

# 木製治山構造物技術指針（案）

（耐久性を期待する木製治山構造物の設計・施工・維持管理）

平成28年2月

木製治山構造物技術指針検討会

## まえがき

治山構造物には山地災害を防止するという本来の機能の他に、最近では溪流や山地の生態系保全にも寄与することが要請されている。堰堤の材料として土と木を用いても、構造を工夫することにより、魚類の遡上や降下を容易にし、施設下流の侵食を軽減し、耐久性も高めることができる。また、コンクリートの代わりに木材を利用することによりCO<sub>2</sub>の排出を削減できる。更に木材の需要が高まることにより国産材、特に間伐材の利用が増加し、我が国の林業の発展並びに森林の整備を通して森林の多目的機能を増進させることができる。このため、治山構造物においても、コンクリートに代わって、木材を積極的に利用していく必要がある。木製治山構造物は多くの長所を有しているが、実際に現場で、木製治山構造物を用いようとするとも木材は腐朽等による劣化が比較的早く、また、その実態が不明であることから耐久性を評価し難いなどの課題が存在する。

このような背景から、平成 24(2012)年度～平成 26(2014)年度の 3 年間、「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」の研究助成により、研究課題「生態系保全のための土と木のハイブリッド治山構造物の開発」を実施した。この研究課題においては魚が自由に遡上できる落差の小さい階段式木製床固工として「生態系の保全に配慮したハイブリッド治山構造物」を開発しこれを全国的に普及させるため、主に次の 4 項目を実施した。(1) 構造物の強度と侵食耐性を実物大の模型を用いた実験により明らかにする。(2) 河床における木材の耐久性と経年変化を明らかにし、さらに高耐久処理木材を袖部に効果的に用いる手法を開発する。(3) ハイブリッド治山構造物の合理的な設計・施工法および効率的な維持管理手法を開発して技術指針を作成する。(4) ハイブリッド治山構造物の技術を全国的に普及させる。

この研究では「生態系の保全に配慮したハイブリッド治山構造物」の開発を直接的な目的として実施したが、研究内容および研究成果は、木製治山構造物、特に耐久性を期待する木製治山構造物と共通する事項が大部分を占める。このため、研究成果のまとめに当たっては、耐久性を期待する各種の木製治山構造物（例えば、木製治山ダム、木製護岸工、木製土留工）にも適用できる技術指針としてまとめることとし、木製治山構造物の設計・施工・維持管理を合理的かつ効率的に行い、木製治山構造物の機能および性能を長期間にわたり保持して、それらの構造物の目的を十分に果たすことができるようにした。

また、本技術指針では、木材の劣化（腐朽等）を考慮した設計法を提案するとともに、木製構造物の点検および維持管理手法をできるだけ具体的に提示した。さらに木製構造物の耐久性を飛躍的に高める手法としては保存薬剤を圧縮加圧注入処理した木材を用いた木製治山構造物を提示した。

木製治山構造物技術指針検討会

代表 石川 芳治

## 目 次

まえがき	
第1章 総説	1
1. 1 目的	1
1. 2 適用	1
1. 3 本指針が対象とする構造物の範囲	1
1. 4 木材の特徴	1
第2章 調査・計画	2
2. 1 調査項目、調査方法	2
2. 2 構造物の規模及び設置箇所	5
第3章 設計方法	7
3. 1 木製治山構造物の設計の基本的な考え方	7
3. 2 ボルト接合型（杵構造物）の安定計算法	7
3. 3 校倉型（杵構造物）の安定計算法	16
3. 4 落差下流の水叩き部の中詰材の耐侵食性の検討法	17
3. 5 杵構造物の簡易な補強法	17
3. 6 耐用年数（劣化速度）予測法	18
3. 7 劣化を考慮した木製治山構造物の設計法	23
3. 8 耐久性を高めるための木製部材の利用	33
3. 9 維持管理の容易な設計の留意事項	35
3. 10 長寿命化の設計事例（ボルト接合型と校倉型）	36
第4章 施工方法	38
4. 1 施工の基本的な流れと歩掛（ボルト接合型と校倉型）	38
4. 2 施工（安全施工）の留意事項（ボルト接合型と校倉型）	38
4. 3 施工管理	39
第5章 維持管理方法	40
5. 1 点検および維持管理の必要性	40
5. 2 点検、健全度評価および対策の流れ	40
5. 3 点検台帳	43
5. 4 点検の方法	44
5. 5 部位ごとの点検と健全度評価	49
5. 6 健全度評価に応じた対応方法	51
5. 7 調査・点検・維持管理の事例	51
引用文献	52
付録	54
あとがき	57
執筆者一覧	58

## 第1章 総説

### 1. 1 目的

本指針は、木製治山構造物等の設計・施工・維持管理上の方針を定め、間伐材等木材の積極的な利用推進に資することを目的とする。

近年、生態系になじみやすく再生産可能で環境に対する負荷の少ない木材が、コンクリートや鋼材の代わりに森林土木構造物の材料として積極的に用いられるようになってきている。また、森林土木構造物に木材を用いることは森林整備の推進、木材資源の有効利用、二酸化炭素の排出削減、森林の多面的機能の維持・増進などの面から重要である。

本指針の対象とする木製治山構造物とは、溪流に設置する木材と石礫を用いた耐久性を期待する枠構造の木製治山構造物（床固工、護岸工）である。また、山腹斜面に用いる木材と石礫を用いた耐久性を期待する枠構造の木製治山構造物（土留工）も含める。

### 1. 2 適用

森林土木事業における木製治山構造物の調査、計画、設計、施工については、「治山技術基準」（昭和46年3月27日付け46林野治第648号林野庁長官通知）、及び「森林土木木製構造物設計等指針」（平成16年5月14日付け16林整計第41号林野庁森林整備部長通知）（以下、「技術基準等」という。）によるが、これらの技術基準等に示されていない事項については、本指針によるものとする。

本指針は、これまでの治山構造物に関する技術基準等で示されていない新たな事項を中心に記載しているため、木製治山構造物の計画・設計・施工にあたり、本指針に記載されていない事項については、他の技術基準等を参照されたい。

### 1. 3 本指針が対象とする構造物の範囲

本指針における木製治山構造物は、丸太、製材及びこれらを機械加工した木製品および石礫・土砂を主要な材料としている構造物とする。

本指針は、木製治山構造物のうち、主として溪間工を対象としている。また、集成材を用いた構造物は対象外とする。

本指針の安定計算の考え方は土留工についても適用可能である。

### 1. 4 木材の特徴

木製治山構造物の選択、適用に当たっては木材の特徴を十分に考慮して行う。

木製治山構造物の選択、適用に当たっては次に示す木材の特徴（長所、短所）を十分に考慮して実施する。

木材の長所としては、コンクリートや鋼材に比べて製造時のCO<sub>2</sub>の排出量を大幅に削減でき、地球温暖化対策に寄与できる。軽量で施工性が良く、溪流や山地の景観や生態系の保全効果が高い。木材を利用することにより森林の多面的機能の発揮に資することができる。などが挙げられる。

木材の短所としてはコンクリートや鋼材などに比べ、強度や耐久性等のバラツキが非常に大きい。腐朽や蟻害等による劣化の速度が大きい。乾湿の状態によって収縮・膨張を繰り返し、反りなどが生じる。などが挙げられる。

辺材部は腐朽や蟻害等による劣化を受けやすく、心材部は樹種によっても異なるが総じて辺材部に比べれば劣化しにくい。しかし、辺材部と心材部の割合は一定でなく、樹種や、樹幹の上部と下部、直径、林齢等によって異なる。一般に、樹幹の上部・若齢木・小径木では辺材率が高く、樹幹下部・高齢木・大径木では心材率が高い。また、アカマツは辺材率が高く、カラマツは心材率が高い。

小径木を丸太のまま使用するよりは、たいこ挽きや丸棒加工、角材に製材することで辺材率が減少し、相対的に劣化しにくくなる。しかし、防腐・防蟻薬剤の浸潤性は、辺材部に比べて心材部は劣る。特に、カラマツ等の難注入性樹種の場合は、加圧注入法を用いても心材部への薬剤の浸潤は困難である。

## 第2章 調査・計画

### 2.1 調査項目、調査方法

木製治山構造物を設置する際には、構造物の計画、設計等に必要な項目を調査する。

木製治山構造物を設置する際の調査項目及び調査方法は技術基準等による。

#### 【参考】流水が劣化に与える影響

木材劣化の一因である腐朽が進行するためには、酸素の供給が必要となる。既設木製治山ダムの部材の劣化厚（※）を調査した結果によると、放水路上に表面流（越流）があった構造物（常時流水がある構造物）では、流水がかかりやすい本体部は流水がかかりにくい袖部よりも劣化が進みにくいことが明らかになっている（図-1、-2）。すなわち、常時流水がある溪流では、本体部は袖部よりも劣化し難いと言える。このため、現地調査の際には、部材への流水の影響の有無を把握し、設計及び維持管理方針の検討材料にすると良い。

※丸太の中心から片側のみをレジストグラフで測定し、穿孔抵抗（振れ幅）が1mm未満の部分の長さを劣化厚とした。

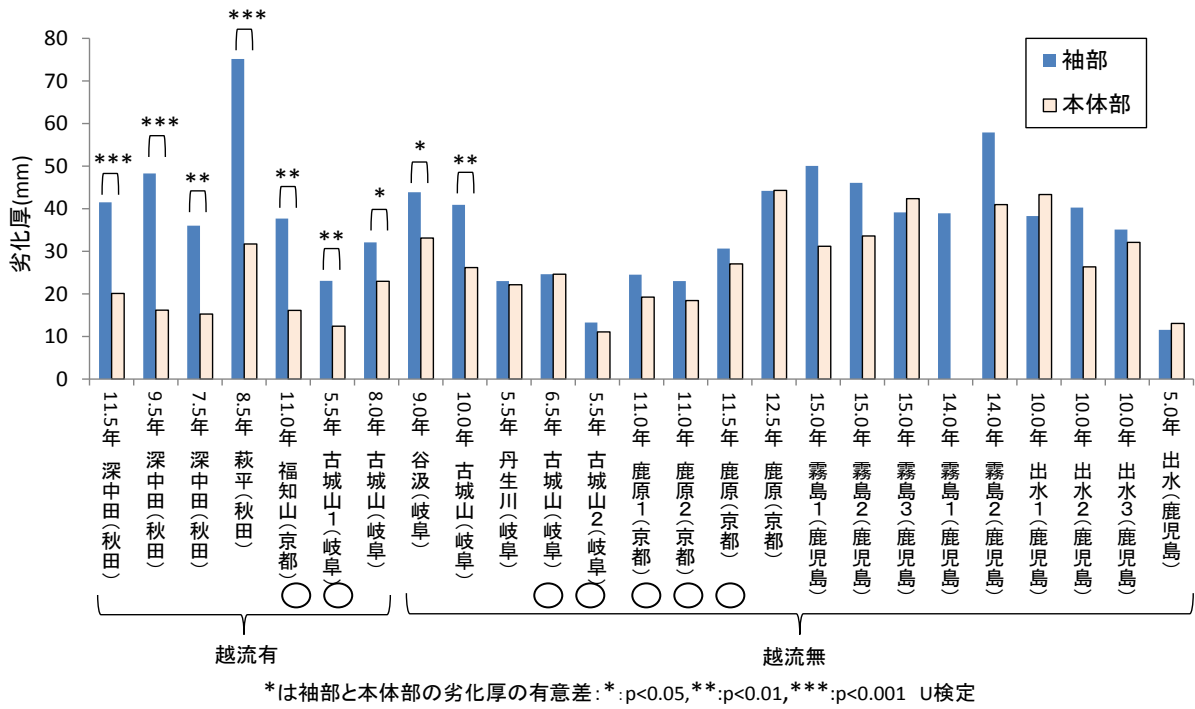


図-1 スギ材を用いた治山ダムの袖部と本体部における劣化厚の比較  
 (箇所名の上の年は施工後の経過年数、箇所名の下の○印は丸棒加工有、  
 ○印が無い箇所は丸棒加工無) (和多田ら, 2015 を一部改変)

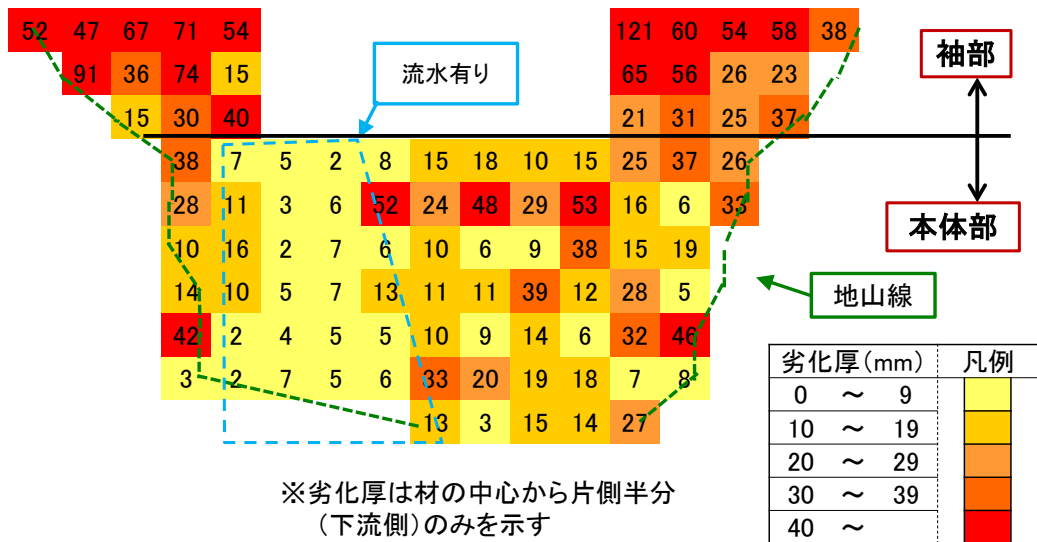


図-2 スギ材を用いた治山ダムの部材劣化の事例 (施工後9.5年経過)

【参考】石礫等の流下による部材の摩耗

構造物を設置する箇所の流域面積が大きい場合や大量の石礫が流下する恐れがある場合には、放水路付近の部材が摩耗する恐れがある（図-3、-4）。特に放水路下流部がラムダ型のような階段式の構造の場合には、階段を流下した土砂は加速して下方の階段上に衝突するため、下方の階段の部材ほど摩耗が大きくなる傾向があるので（図-3）、設計及び維持管理の際に留意が必要である。

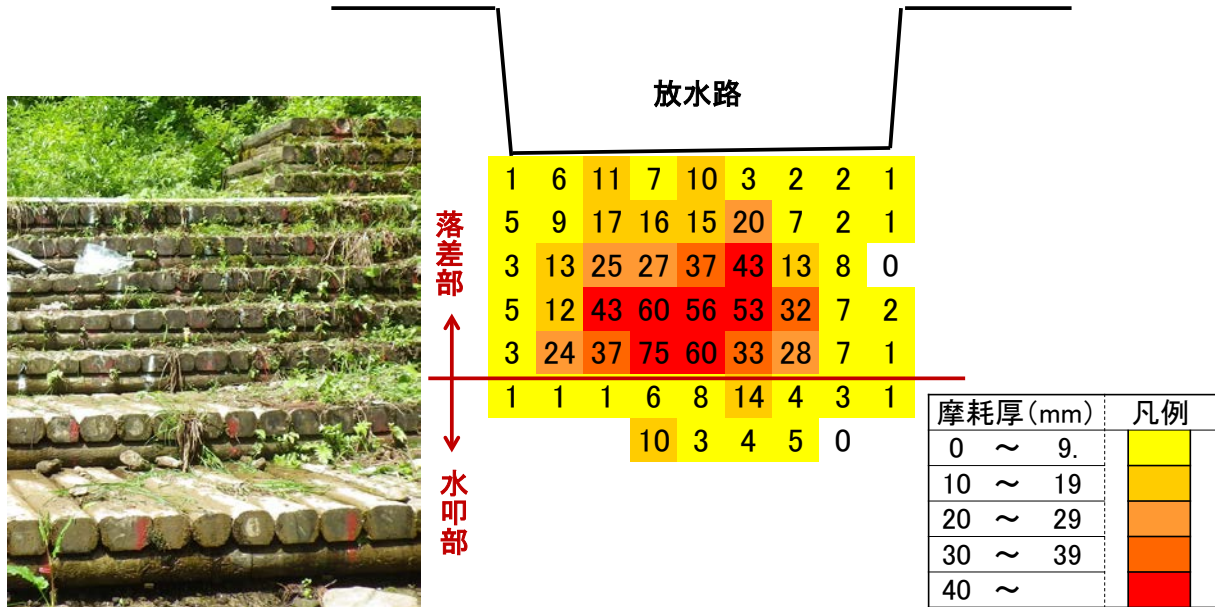


図-3 スギ材を用いた治山ダムの部材の摩耗事例（ラムダ型：施工後9.5年経過）



図-4 カラマツ材を用いた帯工の天端部材の摩耗事例  
（最も摩耗が激しい流心部ではカラマツ丸太の直径（18～20cm）の約1/2が消失）

## 2. 2 構造物の規模及び設置箇所

木製治山構造物の規模及び設置箇所は、木製治山構造物の目的や維持管理に加え、周辺環境による影響を考慮して計画する。

木製治山構造物の規模及び設置箇所は技術基準等を参考に決定する。

木製治山構造物の本体部に常時流水がかかっていると、劣化が遅くなるため、渇水期にもある程度の流量が見込めるか、伏流しやすい土質・粒径かどうか等を現地調査時に確認する。

転石が多い場所は、転石の衝突により木製部材の折損が生じやすく、砂礫の流下が多いと、木製部材の摩耗が速くなり、大雨による出水時等に急激に摩耗が進むことがある。荒廃の著しい溪流に木製治山構造物の導入を計画する場合は慎重な検討を要する。このような場合には放水路の天端には直径の大きな部材を用いるなどの対策が考えられる。

木製治山構造物の下流側を階段形状にした場合、水とともに流下してくる土砂が直接当たる部材は摩耗の進行が早い。構造物下流側を鉛直にした場合は流水や土砂の衝突による部材の摩耗は少なくなるが、落差が大きくなると、構造物下流の河床の洗堀量が大きくなる危険性がある（図-5）。このような場合には下流に水叩工を設置したり、巨礫を置くなどの対策を講じる必要がある。

腐朽菌による劣化は、経年的に進行するケースが多いが、腐朽菌の種類によっては劣化が急激に進む場合もある。また、蟻害・虫害はひとたび部材に侵入すると、腐朽よりも急激に劣化が進行する危険性がある。そのため、木製治山構造物設置予定箇所周辺の既存木製構造物や、倒木等の状態を確認し、腐朽菌の種類や蟻害の有無を把握する必要がある。

木材の腐朽による劣化速度を大幅に減じて耐久性を向上させるためには、必要に応じて、木材保存剤を注入した木材を用いる。

### 【参考】 転石が多い溪流における木製治山ダムの袖部損壊事例

転石が多く常時流水がある溪流に施工され24年が経過した木製治山ダム（カラマツ材）は、本体部の部材の劣化はあまり進んでおらず、構造の原形を保っていたが、袖部の部材については劣化に伴いその一部が流出し、中詰め材が崩れ出していた（図-6）。この原因としては、劣化が進行した放水路付近の部材が転石の衝突により破壊され、洪水時に流出したことが考えられる。このように、転石の流下が多く見込まれる溪流において、袖部の木材が劣化した場合には、適切な時期に部材の交換や補修を行う必要がある。





