

◆ 第52回建設省技術研究会報告特集 ◆

砂防植生工実施のための基本的考え方

建設省河川局砂防部砂防課
 建設省土木研究所砂防部砂防研究室
 建設省各地方建設局河川部河川計画課
 北海道開発庁北海道開発局建設部河川計画課
 沖縄開発庁沖縄総合事務局開発建設部河川課

1. はじめに

現在の砂防事業においては、環境との調和を前提として事業を実施することとしている。そのため、渓流とその周辺における生態系の維持に不可欠な樹林帯や渓畔林等の植生を保全し、さらに砂防施設の機能の一部を受け持たせる手法を明らかにすることで積極的な植生の導入・管理を図り、もって良好な渓流環境の実現を目指している。

砂防事業に活用できる植生の効果としては主に、①山腹斜面における崩壊・表面侵食抑制効果、②山麓および扇頂部の樹林帯による崩壊・流出土砂捕捉効果、③渓畔林による洪水流の減勢効果、の3つがあると考えられる。平成9~10年度の建設省技術研究会においては、これらの機能の定量的な評価、砂防植生の意義、および環境を保全する砂防事業の展開手法について検討を行い、一定の成果を得た。

2. 山腹植生の土砂流出抑制効果

2.1豪雨時の崩壊面積率低減効果

近年の砂防事業では大規模な砂防ダムや流路工による対策が多く行われており、それによる渓流周辺の環境に対する影響が懸念されることとなつた。そのため、山腹植生の持つ崩壊抑制効果を適正に評価し、山腹斜面を管理することで、砂防ダム等の渓流対策の負担を減らし、環境負荷を軽減

しようと考えた。ここでは、平成7年の北信越災害時の姫川流域における山腹植生状況と崩壊面積率に関する調査結果¹⁾を紹介する。

2.1.1姫川流域における調査概要

平成7年7月11~12日にかけて発生した北信越災害では、小谷観測所で1時間最大雨量48.0mm、24時間最大雨量357.0mmを記録した。姫川の代表的な地質である中古生層、第三紀層、第四紀火山岩類が優占する支川各2つ、計6支川について災害前後の空中写真を判読した。抽出したデータは、植生種(天然林(L)、人工林(N)、草地(G)、人工斜面(J)等)、斜面勾配ランク(10°刻み)、地質、崩壊面積等である。また、樹林密度は100m²当たり10本程度以下(A)、10~30本(B)、30本程度以上(C)に区分した。これらについて数量化I類で解析し、植生の状況の違いが斜面崩壊に与える影響度を分析した。

2.1.2植生状況による山腹崩壊の影響度評価

表-1に第三紀層の判読結果を示す。天然林については密度が高くなると崩壊面積率は低くなる傾向が見られた。斜面勾配では20~30°の範囲の崩壊面積率が比較的高く、それ以上急勾配になってしまっても崩壊面積率が高くなる傾向は見られない。NAについては母数が小さく、結果的に崩壊箇所と重ならなかった。Jは畑や宅地等であり、斜面の安定化を図る対応がなされたために崩壊面積率が小さかったと考えられる。

表-1 姫川流域崩壊面積率(第三紀層: 勾配ランク・植生密度別)

中古生層	対象面積(km ²)					崩壊面積(m ²)					崩壊面積率(%)				
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~	0~10	10~20	20~30	30~40	40~	0~10	10~20	20~30	30~40	40~
LA	0.00	0.02	0.24	0.20	0.38	—	800	17,270	7,340	10,930	—	4.00	7.20	3.67	2.88
LB	0.00	0.92	1.85	3.52	2.64	—	4,920	69,295	89,920	29,950	—	0.53	3.75	2.55	1.13
LC	0.00	0.61	2.59	9.74	3.13	—	8,380	20,020	76,890	25,180	—	1.37	0.77	0.79	0.80
NA	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	—	—	—	0	—	—	—	—	0.00	—
NB	0.00	0.08	0.16	0.06	0.02	—	760	8,170	4,950	0	—	0.95	5.11	8.25	0.00
NC	0.00	0.37	0.99	1.25	0.38	—	2,770	20,300	3,430	1,370	—	0.75	2.05	0.27	0.36
G	0.00	0.35	1.79	3.77	1.71	—	9,490	38,960	55,380	17,337	—	2.74	2.17	1.47	1.01
J	0.04	0.86	1.02	0.24	0.00	—	2,390	3,740	0	—	0.00	0.28	0.37	0.00	—

