である（以下この章では同じ）。林班数は33であるが、荒廃裸地が50%以上を占めている林班は約1/3あり、最上流部に集中している。当地域における荒廃の特徴や荒廃発生に関連する素因・誘因の特長は以下の通りである。

- ① 地形の成り立ちが複雑で、地質的にも頁岩、泥岩等がブロック化した部分があちこちで見られ、非常に脆い。

- ② 土壌は酸性紫色土で土壌層は深く、水の浸透により表層が深部に向かって次々と崩壊するタイプが多く、大小の崩壊がいたるところに見られる。
航空写真の判読等からまとめた崩壊の状況は次表の通りである。

表 6-3-1 喜徳県の崩壊地と治山計画箇所

荒廃裸地面積 (ha)	表層崩壊地		ガリー浸食溝		計		崩壊率 (%)
	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	
4277.8	596	15.58	272	277.65	868	293.23	6.9
うち治山工事対象地	593	14.39	137	7.39	730	21.78	

*崩壊地率は表層崩壊地とガリー浸食溝の合計／荒廃裸地面積

*面積は斜面積で示す。

荒廃裸地の 6.9%に当たる 293ha 余りが崩壊地（表層崩壊地、ガリー浸食溝）である。これらのうち簡易治山工事の対象とした崩壊地は 730 箇所、21.78ha である。全体の崩壊地には地滑り性崩壊が広範囲にわたっていたり、ガリーが集中している箇所もあり、小班全域を崩壊地とした箇所もある（5 林班 22-2 小班の 76.10ha、30 林班 11-2、16、17、24、26、29 小班の計 175.9ha）。喜徳県ではガリー浸食溝が多く見られ、幅は比較的狭いものの、延長の長いものが多いことから、治山計画の対象としたものは調査箇所の 1/2 程度である。治山工事対象の崩壊地の特長は以下である。

- ① 表層崩壊の面積は 0.01ha が最も多く、その傾斜角は 26～30° が最も多く、21～25°、41～45° の順に頻度は少ない。
- ② ガリー浸食溝は、長さ 101～150m が最も多く、次いで 151～200m である。幅は 3m が最も多く、次いで 4m である。
(調査した崩壊地を対象に「面積と傾斜分布」「ガリー崩壊の長さ」と幅」について調べ、また、工事対象崩壊地についても面積、傾斜角の分布について調べた結果から主要点をまとめて記したもので、以下各市県とも同じ。)

(2) 昭覚県

昭覚県は重点調査区域面積 9,500ha のうち、3,898.0ha が荒廃裸地である。西昌市を流れる東河の最上流部と喜徳県を流れる孫水河の最上流部からなるが、林班数は 33 であり、荒廃裸地が 50%以上の林班は 1/3 以上あり、米市河の上流部に多い。当地域における荒廃の特徴や荒廃発生の素因・誘因の特長は以下の通りである。

- ① 上部分は緩やかな地形が大部分を占めているものの、喜徳県の孫水河上流、西昌市の東河上流のいずれも荒廃裸地の多い林班では小面積の表層崩壊が多く、ガリー浸食溝もあちこちに発生しており、拡大しているものもみられる。
- ② 東河上流の場合、浸食を受けやすい酸性紫色土で、土壌層は深く、大規模なガリー

一浸食溝が発達している。源流部にはガリー浸食溝の発達と併せて大規模な地すべり性崩壊の発生している箇所もある（6林班）。

- ③ 荒廃裸地のほぼ 2/3 以上は標高 3,000m 程度以上で、高海拔の地区が多く、このため夜間の気温が 0℃ 以下に下がり、その後昼間の気温の上昇のため、凍上と融解が繰り返され表層の崩落・崩壊の拡大の誘因となっている。

航空写真の判読等からまとめた崩壊の状況は次表の通りである。

表 6-3-2 昭覚県の崩壊地と治山計画箇所

荒廃裸地面積 (ha)	表層崩壊地		ガリー浸食溝		計		崩壊率 (%)
	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	
3,898.0	439	156.12	231	28.87	670	184.99	4.7
うち治山工事対象地	427	21.26	148	8.68	575	29.94	

*崩壊地率は表層崩壊地とガリー浸食溝の合計／荒廃裸地面積

*面積は斜面積で示す。

荒廃裸地の 4.7% に当たる 184.99ha が崩壊地である。これらのうち簡易治山工事の対象とした崩壊地は 575 箇所、29.94ha である。6 林班 24、25-1、25-2、25-3 小班の場合、大きなガリーと地すべり性崩壊が広範囲にわたって集中しており、該当小班全域 128.9ha を崩壊地とした。ガリー浸食溝が多くあり、幅は狭いものの、延長の長いものも多く、治山工事の対象としたものは調査箇所の 64% 程度である。治山工事対象の崩壊地についてみると次の通りである。

- ① 表層崩壊の面積は 0.01ha が最も多く、傾斜角は 21～25°、次いで 26～30° で、41～45° の崩壊は喜徳県、西昌市、米易県と比べて少ない。
- ② ガリー浸食溝についてみると長さは 101～150m が最も多く、続いて 151～200m である。幅は 3m が最も多く、続いて 4m である。

(3) 西昌市

西昌市は重点調査区域面積 9,912ha のうち、1,695.6ha が荒廃裸地である。林班数は 37 であるが、荒廃裸地が 50% 以上を占めている林班はない。当地域における荒廃の特徴や荒廃発生の素因・誘因の特長は以下の通りである。

- ① 深層まで風化した花崗岩類が広く分布しており、脆弱な地質であるため表層崩壊が発生しやすく、浸食も受けやすい。
- ② 比較的小規模の崩壊地が多く見られ、花崗岩類が風化した細粒の土砂が下流部の扇状地にまで多く流出し、天井川を形成している。

航空写真の判読等からまとめた崩壊の状況は次表の通りである。

表 6-3-3 西昌市の崩壊地と治山計画箇所

荒廃裸地面積 (ha)	表層崩壊地		ガリー浸食溝		計		崩壊率 (%)
	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	
1695.6	418	60.28	49	11.00	467	71.28	4.2
うち治山工事対象地	346	26.66	39	3.39	385	30.05	

*崩壊地率は表層崩壊地とガリー浸食溝の合計／荒廃裸地面積

*面積は斜面積で示す。

荒廃裸地の 4.2%に当たる 71.28ha が崩壊地である。これらのうち簡易治山工事の対象とした崩壊地は 385 箇所、30.05ha である。西昌市の場合、表層崩壊地がほとんどで、ガリー浸食溝は少ない。治山工事対象の崩壊地についてみると次の通りである。

- ① 表層崩壊の面積は 0.01ha、0.03ha が最も多く、次いで 0.02ha、0.04ha の崩壊で、0.11ha 以上のやや大面積の崩壊も見られる。
- ② 表層崩壊の傾斜角を見ると 36～40°、次いで 41～45° と急傾斜の崩壊地が目立つ。
- ③ ガリー浸食溝についてみると長さは 51～100m のものが最も多く、次いで 101～150m である。幅は 5m のものが最も多く、次いで 10m、7m と比較的広いものも多く見られる。

(4) 徳昌県

徳昌県は重点調査区域面積 10,201ha のうち、1,387.7ha が荒廃裸地である。林班数は 20 であるが、荒廃裸地が最も多い 6、8、9 林班でも荒廃裸地率はそれぞれ 38%、38%、24%と、比較的荒廃裸地は少ない。このように徳昌県の場合、森林の部分が多く、荒廃裸地は少なく、同様に崩壊地も少ない。荒廃の特徴や荒廃発生の原因・誘因の特徴は以下である。

- ① 仁寿溝地区は下方から見た場合、荒廃地が目立つが、その多くは耕地に発生している崩壊地であり、荒廃裸地の面積は少なく、従って治山工事の対象とする崩壊地も比較的少ない。
- ② 仁寿溝地区の最上流部に当たる馬路地区は荒廃裸地が広く分布しているが地形的に緩やかな部分が多いため崩壊地は少ない。
- ③ 11 林班においては急斜面に道路が開設されており、ガリー状の細長い崩壊が数箇所見られる。
- ④ 米米屋基地区の場合は、32%が荒廃裸地であり、山腹面の傾斜は 30° 以下の緩やかな部分が多いものの、大規模な溪岸崩壊や地すべり性崩壊が数箇所あり、このため渓床土には崩落土砂が多量に堆積しており、下流への土砂流出の源となっている。長さ又は幅が 100m 以上のものが 7 箇所あるが、これらを含めて 10 箇所

6.17haの崩壊が連続している。

航空写真の判読等からまとめた崩壊の状況は次表の通りである。

表 6-3-4 徳昌県の崩壊地と治山計画箇所

荒廃裸地面積 (ha)	表層崩壊地		ガリー浸食溝		計		崩壊率 (%)
	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	
1,387.7	87	7.59	35	3.90	122	11.49	0.8
うち治山工事対象地	77	1.42	20	1.35	97	2.77	

*崩壊地率は表層崩壊地とガリー浸食溝の合計／荒廃裸地面積

*面積は斜面積で示す。

荒廃裸地の0.8%に当たる11.49haが崩壊地である。これらのうち簡易治山工事の対象とした崩壊地は97箇所、2.77haであり、治山工事対象地の崩壊の特徴は次の通りである。

- ① 表層崩壊の面積は0.01haが最も多く、その他は少ない。
- ② 表層崩壊の傾斜角は26～30°のものが最も多く、次いで21～25°で、41～45°のものではなく、他の市県に比べて急傾斜の崩壊地は少ない。
- ③ ガリー浸食溝についてみると、長さは101～150mが最も多く、次いで151～200mのものである。同様に幅は3、4mのものがほとんどである。

(5) 米易県

米易県は重点調査区域10,194haのうち2,665.8haが荒廃裸地である。林班数は20であるが、荒廃裸地が50%以上を占める林班は3箇所(1、13、20林班)あるが、いずれの林班においても荒廃裸地が散在している。荒廃状況の特長は以下の通りである。

- ① 当該地域は全般的には崩壊は少ない地域であるが、深部まで非常に脆弱な地質で雨水などによる浸食を受けやすい地区(1林班)や上流部の急傾斜で山腹崩壊や溪岸崩壊が発生している箇所が多い。
- ② 安寧河の下流部では急傾斜の斜面が安寧河に面しており、小崩壊が多く見られる。航空写真の判読等からまとめた崩壊の状況は次表の通りである。

表 6-3-5 米易県の崩壊地と治山計画箇所

荒廃裸地面積 (ha)	表層崩壊地		ガリー浸食溝		計		崩壊率 (%)
	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	
2,665.8	541	37.64	84	8.36	625	46.00	1.7
うち治山工事対象地	515	21.34	46	2.67	561	24.01	

*崩壊地率は表層崩壊地とガリー浸食溝の合計／荒廃裸地面積

*面積は斜面積で示す

荒廃裸地の 1.7%に当たる 46.00ha が崩壊地である。これらのうち簡易治山工事の対象とした崩壊地は 561 箇所、24.01ha であり、治山工事対象地の崩壊の特徴は次の通りである。

- ① 表層崩壊の面積は 0.01ha が最も多く、次いで 0.05ha、0.02ha、0.03ha である。
- ② 表層崩壊の傾斜角は 41～45° のものが最も多く、次いで 31～35°、36～40° で、他の市県の表層崩壊に比べて急傾斜の崩壊地が多い。
- ③ ガリー浸食溝について見てみると、長さは 151～200m と比較的長いものが多く、次いで 101～150m である。

5 市県の崩壊地と治山計画箇所は次表のようである。

表 6-3-6 5 市県の崩壊地と治山計画箇所

荒廃裸地面積 (ha)	表層崩壊地		ガリー浸食溝		計		崩壊率 (%)
	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	箇所数	面積(ha)	
13,924.9	2,081	277.21	671	329.78	2,752	606.99	4.36
うち治山工事対象地	1,958	85.07	390	23.48	2,348	108.55	

