

公益社団法人 国土緑化推進機構

緑と水の森林ファンド事業助成

治山施設等の点検・補修等手法の開発に関する調査研究

平成27年度報告書

平成28年6月

公益社団法人 森林保全・管理技術研究所

はじめに

本報告書は、森林保全・管理技術研究会 災害対応技術部会において平成 26 年度から 2 ヶ年に渡って進めてきた治山施設等の点検・補修等手法の開発に関する調査・研究についてまとめたものである。

わが国では、高度成長期以降に集中的に整備されたインフラが今後一斉に老朽化することが見込まれているが、治山施設においても例外ではなく、建設後数十年を経過した治山施設等が増加傾向にある。森林の保全という治山施設本来の機能を維持していくためには、これまで整備されてきた既存ストックについて、適切な維持管理・更新等を進めつつ有効活用を図っていくことが重要である。そこで本調査研究では、まず効率的な治山施設の点検手法について検討を行い、点検・診断に基づく施設の補修や機能強化等の手法について研究を行うことを目的としている。

また、林野庁では政府が平成 24 年 10 月に取りまとめた「インフラ長寿命化基本計画」を受けて、林野庁が管理・所有する治山施設の維持管理・更新等を着実に推進するため、治山施設の維持管理の方向性および方策に関して、平成 26 年 8 月に「インフラ長寿命化計画（行動計画）」が策定されるとともに、治山施設管理者による個別施設毎の長寿命化計画策定を円滑に進めるため、平成 27 年度、「治山施設にかかる個別施設計画策定のためのガイドライン」及び「治山個別施設計画策定マニュアル(案)」が策定されている。これを受けて、本調査研究としては、これら林野庁の治山施設長寿命化に関する指針類、特に治山施設個別施設計画策定マニュアル(案)に記載されている点検、健全度評価および補修・機能強化の方法等の内容を補完する形で、効率的な点検方法や用いられる材料の劣化リスク、補修・機能強化等の方法を整理・体系化し、より実践的な内容について調査・研究を行うことを目的としている。

本調査研究は、委員会による検討を実施し、まず点検者にとって使いやすい点検調査票の工夫点を示し、既往調査結果により治山施設の劣化・損傷が発生しやすい箇所・部位等を整理・分析した上で、構造（コンクリート、鋼製、木製）毎に劣化形態とその原因・要因について、それぞれの特徴等について整理を行った。また、厳しい自然環境下におかれる治山施設では、施設を取り巻く環境要因が劣化・損傷の進行に大きく影響すると考え、治山施設の長寿命化対策の可否の判断方法として、環境要因を考慮する方法を提案した上で、劣化・損傷の形態別に長寿命化対策（補修、機能強化、更新）の工法選定フローを整理した。以上の検討結果を踏まえ、点検や補修等を容易に行えるための工夫点等について整理し、維持管理の容易な施設についての提言を行った。

治山事業における施設の点検・補修等の実施に際し、本報告書の内容が少しでも役立てば幸いである。

目次

第1章 研究目的および研究内容	1
第1節 研究目的	1
第2節 調査研究の進め方	2
第3節 事業期間	3
第4節 研究調査スケジュール	3
第5節 委員会開催状況	4
第6節 報告書の要約	5
第2章 本研究で対象とする施設等について	6
第3章 治山施設点検要領および治山施設の補修・補強等事例に関する内容検討	7
第1節 治山施設点検要領に関する内容検討	7
第1項 治山施設点検に係る林野庁および都道府県の動向	7
第2項 都道府県の施設災害調査マニュアルの整備実態	9
第3項 既往の治山施設点検要領	9
第4項 使いやすい点検シートのイメージ	11
第5項 治山点検実施者からの意見聴取	12
第6項 点検要領（マニュアル）および点検表の改善提案	12
第2節 治山施設の補修・補強等に関する資料収集・整理	17
第1項 収集事例の傾向	17
第2項 収集事例の分析	17
第3項 堤体嵩上げ工法の分類【参考】	18
第4章 工種および構造に応じた点検手法の検討	19
第1節 過年度成果のレビュー	19
第1項 防災施設の被災実態調査の実施結果	19
第2項 対策工種毎の被災箇所と変状	20
第3項 砂防堰堤の被災事態調査	22
第2節 点検フロー	23
第3節 工種（溪間工・山腹工）毎の点検手法の検討	24
第1項 溪間工の点検手法	24
第2項 山腹工の点検手法	33
第4節 構造（コンクリート、鋼製、木製）毎の点検手法の検討	50
第1項 コンクリート構造物	50
第2項 鋼製構造物	60
第3項 木製構造物	66
第5章 構造等の違いによる劣化形態とその原因・要因に関する検討	77
第1節 コンクリート構造物	77
第1項 劣化形態の種類	78
第2項 劣化の原因・要因	83
第3項 劣化要因の推定方法	100

第2節 鋼製構造物	102
第1項 劣化形態の種類	102
第2項 劣化の原因・要因	106
第3節 木製構造物	109
第1項 劣化形態の種類	109
第2項 劣化の原因・要因	112
第6章 劣化リスクの判断手法の検討	113
第1節 劣化度の閾値および計測手法	113
第1項 コンクリート構造物	113
第2項 鋼製構造物	122
第3項 木製構造物	125
第2節 劣化度に環境要因を考慮する方法（案）	131
第7章 補修・補強等対策手法の事例とりまとめ	134
第1節 渓間工の補修・補強等対策事例	134
第1項 コンクリート構造物（増厚・嵩上）	134
第2項 コンクリート構造物（補修）	135
第3項 鋼製構造物	137
第4項 木製構造物	139
第2節 山腹工	141
第8章 対策手法の考え方とその分類	149
第1節 渓間工・土留工（コンクリート）	149
第1項 補修	149
第2項 機能強化	155
第3項 更新	160
第2節 渓間工・土留工・落石防護柵工（鋼製）	160
第1項 補修	160
第2項 機能強化	162
第3項 更新	162
第3節 渓間工・土留工（木製）	162
第1項 補修（部材の交換）	162
第2項 機能強化	162
第3項 更新	162
第4節 法枠工	163
第5節 吹付工	165
第6節 落石防護柵工	168
第9章 維持管理の容易な施設についての提言	170
第1節 点検の実施が容易な施設	170
第2節 詳細調査、補修等の実施が容易な施設	172
第3節 損傷しにくい施設の構築（未然対策）	173

第1章 研究目的および研究内容

第1節 研究目的

わが国では、高度成長期以降に集中的に整備されたインフラが今後一斉に老朽化することが見込まれているが、治山施設においても例外ではなく、建設後数十年を経過した治山施設等が増加傾向にある。林野庁の調べでは現在、全国に約 44 万基の治山ダムが整備されており、整備後 50 年を経過する施設の割合は、20 年後に半数に達すると推測されている。

施設	管理者	施設数	整備後50年以上経過する施設の割合		
			現在 (H24年度末)	10年後	20年後
治山ダム	国	55,600基	15%	30%	49%
	都道府県	380,000基	15%	32%	51%

出典：林野庁業務資料

※平成25年3月末時点

※10年後、20年後の推計において、今後新たに整備される施設は考慮していない

森林の保全という治山施設本来の機能を維持していくためには、これまで整備されてきた既存ストックについて、適切な維持管理・更新等を進めつつ有効活用を図っていくことが重要である。そこで本研究では、まず効率的な治山施設の点検手法について検討を行い、点検・診断に基づく施設の補修や機能強化等の手法について研究を行うことを目的とする。

また、林野庁では政府が平成 24 年 10 月に取りまとめた「インフラ長寿命化基本計画」を受けて、林野庁が管理・所有する治山施設の維持管理・更新等を着実に推進するため、治山施設の維持管理の方向性および方策に関して、以下の通り指針類が策定されている。今後、この計画に沿って各都道府県での具体的なマニュアル整備および長寿命化計画が策定され、個別施設の点検・診断が実施される見通しである。

1. 林野庁 インフラ長寿命化計画（行動計画）※ 平成 26 年 8 月 19 日
2. 治山施設に係る個別施設計画策定のためのガイドライン 平成 28 年 3 月 28 日
3. 治山施設個別施設計画策定マニュアル（案） 平成 28 年 3 月

※行動計画は、林道施設の内容も含んでいる。

これを受けて、本研究としては、これら林野庁の治山施設長寿命化に関する指針類、特に治山施設個別施設計画策定マニュアル（案）に記載されている点検、健全度評価および補修・機能強化の方法等の内容を補間する形で、効率的な点検方法や用いられる材料の劣化リスク、補修・機能強化等の方法を整理・体系化し、より実践的な内容について研究を行うことを目的とする。

第2節 調査研究の進め方

調査研究は委員会による検討によって実施する。

(1) 委員会の設置

治山施設の点検手法および補修・補強等のあり方についてについて検討するため、学識経験者、関連業界関係者、森林分野技術者からなる検討委員会を設置し、課題の推進について助言を受ける。

委員会の構成は以下のとおりである。

<委員>

	氏名	フリガナ	所属	出欠
1	石川芳治	イシカワ ヨシハル	東京農工大学 環境資源共生科学部門 (教授)	
2	土屋 智	ツチヤ サトシ	静岡大学 農学部森林防災工学研究室 (教授)	
3	川邊 洋	カワベ ヒロシ	新潟大学 農学部生産環境科学科 (教授)	
4	執印康裕	シュウイン ヤスヒロ	宇都宮大学 農学部森林科学科 (教授)	
5	浅野志穂	アサノ シホ	森林総合研究所 治山研究室 (室長)	欠席
6	河合英二	カワイ エイジ	森林・自然環境技術者教育会 (主任研究員)	
7	榎田充哉	エノキダ ミツヤ	国土防災技術 (株) 技術本部 (本部長)	

<部会員>

区分	氏名	フリガナ	所属
(主査)	河合英二	カワイ エイジ	森林・自然環境技術者教育会 (主任研究員)
(副主査)	敦賀屋 研次郎	ツルガヤ ケンジロウ	国土防災技術 (株) 技術本部第一技術開発センター (課長補佐)
部会員	浅野志穂	アサノ シホ	森林総合研究所 治山研究室 (室長)
部会員	土佐信一	トサ シンイチ	国土防災技術 (株) 技術本部技術部情報技術課 (課長)

<委員会事務局>

山崎 勉 国土防災技術 (株) 技術本部技術部長

中村 清美国土防災技術 (株) 技術本部技術部海外協力課 (担当課長)

<オブザーバー>

弘中 義夫 森林保全・管理技術研究会事務局

高橋 滋明 森林保全・管理技術研究会事務局

(2) 検討事項

2年間の事業期間における検討事項は以下の通りである。

1) 治山施設等の点検手法の開発

- ①治山施設の点検要領および補修・補強等に関する資料収集・整理
- ②工種（溪間工・山腹工）および構造（コンクリート、鋼製・木製）に応じた点検手法の検討

2) 劣化リスクの判断手法の開発

- ①構造等の違いによる劣化形態とその原因・要因に関する検討
- ②劣化リスクの判断手法の検討

3) 治山施設等の補修・修繕・補強・改築・改良・取り替え手法の開発

- ①補修・補強等対策手法の事例とりまとめ
- ②対策手法の考え方とその分類
- ③維持管理の容易な施設についての提言

(3) とりまとめ

検討員会の討議を踏まえて、治山施設維持管理技術の現状と今後のあり方に関する年度成果を報告書にまとめる。

第3節 事業期間

平成26年7月～28年6月（2年間）

第4節 研究調査スケジュール

調査項目	H26年度		H27年度	
(1) 治山施設等の点検手法の開発				
①治山施設点検要領および補修・補強等に関する資料収集・整理	←→			
②工種（溪間工・山腹工）および構造（コンクリート、鋼製、木製）に応じた点検手法の検討		←→		
(2) 劣化リスクの判断手法の開発				
①構造の違いによる劣化と原因・要因に関する検討			←→	
②劣化リスクの判断手法の検討			←→	
(3) 治山施設等の補修・修繕・補強・改築・改良・取り替え手法の開発				
①補修・補強等対策手法の事例とりまとめ				←→
②対策手法の考え方とその分類				←→
③維持管理の容易な施設についての提言				←→

第5節 委員会開催状況

委員会は下記の通り実施した。

○平成26年度第1回委員会

開催日：平成27年4月29日 13:30～16:00

開催場所：国土防災技術（株）虎ノ門本社 5F 会議室

委員会検討内容：

- ① 治山施設点検要領・点検評価シートに関する内容検討
- ② 治山施設の補修・補強等事例に関する内容検討
- ③ 工種（溪間工・山腹工）に応じた点検手法の検討
- ④ 構造（コンクリート、鋼製、木製）に応じた点検手法の検討

○平成27年度第1回委員会

開催日：平成28年4月26日（火）13:30～16:00

開催場所：国土防災技術（株）本社会議室

出席委員：石川芳治（委員長）、土屋 智、川邊 洋、執印康裕、浅野志穂、河合英二、榎田充哉

委員会検討内容：

- ① 構造等の違いによる劣化形態とその原因・要因に関する検討
- ② 劣化リスクの判断手法の検討

○平成27年度第2回委員会

開催日：平成28年5月28日（土）13:30～16:30 場所：国土防災技術（株）本社会議室

出席委員：土屋 智（委員長）、川邊 洋、執印康裕、浅野志穂、河合英二、榎田充哉

委員会検討内容：

- ① 補修・補強等対策手法の事例とりまとめ
- ② 対策手法の考え方とその分類
- ③ 維持管理の容易な施設についての提言

第6節 報告書の要約

3章 治山施設点検要領および治山施設の補修・補強等事例に関する内容検討 (H26 実施)

治山施設点検に係る林野庁および都道府県の動向について整理を行った上で、通常入手可能（インターネット上で公開されている、施設点検業務発注時の特記仕様書として用いられている等）な範囲で、治山施設点検要領および点検評価シートを収集し、それぞれの特徴（利点・欠点等）を整理した上で、施設点検経験者からの意見聴取、委員会での委員からの意見も踏まえ、点検者にとって使いやすい調査票の工夫点を示した。

4章 工種および構造に応じた点検手法の検討 (H26 実施)

災害対応技術部会独自で実施した調査結果のレビューによって、溪間工（谷止工・床固工）および山腹工の劣化・損傷が発生しやすい箇所を分析したところ、砂防施設の被災実態調査の結果とほぼ同様であったことから、砂防関係施設点検要領（案）に示される点検項目や健全度評価基準がほぼ準用できると判断した。また、構造（コンクリート、鋼製、木製）毎の詳細調査手法（劣化・損傷度の定量的把握手法）について分類し、把握できる内容や適用できる工種について整理を行った。

5章 構造等の違いによる劣化形態とその原因・要因に関する検討 (H27 実施)

構造（コンクリート、鋼製、木製）毎に劣化形態とその原因・要因について、それぞれの特徴等について整理を行った。一般的に治山施設は厳しい自然環境下で置かれるため、材料としての要因（凍害、アルカリ骨材反応、塩害等）に加え、治山施設を取り巻く環境要因（降雨、気温、地盤状況、pH 等）が劣化を促進させる大きな要因であることを示した。

6章 劣化リスクの判断手法の検討 (H27 実施)

劣化リスクを「環境要因の度合いなど今後のリスクも考慮した劣化度」と定義した上で、劣化度（ひび割れ、腐食量等）の閾値や計測手法について整理を行った上で、劣化度に環境要因を考慮する方法について検討した。その結果、治山施設個別施設計画策定マニュアル（案）に示される点検から診断、長寿命化対策に至るまでのフローの中に、「環境要因点数表」による評価によって、劣化・損傷を受けた施設の対策の可否を判断する考え方を組み込む方法を提案した。

7章 補修・補強等対策手法の事例とりまとめ (H27 実施)

構造（コンクリート、鋼製、木製）毎に、補修・補強等対策手法の事例を取りまとめた。また、コンクリートの補修事例は治山施設では少ないことから、治山施設に類似する施設として、農業水利施設（開水路）での補修事例を示した。

8章 対策手法の考え方とその分類 (H27 実施)

治山施設の長寿命化対策手法について、対策の種類（補修、機能強化、更新）と構造（材質）によって分類した上で、劣化・損傷の形態別に補修・機能強化の工法選定フローを示した。

9章 維持管理の容易な施設についての提言 (H27 実施)

維持管理の容易な施設について、「点検の実施が容易な施設」、「詳細調査、補修等の実施が容易な施設」、「損傷しにくい施設（未然対策）」の3タイプに分類し、維持管理を容易に行えるための工夫点等について整理した。

第2章 本研究で対象とする施設等について

(1) 対象施設

- ・ 主に山地防災を目的とした治山施設（治山台帳に記載された施設）を対象とし、工種は溪間工、山腹工、構造はコンクリート、鋼製、木製のものを対象とする。
- ・ 地すべり対策施設（地すべり対応部会と内容が重複）、海岸施設は対象としない。
- ・ 緑化工の一部として施工され、緑化が進めば腐食して自然に戻る工種（木柵工や丸太筋工など）施設は点検対象に含めない。

(2) 対象とする施設の破損・劣化事象

本研究では、施設が破堤、底抜け等が発生して機能不全に陥り、新たに作り替えが必要な被災事象は対象とせず、施設の補修が可能な「被災」、「劣化」、「損傷」（摩耗、腐食、剥落等）までを対象とする。

(3) 検討する点検・調査種

本研究で検討する点検および調査種は以下の通りである。

点検・調査種	内 容
目視点検	目視による点検（主に外観の変状の有・無）
計測	変状の規模（洗掘深や亀裂の幅等）をメジャー等を用いて計測することにより、変状を定量的に把握する。
打音検査	ハンマーによる打音により内部状況（空洞の有無等）を把握する。足場等は設置せず、手の届く範囲での実施を基本とする。
詳細調査	ボーリング調査やコア抜きにより試料を採取し、各種試験によって内部の変状度を定量的に把握する。 または、物理探査技術を用いた非破壊検査によって内部の状況を面的に把握する。

第3章 治山施設点検要領および治山施設の補修・補強等事例に関する内容検討

第1節 治山施設点検要領に関する内容検討

第1項 治山施設点検に係る林野庁および都道府県の動向

(1) 平成26年8月19日 林野庁インフラ長寿命化計画（行動計画）

政府が取りまとめた「インフラ長寿命化基本計画」(H24.10.4)を受けて、林野庁が管理・所有するインフラの維持管理・更新等を着実に推進するための中長期的な取り組みの方向性を明らかにする計画として策定された。

○対象施設：治山施設（保安施設事業に係る施設、地すべり防止施設）、林道施設（橋梁、トンネル等）

○計画期間：平成26年度～平成32年度

(2) 個別施設計画策定ガイドライン（マニュアル）（仮称）

インフラ長寿命化計画（行動計画）を受けて、個別施設計画策定ガイドライン（マニュアル）（仮称）平成27年度中を目標に作成され、都道府県等に提供される予定である。

なお、林道施設については、治山施設に先駆けて平成27年3月に「林道施設に係る個別施設計画策定のためのガイドラインの策定」および「林道施設長寿命化対策マニュアル（暫定版）」が林野庁から通知されている。

(3) ガイドラインを受けての各県で対応

現状、各県での治山施設・点検維持管理要領やマニュアルはほとんど整備されておらず、平成28年度以降、個別施設計画策定ガイドラインが提供されたのち、各県でマニュアル整備と点検が進む予定となっている。

以下に、北海道と新潟県での対応方針について記述する。

(i) 北海道（北海道インフラ長寿命化計画（行動計画）より）

(a) 基準等

点検・診断から補修・更新等に至る各段階の対策については、今後林野庁が作成する長寿命化ガイドライン（仮称）を踏まえ、次表の基準類を作成し、適用する。

対象	基準類の名称	策定(改訂)
治山施設	治山施設点検・診断要領(仮称)	平成28年度 (予定)

(b) 点検・診断

治山施設については、治山パトロール事業などにより定期的及び降雨後の状況を把握する点検を行っているが、長寿命化を踏まえた点検・診断に係る手法については、今後林野庁で作成するガイドラインを基に点検・診断要領を作成し実施する。

施設	頻度	点検・診断方法等	実施状況
治山施設	未定	治山施設点検・診断要領(仮称)を平成28年度に策定予定	平成29～平成31年度 1巡目完了(予定)

(c) 情報の蓄積と利活用

治山施設の点検・診断結果や修繕履歴等については、既存の治山台帳システムを基に治山施設の諸元等のデータベースを構築し、効果的かつ効率的な維持管理・更新等の実施に向けて活用する。

対象	データベース名	運用開始
治山施設	治山施設データベース(仮称)	平成30年度 (予定)

北海道での国のガイドラインを受けての一連の流れ(工程表)は以下の通りである。平成28年度に治山施設点検・要領(仮称)が策定された後、平成29年度から本格的な長寿命化を踏まえた治山施設点検が実施される工程となっている。



(ii) 新潟県(公共施設等総合管理計画 H26.10 新潟県より)

「新潟県治山施設点検調査実施要領」に基づき、治山施設の点検を行う。また、点検結果を緊急度に応じ、

- S：緊急に修繕対策が必要
- A：修繕対策施設として計画的に修繕が必要
- B：軽微な異常は確認されるが、施設の機能は維持されているため経過観察とする
- C：異常なし

に分類したうえで、「治山施設修繕計画」を作成し、優先度の高い施設から順次計画的に対応することにより、治山施設の効果を持続させるとともに山地災害等の防止を図る。

なお、林野庁が策定した「インフラ長寿命化計画(行動計画)」に基づき、新潟県の治山施設に関する「個別施設計画」を策定される予定である。

北海道での流れは他県でも同様と見られ、各県で治山点検マニュアルの整備が進むのが平成28年度以降で、そこから全国的に本格的な治山施設点検がスタートするものと想定される。

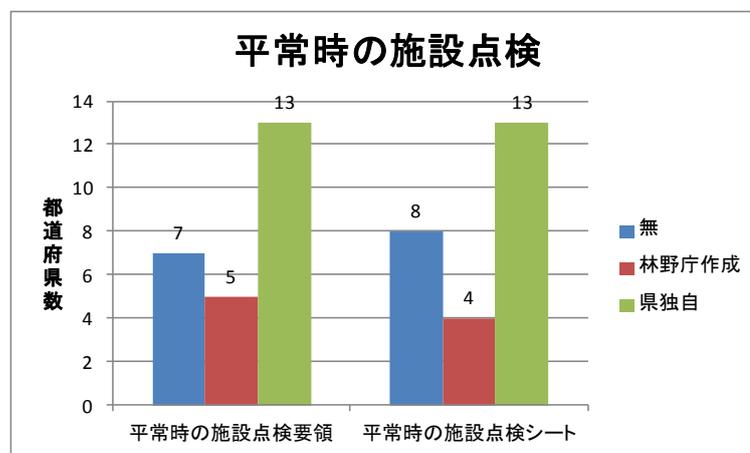
第2項 都道府県の施設災害調査マニュアルの整備実態

平成 25 年度に災害対応技術部会において、施設点検要領や施設点検シートの整備の状況を把握するため、独自の調査を行っている。各都道府県の林務部署を対象としたその調査（現役及びOB等への聞き取り調査）の項目は以下の表の通りである。

表 3-1 緊急調査要領等に関する H25 年度調査の設問

No.	区分	設問内容
1	平常時の施設点検要領	平常時の施設点検に関する調査要領は都道府県オリジナルの内容か、林野庁策定のものか。
2	平常時の施設点検シート	平常時の施設点検シート（調査表）は都道府県オリジナルの内容か、林野庁策定のものか。

独自調査によって都道府県の中で 25 県の情報が入手できた。その結果を下図に示す。



この結果を見ると、平常時の施設点検要領を整備している県は 18 県、平常時の施設点検シートを整備している県は 17 県であった。

都道府県では林野庁作成の点検要領を用いて点検を実施している県よりも、独自に点検要領を作成している県の方が多かった。しかし、点検要領は内部資料としての扱いで公開されていないケースも多い。

第3項 既往の治山施設点検要領

通常入手可能（インターネット上で公開されている、施設点検業務発注時の特記仕様書として用いられている等）な範囲で既往の治山施設点検要領および点検シートを収集したところ、林野庁策定要領、新潟県、兵庫県の 3 種類の点検要領が収集できた（点検要領および点検シートは別紙参照）。それぞれの特徴について以下に整理した。

(1) 林野庁策定要領

- ・ 通達として全県に公表されており、治山施設点検の共通フォーマットと呼べる。
- ・ 目視点検と同時に、必要に応じて**打音検査の実施**することとなっている。
- ・ **写真撮影のポイントが詳細に記載されている。**
- ・ 携帯型 GPS による施設位置（緯度・経度）の把握
- ・ 点検票は、現地点検シート、点検整備表、状況写真表によって構成され、必要に応じて石積調査（石積構造の場合）、治山ダム見取図（構造図が無い場合）が用意されている。
- ・ 点検整備表は工程（溪間工・山腹工等）ごとに作成されておらず、文字による記載事項が多く、

データベース化が難しい。

(2) 新潟県

- ・ 点検票は、目視検査のみを対象とした様式となっている。
- ・ 点検票は、調査シートのみで写真帳は無い。
- ・ 治山台帳索引番号の記入。
- ・ 携帯型 GPS による施設位置（緯度・経度）の把握。位置計測基準箇所を定めている。
- ・ 調査シートは工種、構造毎（溪間工、山腹工、地すべり対策工、海岸構造物、なだれ対策工、落石対策工、木製構造物）に分けられており、文字による記載少なくチェック項目が多いので、林野庁フォーマットと比較してデータベース化し易い。
- ・ **写真帳の様式が無く、写真データについては JPEG 形式での納品を前提**としており、フォルダ構成や命名規則が決まっており、納品後の管理がしやすくなっている。

(3) 兵庫県

- ・ 点検票は、目視検査のみを対象とした様式となっている。
- ・ 点検票は、治山施設点検評価シート（新潟県の調査シートに近い）、写真帳（全景、個別）によって構成される。
- ・ 治山台帳索引番号の記入。
- ・ 携帯型 GPS による施設位置（緯度・経度）の把握。位置計測基準箇所を定めている。
- ・ 調査シートは工種、構造毎（溪間工、山腹工、落石予防工（RR 工法）、木製構造物）に分けられており、文字による記載少なくチェック項目が多いので、林野庁フォーマットと比較してデータベース化し易い。
- ・ 治山施設の点検と同時に、**周辺山地の点検調査（山地災害危険地区調査に基づく）も実施し、総合的に緊急度（定期点検の頻度）を評価**する仕様となっている。なお周辺山地の点検調査の対象は「山地災害危険地区と重複していない土石流危険溪流」を抽出した上で実施する。

それぞれの利点としては、林野庁フォーマットは写真撮影ポイントが詳しく記載されており、状況写真が点検者によってばらばらになる恐れが少ない。一方、新潟県、兵庫県のものは、点検シートのチェック項目多くデータベース化しやすい利点がある。また、新潟県のように写真データ（JPEG 形式）の格納規則が決まっており、写真データ管理がしやすくなっている。

第4項 使いやすい点検シートのイメージ

都道府県の様式をベースとして、前述した林野庁様式のメリットを盛り込み、さらに補修・補強実施まで考慮した点検シート（溪間工）の改良イメージを以下に示す。

治山施設点検 評価シート

●溪間工（谷止工、護岸工等）

No.

