

◆ 特集 土砂災害を防ぐ ◆

伝統的砂防工法を用いる場合の適地の選定

富田陽子* 小山内信智** 南 哲行***

1. はじめに

資源リサイクル、環境への負荷軽減は、地球環境問題からも全ての個人・事業者が取り組むべき課題である。砂防事業も例外ではない。現在多くの砂防工事現場では、工事用資材を山地流域外部から持ち込み、工事によって発生した掘削土砂や伐木などを山地流域外部へ持ち出しているが、山地流域内で工事用資材の資源循環型社会が構築できれば、それは地球環境問題に対する取り組みの一つとして評価されるものと考えている。

筆者らはこのような視点から我が国古来の伝統的砂防工法に着目した。江戸時代から昭和初期にかけて多用された自然素材及び現地発生材料を用いた砂防工法全般を「伝統的砂防工法」と定義した。この伝統的砂防工法は、コンクリートや鉄材を多用した近代的な砂防工法に対して、資源リサイクル・環境への負荷軽減などの観点から優位性がみられる。しかしながら、一方ではその材料の性質から近代的工法に対して均一性・強度が劣ることは否めない。土砂流出により市街地が被災した場合の社会的・経済的影響が莫大である現代において、伝統的砂防工法を活用するには採用する工法の選定や設置場所に熟慮を要する。

そこで、伝統的砂防工法による施設の防災効果について文献等から検証し、各工法を採用するのに適切な場所の検討を行った。

なお、本調査は多数の文献・書籍を参考に行っています、各工法の内容などについて重複又は類似

表-1 砂防工法の特徴

	伝統的工法	近代的工法
材料	<ul style="list-style-type: none"> ・現地発生材料(石・土砂)の使用 ・自然素材(藁・粗朶)の使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート・鉄鋼など、人工的にコントロール可能な材料の使用
手法	<ul style="list-style-type: none"> ・発生源対策 ・現地地形に合わせた手法選定 ・小規模(人工施工) 	<ul style="list-style-type: none"> ・工種、工法の画一化 ・大規模化(機械化) ・地形の改変
利点	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクル ・環境への負担軽減 ・低コスト 	<ul style="list-style-type: none"> ・大量生産可 ・施工が簡単 ・耐久性・強度増大
欠点	<ul style="list-style-type: none"> ・強度が劣る ・人工施工、材料調達から施工規模に限度があった 	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模な土地の改変 ・環境への負荷大

Study on the Conditions suitable for Constructing Sabo Facilities using Natural Material

した文献等が多数存在する。本来ならばそれら文献等から引用した部分ごとに番号を付すべきであるが、上記理由により本文の後ろにのみ列記した。

2. 砂防工法の変遷とその特徴

砂防工法の変遷については、たとえば(社)全国治水砂防協会による「日本砂防史」などでも解説されている。それらの図書などを基に変遷過程をみると、伝統的な工法及び近代的な工法は次のように特徴付けられる。

(伝統的砂防工法)

- (1) 現地採取材料を主体としていた。現地採取材料の量から施設の規模が決定されていた。
- (2) 植栽が中心だった。当時は山地の荒廃が甚だしく、日常的な土砂流出の防止が工事の主目的であった。
- (3) 小規模なものを設置していた。当時は、現地発生材料による人力施工であった。材料の量、施工能力によって小規模であった。

(近代的砂防工法)

- (1) 予め設計された規模に充当できる材料の入手・運搬が可能になった。
- (2) 荒廃山地が激減した。日常的な土砂流出が減少し、代わっていわゆる土石流のような豪雨などの非常時の大規模な土砂流出による量と衝撃力への対応がより重要となった。
- (3) 機械化により大規模施工が可能となった。
- (4) 人為的にコントロールが可能な材料が増えた。