*崩壊地率は表層崩壊地とガリー浸食溝の合計／荒廃裸地面積

*面積は斜面積で示す。

2. 簡易治山工法

1) 選択した簡易治山工法

一般的に治山対策工は、山地の崩壊地復旧・山地からの土砂流出防止を目的としており、溪流に施工する溪間工事と山腹面に施工する山腹工事に大きく区分される。本計画においては、森林が皆無といって良い荒廃裸地にまず造林を進めることによって山地からの土砂流出の減少を図ることが主たる目的であるが、併せて、造林予定地に多数発生している崩壊地を簡易な工作物で林地に復旧したり、あるいは崩壊拡大を防ぐことにより造林効果を一層高めるということが、本計画における治山工法の目的である。従って、採用する治山工法は比較的小規模な崩壊を対象とした山腹工事で、その工法も造林効果を高めるという主旨から行う簡易なものであり、大規模な崩壊地は本計画の対象外である。山腹工法は日本では一般的に次のように細分されている。

<山腹基礎工-安定した斜面の確保> <山腹緑化工-植生生育条件の改善確保>

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ のり切工 (※) ・ 土留工 ・ 水路工 (※) ・ 埋設工 ・ のり枠工 ・ その他 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 柵工 (※) ・ 筋工 (※) ・ 実播工 (※) ・ 伏工 (※) ・ 植栽工 (※) ・ その他 |
|--|---|

注：(※) 印は当計画で採用する工法

当計画においては、簡易山腹工法という前提であるので、現地で容易に入手できる材料による施工を主体とすることを原則として、主要な部分は森林保全上伐採が禁止されている木材に替えて竹を主体とした工法を採用することとした。ただし、強度を要求される杭などの部分的な材料については、伐採が許可されている灌木やユーカリを用いることとした。また、当地はこれまで治山工事の実施経験が無い地域であることから、より複雑な構造のものは実施が困難と考えられるため、現地で入手が容易で、かつ現状の様々な形態の崩壊にも対応できるものとして次のような簡易治山工法を採用する。各々について定規図を作成したが、主要なものを別添資料 6-3-1 (1) ~ (5) に示した。

(1) 表層崩壊に用いる工法

a. 編柵工①

杭は木材を使用し、そのほかの部分は竹材を使用するもので、編柵工、筋工の中では最も強度が高く、若干の土圧にも対応することができる。単価は最も高く、208 円/10m である。(定規図は別添資料 6-3-1 (1))

b. 編柵工②

杭、編柵部分など全てに竹材を使用するもので、編柵工①より高さは 10cm 程度低く、単価も編柵工①より 22% 程度低い。(定規図の掲載省略)

c. 竹筋工①

編柵工②よりさらに 10cm 程度低いもので、編柵工②同様すべて竹材を使用するが、構造は編柵工②よりも簡単であり、単価は編柵工②よりも 27% 程度低い。(定規図は別添資料 6-3-1 (2))

d. 竹筋工②

竹筋工①同様すべて竹材を使用するが、斜面を切り取らずにそのまま斜面上に竹杭を打ち、わずかな埋土をするという更に簡易なものであり、単価は竹筋工①より 33% 程度低い。(定規図の掲載省略)

e. むしろ伏工

木本、草本(牧草)の種を斜面上に肥料とともに播き付け、幅 1m 長さ 2m のむしろで表土全面を被覆し止串で押さえる方法である。木本、草本が発芽、生育できるようむしろの目は粗いものとする。斜面を多く切り取ることでできない急傾斜の箇所(43~46 度程度)や寒冷地で凍結融解による表土の侵食を防止する必要がある箇所に適している。(定規図は別添資料 6-3-1 (3))

(2) ガリー侵食溝に用いる工法

a. 土のう積工

幅 40cm 長さ 70cm の布または合成樹脂製の土のう袋にセメントを少し混ぜた土を詰めてガリーを横断させ、75cm 程度の高さに積み上げ、鉄筋杭で押さえる工法で、

ガリーの侵食防止、土砂流出防止に役立てる。併せて、水路工の支えにもなる。(定規図は別添資料 6-3-1 (4))

b. 鉄線かご工

当地域は既成の蛇籠やふとん籠がないため、直径 2mm の鉄線を用い、幅 1m 長さ 2m 高さ 0.4m の籠を作成し、中に玉石を詰める。ガリーでは常時流水や湧水がある部分も多いので、この部分には鉄線かご工を用いることが適当である。ただし、玉石が近くで得られることが条件である。(定規図の掲載省略)

c. 土のう水路工

幅 40cm 長さ 60cm 程度の布または合成樹脂の袋に土、肥料、草本の種子を混ぜて詰め、ガリーの底面に水路を形作って並べ、鉄筋で押さえ水路とするもので、草本の種子の発芽・生長により流水の分散、侵食・土砂流出の防止に役立つ。更に生長して草本が周辺に繁殖することにより、急傾斜の土壌裸出部分の緑化にも役立つ。(定規図は別添資料 6-3-1 (5))

2) 簡易治山工法に用いる資材

簡易治山工法に用いる材料は、現地で容易に入手でき、かつ使用目的に合ったもので、数量的にも一度にかなりの量を調達できるものでなければならない。

a. 木杭

編柵工①については簡易工法の中では最も強度が求められる工法であるため、木材の入手が困難な地域ではあるが、あえて木杭を使用することとした。現地では水青岡 (*Fagus longipetiolata* ブナ的一种) と呼ばれる、農具の柄などに用いられる比較的材質の硬い木材が比較的安価で販売されている。また、西昌市では 7~8 年前に植栽されたユーカリが伐採期に達しており、この二種が木杭として適していると思われる。

b. 竹

編柵工、竹筋工などの杭や編柵材料として最も多く用いる材料で、現地では農家の周辺などにまとまって生育している。ただ、重点調査地域内では、西昌市、徳昌県、米易県には多く生育しているが、北部の昭覚県、喜徳県にはほとんど生育していない。現地の竹には次の二種類があるが、節の間隔が長く、肉の薄い慈竹 (*Sinocalamus affinis*) が編柵用には適している。杭としては肉の厚い麻竹 (*S. latiflorus*) の方が強度は高いが、価格が高いため、本計画では慈竹を主体とした。

・慈竹 (*S. affinis*) 別名：釣魚慈、甜慈

節間隔が長く肉が等厚で薄く、細工に適している。長さは 10m にも達し、直径は先端近くまで 5cm 程度である。

・麻竹 (*S. latiflorus*) 別名：大葉竹、南竹、大頭典竹

慈竹に比べ肉厚で太く強度も高いが編柵材料としてはやや厚すぎる。

価格は慈竹の 2~3 倍である。強度を要する部分ではこの種の竹を使用する必要がある。

c. わら

重点調査区域内では北部の稲作の少ない喜徳県、昭覚県では入手が困難であるが、その他の地域では容易に入手できる。

d. むしろ

むしろ伏工用の資材として多量に使用する計画であるが、注文生産により入手可能である。

e. 土のう袋

土を詰めて土のう水路工や土のう積工に使用する袋であり現地で入手可能である。

f. 鉄筋杭

鉄筋を加工したもので、現地で入手可能である。

g. 鉄線、セメント、肥料

一般市場で容易に入手できる。

3) 資材・労務費などの単価

(1) 資材

5 市県の林業局に問い合わせをし、文書の形で回答を得たが、地域により価格差があり、また、現在中国では全てが市場価格に則っているため、価格変動も比較的大きいことがわかった。こうした点を考慮した上で資材単価をまとめた（別添資料 6-3-7 (1) (2)）。

(2) 労務費

市場経済への移行に伴って、労務費においても標準規定がなくなり、現在では現地の状況によりその相場が異なる。計画対象地域の相場は 5 市県とも 40 元が妥当である。

(3) 物資運搬費

運送関連業者からの聞き取り調査の結果から、当地の車両による物資運搬費用は 1.2 元/11/1km とした。当計画地では大部分が山岳地域であるため、道路の終点から治山工事対象地までの距離が遠く、人力による運搬を必要とする。涼山州林業局及び各市県林業局の聞き取り調査の結果、人力による運搬量及び距離は 40kg/4km/人/日と設定し、労務費を 40 元として算出した。

山腹治山工法の最終の目的は緑化、すなわち森林植生を育てることによって山腹斜面からの土砂流出の減少を図ることである。荒廃した裸地や崩壊した山腹斜面の場合、表土層が不安定で土壌の養分が欠乏しているなど、林木などの植生の自然侵入や生育には適さない状態にまで悪化している。このような状態を人工的な工作物で表土層の安定を図り、植生が生育しやすい環境を作るとともに植栽や播種によって森林植生の回復を図るのが緑化工である。

本計画の場合、編柵工や筋工を主体に用い、現地の条件によってはむしろ伏工により

植生の生育に適する条件を作り出すものである。最終的な目的は林木の導入であるが、必ず草本も併せて導入することが重要であり、いずれも現地の厳しい自然条件に対応するものでなければならず、木本・草本の選定に当たっては十分な検討が必要である。本計画で用いる個別山腹工法と木本・草本使用の関連をまとめると次表の通りである。

表 6-3-7 山腹工法と使用する木本・草本

個別山腹工法	用いる木本・草本の区分
・編柵工①、②	植栽木+牧草種子(草本株)+挿木
・竹筋工①	植栽木+牧草種子(草本株)+挿木
・竹筋工②	牧草種子(草本株)+挿木
・むしろ伏工	木本種子、草本種子(牧草)の混播
・土のう水路工	草本種子(牧草)

注1：草本は広範囲の条件に適応する牧草種子の播付を主体としたが、在来の草本種子も可能な場合混播することが望ましい。また、草本種子の播付に替えて、周辺から草本株が得られる場合はこれを用いる。本計画では在来の草本種を4種類あげたが、今後さらに使用可能なものを見つけ出す必要がある。

注2：むしろ伏工の場合、木本種子を直播するので、直播に適する樹種を選定する必要がある。

(1) 山腹工法に用いる木本

編柵工①、②や竹筋工①の埋土部分には必ず木本を植栽することとする。崩壊地における植栽本数は、日本の場合、一般造林の場合に比べてかなり多く、土壌条件の良好な箇所では3,000~5,000本/ha、土壌条件の悪い箇所では8,000~12,000本/haである。本計画においては植栽は編柵工、竹筋工の水平方向に1m間隔とした。山腹工に用いる木本の条件としては一般的に次の点があげられている。

- ・ 成長力が盛んで良く繁茂するもの
- ・ 根張りが良く、土壌の緊縛度の大きいもの
- ・ せき悪地、乾燥、寒害、虫害等に対し適応性、抵抗性の大きいもの
- ・ 土壌改良効果の期待ができるもの
- ・ 入手が容易であるもの

一種類の樹種でこれらの条件を全て満たすことは難しいが、次のように性質の異なるものを混植すると良い。

- ・ 浅根性のものと深根性のもの
- ・ 肥料木(マメ科)と他の樹種
- ・ 針葉樹と広葉樹
- ・ 高木性のものと低木性のもの

本計画で用いる治山用樹種として 13 種類ほどあげた（別添資料 6-3-7 (2) 参照）が、これらは例として示したもので、これらが全てではない。治山計画対象地は北部の喜徳県、標高 3,000m 以上の箇所が多い昭覚県、さらに乾熱河谷の米易県などのように植生の生育に関係する気温などの自然条件も様々であることから、現地の自然条件を十分に把握した上で木本を選定する必要がある。

挿木については、崩壊地の周辺で得られる挿木に適した林木の枝条を編柵工、筋工などの施工後、挿しておき、発根・生育を図ることとする。本計画であげた木本のうち、挿木に適するものとしてはウンナンポプラのみであるが、その他灌木であっても挿木に適する木本はあるものと思われるので、あらかじめ見つけておくことが必要である。

(2) 山腹工法に用いる草本

荒廃山地や崩壊地の緑化の場合、木本とともに必ず草本を導入し植生の生育に適する土壌環境などを出来るだけ早期に整える。用いる草本は厳しい自然条件にも比較的良く耐え得る牧草が良く用いられるが、可能な場合には在来の草本も混ぜて使用するのが良い。なお、実播工に用いる草本類は次のような条件を持つものが望ましいとされている。

- ・ せき悪地や環境条件に対する適応性や抵抗性が大きいもの
- ・ 生育初期及び生育後の地表被覆効果が大きいもの
- ・ 成長力が早くよく繁茂し、葉量の多いもの
- ・ 根張りが良く、土壌の緊縛効果のあるもの
- ・ 多年生で繁殖力が盛んであり、生育の永続性のあるもの
- ・ 土壌の改良効果、肥沃化が期待できるもの