図-5 落差が大きく、基礎部が洗掘により露出・損壊した構造物の事例



図-6 部材の劣化に伴い袖部が損壊した木製治山ダム  
(カラマツ材を使用：施工後 24 年経過)

## 第3章 設計方法

### 3.1 木製治山構造物の設計の基本的な考え方

木製治山構造物を設置する場合は、現地に適した設計を行う。

木製治山構造物は、地域の木材生産の状況に合致した、調達し易い樹種、寸法を用いて設計する。また目的に合った構造、耐力、耐久性、品質、規格、価格のものを選定する。

腐朽や摩耗など劣化しやすい部位は、特に維持管理しやすい構造とする。<sup>\*注)</sup>

木製治山ダムで落差が小さい場合には下流に洗掘防止施設を設けることで、基礎の根入れは0.5mまで低減できるものとする。

階段状の木製治山構造物の安定計算は、最上流段～最下流段を含めた全体について行うとともに各段の構造物について行うものとする。すなわち、構造物全体の安定と部分ごとの安定を検討する。

魚類の遡上・降下に配慮する場合、落差は30cm程度とし、対象とする魚種によっては更に落差を小さくする。

本項と併せて、3.8～3.10も参照されたい。

\*注) 木製治山ダムの本体部に比べ、袖部は腐朽や蟻害による劣化を受けやすい。そのため、放水路面より上部を部材交換しやすい構造にすること、丸棒加工材等の心材率が高い部材や、木材保存剤を注入した部材を使用することも有効である。また、本体部についても高耐久性が必要な場合は、丸棒加工材や木材保存剤注入部材の使用を検討する。

なお、上下の木製部材をボルトで固定する構造（ボルト接合型）の場合、無処理の丸太だと早期に辺材部が腐朽し、緩みが生じる危険性があるが、たいこ挽き部材は、上下面の辺材部がカットされている分、腐朽による緩みの発生を遅らせる効果が期待できる。但し、カラマツ中径木の場合はたいこ挽きの効果が顕著だが、スギの場合は同じ径級のカラマツに比べると心材率が低いので、より大きな径級の材を丸棒加工した上でたいこ挽きの方が良い。また、校倉型は、上下部材の噛み合わせを維持する必要性から、仮設構造物等を除き、木材保存材の注入等の処理は必須と考えるべきである。

### 3.2 ボルト接合型（枠構造物）の安定計算法

ボルトを用いて木製部材を接合する枠構造の木製治山構造物（ボルト接合型の木製治山構造物）の安定計算においては想定する外力に対して木製治山構造物および部材が安全であるように設計する。

ボルト接合型の枠構造の木製治山ダム工および木製土留工の安定計算法の事例を次に示す。

## I 木製治山ダム工の安定計算事例

### 1. 設計条件

#### ① 断面

断面形状：重積タイプ（枠：木材、中詰：割石）

高さ：H=2.55m

$$H = D (2n+1)$$

ただし、n:横木の段数（8段、縦木の段数：n+1）

D: 横木・縦木平均径（0.15m）

天端厚：B=1.8m(=縦木の有効長さ：L)

上流法・下流法：直

堤体単位体積重量： $\gamma_d=16.5\text{kN/m}^3$  ⑤を参照

中詰石の内部摩擦角： $\phi_s=40^\circ$ （割石）

越流水深： $h'=0.50\text{m}$

#### ② 荷重条件

型式：5型相当（治山ダム・土留工断面表参照）

土圧：ランキン式

越流水の単位体積重量： $\gamma'=11.8\text{kN/m}^3$

堆砂の単位体積重量： $\gamma_s=18\text{kN/m}^3$

堆砂の内部摩擦角： $\phi=30^\circ$

土圧係数： $c=0.333$

#### ③ 地盤条件

基礎地盤の摩擦係数： $f=0.7$

基礎地盤の許容支持力： $Q=300\text{kN/m}^3$

#### ④ 部材条件（表-1 参照）

材質：スギ

許容曲げ応力度  $5.7 \times 10^3\text{kN/m}^2$

許容せん断応力度  $0.5 \times 10^3\text{kN/m}^2$

許容引張応力度  $3.5 \times 10^3\text{kN/m}^2$

横木・縦木平均径： $D=0.15\text{m}$

横木・縦木の断面積： $A = \pi D^2/4 = 1.77 \times 10^{-2}\text{m}^2$

横木・縦木の断面係数： $Z = \pi D^3/32 = 3.31 \times 10^{-4}\text{m}^3$

#### ⑤ 堤体単位体積重量の算出

##### a) 間隔

標準的な縦木間隔  $L_S=0.9\text{m}$

最上段の縦木間隔  $L_U=0.15\text{m}$ (丸太間 0.0m)

最下段の縦木間隔  $L_L=0.30\text{m}$ (丸太間 0.15m)

表-1 木材の許容応力度

樹種		許容応力度 (単位 N/mm <sup>2</sup> )				
		圧縮	引張	曲げ	せん断	めり込み
針葉樹	アカマツ、クロマツ	5.7	4.5	7.2	0.6	2.3
	ヒノキ、カラマツ、ヒバ	5.3	4.2	6.9	0.5	2.0
	ツガ	4.9	3.8	6.5	0.5	1.5
	スギ、モミ、エゾマツ、トマツ	4.5	3.5	5.7	0.5	1.5
広葉樹	カシ類	6.9	6.2	9.9	1.1	3.1
	ク、ブナ、ケヤキ、ナラ類	5.4	4.6	7.6	0.8	2.8

注) 建築基準法施行令第 89 条および建設省告示 H12 第 1452 号、国土交通省告示 H13 第 1024 号による常時湿潤状態における長期荷重に対する許容応力度 (無等級材) である。

注) 圧縮・引張・曲げは、木材の繊維方向に応力が働く場合の値である。

注) せん断は、木材の繊維方向に直角に応力が働く場合の値である。

注) めり込みは、木材の繊維方向に直角に加圧する場合の値である。

b) 単位幅当たりの木材の体積

表-2 単位幅当たりの木材の体積

区分	段数 (段)	延長さ (m)	体積(m <sup>3</sup> )	備考
縦木	n + 1 = 9	1.8 × {(n-1)/0.90 + 1/0.15 + 1/0.30} = 32.0	0.566	円柱として体積計算
横木	n = 8	1.0 × 8 = 8.0	0.142	同上
計			0.708	

木材の体積比 : R = 0.708 / BH = 0.154

c) 堤体単位体積重量

$$\gamma_d = \gamma_w \times R + \gamma_s' \times (1 - R) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ただし  $\gamma_d$  : 平均単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  : 木材の単位体積重量 (8kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_s'$  : 中詰石の単位体積重量 (18kN/m<sup>3</sup>)

$$\gamma_d = 16.5 \text{ kN/m}^3$$

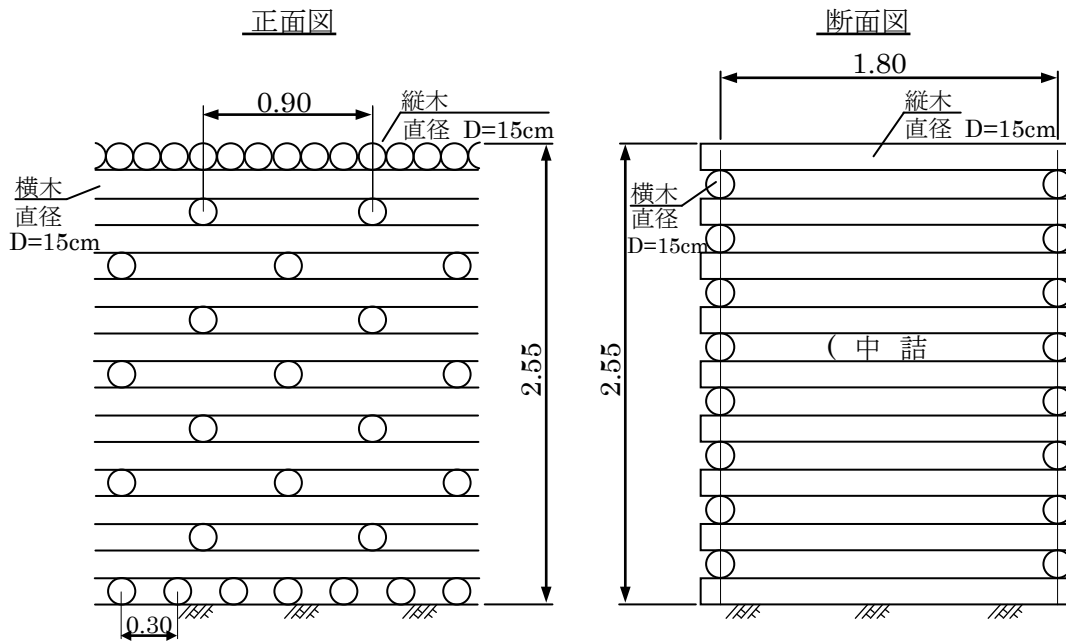


図-7 木製治山ダム工の標準構造図

## 2. 重力式構造体の構造計算

### ①荷重とモーメント

表-3 作用する荷重とモーメント

区分	計算式	荷重 (k N)	計算式	アーム (m)	モーメント (k N・m)
D1	$H \times B \times \gamma_d$	75.74	$1/2 \times B$	0.90	68.16
W1	$h' \times B \times \gamma'$	10.62	$1/2 \times B$	0.90	9.56
	鉛直分力 $\Sigma V$	86.36	抵抗モーメント $M_V$		77.72
E1	$h' \times \gamma' / \gamma_s \times H \times \gamma_s \times c$	5.01	$1/2 \times H$	1.28	6.39
E2	$H \times H \times 1/2 \times \gamma_s \times c$	19.49	$1/3 \times H$	0.85	16.56
	水平分力 $\Sigma H$	24.50	転倒モーメント $M_H$		22.95

### ②合力の作用位置・偏心距離

$$\text{合力の作用位置} : d = (M_V - M_H) / \Sigma V = 0.63\text{m} \quad \dots (2)$$

$$\text{偏心距離} : e = B/2 - d = 0.27\text{m} < B/6 = 0.30\text{m} \quad \dots (3)$$

合力の作用位置は、ミドルサード内に入っている。

### ③内部応力・地盤反力

$$\text{内部応力} : \sigma = \Sigma V / B (1 \pm 6e / B) \quad \dots (4)$$

$$\sigma 1 = 91.16 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma 2 = 4.80 \text{ kN/m}^2$$

地盤反力 : P

$$P 1 = 91.16 \text{ kN/m}^2$$

$$P 2 = 4.80 \text{ kN/m}^2$$

### ④滑動係数

滑動係数： $\Sigma H/\Sigma V=0.28$

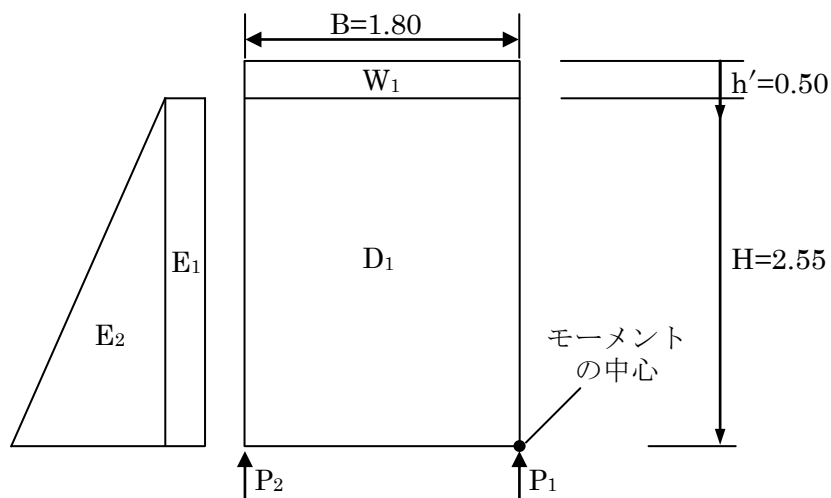


図-8 木製治山ダムの荷重重分布図

### 3. セル式構造体（ボルト接合型）の構造計算

中詰石のせん断抵抗（変形を許す場合）を求める式（北島,1962）

$$Mr = 1/6 \cdot \gamma_s \cdot (B/H)^2 \cdot \{3 - (B/H) \cos \phi\} \cdot \sin \phi \cdot H^3 \quad \dots \dots (5)$$

ただし  $Mr$ ：中詰石のせん断抵抗モーメント(kN・m)

$\gamma_s$ ：中詰石の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$B$ ：壁体幅（天端厚、m）

$H$ ：高さ（m）

$\phi$ ：中詰石のせん断抵抗角（度）

$$B/H=0.71 \text{ m}$$

$$Mr=39.59 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### 4. 構造物全体の安定性の検討

#### ①重力式構造物としての安定性の検討

転倒に対する安定性  $M_V=77.72 > M_H=22.95$  安定

滑動に対する安定性  $f=0.7 > \Sigma H / \Sigma V=0.28$  安定

地盤支持力に対する安定性  $P_1 = 91.16 < Q = 300$  安定

#### ②セル式構造物としての安定性の検討

中詰石のせん断抵抗に対する安定性 安全率： $Mr/M_H=1.7 > 1.2$  安定

#### ③総合評価

以上の結果により、構造物全体の安定性は確認された。

## 5. 部材の構造計算と安定性の検討

下流側の最下段の部材（横木・縦木）について、検討を実施する。

### ①土圧

天端から深さ  $y$  m の土圧(P)は、下記の式で求められる。

$$p = \gamma_s y c + \gamma' h' c \quad \dots (6)$$

ただし P : 土圧(kN)

$y$  : 天端から土圧を求める深さ(m)

$\gamma_s$  : 堆砂の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma'$  : 越流水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$h$  : 越流水深 (m)

$c$  : 土圧係数(0.333)

### ②横木に関する検討

最下段の横木の土圧分担高さ :  $w_a = 2D = 0.30$

最下段の横木の平均深さ :  $y_a = H - 1.5D = 2.33 \quad \dots (7)$

最下段の横木に作用する土圧 (Pa)

$$P_a = w_a p_a = 2D(\gamma_s y_a c + \gamma' h' c) \quad (\text{等分布荷重}) \quad \dots (8)$$

$$= 4.78 \text{ kN/m}$$

横木に作用する最大曲げモーメント(M<sub>a</sub>)及び最大せん断力 (S<sub>a</sub>)

$$M_a = P_a(L_S)^2/8 \quad (\text{単純梁の場合}) \quad \dots (9)$$

$$= 0.48 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S_a = P_a L_S/2 \quad (\text{単純梁の場合}) \quad \dots (10)$$

$$= 2.15 \text{ kN}$$

ただし、標準的な縦木間隔 :  $L_S = 0.90\text{m}$

最大曲げ応力に対する検討  $\sigma_a = M_a/Z = 1.45 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 < 5.7 \times 10^3$  安定  $\dots (11)$

最大せん断応力に対する検討  $\tau_a = S_a/A = 121 < 0.5 \times 10^3$  安定  $\dots (12)$

### ③縦木に関する検討

最下段の縦木（接続する横木を含む）の土圧分担高さ :  $w_b = 2D = 0.30$

最下段の縦木の平均深さ :  $y_b = H - D = 2.40 \quad \dots (13)$

最下段の縦木に作用する土圧 (P<sub>b</sub>)

$$P_b = w_b p_b = 2D(\gamma_s y_b c + \gamma' h' c) \quad (\text{等分布荷重}) \quad \dots (14)$$

$$= 4.91 \text{ kN/m}$$

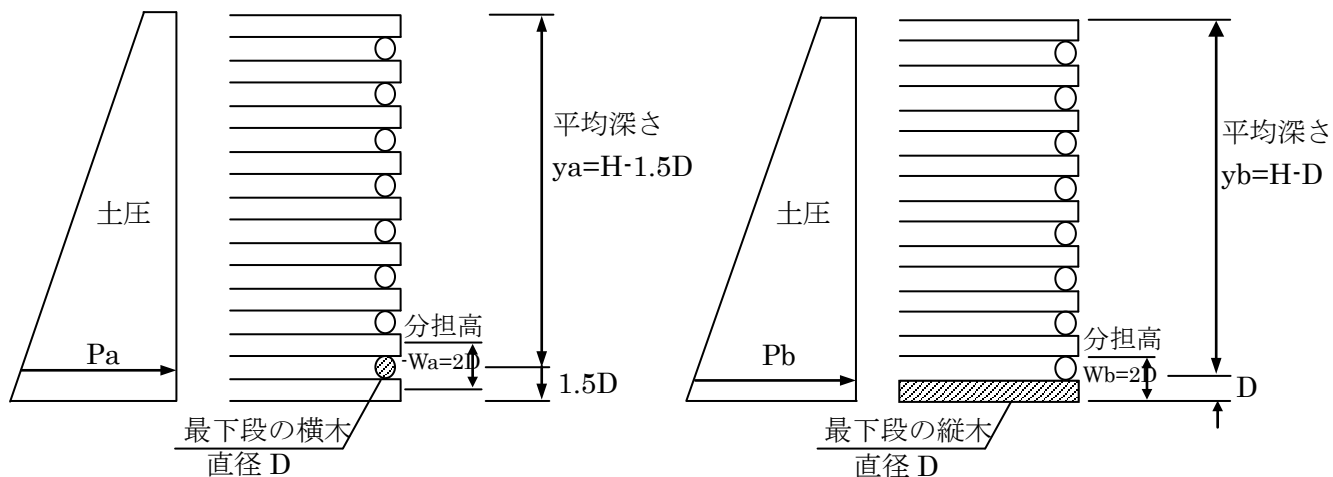
最下段の縦木 1 本あたりに作用する引張応力 :  $\sigma_b = P_b \times L_S / A = 250 \text{ kN/m}^2$

(ボルト穴等は無視した)

引張応力に対する検討  $\sigma_b = 250 \text{ kN/m}^2 < 3.5 \times 10^3$  安定

### ④総合評価

以上の結果により、部材の安定性は確認された。



図—9 部材に作用する土圧

## II 木製擁壁（土留）工の安定計算事例

### 1. 設計条件

#### ①断面

木枠の天端、底面は傾いているが、安定計算上、平行四辺形の断面と仮定する。

断面形状：重積タイプ（枠：木材、中詰：礫質土）

高さ： $H=1.44\text{m}$

天端厚： $B=0.84\text{m}$

表法： $1:n=1:0.3$

裏法： $1:m=1:0.3$

斜長： $SL=1.50\text{m}$

$$SL = D (2n-1)$$

ただし、 $n$ :横木の段数（8段、縦木の段数： $n-1$ ）

$D$ : 横木・縦木平均径（ $0.10\text{m}$ ）

有効躯体厚： $b=0.80\text{m}$

堤体単位体積重量： $\gamma_d=17.1\text{kN/m}^3$  ⑤を参照

#### ③ 荷重条件

型式：地山接近タイプ・切土法止擁壁（森林土木構造物標準設計擁壁 I 参照）

土圧：試行くさび法

背面土の単位体積重量： $\gamma_s=18\text{kN/m}^3$

背面土の内部摩擦角： $\phi=35^\circ$

壁面摩擦角： $\delta=\phi=35^\circ$

（背面土と土体の壁面摩擦角であり、内部摩擦角と同等と仮定した）

#### ③地盤条件

基礎地盤の（滑動）摩擦係数： $f=0.7$



基礎地盤の許容支持力：Q=200 kN/m<sup>3</sup>

④部材条件

材質：スギ 横木・縦木平均径：D=0.10m

⑤堤体単位体積重量の算出

a)間隔

標準的な縦木間隔 L<sub>S</sub>=1.0m

b)単位幅当たりの木材の体積

表-4 単位幅当たりの木材の体積

区分	段数(段)	延長さ(m)	体積(m <sup>3</sup> )	備考
縦木	n-1=7	0.8×(n-1)/1.0=5.6	0.044	円柱として体積計算
横木	n=8	1.0×8=8.0	0.063	同上
計			0.107	