これら特徴を表-1に整理して示す。

3. 伝統的砂防工法の防災効果の検証

及び適地の検討

伝統的砂防工法は、その変遷過程をたどると、必ずしもその工法自体の効果が否定されたわけではないこと、土地の時間的変化(河床の変動や植生の回復・生長など)に対応した工法であること、がわかった。ここでは、伝統的砂防工法の防災効果の検証と、それを基に行った適地選定の結果を表-2に整理した。なお、表では伝統的砂防工法と同様の防災効果をもつ近代的砂防工法を併記した。対比することにより、工法選定の際の基準が明確に

なると思われたからである。

3.1 防災効果の検証

伝統的砂防工法には、1) 山腹基礎工や渓流工のように、近代工法と同様に、構造物の強度や自重によって外力に抵抗するもの、2) 山腹緑化工のように、植生の復旧を促進させ、植生のもつ土砂かん止効果に期待するものの2つがある。どちらの効果も「土砂かん止量」という数量で説明することはできる。つまり、土砂かん止量は工種とその規模で決まるのであって、その使用材料には影響されないからである。伝統的砂防工法を評価する場合には、その使用材料の特質からむしろ耐久性(耐用年数)と植生復旧の成果という観点から行うべきと考えた。これにより、1)においては耐久性(耐用年数)、2)においては植生復旧の成果で説明することとし、評価項目を次のように設定し、文献等を基に評価した(表-2)。なお、表-2では、成果不良とした工法については記載していない。

山腹基礎工及び渓流工については「耐用年数」の観点から次のように評価した。

- ・ 永い(○)：永久構造物として扱える
 - ・ 永い(△)：永久構造物として扱えるが、施工の良否や場の条件によって耐久性にバラツキが生ずることが避けられない
 - ・ 数年程度：耐久性が低いため、仮設的構造物として扱える
 - ・ 植生により安定化：耐久性は低いが、施工後の植生の生育によって同等の土砂かん止効果が期待できる
 - ・ 成果不良：構造や施工に根本的な問題があり、期待した成果は得られなかった
- また、山腹緑化工の効果は、「植生復旧の成果」という観点で以下のように評価した。
- ・ 優：適地に導入すれば良好な成果が得られる
 - ・ 良：改良段階にあるもの
 - ・ 可：改良前の初期の段階の工法で、植生復旧までに時間を要すると侵食されるなどの心配がある
 - ・ 成果不良：構造や施工に根本的な問題があり、期待した成果が得られなかった

4. 適用についての考察

各工種ごとに伝統的砂防工法の現場への適用について考察した。

4.1 山腹基礎工

4.1.1 谷止工

コンクリートや鋼製枠を使用した谷止工(近代

的砂防工法)は、様々な条件の箇所に施工できる汎用性を持っており、耐久性も高い。伝統的砂防工法のうち空石積谷止工や(鉄線)蛇籠谷止工は、それ自身が破壊されなければ存在し続けることができると考えられることから、施工する場所が適切であれば近代的砂防工法に近い耐久性が得られると考えられる。

鎧留や築留(張芝土堰堤)は、流水による強度低下が懸念されるが、粗朶束堰堤、編柵堰堤及び木堰堤は、土留工に近い谷止工として位置づけ、周辺に植生を積極的に導入することで、たとえば山火事跡など土壤条件が良い箇所での植生回復までの一定期間のみ効果を発揮すればよい砂防設備として適用できる可能性がある。

4.1.2 土留工

コンクリートブロックやブロック板等を使用した土留工(近代的工法)は、伝統的砂防工法の一つに分類される土留石積工と同等の効果を、省力化施工できるように改良したものである。伝統的砂防工法に分類される土留積苗工も表面侵食を受けにくい箇所では十分効果を発揮する。土留工における伝統的砂防工法と近代的砂防工法との機能的な差は少ないと考えられる。

4.1.3 水路工及び暗渠工

近代的砂防工法に分類される水路工及び暗渠工は、伝統的砂防工法に分類されるそれと同等の効果を、耐久性を高めながら省力化(主に資材運搬)施工できるように改良したものである。従って、設置場所が適切であれば、伝統的砂防工法は十分機能を発揮すると考えられる。