牧草は自然条件の厳しい箇所でも比較的良く発芽・生育するので広く用いられている。牧草には夏の高温期に成長を休止し、寒冷地に適する「寒地型」と、高温期に生長が旺盛な「暖地型」があり、この区別を知った上で現地の条件にあった種類を選ぶ必要がある。また、発芽の温度については、暖地型の草本植物では 25℃前後の温度が発芽に適した温度であり、10℃前後の温度は発芽可能な温度の限界である。一方、寒地型の草本植物では、20℃前後の温度が発芽に適した温度であり、5℃前後が発芽可能な温度の限界であると見られている。さらに、イネ科（禾本科）、マメ科に属するものがあり、異なる種類を混播するのが良い。

(3) むしろ伏工における播種量について

むしろ伏工の場合、斜面を整地し草本・木本種子を肥料とともに混播し、肥土で種子を被覆した後、むしろで覆う工法であるが、草本・木本の種類の選定や異なる種類のを混ぜる必要があることについてはすでに述べたところである。

播種量の算出は次の式による。

$$W = \frac{G}{S \cdot P \cdot B}$$

W：播種重量(g)
P：純度(%)
G：発生期待本数
B：発芽率(%)
S：平均粒数(粒/g)

注：日本での例を示すと次の通りである

1. 発生期待本数は 6,000 本/m²を標準とする。混播の場合、草本種子の発生期待数 4,000~5,000 本/m²、木本種子の発生期待数 1,000~2,000 本/m²を標準とする。
2. 木本と草本の種子を混播する場合、木本は初期生長が遅く、草本により被圧されがちである。このため木本は初期生長が早く被圧に耐えるものを選ぶ必要があるが、併せて草本種子の量を減少させる。しかし大きく低下させるわけにもいかないため、木本と草本の粒数比率は 1:1~1:2 程度が好ましいとされている。

むしろ伏工で用いた種子量の計算では、草本 2 種類、木本 2 種類として前記の式により計算したが、日本での場合、概ね外来草本 2~3 種類、在来草本類 1~2 種の混播とし、更に木本類 1~2 種を加えている場合が多い。(別添資料 6-3-1 (3) 参照)

このように、混播する場合の種子量などの問題をはじめ、他の事案についても、当地域での最も適切な値については今後実績の積み重ねが必要であろう。

6-4 事業計画

1. 崩壊の形態、規模に応じた対策工法及び単価の決定

簡易山腹工法としての工法の選定についてはすでに述べた通りである。当計画では荒廃裸地内の崩壊地を、その形態から表層崩壊地とガリー浸食溝の二種類に区分し、治山事業計画を策定した。治山工事対象地の崩壊地は規模、特性も様々であることから、個別の工法を組み合わせる必要がある。その個別工法の組み合わせは、個々の崩壊地によって異なる場合が多いことから、ここでは次のようにモデルをいくつか想定して図示した後、崩壊の規模・特性に応じて事業計画を作成した。工事費は全体のモデル工法組み合わせの傾向を把握し、出来るだけ実態にあった数値で全体の工事費を求めるよう努め、崩壊裸地全体の治山工事費を算出した。

1) 表層崩壊地 (工法区分：LI-1、LI-2、LI-3)

(1) 工法組み合わせの考え方

個別工法を組み合わせるに当たっての基本的な考え方は次の通りである。

a. 編柵工①及び②

斜面距離 5m 間隔に施工し、土砂の移動を防ぎ斜面を安定させるための主要な工種とした。なお、規模の小さい崩壊地の場合は、編柵工に替えて竹筋工①を用いる。

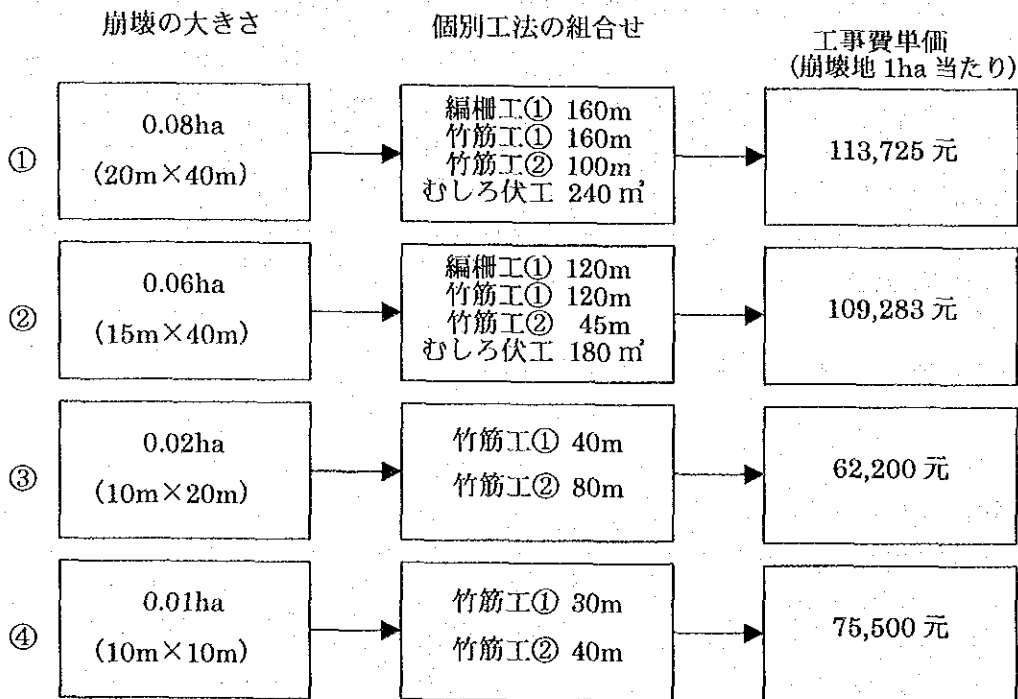
b. 竹筋工①及び②

5m 間隔に施工する編柵工の間に、更に 2 列の筋工を施工し、植生（木本、草本）を生育させる場所を作る。竹筋工②は斜面を切り取ることが不適當な箇所に用いる。

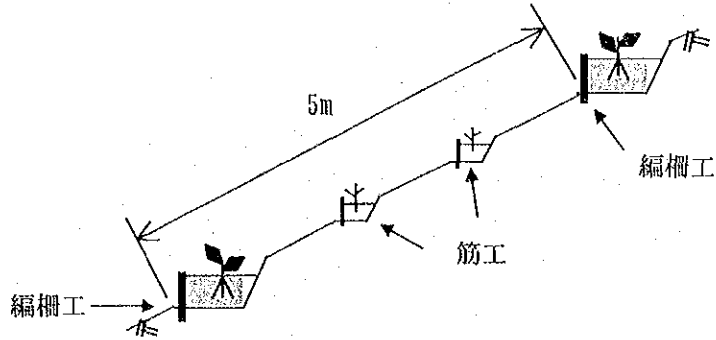
c. むしろ伏せ工

一般的に表層崩壊地の斜面傾斜は非常に急である。各市県の工事対象崩壊地の傾斜角分布を調べたが、傾斜 40° 前後の崩壊地は、傾斜度 30° 前後の崩壊地と同様数多く見られる。表層崩壊地への主要な工法は編柵工と筋工とするが、一つの崩壊地内で、局部的に急傾斜で斜面を切り取ることが出来ない部分がある場合はむしろ伏工を採用する。

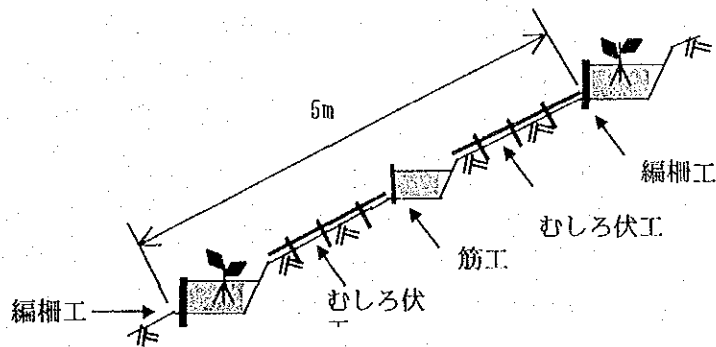
(2) 工事費単価の決定



編柵工と筋工を主体とした山腹工法模式図



編柵工、筋工と一部むしろ伏工を組み合わせた場合の模式図



0.01ha程度の小規模崩壊地の場合

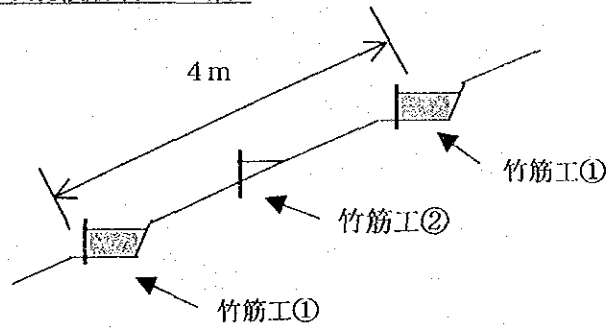


図 6-4-1 山腹工法模式図 (1)

上記の結果をグラフ用紙にプロットし、崩壊面積の大きさに応じた工事費の変化の傾向を把握して表層崩壊地の各工法の単価を以下の通り決定した。

表 6-4-1 表層崩壊崩壊規模、工法別単価表

崩壊地面積	工法区分	単価
0.01～0.03ha	L1-1	71.1 千元/ha
0.04～0.05ha	L1-2	96.8 千元/ha
0.06ha～	L1-3	121.8 千元/ha

2) 急傾斜 (43°～46°) の崩壊地及び寒冷地の崩壊地 (工法区分:L2)

(1) 工法組み合わせの考え方

各市県によって若干異なるものの、43°～46°の急傾斜の崩壊地は30°前後の崩壊地と並んで多数見られる。このような急斜面では柵工や筋工を施工するために斜面を切り取ると大量の土砂を切り取ることとなり、かえって斜面が不安定になる。従って、柵工、筋工はこの点を考慮して計画する必要がある。また、昭覚県などの高海拔地に見られるように、夜間気温が0℃以下に下がると、土壌中の水分が凍結することにより表土が持ち上げられ、日中気温の上昇とともに融解し、表土が少しずつ崩落する。この繰り返しによって新たに崩壊が発生したり、既存の崩壊地が拡大するため、凍結融解の恐れのある場合は表土の裸出部分全面を被覆するむしろ伏工が適していると考えられる。このような寒冷地域では表土の裸出部分全面に木本、草本の種子を播きつけた後、むしろで被覆する方法を主体とした。すなわち編柵工を斜面距離5m間隔で施工し、その間に筋工を1列施工した上、表土の裸出部分に木本・草本の種子を肥料とともに播きつけた後、むしろで被覆し止串で押える。