現地調査者所属				点検年月日				
治山台帳ID				点検者氏名				
施工年度				計画番号				
施工箇所				事業名				
保全対象								
工種	点検項目	異常		異常の概略	工種	点検項目	異常	
		あり	なし				あり	なし
No. 1 ○ 谷止工 ○ 床固工 ○ 帯工 打音検査	種別				□ 護岸工	種別		
	諸元					諸元		
	位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"				位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"	
	GPS/FIS-番号	E: 0° 0' 0.0"				GPS/FIS-番号	E: 0° 0' 0.0"	
	法線異常					法線異常		
	変形					変形		
	傾倒					傾倒		
	洗掘					洗掘		
	袖部突っ込み					端部突っ込み		
	異常堆砂					コンクリート異常		
コンクリート異常				枠材の腐食等				
枠部材の異常				詰石の異常				
詰石の異常				接続部漏水				
漏水				本体の破損				
縦横打継目				周辺の土砂崩れ				
本体の破損、亀裂								
周辺の土砂崩れ								
健全箇所		静音・濁音						
変状箇所		静音・濁音						
土石の堆積状況		満砂・未満砂						
		0						
施設周辺の林地の状況				手前は道、奥は林で日当たりは良い				
現地調査者 総合判定 <small>(外部委託の場合に記入する)</small>	○ S 緊急に修繕が必要		摘要	(異常の発生時期、修繕方法、概算工事費、判定の理由など)				
	○ A 修繕対策施設として計画的に修繕を実施			詳細調査実施有・無 詳細調査の実施理由：(例) 堤体内部構造把握のため				
	○ B 施設の機能は維持されているため経過観察とする							
農林事務所 総合判定 確認日	○ C 異常なし		摘要	(異常の原因、修繕予定時期、修繕方法、概算工事費、判定の理由など)				
	○ S 緊急に修繕が必要							
	○ A 修繕対策施設として計画的に修繕を実施							
○ B 施設の機能は維持されているため経過観察とする								
○ C 異常なし								
明治33年1月0日		災害時緊急点検の必要 ○あり ○なし						
定期点検計画	○ A 点検を要する		摘要 (左記の判断理由)					
	○ B 今後点検を要さない							
	○ C その他							

第5項 治山点検実施者からの意見聴取

治山点検実施経験者から、既往の点検表を使って治山施設点検を実施した場合の問題点についてヒアリングを行った。結果を以下に示す。

- ① 治山台帳に記載してある施設の現地での確認が困難なことが多く、非常に多くの時間を費やした（平面図の精度が著しく低く、作業能率を低下させている）。
- ② GPS を使用しての座標計測、写真撮影、記録等、現地での作業時間が予想外に多くかかった（特に急峻な地形を呈する地域）。
- ③ 古い施設では施設までのアクセスルートが途絶えており、対象施設を探すのに時間と労力を費やした。施設を発見できないケースも多々あった。
- ④ 「調査シート記入」や「集計表作成」など作成する様式が多く、内業に時間を費やした。
- ⑤ 撮影写真枚数が多く、写真帳に貼付するのに時間を要した。
- ⑥ 写真等が非常に多くなるため、納品時はプリントアウトせずデータのみ納品してほしい。

第6項 点検要領（マニュアル）および点検表の改善提案

(1) 点検表への GPS 軌跡図の添付

治山事業はほとんどが山地であり、施工から年月が経つと施設までのアクセスルートが樹木で覆われ、対象とする施設位置（緯度、経度）が分かっても、そこにたどりつくまでにかなりの労力を伴う場合がある。そこで、GPS 軌跡図を添付する様式を設け、初回調査時の駐車箇所から対象施設までの軌跡を図示しておくことを提案する。

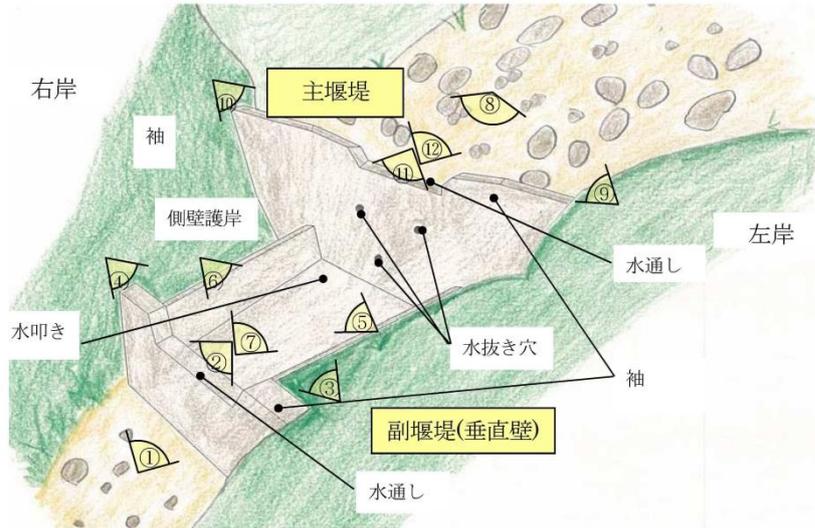


図 3-2 GPS 軌跡図による調査箇所までのルート図

(2) 点検要領への写真撮影ポイントの図示

写真撮影ポイントの点検者による差異を無くすため、または撮影枚数を最小限にするため、撮影ポイントや角度等を示した概略図を点検要領に掲載することを提案する。

砂防堰堤の写真撮影位置図



【写真撮影箇所番号】

番号	撮影位置	撮影対象物	番号	撮影位置	撮影対象物
①	副堰堤*下流 *)または垂直壁	副堰堤下流面全景 副堰堤護床工	⑦	主堰堤下流	主堰堤下流面全景 主堰堤水叩き
②	副堰堤上流	副堰堤上流面全景 副堰堤水通し	⑧	主堰堤上流	主堰堤上流面全景 主堰堤水通し
③	副堰堤左岸袖	副堰堤右岸袖部	⑨	主堰堤左岸袖	主堰堤右岸袖部(袖小口 や袖上部斜面含む)～上流
④	副堰堤右岸袖	副堰堤左岸袖部	⑩	主堰堤右岸袖	主堰堤左岸袖部(袖小口 や袖上部斜面含む)～上流
⑤	左岸側壁	右岸側壁護岸	⑪	主堰堤水通し	砂防堰堤下流全景
⑥	右岸側壁	左岸側壁護岸	⑫	主堰堤水通し	砂防堰堤上流全景

【注意事項】

- ・上図の撮影位置は原則であり、地形や流水の状況等より危険なため当該位置に立つことが困難な場合、撮影対象物が撮影可能な別の位置から撮影してもよい。
- ・撮影位置は、必ず様式2-3-1に記録しておく。
- ・砂防設備等の変状の変化を確認できるよう、損傷等の有無にかかわらず必ず定点から撮影する。
- ・破損箇所の状況が確認できるよう、必要に応じてアップで撮影する。
- ・一つの撮影対象物の写真が複数枚に渡る場合には、写真番号(①②…)の後に枝番(-1、-2)を付す。
- ・副堰堤が2基以上ある場合又は副堰堤の下流に垂直壁がある場合には、写真番号の前にそれぞれ「副下」・「副上」・「垂直」を付するなど区別する。

図 3-3 写真撮影位置図 (広島県砂防施設点検マニュアルより)

(3) スケッチ図の添付

変状の写真は、時間が経過するとどの箇所を撮影したものか判らなくなる可能性があるため、林野庁様式別紙5のような形でスケッチを添付することを提案する。

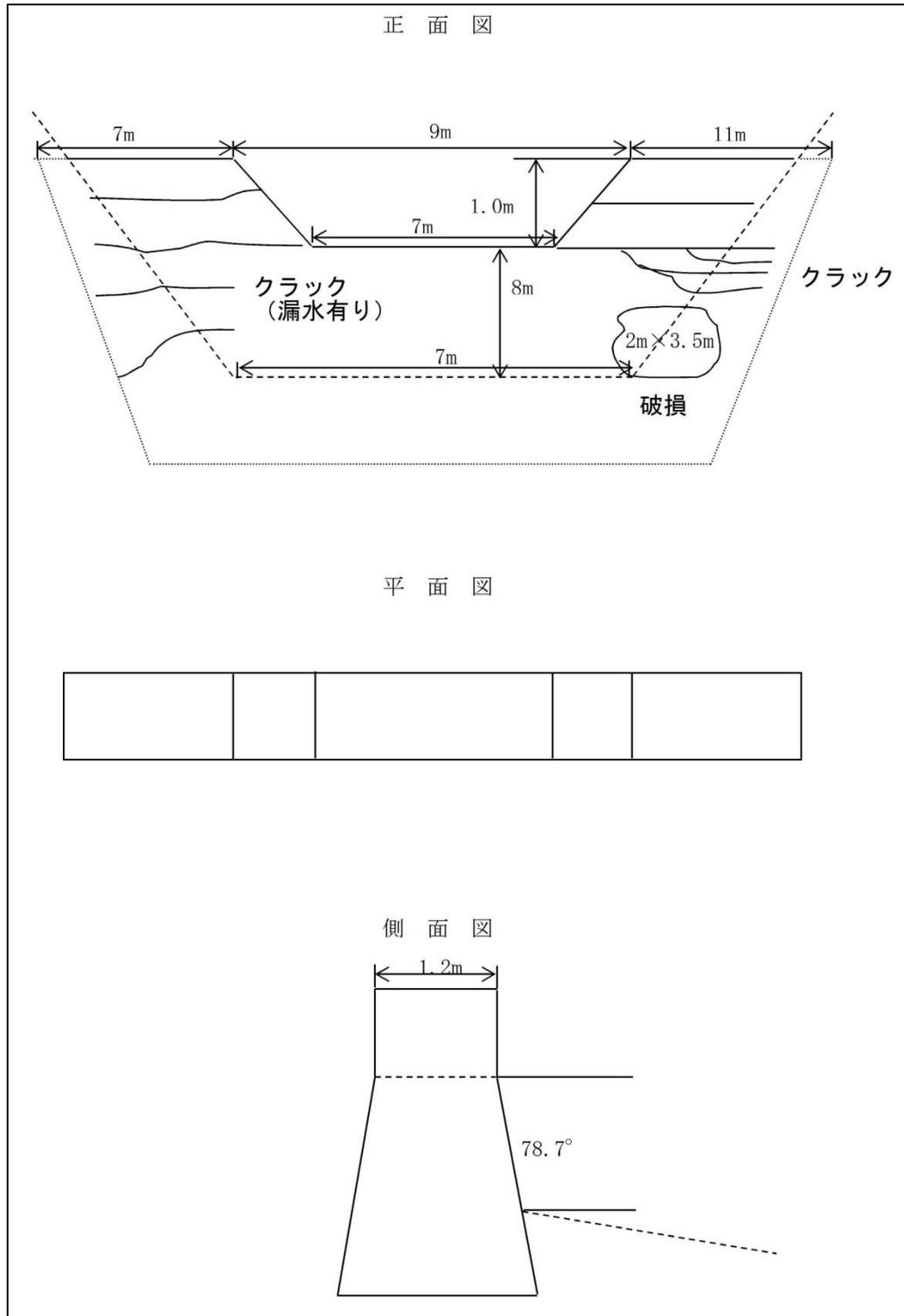


図 3-4 変状箇所を示したスケッチ図 (例)

(4) 電子データによる写真管理（内業の省力化）

写真表として複数の写真を貼付するには労力を要するため、写真表に貼付する写真データについては全景および個別写真数枚（正面、側面およびトピック的な写真）に止め、詳細を撮影した写真は格納規則を決めて電子データとして納品するようにすることを提案する。

別紙2

施設点検写真整理基準

1 写真整理

現地において撮影した治山施設の点検状況写真は、次の規則により電子媒体で整理するものとする。

(1) フォルダ構成

撮影した点検状況写真は、治山台帳（工事台帳）ごとに作成した大フォルダの中に、現地調査日フォルダを作成し、そのフォルダ内に写真ファイルを格納する。

(2) フォルダ命名規則

フォルダの命名は、以下のとおりとし、半角大文字とする。

例) 台帳毎大フォルダ 3-H13-0013 現地調査日フォルダ H18.02.19

地域機関コード

1: 村上 2: 津川
3: 新潟 4: 長岡
5: 南魚沼 6: 上越
7: 糸魚川 8: 佐渡
9: 上越東

T: 大正
S: 昭和
H: 平成

事務所における治山
台帳等索引番号
(年度+4桁数字)

現地調査日

(3) 写真ファイルの保存形式・容量

- ① 写真ファイルの記録形式は、JPEGとする。
- ② 写真1枚あたりの容量は、300KB程度とする。
※ 大量の写真枚数を保存する必要があるため、極力容量を小さくすること。

(4) 写真ファイル命名規則

写真ファイルの命名は、以下のとおりとする。

例) 谷止工（全景）、法枠工（全景）

例) No1谷止工（袖部クラック写真1） 等

(5) その他

- ① 写真編集ソフト等により、撮影した写真をトリミング又はリサイズした場合、撮影年月日等の写真撮影属性が失われないよう留意すること。
- ② 全景写真等を“つなぎ写真”とする場合は、ファイルサイズを極力小さくするように注意し、またつなぐ前の単体写真は、サブフォルダを設けて別途保存しておくこと。

2 保存方法

- (1) 治山施設の点検状況写真は、治山台帳管理システムへ格納するとともに、原本を電子媒体で保存するものとする。
- (2) 保存メディアは、CD-R (RW) 又はDVD-R (RW) とする。
- (3) 保存したCD-R等は、他機種でも読み込みが可能な保存方式とする。

— 373 —

(23.04.01)

図 3-5 写真データ整理方法の例（新潟県治山点検要領より）

(5) 使いやすい点検評価シート (案)

本年に実施した第一回検討委員会において、点検評価シートに関して以下の意見が出た。

- ・ 点検表に変状規模の計測値を記載する欄が必要である。
- ・ 打音検査は劣化の程度を知る上で実施すべきである。その場合、実施箇所 (部位) も記載する必要がある。

施設点検経験者からの意見聴取、委員会での委員からの意見も踏まえ、点検者にとって使いやすい点検評価シートを以下のように試作した。

表 3-2 使いやすい点検評価シート案 (赤字箇所が本研究における工夫点)

治山施設点検 評価シート															
溪間工 (谷止工、護岸工等)										点検年月日					
調査者所属										点検者氏名					
治山台帳LinkID															
工種										No.					
施工年度										事業名					
経度					度	分	秒	緯度					度	分	秒
施工箇所										方位					
種別										諸元					
工種	点検項目	異常		異常の規模*			異常の概略	工種	点検項目	異常		異常の規模*			異常の概略
		あり	なし	本数	延長	幅				深さ	あり	なし	延長	幅	
谷止工 床固工 帯工	法線異常							護岸工 流路工	法線異常						
	変形								変形						
	傾倒								傾倒						
	洗掘								洗掘						
	袖部突込み								袖部突込み						
	異常堆砂								コンクリート異常						
	コンクリート異常								枠材の腐食等						
	枠部材の異常								詰石の異常						
	詰石の異常								接続部漏水						
	漏水								本体の破損						
	縦横打継目								周辺の土砂崩れ						
	本体の破損、亀裂														
	周辺の土砂崩れ														
	上流部の異常な滞水								共通	安全施設の異常					
土砂の堆積状況	満砂	未満砂													
流木の堆積状況							その他								
打音検査		静音	濁音				音 (例: キンキン、ドスドス)								
		健全箇所													
		変状箇所													
現地点検者 総合判定	OS	緊急に修繕が必要										概要	(異常の原因、修繕予定時期、修繕方法、概算工事費、判定の理由など)		
	OA	修繕対策施設として計画的に修繕を実施													
	OB	施設の機能は維持されているため経過観察とする													
	OC	異常なし													
※異常の規模の計測項目															
本体の亀裂	本数	延長	幅	深さ(推定)	延長はメートル単位で記載、幅、深さはセンチメートル単位で記載										
洗掘	延長	幅	深さ												
傾倒	傾き	沈下量	傾きは角度(°)を記載、沈下量はセンチメートル単位で記載												
変形	変形量	変形量はセンチメートル単位で記載													

第2節 治山施設の補修・補強等に関する資料収集・整理

第1項 収集事例の傾向

治山施設の補修・補強に関する事例を収集したところ、平成27年4月末時点で15件の事例が収集され、いずれも谷止工に関する事例であった。これは多くの場合、補修・補強対策の設計業務として発注される工種は谷止工のみであり、山腹工（土留工・水路工）については原状復帰のための工事発注のみで、補修設計業務が生じないためと考えられる。

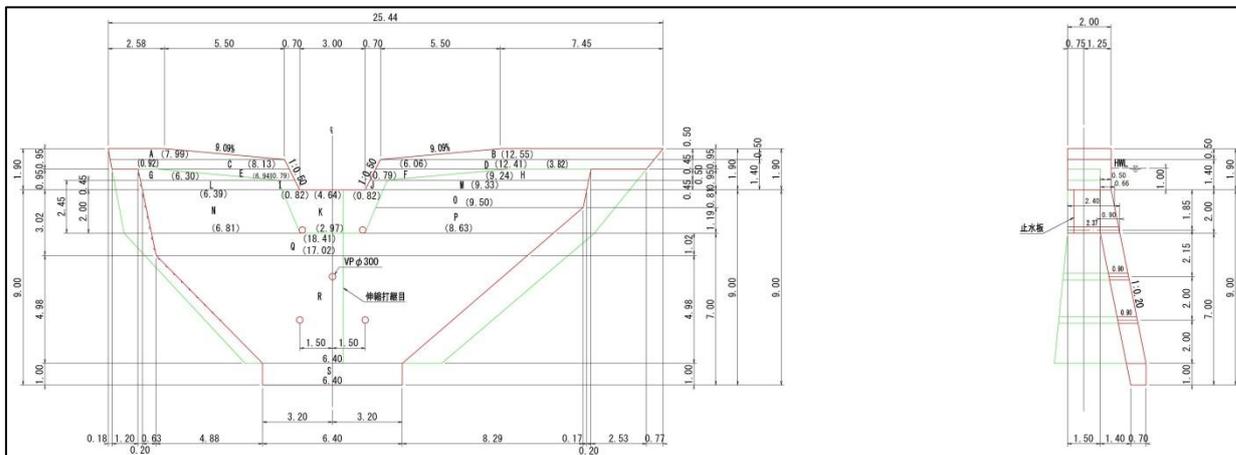


図 3-6 収集事例の一例（谷止工増厚・嵩上）

第2項 収集事例の分析

収集した15事例の傾向等について分析を行った。以下に分析結果を示す。

- ① 嵩上（下流腹付）：5件、嵩上（上流）：4件、嵩上（袖部のみ）：1件、根継工実施：2件、副堤施工による埋戻し：1件、新設（詳細調査の結果、嵩上が困難と判断）：2件
- ② 嵩上方法は治山関連基準には記載無く、国土交通省中部地方整備局発行の「砂防施設設計要領（案）」に従っている（既設への付着を確実にを行うため、チップング、挿し筋を併用している）。
- ③ 嵩上高は1.5～5.0mであり、嵩上高2.0mの事例が最も多い。
- ④ 根継工は「治山必携（災害編）」に従って実施している。
- ⑤ 副堤による埋戻しは、脚部洗掘が著しく、これ以上の掘削は困難と判断の上実施している。
- ⑥ 目視点検以外の詳細調査は実施事例が3件のみ、玉石コンクリートなど堤体内部の状況が分からない場合に実施している。
- ⑦ 施設の健全性、安定性を評価するための詳細調査は、簡易的に実施する場合はコア抜きによる試料調査、本格的に実施する場合はボーリングコアによる資料調査、ボアホールスキャナ観測等を実施している。

また、本年度委員会において、補修・補強等事例の整理方法について以下の意見があった。

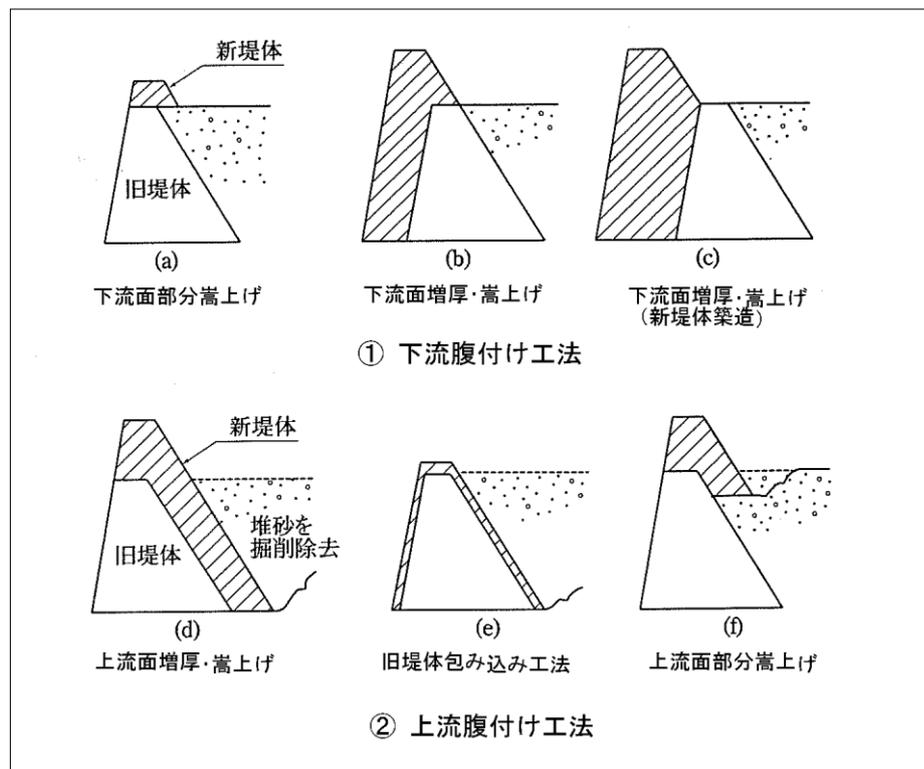
- ・ 事例は補修と補強に分けて整理するべき。
- ・ 嵩上げの目的や理由なども記載が必要である。

第3項 堤体嵩上げ工法の分類【参考】

堤体の嵩上げ工の方法は大別すると図 3-7 に示すように①下流面腹付け工法と②上流面腹付け工法に分類できる。両工法の特徴は次の通りである。

なお、下記の内容は、「砂防施設設計要領(案)」平成 16 年 3 月(国土交通省 中部地方整備局)及び「砂防設計の手引き」平成 20 年 3 月(愛知県建設部)を参考とした。