表-2 数量化 I 類解析結果
(崩壊面積率:地質・勾配ランク・植生種)

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数量
地質	第三紀層	0.616
	中古生層	-0.653
	火山岩類	-0.216
勾配	10~20°	-0.113
	20~30°	0.620
	30~40°	-0.260
	40°~	-0.513
植生	天然林	-0.050
	人工林	-0.561
	草地	0.396
定数項		0.944
アイテム	範囲	単相関 偏相関
地質	1.27	0.5504 0.7848
勾配	1.13	0.4272 0.7159
植生	0.96	0.2305 0.6239
重相関係数		0.8474

崩壊面積(率)を目的変数とし、斜面勾配、地質、植生状況を説明変数として、質的なデータを含んだものから量を推定する手法である数量化分析 I 類による多変量解析を行った。なお、解析に用いた崩壊地データ数は 1,334 である。表-2 からは、姫川流域では崩壊発生面積率への寄与度が、地質、勾配、植生種の順に高いことが判る。

これらから、山腹斜面の崩壊状況は地質の影響が大きいものの、植生種、樹木の密度等の植生状況によってもある程度の影響を受けていることが判った。したがって、砂防計画の策定に当たっては、山腹植生の管理を考慮・評価した計画とすることが望ましいと言える。また、他の災害でのデータを踏まえても、人工林が天然林よりも安定性が高いという結果にはなっていない。

2.1.3 計画生産土砂量算定への適用手法の検討

姫川流域の全支川からの土砂流出状況を表-3 に示した。河川砂防技術基準(案)には、標準的な計画流出土砂量の値が示されているが、北信越災害による崩壊土砂量は、西側の各支川では計画規模に近い降雨があったものの、大規模な崩壊が発生した蒲原沢でやや大きかったのを除き概ね標準値の下限値に近い。これは、この標準値が提案された時代以前は禿しゃ地が多く残っており、大面積の森林伐採も行われていたため、それと比べると現在は山地の植生状況が改善されたためと考えられる。したがって、計画規模の降雨があった場合

表-3 姫川流域崩壊土砂量等一覧表

支川名	流域面積 (km ²)A	崩壊土砂量 (m ³)B	支川河道へ の流出土砂量 (m ³)C	姫川本川(平川 合流点より下流) への流出土砂量 (m ³)D	E=B/A (m ³ /km ²)	F=C/A (m ³ /km ²)
姫川源流	40.20	132,168	101,706	81,400	3,288	2,530
平川	22.85	183,202	145,421	0	8,018	6,364
峰方沢	13.05	61,900	40,008	8,000	4,743	3,066
松川	58.90	484,178	372,395	0	8,220	6,322
管沢	6.50	58,850	37,964	7,600	9,054	5,841
青鬼沢	10.20	106,115	63,400	12,700	10,403	6,216
梅川	16.50	208,955	156,528	41,800	12,664	9,487
親沢	9.75	202,026	140,005	31,200	20,721	14,359
大抜ノ沢	4.90	92,330	59,150	12,200	18,842	12,071
猿倉沢	11.40	404,473	281,142	56,200	35,480	24,662
土谷川	32.25	907,012	608,893	493,100	28,124	18,880
中谷川	58.05	1,352,024	893,760	883,900	23,290	15,396
浦川	21.00	1,737,468	1,173,643	237,300	82,737	55,888
土沢	11.75	186,076	128,600	110,100	15,836	10,945
白井沢	4.85	41,948	26,237	6,300	8,649	5,410
前沢	3.90	273,485	188,256	61,300	70,124	48,271
蒲原沢	3.60	486,823	329,923	66,000	135,229	91,645
大所沢	98.70	1,422,963	1,050,469	930,200	14,417	10,643
横沢	27.25	283,842	195,334	160,500	10,416	7,168
小滝沢	71.80	421,842	324,387	229,100	5,875	4,518
根知沢	48.10	207,560	132,849	113,700	4,315	2,762
残流域計	110.15	1,852,994	1,327,928	1,352,200	16,822	12,056
合計	685.65	11,108,234	7,777,998	4,894,800	16,201	11,344