むしろ伏工を主体とした工法の模式図

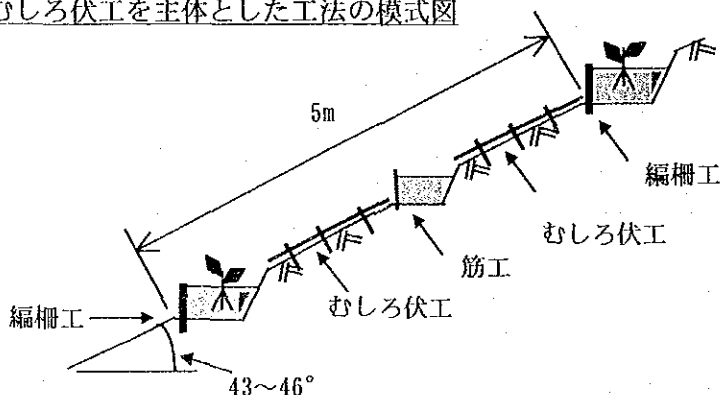
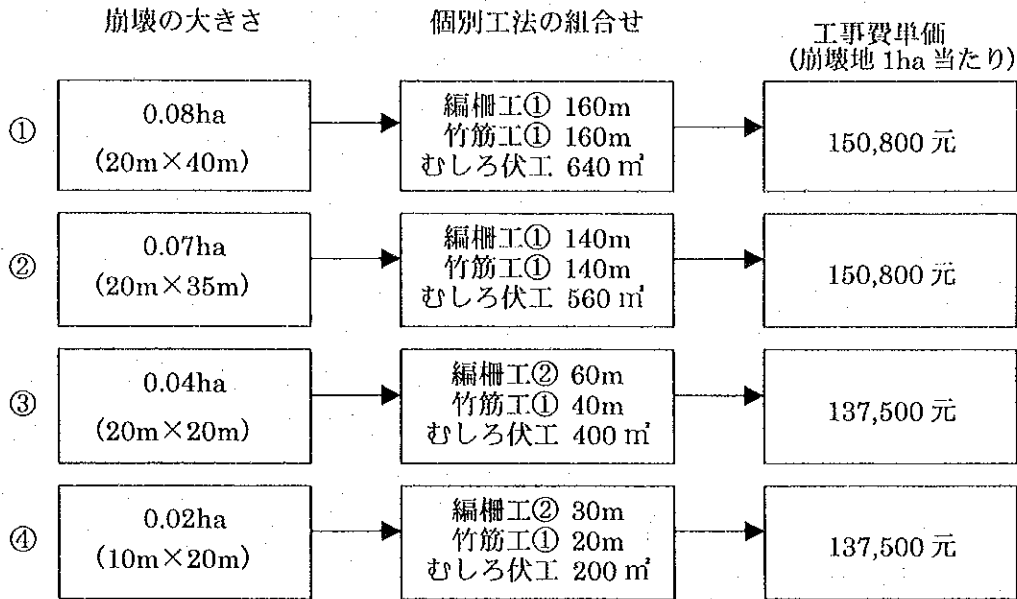


図 6-4-2 山腹工法模式図 (2)

(2) 工事費単価の決定



注：むしろ伏工を主体とした場合である。

以上の結果から崩壊の大きさと工事費単価の関係をグラフ上にプロットし、面積の大きさに応じた平均工事費を求めた後、更にその値を平均し、急傾斜地及び寒冷地の工事費算出の平均単価とした。

表 6-4-2 むしろ伏せ工単価表

崩壊地面積	平均工事費	平均単価
0.01~0.05ha	138.23 千元/ha	} 164.4 千元/ha
0.06~0.10ha	151.38 千元/ha	
0.11~0.15ha	163.66 千元/ha	
0.16~0.20ha	177.69 千元/ha	
0.21~0.25ha	190.85 千元/ha	

3) ガリー浸食溝 (工法区分:L3)

(1) 工法組み合わせの考え方

ガリー対策工として個別工法を組み合わせる場合の基本的考え方は次の通りである。

a. 土のう積工

土のうを高さ 0.75m 程度に、ガリーを横断するよう積み上げ、縦横浸食の防止、土砂の流出防止を図り、更に水路工の支えとするもので、斜距離 10m 間隔に設ける。

b. 土のう水路工

幅 40cm 長さ 60cm の土のうに草本種子、肥料、腐植土を詰めたものをガリーの底

面に幅1m程度の水路を形作るように張り付け、止め杭で固定する。草本種子の発芽生育により流水の分散、浸食防止、土砂流出防止に役立つ。更に草本の生育、繁殖により周辺の土壌裸出部分の浸食防止、安定化に役立つ。

c. 鉄線かご工

ガリー浸食溝の場合、湧水や常時の流水がある場合が多いが、この様な部分には鉄線かご工が適している。

ガリー対策工の模式図

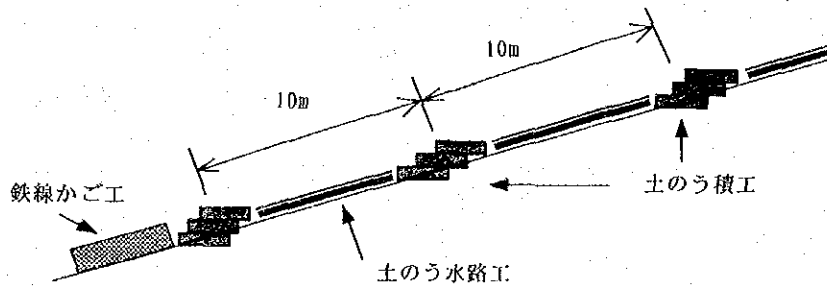


図6-4-3 山腹工法模式図(3)

(2) 工事費単価の決定

	崩壊の大きさ	個別工法の組合せ	工事費単価 (崩壊地1ha当たり)
①	0.10ha (10m×100m)	土のう積工 100m 鉄線かご工 20m 土のう水路工 80m	240,020 円
②	0.06ha (7m×80m)	土のう積工 56m 鉄線かご工 10m 土のう水路工 70m	245,417 円
③	0.03ha (5m×60m)	土のう積工 30m 鉄線かご工 10m 土のう水路工 50m	293,167 円
④	0.02ha (5m×40m)	土のう積工 20m 土のう水路工 40m	293,800 円

この結果を見ると、ガリー面積が大きくなるほど工事費単価が安くなるように見えるが、これは、ガリー対策工の場合、対策工施工部分がガリーの底面に限られるため、ガリーの

大きさによる工事費の増加部分が少ないためである。

これらの結果からガリー浸食溝の大きさと工事費単価の関係をグラフ上にプロットし、

面積の大きさに応じた工事費単価を求め工事費算出の平均単価とした。

表 6-4-3 ガリー浸食溝規模別工法別単価

ガリー面積	工法区分	単価
0.03ha 以下	L3(a)	303.9 千元/ha
0.04~0.09ha	L3(b)	253.4 千元/ha
0.10ha 以上	L3(c)	236.5 千元/ha

以上述べた方法により各市県に採用する治山工事費算出のための施工単価は表 6-4-4 の通り決定した。

表 6-4-4 工事費算出に用いる工法別平均単価表

簡易治山工法区分		記号	工事費単価 (千元/ha)
山腹工法	対象箇所		
1. 一般工法	① 編柵工、竹筋工、草本、木本種子混播・植栽	崩壊地面積 0.01~0.03ha	L1-1 71.1
	② 編柵工、竹筋工、草本、木本種子混播・植栽	崩壊地面積 0.04~0.05ha	L1-2 96.8
	③ 編柵工、竹筋工、草本、木本種子混播・植栽	崩壊地面積 0.06ha以上	L1-3 121.8
2. むしろ伏と牧草、木本種子の混播	傾斜43°~46°の崩壊 寒冷地	L2	164.4
		L2	164.4
3. ガリー防止工(土のう積工と鉄線かご、土のう水路を主体)	長さ150m程度以下のガリー	L3	
		L3(a)	303.9
		L3(b)	253.4
		L3(c)	236.5

注：単価は崩壊地（ガリーを含む）1ha当たりの工事費である

2. 各市県の治山計画と実施に要する総事業費

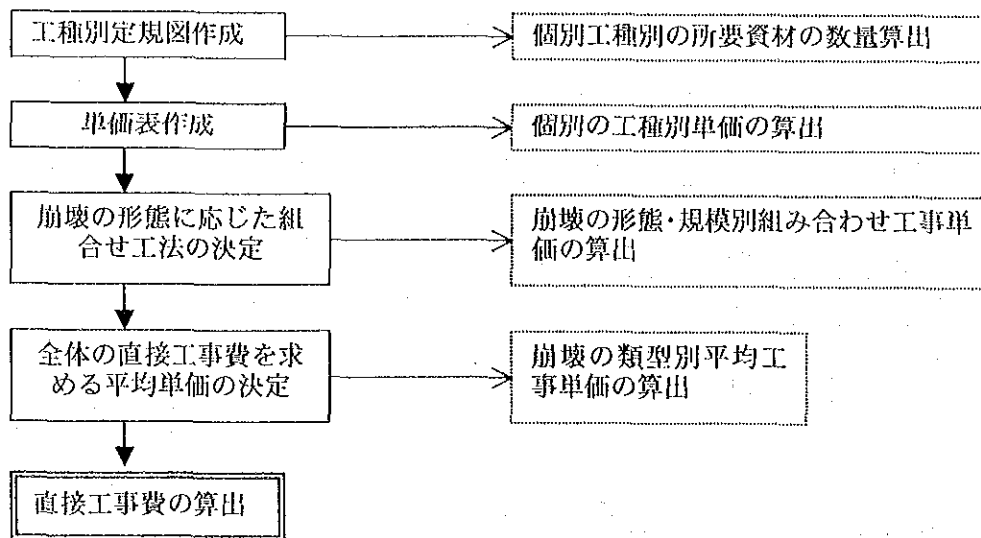
各市県別にまとめた崩壊地に対する簡易治山工事の実施に要する全ての経費を算出する必要がある。日本で用いられている治山事業の事例、或いは中国の官庁で行われている事例を考慮し、当該計画の実施のための総事業費を次のようにまとめ、併せて算出方法も記載する。

1) 直接工事費

直接工事費は施設の施工に直接必要な材料費、労務費から成り、資材運搬費も含む

(1) 資材費、労務費の算出

本計画の作成に当たっては、個別の工種別の単価表を基にして求めた組み合わせ工法別の平均単価に、類型区分ごとの崩壊面積を乗じて直接工事費（資材費、労務費）を求めた。その過程は以下の通りである。



工事費積算に欠かせない単価表は、個別の工種の経費を単位数当たりで算出する計算表で、工事費積算の基礎となる最初の段階のものであり重要な意味合いを持っている。計算の要素は次の事項からなっている。

- a. 個別の工種の規定図から決定した単位数の工種を築設するために必要とする資材の数量 (a_1, a_2, a_3, \dots)
- b. 各々の資材の単価 (b_1, b_2, b_3, \dots)
- c. 細分した作業種別 (例: 杭打ち、編み上げ仕上げ、床堀) ごとの歩掛^a (c_1, c_2, c_3, \dots)
注: 歩掛とは1人1日の仕事量を意味し、 $\times \times$ 人/単位作業量/日で表し、積算の重要な要素である。本計画では日本での歩掛を基本に一部推定して用いた。
- d. 労務単価 (d)

工種別単価表の計算

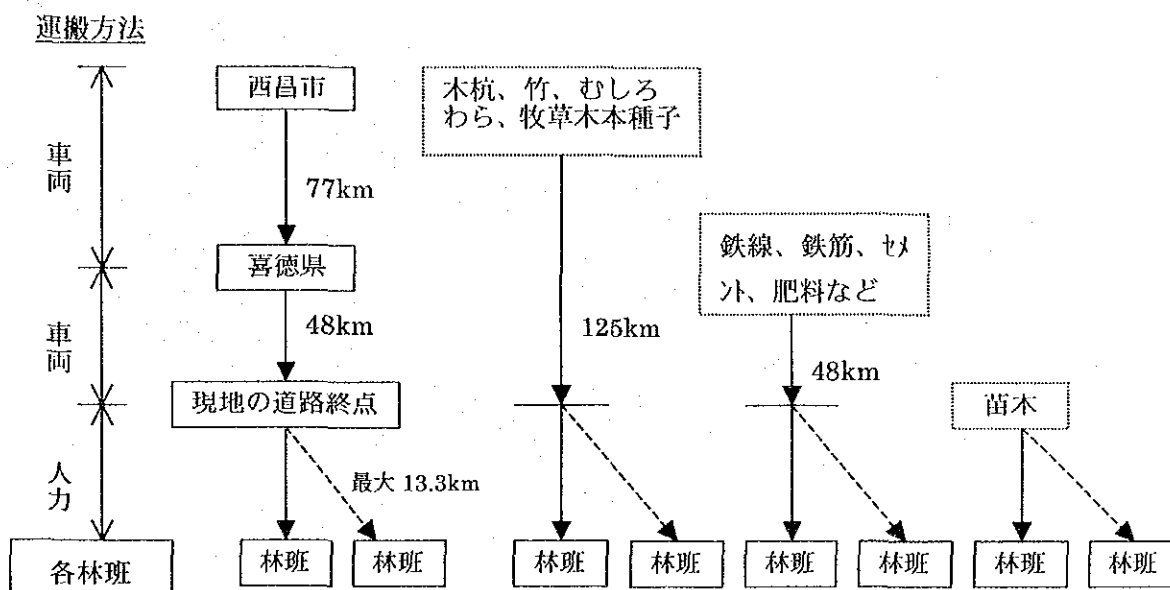
材料費	
a_1 (数量) \times b_1 (単価)	$= A_1$ (材料費)
a_2 (数量) \times b_2 (単価)	$= A_2$ (材料費)
\vdots	\vdots
労務費	
c_1 (作業種別歩掛) \times d (労務単価)	$= B_1$ (労務費)
c_2 (作業種別歩掛) \times d (労務単価)	$= B_2$ (労務費)
\vdots	\vdots
計	工種別単位数当たりの 所要経費 \rightarrow 単価