- ① 下流面腹付け工法は、堤体背後の堆砂域は現状のまま簡易な水替えで施工が可能であり施工上有利であるが、主応力の方向と継目の方向が同方向となり応力上良好とはいえない。
- ② 上流面腹付け工法は、施工上、堤体背後の堆砂域内の堆積土砂を掘削除去(施工上必要範囲)し、施工箇所を確保するため転流工が必要となる。応力上は、主応力の方向と継目の方向が直交するため下流面腹付けに対して有利となる。



上図の (a) 及び (f) の部分嵩上げ工法は、嵩上げによる作用荷重の増分を旧堤体で受け持つ構造である。よって、この型式を採用する場合は旧堤体が健全な状態でなければならない。(b), (c), (d) の工法は旧堤体が健全な状態でない場合の補強対策を併用した嵩上げ工法である。

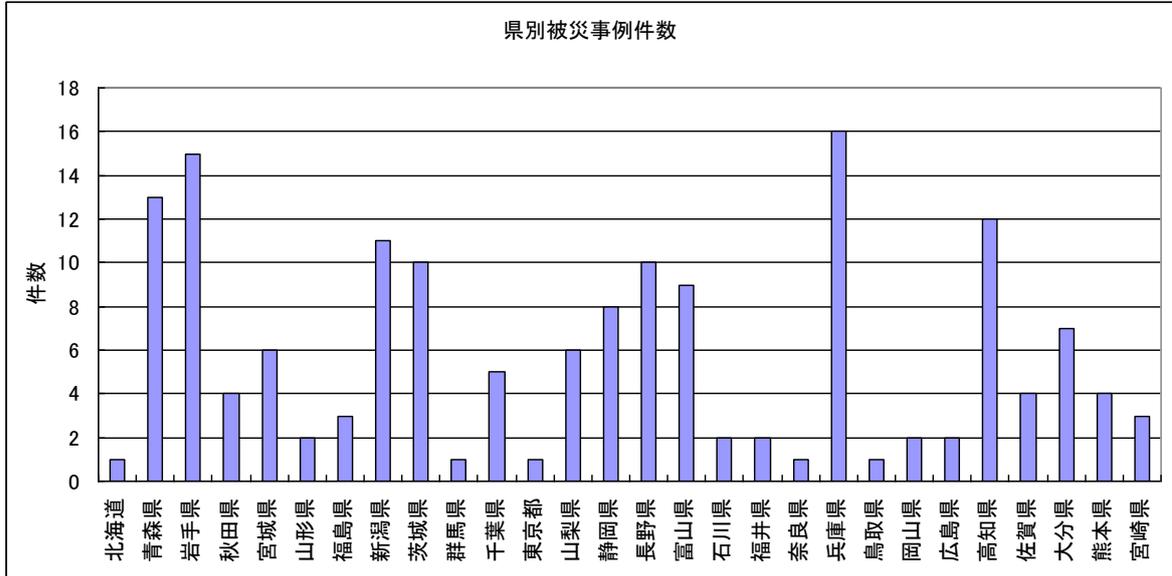
図 3-7 堤体嵩上げ工法の種類

第4章 工種および構造に応じた点検手法の検討

第1節 過年度成果のレビュー

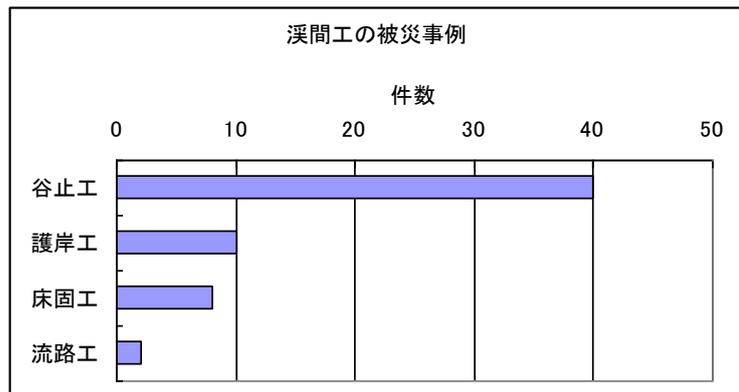
第1項 防災施設の被災実態調査の実施結果

平成25年度に災害対応技術部会独自で実施した調査結果を以下に示す。被災施設の事例は28都道府県で176事例であった。都道府県毎の被災事例件数は以下の通りである。



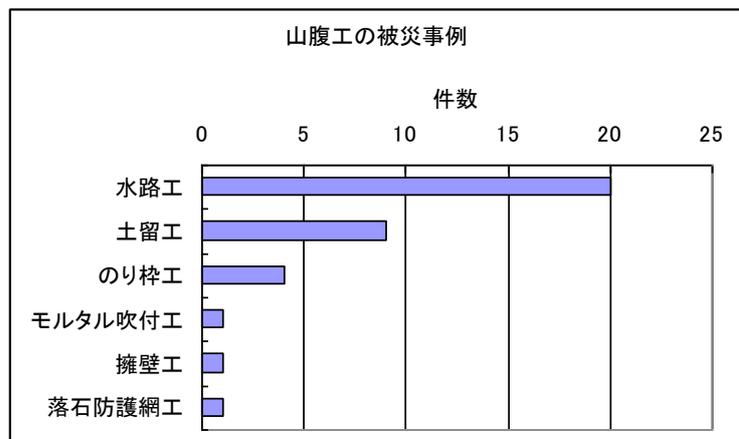
溪間工

工種	回答数
谷止工	40
護岸工	10
床固工	8
流路工	2



山腹工

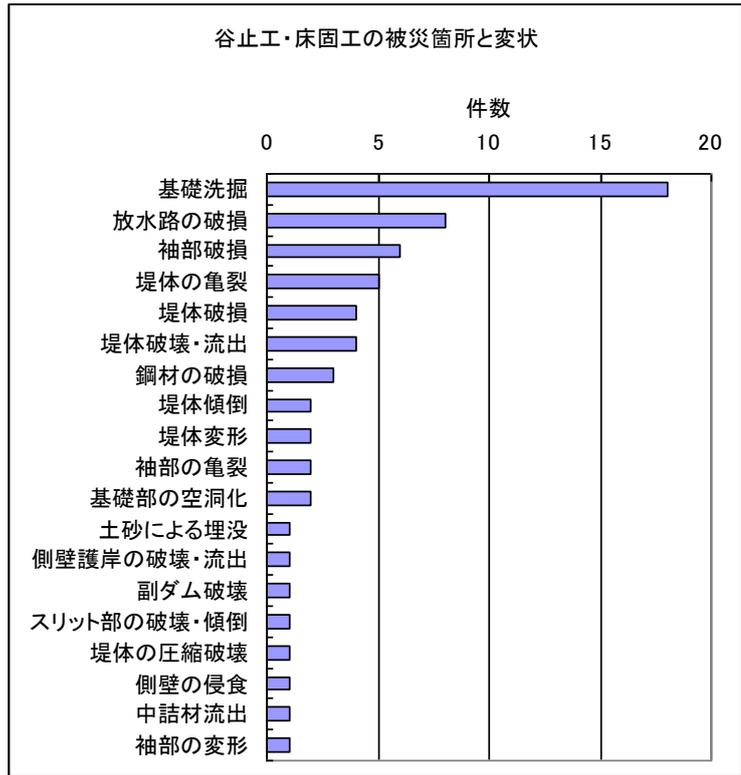
工種	回答数
水路工	20
土留工	9
のり枠工	4
モルタル吹付工	1
擁壁工	1
落石防護網工	1



第2項 対策工種毎の被災箇所と変状

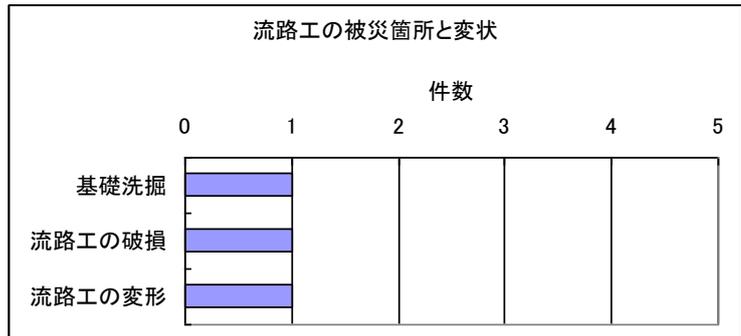
谷止工・床固工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	18
放水路の破損	8
袖部破損	6
堤体の亀裂	5
堤体破損	4
堤体破壊・流出	4
鋼材の破損	3
堤体傾倒	2
堤体変形	2
袖部の亀裂	2
基礎部の空洞化	2
土砂による埋没	1
側壁護岸の破壊・流出	1
副ダム破壊	1
スリット部の破壊・傾倒	1
堤体の圧縮破壊	1
側壁の侵食	1
中詰材流出	1
袖部の変形	1



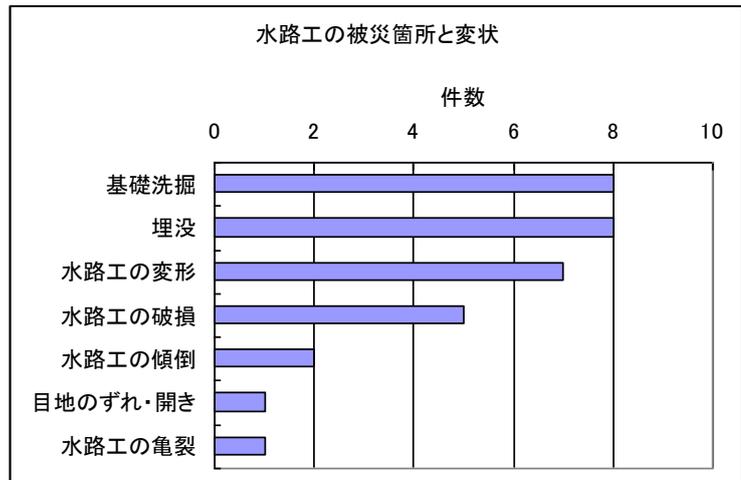
流路工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	1
流路工の破損	1
流路工の変形	1



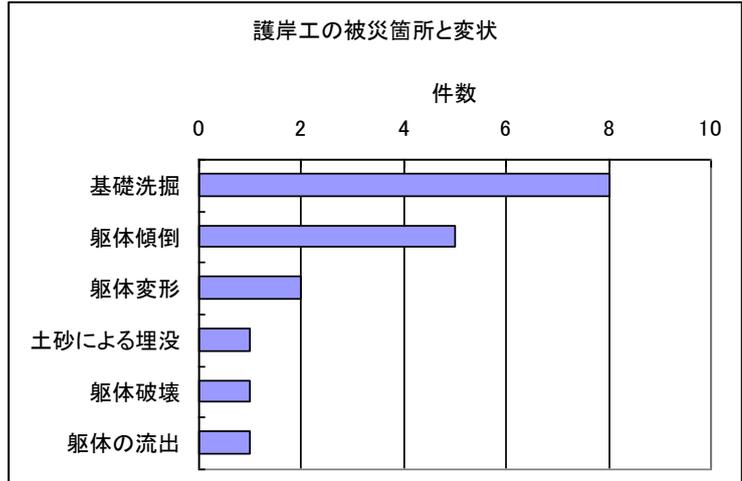
水路工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	8
埋没	8
水路工の変形	7
水路工の破損	5
水路工の傾倒	2
目地のずれ・開き	1
水路工の亀裂	1



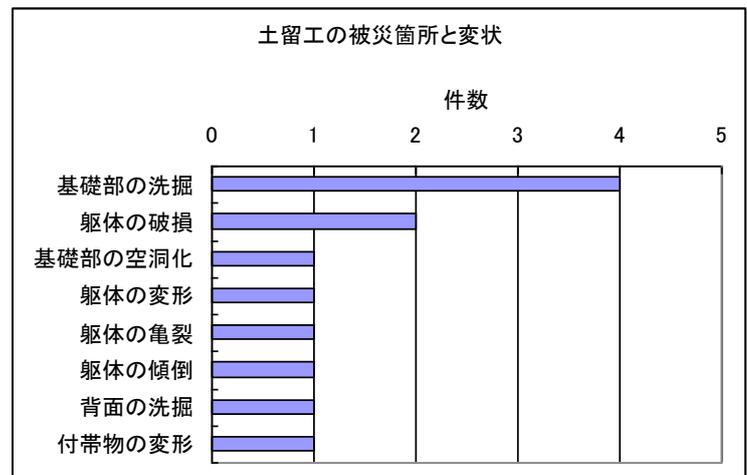
護岸工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	8
躯体傾倒	5
躯体変形	2
土砂による埋没	1
躯体破壊	1
躯体の流出	1



土留工

変状の種類	回答数
基礎部の洗掘	4
躯体の破損	2
基礎部の空洞化	1
躯体の変形	1
躯体の亀裂	1
躯体の傾倒	1
背面の洗掘	1
付帯物の変形	1



のり枠工

変状の種類	回答数
背面の洗掘・空洞化	2
のり枠の崩落	2

モルタル吹付工

変状の種類	回答数
モルタルの亀裂	1
モルタルの座屈	1

擁壁工

変状の種類	回答数
基礎洗掘	1

落石防護網工

変状の種類	回答数
全体が崩落	1

<被災箇所と変状のまとめ>

- ・ いずれの工種においても「基礎洗掘」が最も多い。
- ・ 谷止工・床固工では「基礎洗掘」の次に「放水路の破損」、「袖部破損」、「堤体破損」と続く。
- ・ 水路工では「基礎洗掘」、「埋没」、「水路工の変形」と続く。
- ・ 護岸工では「基礎洗掘」、「躯体傾倒」がほとんどを占める。
- ・ 土留工では「基礎洗掘」、「躯体破損」がほとんどを占める。

第3項 砂防堰堤の被災事態調査

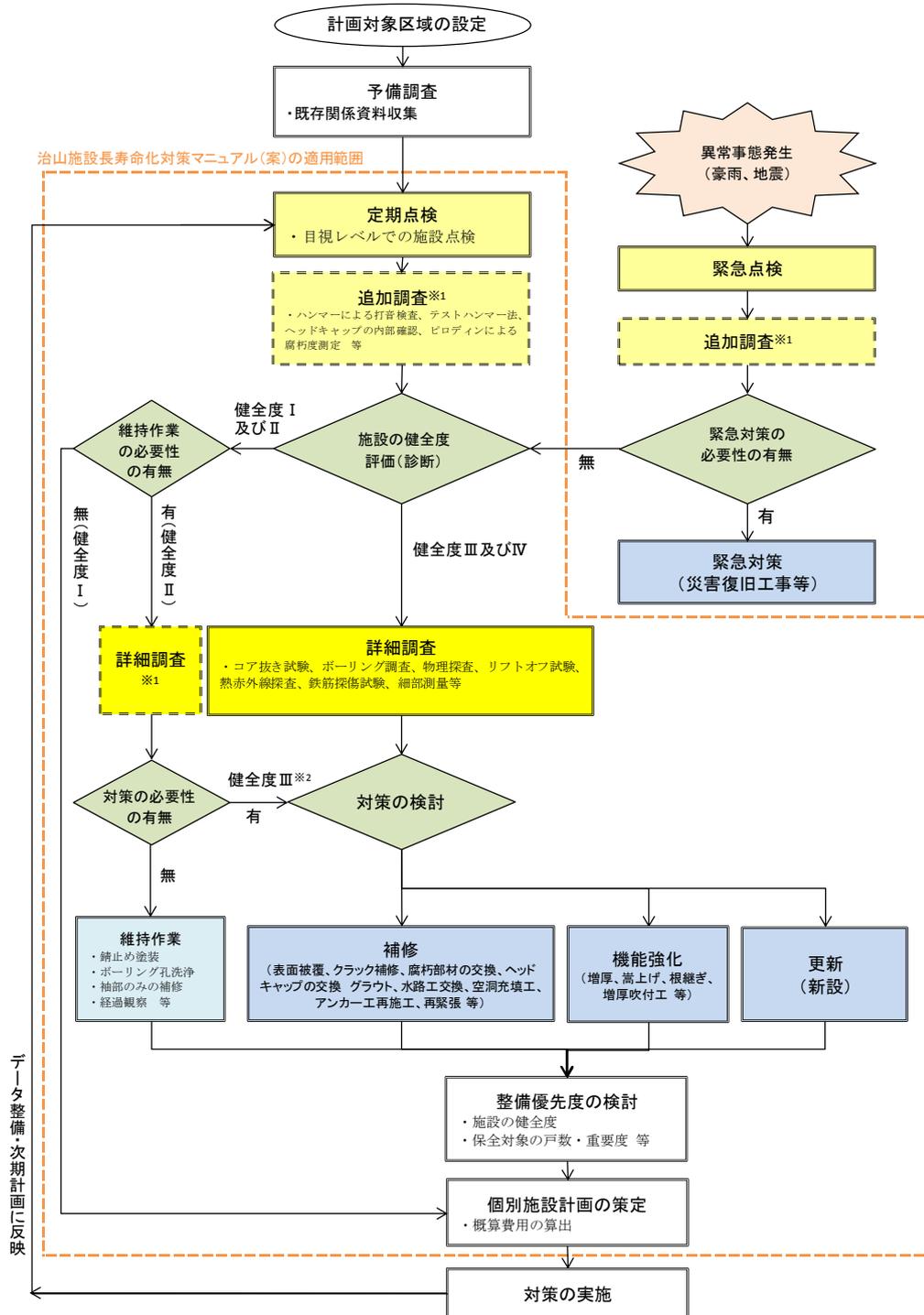
建設省土木研究所砂防研究室が昭和 62 年 4 月に実施した砂防ダムの災害事態調査によれば、砂防ダムの年平均発生件数は約 10 件であり、内訳をみると、前庭部、本堤基礎、副堤基礎、副堤下流の洗掘と、本堤水通し部の破損、本堤袖部の破損が多くなっており、H25 災害対応部会での溪間工被災の集計結果と同様となっている。

表 4-1 砂防ダムの形態別災害件数 (砂防ダムの災害実態調査 S62.4 建設省土木研究所砂防研究室)

災 害 決 態	30～53 年 度(直轄)	54～60 年 度(直轄)
本堤 水 通 し 部 破 損	38	9
〃 袖 部 破 損	16	8(内 4 件桜島)
〃 下 流 法 の 洗 掘	10	0
〃 ク ラ ッ ク	3	1
〃 倒 壊 (一 部 , 全 壊)	3	1(桜島)
水 叩 部 破 損	15	1
前庭部または本堤基礎の洗掘	58	11
側 壁 護 岸 の 破 損	7	3
副 堤 破 損	21	3
副堤基礎または下流の洗掘	40	27
下 流 ブ ロ ッ ク 流 失	5	3
ダム・取 付 部 欠 壊	9	0
漏 水	0	0
魚 道 欠 壊	0	0
袖 部 越 流	1	0
大 暗 渠 破 損	1	0
異 状 埋 塞	0	0
地 沁 り に よ る ダ ム の 移 動	0	1
計	227	68

第2節 点検フロー

林野庁の治山施設個別施設計画策定マニュアル（案）には、点検実施から診断、長寿命化対策（維持作業、補修、機能強化、更新）に至るまでの個別施設計画の一連の流れとして、以下のフローが示されている。



※1: 必要に応じて実施

※2: 対策の必要性有(健全度がⅡからⅢに低減)の判断は、詳細調査の実施を基本とする。

注) 個別施設計画の対象から除外した施設についても、豪雨後等の緊急点検等の機会に施設を点検し、対策の必要性の有無を判断する。

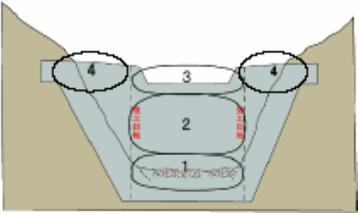
図 4-1 個別施設計画に係る計画策定から対策実施までの流れ

治山施設個別施設計画策定マニュアル（案） p.17 より

第3節 工種（溪間工・山腹工）毎の点検手法の検討

第1項 溪間工の点検手法

溪間工の破損、劣化が生じやすい箇所および要因、特徴等を表すと、概ね以下のように表される。

破損・劣化箇所および項目			要 因	破損・劣化の特徴
主な破損・劣化箇所	箇 所 番 号	項 目		
	1	基礎洗掘	・流水の落下 ・(脆弱な地質)	・流水, 土石流等による外的要因によって破損の発生する例が多いが, 漏水等, コンクリートの劣化による内的要因によるものもみられる。
	1	水叩きの破損	・流水および礫の落下 ・水叩き厚不足	
	2	堤体の摩擦	・土石流 ・送流砂礫	
	3	水通しの摩耗、浸食、破損	・土石流 ・送流砂礫	
	4	袖部の破損	・土石流 ・一般洪水	
	全体	漏水	・コンクリートの劣化 ・打継ぎの処理不良	
	全体	堤体の変形・亀裂等	・地盤の支持力不足 ・土石流の衝突	

※「中山間地域等における歴史的砂防施設の保存活用による地域活性化調査報告書」(平成 15 年 3 月, (社)土木学会 (財)砂防フロンティア整備推進機構) より加筆

(1) 目視点検

溪間工の目視点検手法については、過去に多くの調査が実施されてきており、既往の治山点検要領および点検シートを見ても、上記の着目すべき部位（破損・劣化箇所）に応じて具体的なチェック項目が示されている。また、この要領および点検シートを用いて実施されてきた過去の点検データの蓄積があるため、項目を大幅に変更することは望ましくないと考えられる。

表 4-2 林野庁治山施設現地点検シート（赤囲みが溪間工に関する項目）

別紙	
〈治山事業用現地点検シート〉	
調査日	平成 年 月 日 調査者
施工箇所	国有林 _____ 林小班 _____ 沢名 _____
	堤名板（施工年度 T S H _____ 年度 _____ 施工業者 _____ 発注者 _____ No. _____）
写真撮影	有 無（ _____ ）
GPS情報	（北緯） _____ （東経） _____
工 種	<input type="checkbox"/> 溪間工（護岸工を含む）（種別：（例）コンクリート、練石積、鋼製等 _____）
	ダム構造 天端幅 _____ m 堰堤有効高（下流） _____ m 放水路下長 _____ m
	（別紙5見取り図 有 無）その他 _____
調査内容	<input type="checkbox"/> 基礎部の洗掘 <input type="checkbox"/> 袖取付部の浸食 <input type="checkbox"/> 堆砂未了深さ _____ m <input type="checkbox"/> 堤体の損傷 <input type="checkbox"/> 僅かに損傷が見られる程度である <input type="checkbox"/> ヘアークラックが入っているがダム機能に問題はない <input type="checkbox"/> ダムの一部が損壊していて、将来的には対策が必要である
所見	<input type="checkbox"/> 将来的な対策が必要 <input type="checkbox"/> 早急な対策が必要（具体的に所見欄に記入）
工 種	<input type="checkbox"/> 山腹工（落石防止施設等を含む）
調査内容	<input type="checkbox"/> 施設の倒壊、洗掘、破損、沈下、腐食、はらみ出し、緩み、曲り、変形、亀裂等 <input type="checkbox"/> 法面の崩壊、堆積、亀裂、浸食 <input type="checkbox"/> 集排水施設の閉塞、湧水有 <input type="checkbox"/> 植生の浸食、滑落、生育見込み無し、裸地が多い
所見	<input type="checkbox"/> 将来的な対策が必要 <input type="checkbox"/> 早急な対策が必要（具体的に所見欄に記入）
工 種	<input type="checkbox"/> 保安林管理道
調査内容	<input type="checkbox"/> 施設の破損 <input type="checkbox"/> 路肩の決壊 <input type="checkbox"/> 法面の土砂流出 <input type="checkbox"/> 集排水施設の閉塞
所見	<input type="checkbox"/> 将来的な対策が必要 <input type="checkbox"/> 早急な対策が必要（具体的に所見欄に記入）
必要に応じて周辺状況を記載	
溪流の状況	<input type="checkbox"/> 全く荒廃していない <input type="checkbox"/> 溪岸又は溪床浸食が見られる <input type="checkbox"/> 溪流荒廃が進行 <input type="checkbox"/> 山腹崩壊又は土石流の発生が確認できる
森林の状況	<input type="checkbox"/> 適正に維持管理されている <input type="checkbox"/> 手入れ不足の森林が見られる <input type="checkbox"/> 森林荒廃が進行している <input type="checkbox"/> 非常に森林が荒廃している
総合所見（点検状況：施設及び施設周辺の状況、整備状況：施設の補修状況等について）	

注1. 本シートは、治山施設点検整備調査の基礎資料に用いること（監督職員に提出すること）	
2. 該当する <input type="checkbox"/> にチェックマークを記入すること	
3. 治山工事箇所施設図の施工位置を照査すること（GPSを携行し、位置計測を行うこと）	
4. 写真は、全景又は近景及び変状の生じている異常箇所を撮影すること（別紙3の治山施設点検整備調査写真撮影のポイントを参照）	
5. 治山台帳に構造図が添付されていないものについては、別紙5の治山ダム見取図によりダム構造を記録すること	
6. 石積構造物及び特異な石積構造物等については、別紙4の石積調査を行うこと	

表 4-3 都道府県で用いられている溪間工の点検評価シート

別記様式1

治山施設点検 評価シート

●溪間工（谷止工、護岸工等）

No.