でも、山腹植生の管理が可能であれば崩壊面積率の低減および支川河道へ流出する前に捕捉・堆積させる効果を発揮させることで、流出土砂量は標準値よりも小さく想定しうることを示唆していると考えられる。

2.2 平常時の土砂流出に与える影響

近年の砂防計画の主眼であった計画降雨時の土砂流出対策に加えて、流域一貫の土砂管理も求められるようになり、中小規模の降雨による土砂移動現象についても明らかにする必要が生じている。

ここでは、大規模な植生状況変化の事例として、平成 6 年 8 月の広島県竹原市の山林火災発生地における流出土砂量の経年変化、および既往研究からの知見を紹介する。

2.2.1 竹原市の山林火災地における調査概要

平成 6 年の山林火災以降の、上流域焼失率の異なる砂防ダム等での堆砂測量による流入土砂量の経年変化観測結果を表-4 に示した。

平成 7 年 3 月から 11 月の梅雨・台風期において、焼失率の高い No.2、No.3 流域内のダム堆砂が著しい。No.3 においては小規模の山腹崩壊が発生し、No.2 ではリター(落葉落枝)および比較的浅い層の根系の焼失により、表土が降雨に直接さらされて土壤緊縛力が減少し、不安定土砂と

表-4 広島県竹原市・山林火災発生地域での土砂流出量観測結果

河川名	H6 火災 流域面積 (km ²)	焼失率 (%)	ダム堆砂比変動量 (m ³ /km ² /year)						備考
			H6.8 山林火災発生	H7.3	H7.11	H8.9	H9.10	H10.10	
No.1(内浜川)	0.52	20		235	87	35	62		
No.2(内浜川)	0.18	100		7,750	2,008	91	-196		
No.3(内浜川)	0.02	100		3,697	-672	107	-1415		H7 に満砂
No.4(大乗川)	1.89	0		16		10	736		
No.A3(大乗川)	0.05	0		-320		232	-520		
期間最大日雨量 (竹原)				134mm	92mm	82mm	52mm		
(確率)				(1/12.1)	(1/2.3)	(1/1.7)	(1/1.1)		
期間最大時間雨量 (竹原)				41mm	29mm	30mm	18mm		
(確率)				(1/0.9)	(1/2.8)	(1/3.1)	(1/1.2)		

※ No.1 ダム、No.2 ダム、No.4 ダムは平成 6 年 8 月の火災直後に除石工を実施。

No.3 ダム、No.A3 ダムは堆砂測量開始時はほぼ未堆砂であった。

なって流出したものと考えられる。平成 10 年現在も草本類が回復しつつある段階で、木本類の回復は殆ど見られないが、平成 9 年以降の土砂流出は各ダムとも小さな値にとどまっている。

のことから、大規模な植生焼失の直後では中小規模の降雨によっても顕著な土砂流出が発生するが、その後に草本類が回復すると、中小降雨時の土砂流出は急速に抑制されることが確認された。

2.2.2 人工造林地等における土砂生産・流出

山地部では近年の国内林業の不振に伴い、適正な管理がなされていない人工造林地が新たな土砂生産源となり、河川等に対し悪影響を与えることが懸念されるため、林床植生の状態と土砂生産・流出の関係について治山および造林の分野での研究をレビューした。結果は、以下のようにまとめられる。
①森林荒廃の過程：不適切な管理（過密林分化、樹冠閉鎖）→ 日照不足 → 林床植生の減少 → リター・土壤の流出 → 土砂生産の活発化 → 森林荒廃
②林床被覆のない林分からの流出土砂量は裸地の 8~9 割²⁾。降雨による全流出土砂量の約 8 割は雨滴侵食、約 2 割は地表流水による。ただし、地表の浸透能の限界を超えると、地表流水による侵食が卓越する。