定規図を作成した、7工種について夫々単価表を作成したが、そのうち編柵工①、竹筋工①、むしろ伏工、土のう水路工について別添資料 6-4-5 (1) ~ (4) に示した。

(2) 資材運搬経費の算出

資材の運搬に要する経費も直接工事費に分類される。本計画の治山計画対象地は、かなり遠隔地にあり、工事用資材の運搬は重要な問題である。特に、喜徳県、昭覚県の場合、道路の終点から遠い距離にある林班が多く、さらに西昌市からでなければ多量に入手することが難しい資材もあり、このため運搬費は欠かすことのできない費用である。算出に当たっては該当資材の重量を分けて求める必要がある。計画の段階で運搬費をすべて正確に積み上げることは難しいが、ここでは車両による運搬と人力による運搬に分け、崩壊地 1ha 当たりの平均的工事資材の重量を求め、各林班の崩壊地面積を乗じて必要重量を求めた。一方、林班ごとに必要とする車両による運搬距離、人力による運搬距離を求めておき、〈資材重量×運搬距離×運搬価格〉により林班別の必要運搬経費を集計してまとめた。

<資材別運搬距離の例（喜徳県の場合）>



2) 共通仮設費（率計算による部分）

日本では機械器具の運搬費、準備費、役務費、事業損失防止施設費、技術管理費、営繕費、安全費を共通仮設費として分類している。これらのうち率計算による部分の算定率は（直接工事費+事業損失防止施設費）×21.0%を最大としている。本計画の場合では上記費用項目の殆どが当てはまるものと考え、直接工事費（資材費、労務費、運搬費）×20%を計上した。

3. 治山工事の施工時期について

本計画の施工を考えた場合、入念な施工計画が必要であるが、特に留意すべき事項は次の諸点である。

①雨期との関連

5市県とも年間を通じて5～10月の雨期に降雨が集中しており、この期間は山地の道路での車両の通行は容易ではないことや、土工作業は困難であるなど、山腹工事の施工は不可能と言ってよい。一方、山腹工法の場合、木本・草本の導入のため、植栽などの作業を計画しており、植物を扱う作業は雨季の直前に実施する必要がある

②寒冷地での施工時期

昭覚県の大部分、喜徳県の一部など凍上の恐れのある地域については冬期間（12月～2月）の工事は避けるべきである。工作物施工直後、凍上により表土が不安定になり、工作物の弱体化など完全な工事が期待できないためである。

これらを考慮に入れた施工計画は次の通りである。

表 6-4-5 施工時期

	1月	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<雨期>					←---	---	---	---	---	---	---	
喜徳県			←→	←→	←→						←---	
昭覚県			←→	←→	←→						←---	
西昌市		←		←→	←→						←→	
徳昌県			←→	←→	←→						←→	
米易県	←	←	←	←→	←→						←→	←

- 注：1. ←→ 印は山腹工事施工時期
 2. ←→ 印は植生導入のための植物を扱う作業
 3. ←--> 印は凍上の恐れのない箇所での施工

6-5 今後の課題

本計画では5市県にわたる広範囲の地域を所定の調査期間内で現地調査し、崩壊の実態や特性を把握し、治山計画をまとめたものであるが、概ね妥当な成果が得られたものと考えられる。しかしながら、近い将来この計画が実施されることや森林造成により安寧河流域の山地からの土砂流出を減少させるという目的を考えた場合、いくつかの課題があることは明らかである。治山に関連した主要な事項を特記すれば以下の通りである。

(1) 詳細な施工計画の必要性

施工に当たっては入念な計画が必要である。本計画を実施するに当たっては、造林事業実施との関連、治山工事用資材の入手及び運搬、施工時期など十分検討を要する事項があり、より入念な施工計画を立てる必要がある。

(2) 大規模な崩壊の取り扱いについて

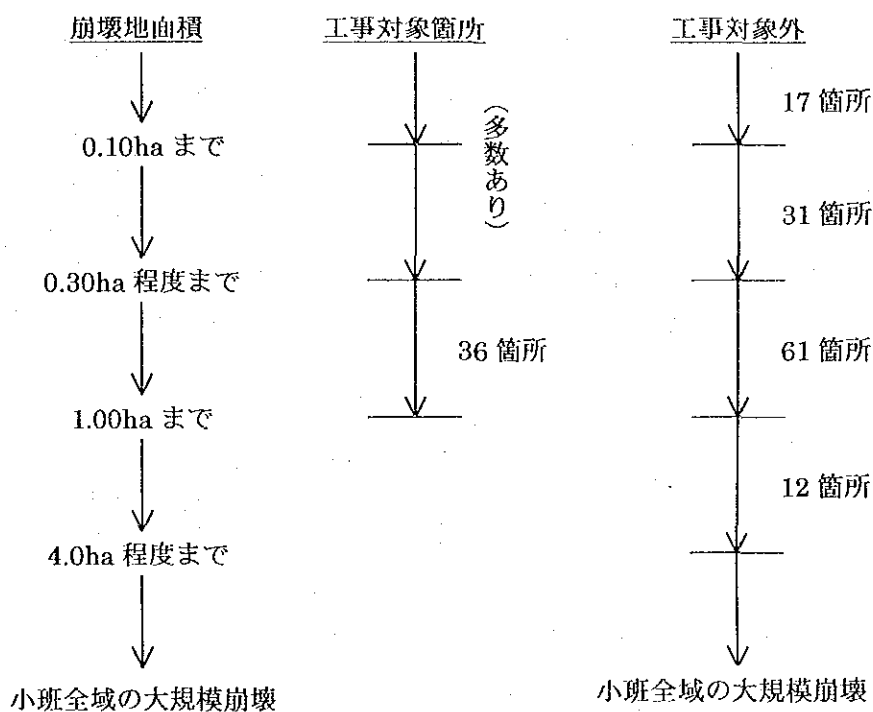
簡易治山工法で施工可能でかつ効果の十分期待できる崩壊地の大きさは 0.10ha (50

m×20m) 程度と判断されるものの、現地には様々な規模の崩壊が各々異なる条件の箇所に発生しており、崩壊の大きさのみで工事施工の可否を判断することは難しい。本計画では航空写真の判読により荒廃裸地内の崩壊地を拾い上げ、同時に簡易治山工法で施工が可能かどうかを判断してまとめたが、その結果の概略を次の図のように示すことができる。

① 工事対象箇所について

各市県とも 0.10ha を超える崩壊地は多数あり、0.30～1.00ha 程度のものも 36 箇所ある。これらは航空写真から傾斜が緩やかであるとか、崩壊状況が一様であるなど工事施工が可能であると判断されたものである。

表層崩壊地面積の大きさと工事対象・工事対象外箇所（5 市県分）



② 工事対象外箇所について

工事対象外箇所について見てみると、0.10～0.30ha の箇所、0.10ha 以下の箇所も各々31 箇所、17 箇所あり、これらは崩壊の長さが非常に長いなど、当面工事施工が不可能と判断されたものである。

③ 小班全域の大規模崩壊

ガリー浸食溝が集中していたり、地滑り性崩壊が広範囲にわたっているなど、ほぼ小班全域に崩壊が及んでいる箇所が喜徳県、昭覚県、徳昌県に各々2～3 箇所見られる。西昌市の場合は点状の崩壊が数多くあるため、小班単位で崩壊地として

いる箇所が3箇所ある。

このような状況であることを考え、今後は今回工事対象外とした箇所についての治山対策を考えていく必要がある。また、ガリー浸食溝についても長さ150m以下のものを工事施工対象とすることを基本としているが、表層崩壊の場合と同様、150mを超えるものも対象にした対策工についても一層の検討が必要である。

(3) 溪間工事も考慮した治山対策について

山地から下流への土砂流出防止を考えた場合、荒廃裸地内の山腹面における対策のみでは不十分であり、溪流における治山ダムによる土砂流出防止が必要になるが、これは今後検討すべき課題である。さらに西昌市などで見られるように下流部の扇状地帯で天井川を形成している例が多く見られるが、山地での土砂流出防止と併せて下流における河川の整備（水利部門）が必要であろう。

(4) 治山の技術的蓄積の必要性と技術開発について

本計画における簡易治山工事を実施することや、更により大規模な崩壊への対策という新たな事案に対応するためにも、将来にわたっての実績の積み重ねが必要であり、この中から当地域に適応したより効果的な確立された技術が生まれてくるものと考えられる。併せて直面する技術的課題については、技術開発などに取り組む必要がある。

(5) 治山事業実施の組織体制の整備

林業部門ではこれまで治山事業実施の実績が無いが、治山事業により安寧河流域の山地からの土砂流出防止を図っていくことが重要であり、治山事業を受け持つ組織体制の整備が不可欠であろう。

(6) 治山技術に関する訓練の必要性

治山計画の策定に当たっても、さらに計画した山腹工事を実施するためにも治山技術に関する知識・技術の習得が不可欠である。技術者を対象とした場合、次のような項目が挙げられる。

① 荒廃地の的確な調査（把握）

現地の自然条件（地形・地質・気象・土壌など）を十分理解したうえで、荒廃地を的確かつ定量的に調査するための知識が必要である。

② 山腹工法の設計技術

現地の崩壊等の特性に対応した山腹工法を設計する技術が必要である。

③ 山腹工事の積算手法

設計した山腹工事を施工するに要する経費の積算手法が必要である。

④ 山腹工法の施工技術

設計した山腹工事を確実に施工する技術が必要である。

このため、地質や気象の知識に加え、水理、土質、構造力学など森林土木に関する基礎的知識の習得も不可欠である。施工管理の知識も必要である。

なお、実際に工事を施工する作業員を指揮監督する指導員のための技能者養成も技

術者養成に準じて必要である。

さらに進んで、山地からの土砂流出の防止を目的とした場合、より大規模な崩壊への対応や溪流に施工する治山工事も必要となり、このため、次のような知識・技術が要求される。

- ① 大規模な山腹工事の取り扱いに関する技術
- ② 地滑りに関する知識と技術
- ③ 溪流に施工する治山ダム等の工作物の設計・施工技術（コンクリート施工技術を含む）

このための基礎的な知識としては、先にあげた科目について、より高度なかつ応用できる知識の習得が望まれる。大規模・複雑な工事の場合には施工管理が重要となる。

第7章 事業評価

7-1 生態環境の評価方式

本件調査の主目的は水土保全のための造林計画であり、経済的な林産振興は副次的な目的に過ぎない。従って、造林、治山事業の数量評価としては事業を実施した場合、非実施の場合と比較して雨水の貯留がいかに増加し、土壌流亡がどのように抑制され得るかを示すことが、造林による林産物の価値の増加を試算する以前に必要と考えられる。このため、まず現況の雨水貯留能と土砂流出を現況立地条件（土壌、傾斜及び地被）別に把握し、将来の造林、治山計画による増減を試算して重点調査区域内の事業効果を雨水貯留量の増加量と土砂流出減少量の形で算出する。つぎに、貯留増加は、下流灌漑用水の増加及び都市上水の利用可能量の増加に換算して便益を計算する。同時に、土砂流出減少は植物養分の減少防止効果及び埋没農地（おもに水田）の復旧費用節減の便益も加えることとした。

1. 人工降雨によるシミュレーション測定

今回の調査は乾期であったため、降雨時の測定ができないので、水を現場に持参し、如雨露を使って簡易人工降雨によるシミュレーション測定を行なった。現場の測定域斜面幅1m長さ4mの下端に溝を掘り、その末端に穴を掘って流下水と土砂を穴に設置した容器に集める。測定域には8Lの如雨露4個で6回、各10分間灌水し48mm/時の降雨を与え、各回(8mm)ごとの流出を別々に集めてそれぞれ秤量し、容積も測定して雨水流出率、流失土砂量を計測し、さらに土壌の浸透能を2重管で測定した。同一地域で同一土壌下の裸地/草生地、疎林、鬱閉度30%以上の林内など各条件下で測定を行った。以上の測定値をSoil Loss Estimation Model of South Africa (SLEMSA)の基礎データとして採用し、試算数式に当てはめて重点調査区域内の現況及び計画土地利用下の雨水貯留と土砂流出を計算した。これらの計算から崩壊地及び荒廃裸地に係る流出・流亡値が造林によって人工林の示す値に一定期間を経て変化するという仮定の下に、主要造林樹種の計画材積成長曲線に応じた経年変化を当てはめつつ効果を算定する。