4.2 山腹緑化工

4.2.1 階段工

近代的砂防工法に分類される階段工(例えばコンクリート板柵工)は、主に柵工の耐久性を向上させるために木杭や粗朶の代わりにコンクリート板や鉄材を使用したもので、緑化に関する基本的な構造は伝統的砂防工法の柵工と変わらない。また、積苗工は現在でも実施されている。

4.2.2 斜面被覆工

近代的砂防工法に分類される斜面被覆工(例えば厚層基材吹付工)は、伝統的砂防工法に分類されるそれと同等の効果を、省力化(主に施工性)施工できるように改良したもので、種子・肥料・生育基盤を地山に固定する点では伝統的砂防工法と同じである。しかしながら、伝統的砂防工法は土

表-2 伝統的工法の防災効果と適地の選定(その1)

山腹基礎工/谷止工	主な機能	耐用年数の評価	平常時に流水がな い斜面凹部に適用 できる	平常時に流水がな い斜面凹部に適用 できる	軟弱地盤の箇所に 適用できる	樹木が繁殖しにく い箇所に適用でき る	出水時に石塊が流 下する斜面凹部に 適用できる	土石流の流下の恐 れがある箇所に適 用できる
鎧留	土砂秆止	数年程度	○					
築留(張芝土堰堤)	土砂秆止	数年程度	○					
繩糊堰堤(編組合止工)	土砂秆止	植生により安定化	○					
粗朶束堰堤(粗朶合止工)	土砂秆止	植生により安定化	○					
木堰堤(木製合止工)	土砂秆止	数年程度	○	○				
石籠留(竹製蛇籠合止工)	土砂秆止	数年程度	○	○				
蛇籠堰堤(蛇籠合止工)	土砂秆止	永い(△)	○	○				
鋼製合止工	土砂秆止	永い(○)	○	○				
石垣留(空石籠合止工)	土砂秆止	永い(△)	○	○				
コシクリート谷止工	土砂秆止	永い(○)	○	○				
○	○	○	○	○				
山腹基礎工/土留工	主な機能	耐用年数の評価	降雨による侵食を 受けやすい箇所に 適用できる	降雨による侵食を 受けやすい箇所に 適用できる	地盤が堅固で、土 圧が小さな箇所に 適用できる	地盤が堅固で、土 圧が小さな箇所に 適用できる	軟弱地盤等の土 圧が小さな箇所に 適用できる	軟弱地盤等の土 圧が大きな箇所に 適用できる
土留和苗工(段積苗工)	土砂秆止、表面侵食防止、水分貯留	植生により安定化	○	○				
土留和苗工(笠石和苗)	土砂秆止、表面侵食防止、水分貯留	永い(△)	○	○				
土留和苗工(笠石和苗)	土砂秆止、表面侵食防止、水分貯留	永い(○)	○	○				
ブロック板(PN0板)積工	土砂秆止、表面侵食防止、水分貯留	永い(○)	○	○				
コンクリートブロック工	土砂秆止、表面侵食防止、水分貯留	永い(○)	○	○				
コンクリート擁壁工	土砂秆止、表面侵食防止、水分貯留	永い(○)	○	○				
ふとん籠工	土砂秆止、表面侵食防止	永い(○)	○	○				
コンクリート伴工	土砂秆止、表面侵食防止	永い(○)	○	○				
○	○	○	○	○				
山腹基礎工/水路工	主な機能	耐用年数の評価	緩勾配で流量が少 なく、細かな土砂 が流れ下する箇所に 適用できる	樹木が繁殖しにく い箇所に適用でき る	樹木が繁殖しにく い箇所に適用でき る	樹木が繁殖しにく い箇所に適用でき る	地形に複雑な凹凸 地盤条件の悪い箇所 に適用できる	地形に複雑な凹凸 地盤条件のある箇所 に適用できる
張芝水路工	斜面凹部の侵食防止	植生により安定化	○	○				
張芝石路工	斜面凹部の侵食防止	永い(△)	○	○				
コンクリート水路工	斜面凹部の侵食防止	永い(○)	○	○				
ヒューム管水路工	斜面凹部の侵食防止	永い(○)	○	○				
コレゲート水路工	斜面凹部の侵食防止	数年程度	○	○				
板(編)柵水路工	斜面凹部の侵食防止	数年程度	○	○				
○	○	○	○	○				
山腹基礎工/暗渠工	主な機能	耐用年数の評価	湧水がない箇所に適 用できる	樹木が繁殖しにく い箇所に適用でき る	樹木が繁殖しにく い箇所に適用でき る	樹木が繁殖しにく い箇所に適用でき る	湧水や表層からの 地中間水が多いこ とに適用できる	地盤すべり等の地盤 が軟弱な箇所に、急 激な漏水による地盤 沈下による地盤の破壊 が発生する
粗朶暗渠工	地下水排除、侵食防止	数年程度	○	○				
蛇籠暗渠工	地下水排除、侵食防止	永い(△)	○	○				
多孔管、化學製品暗渠工	地下水排除、侵食防止	永い(○)	○	○				
石籠暗渠工	地下水排除、侵食防止	永い(○)	○	○				
○	○	○	○	○				