				点検年月日					
現地調査者所属				点検者氏名					
治山台帳ID				計画番号					
施工年度				事業名					
施工箇所									
保全対象									
工種	点検項目	異常		異常の概略	工種	点検項目	異常		異常の概略
		あり	なし				あり	なし	
No. 1 ○ 谷止工 ○ 床固工 ○ 帯工	種別				○ 護岸工	種別			
	諸元					諸元			
	位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"				位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"		
	GPS系列番号	E: 0° 0' 0.0"				GPS系列番号	E: 0° 0' 0.0"		
	法線異常					法線異常			
	変形					変形			
	傾倒					傾倒			
	洗掘					洗掘			
	袖部突っ込み					端部突っ込み			
	異常堆砂					コンクリート異常			
コンクリート異常			木材の腐食等						
枠部材の異常			詰石の異常						
詰石の異常			接続部漏水						
漏水			本体の破損						
縦横打継目			周辺の土砂崩れ						
本体の破損、亀裂									
周辺の土砂崩れ									
土石の堆積状況		満砂	未満砂						
		0							
施設周辺の林地の状況				手前は道、奥は林で日当たりは良い					
現地調査者 総合判定 <small>(外部委託の場合に記入する)</small>	○ S 緊急に修繕が必要				摘要	(異常の原因、修繕予定時期、修繕方法、概算工事費、判定の理由など)			
	○ A 修繕対策施設として計画的に修繕を実施								
	○ B 施設の機能は維持されているため経過観察とする								
農林事務所 総合判定 確認日 明治33年1月0日	○ C 異常なし				摘要	(異常の原因、修繕予定時期、修繕方法、概算工事費、判定の理由など)			
	○ S 緊急に修繕が必要								
	○ A 修繕対策施設として計画的に修繕を実施								
○ B 施設の機能は維持されているため経過観察とする									
○ C 異常なし									
災害時緊急点検の必要 ○あり ○なし									
定期点検計画	○ A 点検を要する				摘要 (左記の判断理由)				
	○ B 今後点検を要さない								
	○ C その他								

(2) 詳細調査

詳細調査については構造（コンクリート、鋼製、木製）毎に実施内容が異なるため、「第4章 第4節 構造（コンクリート、鋼製、木製）毎の点検手法の検討」にて後述する。

(3) 健全度評価（変状レベル）

林野庁および各県とも、点検結果を緊急度に応じ、治山施設の修繕の必要性について、現地調査者および農林事務所職員がそれぞれ以下によって判定することとなっている（エラー! 参照元が見つかりません。 下欄参照）。

S：緊急に修繕対策が必要

A：修繕対策施設として計画的に修繕が必要

B：軽微な異常は確認されるが、施設の機能は維持されているため経過観察とする

C：異常なし

しかし、点検者もしくは事務所職員によって判断に違いが生じる可能性があり、ある程度判断基準を示す必要があると考えられる。

なお、「砂防関係施設点検要領（案）H26.9.24 国土交通省砂防部保全課」には、砂防堰堤の模式図と写真によって変状レベルが示されており、治山ダムの変状レベルの判定（健全度評価）にも本砂防要領が十分準用可能であると考えられる。

主な部位の変状レベルの評価基準（砂防堰堤・床固工 1/4）

変状レベル	天端摩耗	ひび割れ	洗掘	漏水
a 軽微な損傷	○変状なし ○軽微な摩耗	○変状なし ○軽微なひび割れ	○変状なし ○軽微な洗掘	○変状なし ○軽微な漏水
	○鉛直方向の摩耗深さが概ね1リフト程度未満	○水平方向ひび割れが各ブロック幅の概ね1/2程度未満	○基礎部の洗掘が堰堤基礎面に達していない	○部分的に漏水している
	○鉛直方向の摩耗深さが概ね1リフト程度以上	○水平方向ひび割れが各ブロック幅の概ね1/2程度以上 ○ひび割れが上下流に連続して発生	○基礎部の洗掘が堰堤基礎面に達している	○本体の広範囲にわたる漏水 ○基礎底部からの漏水 ○両岸地山と堰堤境界面からの漏水
b 損傷があるが、機能・性能低下に至っていない				
c 機能・性能低下あり				
評価の観点	<ul style="list-style-type: none"> 天端摩耗は堰堤の安定性等への直接的な影響は少ない。 貯留堆砂高が低下することより、土砂流送抑制等の機能の低下が生じる。 摩耗が進行すると、流水や流出土砂が摩耗範囲を集中的に流下することとなり、摩耗の進行速度が増加する。 リフト単位での補修が効率的と考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 本体のひび割れが上下流につながって生じていると判定される場合は、詳細調査を検討する。 未満砂の堆積でひび割れが生じ、流体力などが作用すると堰堤が損傷し、機能の低下が懸念される。 ひび割れの生じている堰堤では特に堆砂状況を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 洗掘が堰堤基礎底部まで進行すると、堰堤の支持基盤に影響し、堰堤の性能である安定条件（転倒・滑動・支持力）の低下につながる。 水叩きが無い施設では、性能低下の影響が大きい。 常時流水があるか確認する。 この他に、水叩きの有無、基礎地盤の状況、流量、流況、河床低下等が洗掘の進行に影響すると考えられるので、重点的に点検する。 	<ul style="list-style-type: none"> 堰体からの漏水は、機能の直接的な低下にはつながらない。 地山との境界部や基礎地盤からの湧水・漏水はハイピング、基礎地盤の破壊につながる可能性がある。
点検留意事項	<ul style="list-style-type: none"> 水通し部（天端及び袖小口）は、張石工、張ブロック工、高強度コンクリート保護工（膠石コンクリート、グラノリシックコンクリート）、ゴム鋼板の堤冠保護工など、本体コンクリートよりも高強度の材料で保護することが一般的であるが、土砂や石礫の流下量の多い漂流では、摩耗により損傷（張石、張ブロック等の流失欠損）が発生しやすいので注意する。 水通し部の損傷（幅、長、深さ）等に着目して写真記録を行う。特に水通し天端上流端まで到達しているような摩耗は、その進行状況を丁寧に観察し記録することが望ましい。 写真撮影に当たっては、摩耗等の進行状況が把握し易いように、できるだけだけ定位置から撮るよう心がける必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 堆砂の状況をj確認する（堰体に作用する流体力の影響を考慮する上で、上流側の堆砂状況の確認は必須事項となる。他の構造材料の砂防堰堤も同様）。特に未満砂の堰体は、土石流や洪水による流体力・衝撃力を直接受けるので、ひび割れの状態によっては、コンクリート打設継ぎ目などを境にして、損傷する危険がある。なお、構造的に問題となるのは斜め方向や水平方向のひび割れである。 ひび割れの位置・方向・規模、部位の変形方向は、ひび割れの原因や、堰体への力の加わり方を推測する重要な手段となるので、適切に記録する。 	<ul style="list-style-type: none"> 漏水個所が同じような水平位置に多数分布する場合は、堰体内部の連続した水平ひび割れの存在が疑われる。 漏水量の変化や湧りの有無も健全度の評価において有益な情報となるので注意して記録する。また、漏水が確認された場合、地山の亀裂、段差の有無も確認する。 	

図 4-2 模式図による砂防堰堤・床固工の変状レベルの評価基準の例（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（砂防-01）

施設区分	砂防設備	施設名	砂防堰堤	評価項目	摩耗
適用区分	不透過型コンクリート砂防堰堤			部位	本体(水通し天端)
要対策時機能低下	有	要対策時性能低下	無	要対策時環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし ○軽微な摩耗</p>	 <p>堰堤水通し天端</p>
b (損傷あるが、機能・性能低下に至っていない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○鉛直方向の摩耗深さが概ね1リフト程度未満</p>	 <p>堰堤水通し天端</p>
c (機能・性能低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○鉛直方向の摩耗深さが概ね1リフト程度以上</p>	 <p>堰堤水通し天端</p>

図 4-3 変状レベルの事例写真 水通しの摩耗（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（砂防-02）

施設区分	砂防設備	施設名	砂防堰堤	評価項目	ひび割れ
適用区分	不透過型コンクリート砂防堰堤			部位	本体
要対策時機能低下	無	要対策時性能低下	有	要対策時環境影響	無

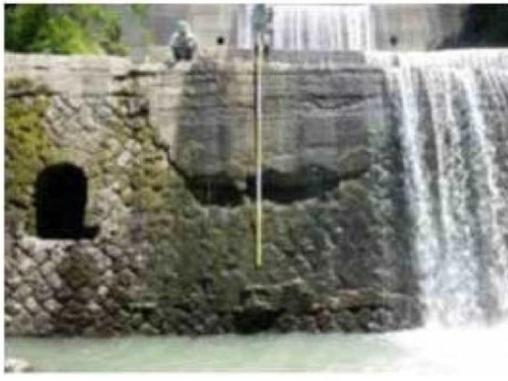
変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし ○軽微なひび割れ</p>	 <p>堰堤本体</p>
b (損傷あるが、機能・性能低下に至っていない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○水平方向ひび割れが各ブロック幅の概ね 1/2 程度未満</p>	 <p>堰堤本体</p>
c (機能・性能低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○水平方向ひび割れが各ブロック幅の概ね 1/2 程度以上 ○ひび割れが上下流に連続して発生</p>	 <p>堰堤本体</p>

図 4-4 変状レベルの事例写真 堤体ひび割れ（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（砂防-03）

施設区分	砂防設備	施設名	砂防堰堤	評価項目	洗掘
適用区分	不透過型コンクリート砂防堰堤			部位	本体（基礎）
要対策時機能低下	無	要対策時性能低下	有	要対策時環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし ○軽微な洗掘</p>	 <p>堰堤基礎部</p>
b (損傷あるが、機能・性能低下に至っていない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○基礎部の洗掘が堰堤基礎面に達していない</p>	 <p>堰堤基礎部</p>
c (機能・性能低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○基礎部の洗掘が堰堤基礎面に達している</p>	 <p>堰堤基礎部</p>

図 4-5 変状レベルの事例写真 基礎洗掘（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（砂防-04）

施設区分	砂防設備	施設名	砂防堰堤	評価項目	漏水
適用区分	不透過型コンクリート砂防堰堤			部位	袖
要対策時機能低下	無	要対策時性能低下	有	要対策時環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし ○軽微な漏水</p>	 <p>堰堤本体</p>
b (損傷あるが、機能・性能低下に至っていない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○部分的に漏水している</p>	 <p>堰堤本体</p>
c (機能・性能低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○本体の広範囲にわたる漏水 ○基礎底面部からの漏水 ○兩岸地山と堰堤境界面からの漏水</p>	 <p>堰堤本体</p>

図 4-6 変状レベルの事例写真 袖部漏水（砂防関係施設点検要領（案））

第2項 山腹工の点検手法

(1) 目視点検

山腹工（特に土留工、水路工、法枠工）の目視点検手法については、溪間工と同様、過去に多くの調査が実施されてきており、既往の治山点検要領および点検シートを見ても、上記の着目すべき部位（破損・劣化箇所）に応じて具体的なチェック項目が示されている。また、この要領および点検シートを用いて実施されてきた過去の点検データの蓄積があるため、項目を大幅に変更することは望ましくないと考えられる。

別紙

〈治山事業用現地点検シート〉

調査日 平成 年 月 日 調査者 _____
 施工箇所 _____ 国有林 _____ 林小班 _____ 沢名 _____
 堤名板 (施工年度 T S H 年度 施工業者 _____ 発注者 _____ No. _____)
 写真撮影 有 無 (_____)
 GPS情報 (北緯) _____ (東経) _____

工 種 溪間工 (護岸工を含む) (種別: (例) コンクリート、練石積、鋼製等 _____)
 ダム構造 天端幅 _____ m 堰堤有効高 (下流) _____ m 放水路下長 _____ m

(別紙5見取り図 有 無) その他 _____

調査内容 基礎部の洗掘 袖取付部の浸食 堆砂未了深さ _____ m
 堤体の損傷 僅かに損傷が見られる程度である
 ヘアークラックが入っているがダム機能に問題はない
 ダムの一部が損壊していて、将来的には対策が必要である
 所見 将来的な対策が必要 早急な対策が必要 (具体的に所見欄に記入)

工 種 山腹工 (落石防止施設等を含む)
調査内容 施設の倒壊、洗掘、破損、沈下、腐食、はらみ出し、緩み、曲り、変形、亀裂等
 法面の崩壊、堆積、亀裂、浸食
 集排水施設の閉塞、湧水有
 植生の浸食、滑落、生育見込み無し、裸地が多い
所見 将来的な対策が必要 早急な対策が必要 (具体的に所見欄に記入)

工 種 保安林管理道
 調査内容 施設の破損 路肩の決壊
 法面の土砂流出 集排水施設の閉塞
 所見 将来的な対策が必要 早急な対策が必要 (具体的に所見欄に記入)

必要に応じて周辺状況を記載

溪流の状況 全く荒廃していない 溪岸又は溪床浸食が見られる
 溪流荒廃が進行 山腹崩壊又は土石流の発生が確認できる
 森林の状況 適正に維持管理されている 手入れ不足の森林が見られる
 森林荒廃が進行している 非常に森林が荒廃している

総合所見 (点検状況: 施設及び施設周辺の状況、整備状況: 施設の補修状況等について)

- 注1. 本シートは、治山施設点検整備調査の基礎資料に用いること (監督職員に提出すること)
 2. 該当するにチェックマークを記入すること
 3. 治山工事箇所施設図の施工位置を照査すること (GPSを携行し、位置計測を行うこと)
 4. 写真は、全景又は近景及び変状の生じている異常箇所を撮影すること (別紙3の治山施設点検整備調査写真撮影のポイントを参照)
 5. 治山台帳に構造図が添付されていないものについては、別紙5の治山ダム見取図によりダム構造を記録すること
 6. 石積構造物及び特異な石積構造物等については、別紙4の石積調査を行うこと

図 4-7 林野庁治山施設現地点検シート (赤囲みが山腹工に関する項目)

表 4-4 都道府県で用いられる山腹工の点検評価シート

別記様式1

治山施設点検 評価シート

●山腹工(土留工・水路工・法枠工)

No.

現地調査者所属				調査年月日					
治山台帳ID				調査者氏名					
施工年度				工事番号					
施工箇所				事業名					
保全対象									
工種	点検項目	異常		異常の概略	工種	点検項目	異常		
		あり	なし				あり	なし	
<input type="checkbox"/> 土留工 No.1 生コンクリート	種別				<input type="checkbox"/> 法枠工 (簡易法枠) (現場吹付)	種別			
	諸元					諸元			
	位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"				位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"		
		E: 0° 0' 0.0"					E: 0° 0' 0.0"		
	法線異常					法枠自体が下方へ移動			
	変形					枠部材の切断・亀裂			
	傾倒					法枠下方斜面の崩壊			
	根入れ・洗掘					枠内吹付材の流出			
	端部突っ込み					ロックボルト等破損			
	コンクリート異常					背面の空洞化			
枠部材の異常				周辺の土砂崩れ					
詰石の異常									
本体の破損									
<input type="checkbox"/> 水路工 (本体)	種別				<input type="checkbox"/> モルタル 吹付工	種別			
	諸元					諸元			
	位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"				位置情報(座標)	N: 0° 0' 0.0"		
	GPSタグ番号	E: 0° 0' 0.0"				GPSタグ番号	E: 0° 0' 0.0"		
	法線曲がり・ねじれ					モルタルの亀裂			
	水路本体破損					モルタルの剥落			
目地ずれ				吹付内部の空洞化					
底部吸出し・側部洗掘				吹付法面からの異常出水					
集水樹等との接続部の漏水									
<input type="checkbox"/> 水路工 (水路止)	種別				ロープネット・ロックボルト併用工法	種別			
	諸元					諸元			
	傾き					位置情報(座標)	N:		
	根入れの状況					GPSタグ番号	E:		
	袖部突込み状況					ロックボルト浮き上がり			
跳水				保護キャップ損傷					
本体の破損				ワイロープ損傷					
施設周辺の林地の状況									
現地調査者 総合判定 <small>(外部委託の場合に記入する)</small>	<input type="radio"/> OS 緊急に修繕が必要 <input type="radio"/> OA 修繕対策施設として計画的に修繕を実施 <input type="radio"/> OB 施設の機能は維持されているため経過観察とする <input type="radio"/> OC 異常なし			摘要 (異常の原因、修繕予定時期、修繕方法、概算工事費、判定の理由など)					
	農林事務所 総合判定 確認日 明治33年1月0日	<input type="radio"/> OS 緊急に修繕が必要 <input type="radio"/> OA 修繕対策施設として計画的に修繕を実施 <input type="radio"/> OB 施設の機能は維持されているため経過観察とする <input type="radio"/> OC 異常なし			摘要 (異常の原因、修繕予定時期、修繕方法、概算工事費、判定の理由など)				
		災害時緊急点検の必要 <input type="radio"/> あり <input type="radio"/> なし							
定期点検計画 <input type="radio"/> OA 点検を要する <input type="radio"/> OB 今後点検を要さない <input type="radio"/> OC その他			摘要 (左記の判断理由)						

(2) 詳細調査

詳細調査については構造（コンクリート、鋼製、木製）毎に実施内容が異なるため、「第4章 第4節 構造（コンクリート、鋼製、木製）毎の点検手法の検討」にて後述する。

(3) 健全度評価（変状レベル）

林野庁および各県とも、点検結果を緊急度に応じ、治山施設の修繕の必要性について、現地調査者および農林事務所職員がそれぞれ以下によって判定することとなっている（エラー! 参照元が見つかりません。下欄参照）。

S：緊急に修繕対策が必要

A：修繕対策施設として計画的に修繕が必要

B：軽微な異常は確認されるが、施設の機能は維持されているため経過観察とする

C：異常なし

しかし、点検者もしくは事務所職員によって判断に違いが生じる可能性があり、ある程度判断基準を示す必要があると考えられる。

なお、「砂防関係施設点検要領（案）H26.9.24 国土交通省砂防部保全課」には、「山腹工」としての例示は無いが、法枠工、吹付工、擁壁工、水路工、落石対策工の模式図と写真によって変状レベルが示されており、山腹工の変状レベルの判定（健全度評価）にも本砂防要領が十分準用可能であると考えられる。

主な部位の変状レベルの評価基準（法砕工）

変状レベル	【プレキャスト法砕工】 枠の破損・変形		【プレキャスト法砕工】 中詰材の流出・湧水		【現場打コンクリート砕工】 枠の破損・変形		【現場打コンクリート砕工】 中詰材の流出・湧水	
	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
a 軽微な損傷								
b 損傷があるが、機能・性能低下に至っていない								
c 機能・性能低下あり								
評価の観点	<ul style="list-style-type: none"> 破損や変形が進行した場合、安定性が低下し、性能低下につながる。 はらみ出しがある場合、湧水等により地山が脆弱化し過度の土圧が作用していることが懸念される。 湧水は吸出しによる枠下の陥没につながる。 	<ul style="list-style-type: none"> 中詰材の流出は、急傾斜地の崩壊を抑制する機能を低下させる。 湧水が顕著な箇所では、中詰材と共に地山土砂が流出し、枠下の陥没及び枠材の脱落等が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れの進行は、梁の性能低下につながる。 現場打ちの場合、縦筋なへアクラックは部分的にみられることがあるが性能に影響はない。しかし、開口亀裂は梁の性能低下につながる。 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れの進行は、梁の性能低下につながる。 現場打ちの場合、縦筋なへアクラックは部分的にみられることがあるが性能に影響はない。しかし、開口亀裂は梁の性能低下につながる。 	<ul style="list-style-type: none"> 中詰材の流出は、急傾斜地の崩壊を抑制する機能を低下させる。 顕著な湧水は、中詰材の流出を助長し、ひび割れ部においては梁の劣化を進行させる。 			
点検留意事項	<ul style="list-style-type: none"> のり面上にプレキャストや現場打ちコンクリート等による枠工を形成し、内詰をコンクリートや植生等により覆蓋すること、のり面の風化・浸食防止を図る工夫であり、法砕工の破損・変形状況および中詰材の流出状況、湧水の発生状況などについて確認する。 開口したひび割れや剥離が進んだ場合に表面侵食防止機能等を著しく低下させるとともに、ひび割れや剥離の進行に伴う吹付け材料の脱落により家屋等に被害が発生する恐れがある。 							

図 4-8 模式図による法砕工の変状レベルの評価基準の例（砂防関係施設点検要領（案））

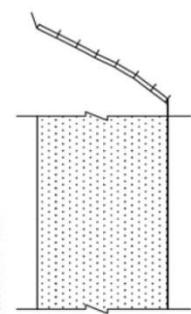
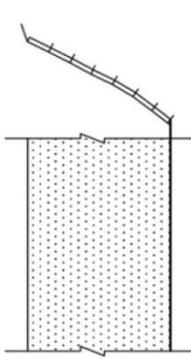
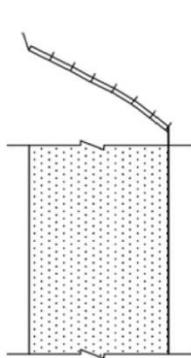
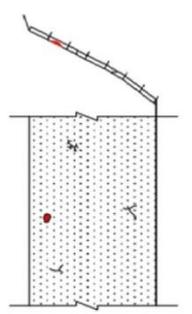
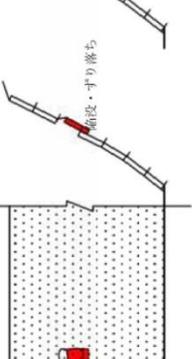
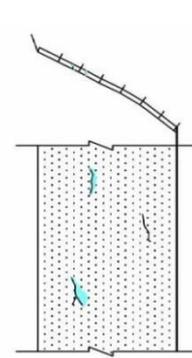
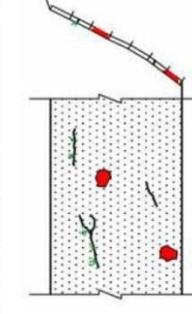
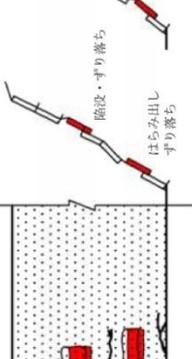
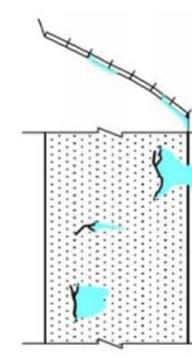
変状レベル	吹付工		湧水
	ひび割れ・剥離	はらみ出し・隙間・空洞・沈下・陥没・陥没(ずり落ち)	
a 軽微な損傷	<p>○変状なし ○軽微なひび割れ</p> 	<p>○変状なし</p> 	<p>○常時の湧水や降雨時の滞水などの痕跡が認められない</p> 
b 損傷あるが、機能・性能低下に至っていない	<p>○表面の部分的な剥離(薄い剥離) ○あまり開口していないひび割れが数箇所ランダムにある</p> 	<p>○はらみ出し・隙間・空洞・沈下・陥没(ずり落ち)が局所的にある</p> 	<p>○常時の湧水や降雨時の滞水等の痕跡が認められる</p> 
c 機能・性能低下あり	<p>○大きくて厚い剥離がいたるところにある ○広範囲に連続して、開口したひび割れが発生している(ひび割れ箇所から根生が生えている)</p> 	<p>○はらみ出し・隙間・空洞・沈下・陥没(ずり落ち)がいたるところにある</p> 	<p>○常時の湧水や降雨時の滞水等の痕跡がほとんどの延長で認められる</p> 
評面の観点	<p>・開口したひび割れや剥離が進み、穴があいている場合、機能が著しく低下している。 ・開口部からの雨水の流入等により、風化侵食が進行し、地山を脆弱化させる。 ・ひび割れ、剥離が顕著な箇所は、打音調査による確認を検討する。</p>		<p>・漏水箇所ではコンクリートや内部の鋼材の劣化が促進し、性能が低下する。 ・漏水が顕著な場合、吹付け背面の流水による空洞化が懸念され、空洞化が進行すると、陥没やずり落ちが発生する。 ・漏水が顕著な箇所は、打音調査による確認を検討する。</p>
点検留意事項	<p>・のり面の風化・浸食防止を図る工法であり、亀裂、はらみ出しの状況、湧水の発生状況などについて確認する。 ・必要があれば、打音で内部空洞化を確認する。</p>		

図 4-9 模式図による吹付工の変状レベルの評価基準の例 (砂防関係施設点検要領 (案))