木材の体積比：R=0.107/BH=0.089

c)堤体単位体積重量

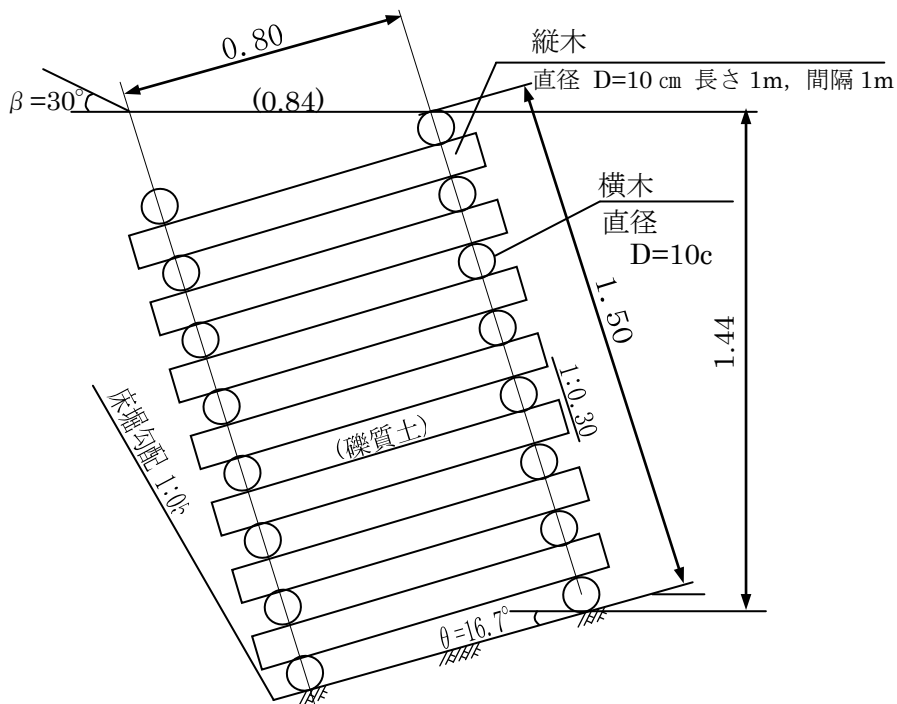
$$\gamma_d = \gamma_w \times R + \gamma_s' \times (1-R) \quad \dots \dots (15)$$

ただし  $\gamma_d$ ：平均単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$ ：木材の単位体積重量 (8kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_s'$ ：中詰土の単位体積重量 (18kN/m<sup>3</sup>)

$$\gamma_d = 17.1 \text{ kN/m}^3$$



図—10 木製擁壁（土留）工の標準構造図

## 2. 構造計算

土圧に対して枠が十分な剛性を有していると判断されるので、重力式構造体としての安定性の検討を行うものとする。

### ① 土圧計算

森林土木構造物標準設計擁壁 I (P27-28, 131-133) に準じて、試行くさび法(Ⅱ)により土圧を計算した結果は次のとおりである。

計算条件：高さ 1.44m, 余堀相当幅 0.16m, 掘削勾配 1:0.6, 擁壁背面勾配 1:-0.3

背面土の内部摩擦角  $35^\circ$ , 壁面摩擦角  $35^\circ$ , 背面土の単位重量  $18\text{kN/m}^3$

加載荷重なし

土圧：E=6.706kN 作用高：Y=H/3=0.48m

$EH=E\cos(\delta+\alpha)=6.37\text{kN}$

$EV=E\sin(\delta+\alpha)=2.11\text{kN}$

ただし E：試行くさび法で求めた土圧(kN)

EH：水平土圧(kN)

EV：垂直土圧(kN)

$\delta$ ：壁面摩擦角( $35^\circ$ )

$\alpha$ ：擁壁背面と鉛直面との角度( $-16.7^\circ$ )

### ② 荷重とモーメント

表-5 作用する荷重とモーメント

区分	計算式	荷重(kN)	計算式	アーム(m)	モーメント(kN・m)
①	$1/2 \times H \times nH \times \gamma_d$	5.32	$nH \times 2/3$	0.29	1.53
②	$H \times B \times \gamma_d$	20.68	$nH + B/2$	0.85	17.62
③	$1/2 \times H \times nH \times \gamma_d$	-5.32	$nH + B - nH/3$	1.13	-6.00
小計		20.68			13.16
EV		2.11	$B + nH$	1.27	2.68
計	鉛直分力 $\Sigma V$	22.79	抵抗モーメント $M_V$		15.84
EH		<b>6.37</b>	$H/3$	<b>0.48</b>	3.06
計	水平分力 $\Sigma H$	6.37	転倒モーメント $M_H$		3.06

### ③ 合力の作用位置・偏心距離

合力の作用位置： $d = (M_V - M_H) / \Sigma V = 0.56\text{m} = 2/3B = 0.56$  . . . . (16)

偏心距離： $e = B/2 - d = -0.14\text{m}$  . . . . (17)

合力の作用位置は、ミドルサード内に入っている。

### ④ 内部応力・地盤反力

内部応力： $\sigma = \Sigma V / B (1 \pm 6e / B)$  . . . . (18)

$\sigma_1 = 0.00 \text{ kN/m}^2$

$\sigma_2 = 54.26 \text{ kN/m}^2$

地盤反力：P

$P_1 = 0.00 \text{ kN/m}^2$

$P_2 = 54.26 \text{ kN/m}^2$

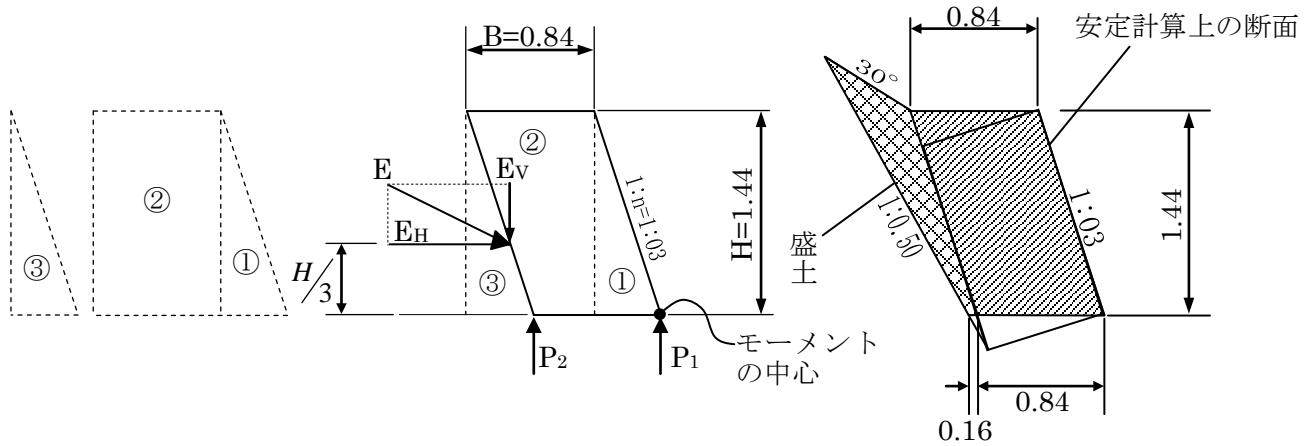


図-11 木製擁壁（土留）工の荷重重分布図

### 3. 安定性の検討

転倒に対する安定性  $Ft = M_V / M_H = 5.2 > 1.5$  安定 . . . . (19)

滑動に対する安定性  $FS = f \Sigma V / \Sigma H = 2.5 > 1.5$  安定 . . . . (20)

地盤支持力に対する安定性  $P_1 = 54.26 < Q = 200$  安定

総合評価

以上の結果により、構造物の安定性は確認された。

### 3. 3 校倉型（枠構造）の安定計算法

木製部材に切欠を設けて部材を接合する枠構造の木製治山構造物（校倉型の木製治山構造物）の安定計算においては想定する外力に対して木製治山構造物および部材が安全であるように設計する。

校倉型の（枠構造）木製治山構造物の中詰材の水平方向のせん断抵抗力は、ボルト接合型の（枠構造）木製治山構造物とは異なり、一面せん断による抵抗力を考慮した式 (21) を用いる。

$$\text{最大せん断抵抗力} = 1.0 \times (\text{中詰材の重量}) \quad \dots (21)$$

その他の項目の安定計算法については、3. 2 ボルト接合型（枠構造）の安定計算法を用いる。

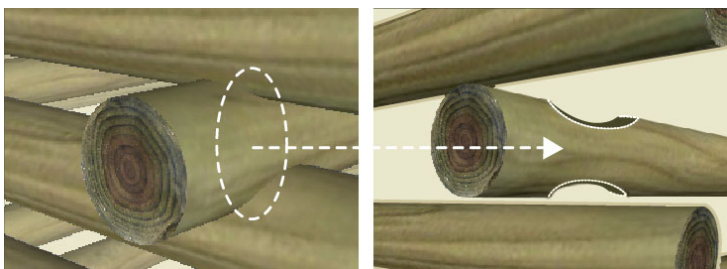


図-12 校倉型の切欠による部材の接合

### 3. 4 落差下流の水叩き部の中詰材の耐侵食性の検討法

溪流に設置する落差を有する木製治山構造物の落差下流の水叩き部は洪水時の洗掘に対して安全であるように設計する。

溪流に設置する落差を有する木製治山構造物の設計に当たっては、落差下流の河床が洪水時に過度に洗掘され、木製治山構造物の安定が損なわれないように設計する必要がある。

落差下流の水叩き部に礫を設置して過度の洗掘を防止するためには、中詰材として洪水時でも洗掘されないような礫径の石を設置する必要がある。

落差が 0.3~0.45m の場合の落差下流の水叩き部において洗掘に対して安全な中詰材の礫径については式(22) (岡田ら, 2015) および図-13 により求めることができる。

$$D=2.0 \times V^2 / (1.5^2 g) \quad \dots \dots \dots (22)$$

ここで、 $D$ : 中詰材の平均粒径、 $V$ : 落下直前の平均流速、 $g$ : 重力加速度である。

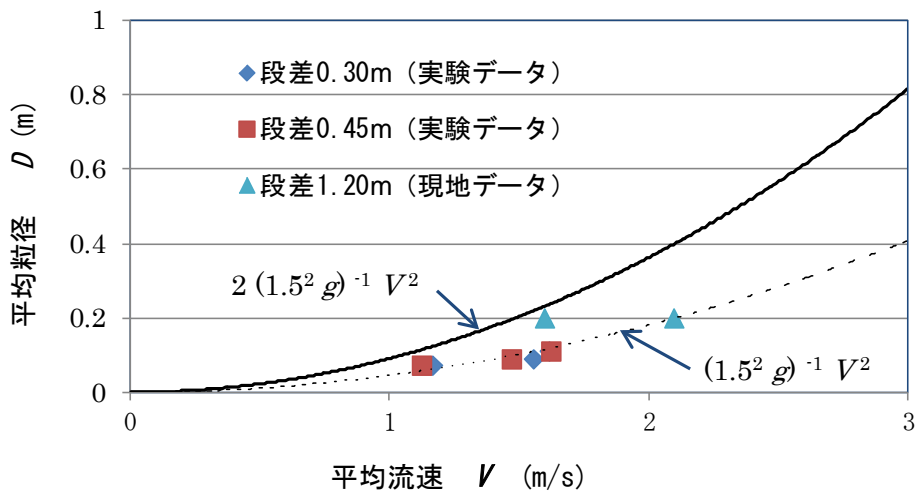


図-13 平均流速  $V$  と洗掘に対して安全な中詰石礫の平均粒径  $D$  の関係 (大型水路実験データの外に、京都府 (舞鶴市および与謝野町) の現地データがプロットしてある)

### 3. 5 枠構造物の簡易な補強法

木製治山構造物の耐久性を向上させたり、超過外力に対して安全であるようにするために、簡易な補強法を用いることができる。

枠構造の木製治山構造物の簡易な補強方法として図-14 に示すように中詰材の内部に突起付角材を挿入する手法がある。

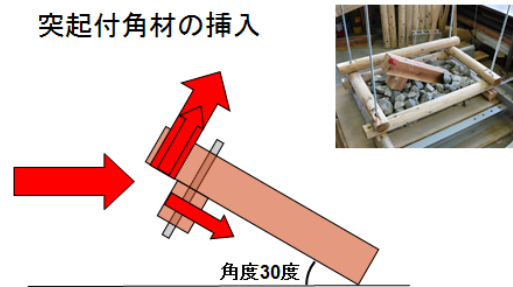


図-14 中詰材への突起付角材の挿入による補強法（高さ 1.0m、幅 1.0m、の構造物に長さ 0.5m ごとに 1 本設置すると中詰材のせん断抵抗力は約 7 割増加する。）  
 (Dang ら, 2014)

### 3. 6 耐用年数（劣化速度）予測法

木製治山構造物の設計及び維持管理を適切に実施するために必要な構造物の耐用年数は、部材の劣化速度及び現地の環境条件を基に劣化厚を推定し、得られた劣化厚から健全部の直径および健全部の強度を求め、そこから構造物の安全に必要な強度を満足する年数を予測することで得られる。

木製治山構造物の耐用年数は、構造物の部材として使用する木材に必要な強度と経年劣化にともない低下する木材の強度の関係などから予測することができる。なお、木材の経年劣化は流水の影響を強く受けるため（第 2 章参照）、木製治山ダムのように溪流に設置する木製治山構造物の場合には経年劣化の予測は本体部と袖部ごとに検討するのが望ましい。

#### 【参考】

##### (1) カラマツ材の劣化予測

設置から 5~28 年経過した長野県内のカラマツ製治山ダムの木製部材の劣化厚をレジストグラフにより調査した結果、丸太及びたいこ挽き材の劣化厚は、辺材厚のバラツキの影響が大きく、経過年数や環境因子との明確な関係を求めることは困難であった（図-15）。

しかし、丸棒加工材や角材など、辺材厚が薄くなった（心材部が大部分を占める）部材では、劣化速度が顕著に遅く、劣化速度のバラツキも少なかった（図-15、山内ら,2015）。また、標高等の環境因子の影響は少なく、劣化厚と経過年数は単回帰式で比較的高い相関が得られた。このため、流水の影響を受ける本体部と、影響を受けにくい袖部に分けるとそれぞれの劣化厚は経過年数を用いて式(23)と式(24)により求めることができる（山内ら,2015）。

#### 【劣化厚の推定式（カラマツ丸棒加工材・角材）】

※設置経過年数：5~15 年程度に適用し、劣化厚は丸太の中心から片側のみを算出

$$\text{本体部の劣化厚 (mm)} = 0.97X - 2.79 \quad \dots \dots (23)$$

X：経過年数（年）

$$\text{袖 部の劣化厚 (mm)} = 1.74X - 7.69 \quad \dots \dots (24)$$

X：経過年数（年）

(2) スギ材の劣化予測

設置から 5～15 年程度経過した木製治山ダム（秋田県、岐阜県、京都府、鹿児島県）の部材の劣化厚をレジストグラフにより調査し、劣化厚と環境要因との関係について重回帰分析を行った。その結果、流水の影響を受けやすい本体部では、「経過年数」と「乾燥指数 (AI)」が部材の劣化進行に大きく関与していることが明らかとなった。また、流水の影響を受けにくい袖部では、「経過年数」と「年降水量」が部材の劣化進行に大きく関与していた (図-15)。このため、流水の影響を受ける本体部と、影響を受けにくい袖部に分けるとそれぞれの劣化厚は経過年数と乾燥指数、経過年数と年降水量を用いて式(25)と式(26)により求めることができる。

【劣化厚の推定式（スギ材）】 ※設置経過年数：5～15 年に適用

※劣化厚は丸太の中心から片側のみを算出

$$\text{本体部の劣化厚 (mm)} = 2.618X_1 - 0.389X_2 + 36.555 \quad \dots \dots (25)$$

X<sub>1</sub>：経過年数（年）、X<sub>2</sub>：乾燥指数 (AI)

$$\text{袖 部の劣化厚 (mm)} = 3.714X_1 - 0.026X_2 + 56.638 \quad \dots \dots (26)$$

X<sub>1</sub>：経過年数（年）、X<sub>2</sub>：年降水量 (mm)

なお、乾燥指数 (AI) は式(27)により求める。

$$AI = \frac{P}{T+10} \quad \dots \dots (27)$$

ここで、P：年降水量(mm)、 T：(1～12 月までの月平均気温が正の月の合計) ÷ 12 (°C) である。

【参考】圧縮加圧注入木材の利用

木製治山構造物の耐久性を向上させる方法のひとつとして、木材保存処理により防腐防蟻効力を付与させる方法がある。木材保存処理の種類として、塗布処理、浸漬処理、加圧注入処理等が挙げられるが、長期的な耐久性を付与させる手法としては加圧注入処理が適当である。これは、木材を注薬缶の中に投入し、圧力をかけて薬剤を処理することにより、木材表面から 1cm 程度薬剤を浸透させることができる技術である。JIS K 1570 (木材防腐剤) に記載される銅・アルキルアンモニウム化合物系木材防腐剤であるマイトレック ACQ を用いて、製材の JAS における保存処理性能区分 K4 相当の処理を実施することにより、屋外で 24 年経過した時点でも木材は健全であると評価されている (久保ら, 2012)。このことは、適正な加圧注入処理を実施すれば、木材は屋外でも十分な耐久性を持つことが可能であることを示している。

一方、木材保存剤の加圧注入処理を実施した木製治山構造物であっても、土壌表面付近への設

置あるいは埋設等のような厳しい環境下での使用状況において、早期に腐朽あるいはシロアリ等による生物的劣化を受ける場合がある。その原因として、薬剤の浸潤が不十分であること、すなわち、注入前の乾燥不足などにより、辺材部に当たる外周部に薬剤の未浸潤が生じて、その部分から生物的劣化を受け、比較的短期間の内に劣化が進むと考えられる。したがって、木材の耐久性を向上させるためには、均一な処理層を形成できる保存処理技術が必要となる。

そこで、木材の高耐久性保存処理を目的として圧縮処理技術が開発された。この技術は、丸棒加工材に対する加圧式注入処理の前処理として圧縮処理を実施し、薬液の浸透通路である木材の細胞の壁孔部分を破壊・変形させることにより、木材への薬剤浸透性を飛躍的に向上させるものである（西岡ら，2000）。現在、日本全国で圧縮処理および木材保存剤の加圧式注入処理(以下、圧縮加圧注入処理という)を実施した丸棒加工材を使用した木製治山構造物の設置が進んでいる。