注1) 工法名稱に網掛けしているものは、近代的砂防工法として位置づけられる工法である。

注2) 山腹基礎工の効果は、「耐用年数の評価」という項目で以下のように評価した。

永い(○) : 永久構造物として扱える

永い(△) : 永久構造物として扱えるが施工の良否や場の条件によって耐久性にバラツキが生じることが避けられない

数年程度 : 数年程度で仮設構造物として扱える

植生により安定化 : 植生により安定化(耐久性は低いが、萌芽性の素材を使用するため、施工後の植生の成育によって同等の土砂秆止効果が期待できる)

表-2 伝統的工法の防災効果と適地の選定(その2)

山腹緑化工/階段工		主な機能	植生復旧の成果	緩斜面で、土壤が厚く地味な箇所に適用できる	緩斜面で乾燥しやすい比較的急峻なところに適用できる	土壤が貧弱で乾燥しやすくなる	多湿地に適用できる箇所に適用できる	渓上・渓谷に適用できる箇所に適用できる	降雨の極めて少ない地域に適用できる
筋工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	優	○						
舗工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	優	○						
わら工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	可	○						
樹苗工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	優	○						
樹留連束わら(柴)工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	良	○						
粒石工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	優	○						
コンクリート板柵工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	優	○						
粗朶積工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	優	○						
等高線塗工	植生基礎造成、水分貯留、施肥、侵食防止	優	○						
山腹緑化工/斜面被覆工、伏工		主な機能	植生復旧の成果	土壤が貧弱で比較的斜面が緩く、地盤が軟らかい箇所に適用できる	土壤が貧弱で、比較的斜面が緩い箇所に適用できる	土壤が貧弱で、比較的斜面が緩く、急峻な箇所に適用できる	土壤が貧弱で比較的斜面が緩く、急峻な箇所に適用できる	施工の間の斜面に施工する	施工の間の斜面に施工する
連束わら網工(網伏工)	表面侵食防止、植生定着促進	可	○						
種子マット工	種子、肥料、成育基礎の供給による緑化	優	○						
種子吹付工	種子、肥料、成育基礎の供給による緑化	優	○						
厚層基材吹付工	種子、肥料、成育基礎の供給による緑化	優	○						
植生盤工	種子、肥料、成育基礎の供給による緑化	良	○						
粗朶伏工	表面侵食防止、植生定着促進	優	○						
わら伏工	表面侵食防止、植生定着促進	優	○						
山腹緑化工/植栽工		主な機能	植生復旧の成果	山腹整理工及び階段工が施設される箇所に適用できる	山腹整理工が設けられる箇所に適用できる	山腹整理工が設けられる箇所に適用できる	省力化施工が求められる場合に適用できる	省力化施工が求められる場合に適用できる	省力化施工が求められる場合に適用できる
苗木植付	直接植栽による山腹緑化	優	○						
種蒔付(実播工)	種子と肥料の実播による山腹緑化	良(*)	○						
ヘリコプター実播工	種子と肥料の実播による山腹緑化	優	○						