主な部位の変状レベルの評価基準（擁壁工 1/2）

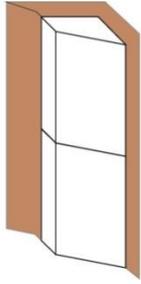
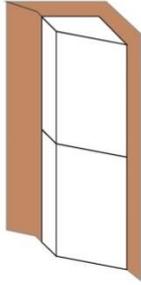
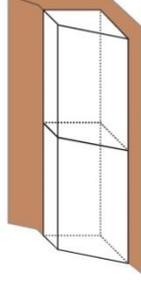
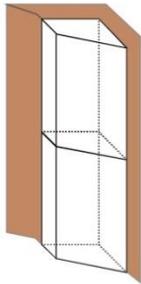
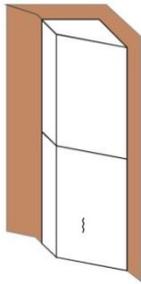
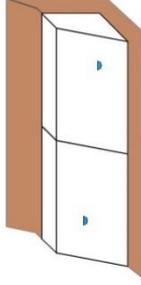
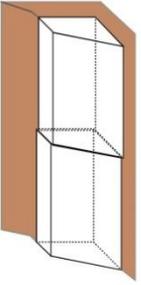
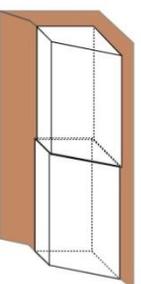
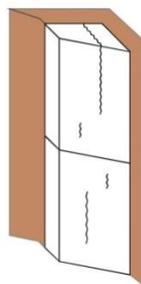
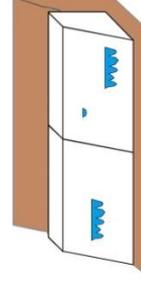
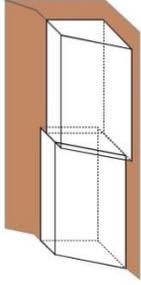
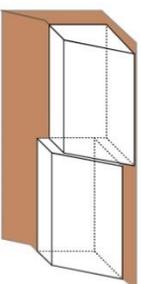
変状レベル	擁壁工（待受式含む）			
	ひび割れ	湧水	変形	沈化
a 軽微な損傷	○変状なし 	○変状なし 	○変状なし 	○変状なし 
b 損傷があるが、機能・性能低下に至っていない	○部分的にひび割れが確認される ○ひび割れが背面まで達していない ○背面土砂の吸出しが確認されない 	○部分的に湧水が確認される ○背面土砂の吸出しが確認されない 	○微細な変形（はらみ出し、傾き、縦ぎ目のずれ、移動等）が確認される 	○微細な沈化が確認される 
c 機能・性能低下あり	○広範囲に連続したひび割れが確認される ○ひび割れが背面まで達している ○背面土砂の吸出しが確認される 	○広範囲に湧水が確認される ○背面土砂の吸出しが確認される 	○顕著な変形（はらみ出し、傾き、縦ぎ目のずれ、移動等）が確認される 	○顕著な沈化が確認される 
評価の観点	<ul style="list-style-type: none"> ・特に待受式擁壁工については、土石等の衝撃力に対して耐力が低下し、機能低下が生じる。 ・広範囲のひび割れは、擁壁の一体性が失われていると想定され、安定性の低下が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・擁壁工は貯水機能を有さないもので、漏水は直接的な機能低下につながる。 ・広範囲の湧水は、擁壁の一体性が失われていると想定され、安定性の低下が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・変形の進行は、擁壁の不安定化につながるため、性能が低下している状態と判断される。 ・変形が進行した場合、擁壁の損壊の恐れが懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・沈化の進行は、擁壁の不安定化につながるため、性能が低下している状態と判断される。 ・沈化は支持力不足が要因の一つと想定されることから、安定性が十分でないと考えられる。
点検留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・斜面下部の小規模崩壊の抑止やのり面の風化・侵食に対してのり面保護を図る工法であり、擁壁工の亀裂、破損、構造体の変形、基礎部の沈下、湧水などについて確認する。 【待受擁壁工】 ・堆砂容量を有する擁壁により、落石や崩土から人家等の保全対象を防護することを図る工法であり、擁壁工と同様なチェックポイントを確認するほか、特に空き容量を確認する。 ・待受式擁壁工の広範囲のひび割れは施設の一体性が失われていると判断でき、安定性の低下が懸念されることに留意。 			

図 4-10 模式図による擁壁工の変状レベルの評価基準の例（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（地すべり-15）

施設区分	地すべり防止施設	施設名	水路工	評価項目	腐食・劣化
適用区分	水路工			部位	水路・集水桝・落差工
要対策時機能低下	無	要対策時性能低下	有	要対策時環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○変状なし ○軽微な腐食・劣化 	 <p>水路工</p>
b (損傷あるが、機能・性能低下に至っていない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○一部が腐食・劣化している ○漏水はない状態 	 <p>水路工</p>
c (機能・性能低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○腐食・劣化によって漏水している 	 <p>水路工</p>

図 4-11 変状レベルの事例写真 水路工 腐食・劣化（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（地すべり-16）

施設区分	地すべり防止施設	施設名	水路工	評価項目	損傷・変形
適用区分	水路工			部位	水路・集水樹・落差工
要対策時機能低下	有	要対策時性能低下	有	要対策時環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし ○軽微な損傷・変形</p>	 <p>水路工</p>
b (損傷あるが、機能・性能低下に至っていない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○一部が損傷・変形している ○漏水はない状態</p>	 <p>水路工</p>
c (機能・性能低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○損傷・変形によって漏水している</p>	 <p>水路工</p>

図 4-12 変状レベルの事例写真 水路工 損傷・変形（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（地すべり-17）

施設区分	地すべり防止施設	施設名	水路工	評価項目	土砂等の堆積
適用区分	水路工			部位	水路・集水桝・落差工
要対策時機能低下	有	要対策時性能低下	無	要対策時環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○変状なし ○軽微な土砂等の堆積 	 <p>水路工</p>
b (損傷あるが、機能・性能低下に至っていない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○一部に土砂等が堆積している ○溢水はない状態 	 <p>水路工</p>
c (機能・性能低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○土砂等の堆積によって溢水している 	 <p>水路工</p>

図 4-13 変状レベルの事例写真 水路工 土砂堆積（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（急傾斜-07）

施設区分	急傾斜地 崩壊防止施設	施設名	法枠工	評価項目	破損・変形
適用区分	現場打コンクリート工			部位	法面表面
要対策時 機能低下	有	要対策時 性能低下	無	要対策時 環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし</p>	 <p>法枠工（現場打ち）</p>
b (損傷あるが、 機能・性能 低下に至って いない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○部分的に枠の破損や変形 (ひび割れ・はらみ出し、浮 き・沈化等)が認められる</p>	 <p>法枠工（現場打ち）</p>
c (機能・性能 低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○広範囲に枠の破損や変形 (ひび割れ・はらみ出し、浮 き・沈化等)が認められる ○ひび割れが梁を貫通してい る</p>	 <p>法枠工（現場打ち）</p>

図 4-14 変状レベルの事例写真 法枠工 破損・変形（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（急傾斜—08）

施設区分	急傾斜地 崩壊防止施設	施設名	法枠工	評価項目	中詰材の流出・湧水
適用区分	現場打コンクリート工			部位	法面表面
要対策時 機能低下	有	要対策時 性能低下	無	要対策時 環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	【定期点検・臨時点検結果】 ○変状なし	 法枠工（現場打ち）
b (損傷あるが、 機能・性能 低下に至って いない)	【定期点検・臨時点検結果】 ○しみ出し程度の湧水、枠内 の中詰材（土砂）の若干の流出 が部分的にみられる	 法枠工（現場打ち）
c (機能・性能 低下あり)	【定期点検・臨時点検結果】 ○顕著な湧水、枠内の中詰材 （土砂）の多量の流出がいたる ところで認められる	 法枠工（現場打ち）

図 4-15 変状レベルの事例写真 法枠工 中詰材流出・湧水（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（急傾斜-09）

施設区分	急傾斜地 崩壊防止施設	施設名	吹付工	評価項目	ひび割れ・剥離
適用区分	吹付工			部位	法面表面
要対策時 機能低下	有	要対策時 性能低下	有	要対策時 環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○変状なし ○軽微なひび割れ 	 <p>吹付工</p>
b (損傷あるが、 機能・性能 低下に至って いない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○表面の部分的な剥離(薄い剥離) ○あまり開口していないひび割れが数箇所ランダムにある 	 <p>吹付工</p>
c (機能・性能 低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○大きくて厚い剥離がいたるところにある ○広範囲に連続して、開口したひび割れが発生している(ひび割れ箇所から植生が生えている) 	 <p>吹付工</p>

図 4-16 変状レベルの事例写真 吹付工 ひび割れ・剥離（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（急傾斜-10）

施設区分	急傾斜地 崩壊防止施設	施設名	擁壁工	評価項目	ひび割れ
適用区分	擁壁工			部位	壁面・天端
要対策時 機能低下	有	要対策時 性能低下	有	要対策時 環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし</p>	 <p>擁壁工</p>
b (損傷あるが、 機能・性能 低下に至って いない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○部分的にひび割れが確認される</p> <p>○ひび割れが背面まで達していない</p> <p>○背面土砂の吸出しが確認されない</p>	 <p>擁壁工</p>
c (機能・性能 低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○広範囲に連続したひび割れが確認される</p> <p>○ひび割れが背面まで達している</p> <p>○背面土砂の吸出しが確認される</p>	 <p>擁壁工</p>

図 4-17 変状レベルの事例写真 擁壁工 ひび割れ・剥離（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（急傾斜-11）

施設区分	急傾斜地 崩壊防止施設	施設名	擁壁工	評価項目	湧水
適用区分	擁壁工			部位	壁面・天端
要対策時 機能低下	無	要対策時 性能低下	有	要対策時 環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○変状なし</p>	 <p>擁壁工</p>
b (損傷あるが、 機能・性能 低下に至って いない)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○部分的に湧水が確認される ○背面土砂の吸出しが確認され ない</p>	 <p>擁壁工</p>
c (機能・性能 低下あり)	<p>【定期点検・臨時点検結果】</p> <p>○広範囲に湧水が確認される ○背面土砂の吸出しが確認され る</p>	<p>該当写真事例なし</p>

図 4-18 変状レベルの事例写真 擁壁工 湧水（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（急傾斜-12）

施設区分	急傾斜地 崩壊防止施設	施設名	擁壁工	評価項目	変形
適用区分	擁壁工			部位	壁面・天端
要対策時 機能低下	無	要対策時 性能低下	有	要対策時 環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	【定期点検・臨時点検結果】 ○変状なし	 擁壁工
b (損傷あるが、 機能・性能 低下に至って いない)	【定期点検・臨時点検結果】 ○微細な変形(はらみ出し、 傾き、継ぎ目のずれ、移動 等)が確認される	 擁壁工
c (機能・性能 低下あり)	【定期点検・臨時点検結果】 ○顕著な変形(はらみ出し、 傾き、継ぎ目のずれ、移動 等)が確認される	 擁壁工

図 4-19 変状レベルの事例写真 擁壁工 変形（砂防関係施設点検要領（案））

主な部位の変状レベルの事例写真（急傾斜-15）

施設区分	急傾斜地 崩壊防止施設	施設名	落石防護工	評価項目	損傷・変形、腐食・劣化
適用区分	落石防護柵工			部位	支柱・ワイヤー・金網
要対策時 機能低下	有	要対策時 性能低下	有	要対策時 環境影響	無

変状レベル	健全度評価基準	参考事例
a (軽微な損傷)	【定期点検・臨時点検結果】 ○変状なし	 落石防護柵工
b (損傷あるが、 機能・性能 低下に至って いない)		
c (機能・性能 低下あり)	【定期点検・臨時点検結果】 ○支柱が変形（折れや曲り） している ○ワイヤーや金網が破断して いる	 落石防護柵工

図 4-20 変状レベルの事例写真 落石防護工 損傷・変形、腐食・劣化（砂防関係施設点検要領（案））

第4節 構造（コンクリート、鋼製、木製）毎の点検手法の検討

第1項 コンクリート構造物

(1) 目視点検

砂防関係施設点検要領（案）平成26年9月24日国土交通省砂防部保全課が参考になる。

砂防点検要領（案）では、砂防設備及び設備周辺状況等の主な点検項目および点検留意事項として、以下を挙げている。

表 4-5 コンクリート砂防堰堤及び周辺施設等の主な点検項目（砂防関係施設点検要領（案））

部位	着目すべき損傷等	点検留意事項
【コンクリート構造の堰堤】 本体 床固工・帯工・副堤・垂直壁も同じ扱いとする ※砂防ソイルセメント強度レベルⅢを用いた堰堤は同じ扱いとする。参照：「砂防ソイルセメント設計・施工便覧（平成23年10月砂防・地すべり技術センター）」	水通し天端の摩耗	<ul style="list-style-type: none"> ● 水通し部(天端及び袖小口)は、張石工、張ブロック工、高強度コンクリート保護工(膠石コンクリート、グラノリシックコンクリート)、ゴム鋼板の堤冠保護工など、本体コンクリートよりも高強度の材料で施工されていることが一般的であるが、土砂や石礫の流下量の多い溪流では、摩耗により損傷(張石、張ブロック等の流失欠損)が発生しやすいので確認する。 ● 水通し部の損耗(幅、長、深さ)等に着目して写真記録を行う。特に水通し天端上流端まで到達しているような摩耗は、その進行状況を観察し記録する。
	本体のひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> ● 堆砂の状況を確認する(堤体に作用する流体力の影響を考慮する上で、上流側の堆砂状況の確認は必須事項となる。他の構造材料の砂防堰堤も同様である)。特に未満砂の堤体は、土石流や洪水による流体力・衝撃力を直接受け、ひび割れの状態によっては、コンクリート打設継ぎ目などを境にして、損傷する危険がある。なお、構造的に問題となるのは斜め方向や水平方向のひび割れである。 ● ひび割れの位置・方向・規模、部位の変形方向は、ひび割れの原因や、堤体への力の加わり方を推測する重要な手段となるので、これらについて確認する。
	本体基礎の洗掘	<ul style="list-style-type: none"> ● 本堤基礎前面の溪流の洗掘は、堤体の安定に直接影響するため、特に点検に留意する。
	漏水	<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水箇所が同じような水平位置に多数分布している場合は、堤体内部の連続した水平ひび割れの存在が疑われる。 ● 漏水量の変化や濁りの有無も健全度の評価において有益な情報となるのでできるだけ確認する。また、漏水が確認された場合、地山の亀裂、段差の有無も確認するのが望ましい。
コンクリート構造等の堰堤】の袖部 ※ 床固工・帯工・副堤・垂直壁も同じ扱いとする。	袖部のひび割れ等	<ul style="list-style-type: none"> ● 袖部については、ひび割れの位置・方向・規模、部位の変形方向を確認する。 ● 地すべり地においては、袖嵌入部の地山に地割れ等の発生が無いことを確認する。 ● 漏水や欠損については、堰堤本体に準ずる。
水叩工	摩耗	<ul style="list-style-type: none"> ● 流水がある場合、目視では水叩工の状況は確認しにくいと予想されるが、可能な限り、水叩きの摩耗深さと範囲を確認することが望ましい。 ● 本堤基礎に対して、水叩きの損傷や本体基礎部前面の溪流の洗掘が及ぼす影響についても考察が必要である。
【コンクリート構造、石積構造】 側壁護岸	ひび割れ、欠損	<ul style="list-style-type: none"> ● 洗掘等や背後地盤等の影響で護岸にせん断クラックや変形が生じていないかどうかの確認を行う。 ● ブロックや積石の欠損に注意する。
	洗掘	<ul style="list-style-type: none"> ● 基礎部の洗掘を確認する。

(2) 詳細調査

詳細調査については、林野庁および各県の治山施設点検要領には具体的な調査方法は記載されていない。詳細調査は主に内部の老朽化診断（健全度判定）および安定性評価を目的として実施される場合が多く、特に、治山台帳に構造図等が無く、内部構造が不明な施工年度の古い施設（玉石コンクリート等）の内部構造の把握をする上で重要である。ここでは、コンクリート構造物のコンクリート構造物（主に谷止工）において、過去に実施された詳細調査の方法について以下に列挙する。

ここでは簡易的な非破壊検査手法であるシュミットハンマー法について記述する。

(a) シュミットハンマーによる表面反発強度調査

土木学会基準「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(JSCE-G504)(2007)」に示される方法により、シュミットハンマーN(NR)型を用い、コンクリート構造物のシュミットハンマー強度を測定し、そのコンクリートの圧縮強度相当を確認する場合の方法を示す。ただし、プレキャスト製品及びプレストレストコンクリートは測定対象としない。

1) 推定箇所の選定

- ① 測定面は型枠に接した面で質が均一で平滑な平面部を選定すること。
- ② 豆板骨材が表面に出ている箇所は避けて行うこと。
- ③ コンクリートの肉厚が 10 cm程度の薄い部材は避けること。やむを得ず、そのような部材で測定する場合は背後から別にその部材を支持して行う必要がある。

2) 測定上の注意事項

測定面にある凹凸や付着物は、平滑となるよう砥石で丁寧にみがいてこれを除き、粉末その他の付着物を拭き取ってから行なう。仕上げ層や上塗りのある場合はこれを除去し、コンクリート面を露出させ、付着物の除去後、測定する。

測定装置は、較正が行われているものを用い、打撃方向は常に測定面に直角に行なう。構造物の形状等の制約から水平方向への打撃が困難な場合は、土木学会規準（J S C E - G 504）の解説に示された方法で、傾斜角度に応じた補正值を求める。

ばね式のハンマーは鋼棒に徐々に力を加えて打撃をおこさせて測定する。

3) 測定時の打撃点数

1箇所の測定打撃点数は、縁部から30mm以上離れたコンクリート面で、互いに30mm以上の間隔を持った20点とする。

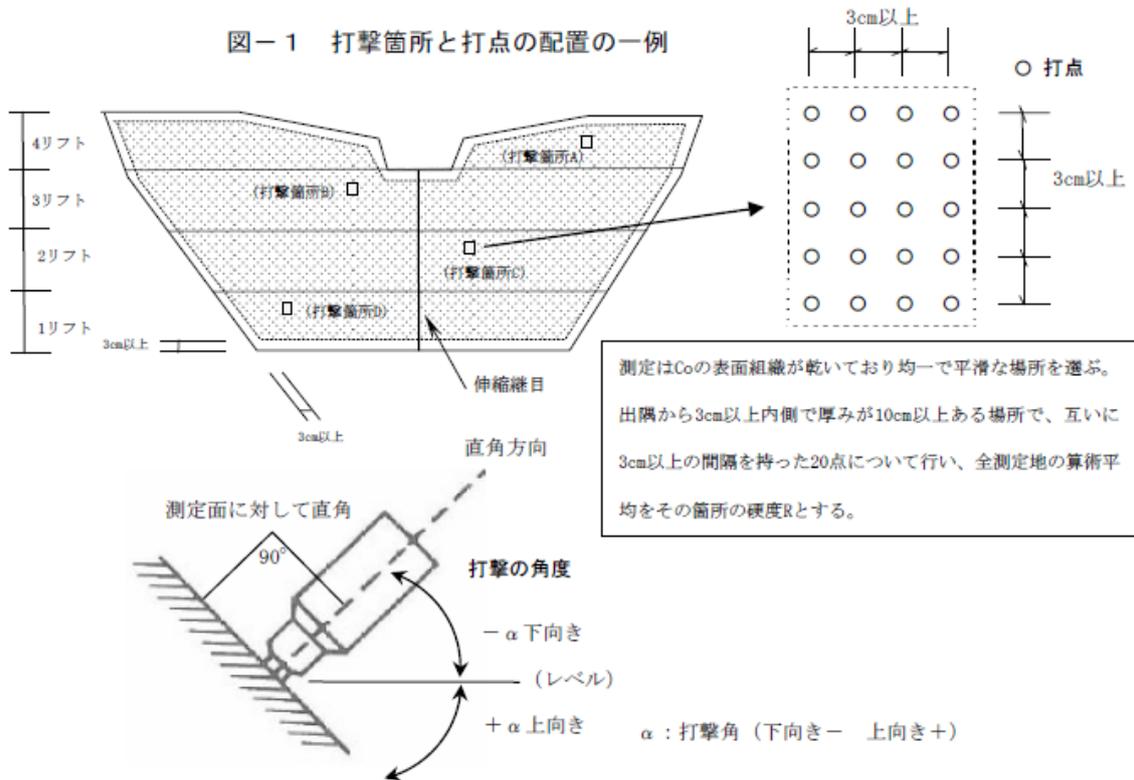


図 4-21 シュミットハンマー法の打撃箇所と打点の配置の一例

(長野県林業土木工事施工管理基準 参考資料)

(注1) 打撃時の反響やくぼみ具合などから判断して明らかに異常と認められる値、または、その偏差が平均値の±20%以上になる値があれば、その測定値を捨て、これに代わるものを補うものとする。構造物のコンクリート強度は部分的に変化していることもあるので、そのことに着目した測定を行う場合には、打撃を行う1箇所の範囲を適宜定めるのがよい。

(注2) シュミットハンマー法による測定結果は、各種の原因による変動が大きいため、測定方法の違いによる変動や偏差を少なくするために、測定方法をできるだけ統一する必要がある。1箇所の測定値を得るのに必要な打撃点を多くしてあるのも、変動を少なくするためである。1回打撃を行った点は、測定値に影響を与えたり、あるいはコンクリートを傷つけたりする恐れがあるので、使用してはならない。そのため、打撃点の位置などを測定前にコンクリート面に書き込んでおくことよい。また、測定は20点以上で行ってにおいて、整理の段階で捨てられる測定値が出てきても測定点数が不足しないようにしておくことよい。測定箇所数を満たすため、12打点×2箇所等の区域を分けて計測する等の行う等の工夫もよい。

4) 強度の推定

日本材料学会提案(1958)の強度換算式を使用し、強度の推定を行う。

基準反発度 (R_0) からテストハンマー強度 F を推定する推定強度式

$$F \text{ (N/mm}^2\text{)} = [-18.0 + 1.27 \times (R_0 + R_1 \pm R_2)] \times \alpha$$

F : 推定強度 (N/mm²)

R_0 : テストハンマーの反発度 (20点の平均/水平打撃値)

R_1 : 測定位置が湿っており打撃の跡が黒点になる … +3 (湿潤補正)

R_1 : 測定位置がぬれている場合 … +5 (湿潤補正)

R_2 : 角度補正值 (水平打撃時の場合補正しない。当たり前であるが、構造物に法勾配があってもコンクリートの面に水平打撃を行っていれば、補正はしない。)

α : 材齢係数 (材齢10日～27日までの間に試験した場合に限定)

数式 4-1 日本材料学会提案 (1958) のシュミットハンマー強度換算式

なお、材齢係数 α は材齢が 28 日以降の施設については $\alpha = 1$ とし、10～27 日の施設については、下記の係数を用いることとする。

表 4-6 材齢係数 α

材齢 (日)	補正係数 (材齢係数 : α)	材齢 (日)	補正係数 (材齢係数 : α)
10	1.550	20	1.120
11	1.507	21	1.105
12	1.464	22	1.090
13	1.421	23	1.075
14	1.378	24	1.060
15	1.335	25	1.045
16	1.292	26	1.030
17	1.249	27	1.015
18	1.206	28	1.000
19	1.163		

5) 強度推定結果の評価方法

シュミットハンマーによる強度推定調査について、次のとおり実施すること。

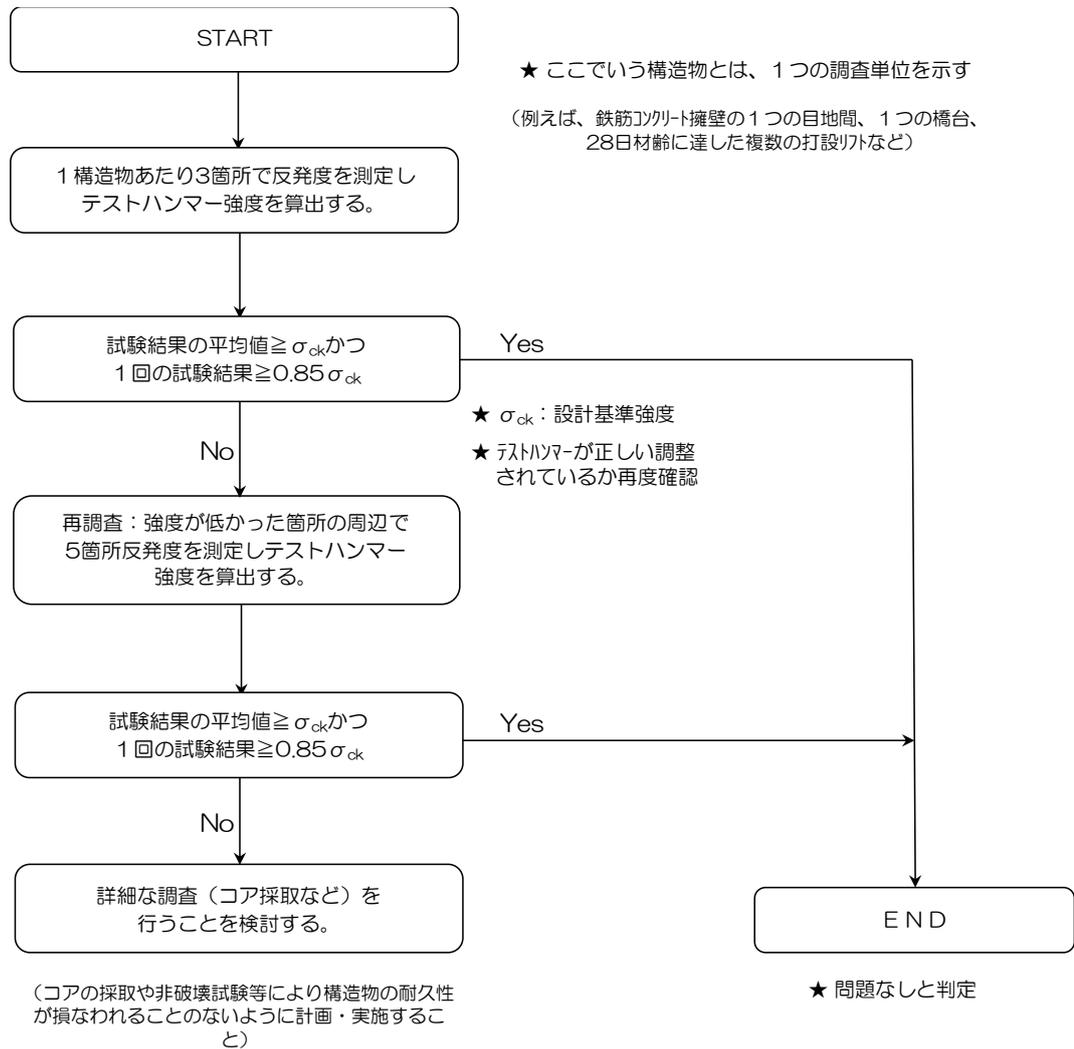


図 4-22 シュミットハンマーによる強度推定調査の流れ (新潟県土木工事標準仕様書その2:品質管理基準及び規
格値:資料:土木コンクリート構造物の品質確保における品質確認調査方法)