設置から5～15年経過した圧縮加圧注入処理材（高耐久性処理材）を用いた校倉型構造物（床固工、護岸工、土留工）の経過年数と劣化厚との関係を図-15に示す。なお、図-15において圧縮加圧注入処理材（高耐久性処理材）の劣化厚が経過年数とともに減少している理由としては、5～9年経過した構造物には寒冷地に設置されたものが多く、凍結融解の影響を受けているためと推測される（吉田ら,2015）。

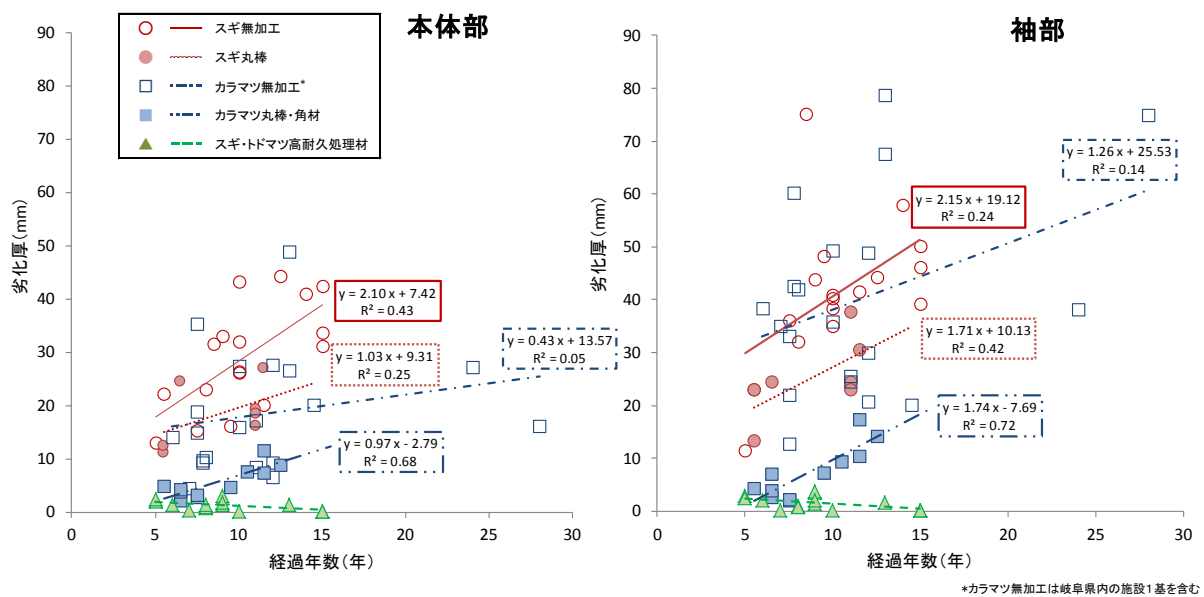


図-15 設置から5～15年経過した木製治山構造物（主として床固工）の本体部と袖部の部材の種類別の経過年数と劣化厚の全国実態調査結果（山内ら，2015；吉田ら，2015）

【参考】木製治山構造物の部材の耐用年数の予測例（横木の曲げモーメント）

横木の曲げモーメントを指標とした木製部材の耐用年数の予測例を次に示す。なお、土圧が最大となるのは最下段付近であるが、最下段の横木は多くの基礎材（縦材）によって全体が支

えられているため、下から2段目の横木に最大曲げモーメントが発生することとし、これを対象に計算を行う(図-16)。

(1) 限界となる材の太さの算出

①計算条件

構造物高さ： $H=0.68\text{m}$

許容曲げ応力度(スギ)： $5.7 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$

堆砂の単位体積重量： $\gamma_s=17.7 \text{ kN/m}^3$

越流水の単位体積重量： $\gamma'=11.8 \text{ kN/m}^3$

越流水深： $h'=1.38 \text{ m}$

土圧係数： $c=0.333$

設置時の横木の平均高： $D=0.17 \text{ m}$

横木分担高さ： $W_a=0.34 \text{ m}=2D$

横木深さ： $y=0.255 \text{ m}$

横木を支える縦木間隔： $L_a=1.00 \text{ m}$

横木に作用する土圧： $P_a=2D(\gamma_s \cdot y \cdot c + \gamma' \cdot h' \cdot c) = 2.36 \text{ kN/m} \dots (28)$

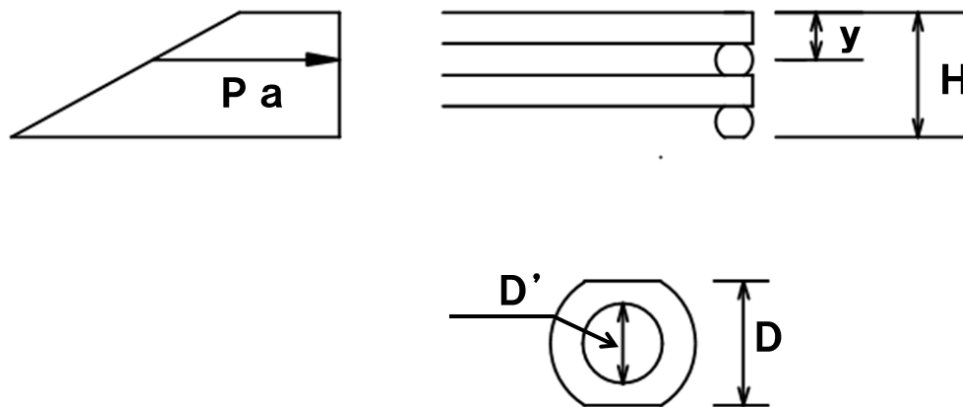


図-16 最下段及びその上の横木に作用する力

②横木の曲げモーメントの算出

【劣化後の横木の平均径： $D'$ が  $0.08\text{m}$  の場合】

横木に作用する最大曲げモーメント： $M_a = P_a (L_a)^2 / 8 = 0.295 \text{ kN} \cdot \text{m}$

劣化後の横木の断面係数： $Z = \pi D'^3 / 32 = 0.00005 \text{ m}^3$

曲げ応力に対する検討： $\sigma_a = 5900 \text{ kN/m}^2 = M_a / Z < 5700 \text{ kN/m}^2 \text{ NG}$



【劣化後の横木の平均径：D'が 0.09 m の場合】

横木に作用する最大曲げモーメント： $Ma = Pa (La)^{2/8} = 0.295 \text{ kN} \cdot \text{m}$

劣化後の横木の断面係数： $Z = \pi D'^3/32 = 0.00007 \text{ m}^3$

曲げ応力に対する検討： $\sigma_a = 4214 \text{ kN/m}^2 = Ma/Z < 5700 \text{ kN/m}^2$  安定

よって、横木の太さが 9cm を下回った場合には、部材が破壊される可能性がある。

### ③許容劣化厚の算出

T：部材全体の許容劣化厚 (mm) = 170 (設置時の径) - 90mm . . . . (29)

((2) の計算結果より)

= 80mm

T/2：部材の中心から片側の許容劣化厚 (mm) = 80mm/2 . . . . (30)

= 40mm

## (2) 耐用年数の算出

### ①計算条件

乾燥指数 (AI)：74.48 . . . . . 下記算出例より

T/2：部材の中心から片側の許容劣化厚 (mm) = 40mm . . . . (31)

### ②耐用年数の算出

許容劣化厚 (中心から片側(T/2)：40mm) に到達する経過年数： $X_1$ 、すなわち耐用年数： $Y$  は、劣化厚推定式 (中心から片側を算出) を基にした次の式により算出できる。

【劣化厚の推定式 (スギ材)】 ※劣化厚は丸太の中心から片側のみを算出

本体部の劣化厚 (mm) =  $2.618X_1 - 0.389X_2 + 36.555$  . . . . (32)

$X_1$ ：経過年数 (年)、 $X_2$ ：乾燥指数 (AI)

Y：耐用年数 =  $(0.389X_2 - 36.555 + T/2) / 2.618$  . . . . (33)

=  $(0.389 \times 74.48 - 36.555 + 40) / 2.618$

= 12.38  $\div$  12 年

よって、この構造物の予測耐用年数は、12 年となる。

※上記は、あくまで予測耐用年数であり、実際の耐用年数とは異なる可能性がある。このため、この数値を参考に現地において計画的な点検を行い、最終的な構造物の安全性の評価は、現地の点検結果により判断する。

表-6 乾燥指数 (AI) の算出例

	月平均気温 (°C)	年降水量 (mm)
1月	3.5	
2月	3.8	
3月	7.0	
4月	12.6	
5月	17.4	
6月	21.3	
7月	25.5	
8月	26.9	
9月	22.7	
10月	16.5	
11月	11.0	
12月	6.1	
合計		1826.6
月平均気温が 正の月の合計	174.3	
年平均気温	14.5	

$$AI = 1826.6 / (174.3 / 12 + 10)$$

$$= 74.48$$

$$AI = \frac{P}{T + 10}$$

P: 年降水量 [mm]  
 T: (1～12月までの月平均気温が  
 正の月の合計) / 12 [°C]

### 3. 7 劣化を考慮した木製治山構造物の設計法

木製治山構造物に用いる木材は、腐朽などによる劣化を避けられないため、予め劣化を考慮することにより合理的で安全な木製治山構造物の設計を行うことができる。

木製治山構造物に用いる木材の劣化進行は経過年数、部材の樹種、加工方法、防腐処理、設置環境等により大きく異なるため、これらの条件や特性を考慮して、予め劣化速度から劣化厚を予測して、劣化した状態でも構造物が安全であるように設計を行うことにより合理的で安全な構造物の設計することができる。また、予め許容できる劣化厚を想定することにより、劣化厚の点検結果を構造物の安全性の評価に適用できる。

【参考】: 劣化（腐朽等）速度を考慮した木製治山構造物の設計法

#### 1. はじめに

野外に置いた木材の耐用年数についてはこれまでいくつかの調査・研究が行われているが、最も有名なのは松岡ら（1970, 1984）による浅川実験林における 3×3×60cm の杭を用いた腐朽試験である。調査結果では耐用年数はスギ、ヒノキの場合では辺材で 4～5 年、心材で 6～7 年とされ

ている。しかしながら木材の劣化（腐朽等）の速さは設置される場所の水分条件や気温、土壌との接触条件等により大きく異なり一様ではなく、また、治山ダム等のような木製治山構造物に用いられるような大きな（太い）木材では全体の強度低下の速度も異なると考えられる。

実際、青森県坪毛沢に設置されている木製治山ダムにはヒバが用いられているが、大正 5 年（1916）に建設された木製治山ダムが現存しており、1950 年代に設置されたものはほとんど劣化（腐朽等）せずに現在も十分に治山ダムの機能を保持している（田中ら, 1999）。一方、スイスやオーストリアでは現在でもカラマツ、モミ、トウヒ等により多くの木製治山ダム等の木製治山構造物が建設されており、木製治山ダム等の木製治山構造物の一般的な耐用年数は 30～50 年とされている。木製治山構造物の耐用年数に関しては、常時水中にあるような木製治山構造物であれば我が国でも数十年程度は十分にあると考えられる。しかしながら、木材である以上、劣化（腐朽等）に対する点検・維持管理は重要であり、維持管理の良否が耐用年数を決めることにもなる。

森林土木構造物のうちでも比較的大型で長期間機能を発揮することが期待される土留工、治山ダム等の構造物に木材を用いる場合には、木製治山構造物の耐久性を考慮して設計することが重要である。さらに、このような木製治山構造物の機能が保持されるように適切な維持管理を行うことも重要である。適切な設計を行うためには木材の腐朽等による劣化の速度を予測して、想定された劣化が生じて安全なように設計するとともに、耐用年数を予め設定しておくことが重要である。さらに木製治山構造物の維持管理を適切に行うためには劣化度を簡便にかつ的確に調査し、劣化（腐朽等）しつつある木材の強度を精度良く判定して安全性をチェックしたり、必要な場合には補修・補強や更新を行うことが重要である。このように、木製治山構造物の設置のためには木製治山構造物の設計法、劣化（腐朽等）速度の予測、耐朽性の検討手法、劣化（腐朽等）度の測定法、点検手法、補修・補強法、更新手法を明らかにしておくことが重要である。

木製治山構造物の設計に関しては石川ら（2000）はいくつかの木製治山構造物について水平載荷試験を実施しており、さらに木製治山構造物に作用する土圧や水圧を測定している。これらの試験結果を基に、木材の劣化（腐朽等）を考慮しない場合の木製治山構造物の設計法を提案している（石川, 2002; Ishikawa ら, 2002）。しかしながら、木材はコンクリートや鋼材とは異なり、木材の健全部（劣化していない部分）の直径や断面積は劣化（腐朽等）とともに減少していく。したがって、木材の劣化（腐朽等）速度が大きいほど木製治山構造物の耐久年数、すなわち治山構造物が安全に機能する年数は減少することとなる。ここでは劣化（腐朽等）を考慮したボルト接合型の木製治山構造物の設計法（Dang ら, 2007, 2008）について述べるとともに、劣化（腐朽等）速度に基づく木製治山構造物の耐久年数の評価法について述べる。

## 2. 設計に用いる用語と許容応力度

小型枠構造の木製治山構造物の構造を図-17 に示す。以下で使用する用語および許容応力度を次に示す（石川, 2002; Ishikawa ら, 2002）。

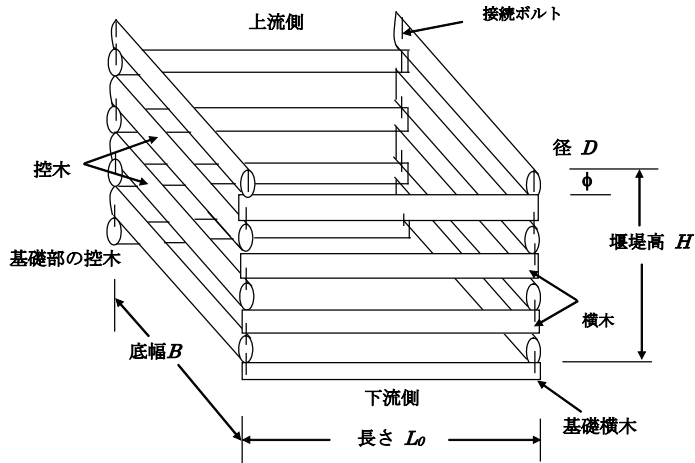


図-17 二重壁式木製枠構造治山構造物の模式図

$\gamma_w$  : 水の単位体積重量 (土砂を含む:  $11.8 \text{ kN/m}^3$ )

$\gamma_s$  : 中詰材料の単位体積重量 (標準:  $17.65 \text{ kN/m}^3$ )

$\gamma_T$  : 本体部の平均単位体積重量 (=  $16.5 \text{ kN/m}^3$ )

$D$  : 使用している木材 (丸太) の直径 (m)

$D_s$  : ボルトの直径 (=  $1.6 \times 10^{-2} \text{ m}$ )

$L_0$  : 控木間の距離 (m)

$L_a$  : 有効控木長 (m) (= ボルト間の長さ = 有効えん堤幅 =  $B$ )

$\mu$  : えん堤と基礎地盤との摩擦係数 (礫混じり土:  $0.7$ )

$F_t$  : 転倒に対する安全率 (=  $1.2$ )

$F_s$  : 滑動に対する安全率 (=  $1.2$ )

$F_d$  : 中詰材料のせん断変形に対する安全率 (=  $1.2$ )

$\phi$  : 中詰材料の内部摩擦角 (=  $40$  度)

$K_L$  : 中詰材料の主働土圧係数 ( $0.22$ ) (長期: 平常時)

$q$  : 許容地盤支持力 ( $\text{kN/m}^2$ )

$H$  : 木製治山構造物の高さ (m) (基礎丸太を除いた高さ)

$B$  : 本体部と水通し部の幅 = えん堤基礎部の有効幅 =  $L_a$  (m)

$h$  : 越流水深 (洪水時) (m)

$A_s$  : ボルトの断面積 =  $(\pi D_s^2 / 4)$

$f_{wba}$  : 木材の許容曲げ応力 (繊維方向, 湿潤状態) ( $\text{N/mm}^2$ )

$f_{wsa}$  : 木材の許容せん断応力 (繊維方向と直角, 湿潤状態) ( $\text{N/mm}^2$ )

$f_{wta}$  : 木材の許容引張応力 (繊維方向, 湿潤状態) ( $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{sta}$  : 鋼材の許容引張応力 (SS400 bolt:  $137 \text{ N/mm}^2$ )

$j_a$  : 鋼材の許容引張力 =  $\sigma_{sta} \times A_s$  (ボルト直径  $1.6 \times 10^{-2} \text{ m}$ ,  $j_a = 27 \text{ kN/1 ボルト}$ )

ここでは、耐久性を評価するのに簡便なように木材の断面は円形とし、次のように用語を定義した。

$\Delta d$  : 劣化 (腐朽等) 速度 ( $\text{mm/年}$ )

- $w_1$ : 基礎横木に作用する土圧による力 (kN/m)
- $w_2$ : 基礎横木の直上の横木に作用する土圧による力 (kN/m)
- $u_1$ : 基礎の控木に作用する土圧による力 (kN)
- $u_2$ : 基礎の控木の直上の控木に作用する土圧による力 (kN)
- $M_{y1}$ : 基礎横木に作用する最大曲げモーメント (kN·m)
- $M_{y2}$ : 基礎横木の直上の横木に作用する最大曲げモーメント (kN·m)
- $\sigma_1$ : 基礎の控木に作用する最大曲げモーメント (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_2$ : 基礎の控木の直上の控木に作用する最大曲げモーメント (kN/m<sup>2</sup>)
- $S_1$ : 基礎横木に作用するせん断力 (kN)
- $S_2$ : 基礎横木の直上の横木に作用するせん断力 (kN)
- $\tau_1$ : 基礎横木に作用する最大せん断応力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\tau_2$ : 基礎横木の直上の横木に作用する最大せん断応力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $t$ : 建設後の経過年数 (年)
- $T_b$ : 最大曲げ応力から算出した木製治山構造物の耐久年数 (年)
- $T_s$ : 最大せん断応力から算出した木製治山構造物の耐久年数 (年)
- $T_t$ : 最大引張応力から算出した木製治山構造物の耐久年数 (年)
- $T$ : 木製治山構造物の実際の耐久年数 (年)
- $2t\Delta d$ :  $t$  年経過後の部材の腐朽厚さの計 (m)
- $A_L$ : 腐朽を考慮しない場合の部材の有効断面積 (ボルト孔部が有る場合) =  $(pD^2/4) - D_s \times D$  (m<sup>2</sup>)
- $A_{Lb}$ : ボルト孔部が有る場合の木材の健全部の有効断面積 =  $\{p(D-2t\Delta d)^2/4\} - D_s \times (D-2t\Delta d)$  (m<sup>2</sup>)
- $Z$ : 部材の断面係数