③スギ人工林よりヒノキ人工林の方が土壤侵食量が多い³⁾。これは分解しやすいヒノキの葉の特徴に原因がある。
④侵食土砂量は降雨量との間に指数関数の関係がある^{2),4),5)}。例えば、

$$E = a(Pi)^b \quad (1)$$

(ここに、E : 土砂流出量, P : 週間降雨量, I : 1 時間最大降雨量, i : 10 分間最大降雨量, a, b : 常数)
⑤侵食土砂量は落葉堆積量と指數関係にある。例えば、

$$(ヒノキ林で) \quad E = 1.43 EXP(-4.08 \times L) \quad (2)$$

(ここに、E : 土壤侵食量, L : 落葉堆積量, EXP : 指数関数)

$$E = aS^a I^b e^{-cC} \quad (3)$$

(ここに、E : 流出土砂量, S : 傾斜, I : 降雨強度, C : 落葉被覆度, a, b, c : 係数)

⑥地質の違いにもよるが、冬季の凍結・融解による侵食も多い。

⑦樹種の違いによる差は少なく、落葉層の厚さが 1.5cm 程度で表面侵食を殆ど防止する⁶⁾。

A₀ 層(有機物層)・植被率の影響寄与度：

斜面勾配 > 下層の草本植被率

ただし 30 度以下では草本植被率が影響大

許容侵食土砂量 (A₀ 層生成速度 ≈ 土壤侵食速度) を維持するには、許容侵食土砂量の 2 倍以上のリター堆積量 (乾燥重量) が必要である⁵⁾。

⑧林床植生量と林床植生上の年日射量は比例関係にある。また、日射量(相対照度)と林冠葉量は負の相関関係にある^{7),8)}。

⑨豪雨時の崩壊率の高さ(一般的傾向)：幼齢林(人工林) > 老齢林(人工林) > 壮齢林(人工林) および天然林

林齢 20 年までの崩壊率が高く、壮齢林の 3~6 倍になった事例が報告されている⁹⁾。

以上の報告および調査結果等より、平常時の土砂流出抑制のためには、森林の成立およびその森林の A_0 層や下草の存在が重要であり、特に人工造林地における適正な森林管理も今後の流域土砂管理にとって影響を与えるものと考えられた。

3. 山麓樹林帯の活用手法

3.1 待受樹林帯の考え方

3.1.1 樹林帯による崩壊・流出土砂捕捉効果

樹木は土砂移動に対して抵抗として働き、崩土や土石流を捕捉し、林内での堆積を促進すると考えられる。そこで、崩土・土石流に対抗するための樹林帯(待受(まちうけ)樹林帯)の効果を把握するため、樹林内に土砂が堆積した7箇所の計26ブロックにおいて現地調査を実施した。調査の結果、樹林の効果は次の4形態への分類が可能と考えられた。また、胸高直径(地上1.3mの立木の直径)、捕捉した崩土の粒径および樹間距離との関係に一定の分離性が見られた(図-1, 2)¹⁰⁾。

①ネット効果：中小径木が複数重なり、高さ方向にネット状の面構造をなし、立木の支持を受け土砂を堆積させる。

②ダム効果：流倒木が樹間に閉塞し、立木の支持を受けダム状に移動土砂を堆積させる。

③縦杭効果：立木に崩壊土砂礫が衝突し、減勢停

止させる。

④粗度効果：樹木群が粗度を高め、流速を減少させ堆積を促進させる。

ダム効果は、流倒木やそれを支持する立木には大きな荷重がかかるため、胸高直径はある程度の大きさが必要と考えられる。今回の調査では30cm程度以上の樹径を有する樹林で多く確認された。樹径が大きいため、ネット効果よりは大きな粒径を含む崩土を捕捉している。また、大径木で樹間を閉塞するため、4つの効果形態のうち最も大量の土砂を堆積させると考えられる。