6) 適用範囲

再調査の平均強度が、所定の強度が得られない場合、もしくは1カ所の強度が設計強度の85%を下回った場合は、コアによる強度試験を行う。

7) 調査単位

強度が同じブロックを1構造物の単位とし、各単位につき3カ所の調査を実施する。また、調査の結果、平均値が設計基準強度を下回った場合と、1回の試験結果が設計基準強度の85%以下となった場合は、その箇所の周辺において、再調査を5カ所実施する。

8) 調査手順

各単位につき3カ所の調査を実施する。

調査の結果、平均値が設計基準強度を下回った場合と、1回の試験結果が設計基準強度の85%以下となった場合は、その箇所の周辺において再調査を5カ所実施する。

再調査の結果でも、平均強度が所定の強度が得られない場合、もしくは1カ所の強度が設計基準強度の85%を下回った場合は、必要に応じて詳細調査(原位置コアを採取し圧縮強度試験)を実施する。

仮に設計基準強度が 18N/mm^2 の場合、85%の (15.3N/mm^2) を下回った場合が詳細調査実施の目安となる。

(参考資料)

- ・土木学会基準 (JSCE-504) 「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法」
- ・(独) 土木研究所 「テストハンマーによる強度推定調査の6つのポイント」
- ・日本材料学会 「シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針」

(b) コンクリートコア抜きによる試料調査

代表的な箇所をダイヤモンドドリルによりコンクリートコアを採取し、目視調査、コンクリートの圧縮強度試験及びコンクリートの密度の測定等を実施する。

1) 目視調査

目視調査によってひび割れや亀裂等の有無、アルカリシリカ反応の疑いのある白色生成物の存在を確認し、内部の劣化状況を確認する。

2) コンクリート強度試験

強度試験により、圧縮強度や密度を計測する。

3) 骨材のアルカリシリカ反応試験

JIS A 1145 (塩酸滴定法、原子吸光光度法) によってコンクリートコアに含まれる細骨材または粗骨材にて骨材のアルカリシリカ反応性試験を実施する。

(c) ボーリング調査によるコア診断

1) コア硬軟区分

コアの硬軟は、ハンマー打撃によって岩片の硬軟を判定するもので、下表を参照する。

表 4-7 コア硬軟区分判定表

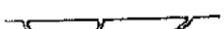
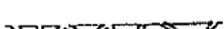
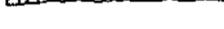
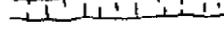
記号	硬軟区分
A	極硬, ハンマーで容易に割れない。
B	硬, ハンマーで金属音。
C	中硬, ハンマーで容易に割れる。
D	軟, ハンマーでボロボロに砕ける。
E	極軟, マサ状, 粘土状。

(出典: ボーリング柱状図作成要領 (案) 解説書 JACIC 平成 11 年 5 月)

2) コア形状

コア形状は主に割れ目頻度を表現するもので、以下の判定表に基づいて区分する。

表 4-8 コアの形状区分の例 (花崗岩)

区分	模式図	コア形状
I		長さ 50cm 以上の棒状コア。
II		長さが 50~15cm の棒状コア。
III		長さが 15~5cm の棒状~片状コア。
IV		長さが 5cm 以下の棒状~片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの。
V		主として角礫状のもの。
VI		主として砂状のもの。
VII		主として粘土状のもの。
VIII		コアの採取ができないもの。スライムも含む。

(出典：ボーリング柱状図作成要領 (案) 解説書 JACIC 平成 11 年 5 月)

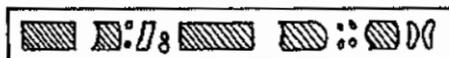
3) RQD (Rock Quality Designation)

RQD は岩盤良好度を求めるもので、次式により求められる。

$$RQD = (10\text{cm 以上のコアの総長} / 1\text{m 掘進長}) \times 100$$

例) 1 片 10cm 以上のもの

12cm 18cm 10cm → 合計 40cm



$$RQD = 40 / 100 \times 100 = 40\%$$

また、RQD と岩盤良好度には、以下に示す関係がある。

表 4-9 RQD と岩盤良好度

RQD (%)	岩盤良好度
0~25	非常に悪い (very poor)
25~50	悪い (poor)
50~75	普通 (fair)
75~90	良い (good)
90~100	非常に良い (excellent)

(出典：ボーリング柱状図作成要領 (案) 解説書 JACIC 平成 11 年 5 月)

4) フェノールフタレインによるアルカリ反応

フェノールフタレイン (phenolphthalein、PP と略すこともある) は、分析化学で用いられる pH 指示薬の一種で、水で希釈したものは**酸塩基指示薬**として**アルカリ**性の検出に用いられ、赤紫色 (濃い桃色) を呈する。色の変化は、構造が変わることにより起こり、**pH < 8.3** の酸性側で無色、**pH > 10.0** の塩基性側で赤紫色を示す。なお、pH > 13.4 では、さらに構造が変化し、無色になる。

フェノールフタレイン		
pHによる色の変化		
8.3以下	⇔	10.0~ 13.4
	⇔	13.4以上

図 4-23 フェノールフタレインによる色の変化



図 4-24 水ガラスとフェノールフタレインの反応例

(d) ボアホールスキャナー観察

ボアホールスキャナー観測は、治山ダム内部の開口量や開口数、空隙率などを求めることができ、その状況から、堤体内部の品質を評価する。本調査では、ボアホールスキャナー観測より得られた展開画像をもとに、空隙率を解析している。なお、空隙率が大きいほど粗石とコンクリートの一体化が損なわれるため、品質低下が懸念される。

また、コンクリート中の「空隙+角礫状」の割合から健全度を評価する手法も報告されており、「空隙+角礫の割合が 20%以上の場合、健全度は「不良」となる。

(e) 弾性波探査による非破壊検査

起振点より起振した波を受振点にて弾性波として捉えて弾性波速度を測定する方法である。弾性波速度は、屈折法により求める。弾性波探査では、構造物の劣化が進み間隙が多く存在する場合やその間隙が浸透水により満たされる場合、弾性波速度が遅くなり、間隙が少なく健全な構造物では速くなる傾向があり、この特性によりダム内部における劣化の程度を評価する。

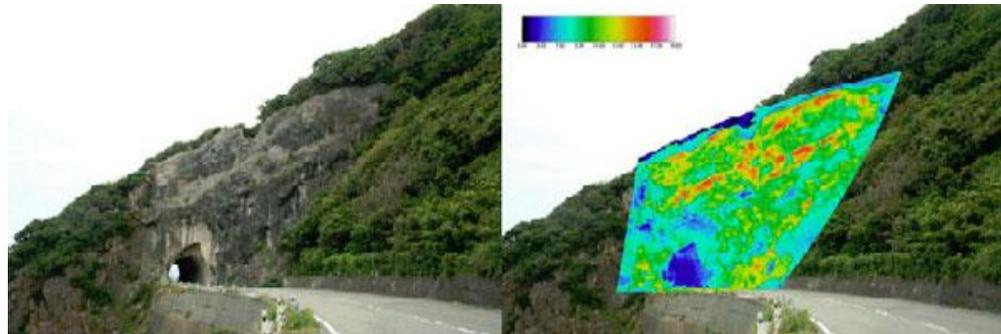
表 4-10 弾性波速度によるダム老朽化判定基準

基準：弾性波伝搬速度	2000m/s 未満	2000m/s 以上 2800m/s 未満	2800m/s 以上 3300m/s 未満	3300m/s 以上
健全度評価	不良	やや不良	概ね良好	良好
コンクリートの状態に関する推定	多くの変状あり	変状あり	やや変状あり	健全
コンクリート中の空隙+角礫状の割合推定値	20%以上	10~20%	10%未満	—

(出典：砂防施設の劣化診断と維持管理のあり方について、建設物価 2009 年 3 月)

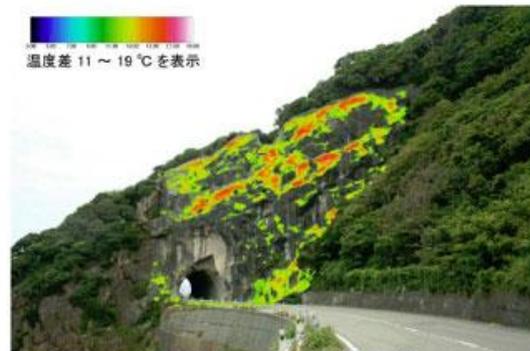
(f) 熱赤外線調査

熱赤外線調査とは、熱赤外線映像法を用いて、コンクリートおよびモルタル吹付法面の老朽化診断を行うもので、対象物を熱赤外線映像装置で撮影することにより、表面の微小な温度差から背面の土砂化や空洞化について推定するものである。熱赤外線映像装置は物体の可視像を画像化する通常のカメラと異なり、物体の温度を面的に画像化することができる。



可視画像

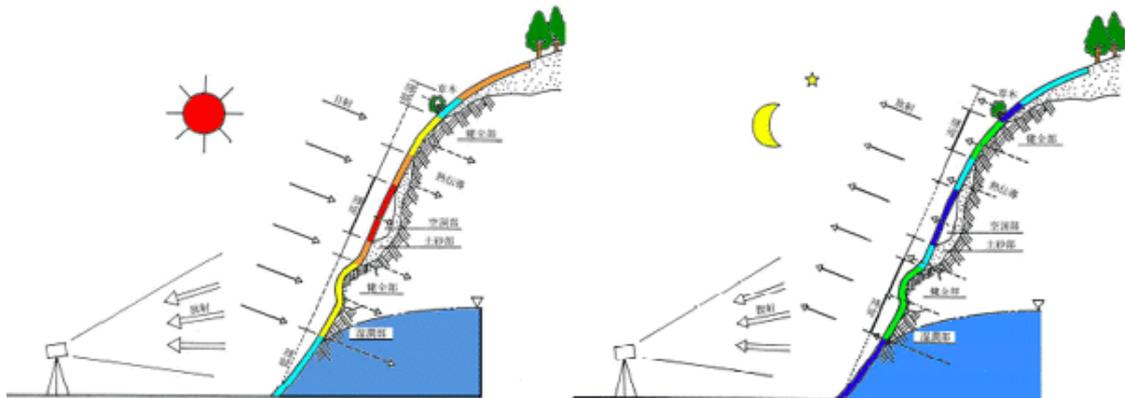
熱赤外線画像



温度差(11~19℃)抽出画像

【測定原理】

吹付のり面は、日中は日射により温められ、夜間には外気によって冷やされる。外的影響を受けた吹付のり面は、地山の変状や湧水、吹付の厚さなど比熱の違いや熱伝導率の違いによって熱移動に差を生じ、吹付モルタル背後の地山性状によっていくつかの規則性をもった表面温度分布として現れる。



吹付のり面の温度変化模式図

出典:熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル(土木研究センター発行,平成8年1月)

(g) コンクリート構造物における詳細調査方法の整理

以上から、コンクリート構造物の詳細調査の種類および内容、適用できる工種等について、以下の通り整理を行った。

表 4-11 コンクリート構造物の詳細調査方法一覧表

調査分類	調査名	把握できる内容・結果の利用	摘要できる工種	
打音調査	打音調査	空洞化の有無や範囲	全て	
コア抜き ・ボーリング	強度調査	圧縮強度試験	コア強度の定量的把握	溪間工・土留工
	性状調査	コア判定	目視コア判定による強度の定性的把握・分類	溪間工・土留工
	健全度(老朽 化)調査	アルカリシリカ反応性 (ASR)試験	異常膨張やひび割れ進行度の把握	全て
		中性化試験	コンクリートの中性化進行度の把握	全て
非破壊検査	内部状況 調査	ボアホールスキャナ	内部状況の可視化	溪間工・土留工
		熱赤外線調査	吹付のり面背面の土砂化、空洞化	吹付工
	弾性波(PS)探査	弾性波の伝わり方による強度の把握	溪間工・土留工	
	強度調査	シュミットハンマー法	コンクリートの強度測定調査	全て

第2項 鋼製構造物

治山事業における鋼製構造物は、主に以下の条件下において選定される場合が多い。

- ・ 基礎地盤が悪い場合
- ・ 短期施工が求められる場合
- ・ 透水性を期待する場合

バットレス式治山ダム・鋼製枠・落石防止壁等の鋼製治山施設は、昭和40年代から設置が始まり40~50年が経過している状況にある。そのため、経年変化に伴い、周辺環境の状況によっては、腐食が進行し、施設の安全性を確保するため補修・補強が必要なケースが生じてきている。

そこで、更新期を迎える施設がさらに顕在化する状況において、主に鋼製構造物メーカーから提供された下記資料をもとに、鋼製治山施設の腐食調査手法について以下に提案する。

<参考とした資料>

- ・ 鋼製治山施設の腐食調査手法および対策（案） 日鐵住金建材株式会社

(1) 対象とする工種

鋼製治山施設に多い工種は、前述のとおり、バットレス式治山ダム・鋼製枠・落石防止壁のあり、この3工種を本研究の対象工種とする。砂防事業に多く採用されている鋼管フレーム構造は治山としての実績が少なく、近年治山ダムでも採用されているセル構造、ダブルウォール構造については施工年度が新しいものが多いと考えられるため、これらについては対象としない。



バットレス式治山ダム



治山ダム(鋼製枠)



落石防止壁

図 4-25 鋼製治山施設に多い3工種

(2) 腐食調査手法

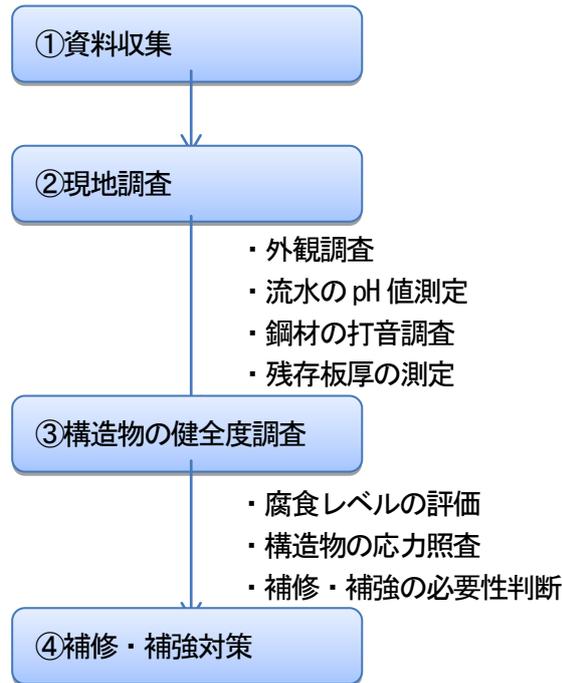


図 4-26 腐食調査手法のフロー

(3) 現地調査（目視調査・流水 pH 測定）

(i) 外観調査

鋼製施設規模等の計測および腐食状況を目視により確認する。

- ・ 鋼製施設の規模：延長、高さ
- ・ 鋼製施設の形状：形式、部材サイズ
- ・ 鋼製施設の周辺状況：湧水の有無
堆砂状況
植生状況 等
- ・ 腐食状況確認：腐食進行状況の目視確認

(ii) 流水の pH 値測定

pH 値が 4 以下の場合、腐食速度が大きくなる。鋼材の腐食が、流水に起因するかどうか確認することを目的に、構造物周辺の流水 pH 値を測定する。

砂防点検要領（案）では、鋼製不透過型構造の砂防堰堤の主な点検項目および点検留意事項として、以下を挙げている。

表 4-12 鋼製不透過型砂防堰堤の点検項目（砂防関係施設点検要領（案））

部位	着目すべき損傷等	点検留意事項
【鋼製不透過型構造の堰堤】 本体 ※砂防ソイルセメント強度レベルⅡ以上を用いた鋼製堰堤は同じ扱いとする。参照：「砂防ソイルセメント設計・施工便覧(平成23年10月砂防・地すべり技術センター)」	変形、破損、腐食、摩耗、詰材の流失等	<ul style="list-style-type: none"> 不透過型の鋼製構造の堰堤は、鋼製材料による枠構造、ダブルウォール構造、セル構造の外殻に、中詰材料として現地発生土や石礫などを充填して堤体を構成しており、鋼製部材の変形、破損(座屈、圧壊、せん断等)、腐食、摩耗、及びそれに伴う、中詰材料の流失、空洞化などに留意する。 水通し天端は、コンクリート構造堰堤の「水通し天端の摩耗」に準ずる。

(4) 現地調査（残存板厚の測定）

目視確認により、腐食進行の激しい部材・部位を選定し、超音波板厚計を用いて板厚の測定を行う。

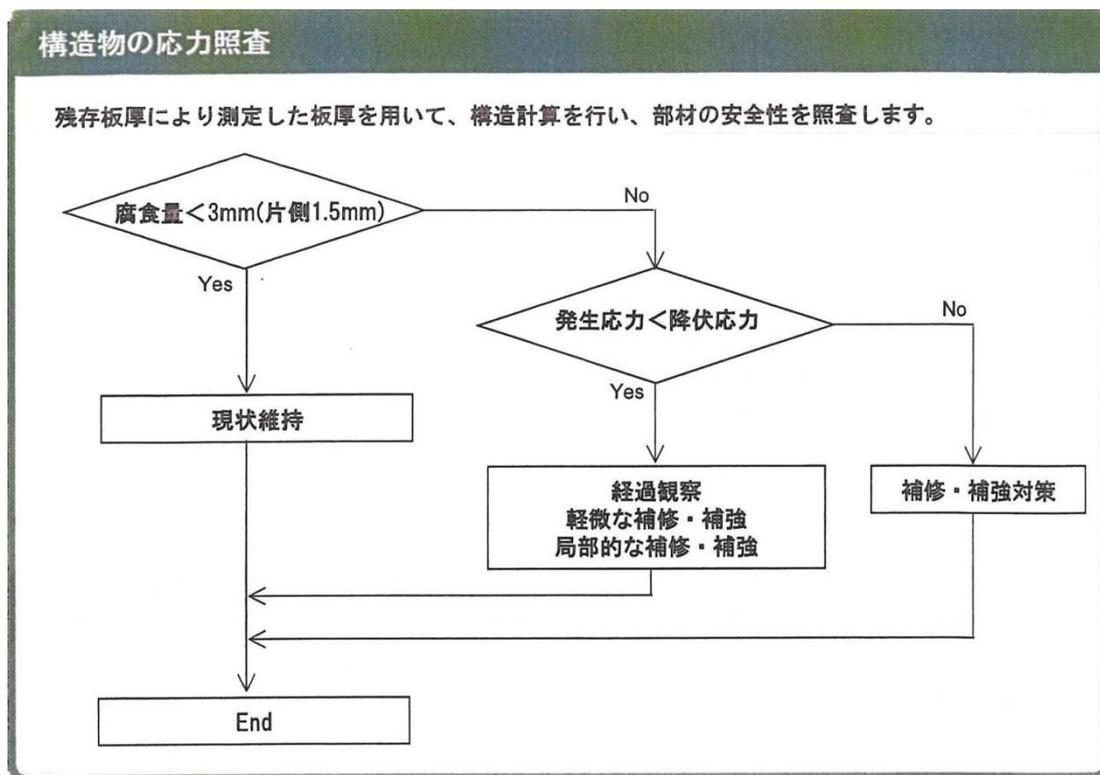


(5) 健全度評価（部材の腐食レベルの評価）

腐食 レベル	腐食状況	補修・補強対策	
レベル1	<ul style="list-style-type: none"> ・経年変化による腐食の進行がない。 ・初期塗装も残っており、健全な状態 ・接合部分、ボルトにも腐食は無い。 		補修・補強の必要なし
レベル2	<ul style="list-style-type: none"> ・完成時に比べ若干の腐食が見られる。 ・塗膜の劣化は軽度であり、赤錆が少々浮いた状態 		機能および構造の安全性に支障は無い 塗替え塗装等により、腐食の進行を抑制
レベル3	<ul style="list-style-type: none"> ・局所的に腐食が進行し、断面欠損が見られる。 ・脚部、接合部に層状腐食が見られる。 ・全体的に塗装が無くなっている。 		局所的な補修・補強対策を行う。 健全な部材は塗替え塗装により、腐食の進行を抑制
レベル4	<ul style="list-style-type: none"> ・構造部材において、著しく断面欠損している箇所がある ・ハンマーによる錆除去の段階で、鋼材が著しく欠損 ・施設機能及び構造安全性が損なわれている状態 		補修・補強対策により施設全体の安全性を確保する

※レベル3、4については、詳細調査を検討する必要がある。

(6) 構造物の応力照査



(7) 補修・補強対策(案)

補修・補強対策(案)

レベル3に対する補修・補強

Case1：脚部の腐食が激しい状態(局部腐食)

- ・鋼材脚部をコンクリートで巻建て、腐食の進行を抑える。
- ・コンクリートは、鋼材の脚部のみ打設する。流水の流下場所を確保することにより、脚部の腐食環境の改善を図る。



脚部の局所的な腐食



コンクリートで補強

Case2：壁材の腐食が激しい状態(局部腐食)

上流の堆積土砂を除去できる場合

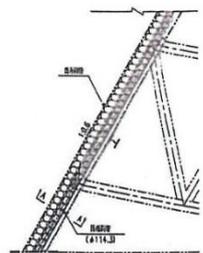
- ・全面的に交換、または、不良部材のみ抽出し、新規部材との取替えにより対応

経年変化により、上流の堆積が進行し、安定した状態にある場合

- ・既存の壁材はそのまま残し、下流側に新規部材を接続し、2重壁構造にて対応



上流側は安定した状態にある



二重管構造(案)

補修・補強対策(案)

レベル4に対する補修・補強

鋼製えん堤が腐食により老朽化したため、パットレス部材等を撤去し、透水性を保持した枠構造に置換えた事例です。



下流側



上流側



下流側



上流側

置換え前

置換え後

第3項 木製構造物

木製治山ダムは、コンクリート製治山ダムと比較して、木材の利用促進、二酸化炭素の排出削減および生態系保全などの効果が得られることから、全国的な普及の拡大が期待される。しかし、木製ダムの耐久性については不明な点が多く、施工は全国的にも一部地域（北海道、秋田県、長野県、静岡県、京都府等）に限定されている。

木製治山ダムの施工実績としては、平成14年から平成18年の間に550基が施工されている。これに伴い、施工後10年以上の施設が増加傾向にある。そのため維持管理指針の策定や木製治山ダムの腐朽評価手法の統一が求められている。

そこで先進的に木製治山ダムの設置が実施されている京都府等の調査要領などをもとに、木製治山施設の腐食調査手法について以下に提案する。

<参考とした資料>

- ・ 森林土木木製構造物設計等指針及び解説等_林野庁
- ・ 京都府木製治山ダム腐朽度調査要領
- ・ 秋田県森林土木木製構造物設計等指針【H22.4.1以降適用】 秋田県農林水産部森林整備課

(1) 対象とする工種

- ・ 木製治山ダム（大型、ラムダ型）
- ・ 大型木製護岸工
- ・ 木製流路工
- ・ 大型木製土留工

(2) 機能確保の方法

木製構造物については、必要に応じて、施工後、木材の劣化等に対して定期的に点検を実施し、適切に対処することが望ましい。

点検の方法は、図4-27に示すように大きく概略点検と詳細調査に分けて調査を行い、補修・補強や更新といった対策等の必要性を判断するものである。

まず、概略点検では、定性的な方法を用いて詳細調査の必要性を判断する。この結果、詳細調査の必要ありと判断された場合には、定性的な調査に加えて定量的な調査を行い、対策等の必要性を判断するものである。以下概略点検と詳細調査の内容について詳述する。