### 3. 木製治山構造物の安定計算法

木製治山構造物に作用する外力としては上流面に作用する土圧 ( $E_1 + E_2$ ) および水通しの越流水による鉛直方向の静水圧 ( $W_w$ ) が考えられる (図-18 参照)。石川 (2002) は木製治山構造物の底部の上流側に引張応力が発生することを許す場合の木製治山構造物の安定条件として次の 4 条件を示した。

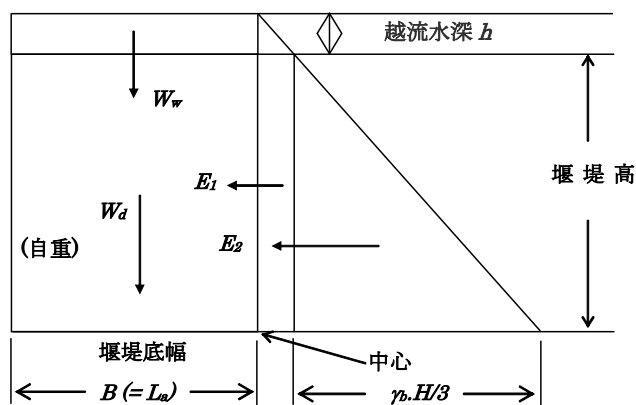


図-18 木製治山構造物 (治山ダム) に作用する力 (石川、2002)

#### 1) 転倒に対する安定

鋼製の枠構造の治山構造物と同様に治山構造物底部に引張応力が作用しない条件で転倒に対する安全率は 1.2 とする（鋼製砂防構造物設計便覧、2001）

$$F_t = M_v / M_d \geq 1.2, \dots \dots \dots (34)$$

ここで  $M_v$ : 鉛直合力によるモーメント;  $M_d$ : 水平合力によるモーメント

2) 地盤の許容応力を考慮した内部応力に対する安定

木製治山構造物底部の下流端に作用する応力 ( $\sigma_d$ ) が地盤の許容応力以下である。

$$|\sigma_d| = |-(\Sigma V_F / B)(1+6e/B)| \leq q \text{ (kN/m}^2\text{)}, \dots \dots \dots (35)$$

木製治山構造物底部の上流端に作用する引張応力 ( $\sigma_u$ ) が許容引張応力以下である。

$$|\sigma_u| = |-(\Sigma V_F / B)(1-6e/B)| \leq j_a \text{ (kN/m}^2\text{)}, \dots \dots \dots (36)$$

ここで  $e = X - B/2$  (m);  $\Sigma V_F$  : 鉛直方向の合力, X: 木製治山構造物底部と合力の交点から木製治山構造物底部の上流端までの距離

3) 滑動に対する安定

滑動に対する安全率  $F_s$ , は 1.2 である（河川砂防技術基準案, 1997）。

$$F_s = (\mu \Sigma V_F) / \Sigma H_F = 0.7 \Sigma V_F / \Sigma H_F \geq 1.2, \dots \dots \dots (37)$$

ここで  $\Sigma H_F$  : 水平方向の合力。

4) 中詰材のせん断変形に対する安定

中詰材のせん断変形に対する安全率  $F_d$  は 1.2 である（鋼製砂防構造物設計便覧, 2001）。

$$F_d = M_r / M_d \geq 1.2, \dots \dots \dots (38)$$

ここで  $M_r$ : 北島の式 (1962) による中詰材のせん断変形抵抗モーメントである。

$$M_r = (1/6) \gamma T B^2 H \{3 - (B/H) \cos \phi\} \sin \phi \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}, \dots \dots \dots (39)$$

図-19 に条件 1), 3) および 4) を満足する場合の異なる越流水深 (h) および木製治山構造物高さ (H) に対応する木製治山構造物底幅 (B) を示す。△□○は底部において許容応力内の引張応力を許す場合で、▲■●は引張応力が作用しない場合である。最大引張応力は木製治山構造物の高さ 2m, 3m, および 4m についてそれぞれ 13kN/m<sup>2</sup>, 20 kN/m<sup>2</sup> および 26 kN/m<sup>2</sup> である。これらの値は鋼製ボルト 1 本当たりの許容引張力  $j_a$  (27kN/1 本) よりも小さく木製治山構造物は安全である。

4. 部材に作用する土圧

木製治山構造物の下部に行くほど作用する土圧は大きくなる。従って基礎横木とその直上の横木および基礎部の控木とその直上の控木についてのみ安全性を検討する（図-20）。

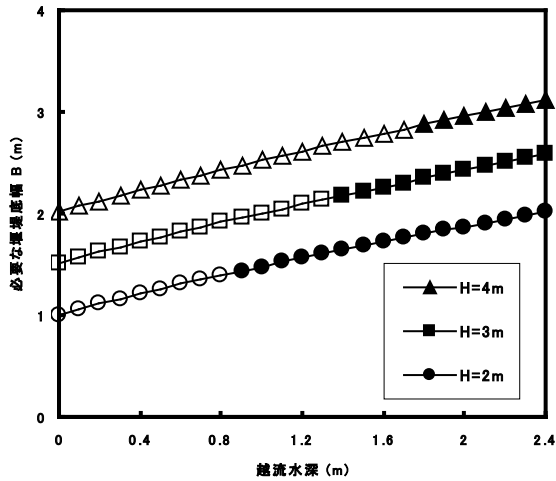


図-19 木製治山構造物に必要な底幅、△□○は堰堤底部上流側に引張応力が作用する場合、▲■●は引張応力が作用しない場合。(Dang ら, 2007 )

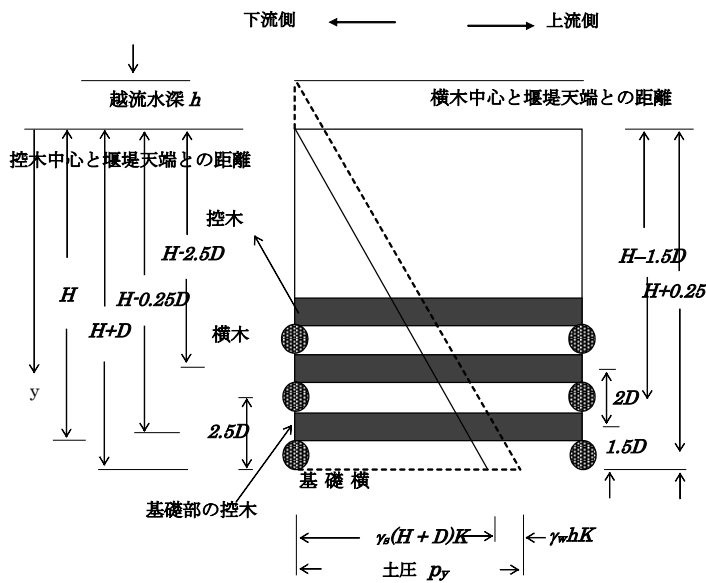


図-20 木製治山構造物の下流側に作用する土圧の分布 (Ishikawa ら, 2002)

作用する土圧 ( $p_y$ ) は下記のように算定される (Ishikawa ら, 2002):  
 木製治山構造物下流側の深さ  $y$  (m) の位置において作用する主動土圧  $p_{yL}$  (長期) は次のとおりである。

$$p_{yL} = \gamma_s y K_L + \gamma_w h K_L = 3.88y + 2.60h \quad (\text{kN/m}^2), \quad \dots \dots \dots (40)$$

基礎横木と直上の横木(それぞれ長さ 1.0m)に作用する土圧による力 (長期)  $w_1$ 、 $w_2$  は次式のとおりである。

基礎横木 {受圧高さ = 1.5D (m), 平均深さ  $y = H + 0.25D$  (m)}

$$w_1 = 1.5D p_{yL} = 1.5D \{3.88 (H + 0.25D) + 2.60h\} \quad (\text{kN/m}), \quad \dots \dots \dots (41)$$

基礎横木直上の横木 {受圧高さ = 2.0D (m), 平均深さ y = H - 1.5D (m)}

$$w_2 = 2Dp_{yL} = 2D\{3.88(H - 1.5D) + 2.60h\} \quad (\text{kN/m}), \dots\dots\dots (42)$$

長さ  $L_a$  (m)の控木に作用する土圧  $u_1$  および  $u_2$  (長期) は次のとおりである。

基礎部の控木 {受圧高さ = 2.5D (m), 平均深 y = H-0.25D (m)}

$$u_1 = 2.5Dp_{yL} \times L_a = 2.5D\{3.88(H-0.25D) + 2.60h\}L_a (\text{kN}), \dots\dots\dots (43)$$

基礎部控木直上の控木 {受圧高さ = 2D (m), 平均深 y = H-2.5D (m)}

$$u_2 = 2Dp_{yL} \times L_a = 2.0D\{3.88(H-2.5D) + 2.60h\}L_a \quad (\text{kN}), \dots\dots\dots (44)$$

## 5. 木製治山構造物の耐久性の評価

### (1) 曲げおよびせん断に対する横木の設計

一般的に木製治山構造物上流側に作用する中詰材からの土圧と上流側の埋め戻し土から作用する土圧の方向は互いに逆であり大きさもほぼ等しいので上流側の横木の安定は考慮しなくても良い。また、横木と控木はボルトで接続されているので下流側の横木に作用する土圧は控木を下流側に引き抜く力として作用し、さらに横木に対しては曲げとせん断の力として作用する。結果的に下流側の横木にはせん断力と曲げが作用し、控木には引張力が作用する。なお、木製治山構造物の耐久性の評価に当たっては次の2つの仮定を行う。

部材(丸太)の材質は均一であり断面は円形である。劣化(腐朽等)速度( $\Delta d$ )は一定で劣化(腐朽等)厚は建設後の経過年数( $t$ )に応じて直線的に増加する。劣化(腐朽等)速度は実測値の平均値を用いることとする。したがって、 $t$ 年後の劣化(腐朽等)厚は  $t\Delta d$  で表され、部材の両側合計では  $2t\Delta d$  で表される。健全部の直径は  $D-2t\Delta d$  (m)で表される。ボルト孔がある場合の健全部の断面積は  $A_{lb} = \{p(D-2t\Delta d)^2/4\} - D_s \times (D-2t\Delta d)$  ( $\text{m}^2$ )である。したがって、作用するモーメント、応力、力は次のようになる。

作用する最大曲げモーメント  $M_y$

基礎横木

$$M_{y1} = w_1 L_0^2 / 8 \quad (\text{kN}\cdot\text{m}), \dots\dots\dots (45)$$

基礎横木直上の横木:

$$M_{y2} = w_2 L_0^2 / 8 \quad (\text{kN}\cdot\text{m}), \dots\dots\dots (46)$$

作用する最大曲げ応力  $\sigma = M_y / Z$

基礎横木:

$$\sigma_1 = 32M_{y1} / \pi (D-2t\Delta d)^3 \quad (\text{kN}/\text{m}^2) \leq f_{wba}, \dots\dots\dots (47)$$

基礎横木直上の横木:

$$\sigma_2 = 32M_{y2} / \pi (D-2t\Delta d)^3 \quad (\text{kN}/\text{m}^2) \leq f_{wba}, \dots\dots\dots (48)$$

作用する最大せん断力 S

基礎横木:

$$S_1 = w_1 L_0 / 2 \quad (\text{kN}), \dots\dots\dots (49)$$

基礎横木直上の横木:

$$S_2 = w_2 L_0 / 2 \quad (\text{kN}), \dots\dots\dots (50)$$

作用する最大せん断応力  $\tau = 4S/3A_{lb}$  :

基礎横木:

$$\tau_1 = 4S_1 / 3 A_{lb} \quad (\text{kN}/\text{m}^2) \leq f_{wsa}, \dots\dots\dots (51)$$



基礎横木直上の横木:

$$\tau_2 = 4S_2/3A_{Lb} \quad (\text{kN/m}^2) \leq f_{wsa}, \dots \dots \dots (52)$$

(2) 引張力に対する控木の設計

作用する最大引張応力:

基礎部の控木:

$$u_1/A_{Lb} \quad (\text{kN/m}^2) \leq f_{wta}, \dots \dots \dots (53)$$

基礎部の控木直上の控木:

$$u_2/A_{Lb} \quad (\text{kN/m}^2) \leq f_{wta}, \dots \dots \dots (54)$$

(3) 耐久性の評価方法と最大せん断強度と曲げ強度の比

劣化（腐朽厚）が生じた時の木製治山構造物の耐久年数は部材に作用する最大の曲げ、せん断、引張応力が部材の許容応力と等しくなった場合（経過年数）として評価できる。さらに、基礎部の横木に作用する応力よりも、その直上の横木に作用する応力の方が大きい。一方、控木に関しては基礎部の控木に作用する応力が最大となる。したがって、式(48), 式(52), 式(53)を用いると木製治山構造物の耐久年数を算定する次式を得ることができる。

$$T_b = \frac{D - \sqrt[3]{\frac{4w_2L_0^2}{\pi f_{wba}}}}{2\Delta d} \quad (\text{年}), \dots \dots \dots (55)$$

$$T_s = \frac{\frac{\pi}{2}D - D_s - \sqrt{D_s^2 + \frac{2\pi w_2L_0}{3f_{wsa}}}}{\pi\Delta d} \quad (\text{年}), \dots \dots \dots (56)$$

$$T_t = \frac{\frac{\pi}{2}D - D_s - \sqrt{D_s^2 + \frac{\pi u_1}{f_{wta}}}}{\pi\Delta d} \quad (\text{年}), \dots \dots \dots (57)$$

実際の木製治山構造物の耐久年数（T）は上の3式から得られる  $T_b$ ,  $T_s$ , および  $T_t$  の内で最小のものとなる。

一般的にせん断強度と曲げ強度が耐久年数に影響する。劣化（腐朽等）に伴うせん断強度と曲げ強度の低下は  $S_p/S_t$  および  $M_p/M_t$  によって表され、おのおのは次式により計算される(式(58)は石川ら, 2003 による):

$$S_p/S_t = A_{Lb}/A_L, \dots \dots \dots (58)$$

$$M_p/M_t = \left[ 1 - \frac{d_r}{D} \right]^3, \dots \dots \dots (59)$$

ここで  $S_p$ : 断面積  $A_{Lb}$  を用いて計算した最大せん断強度、 $S_t$ : 断面積  $A_L$  を用いて計算した最大せん断強度、 $d_r$ : 合計劣化厚(ここでは  $d_r = 2t\Delta d$ )、 $M_p$ : 健全部の直径( $D-d_r$ )を用いて計算した最大曲げモーメント、 $M_t$ : 劣化（腐朽等）前の直径  $D$  を用いて計算した最大曲げモーメントである。

## 6. スギ材を用いて建設された木製治山構造物の耐久性（年数）の算定

実際には横木と控木の直径が異なる場合があるが、ここでは計算を簡略化するために横木と控木の直径は同じで、それぞれの長さも同じと仮定する。スギ材を用いた場合には  $f_{wba}$ ,  $f_{wsa}$  および  $f_{wta}$  はそれぞれ  $5698 \text{ kN/m}^2$ ,  $462 \text{ kN/m}^2$  および  $3460 \text{ kN/m}^2$  である（建築基準法, 2001）。これらの値を式(55), 式(56) および 式(57)に代入すると、引張応力よりも曲げ応力あるいはせん断応力により耐久年数が決まることが分かる。したがって 耐久年数の評価には式(55)および 式(56) を用いれば良い。式(55) および式(56) を計算するためには木製治山構造物の高さ(H), 横木の長さ( $L_0$ ), 部材の直径(D), および越流水深(h)の値を与える必要がある。表-7において左側は横木長さ  $L_0 = 1.0\text{m}$  の場合であり、右側は横木長さ  $L_0 = 0.5\text{m}$  の場合の結果を示す。ここでは部材の直径は  $0.15\text{m}$ ,  $0.2\text{m}$ ,  $0.25\text{m}$ ,  $0.3\text{m}$  を用いた。木製治山構造物の高さは  $2\text{m}$ ,  $3\text{m}$ ,  $4\text{m}$  を用いた。表-7の左側において越流水深が特定の範囲にある3ケースの場合には  $T_b$  および  $T_s$  の両方が影響するが、それらを除くと、残りの全てのケースでは、越流水深  $h$  が  $0 \sim 2.4\text{m}$  の全ての場合で  $T_b$  あるいは  $T_s$  の一方により耐久年数が決定される。大部分のケースでは耐久年数はせん断強度により左右され、 $T_s$  により決定される。

図-21には  $D = 0.2\text{m}$ ,  $D_s = 1.6 \times 10^{-2}\text{m}$ ,  $L_0 = 1.0\text{m}$  および  $\Delta d = 2.7\text{mm/年}$  の条件で越流水深および木製治山構造物の高さを変えた場合の  $T_b$ ,  $T_s$  および  $T_t$  による木製治山構造物の耐久年数を示す。 $T_s$  による木製治山構造物の耐久年数は大部分の場合で最低値を示しており、実際の耐久年数を示すことが分かる。

式(55) および式(56) と 式(58) および式(59)を組み合わせることで、木製治山構造物の耐久年数(T),  $S_p/S_t$ , および  $M_p/M_t$  について劣化(腐朽)速度  $1.0\text{mm/year}$ ,  $1.5\text{mm/year}$ ,  $2.7\text{mm/year}$  および  $4.3\text{mm/year}$  の条件下で計算した。この時、越流水深  $h = 1.0\text{m}$  およびボルトの直径  $D_s = 1.6 \times 10^{-2}\text{m}$  とし、木製治山構造物の高さ、横木の長さ、部材の直径を変化させた(図-21)。曲線の交点はそれぞれの条件での 耐久年数と、 $S_p/S_t$ , および  $M_p/M_t$  の関係を示す。図-22を用いて耐久年数を求める場合の例を次に示す。図中の点Qは曲線“ $D=0.3\text{m}$ ”と曲線“ $L_0=0.5\text{m}$ ,  $H=2\text{m}$ ”の交点である。従って点Qは次のような条件を持つ木製治山構造物を表す。部材直径  $0.3\text{m}$ , 横木の長さ  $0.5\text{m}$ , えん堤高  $2.0\text{m}$ , 越流水深  $1.0\text{m}$ , ボルト直径  $1.6 \times 10^{-2}\text{m}$  である。点Qの横軸の目盛は、劣化(腐朽)速度  $\Delta d = 1.0\text{mm/year}$ ,  $1.5\text{mm/year}$ ,  $2.7\text{mm/year}$ , および  $4.3\text{mm/year}$  のそれぞれに対応する耐久年数(T) = 110年, 73年, 41年および26年を示す。表-7を見ると、これらの条件での耐久年数はせん断強度により左右されていることが分かる。従って、許容できる( $S_p/S_t$ )の値は縦軸の点Qに対応する7%である。同様にしてある条件下での木製治山構造物の耐久年数を算定できる。図-22から木製治山構造物の耐久年数は木製治山構造物の高さおよび部材の直径の増大により増加することが分かる。

表-7 木製治山構造物の高さ (H)、控木の間隔 ( $L_0$ )、および部材の直径 (D) ごとの耐久年数の算定を左右する  $T_b$  および  $T_s$  の分布、ただし、ボルト孔の直径が  $1.6 \times 10^{-2}m$  の場合 (Dang ら, 2007 )

$L_0 = 1m, h: 0m - 2.4m$					$L_0 = 0.5m, h: 0m - 2.4m$				
D (m) \ H (m)	0.15	0.2	0.25	0.3	D (m) \ H (m)	0.15	0.2	0.25	0.3
2	$T_b$	$h \leq 1.1m$	$h \leq 0.5m$		$T_s$				
		$h > 1.1m$	$h > 0.5m$						
3	$h \leq 0.8m$								
	$h > 0.8m$								
4									