3.1.2 待受樹林帯設計の考え方

土砂を捕捉する待受樹林帯の設計で考慮すべき項目は、以下のとおりである。

(1) 樹間距離

流倒木や転石が樹間に捕捉されるためには樹間距離をある程度小さくする必要がある。土木研究所で行った実験では、相対樹間距離(樹間距離/最大礫径)が7程度より小さくなると土石流の堆積長(樹林中の流下距離)が樹林の無い場合の堆積長に比べて顕著に減少することが確認されている¹¹⁾。

(2) 樹径

樹林帯を構成する樹木の樹径は、予想される崩土・土石流の流体力に耐えうる樹径であることが望ましい。特に、土砂捕捉効果が大きいダム効果を期待する場合は、崩土の状態にもよるが、30cm程度の樹径が必要と考えられる。しかし、樹林の土砂捕捉効果は、流倒木が樹間に閉塞した場合に大きいことから、ある程度の倒木は許容しても良いと考える。

(3) 補助工

樹木の樹径、樹間距離は土砂捕捉を期待する上で重要なファクターであるが、一方で、樹林の状態は生育する場の自然環境に規定されるため、まず自然環境に適合する樹林帯の構成を考え、不足する部分については樹間距離を補い、土砂捕捉を促進する補助工や樹木強度を補う補助工の導入を考える必要がある。

(4) 樹林帯幅

樹林帯に流入した崩土、土石流、転石等は立木に衝突し、次第にエネルギーが減勢し停止する。そのため、停止に至るまでのエネルギー減勢を行える樹林帯の規模、特に斜面方向の必要幅を求めることが重要であるが、樹林帯規模を定量的に算

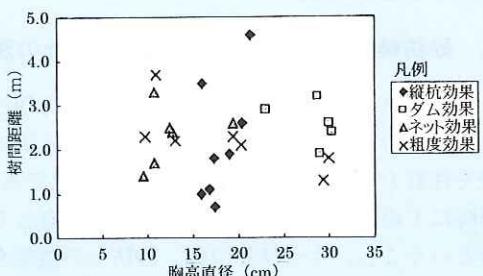


図-1 樹林効果と胸高直径-樹間距離の関係

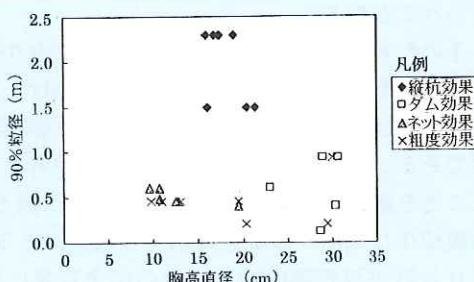


図-2 樹林効果と胸高直径-補足粒径の関係

定する手法を現在検討中である。

3.2 待受樹林帯の維持管理手法

砂防林では、樹林の良好な生長を促すために下草刈り・枝打ち・間伐等の造林の手法に即した維持管理の他に、土砂移動の場に樹林帯を維持することを考慮した管理が必要である。

また、待受樹林帯の場合は、土砂堆積に対する除石などの維持管理を行う必要があるため、大山山系、信濃川水系、天竜川水系の計9箇所で、樹木の生長に影響を及ぼす堆積土厚、堆積土砂の状態等について埋没樹林の耐性実態調査を行った。その結果は、堆積土砂厚は10cm~2m程度の範囲であったが、樹皮の剥離等による損傷木を除いては、土砂の堆積による水分条件の変化等を原因とする枯死木・衰退木は認められなかった。浸透能については、小さな所でも 10^{-2} cm/s程度であり、この程度の堆積物の状態では樹木の生育環境には大きな影響は与えていないようである。したがって、遊砂区域での土砂捕捉後の除石については、土砂捕捉機能の回復と、損傷木の処理について、その必要性を判断すればよいと考えられる。