注1) 工法名前に綴掛けているものは、近代的砂防工法として位置づけられる工法である。

注2) 山腹緑化工の効果は、「植生復旧の成果」という項目で以下のように評価した。

優：適地に導入すれば良好な成果が得られるもの

良：改良段階のもの

可：改良前の初期の段階の工法で、植生復旧までに時間要すると侵食されるなどの心配がある

○

表-2 伝統的工法の防災効果と適地の選定(その3)

河床工/堰堤工	主な機能	耐用年数の評価	出水時に石壁が流下する掃除区間に適用できる	川幅が広く、側圧に耐えられる箇所に適用できる	土石流対策である
木権堤工	土砂干止	数年程度	○	○	○
蛇腹堰堤工	土砂干止	永い(△)	○	○	○
鋼製ダム工	土砂干止	永い(○)	○	○	○
コンクリートダム工	土砂の貯留、干止、調節	永い(○)	○	○	○
土堰堤工(フィルダム)	土砂の貯留、干止	永い(○)	○	○	○
石堰堤工(笠石積)	土砂干止	永い(△)	○	○	○
河床工/護岸工	主な機能	耐用年数の評価	河床勾配が緩く、平常洪水があり、山砂の流出が多いときに適用できる	護岸脚部が沈下する箇所に適用できる	河床勾配が緩く、土砂流出が少なく、河岸斜面が緩く、やや急に適用できる
石芝積立護岸工	渓岸の保護、山脚の侵食防止	植生により安定化	○	○	○
編隔護岸工	渓岸の保護、山脚の侵食防止	植生により安定化	○	○	○
杭擋護岸工	渓岸の洗掘防止	植生により安定化	○	○	○
木枠	渓岸・堤防の保護、山脚の侵食防止	数年程度	○	○	○
粗朶東渡岸工	渓岸の保護、山脚の侵食防止	植生により安定化	○	○	○
蛇籠護岸工	渓岸・堤防の保護、山脚の侵食防止	永い(△)	○	○	○
コンクリート方格鉄護岸工	渓岸・堤防の保護、山脚の侵食防止	永い(○)	○	○	○
コンクリートブロック護岸工	渓岸・堤防の保護、山脚の侵食防止	永い(○)	○	○	○
石積護岸工	渓岸・堤防の保護、山脚の侵食防止	永い(△)	○	○	○
張石護岸工	渓岸・堤防の保護、山脚の侵食防止	永い(△)	○	○	○
栗石粗朶護岸工	堤防の裏面の保護	植生により安定化			○
柳枝護岸工	堤防の裏面の保護	植生により安定化			○

注1) 工法名称に網掛けしているものは、近代的砂防工法として位置づけられる工法である。

注2) 山腹基礎工の効果は、「耐用年数の評価」という項目で以下のように評価した。

- 永い(○) : 永久構造物として扱えるが施工の良否や場の条件によって耐久性にバラツキが生じることが避けられない、
- 永い(△) : 数年程度(仮設構造物として扱える)

植生により安定化：植生により安定化(耐久性は低いが、萌芽性の素材を使用するため、施工後の植生の成育によって同等の土砂干止効果が期待できる)

砂流出の激しいハゲ山で施工してきた実績があり、より土壤条件の厳しいところ（とくしゃ地など）でその機能を十分に発揮すると考えられる。

4.2.3 植栽工

伝統的砂防工法の一つである苗木植付については今まで従来どおりの工法が用いられているが、実播工については、現在種子や肥料の流失防止のためアスファルト乳剤等を添加したり、広範囲に施工するためにヘリコプターを使用するといった改良が加えられている。