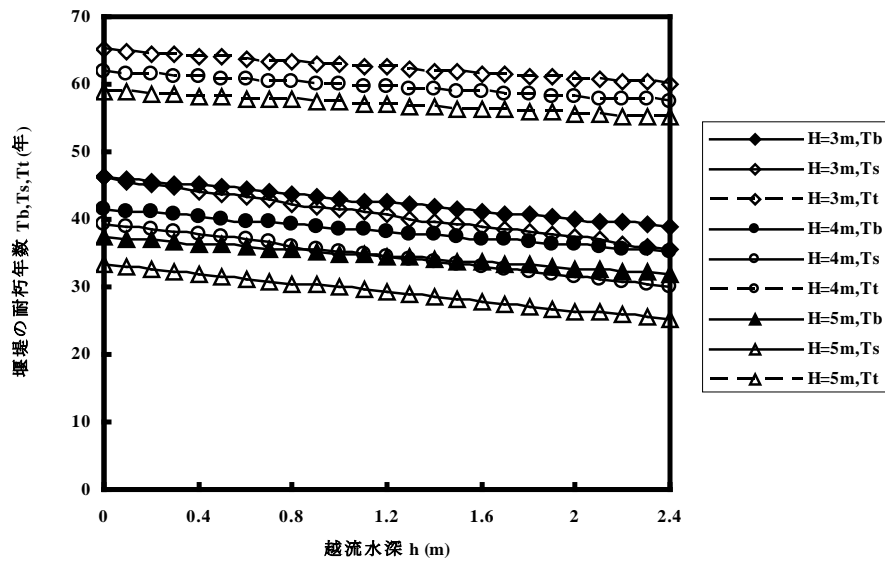


図-21  $T_b$ ,  $T_s$  および  $T_t$  によるスギを用いた木製治山構造物の耐久年数の比較 (Dang ら, 2007 )

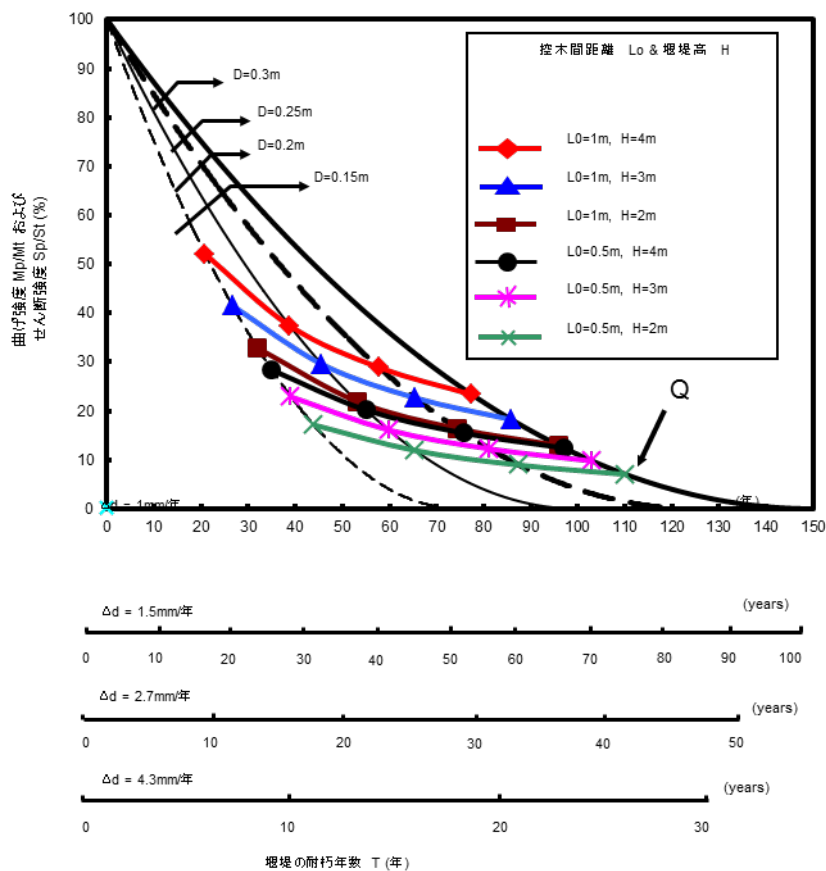


図-22  $S_p/S_t$ ,  $M_p/M_t$  およびスギ材で作られた木製治山構造物の耐久年数の関係 (Dang ら, 2007)

### 3. 8 耐久性を高めるための木製部材の利用

木製治山構造物の耐久性を高めるためには、耐久性の高い木材を用いる必要がある。

木材は設置される環境（降雨、流水、湿度、気温、土壌、日射等）や施設の構造により劣化（腐朽等）の進み具合が異なるとともに、木材の樹種、大きさ、加工法、木材保存処理方法等によっても異なる。木製治山構造物の耐久性を向上させるためには、耐久性の高い木材（部材）を用いることが重要である。

【参考】 耐久性の向上が期待できる木材の例

#### (1) 心材率の高い材の採用（丸棒加工材など）

既設の木製治山ダムの部材劣化厚を丸棒加工の有無で比較すると、丸棒加工材の方が劣化の

進行が遅い傾向が見られた（図-15）。これは、丸棒加工をすることによって、心材よりも劣化しやすい辺材部の割合が減少することが影響しているためと考えられる。このため、丸棒加工などにより部材の心材率（図-23、-24）を高めることは、耐久性の向上につながると考えられる。

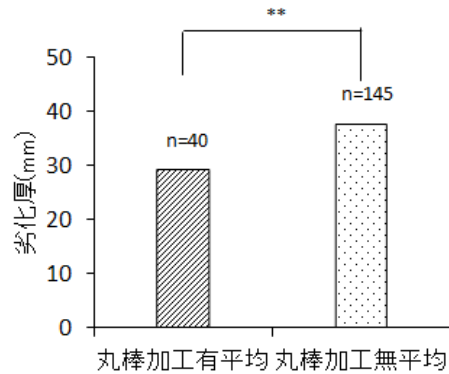


図-23 木材の丸棒加工の有無による劣化のしやすさの違い

（スギ材を使用、経過年数が同程度の施設の袖部の部材を比較）

アスタリスクは丸棒加工の有無による劣化厚の有意な差を示す (\*\*:  $p < 0.01$  U検定)

nは対象とした測点の数を示す（和多田ら、2015）



図-24 丸棒加工後、たいこ挽きしたスギの心材率の違い（赤茶色の部分が心材部）

## (2) 耐久性の高い樹種の採用（ヒノキ材など）

既設の木製治山ダムの部材劣化厚をスギ材とヒノキ材で比較すると、ヒノキ材の方が劣化進行が遅い傾向が見られた（図-25）。これは、ヒノキ材はスギ材よりも辺材率が少なく、心材の耐久性が高いことが影響しているためと考えられる。このため、ヒノキ材を木製治山構造物に採用することは、耐久性の向上につながると考えられる。

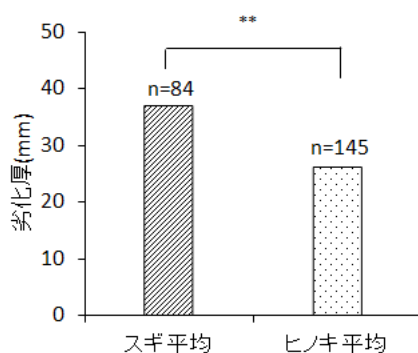


図-25 木製治山ダム（袖部）の部材の劣化厚（スギおよびヒノキ）  
（経過年数が同程度の施設で比較）

アスタリスクはスギ材とヒノキ材による劣化厚の有意な差を示す (\*\*: $p<0.01$  U検定)  
nは対象とした測点の数を示す（和多田ら、2015）

## (3) 高耐久性処理木材を使用する

木製治山ダムの場合では流水の掛かりにくい部分、特に袖部は劣化速度が大きくなるため、木材保存剤を圧縮加圧注入した高耐久性処理木材を用いることにより耐久性を向上させることができる（図-15）。

### 3. 9 維持管理の容易な設計の留意事項

木製治山構造物に用いる木材は、腐朽などによる劣化を避けられないため、構造物の点検・維持管理が容易にできるような設計を行うことが重要である。

木製治山構造物に用いる木材は、長期的に見れば腐朽などによる劣化を避けられないため、部材の点検、補修や交換など、木製治山構造物の維持管理が容易に行えるような設計を行うことが重要である。

図-26にはボルト接合型の木製治山構造物において、木製部材の交換時に、さび付いたボルトを容易に緩めることができるように（ともまわりを防ぐために）、ボルトの頭部にモンキーレンチで挟める突起を付けた工夫事例を示す。



図-26 木製部材の交換時に、さび付いたボルトを片側から容易に緩めることができるようにボルトの頭部に突起を付けるよう工夫した事例

### 3. 10 長寿命化の設計事例（ボルト接合型と校倉型）

木製治山構造物の長寿命化を図るためには設計、施工段階から、耐久性を向上させるように計画することが重要である。

木材は設置される環境（降雨、流水、湿度、気温、土壌、日射等）や施設の構造等により劣化（腐朽等）の進み具合が異なるとともに、木材の樹種、大きさ、加工法、木材処理法等によっても異なる。木製治山構造物の耐久性を向上させて構造物の長寿命化を図るためには、計画、設計、施工の段階で綿密な検討を行う必要がある。さらに点検、維持管理を計画的に実施して必要な補修や交換を適切な時期に行うことが重要である。

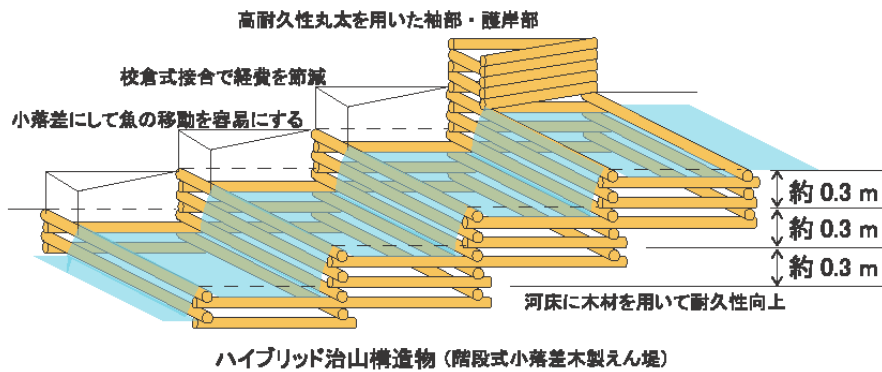
（参考）

木製部材を組み合わせた枠組みの中に、石材等を詰める枠構造の木製治山ダムの長寿命化を考慮した設計事例（ハイブリッド治山構造物）を示す。

2. 1で述べたように木製治山ダムの部材に常時流水がかかっている場合には劣化が進みにくい。このため、遮水シート等を木製治山ダムの本体部の上流側に貼ることにより、上流からの流水が堆砂域内で伏流しないで、放水路上を流れるようにして、本体部の上部から全体に流水がかかるようにすることで治山ダムの本体部の耐久性の向上につながると考えられる。ただし、遮水シート等の使用方法によっては、構造物（本体部）に作用する水圧を増加させる可能性があるため設計においては留意が必要である。対策としては、遮水シートは治山ダムの上流

面に直接貼るのでなく、上流面から少し離して上流下方に勾配を付けて貼ると良い。

本体部の劣化速度を遅くするために落差を低くして常時流水がかかるようにし、また、袖部の劣化速度を遅くするために、木材保存剤を圧縮加圧注入した高耐久性処理木材を用いて校倉型とした、生態系に配慮したハイブリッド治山構造物が計画、設計、施工されている（図-27）。



(a) ハイブリッド治山構造物の模式図



(b) ハイブリッド治山構造物の例

図-27 耐久性を向上させるための構造を取り入れた、生態系に配慮したハイブリッド治山構造物



## 第4章 施工方法

### 4.1 施工の基本的な流れと歩掛（ボルト接合型と校倉型）

木製治山構造物の施工は、計画・設計に沿って実施する。

木製治山構造物の施工の主な手順は図-28に示すように、資材搬入→仮設→掘削・床掘→木枠組立→詰石→埋戻し→片付け、である。

木枠組立及び詰石に係る材料については3.2および3.7の設計法を参考にされたい。  
参考としてボルト接合型の木製治山ダム木枠組立および詰石の材料・歩掛表を表-8に示す。

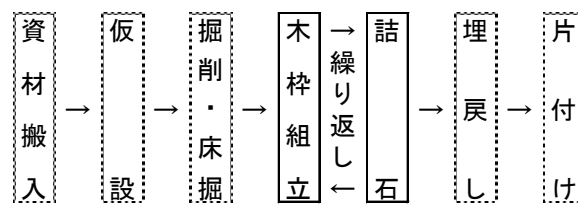


図-28 木製治山構造物の施工フロー図

表-8 ボルト接合型の木製治山ダムの材料・歩掛表（木枠組立・詰石）

名称	規格	単位	数量	備考
木枠部材	φ20cm(17cm太鼓挽) L=2.0m 4ツ穴	本		
木枠部材	φ20cm(17cm太鼓挽) L=2.0m 2ツ穴	本		
木枠部材	φ20cm(17cm太鼓挽) L=2.0m 穴無し	本		
部材固定金具	寸切りボルト・ナット L=0.56m φ16mm	セット		
部材固定金具	L型丸鋼釘φ16mm 全長0.3m曲げ長さ5cm	本		
部材固定金具	I型丸鋼釘φ16mm 全長0.3m	本		
木枠組立		m <sup>3</sup>		標準歩掛(木製治山ダム)
詰石材	割栗石(150~200mm)+目潰し材(碎石)	m <sup>3</sup>		目潰し材は必要に応じて
詰石		m <sup>3</sup>		標準歩掛(木製治山ダム)

数量は必要量を計上

### 4.2 施工（安全施工）の留意事項（ボルト接合型と校倉型）

定められた規則に従い、安全な工事を実施する。

溪流において工事を行う場合には、工事中の急な降雨による増水などには、特に注意する。雨量状況を監視したり、土石流検知センサーを上流に設置して万が一土石流が発生しても安全に避難できるように対処する。

#### 4. 3 施工管理

木製治山構造物は計画・設計に基づき、所定の機能と性能をもつ構造物ができるように適切に施工しなければならない。

資材の納品時には、指定した品質、寸法のもものが納められているか、十分確認する。また、計画・設計と現地条件が異なる場合は、必要な調査を実施した上で、現地条件に即した設計に変更するものとする。

木材は乾燥によって反るなど寸法が変化する特性があるので、天端部分で部材を隙間なく並べる場合などは注意する必要がある。

木製治山構造物を設置する基礎部（基礎地盤）は基本的に水平とし、凹凸をできるだけ少なくする。このことにより特に上部の木製の部材の組み立てが容易になり、施工性が向上する。

## 第5章 維持管理方法

### 5.1 点検および維持管理の必要性

木製治山構造物は、腐朽等により経年劣化することは避けられず、流域の状況も経年により変化する。このため構造物の性能および機能を維持するためには定期的な点検を行い、適切に構造物の健全度を評価して、必要な対策を実施し、構造物の維持管理を行う必要がある。また、適切な維持管理を行うことで構造物の長寿命化を図ることができる。

木材は設置される環境（降雨、流水、湿度、気温、土壌、日射等）や構造物の構造により劣化（腐朽等）の進み具合が異なるとともに、木材の樹種、大きさ、加工法、木材処理方法等によっても異なる。木製治山構造物を安全に管理して、構造物の機能を維持させるとともに、耐久性を向上させるためには、定期的な点検に加え、必要に応じた臨時の点検を行い、構造物の健全度を適切に評価した上で、その健全度に応じた適切な対策をとる必要がある。適切な維持管理を行うことで木製治山構造物の耐久性は向上し、耐用年数が長くなり、それが結局は経済的となることは木造建築物、コンクリートや鋼製の構造物と同様である。

### 5.2 点検、健全度評価および対策の流れ

木製治山構造物の機能および性能を確保し、流域の安全を確保するためには適切な時期に適切な方法で構造物の点検を行い、これらの結果を基に、流域の状況を考慮して構造物の健全度を適切に評価する。その上で、構造物の健全度に応じて修繕・更新・改築等の対策を行う必要がある。

#### (1) 点検、健全度評価および対策の流れ

木製治山構造物の点検、健全度評価および対策のおおよその流れを図-29に示す。

点検、健全度評価および対策の詳細な内容は以降の文章、表、図に示す。

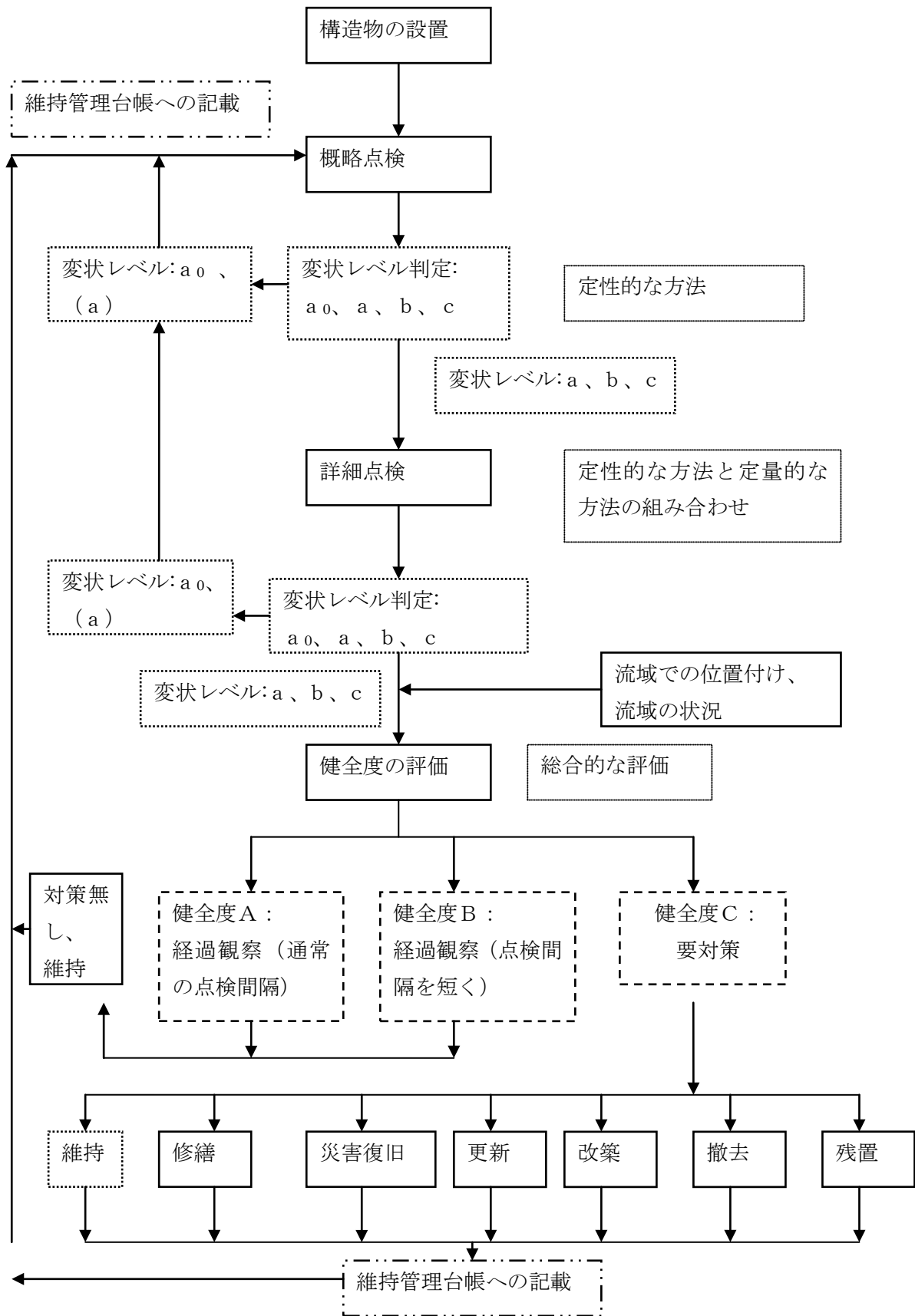


図-29 点検、健全度評価、対策の流れ

(2) 点検に係わる用語の定義

機能：木製治山構造物の設置目的として構造物が有すべき働きのこと。(例えば、溪床堆積土砂の侵食防止、斜面崩壊の防止等)