5カ所の重点調査地域内では多くの農業用水が溪流に設けられた簡易堰からの取水によって利用されているが、雨水貯留の増加分は用水量の増大に寄与する。このため、灌漑の対象とされている普遍的作物（水稻）と非灌漑作物（玉米）との収益の差を灌漑増加可能面積に乗じて、雨水貯留の増加分に見合う便益を算定する。造林により貯留が増加する土壌水・地下水の価値は西昌市の現行水道料金1.5元/tonを適用し、灌漑化便益は西昌市と昭覚県で4元/ton、喜徳県で4.75元/ton、徳昌県で3.75元/tonとする（資料篇参照）。因みに中国における森林の平均水源涵養力は年間2,821t/haとされる（現代林業研究方法：中国林業出版社）。本調査重点区域における荒廃裸地と人工林からの流出率の差は下表のとおりであり、この差を造林による涵養効果として便益に計上することとする。

表 7-1-1 重点調査区域内の水源涵養効果試算

単位：ha 当たり年間流出トン、元/ha 年間

重点調査区域名	西昌市	喜徳県	昭覚県	徳昌県	米易県
人工林からの流出量	4,219	2,801	5,349	2,957	3,230
荒廃裸地からの流出量	7,287	10,786	7,378	6,362	8,818
流出量の差（涵養量）	3,068	7,985	2,029	3,405	5,588
蒸発散控除後実質貯留量	1,040	809	688	1,154	870
灌漑・上水価値換算 元/年 ha	2,277	1,990	1,507	2,424	2,140

出典：調査団の現地人工降雨試験結果による。価値換算は涵養量の2割はロス、3~4割は灌漑~天水畑収益差/ha、4~5割は都市上水振り向け分で灌漑取水困難な里山から本川へ流去する水である。

2. 便益算定方法

また、米市河の下流に堰堤があり、他の重点調査区域から流下する河川にも大小の堰堤が建設されている。土壌流出の軽減効果はこれらの堰堤に係る耐用年数の保持に貢献する。よって、土砂を排除・浚渫する費用の労働エネルギー削減分に換算して便益を算定する。さらに、流出土砂の一部は重点調査地域のうち、西昌市の水田に流入して栽培の支障となり、また、堆積土砂が河川の川床面を高め、天井川を形成して洪水氾濫を助長している。この対策として、西昌市は年々河床の砂を労力及び機械作業で排除しているが、この費用削減も同様に土壌流出の軽減効果に加える。1998年西昌市西南部に大洪水をもたらした大雨災害の復旧記録を分析した結果に基づき(資料篇参照)、堆砂の排除費用として9元/m³を適用する。また、流域80km²程度の河川下流域での洪水被害は20年確率で59万元の被害が発生するものとして被害防止効果を算出することとする。この外部経済効果の便益計算法として、国家林業局が提唱する下式を便益計算に応用する。

$$V = \sum (Q_i \cdot K_i \cdot S_i + Q_i \cdot S_i \cdot K_i \cdot C_i) (1+r)^{-i} \quad \text{ただし、} \sum \text{は } n_1 \sim n \text{ 事業期間を加算}$$

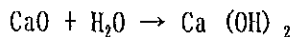
ここに Q_i ; i 年度単位面積当たり水土流出量減少値、 K_i ; i 年度流出土砂除去単価、 S_i ; i 年度植林維持面積、 r ; 採用した割引率とする。右辺第2項はダム堰堤の堆砂軽減効果で C_i は単位体積当たり i 年度除去費用である。

水土保持のための造林を目的として造成された人工林は原則として伐採の対象にされないため、住民経済に対する可測的寄与はほとんどないが、国家的便益としては炭酸ガスの吸収による地球温暖化防止効果があり、これも現在中国において計上されている年間成木林1ha当たり743元(現代林業研究方法:中国林業出版社)を大気浄化便益として加算する。広葉樹林1ha当たりの年間炭酸ガス吸収量は16トン、放出酸素量は12トン(国家林業局篇:林業警示教育学習材料)であり、大気から炭酸ガスの分離除去費用代替効果として国家林業局の示した次式を計算に応用する。

$$V = \sum (Q_i \cdot P_i \cdot S_i - A_i) (1 + r)^{-i} \quad \text{ただし、シグマ記号は } i = n_1 \sim n \text{ を加算}$$

ここに P_i ; i 年度工業炭酸ガス処理単位の労力、 Q_i ; i 年度単位面積森林の炭酸ガス吸収量、 S_i ; i 年度植林維持面積、 A_i ; i 年度森林維持管理費合計、 r ; 採用した割引率とする。

炭酸ガスを除去するもっとも安価な方法は地元で採掘できる石灰岩を原料とする水酸化カルシウム（消石灰）溶液による煙道洗浄法（次式に示す反応）である。



$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$ 生成した炭酸石灰は温室内で焼き炭酸ガス肥料として野菜栽培に利用し ($\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$)、生石灰は反復利用する。

1 トンの炭酸ガスを吸収するには 1.27 トンの生石灰が必要であり、排気ガス処理装置も必要となる。この装置の輸入品現地渡し価格は 120 千元（耐用年数 5 年）、工業用動力（60 千 Kwh）電気代年間 54 千元、年間炭酸ガス排出量 2,000 トンとして生石灰必要量（3 回反復利用）850 トンの購入代金約 60 千元、維持管理労務費（1 人雇用年間）15 千元として、年間処理費は利子込み約 155 千元となり、排出炭酸ガス 1 トン当たりの処理費は 78 元、年間成木林 ha 当たり炭酸ガス吸収量 10t とすると、上記現行環境便益基準 743 元はおおむね妥当と判断した。

他方、排出炭酸ガス固定能力は材積 1 m³ 当たり年間 350 kg、葉面積 1 m² 当たり榎 (*Quercus* sp.) 樹で 0.7~1.2g、柯樹 (*Fagus* sp.) で 1.1g、槭樹 (*Acer* sp.) で 0.5~0.7g（文献：孔国輝等、1998）、山毛櫸 (*Fagus* sp.)（樹齢 100 年、樹高 25m、冠径 15m、樹冠体積 2,700 m³、覆蓋面積 160 m²）1 本が吸収する炭酸ガスは毎時 2,352g、放出する酸素は毎時 1,712g に達する。闊葉高木林の成長季に吸収する炭酸ガスは毎日 1 トン、放出する酸素は毎日 0.7t に達する（以上、林業生態工学より抜粋）。樹齢 30 年生の森林の平均炭酸ガス吸収能は広葉樹で年間 22.7 t/ha、針葉樹で年間 9.1 t/ha、混雑林で年間 13 t/ha と試算される。

この他の環境便益としては流亡により失われる表土に含まれる植物養分の損失の防止があり、この便益を再委託に係る土壌調査でおこなった土壌分析の結果に基づいて算定した。

さらに、保全林と一体的に造成される薪炭林、放牧林、経済林など僅かではあるが、便益発生の見込まれる造林面積については、それらの生産物の価値から算定される便益を算定する。薪炭林からの便益は造林後 10 年を保育期間とし、それ以後の年間材積成長量の半分に相当する枝葉を採取利用することとして農村部庭先価格 69.1~94.3 元/トンを用いる（単価は里山の購買需要で地域別に異なる）。放牧林の便益は造林後 5 年を保育期間とし、それ以後の年間バイオマス成長量の 3 分の 2 を飼料として活用するものとして TDN（可消化総養分量）換算、濃厚飼料価格ベースで算出する。経済林については樹種別に林産物の経年生産計画を作成し、生産計画数量と現勢庭先価格の単価をもちいて便益を算定する。用材林及び経済林からの収益については別添資料表に基づき伐期・更新時期を考慮した粗収益及び年間生産費を使用して試算する。

3. 費用算定方法及び費用便益算定上の参考数値

つぎに、費用の構成については、用地費は国有地または集体有地であるため計上しない。事業費は大別して造林費用と治山工事費に分けられる。造林費用には造林に関連する資材購入・収集費用、造林・保育労務費を計上し、資材労賃単価と歩掛かりから算定する。治山工事費については測量及び現地調査費、施工資材購入及び現場搬入費、治山工事及び工事後の修復などアフターケアに係る労務費を資材労賃単価と歩掛かりから算定する。治山工事に使用する機材はすべて現地調達可能な材料・工事用具機材から成り、輸入品を必要としない。同様に、造林に使用する機材・物品もすべて国内生産が可能である。

従って、事業費を経済価格に変換して計算する必要は認められず、(治山・水土保持は国家の長期基本施策の一環で経済性を度外視しても実施すべきであるとする社会主義経済の原則に鑑みても) 事業評価はすべて実勢価格ベースのみで行うこととする。また、適用する割引率の基準としては西昌市における近年の消費者物価・労賃の趨勢をもちいることとする。過去5年間の小売物価指数(卸売物価統計は無い)は下表のとおりであり、この趨勢を今後本造林計画の指標にもちいることとする。

表 7-1-2 西昌市の小売物価指数の変遷

年次	1996	1997	1998	1999	2000	年率%
小売総合指数	106.4	101.7	99.6	99.2	98.1	-1.9
日用食品類	107.4	100.5	100.6	98.1	95.8	-2.6
家庭日用品	104.4	101.9	99.9	100.4	99.0	-1.2
燃料類	105.3	111.1	103.7	107.9	106.5	-0.1
建築材料類	89.3	99.3	100.0	100.0	100.0	+2.2
機械電動具類	96.3	93.4	93.1	99.5	100.0	+1.4
実質労働報酬	104.7	101.3	114.2	101.0	112.1	+1.45

出典：西昌市統計年鑑 1996～2000 各年次から抜粋。

なお、事業管理費など行政経費は事業評価において費用として計上せず、評価対象としない。一般に、中国において建設を伴う公共事業予算額は実工事費の数倍に相当するケースが通例見受けられる。しかし、発注、工事監督経費などの事務経費はいわば“財の内部移転”で派生する費用であり、費用そのものが便益発生に直接繋がらないのでこれを財務計算に繰り入れると真の費用便益計算が不可能になる。従って、事務費を除外し計算した。

大規模な山崩れなど森林災害の復旧費及び森林火災の防備に係る費用は計上しない。以上の費用便益を重点地域別に50年の事業サイクルを設定して現在価値で評価する。以上の基本的評価方針に従って、下表の外部経済効果を含む評価項目を選択して評価を行う。

表 7-1-3 評価項目

事業に係る費用（括弧内は計算に含めず）			予測される事業便益・効果		
造林費用	治山費用	（管理費）	災害防止効果	生態環境効果	物的生産便益等
施設設置運営	測量等費用	（監督官庁経費）	水害防止効果	堆砂防止効果	薪炭材生産便益
造林費	治山工事費	（林業者研修費）	農地保全効果	地下水涵養効果	放牧材生産便益
機材購入修理	（研修普及費）			温暖化防止効果	経済林生産便益
（研修普及費）				養分流出防止効果	用材材生産便益

事業を実施した場合の環境好転効果は事業を実施しなかった場合の環境悪化状態との対比で数値比較すべきものである。このためには現況と過去の1時点の環境変化を捉え、趨勢を求める必要がある。涼山彝族自治州林業史からのデータ及び今回の本件調査により作成した森林面積簿を利用し、この趨勢を求めると下記のような結果を得た。