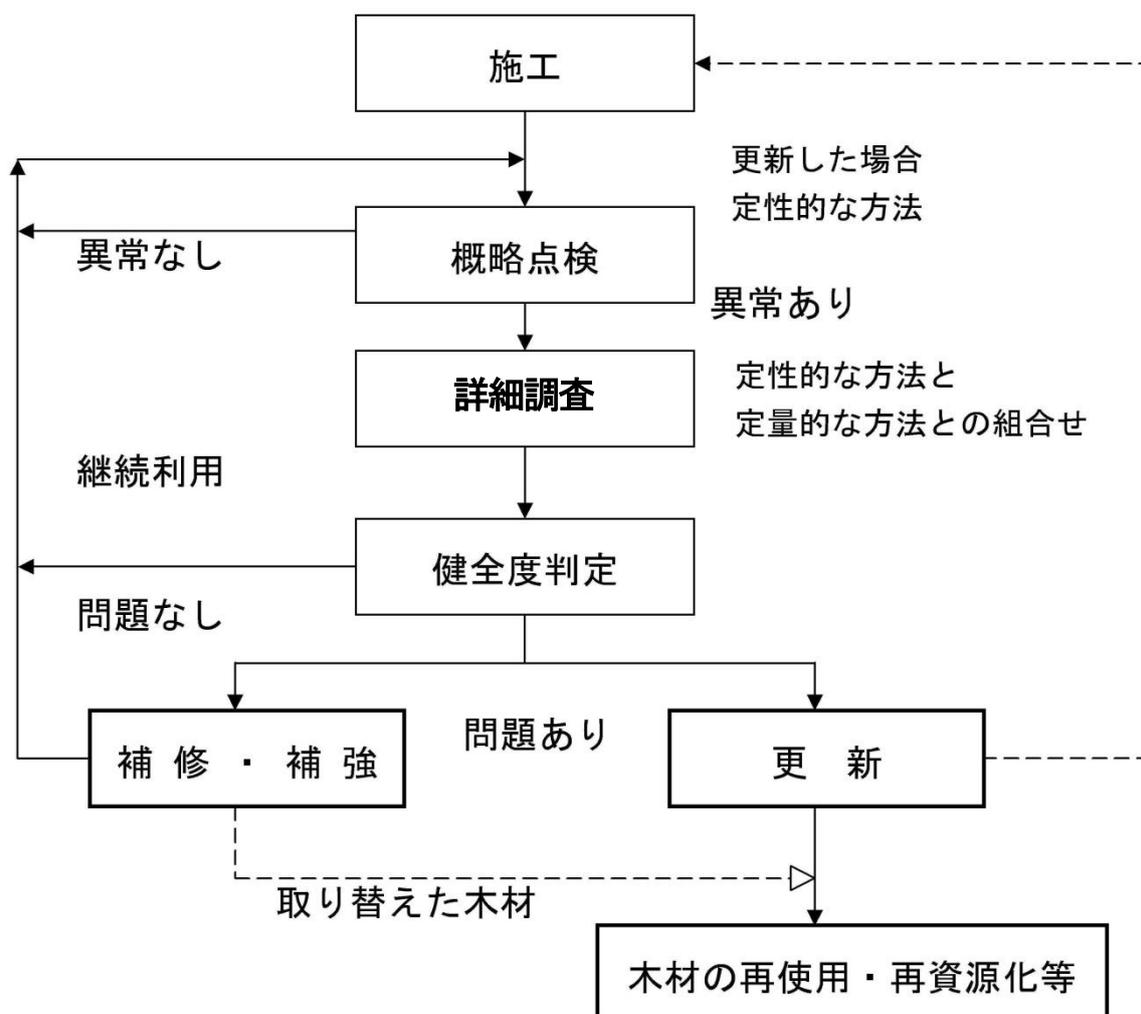


図 4-27 機能確保の概念 (秋田県森林土木木製構造物設計等指針)

(3) 概略点検

(i) 概略点検の目的及び方法

概略点検は、施工後、継続的かつ定期的に、または災害が発生した場合等に異状の有無を確認するために行うものであり、木材を利用した構造物及び部材について、現地における目視、触診、打診等の定性的な調査方法により、木材劣化等により構造物としての機能が低下していないかを確認し、詳細調査の必要性を判断するものである。

なお、木材劣化の定性的な調査方法としては次のものがある。

① 目視

肉眼の観察により調査する。次のような腐朽等の兆候、損傷を調べる。

ア 部材の変色、変状

イ 部材の損傷

ウ 菌類の予実体の発生

エ 蟻道などの形跡

② 触診

指で触れて感触を調査する。腐朽していれば、軟らかい感触がする。腐朽を確認する場合は必要に応じて、錐・ドライバー等を突き刺して刺診により調査する。

③ 打診

ハンマー等で叩いて調査する。腐朽していれば、健全な部位に比べて、鈍い音がし、反発が小さい。

(ii) 概略点検の調査箇所

木材劣化を概略的に判断するため、全体的な概観や重要な部材、接合部等の腐朽が進みやすい箇所を重点的に調査するものとする。

(a) チェックリスト等の活用

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、記録を残すものとする。

(b) 概略点検の判定

構造物としての機能低下が確認された場合は、速やかに詳細調査を行い適切に対処するものとする。

なお、概略点検における木材劣化の定性的な判断基準としては、木材の劣化の度合いを6段階の被害度で判定する方法がある。(下表)

(c) 概略点検の頻度

概略点検は、定期的を実施するが周辺で災害が発生した場合は、必要に応じて臨時的に実施する。

[実施例] 木材劣化の定性的な判定基準

観察による腐朽等の判定基準としては、木材の劣化の度合いを6段階の被害度で判定する方法がある。

表-1 木材劣化の定性的な判定基準

被害度	観 察 状 況
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽等
2	全面的に軽度の腐朽等
3	2の状態に加え部分的にはげしい腐朽等
4	全面的にはげしい腐朽等
5	腐朽等により形が崩れる

(4) 詳細調査

(i) 概略点検の目的及び方法

詳細調査は、概略点検により構造物の機能低下等が確認され、詳細調査が必要であると判断された場合に行うものであり、再度、全体について概況を確認し、機能低下の要因と考えられる箇所等について詳細な調査を行い、構造物としての健全度を判定して補修・補強や更新といった対策等の必要性を判断する。

(ii) 詳細調査の方法等

木材劣化を判断するための調査は、目視・触診・打診等による定性的な調査と計測器具による定量的な調査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、想定される腐朽の状況などに応じて、次の調査方法から適切なものを選定する。

(a) 定性的な方法

- a 目視による方法
- b 触診、打診等による方法

(b) 定量的な方法

a 打込抵抗法 (ピロディン)

ピン打込試験機を用いた非破壊試験である。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) を計測するもので、比較的簡易に計測が可能である。

これまでの研究で、打込深さは木材の曲げ強度と負の相関関係があり、劣化が進むと打込深さが大きくなる。腐朽厚が比較的小さい場合に有効である。

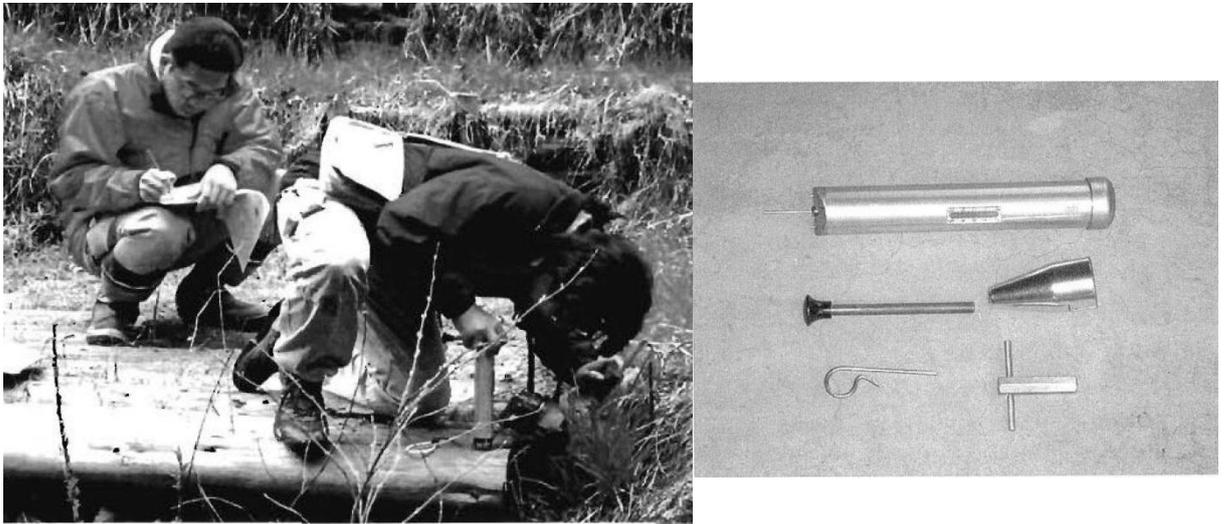


図 4-28 ピロディンによる測定 (京都府林業試験所 試験研究業務月報 H15. 5)

(左: 京都府林業試験所 試験研究業務月報 H15. 5、右: 大分県林試研報 15 号土木用木製構造物の耐久性に関する研究)

なお、大分県林試による研究では、土木用木製構造物への使用頻度が最も高い直径 10cm の小径スギ丸太を例にして、腐朽の進行にともなう Pdr（ピロディン貫入深さ）の増大とそれによる強度劣化について検討している。これによれば、丸太内部が均質であると仮定すると、表 8 に示すように、Pdr の増大に伴う縦圧縮の強さの減少率は、丸太断面積に比例し、Pdr が 32.54mm（≒33mm）のときに 50%となっている。つまり、健全材と比較して Pdr が 33mm のとき（Pdr. 33）に強度が概ね半分になることから、これを使用不能材としている。

また、Pdr. 33 が 70%を耐久限界とし、木製構造物の耐用年数は、無処理材で 6.2 年、防腐処理材で 16.0 年であったと報告している。

表 4-13 直径 10cm の小径丸太における Pdr と縦圧縮強度減少率

(大分県林試研報 15 号 土木用木製構造物の耐久性に関する研究)

Pdr (mm)	腐朽部半径 (mm)	健全部半径 (mm)	断面積 (mm ²)	強度減少率 (%)
18	0.1	49.9	7819	99.9
19	1.1	48.9	7508	95.6
20	2.1	47.9	7204	91.8
21	3.1	46.9	6907	88.0
22	4.1	45.9	6615	84.3
23	5.1	44.9	6330	80.6
24	6.1	43.9	6051	77.1
25	7.1	42.9	5779	73.6
26	8.1	41.9	5513	70.2
27	9.1	40.9	5253	66.9
28	10.1	39.9	4999	63.7
29	11.1	38.9	4751	60.5
30	12.1	37.9	4510	57.5
31	13.1	36.9	4275	54.5
32	14.1	35.9	4047	51.6
33	15.1	34.9	3825	48.7
34	16.1	33.9	3609	46.0
35	17.1	32.9	3399	43.3
36	18.1	31.9	3195	40.7
37	19.1	30.9	2998	38.2
38	20.1	29.9	2807	35.8
39	21.1	28.9	2623	33.4
40	22.1	27.9	2444	31.1

b 超音波伝播速度法 (パンジット)

超音波試験機を用いた非破壊試験である。部材の両面に密着させた端子の一方から超音波の信号を発信し他方で受信して2点間の超音波の伝播速度を計測するが、部材の設置状況によっては計測できないこともある。

木材の曲げ強度と正の相関があり、劣化が進むと伝播速度は遅くなる。



図 4-29 パンジットによる測定 (京都府林業試験所 試験研究業務月報 H15.5)

c 応力波法 (ファコップ)

応力波試験機を用いた非破壊試験である。木材に差し込んだセンサーをハンマーで打撃し、この信号を他方に取り付けたセンサーで測定して2点間の応力波伝播速度を計測するが、部材の設置状況によっては計測できないこともある。



図 4-30 ファコップ (京都府木製治山ダム腐朽度調査要領)

d 穿孔抵抗法（レジストグラフ）

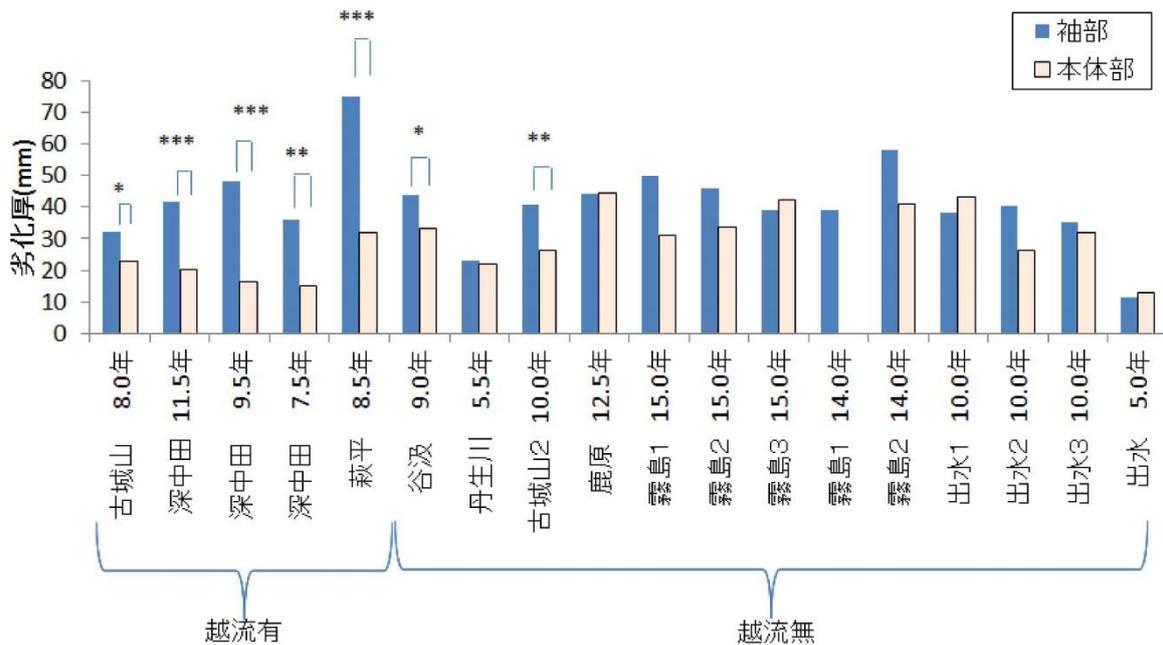
穿孔抵抗試験機を用いる。ドリルを回転させて木材に貫入させ、穿孔抵抗を計測する。深さごとの穿孔抵抗の変化を波形で記録することなどにより、その穿孔抵抗からの腐朽部分の厚さ等が推定できる。



図 4-31 レジストグラフによる測定

(左：京都府林業試験所 試験研究業務月報 H15.5、右：京都府木製治山ダム腐朽度調査要領)

レジストグラフを使用して木製治山ダムの袖部と本体部で劣化層を調査した事例を以下に示す。



は袖部と本体部の劣化厚の有意差: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001 U検定 (箇所名の上部の数字は、経過年数)

図 4-32 木製治山ダムの平均劣化層

(木製治山ダムに使用されたスギ材の劣化状況岐阜県森林研究所 和久田友宏)

これによれば、袖部のほうが本体部より劣化層が厚い場合がほとんどであることが分かる。この原因としては、流水がある箇所では本体部は常に水にさらされ空気が遮断されるため、劣化の進行が抑えられるためと考えられる。一方、越流が無い袖部では空気が供給された状態で乾湿が繰り返されるため、

一様に劣化が進むと考えられる。

e 簡易穿孔抵抗法

木材に所定の大きさのガイド孔をあけ、トルク（回転モーメント）が計測可能なレンチ等を用いてネジをねじ込み測定する。

ネジの形状としては木ねじや成長錐を用いる方法が行われているが、森林土木木製構造物の現地測定では、ある程度径の大きな木ねじか成長錐（径9mm）を用いて行う方法が適している

f その他の方法

(iii) 詳細調査の実施箇所

詳細調査は、腐朽しやすい箇所、構造上重要な箇所、前回の点検で腐朽が進行していると判断された箇所について、重点的に実施する。

(iv) 詳細調査結果のとりまとめ

詳細調査を実施した結果は、健全度が判定できるように、調査結果を図表・写真等にとりまとめ、点検台帳等に記録して保存しておくことが望ましい。

また、必要に応じて木製構造物の腐朽状況をとりまとめて、今後の計画・設計及び維持管理のための基礎資料とする。

(5) 健全度評価

(i) 判定の区分

健全度判定は、詳細調査の結果を総合的に判断した上で、部材及び構造物全体の劣化・損傷の度合、予測、問題点を把握して下表に示すA～Eの5段階の健全度レベルを判定し、継続利用、更新、一部更新（補修・補強）等の必要な対処を決定するものとする。

(ii) 詳細調査の頻度

健全度判定において、レベルC、D、Eと判定された場合又は施工後一定期間以上経過した場合は、詳細調査を定期的、継続的に実施するものとする。

レベル	健全度	対応
A	正常で機能上問題がない。	なし
B	ほぼ正常で機能上ほとんど問題がない。	特になし
C	軽度の異常があり、機能にやや問題がある。	状態を監視する（詳細調査を年1回以上実施する）。
D	異常があり機能に問題がある。	更新、補修・補強を検討し、必要に応じて、実施する。
E	強度の異常があり、機能に重大な問題がある。	すみやかに更新、補修・補強を実施する。

2 点検台帳（例）

(1) 基礎データ

構造物の工種		最終的な取扱	残置・撤去・更新
構造物の名称			
溪流名・地区名			
施工箇所	市・郡	町・村	番地
溪床（斜面）勾配		集水面積	ha
構造物の諸元			
高さ	m	長さ	m
多段式の場合の全体の高さや段数			
天盤厚	m	堤底幅	m
木材の樹種		丸太の加工状況	
木材の寸法	(主要部材の末口径・長さを記載)		
防腐処理の有無	有 ・ 無	木材防腐剤の種類	
接合部の種類		詰石（詰土）の規格	
施工年月	平成 年 月 日	修繕年月	平成 年 月 日
点 検 履 歴			
区分	整理番号	点検年月日	総合判定等
概略点検・詳細点検			
関 係 図 面			
位置図・構造物全体の構造図（正面図、側面図、平面図）を添付			

3 概略点検チェックリスト (例)

整理番号		点検方法： 目視、触診を基本とするが、必要に応じて、ドライバーによる刺診、ハンマーによる打診を併用する。		
点検年月日	平成 年 月 日			
点検者				
点 検 項 目		箇所 (番号)	判定	コメント
構造物全体	変形・ずれ			
	破損・破壊			
木材の部材	変色・変状・異音			
	腐朽			
	蟻害			
	子実体の発生			
	損傷・摩耗・割れ			
	欠落・破損・折れ			
接 合 部 (金 具)	さび・腐食			
	ゆるみ・ずれ・変形			
	欠損・欠落			
詰石 (詰土)	ゆるみ・沈下・流出			
基 礎 部	異常な浸食・洗掘			
堆 砂 敷	異常な土砂堆積			
概略点検の総合判定		A ・ B ・ C ・ D ・ E		
詳細点検の必要性		無 (A, B) ・ 有 (C, D, E)		
構 造 図	構造物全体の構造図 (正面図、側面図、平面図) に点検項目の判定が d, c, e である場合は、その箇所 (番号) を記入する。			
写 真	構造物全体の写真、点検項目の判定が c, d, e である場合は、その部分の拡大写真を貼付する。			

判定基準

判定	総合判定	内 容	木材劣化の定性的な判定基準	
a	A	健全・正常・良好	0	健全
b	B	ほぼ健全・ほぼ正常・ほぼ良好。 機能にほとんど問題がない。	1	部分的に軽度の腐朽等
c	C	軽い損傷・異常がある。機能にやや問題がある。	2	全面的に軽度の腐朽等
d	D	損傷・異常がある。機能に問題がある。	3	部分的に激しい腐朽等
e	E	強い損傷・異常がある。機能に重大な問題がある。	4, 5	全面的にはげしい腐朽等、腐朽等により形がくずれる

第5章 構造等の違いによる劣化形態とその原因・要因に関する検討

第1節 コンクリート構造物

コンクリート構造物に現れる代表的な劣化現象は下表の通りである。

表 5-1 変状・劣化の種類と劣化要因（「コンクリート診断技術」（社）コンクリート工学協会）

変状・劣化の種類		変状・劣化要因								
		初期 欠陥	中 性 化	塩 害	A S R	凍 害	化 学 的 腐 食	疲 労	摩 耗 ・ 風 化	構 造 ・ 外 力
初期欠陥	豆板	○								
	コールドジョイント	○								
	内部欠陥（空洞等）	○								
	砂スジ	○								
	表面気泡	○								
	非進行性ひび割れ ・ 乾燥ひび割れ ・ 乾燥収縮ひび割れ ・ 温度ひび割れ	○	◆非進行性ひび割れは、施工中、または完成後早い時期に処理を行えば、耐久性に問題は生じない。放置しておいた場合は、他の劣化要因と複合し、進行性のひび割れに変わる場合もある。							
材料劣化 （内部要因 によるもの が多い※）	ひび割れ	鉄筋腐食先行型		○	○					
		ひび割れ先行型				○	○	○	○	○
	浮き・剥落		○	○	○	○	○	△		
	錆汁		○	○	△		○	△		
	エフロレッセンス					○			○	
	変色			○	○		○		○	
	すりへり（摩耗）								○	
断面欠損		△	○			○	○		○	
構造劣化 （外部要因 によるもの が多い※）	曲げ・せん断ひび割れ									○
	たわみ							○		○
	変形			△	△	○			△	○
	振動（剛性の低下）			△	△	○			△	○

※ 材料劣化は主に内部要因、構造劣化は外部要因によるものが多い。

しかし、材料劣化でも疲労や構造外力のような外部要因でもひび割れなどの変状・劣化が生じる、あるいは、中性化や塩害などによる耐荷力の低下のような内部要因でも変形等の構造劣化を生じる場合もある。

第1項 劣化形態の種類

(1) 初期欠陥

初期欠陥は、耐久性に致命的な問題が生じることは少ないものの、放置した場合に他の劣化要因と複合して進行性の劣化に変化する場合があることから、極力、発見段階での補修が必要である。

表 5-2 劣化の特徴（初期欠陥） ※赤囲みは治山施設で注意すべき事象

変状の種類		変状の原因、内容	影響
豆板		コンクリート打設時、材料の分離、締め固め不足、型枠下端からのセメントペーストの漏れなどにより粗骨材が多く集まって不良部分が生じるもの。	空隙が多くなり、水密性やコンクリートの中性化抑制効果が低下する。中性化や塩害などを誘発しやすい。
コールドジョイント		コンクリートの打ち重ね部分が一体化せず、不連続面が生じる。	コールドジョイント発生部位は一般に強度が低下している。水密性の低下により中性化、塩害、化学的腐食を誘発することがある。
内部欠陥（空洞等）		コンクリートとモルタル、タイル貼りの界面、あるいはコンクリートと岩盤の界面に生じる空洞や、躯体内部に生じる空洞など様々な形態がある。原因も、施工不良や地盤の変形など、様々である。	コンクリート本体に空洞が生じている場合は耐力の低下や中性化、塩害など他の劣化要因を誘発することがある。
砂スジ		ブリージング水の多いコンクリートの打ち足しやコンクリートの過度の締め固めにより、コンクリート中の水分が分離して表面に流れ出し、表面に細骨材が縞状に露出した状態	
表面気泡		傾斜型枠面などに余剰水や空気泡が溜まり、コンクリート面があばた状になる状態。	表層部にブリージング水が残りやすいため、水セメント比が大きくなり、かつ水密性も低いため、強度や中性化抑制効果が低下しやすい。
ひび割れ	乾燥収縮ひび割れ	コンクリートが乾燥する際に体積減少（収縮）を起こし、ひび割れが発生。	乾燥収縮ひび割れなど、施工に由来する初期欠陥そのものがコンクリートの品質に悪影響を及ぼすことは少ないが、ひび割れ面から水や空気の侵入による鋼材腐食を防止するために、早期の補修が望ましい。
	温度ひび割れ （熱膨張ひび割れ）	硬化熱（自己収縮） 水和反応熱により内部温度が上昇してコンクリートが膨張し、温度低下によりひび割れを生じる。水セメント比が小さいコンクリートや躯体が厚い部材ほど熱の発散効率が悪く、大きな貫通ひび割れを起こす。	
		太陽熱 完成後、直射日光を長時間受け続けると、壁面温度が高くなり、コンクリートが膨張しひび割れを生じる。	
	沈下ひび割れ	ブリージングにともなってコンクリートが沈下するが、鉄筋付近はコンクリートが拘束されるので、周囲との沈下量の差でひび割れが生じる。	