性能：木製治山構造物が機能を発揮するために必要となる、構造上保持すべき強度、安定性等のこと(例えば、木製治山構造物の安全度)。

健全度：有すべき機能および性能に対して、実際に構造物が有している機能および性能の程度のこと(機能と性能の総合評価)。なお、健全度の判定に当たっては、流域の状況(荒廃度、他の構造物の配置、森林の状況、流域の安全度等)の変化を考慮して構造物に要求される機能や性能を判断する。

点検：木製治山構造物の機能や性能の低下などの状況を把握するために行う調査のこと

評価(健全度の評価)：点検結果に基づき木製治山構造物の健全度を的確に把握し、その程度に応じた対応を考慮して分類すること

木製治山構造物単体での評価とともに、流域の状況の変化を考慮して、流域全体の中での構造物の位置付けも評価項目に入れる。

表-9 木製治山構造物の健全度の評価の考え方

健全度	機能(働き)	性能(安全性)	流域の状況
健全度大	高い	高い	安定(安全度大)
	↑↓	↑↓	↑↓
健全度小	低い	低い	荒廃(安全度小)

(3) 維持管理における構造物の取り扱い区分

木材は腐朽等による劣化を避けることができないことから、木製治山構造物の維持管理にあたっては、健全度の評価に応じた、適切に対応する必要がある。

表-10 木製治山構造物の維持管理における取り扱い区分

区分	内容
残置	構造物の必要性が失われた後は、設置した場所で腐朽するなど自然に還元するもの
撤去	構造物の必要性が失われた時点で取り片付けること
更新	劣化等により構造物の機能が失われた時点で、既存構造物の代替として再度同一の機能・規模の構造物を設置すること(同一の機能・性能)
改築	劣化等により構造物の機能が失われた時点で全体を作り替え、既存構造物の機能や性能を回復するとともにそれらを向上させること(機能・性能の向上)
修繕	既存の構造物の機能や性能を確保・回復するために、損傷または劣化前の状態に補修すること(損傷・劣化部の回復)
維持	構造物の機能や性能を確保するための軽微な作業のこと
災害復旧	災害により被災した構造物の原型復旧を行うこと

#### (4) 木製治山構造物の劣化に関する調査・点検結果の例

設置から概ね 5~15 年程度経過した木製治山構造物（主として木製治山ダム）に関する全国的な調査では、腐朽等の劣化により、大幅な機能の低下を生じている事例は認められなかった。しかし、木製部材の劣化速度は、構造物設置場所の環境条件以上に、個々の部材の心材・辺材率（図-23、24）等に左右され、部材ごとのバラツキが著しいことが分かった。このため、個々の構造物の耐用年数の予測は非常に困難である。従って定期的な点検（巡視）や臨時の点検（巡視）等で、絶えず木製部材の劣化（腐朽や蟻害の発生有無等）の現況を把握しておくことが望ましい。基本的には、構造物の設置後 5 年程度経過時には、打診等の概略点検（一次診断）を実施する（木材保存処理を実施していない場合。ただし、木材保存処理を行っている部材については設置後 10 年程度経過時に行うと良い）。

概略点検で、部材での子実体の発生や辺材部のはく離（打診時に空洞音）等、劣化の進行をうかがわせる事象が確認されず、構造物全体が健全であると判断できた場合（変状レベル a<sub>0</sub>）は、さらに 5 年後（10 年経過時）までに、再度概略点検を実施する。

概略点検で、何らかの劣化が確認され（変状レベル a、b、c）、且つ、修繕（補修・部材交換）等の必要性が判断できない場合は、レジストグラフやマイナスイオンライバー等を使用した詳細点検（二次診断）を実施する。

概略点検で何らかの劣化が確認されたが、補修や詳細点検を緊急に実施する必要はないと判断された場合（変状レベル a）は、状況に応じ、1~3 年後までに再度概略点検を実施する。詳細点検の結果、修繕（補修・部材交換）等を実施する必要性が低い、と判断された場合は、およそ 1~3 年後までに再度概略点検を実施し、必要に応じて詳細点検を実施する。

### 5. 3 点検台帳

点検結果および修繕等の対策事項は一定の様式に整理し長期的に保管・管理しなければならない。

木製治山構造物を設置した場合、維持管理台帳を作成し定期的な点検を行い、その状況を記録するものとする。維持管理台帳の様式例を巻末資料に示す。また、修繕等の対策を行った場合にはこれらの対策についても維持管理台帳に記載しておく。

維持管理台帳を作成し管理することにより、構造物の機能・性能の変化ならびに点検や対策の経緯が分かり、将来の健全度の判定や対策の検討を行う際の重要な判断の資料となる。

## 5. 4 点検の方法

点検の対象とする木製治山構造物の材料や構造、劣化の程度（経過年数）、点検の目的、点検結果の利用方法に応じて、適切な手法により点検を行わなければならない。

### 5. 4. 1 概略点検

- (1) 概略点検は、施工後、継続的に異常の有無を確認するために行うものであり、目視、触診、打診等の定性的な調査方法により、木材劣化等で木製治山構造物の機能（働き）および性能（安全性）が低下していないかを確認し、詳細点検の必要性を判断するものである。
- (2) 木製治山構造物の点検は、構造物の設置後 5 年目から開始するものとし、その後の点検は構造物の劣化状況に応じて必要な時期（5 年以内）に適宜実施する。開始時期を 5 年としたことは、全国的に無処理のすぎ、ヒノキ、カラマツを用いた 86 基の構造物（木製治山ダム）の劣化度調査を行った結果、5 年未満の構造物では木材の腐朽及び摩耗等の劣化によって機能低下が認められる構造物は皆無であったことを根拠としている。
- (3) 周辺で斜面崩壊や土石流等による災害が発生した場合は、斜面崩壊や土石流による木製治山構造物の損傷等を考慮して必要に応じて臨時的に概略点検を実施する。
- (4) 木材劣化に対しては、全体的な外観や重要な部材、接合部等の劣化（腐朽等）が進みやすい箇所を重点的に実施するものとする。なお、木材劣化の定性的な調査手法としては次のものがある。

#### ・木材劣化の定性的な調査方法

##### ア. 目視

肉眼の観察により調査する。次のような劣化（腐朽等）の兆候、損傷を調べる。

- ① 部材の変色、変状
- ② 部材の損傷
- ③ 菌類の子実体の発生
- ④ 蟻道などの形跡

##### イ. 触診

指で触れて感触を調査する。劣化（腐朽等）していれば軟らかい感触がする。必要に応じてドライバー等を突き刺して刺診により調査する。

##### ウ. 打診

ハンマー等で叩いて調査する。劣化（腐朽等）していれば健全な材に比べて鈍い音がし、反発が小さい。

- (5) 概略点検にあたっては、チェックリスト等を用いて確実に点検を行うとともに、記録を残しておくことが望ましい。
- (6) 概略点検で、何らかの劣化が確認され（変状レベル a、b、c）、且つ、修繕（補修・部材交換）等の必要性が判断できない場合は、速やかに詳細調査、健全度判定を行い適切に対

処するものとする。

【参考】：概略点検における『定性的な点検のポイント』

(1)目視診断

目視による診断は、木材の劣化（腐朽等）が進みやすい①部材の接合部、②割れ目、③ボルト穴付近、④地際部（地表面付近）など、雨水が侵入しやすく乾きにくい箇所を重点ポイントとして観察する。このような箇所は点検時に水分を吸って色が変わっていることが多いことから、後に述べる触診・刺診により詳しく診断することが望まれる。

また、内部のみで進行している劣化（腐朽や蟻害等）は、目視点検だけで早期に発見することが難しいことがあるので、打音診断も併用するとよい。

(2)触診

木材表面を指で押すと、健全部では硬いのにに対して劣化（腐朽等）部では押した際に少しへこむ感覚がある。触診時に、微妙な柔らかさの違いを判断するのが難しいため、診断する際は同じ樹種で作られた健全部（乾いて硬い部分）と比較しながら行う。

(3)打診（打音診断）

木材をハンマー等で叩いた場合、内部が詰まった健全部では硬く締まった響く音になる。劣化（腐朽や蟻害等）が進み空洞ができた材では、空洞があるぶん虚ろに響く鈍い音となり、外部に劣化（腐朽等）がある場合には打撃によるエネルギーが表面で吸収されるため音が若干小さくなる。

たいこ挽き材では、辺材部の劣化（腐朽等）が進んでいる材では、上部と側部からの打音が著しく異なる場合がある。必要材径が確保されているかどうかを判断するには側部だけでなく、上部から叩いてみることも重要である。

(7) 概略点検における目視による木材の劣化（腐朽等）の定性的な判定基準としては、表-11に示す6段階の被害度で判定する方法がある。

表-11 目視による木材劣化の定性的な判定基準

被害度	内容
0	健全
1	部分的に軽度の劣化（腐朽等）
2	全面的に軽度の劣化（腐朽等）
3	2の状態に加え部分的に激しい劣化（腐朽等）
4	全面的に激しい劣化（腐朽等）
5	劣化（腐朽等）により形が崩れる



この表は、木材の劣化（腐朽等）の程度を簡略かつ大まかに評価する場合によく使用される指標であるが、判定基準は定性的であるため個人差によりバラツキが生じやすい。また、主として部材の表面の状態から判断することになるため、内部の劣化（腐朽等）までを正確に判定することは原理的に難しい。従って木製治山構造物のように使用される部材が比較的大きい場合には適切に評価することはできない。

劣化（腐朽等）厚が深部（2cm 程度以上）に及ぶと診断される場合は、刺診等による劣化（腐朽）厚の測定を実施することが望ましい。ドライバーを用いた簡便な劣化（腐朽）厚の診断方法については詳細点検に記載してあるので参照されたい。

木製治山構造物は、構造体としての機能が確保され、部材の中心部に劣化が進んでいない健全な部分（断面）が必要な量確保されていれば部材の表層部が劣化（腐朽等）していても、木製治山構造物の性能上（曲げ強度、せん断強度）は問題ないと考えられる。このため残存健全断面が確保されているかどうかを精度良く評価するための点検手法を用いることが重要となる。概略点検で、何らかの劣化が確認され（変状レベル a、b、c）、且つ、修繕（補修・部材交換）等の必要性が判断できない場合は、残存健全断面を測定するためにレジストグラフやマイナスドライバー等を使用した詳細点検（二次診断）を実施する。

#### 5. 4. 2 詳細点検

- (1) 詳細点検は、概略点検で、何らかの劣化が確認され（変状レベル a、b、c）、且つ、修繕（補修・部材交換）等の必要性が判断できない場合、または修繕（補修・部材交換）等の必要性があると判断された場合、異常がある箇所について詳細な情報を得るために実施する。
- (2) 木材劣化に対しては、目視・触診・打診等による定性的な調査方法と計測器具による定量的な調査方法を組み合わせるものとし、構造物の目的、構造物・部材の重要度、劣化の程度、想定される劣化（腐朽等）の状況、必要とされる情報などに応じて、次の調査方法から適切なものを選定する。

##### ア. 定性的な方法

- ① 目視による方法
- ② 触診、打診、刺診等による方法

##### イ. 定量的な方法

- ① 穿孔抵抗法

穿孔抵抗試験器（レジストグラフ）を用いる。ドリルを回転させて木材に貫入させ、穿孔抵抗を測定する。深さごとの穿孔抵抗の変化を波形で記録することにより、その穿孔抵抗から劣化（腐朽等）部分の厚さが推定できる。

- ② 荷重測定器とドライバーを組み合わせた簡便な劣化（腐朽等）厚測定法

劣化（腐朽等）厚が比較的大きい場合にはマイナスドライバーを一定の力（200N）で貫入させた値とレジストグラフの測定値には相関関係があることが判明した（図-30、内藤ら、2015）。この測定方法により穿孔抵抗試験器がない場合でも一定の精度で劣化（腐朽等）厚を簡便に測定することが可能である。

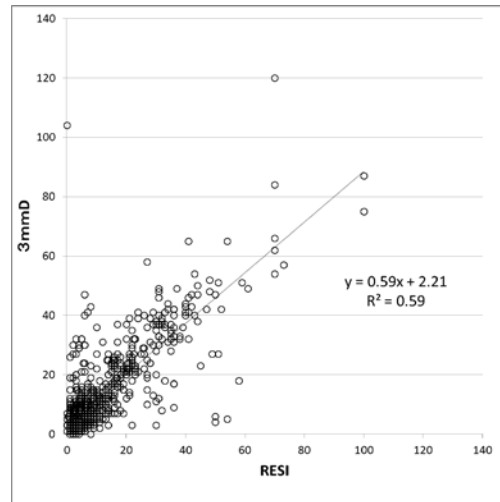


図-30 レジストグラフとマイナスドライバー  
(3mm)の測定値の関係 (内藤ら, 2015  
を一部改変)

### ③ 打込抵抗法

ピン打込試験器 (ピロディン) を用いる。所定の直径の鋼製ピンを一定のエネルギーで木材表面に打ち込み、その打込深さ (mm 単位) を計測する。ピンの長さが 4cm であるので、劣化 (腐朽等) 厚が比較的小さい場合 (4cm 未満) に有効である。

(3) 詳細点検では、健全度の判定ができるように、調査結果を図表等にとりまとめておくものとする。また、次回の点検に生かすために、調査結果を台帳等に記録して保存しておくことが望ましい

【参考】：『荷重測定器とドライバーを組み合わせた簡便な劣化（腐朽等）厚測定法』

(1) 測定方法

比較的大きい部材を使用した構造物の劣化診断を簡便に行う方法として、3mm幅のマイナスドライバーと荷重測定器（図-31）を組み合わせた簡便な劣化（腐朽等）厚測定方法を示す。

ドライバーの形状・規格

- ・DIN規格 刃先；マイナス
- ・軸径；3mm
- ・押し込み荷重；200N（約20kgf）



図-31 計測機器の例；デジタルフォースゲージ ZTS-1000N



図-32 ドライバーの軸にゴムリングを装着することにより貫入深の読み取りを効率化できる

- ①材面にマイナスドライバーのマイナス部分を繊維方向と平行にして、芯に向けて反動を付けずにゆっくり押し当てる。（一般に劣化（腐朽等）部分は柔らかくドライバーが容易にめり込むが、健全部に達するとそれ以上は簡単にめり込まない）
- ②ドライバーのめり込んだ深さを親指の爪などで押さえながら引き抜き、定規を当て、貫入深さとしてmm単位で記録する。（材面に欠落部がある場合は欠落部を補った値とする。）  
図-32に示すようにドライバーの軸にゴムリングを装着すると、貫入深の計測の効率化を図ることができる。

## 5. 5 部位ごとの点検と健全度評価

部位ごとの点検は、木製治山構造物の機能や性能に影響を及ぼす変状の程度を部位ごとに把握し、機能や性能の低下（変状レベル）を判断するために実施する。

次に、部位ごとの変状レベルを踏まえ、これらが構造物全体の機能や性能の低下に及ぼす影響等を考慮し、構造物の機能や性能の低下と構造物の流域における位置付け、流域の状況等を含めて総合的に構造物の健全度の評価を行うものとする。

### 1. 部位ごとの点検と変状レベルの判定

(1) 木製治山構造物は一般に木製部材を連結させ堤体内に中詰材等を詰めて、その重量によって安定性を確保している重力式構造物である。材径が経年劣化（摩耗、腐朽）により一定量減少した場合でも必要な健全部の断面が確保されており、中詰材の流失等の変状がなく構造物として安全性が維持されていれば、その構造物の機能および性能（安全性）は保たれているものと判断する。

一方で構造物に問題がなくても基礎部の洗掘や袖部の突っ込み部の侵食が発生している場合は、構造物の破壊や倒壊、堆積土砂の流出による構造物（治山ダム）としての機能の喪失につながる懸念されることから、基礎部や袖取付け部の状態を確認することは構造物の機能と性能（安全性）を判断する上で重要な点検項目といえる。

(2) 点検項目は、部位ごとに①部材の摩耗・損傷、②部材の劣化（腐朽、蟻害等）状態、③連結部の状況、④中詰材の状況、⑤侵食・洗掘の5項目とし、4段階で判定基準を設定し、構造物の機能および性能に影響を及ぼす変状のレベルを部位ごとに把握するために実施する。

表-12 部位ごとの点検による変状レベルの判定基準と主な調査方法

点検項目 変状レベル	部材の磨耗・損傷	部材の劣化（腐朽等）状態	連結部の状況	中詰石の状況	基礎部・取付部の状態
a <sub>0</sub>	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
a	軽度の磨耗・損傷	軽度の劣化	連結部に緩み（ずれ）	中詰材に流出の兆候	軽度の侵食・洗掘
b	部分的に重度の磨耗・損傷	部分的に重度の劣化	部分的に連結が外れている	部分的に中詰材の流出	部分的に重度の侵食・洗掘
c	全体的に重度の磨耗・損傷	全体的に重度の劣化	全体的に連結が外れている	全体的に中詰材の流出	全体的に重度の侵食・洗掘
主な調査方法	目視、巻尺、ノギス	目視・触診・打診・刺診	目視・触診	目視	目視、ポール

\* 「重度の劣化（腐朽）」及び「重度の磨耗・損傷」とは、ドライバーによる刺診及び穿孔抵抗試験器等の診断により部材に必要な断面が確保されていない状態とする。

## 2. 健全度評価と対応方針

- (1) 健全度評価は対象とする木製治山構造物の設置目的からみて変状が構造物の機能低下に及ぼす影響、ならびに構造物の性能（安全性）、さらに構造物の流域における位置付け、流域の荒廃度等を考慮し総合的に行うものとする。
- (2) 健全度評価は、流域における構造物の機能と性能を理解したうえで、総合的に評価を行うことが望ましい。