表 7-1-4 調査地域の林地面積及び蓄積の変遷

単位：面積は ha

項目	年次	西昌市	喜徳県	昭覚県	徳昌県	米易県	涼山4県計
県市面積	1998	258,570	226,600	270,856	231,228	180,713	987,254
森林面積	2000	98,033	78,373	44,122	100,792	104,395	311,954
荒山荒地面積	1975	33,910	67,508	97,144	27,523	-	226,085
	1990	17,481	25,983	7,502	8,568	25,896	59,534
	1998	18,529	25,619	6,513	8,202	21,025	58,863
重点区域面積	2002	9,912	10,050	9,500	10,201	10,194	41,663
うち荒廃・休耕地	2002	1,696	4,278	3,898	1,388	2,666	6,766
県森林面積に換算した荒廃裸地面積	2002	16,773	33,368	18,087	13,713	27,300	82,349
荒廃裸地趨勢	90~02	0.75%	2.4%	11.8%	5.0%	0.4%	3.2%
参考：現存統計数値からの趨勢把握 単位：年率%（米易県の数値は1991~2000年）							
有林地面積 1990~1998		0.5%	3.8%	1.4%	0.8%	-0.16%	1.1%
荒山荒地面積 1990~1998		0.7%	-0.2%	-11.1%	-0.5%	-2.4%	-0.1%
保護林面積 1990~1998		0.5%	3.5%	0.3%	1.0%	0.9%	0.9%
生立木蓄積 1990~1998		1.7%	4.5%	1.2%	1.1%	-	0.9%
林分蓄積 1990~1998		5.7%	-1.4%	9.7%	-11.1%	-	1.8%

出典：涼山州林業誌及び調査団の航空測量結果による。*の下の数値1990年~98年県統計の趨勢を採用。

7-2 生態環境改善効果に関する評価結果

本事業は開墾その他の開発によって失われた地表植生を回復し、雨水及び表土の流失流亡を軽減するために計画される。原則として在来植生種及び現地すでに導入されている外来植生種及び在来樹種を利用するため、生態系に及ぼす負の影響を最小限に留めることが可能であり、逆に改善効果が期待される。次表によれば現在、涼山州に所属する4カ所

の調査重点区域における降雨流出率は雨水貯留効果の高い天然林の占有面積比率と反比例的關係にある。この流出率は調査団が乾期に人工降雨試験によって測定した値であり、雨期には土壤の孔隙が雨水で飽和するため実流出率はこれより高くなるが、傾向としては大差無いと考えられる。単位面積当たり土壤流亡量も天然林被覆率と逆相関關係にある。流亡量測定値も上記の試験の際に計量したもので、集水溝の崩壊土が混ざり過大に出る傾向があるが、植生被覆の無い部分の流亡土量については実流亡量に近いと考えられる。また人工林内には林小班図上で図示されていない裸地部分が無数にあり、また畑地跡に造林した林内に航空写真に写らない土砂崩壊もある。雨期には作物で覆われテラス造成をしている現況畑地より人工林内の流亡土量の方が多いという下表の結果も上記観察結果から否定され得ない。崩壊地を含む裸地、畑地からの流出、流亡量は他地目の値よりかなり大きい。

表 7-2-1 調査重点区域内の降雨流出及び土壤流亡状況

調査重点区域	西昌市	喜徳県	昭覚県	徳昌県	米易県
年降雨量 (30年平均)	1,032	1,402	1,023	1,056	1,096
森林被覆率 %	56.2	32.1	35.1	63.6	36.3
天然林被覆率 %	38.1	25.4	19.1	62.9	93.4
流域内流出率 %	31.2	39.6	53.6	27.0	45.8
土壤流亡量 ton / ha	48.5	71.6	87.9	20.9	28.5
流出雨水量 ton / ha	3,217	5,552	5,485	2,856	5,088
ha 当たり流亡土量 畑・樹園地	21.9	6.7	27.3	10.1	32.8
同 荒廃裸地	92.9	22.9	116.8	42.5	34.1
同 崩壊畑樹園地	-	56.1	152.7	26.9	-
同 崩壊荒廃裸地	142.3	213.9	171.9	107.4	50.4
同 人工林	34.0	37.0	74.8	10.8	16.8
同 天然林	26.8	30.2	34.2	15.1	12.3
ha 当たり流出水量 畑・樹園地	4,128	1,730	3,735	1,210	4,117
同 荒廃裸地	6,205	10,706	5,513	4,907	8,469
同 崩壊畑樹園地	-	10,357	8,239	7,453	-
同 崩壊荒廃裸地	7,923	10,791	7,800	7,436	8,880
同 人工林	4,219	2,801	5,349	2,957	3,230
同 天然林	2,100	4,515	3,881	2,600	2,947

出典：調査団の現地人工降雨試験結果による。

1. 土砂流出に関する評価

荒廃裸地及び畑地、山林等から流出した土砂は一部の砂礫が支流の川床・氾濫原に堆積し、細かい粒子は本川である安寧河に入り河床やダム・堰堤などを埋めるが、この割合は原土の粒径組成によって定まる。もっとも崩壊及び土砂流出の激しい西昌市佑君・中壩地区及び昭覚県東河・孫水河地区の平均的表土粒径組成は下表のとおりである。西昌市の大部分に分布する黄紅土壤は粒子が粗く、河床勾配の変換点付近で堆積する粒子が7割以上を占め、天井川の形成発達を助長している。従って、市佑君・中壩地区を流域とする頭道

河、姚家沟から流出する土砂は本川に到達する以前に堆積して洪水発生を助長している。畑の雨水流出が過小に測定された原因は乾燥状態で耕起直後で孔隙が多いためである。

表 7-2-2 調査重点区域の土壌粒度組成 単位：百分率%

県名	土壌名	> 2 mm	2~0.05mm	0.05~0.02mm	0.02~0.002mm	<0.002 mm
西昌	黄紅壤土	24.8	47.2	5.4	16.6	6.0
西昌	黄棕壤土	19.7	34.8	9.6	23.3	12.6
昭覚	酸性紫色土	13.4	49.0	11.2	18.4	8.0
昭覚	亜高山草甸土	15.8	40.1	14.7	18.8	10.6
昭覚	高原潮土	22.7	42.4	12.1	15.3	7.5

出典：調査団の土壌調査結果

表 7-2-3 関連河川の土砂搬送、崩壊地からの流亡及び年間堆砂除去費用

河川名	流域面積 ha	通年輸砂量 t	流域負荷	土壌流亡負荷	本川流出割合%
安寧河漫水湾	381,700	3,015,000	7.9 t / ha	45 t / ha	17.5
孫水・昭覚河	224,600	2,999,000	13.4 t / ha	39 t / ha	34.4
市県名	西昌市	喜徳県	昭覚県	徳昌県	米易県
崩壊地面積率 % *	0.72	2.92	1.95	0.11	0.42
年間土砂流亡負荷**	823 t / ha	612 t / ha	814 t / ha	1,693 t /	823 t / ha
崩壊面の年間流亡 t	580,900	1,400,600	700,300	187,700	360,900
支川河床堆積量 t	370,600	829,200	543,800	102,300	196,700
堆砂除去費用 千元	3,335	7,463	4,894	921	1,770

出典：涼山水文データ/四川省高山営林手冊水文資料、* 重点地域内の図測面積、** 調査団測定値

表 7-2-4 重点調査区域における事業実施の有無による水土流出の差

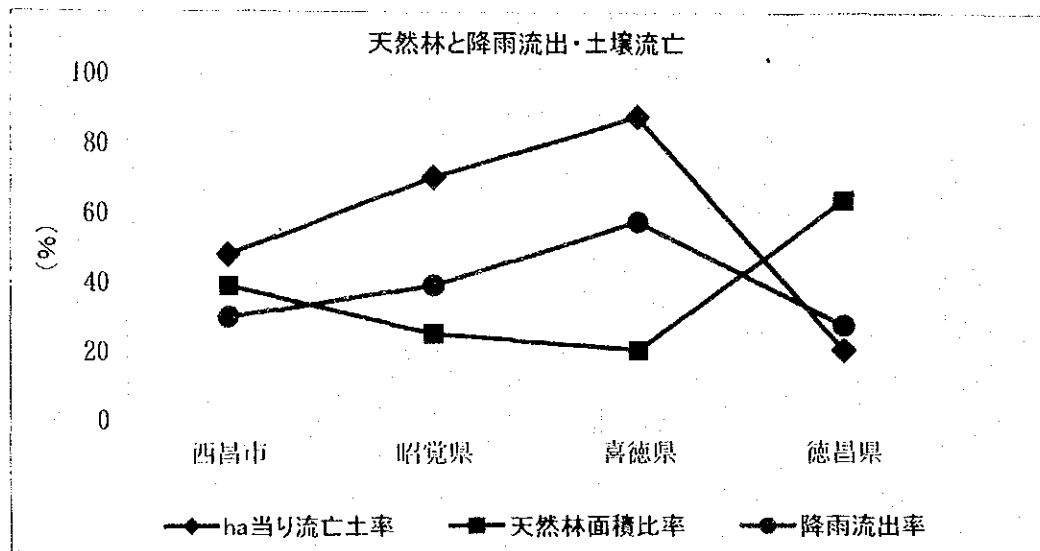
調査重点区域	西昌市	喜徳県	昭覚県	徳昌県	米易県
現況 2002 年の荒廃裸地面積 ha	3,577	5,157	4,707	1,184	2,050
36 年後の荒廃裸地面積 ha	3,964	8,099	6,575	1,996	2,579
36 年間の増加面積 ha	387	2,942	1,868	812	529
36 年間の増加流亡土量 m ³	23,991	299,028	150,391	31,067	20,221
現況 2002 年の林地面積 ha	5,575	3,222	3,338	6,510	3,702
36 年後の林地面積 ha	5,188	280	1,470	5,698	3,173
36 年間の林地減少面積 ha	387	2,942	1,868	812	529
36 年間の雨水増加流出量 t	1,187,160	19,602,919	4,301,762	3,022,344	1,955,624
36 年間の推定減少材積量 m ³	46,434	323,592	196,162	113,710	74,013
計画実施の場合との荒廃裸地面積差 ha	3,892	7,996	6,481	1,973	2,538
計画実施の場合との流亡土量の差 t	339,482	1,139,485	548,019	98,482	136,944
同上流亡土量の ha 当たり換算値 t/ha	95	221	116	83	67
計画実施の場合との流出水量の差 t	21,534,689	40,963,317	13,743,388	10,411,569	9,344,849

注：荒廃裸地面積差は面積簿(2002年)の比率を県市林地面積に乘じ、1990年の荒地荒地山統計面積との差から推定。

他方、米市河（孫水河の上流）から流出する土砂の微粒子含量は西昌市の河川より多く、

支流内の川床や堰堤にも堆積するが、本川にかなりの量が流下し懸濁粒子の負荷増大に寄与する。本川安寧河の漫水湾地点における河川水に含まれる土砂量は表 7-2-3 のように推定流域内流出量の 20%以下であり昭覚県を流域とする孫水・昭覚河の流出の約半分に過ぎない。

現状の荒廃化傾向が対策無しに継続したと仮定すれば、36 年後には調査重点区域内の人口増加に伴って荒廃裸地が拡大し、主として人工林が裸地化することが容易に想定されるが、この変化は上表 7-2-4 に示したとおりである。



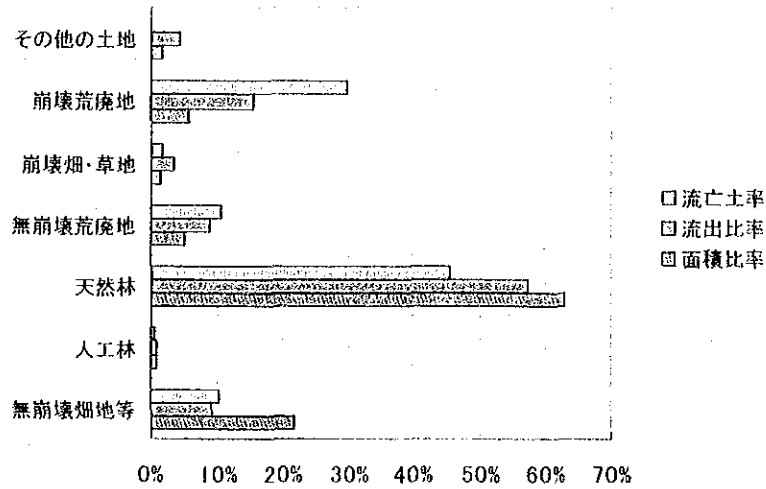
注：降雨流出率は裸地の通年流出を降雨量で除した値、流亡土量の単位は縦軸の%をトンに置き換えて読む。