4. 溪畔林保全型流路整備手法

4.1 溪畔林の効果と意義

これまでの流路整備では、コンクリート護岸などを用いた単断面流路工の施工が多く行われてきた。しかし、主に環境上の理由から溪畔植生を保全することが求められている。

そこで、植生調査結果を流路横断微地形と溪畔林の種類等に着目して分類し、成立実態を把握した。その結果、高木を含む多様性のある溪畔植生を保全するためには、ある程度の河道の攪乱を許容しつつも冠水頻度が小さく長期間変動しない高さの安定帶を確保できるような流路整備を行う必要があることが判った¹²⁾。

また、溪岸侵食事例について溪畔植生の状況を調査し、溪畔植生による溪岸侵食抑制効果を検討した。地下茎の発達するササ・タケや密生した低木群で若干の効果が示唆されたが、大きなものではなかった¹³⁾。しかしながら、構造物による洪水流の制御を行うことで溪畔植物群落を保全し、溪岸侵食抑制効果を発揮させることは可能と考えられた。

4.2 長袖タイプ床固工群による流路整備手法

低水護岸で固定せず、床固工群の袖部の延長に



写真-1 連続床固工群内渓畔林効果実験

余裕を持たせることで自然に近い流路断面形状を造り出して渓畔林を保全し、その結果としての渓畔林による整流効果を明らかにするための水理模型実験を実施した。

写真-1に示すような水路模型を作製し、長袖タイプの床固工間の樹林帯密度による侵食抑制率を求めたところ、樹林密度0.4%以上で効果が認められた¹⁴⁾。樹林帯が粗度として働き、渓岸部付近の流速を減じ、流水を中心部に集めることで砂礫堆の発達を抑制した結果と考えられた。今後、構造物と樹林帯の組み合わせによる設計手法を提示する予定である。

5. 砂防植生工展開の基本的考え方とその課題

砂防において植生を扱う意義は2つに分類される。ひとつは植生自体がその成立している場の履歴や性質(今後の変化を含め)を示す指標であり、同時にその場の生態環境に大きな影響を有しているということ。もうひとつは、砂防上の機能を活用するために植生を保全・導入し、整備を行うべき区域の日常的な環境に対する負荷を軽減し得るということである。

そのため、積極的に砂防事業に植生を取り込む考え方を整理するための研究を行ったわけであるが、植生は生物体であるためきめ細かな管理が必要であること、および機能面での限界があるということを認識しておかなければならない。例えば、山腹植生は流出土砂量を抑制する効果はあるが、それは計画規模降雨時に下流の保全対象に対して必ずしも完全に満足できるほどではないこと。

表-5 砂防植生工の適用条件

対象	砂防で対応すべき場の条件	植生に期待する砂防上の効果	植生等の管理要素
山腹斜面	・主に勾配 $30^\circ \leq \theta$ の斜面 ・表層土が存在する、または基岩の風化が進行することで崩壊発生の恐れがある斜面	・表層崩壊面積率低減効果 ・表面侵食抑制効果	・植生被度 ・A ₀ , A 層を維持しうる樹種 ・林床植生を維持する照度 ・基礎地盤の安定性 ・樹木の転倒に対する安定性 ・深根性樹種の維持 ・斜面補強工の実施
	・直下に保全人家のあるがけ地	・根系によるせん断抵抗力の増加	
	・主に勾配 $\theta < 30^\circ$ の斜面 ・表層土が存在し、崩壊の恐れがある斜面	・表層崩壊面積率低減効果 ・表面侵食抑制効果 ・河道流出土砂量低減効果	・植生被度 ・A ₀ , A 層を維持しうる樹種 ・林床植生を維持する照度
山間 渓流	・渓床勾配 $10^\circ \leq I$	(考えない)	・流木対策の必要性の把握
	・渓床勾配 $3^\circ \leq I < 10^\circ$	・流下土砂の減勢・堆積促進	・補助工の設置 ・堆積土砂の除去
山麓	・山腹斜面下部の山麓部 ・扇頂部の土砂氾濫開始点付近	・崩壊・流下土砂減勢効果 ・崩壊・流下土砂捕捉効果 ・山麓での土砂災害危険箇所増加抑制(開発抑制効果)	・想定外力に対する樹木 ・樹林帯の安定性(胸高直径、根系等) ・樹林占有面積率、樹間距離 ・補助工の設置 ・堆積土砂の除去
扇状地上 渓畔域	・渓床勾配 $I < 3^\circ$ の渓流周辺 ・床固工等により洪水流の制御を行うべき流路区間 ・砂防ダム、床固工、遊砂地等の土砂の氾濫・堆積を期待する範囲 ・扇状地上の渓畔域で、溢流した洪水流が拡散する地形範囲	・洪水流の整流効果 ・遊砂空間での土砂捕捉 ・堆積促進効果 ・氾濫土砂の篠い分け効果	・樹林占有面積率 ・補助工の設置 ・流木対策 ・堆積土砂の除去