表－13 構造物の変状レベルと機能・性能との対応

変状レベル	構造物全体の機能の低下	構造物全体の性能（安全性）の低下
a0	低下無し	低下無し
a	軽度の低下	軽度の低下
b	中度の低下	中度の低下
c	重度の低下（機能が著しく低下）	重度の低下（破壊の危険性が高い）

表－14 健全度の評価と変状レベル、流域での位置付け、流域の状況の対応

	変状レベル	流域での位置づけ	流域の状況
健全度大 ↑ ↓ 健全度小	a0	付帯構造物	安定した流域
	a	通常構造物	普通の流域
	b	重要構造物	荒廃した流域
	c	基幹構造物	斜面崩壊・土石流の発生危険度大

表－15 健全度評価における構造物・流域の状態と対応方針

健全度	構造物・流域の状態	対応方針
A <sub>0</sub>	変状が発生しておらず、構造物の機能・性能を維持している状態。流域は安定している。	問題なし。
A	構造物の機能・性能に影響を及ぼすほどの変状は生じていないが、進展する可能性がある。通常の流域。	経過を観察する。通常の定期点検を行う。
B	部分的に変状があり、構造物の機能・性能に影響を及ぼす危険性が高い状態。荒廃した流域。	経過を観察する。点検間隔を短くする。
C	構造物全体に変状があり、構造物の機能・性能に直接的な影響が発生している。斜面崩壊・土石流の発生危険性が大きな流域。	修繕あるいは更新を計画する。

## 5. 6 健全度評価に応じた対応方法

健全度評価に基づき、構造物の状態に応じて修繕、更新、改築等の適切な対応をとる。

木製治山構造物（治山ダム）の修繕、更新、改築の選択の事例を図-33 に示す。

部材交換（修繕）を基本的な方法とし、構造物全体など部材交換では対応が難しい場面では既設埋設（更新）を、さらに、景観保全への配慮が必要な場合などでは増厚補強（改築）を選択することが有効と考えられる（明石ら、2015）

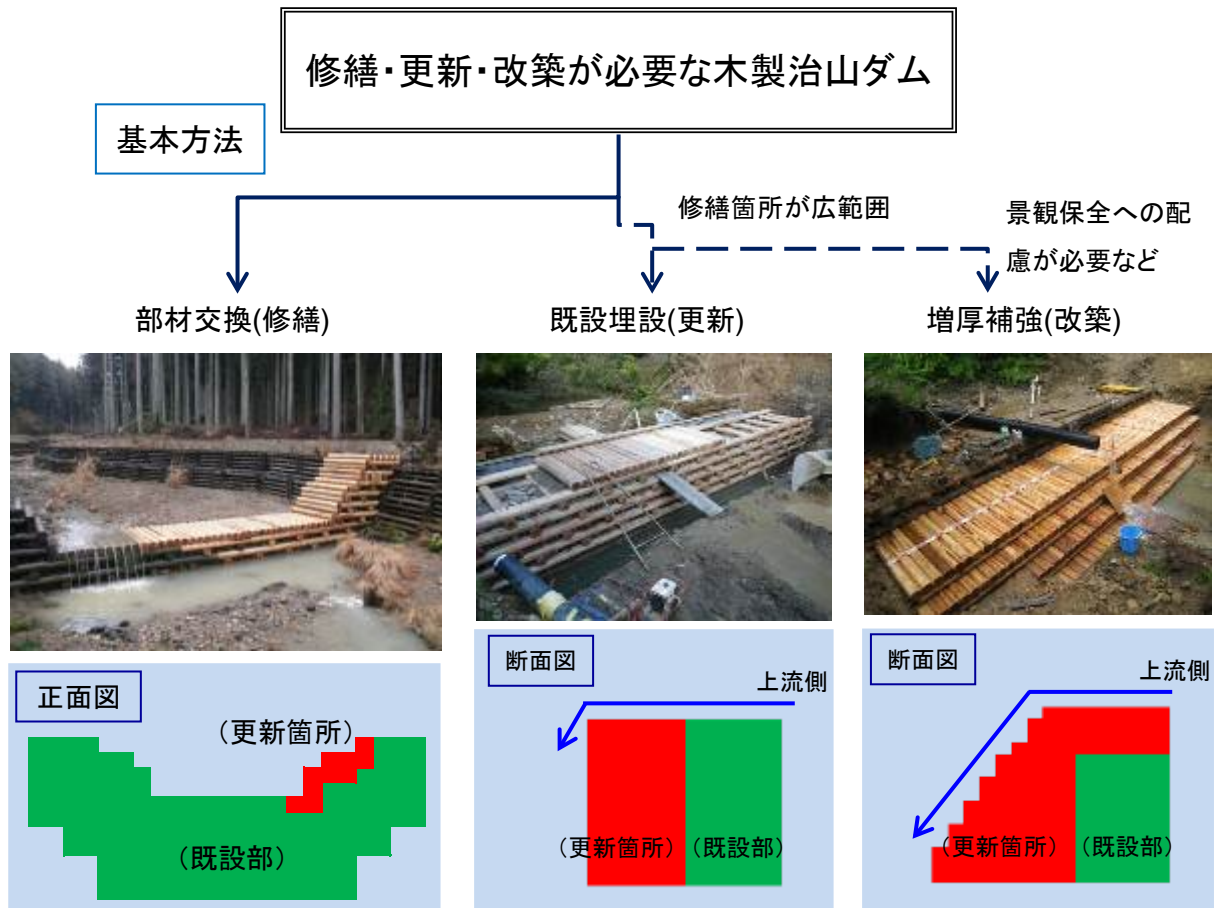


図-33 木製治山ダムの修繕、更新、改築の方法例（明石ら、2015 を一部改変）

## 5. 7 調査・点検・維持管理の事例

【付録資料】に、調査・点検および維持管理の事例を紹介しているので参考とされたい。

## 引用文献

- 明石浩和, 金澤瑛 (2015) : 木製治山ダムの効率的な修繕方法の開発, 公立林業試験研究機関研究成果選集, No.12, p.61-62
- Dang, Q. D., 石川芳治, 中村浩之, 白木克繁 (2007) : Evaluating method of durability of small wooden crib dams with considering the deterioration rate, 砂防学会誌, Vol.60,No2,p.13-24,
- Dang, Q. D., 石川芳治, 白木克繁 (2008) : Influence of design high water level, warm index, and maximum snow depth on deterioration rate of wooden crib dams 砂防学会誌, Vol.61 ,No2,p.39-45
- Dang, Q. D., 石川芳治, 若原妙子 (2014) : Improved reinforcement by rockfill materials in small wooden check dams 砂防学会誌, Vol.67 ,No1,p.3-10,
- 石川芳治, 岩館知哉, 水原邦夫 (2000) : 小型木製枠構造堰堤の水平載荷試験と安定性の検討, 砂防学会誌,Vol.52,No.5,p.16-23
- 石川芳治 (2002) : 小型枠構造木製堰堤の設計法, 京都府立大学学術報告人間環境学・農学 No.54,p.63-70
- Ishikawa, Y., Asada, M., and Mizuhara, K. (2002): A design method for small wooden dams based on field tests, Proceedings of the International Symposium Interpraevent 2002 in the Pacific Rim/Matsumoto/Japan, Vol.2, p.773-784
- 石川芳治, 内藤洋司, 落合博貴, 上原勇 (2003) : 各種試験に基づく木製施設の耐久性, 腐朽度および曲げ強度評価法, 砂防学会誌,Vol.56,No.4,p.21-31
- 石川芳治 (2010) : 砂防・治山分野における木材利用の課題と展望, 砂防学会誌,Vol.62,No6,p.52-58
- 久保友治, 前田恵史, 松永浩史, 西村健, 大村和香子, 桃原郁夫 (2012) : ACQ の野外効力試験 4, 第 62 回日本木材学会
- 建設省河川局監修(1997) : 建設省河川砂防技術基準(案)同解説法 (設計編Ⅱ) , p.4-19
- 建築基準法施行令および建設省告示 (平成 12 年告示) (2001) : 建設省関係法令集平成 14 年度版、技報堂出版、p.228、229、871、941、942
- 北島昭一(1962) : セル岩盤の安定性に関する研究、運輸省港湾技術研究所報告、Vol.12,No.3,88pp.
- 鋼製砂防構造物委員会・(財)砂防・地すべり技術センター(2001) : 鋼製砂防構造物設計便覧, 161pp
- 松岡昭四郎、雨宮昭二、庄司要作、井上衛、阿部寛、内藤三夫(1970) : 各樹種の野外試験による耐久性調査結果、林業試験場研究報告第 232 号、p.109-135
- 松岡昭四郎、井上衛、庄司要作、鈴木憲太郎、山本幸一(1984) : 浅川実験林苗畑の杭試験 (第 7 報)、日本産、および南洋産材の野外に設置した杭の腐朽経過と耐用年数、林業試験場報告, No.329,p.73-106
- 内藤洋司, 真柄泰央, 南谷将光, 山内仁人, 臼田寿生, 和多田友宏, 明石浩和, 石川芳治 (2015) : 木製治山ダムの維持管理手法, H27 年度砂防学会研究発表会概要集、A-268-269
- 西岡久寛, 中村嘉明, 今村祐嗣, 飯田生穂 (2000) : V 字型多段ローラーによる防腐剤注入前圧縮加工技術, 第 16 回日本木材保存協会年次大会
- 岡田康彦, 石川芳治 (2015) : 大型水路を用いた木製治山構造物の侵食耐性実験, H27 年度砂防学

会研究発表会概要集、A-112-113

田中俊成、山本幸一、北原曜(1999)：大正から昭和にかけて施工された木製ダムの耐久性調査、第15回日本木材保存協会年次大会論文集、p.1-9

Theodore C. Scheffer (1971) : A Climate Index for estimating potential for decay in wood structures above ground, FPJ, Vol. 60, No. 2, p. 25-31.

和多田友宏, 臼田寿生, 土肥基生 (2015) : 木製治山ダムの劣化に及ぼす諸要因の検討, 岐阜県森林研究所研究報告, No.44,p.11-16

山内仁人, 今井信, 臼田寿生, 和多田友宏, 田次慶久, 吉田幸 (2015) : カラマツを主体とする木製治山構造物の劣化調査の概況, 第31回木材保存協会年次大会論文集, p.86-89

吉田幸, 石川芳治, 辻本吉寛, 田次慶久 (2015) : 木製治山・治水構造物に用いた圧縮・加圧注入処理木材の劣化速度と凍結融解の影響, 砂防学会誌, Vol.68,No3,p.11-20

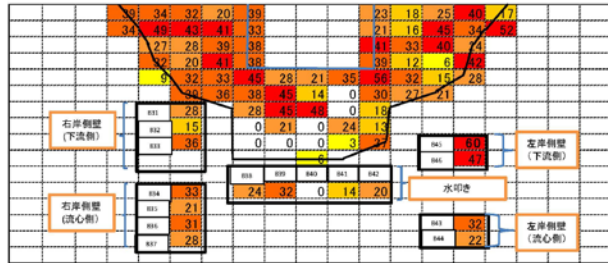


【付録資料 1】 調査・点検の事例

※レジストグラフの測定結果は、穿孔抵抗（振れ幅）が 1mm 未満の部分の長さを劣化厚として取り扱った。

整理番号	1
構造物番号	(例 1)
点検年月日	平成××年△月□□日
点検者	〇〇事務所

健全度評価 による対応方針	A (経過を観察する。)
------------------	--------------



レジストグラフによる測定結果 (例 1)

個別の判定結果 (例 1)

部位の点検	部材の磨耗・損傷		部材の劣化 (腐朽) 状態		連結部の状況		中詰材の状況		基礎部・取付け部の状態	
	判定	コメント	判定	コメント	判定	コメント	判定	コメント	判定	コメント
袖部 (右岸)	a	軽度の磨耗・損傷	b	袖天端、横材の一部が重度の劣化	a o	変状なし	a o	変状なし	a o	変状なし
袖部 (左岸)	a	軽度の磨耗・損傷	b	袖天端、横材の一部が重度の劣化	a o	変状なし	a o	変状なし	a o	変状なし
放水路天端	a	軽度の磨耗・損傷	a	軽度の劣化	a	緩み	a o	変状なし	a o	変状なし
ダム本体	a	軽度の磨耗・損傷	a	軽度の劣化	a o	変状なし	a o	変状なし	a o	変状なし
水叩き部	a	軽度の磨耗・損傷	a	軽度の劣化	a o	変状なし	a	流出の兆候あり	a	軽度の侵食・洗掘
健全度の評価	(A) 右岸、左岸とも袖部に重度の腐朽が一部の部材で見られる。本体右岸側の越流水が落下していない部材の一部で腐朽が進んでいる。また、水叩きの中詰材に流出の兆しが見られる。重度の腐朽が多くみられるのは袖部であり、床固工として施設の機能に影響を及ぼすほどの変状でないため、経過を観察する。									

構造物番号	(例 1)
-------	-------



右岸袖部の状況



右岸袖部の状況



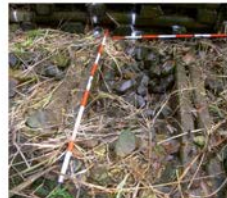
構造物の設置状況 (全景)



褐色腐朽菌による劣化 (右岸袖天端)



褐色腐朽菌による劣化 (右岸袖部)



水叩きの状況 (中詰材流出の兆候)



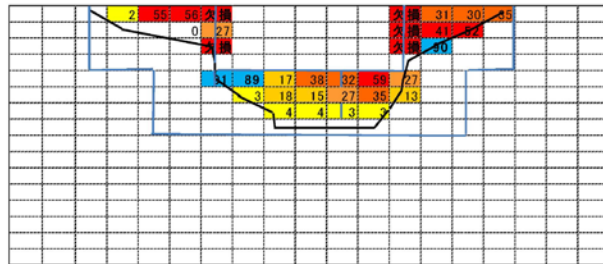
軽度の腐朽状況 (本体部)

【付録資料 2】 調査・点検の事例

※レジストグラフの測定結果は、穿孔抵抗（振れ幅）が 1mm 未満の部分の長さを劣化厚として取り扱った。

整理番号	2
構造物番号	(例 2)
点検年月日	平成××年△月□□日
点検者	○事務所

健全度評価 による対応方針	C (更新)
------------------	-----------



レジストグラフによる測定結果 (例 2)

個別の判定結果 (例 2)

部位の点検	部材の摩耗・損傷		部材の劣化（腐朽）状態		連結部の状況		中詰材の状況		基礎部・取付け部の状態	
	判定	コメント	判定	コメント	判定	コメント	判定	コメント	判定	コメント
袖部（右岸）	b	部分的に重度の摩耗・損傷	b	部分的に重度の劣化	c	全体的に外れている	b	部分的に中詰材の流出	a <sub>0</sub>	変状なし
袖部（左岸）	b	部分的に重度の摩耗・損傷	b	部分的に重度の劣化	b	部分的に外れている	c	全体的に中詰材の流出	a <sub>0</sub>	変状なし
放水路天端	b	部分的に重度の摩耗・損傷	a	軽度の劣化	a <sub>0</sub>	変状なし	a <sub>0</sub>	変状なし	a <sub>0</sub>	変状なし
ダム本体	a	軽度の摩耗・損傷	b	部分的に重度の劣化	a	緩み	a	流出の兆候あり	a <sub>0</sub>	変状なし
水叩き部	b	部分的に重度の摩耗・損傷	-	-	a <sub>0</sub>	変状なし	-	-	a <sub>0</sub>	変状なし
健全度の評価	(C) 右岸、左岸とも袖部に重度の腐朽が一部の部材でみられ、左岸袖の中詰材が流出している。本体の部材は摩耗が進んでおり、連結部が緩んでいる箇所がみられ、中詰材に流出の兆候がみられる。洪水時には、袖部の流失により本体の機能に影響を及ぼす危険性が高い状態であり、評価項目で複数の c が出現していることから、部分的でなく全体的な修繕あるいは更新を行うことが望ましいと判断される。									

構造物番号	(例 2)
-------	-------



本体 (近景)



構造物の設置状況 (全景)



連結部が外れている (右岸袖天端)



同左 (拡大)



中詰材の流出 (左岸袖部)



中詰材流出の兆候 (本体部)

【付録資料 3】 維持管理の事例

部材交換の例（工法検討のための試験施工時の写真）



1. 赤線内が部材交換範囲



2. 木部材、中詰石材の撤去



3. 撤去完了



4. 組立・中詰（中詰石材は再利用）



5. 組立・中詰（中詰石材は再利用）



6. 部材交換完了

## あとがき

本技術指針においては、耐久性を期待する木製治山構造物を対象として(1)部材の劣化を考慮した構造物の安定計算法と落差下流の侵食耐性を検討する手法を提示した。(2)既設の木製治山構造物の経年劣化の実態を明らかにし、耐久性を事前に評価する手法を提示した。(3)高耐久処理木材を用いて構造物の耐久性を飛躍的に向上させる手法を提示した。(4)合理的で安全な施工法を提示した。(5)合理的で実用的な点検・維持管理手法を提示した。しかしながら木製治山構造物の主要な材料である木材の劣化（腐朽等）のメカニズムについては未解明な部分も残り、劣化に影響する環境要因も多岐にわたっているため、現状では木材の耐久性を正確に予測することは困難である。このようなことから、木製治山構造物の維持管理においては、定期的な点検が不可欠であり、さらに劣化や変状が発見された場合には臨時の詳細点検を実施して、その機能や性能の低下の度を把握した上で、流域の状態も考慮し、木製治山構造物の健全性を評価する必要がある。さらに健全性の評価に応じて、施設の構造に合わせた適切な対応をとる必要がある。適切な点検・健全度評価および対応により、木製治山構造物の機能と性能は保たれ、また、長寿命化も図れることから、経済的で合理的かつ適切な木製治山構造物の維持管理が可能となる。

最後に本技術指針が広く用いられて、木製治山構造物が適切に設計、施工、維持管理され、その長所が認識され、全国に広く普及することを期待する。なお、本技術指針には未だ記載が不十分な点がある。今後の調査・研究・運用等により新たな知見が得られれば追加の記載や見直しを行い、より合理的で使い易い技術指針に改良したい。

※本技術指針（案）は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「生態系保全のための土と木のハイブリッド治山構造物の開発」（平成 24～26 年度実施）の委託事業による成果である。

平成 28 年 2 月 1 日発行

執筆者一覧

(五十音順、敬称略)

(所属は研究期間(平成24-平成26年度)当時)

木製治山構造物技術指針検討会

(代表) 石川 芳治	東京農工大学大学院農学研究院
明石 浩和	京都府農林水産技術センター
今井 信	長野県林業総合センター・木材部
臼田 寿生	岐阜県森林研究所・森林資源部
岡田 康彦	森林総合研究所・水土保持研究領域
落合 博貴	森林総合研究所・企画部
金澤 瑛	京都府農林水産技術センター
清水 正哲	京都府農林水産技術センター
田次 慶久	(株)コシイプレザービング
戸田 堅一郎	長野県林業総合センター・育林部
土肥 基生	岐阜県森林研究所・森林資源部
内藤 洋司	(株)森林テクニクス・名古屋支店
南谷 将光	(株)森林テクニクス・名古屋支店
真柄 泰英	(株)森林テクニクス・名古屋支店
山内 仁人	長野県林業総合センター・木材部
吉田 宰	(株)コシイプレザービング
和多田 友宏	岐阜県森林研究所・森林資源部