図 7-2-1 天然林の面積比率と水土流出との相対的關係

上図 7-2-1 は涼山州各県・市の重点調査区域内にある天然林の面積比率と区域の流域における年間降雨流出率ならびに ha 当たり年間表土流亡量の相対的關係を図示したものである。流出、流亡とも天然林の面積比率と逆相関関係にあることが図から判然と読み取れる。この図から天然林の流域保全効果がいかに大きいかを窺われる。喜徳県と徳昌県の水土流出関係はとくに対照的であり、両県の風景及び航空写真の違いがこの保全状況の差を如実に物語っている。天然林のみでなく、人工林についても差はこれほど目立たないが同様な関係が成り立っている。

また、荒廃裸地の徳昌県水土流出パターン（表 7-2-1）をグラフで表した下図に見られるように崩壊地のある荒廃裸地からの流亡土比率は流出率に比べ相対的に高いことが判る。逆に、林地の流出流亡比率は面積比率に比べ相対的に低く、畑地は両者の中間に位置する。

徳昌県の水土流出パターン



喜徳県の水土流出パターン

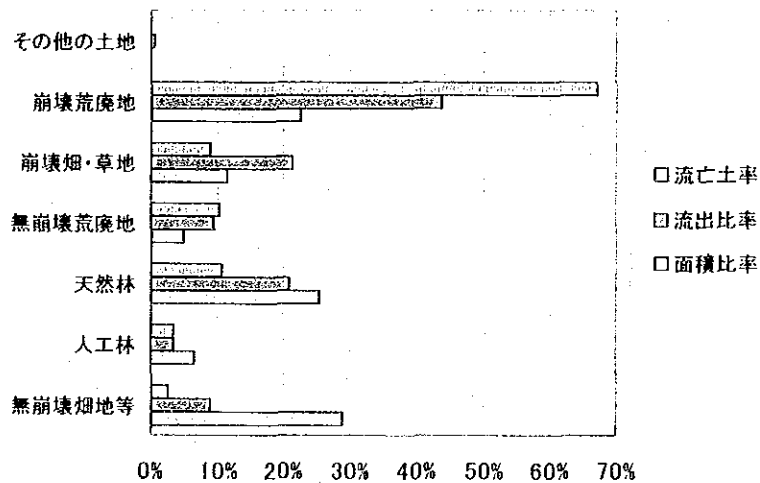


図 7-2-2 土地利用面積、雨水流出、表土流の各比率の関係

さらに、荒廃裸地の喜徳県水土流出パターン（表 7-2-1）をグラフで表した上図では崩壊地のある荒廃裸地からの流亡土比率は畑地及び林地に比べ極めて高くなっている。両県と天然林は面積比率に対し流出率、流亡土量とも相対的に少ない。畑地からの流出については、雨期における実際の地表土壌が雨水で飽和した状態における流出より乾期の測定であるために過小に測定されていると考えられる。いずれにせよ、林地と荒廃裸地との雨水貯留能及び雨滴エネルギー減衰能力の差が図上に歴然と表現されている。

7-3 経済評価

1) 事業費

造林事業費は下表 7-3-1 のとおりである。表中の概算単価には間接費が含まれていない。治山事業費は表 7-3-2 の通りであるが、同様に間接費を含んでいない。間接費の構成は管理費と造林及び工事に伴う雑費からなる。

表 7-3-1 造林事業面積及び造林費

地 域	造林タイプ	概算単価 (元/ha)	面積 (ha)	造林費 (元)
喜徳県	生態保全林	19,477	1,647.7	32,092,252.9
	生態型薪炭林	20,195	509.5	10,289,352.5
	生態型放牧林	17,118	551.7	9,444,000.6
	小計		2,708.9	51,825,606.0
昭覚県	生態保全林	19,467	2,132.4	41,511,430.8
	生態型薪炭林	20195	452.8	9,144,296.0
	生態型用材林	19,582	36.7	718,659.4
	生態型放牧林	17,118	301.1	5,154,229.8
	小計		2,923.0	56,528,616.0
西昌市	生態保全林	17,728	1,647.5	29,206,880.0
	生態型経済林	20,845	24.4	508,618.0
	小計		1,671.9	29,715,498.0
徳昌県	生態保全林	19,140	960.8	18,389,712.0
	生態型経済林	16,688	99.4	1,658,787.2
	生態型薪炭林	20,195	2.1	42,409.5
	生態型放牧林	16,952	133.9	2,269,872.8
	小計		1196.2	22,360,781.5
米易県	生態保全林	18,576	1,831.5	34,021,944.0
	生態型経済林	17,725	98.9	1,753,002.5
	生態型用材林	17,226	62.8	1,081,792.8
	生態型放牧林	13,405	57.2	766,766.0
	小計		2,050.4	37,623,505.3
総 合 計			10,550.4	198,054,006.8

注：* 間接経費を含まず直接経費のみで計算、* 苗木は全て購入した場合として算出

- * 経済林は西昌市ではユーカリ林（効果は用材林扱いとした）、他は果樹とした。
- * 薪炭林造成費、西昌市経済林造成費（ユーカリ）、用材林造成費は保全林造成費と同額とする
- * 徳昌県、米易県の経済林造成費は同額とする。放牧林造成費は保全林造成費の80%とする

治山工事の場合は崩壊状況により適用する工種と施工密度が異なるため、工事単価としては調査重点区域ごとに主要崩壊タイプについて代表的な工法及び施工間隔の組み合わせを定め、単位面積当たりの工事費をこの代表事例に基づき積算し、平均値として使用する。

表 7-3-2 治山事業面積及び治山費

重点調査区域 (単価)	総工事面積 (ha)	平均単価 (千元)	総事業費 (千元)
喜徳県	30.05	228.42	6,863.9
昭覚県	21.78	363.22	7,910.9
西昌市	29.94	187.11	5,602.1
徳昌県	2.77	228.77	633.7
米易県	24.01	177.25	4,255.7
計	108.55	232.76	25,266.3

2. 財務分析

事業の実施における優先順位は実施の緊急性に基づくが、造林地内に対処すべき崩壊地があれば造林に先立ち、あるいは同時並行的に簡易治山工事を実施することとして開始年次の整合を保つ。造林については第1年次に測量及び種苗の手配を行い、第2年次以降第8年次までに造林を完了し、第10年次までに全ての保育・管理を終了することとする。

以上の算定根拠及び7-1で述べた便益算定方法に基づいて現勢財務価格による費用と可測便益を計算し、50年間の費用便益率及び内部収益率を求めると以下のとおりとなる。

財務費用の合計は表7-3-3の通りである。

表 7-3-3 財務費用計算

単位：千元

重点調査区域	直接造林費	治山工事費	工事雑費	財務費用計
喜徳県	51,826	6,864	10,289	68,979
昭覚県	56,529	7,911	10,949	75,389
西昌市	29,715	5,602	5,943	41,260
徳昌県	22,361	634	4,470	27,465
米易県	37,624	4,256	7,524	49,404
計	198,055	25,267	39,175	262,497

次に財務分析結果は表7-3-4の通りとなる。

表 7-3-4 事業費用・便益の算定及び財務分析結果

単位：千元、比及び%

重点区域名	財務費用	財務可測便益	費用便益率	内部収益率%
喜徳県		592,784	8.59	8.9
昭覚県	75,389	435,131	5.77	6.8
西昌市	41,260	419,191	10.16	10.0
徳昌県	27,465	252,468	9.19	8.9
米易県	49,404	278,094	6.63	7.2
重点区域合計	262,497	2,027,071	7.72	8.1

また、予測できない原因により費用が20%増加した場合、便益が20%減少した場合ならびにこの双方の事態が同時に発生した場合の費用便益率及び内部収益率を求め、比較する感度分析の結果は表 7-3-5 に示す。

表 7-3-5 算定事業費用便益に基づく感度分析の結果

重点区域名 項目	事業費 20%増の場合		便益 20%減の場合		左の両方重複発生の場合	
	費用便益率	内部収益率	費用便益率	内部収益率	費用便益率	内部収益率
西昌市	8.92	9.0%	8.56	8.8%	7.14	7.8%
喜徳県	7.16	8.0%	6.87	7.8%	5.77	6.8%
昭覚県	4.81	6.0%	4.62	5.8%	3.85	5.0%
徳昌県	7.66	8.0%	7.35	7.8%	6.13	6.9%
米易県	5.52	6.4%	5.30	6.2%	4.42	5.4%
重点区域合計	6.49	7.4%	6.23	7.2%	5.19	6.3%

以上の分析の結果、各重点区域とも環境保全上予想される水準（5%内外）の費用便益率及び内部収益率を示すことが判明した。事業費の80%は人件費・労務費で構成されるが、その年間変動は表 7-1-2 の西昌市小売物価指数の変遷に見られるように年率1.45%の増加趨勢を示し、実質施業期間8年間の推定伸び率は約10%と推定される。また、建築材料類及び機械類の価格趨勢も年率1.4~2.2%の範囲にあり、実質施業期間8年間では仮定した20%増の枠内に納まる。従って、施業期間内に予想される賃金上昇が事業収支に及ぼす影響は上表の感度分析で採用した条件の範囲内で十分妥当な費用便益率及び内部収益率が得られることから無視できる。さらに、一方的に費用だけが累増して行くことは有り得ず、価格変動に起因する便益の増加も発生するので費用便益率は上表より高い値となる筈である。

つぎに、造林目的別の ha 当たり工事単価と全体の発生便益及び工事費の発生効果別比率の対比おこなった結果を表 7-3-6 に示す。

表 7-3-6 ha 当たり工事単価と全体の発生便益及び工事費の発生効果別比率

単位：% 及び千元/ha

重点 区域	災害・崩壊防止		生態環境保全		物的生産効果		ha 当たり工事単価				
	費用比	便益比	費用比	便益比	費用比	便益比	保全林	用材林	経済林	放牧林	薪炭林
西昌市	28.1%	48.6%	70.3%	50.6%	1.5%	0.8%	23.83	-	25.01	-	-
喜徳県	22.5%	5.1%	43.8%	90.0%	33.7%	4.9%	28.32	24.23	-	-	20.54
昭覚県	25.0%	6.3%	51.7%	89.7%	23.4%	4.0%	27.71	24.23	23.50	-	20.54
徳昌県	18.8%	22.6%	64.0%	70.4%	17.3%	7.1%	23.76	24.23	-	20.03	20.34
米易県	26.4%	6.4%	65.0%	86.3%	8.6%	7.3%	25.08	-	20.67	21.27	16.09
区域計	24.4%	16.8%	56.2%	78.7%	19.4%	4.5%	26.01	24.23	22.36	20.65	20.27

注：治山費用は災害・崩壊防止の費用、保全林の単価にすべて含めた。

上表に見られるように、生態環境保全に係る便益は西昌市を除いて費用をかなり上回る。災害防止に関する便益はここに治山費用のすべてが含まれることもあり災害多発地帯の西昌市と徳昌県を除いて費用が便益を上回っている。果実、薪炭、飼料及び用材などの物的生産に係る便益は工事単価が安いにもかかわらず、現勢価格による評価では便益が費用を償うことが困難である。しかしながら、将来は住民の人口増加が年率 0.93%水準(涼山年鑑、四川統計年鑑各 1999 年版)で継続すると予想されるので、家屋増改築、熱源確保、畜産などの生計向上手段を確保するためにこれらの生産物の需要が大幅に増大し、価値に応じた価格形成が予想される。この場合には便益は上表の数倍に達するから費用を十分償い得ることとなる。

造林が計画どおり完了すれば、表 7-2-4 に示したように事業期間内に 96 百万トン相当のダム 1 ヲ所を建設するに匹敵する貯水効果と、90 百万トン相当の地域内からの土壌流亡防止効果が得られる。これが主として生態環境保全に係る便益を生み出す源泉となっている。

上述の可測便益のほか、本事業によって発生する便益には農地の防風効果、住民への労賃支給など地域経済の賦活化効果、炭酸ガス固定以外の森林による環境浄化効果(排気ガス浄化や水質保全など)の不可測便益あるいは測定困難な便益も発生する。これらを併せて評価すれば、本事業で発生する便益は十分費用を償うことができ、さらに重点地域内及び下流側の地域外の住民に災害防止、資源保全・充実の形で恩恵を与えらる。