階段工や斜面被覆工が施工されている範囲では、伝統的砂防工法にみられる苗木植え付けによっても十分な緑化成果が得られると考えられる。

4.3 溪流工

4.3.1 堰堤工

コンクリートや鋼製枠を使用した堰堤工（近代的砂防工法）は、様々な条件の箇所に施工できる汎用性を持っており、耐久性も高い。伝統的砂防工法のうち石堰堤工（空石積）や蛇籠堰堤工は、それ自身が破壊されなければ存在し続けることができると考えられることから、適切な場所に設置されれば近代的砂防工法に近い耐久性が得られるものと考えられる。

木堰堤工は、耐用年数経過後、植生の土砂かん止効果のみでその効果を引き継ぐのは困難であるため改築が必要になる。

4.3.2 護岸工

編棚護岸工や杭棚護岸工等の植生の成育を前提とした護岸工（伝統的砂防工法）は、出水初期における侵食抑制等の効果が期待できるが、永続的な効果は期待できない。蛇籠護岸工や空石積護岸工は、それ自身が破壊されなければ存在し続けることができると思われることから、適切な場所に施工されれば近代的砂防工法に近い耐久性が得られるものと考えられる。

5. おわりに

今回は、ある条件の場所に適したいくつかの工

法があることがわかったにとどまった。実際の現場での工法選定では、これに様々な条件（社会的・自然環境的に求められる機能、経費など）が加味され、その結果、いくつかある工法の中で一つが「最適」であると判断されることになる。しかしながら、その判断手法には現在において確立されたもののがなく、判断過程において現場では大変な苦労をしている場合が多い。一方、たとえば医療分野などでは、この判断過程がシステム化され実用されている業務もある。今後砂防においてもこのようなシステムを取り入れるべきであると考え、「現場のための設計支援システム」を構築していくこととしている。これは、加味される条件を可能な限り数値化し、各条件の重視度の組み合わせにより工法の比較検討を容易にするものである。

参考文献

- 1) (社) 全国治水砂防協会：日本砂防史、石崎書店、1981.
- 2) (社) 全国治水砂防協会：砂防ダム大鑑、山海堂、1973.
- 3) 広島県土木部砂防課：福山藩の砂留—その歴史的背景と構造、1997.
- 4) 矢野義男、谷口敏雄、谷勲：砂防施工法、最新土木施工法講座 9、山海堂、1965.
- 5) 諸戸北郎：理水及砂防工学工事編、三浦書店、1917.
- 6) 遠藤隆一：砂防工学、共立出版、1958.
- 7) 赤木正雄：渓流及砂防工学、アルス土木工学大講座・12、アルス、1939.
- 8) 鋼製砂防構造物委員会編：鋼製砂防構造物設計便覧、(財)砂防・地すべり技術センター、1993.
- 9) (社) 砂防学会：砂防学講座第 5 卷-2 土砂災害対策-水系砂防(2)-、山海堂、1993.
- 10) 諸戸北郎：諸戸砂防工学、成美堂書店、1938.
- 11) 飯塚肇：森林防災工学、森北出版、1958.
- 12) (社) 建設コンサルタンツ協会：護岸の力学設計法
- 13) 建設省河川局監修：河川砂防技術基準(案) 設計編 1、山海堂、1997.
- 14) 桥徳一：治水砂防工学、土木技術社、1941.
- 15) 日本住宅公団監修：宅地造成工事仮設防災工法実例集、(財)住宅共済会、1980.
- 16) 伊吹正紀：砂防特論、森北出版、1955.
- 17) 野口陽一ら：砂防工学、朝倉書店、1969.

富田陽子*



建設省土木研究所砂防部
地すべり研究室主任研究員
Yoko TOMITA

小山内信智**



四国地方建設局
四国山地砂防工事事務所
(前 砂防研究室主任研究員)
Nobutomo OSANAI

南 哲行***



同 砂防研究室長
Noriyuki MINAMI