また、平成9年5月の秋田県鹿角市澄川・赤川、同7月の岐阜県上宝村左俣谷で発生した土石流等で見られたように、土石流送区間にように流体力が十分制御されない場所では直径30cm以上の渓畔林や樹林帯でも土砂の捕捉・減勢効果を發揮せずに消滅していること。さらに、渓畔植生による渓岸侵食抑制効果は、洪水時の流路が安定していなければ発揮し得ないこと。このような植生の限界を踏まえた上で、安全度を確保する手法を検討し、よりよい砂防事業を行っていくことが必要である。今後の砂防事業への植生導入の基本的考え方を表-5に整理した。

6. おわりに

本研究は、汎用的な設計基準を示すために幾つかの課題を残しているものの、砂防事業に植生を導入するための道筋は示せたものと考える。今後も現場での知見をフィードバックしつつ環境調和型の事業を進めて行きたい。

また、本研究の実施に当たっては全国の直轄および補助の砂防事業実施事務所より多大なる資料提供を頂いた。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 小山内信智、南哲行、竹崎伸司：平成7年7月北信越災害・姫川流域における山腹崩壊と植生状況の実態、平成9年度砂防学会研究発表会概要集、1997.
- 川口武雄、滝口喜代志：山地土壤侵食の研究、林試研報、No.95,1957.

- 片桐成夫、石井弘、有光一登、上田晋之助、赤井龍男、薬師寺清大：人工降雨によるヒノキ林内の落葉、土壤等の流出移動について、93回日林論、1982.
- 大味新学、綱木皓二：山腹工法面の侵食に関する研究、日林誌、49(7),1967.
- 服部重昭、阿部敏夫、小林忠一、玉井幸治：林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響、森林総研報、No.362,1992.
- 村井宏、岩崎勇作：林地の水および土壤保全機能に関する研究(第1報)、林誌研報、No.286,1976.
- 斎藤昌宏：スギ人工林における林内日射量と林床植生量の関係、森林総研報、No.71(7),1989.
- 清野嘉之：ヒノキ人工林における下層植物群の動態と制御に関する研究、森林総研報、No.359,1990.
- 塙本良則：樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究東京農工大演習林報、第23号,1987.
- 桜井亘、南哲行、小山内信智、正野光範：樹林帯の崩土流下に対する減勢効果、平成10年度砂防学会研究発表会概要集、1998.
- 水山高久、井良沢道也、福本晃久：樹林帯の土石流制御効果に関する水理模型実験報告書、土木研究所資料、No.2837,1990.
- 小山内信智、南哲行：急勾配河川における河道横断微地形構造と渓畔林の成立実態、土木技術資料、Vol.40, No.1,1998.
- 竹崎伸司、南哲行、小山内信智：渓岸侵食の実態と河床変動が渓畔林に与える影響、平成10年度砂防学会研究発表会概要集、1998.
- 南哲行、小山内信智、竹崎伸司、松村恭一：連続床固工区間内の渓畔林の流路安定に与える効果に関する実験、平成10年度砂防学会研究発表会概要集、1998.

<文責>

建設省土木研究所砂防部砂防技術総括研究官 反町 雄二
同 砂防研究室主任研究員 小山内信智