- ・ 豆板（ジャンカ）
治山施設は山間部で索道等で打設する 경우가多く、豆板の発生リスクが高くなる。
- ・ 内部欠陥（空洞等）
昭和 40 年台以前に施工された治山施設については、コンクリートの施工基準等が明確でなかったために品質が悪い場合が多く、内部に空洞等が認められる施設が多い。
- ・ 温度ひび割れ（硬化熱）
溪間工のようなマスコンクリートでは水和熱が発生するため、温度ひび割れが発生するリスクが高い。

(2) 材料劣化

コンクリート材料の劣化はひび割れが代表的であるが、ひび割れ→浮き→剥離→断面欠損と経過をたどり、構造物としての機能・性能の低下に繋がるケースがあるため、進行性のひび割れに対しては経過観察が必要である。

表 5-3 劣化の特徴 (材料劣化 その1)

※赤囲みは治山施設で注意すべき事象 (点線は鉄筋コンクリート構造の場合に注意すべき事象)

変状の種類	変状の原因、内容		影響	
ひび割れ	鉄筋腐食先行型	中性化	水セメント比が過大な場合や鉄筋かぶりが少ない場合に、コンクリートによる中性化抑制効果が低下し、鉄筋腐食を起し、ひび割れに至る。一般に塩害を伴って品質の低下を起す。1978年に鉄筋被りとひび割れに関する設計強度が規定された。	アルカリ性のコンクリートがpH 9以下に下がった状態であるが、中性化によってコンクリートが強度を失うことはない。無筋コンクリートでは実害は少ない。中性化によりOH ⁻ が減少し、Cl ⁻ (塩素イオン)が不動態被膜(新しい鉄筋の表面についている青黒い被膜)を破壊し、鉄筋の錆が発生し、鉄筋断面不足、コンクリート断面不足により耐力が「低下する。
		塩害	塩分を含む材料の使用や海水、融雪材などの塩分飛来により鉄筋腐食を起し、ひび割れを発生させます。多くの場合中性化と複合して発生する。1986年塩分総量規制施行により材料に由来する塩害は減少したが、海岸付近や融雪材使用地域では塩害が見られる。	コンクリート中の鉄筋が、Cl ⁻ (塩素イオン)が原因となって錆びる、または錆びて体積膨張をおこした結果、コンクリートを押し割ってひび割れを生じる。ただし、コンクリートが強アルカリを保っている場合は、Cl ⁻ が多く含まれても鉄筋の錆は生じるとは限らない。
	ひび割れ先行型	アルカリ骨材反応	コンクリートに含まれている骨材(粗骨材・細骨材)とセメント中に含まれているアルカリ金属イオンとが反応し、そこに水が入って膨張する現象。ある種(輝石安山岩系など)の反応性骨材が混入している場合に起こる。	西日本で多く見受けられるが、近年では反応性骨材が規制対象となっているために、新築構造物(1968年以降)に関してはあまり問題となっていない。
		凍結融解	コンクリート中の毛細管や内部に存在する空洞等に水が侵入し、その水が凍結することにより体積膨張をおこしコンクリートを押し割ってしまう現象をいう。	寒冷地における構造物でコンクリート表面を防水被覆していない場合によく見受けられる。
		疲労	繰り返し荷重によって部材が疲労し、ひび割れ、剥離、崩落にいたる現象。橋梁や建築の床版などのように、たわみを許容して設計された構造物に多くみられる。	構造ひび割れと同様に、構造的弱点部分にひび割れが多数発生するため、耐力が低下する。
	化学的腐食	セメント分が化学反応を起こして劣化するもので、一般には特殊条件に置かれているコンクリートに起こる。	温泉水、化学工場や食品加工場の廃液など、特殊な条件の場合にのみ問題となる。	
浮き・剥落	中性化・塩害・凍害などを原因としてコンクリート表面の付着力が低下し、表面から次第にコンクリートが剥げ落ちていく。		断面の不足、鉄筋被り不足などによる構造物の耐力性低下、コンクリート塊の落下被害などが生じる。	

表 5-4 劣化の特徴 (材料劣化 その2) ※赤囲みは治山施設で注意すべき事象
 ※赤囲みは治山施設で注意すべき事象 (点線は鉄筋コンクリート構造の場合に注意すべき事象)

変状の種類	変状の原因、内容		影響
錆	中性化による錆	コンクリート中の中性化により鉄筋の不動態被膜が破壊し、鉄筋の錆が発生する。 錆の成分は Fe_3O_4 、無定形オキシ水酸化鉄などで、一般に黒色の錆汁が発生する。	中性化残りが10mm (塩害を伴う場合は15mm) 以下になると鉄筋腐食が急激に進展する。中性化のみで発錆することは稀で、多くは塩害など他の要因と複合していることが多い。
	塩害による錆	コンクリート中の鉄筋が、 Cl^- (塩素イオン) が原因となって錆びる。 錆の成分は Fe_3O_4 、 $\alpha-FeOOH$ 、無定形オキシ水酸化鉄などで、黒色や赤褐色、黄色などの錆汁が発生する。 中性化を伴っている場合は、 $\beta-FeOOH$ で、淡褐色の錆汁が発生する。	塩害を主とする場合、ひび割れが発生していない場合でも鉄筋の腐食が内部で進行しており、ひび割れと錆汁が同時に発生している場合、劣化はかなり進行していると考えられる。
	剥離、ひび割れによる錆	錆の成分は $\gamma-FeOOH$ 、 $\alpha-FeOOH$ で、黒～赤褐色の錆汁が発生する。塩害を伴っている場合は、 $\beta-FeOOH$ で、淡褐色の錆汁が発生する。エフロレッセンスを併発していることがある。	ひび割れ部分などから水が浸透し、鉄筋腐食を起すもので、一般にひび割れ幅が0.2mm以上の場合に可能性が高い。
	骨材の錆	鉄鉱石などが骨材に含まれている場合、錆汁が発生することがある。	骨材のみの錆だけなら問題は少ないが、中性化や塩害を原因としている可能性があり、鉄筋の腐食も同時進行している、あるいは進行する可能性がある。
	周辺鋼材の腐食	コンクリート表面に設置される、鉄や手摺などの鋼材腐食による錆汁。 部材内部の鋼材による錆汁と区別する必要がある。	美観を損ねるが、鉄筋コンクリート部材そのものへの影響は少ない。
エフロレッセンス	混練水等のコンクリート中の水分がコンクリート表面で蒸発し、可溶成分 (カルシウム) が乾燥して生成され、一般に白い析出物が付着する。		エフロレッセンス自体がコンクリートの品質に悪影響を及ぼすことはないが、エフロレッセンスの発生は水の移動に関係しているため、ひび割れや内部欠陥など、他の劣化が発生している可能性があるため注意を要す。
変色	コンクリートの変色には、塩害、中性化、凍害等の劣化要因の作用で変色を起す場合、火災による場合、セメントの水和物の変質による場合などがある。		セメントの水和物による変色だけでコンクリートの耐力が低下することは稀であり、殆どの場合、変色を起した元来の要因 (塩害、中性化、凍害、火災等) により劣化する。
摩耗 (すりへり) ・風化	摩耗	水路のような場合で、セメント質の部分が摩擦により削り取られ、骨材を支えきれなくなり、やがて骨材がはずれるパターンで摩耗と、衝撃が加わることによって割れて消失するという摩耗がある。	鉄筋被りの減少や断面不足により全体的に強度が低下する可能性が高い。 また、被り不足により中性化や鉄筋腐食を進展させる可能性がある。
	風化	工場煤煙や硬度の高い水質によって、セメント成分が溶出して風化する。	コンクリートが粗化し、強度が低下する。

摩耗

治山施設 (特に溪間工) の場合、流水中の砂礫が多く、かつ大粒径の場合 (上流域に崩壊地を抱えた大流域) には天端部が摩耗するケースが多い。

(3) 構造劣化

外力等の作用により、構造物全体に変状を来す例がある。具体的には下表の通りであるが、無筋のマスコンクリートとして施工される場合が多く、常時は過度の外力が作用することが少ない治山施設においては、たわみ、変動、振動等が発生するケースは少なく、落石や土石流等で設計外力以上の力が作用した場合に曲げやせん断ひび割れといった変状が発生することとなり、その場合大変形に繋がるケースが多い。

表 5-5 劣化の特徴 (構造劣化)

※赤囲みは治山施設で注意すべき事象 (点線は鉄筋コンクリート構造の場合に注意すべき事象)

変状の種類	変状の原因、内容	影響																									
構造的なひび割れ ・ 曲げひび割れ ・ せん断ひび割れ	設計荷重以上の荷重や偏荷重を受けることにより、曲げモーメントが卓越する箇所では部材軸にほぼ直角に、せん断力が卓越する箇所は斜め方向にひび割れが生じる。	構造上弱点となっている可能性があり、耐力性を検討のうえ、補修、補強などの対策を検討する必要がある。																									
たわみ	構造的欠陥や中性化・塩害・凍害・化学的腐食・ASR・疲労・摩耗など、様々な劣化要因の作用により劣化進行が著しく進行すると、部材のじん性や剛性が低下し、たわみが大きくなる。 たわみが発生する構造物は、橋梁や梁・床スラブのように構造上たわみを前提している場合に多く見られる。	たわみは、以下の条件を考慮し対策を検討するのが望ましい。 たわみ・スパン比 <table border="1" data-bbox="965 840 1420 996"> <thead> <tr> <th>劣化度</th> <th>たわみ/スパン</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I (なし)</td> <td>1/300 未満</td> </tr> <tr> <td>II (軽度)</td> <td>1/200 未満</td> </tr> <tr> <td>III (中度)</td> <td>1/100 未満</td> </tr> <tr> <td>IV (重度)</td> <td>1/100 以上</td> </tr> </tbody> </table> ひび割れ <table border="1" data-bbox="965 1052 1420 1209"> <thead> <tr> <th>劣化度</th> <th>ひび割れ幅</th> <th>総長さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I (なし)</td> <td>0.5mm 未満</td> <td>6m 未満</td> </tr> <tr> <td>II (軽度)</td> <td>1.5mm 未満</td> <td>15m 未満</td> </tr> <tr> <td>III (中度)</td> <td>3.0mm 未満</td> <td>20m 未満</td> </tr> <tr> <td>IV (重度)</td> <td>3.0mm 以上</td> <td>20m 以上</td> </tr> </tbody> </table> 出典：「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術」（国土開発技術センター：技報堂出版 1986、P. 75～78）	劣化度	たわみ/スパン	I (なし)	1/300 未満	II (軽度)	1/200 未満	III (中度)	1/100 未満	IV (重度)	1/100 以上	劣化度	ひび割れ幅	総長さ	I (なし)	0.5mm 未満	6m 未満	II (軽度)	1.5mm 未満	15m 未満	III (中度)	3.0mm 未満	20m 未満	IV (重度)	3.0mm 以上	20m 以上
劣化度	たわみ/スパン																										
I (なし)	1/300 未満																										
II (軽度)	1/200 未満																										
III (中度)	1/100 未満																										
IV (重度)	1/100 以上																										
劣化度	ひび割れ幅	総長さ																									
I (なし)	0.5mm 未満	6m 未満																									
II (軽度)	1.5mm 未満	15m 未満																									
III (中度)	3.0mm 未満	20m 未満																									
IV (重度)	3.0mm 以上	20m 以上																									
変形	外力により変形する場合と、コンクリートの性質上（水和熱上昇による乾燥収縮・膨張、クリープ等）変形するものがある。	外力による変形の場合、曲げひび割れやせん断ひび割れを併発していることが多い。進行性の場合には構造的に弱点となるため、早急の対策が必要である。 コンクリートの性質によるものは、多くの場合は非進行性で劣化が進むことは少ないが、変形が大きく、設計耐力性が確保されていない場合は早急の対策が必要である。																									
振動	構造物の劣化が構造物の剛性を低下させ、その結果、固有振動が低下する性質がある。 固有振動が低下すると振動による振幅が増大し、たわみ量が増大して破損・破壊に至ることがある。	振動が問題となる構造物は、一般に橋梁のような長いスパンを持つものが代表的である。 農業水利施設では PC タンクのような円筒構造、水路橋、堰柱などが考えられる。 振動による構造物の耐力性は、必要に応じて詳細調査による構造の安全照査段階で実施する。																									

・ 治山施設の場合、構造劣化の原因は土石流や地すべり、落石等の外力、劣化の進行によるものも多く、次のような劣化・損傷事例が多い。

- ・ 堤体の損傷（欠損）
治山施設は土石流や地すべり、落石等の外力、または堤底洗掘や天端の摩耗の進行、あるいは劣化の進行によって堤体の一部が損傷（欠損）するケースが多い。
- ・ 目地の開き、傾き
土石流や地すべり、落石等の外力、または基礎地盤の不同沈下等の原因によって、目地部に開きや傾きが生じるケースがある。治山施設の場合（特に土留工など）は、崩積土層等のルーズな地盤上での施工を余儀なくされるケースもあることから、経年変化や豪雨等のイベント発生時によって目地部の異常が生じる場合が多い。

（4）周辺部の変状

構造物本体の材料劣化、構造劣化の他に、治山施設においてはその周辺の地山や基礎部において変状を生じる場合がある。具体的には以下の事象である。

- ・ 基礎部の洗掘（主に溪間工）
- ・ 袖部（端部）の洗掘（溪間工、土留工）
- ・ 背面土砂の流出（吹付工、法枠工）

治山施設（特に谷止工）では、劣化・損傷等の変状事例の中で、基礎部の洗掘が事例として最も多い。堤体の安定性に直接影響を及ぼす事象なので重要度も高いと考えられる。



図 5-1 治山施設の周辺部での変状

（左：谷止工基礎部の洗掘、中：谷止工袖部の洗掘、右：法枠工の背面土砂流出による空洞化）

第2項 劣化の原因・要因

○環境としての劣化要因の分類

- ・ 降雨

治山施設は降雨に曝される施設が殆どであり、降雨は非常に大きなリスク要因であると言える。特に前述のアルカリ骨材反応など、水の供給によって劣化の進行されるタイプの材料劣化が生じている場合は、劣化進行度の把握と早急な対策が必要である。

- ・ 土石流・流砂等

溪間工などの溪床や河道内に施工される治山施設の場合、土石流や洪水時の多量の流砂が天端の摩耗や袖部損傷等のリスク要因となる。土石流や流砂の影響が見込まれる地域では、天端の高強度材料による被覆や袖部の鉄筋による補強等の対策が必要である。

- ・ 低温

低温は凍害・凍上の発生要因となる。凍上は土壌が凍結して氷の層が発生し、それが分厚くなる為に土壌が隆起する現象であり、法枠工や吹付工など、地山を被覆する形で施工される構造物にとってのリスク要因となる。そのため、日平均気温が4°未満になる日がある地域においては、吹付厚を通常より厚くしたり、寒中コンクリートや鉄筋等を用いた対策が必要である。

- ・ 飛来塩分

海岸に近い地域では、飛来塩分が多く、塩害のリスクを増進させるため、海岸沿いに施工された施設で塩害による材料劣化が生じている場合は、劣化進行度の把握と早急な対策が必要である。

- ・ 火山地域

火山地域では火山ガスや酸性水の影響により、コンクリートの腐食（化学的浸食）が進行するケースがある。そのため、表面被覆や耐酸性コンクリートにより耐性を高める必要がある。

- ・ 地盤状況

火山周辺のスコリア分布域、上流域の荒廃が顕著な大流域、堆積層の厚い箇所等に施工された治山施設では、豪雨時等に基礎部や袖部（端部）の洗掘や、施設そのものの流出に繋がるリスクが高く、地盤改良や超過外力に対して冗長性の高い構造とし、施設そのものの損壊・流失等への耐性を高める必要がある。

・ 施工年度

コンクリート構造物では、施工年度によって設計基準強度や配合、使用する骨材等の基準が大きく異なるため、施工年度は劣化に関わる重要なファクターとなる。コンクリートの基準に関する重要なターニングポイントとしては、以下の二カ年度が挙げられる。

① 1978年（昭和53年）：塩分総量規制施行

昭和53年 (1978年)	建設省技術調査室長通達「土木工事に係るコンクリート細骨材としての海砂の使用について」 シース内グラウト及びプレテン部材に対し、細骨材の絶乾重量に対して NaCl 換算で 0.03%以下。
昭和53年 (1978年)	JISA5308「レディーミクスコンクリート」 土木用骨材に対する細骨材に含まれる塩化物の許容限度は、原則として細骨材の絶乾重量に対して NaCl に換算して 0.1%以下。

② 1986年（昭和61年）：アルカリ骨材反応対策、規定鉄筋被りと設計基準強度について規定

昭和61年 (1986年)	建設省技術調査室通達「アルカリ骨材反応暫定対策について」 建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」を受けて発せられたこの通達では、骨材の選定、低アルカリ型セメント、抑制効果のある混合セメント等の使用、コンクリート中のアルカリ総量の抑制の4つの対策が示された。同時に、骨材の試験法として化学法とモルタルバー法の建設省暫定案が示された。
昭和61年 (1986年)	JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」 アルカリシリカ反応が盛り込まれ、本文に、アルカリシリカ反応の抑制方法を購入者に報告することが義務付けられた。 付属書1「レディーミクストコンクリート用骨材」に付属書7の化学法か、付属書8のモルタルバー法で試験し、無害と判定された骨材でなければならないとした。ただし、付属書6「セメントの選定等によるアルカリ骨材反応の抑制対策の方法」に示された、低アルカリ型セメント、抑制効果のある混合セメント等の使用、コンクリート中のアルカリ総量の抑制の3つの対策を講じた場合には、うがいと判定されない骨材も使用可能であるとした。

		鉄筋コンクリート水利施設の設計技術の変遷																																							
項目	年度	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	2	4	6	8	10	12	14	16	18									
C標準示方書								C31	C33				C42				C49		C52	C55				C61	CH2																
許容応力度								$\sigma_c=240\text{kgf/cm}^2$ スラブ はり $\tau = 9.0 \quad 7.0\text{kgf/cm}^2$										$\sigma_c=240\text{kgf/cm}^2$ スラブ はり $\tau = 9.0 \quad 4.5\text{kgf/cm}^2$																							
鉄筋のかぶり								鉄筋かぶり (cm) スラブ はり はしら				鉄筋かぶり (cm) スラブ はり はしら																													
								風雨なし 1.0 1.5 2.0				風雨なし 2.5 3.0 3.5				風雨あり重要構造 2.0 2.5 3.0				風雨あり重要構造 4.0 5.0 6.0				有害化学作用 3.0 3.5 4.0				有害化学作用 5.0 6.0 7.0													
土地改良計画 基準水路工								F28						F45						F13																					
許容応力度								$\sigma_s=1200 : \sigma_c=40\text{kgf/cm}^2$ スラブ はり $\tau = 9.0 \quad 7.0\text{kgf/cm}^2$						$\sigma_s=1600 : \sigma_c=240\text{kgf/cm}^2$ スラブ はり $\tau = 8.5 \quad 8.5\text{kgf/cm}^2$						$\sigma_c=240\text{kgf/cm}^2$ $\tau = 4.5\text{kgf/cm}^2$																					
鉄筋のかぶり								鉄筋かぶり 標準5cm						鉄筋径mm D13以下 D16~22 D25以上																											
								鉄筋かぶり 5cm						鉄筋かぶり 6cm 7cm																											
設計技術の特徴								①鉄筋のかぶりが小さい ②せん断強度が大きめ ③モーメント中心の部材算定 ④部材節点での鉄筋定着長の考慮なし						①鉄筋かぶりが小さい ②せん断強度が大きめ ③モーメント中心の部材算定 ④部材節点での鉄筋定着長の考慮なし						①鉄筋腐食を考慮したかぶりを確保 ②せん断破壊強度を増強 ③モーメント・軸力を考慮した部材算定 ④部材節点で剛域を考慮した鉄筋定着長の確保																					

○材料としての劣化要因の分類

- ・ 化学的劣化：中性化、塩害、アルカリ骨材反応、化学的浸食
- ・ 物理的劣化：凍害（凍結融解）、疲労

- ・ 鉄筋腐食先行型：中性化、塩害
- ・ ひび割れ先行型：アルカリ骨材反応、凍害、疲労、化学的浸食

治山施設は、法枠工等の一部例外を除いては、基本的に無筋コンクリート（マスコンクリート）として施工される場合が多い。そのため、治山施設においては上記分類のうち、ひび割れ先行型の劣化形態が多いと考えられるが、鉄筋を使用する法枠工等の工種もあることから、ここではアルカリ骨材反応、凍害（凍結融解）、塩害、中性化、化学的浸食についてその特徴について整理を行う。

なお、農業水利施設では「凍害」によりひび割れを生じる事例が多く報告されており、「塩害」、「アルカリ骨材反応」、「化学的腐食」によるひび割れは一部地域に限られるとともに、「中性化」による事例はほとんど報告されていない。

(1) 凍害（凍結融解）

コンクリート中の水分が凍結膨張するときが発生するもので、長年にわたる凍結と融解の繰り返しのよってコンクリートが徐々に劣化する現象。

コンクリートの品質が良くない場合は、さらに発生リスクが高まる。

劣化過程としては、潜伏期→進展期→加速期→劣化期と進み、進展期から加速期にかけてスケーリング（剥離）が発生しコンクリート断面の減少が生じることが特徴である。各ステージの特徴としては以下の通りである。

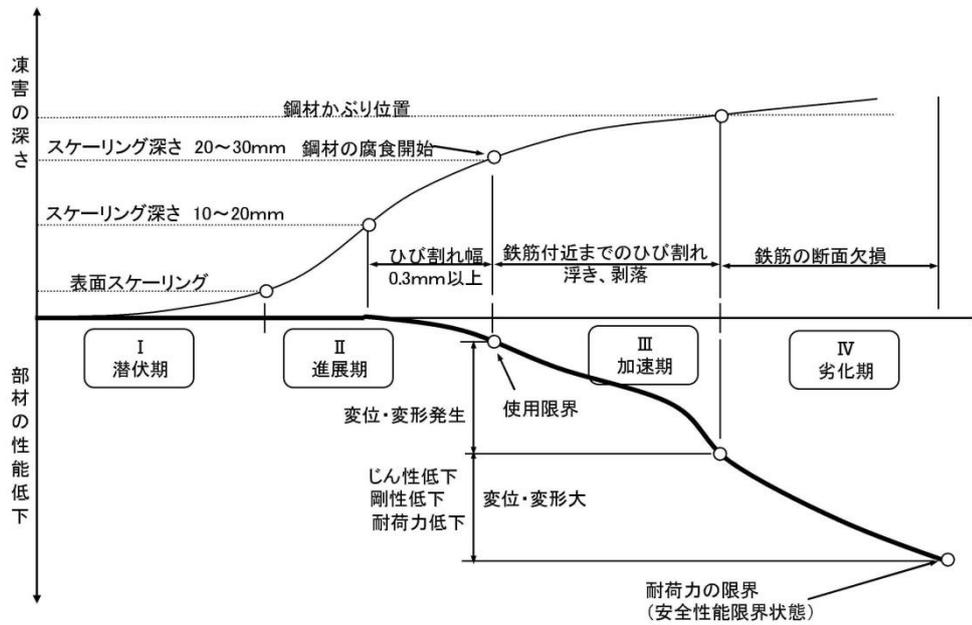


図 5-2 凍結融解（凍害）の劣化過程

表 5-6 凍結融解（凍害）の劣化過程の特徴

劣化過程	定義	外 観 ※印はコンクリート工学協会による。	標準的な機能低下		
			安全性能	使用性能	美観景観
I.潜伏期 (状態Ⅰ)	凍結融解作用は受けるが劣化が顕在化しない時期 部材の性能低下はなく、健全性を保っている。	融解した水分の滲出しが多少見られるが目立った外観上の変状は見られない。 ※0.2mm以下のひび割れ			
II.進展期・1 (状態Ⅱ・1)	コンクリート表面の劣化は進行するが、鋼材腐食が無い時期。 凍害深が浅く、剛性を保っている段階。	水分の滲出が見られる。 ※0.2～0.3mmのひび割れ、ポツアト、中程度スケーリング（深さ10mmぐらいまで）			
II.進展期・2 (状態Ⅱ・2)		※0.3mm以上のひび割れ、強度のスケーリング（深さ20mmぐらいまで）			
III.加速期 (状態Ⅲ)	コンクリートの劣化が大きくなり、鋼材腐食が発生し、増大する時期。	凍害深さが大きくなり、水分の滲出、ひび割れ剥落などが激しい。 ※スケーリング深さ30mm程度まで	耐力低下	剛性の低下	美観の低下
IV.劣化期 (状態Ⅳ)	凍害によるコンクリートの劣化が被り以上になり、耐力の低下が顕著になる時期。	コンクリートが浮き上がり、剥離も激しい。 凍害深さが鋼材以上になり、水分の滲出、ひび割れ剥落などが多数発生。 ※スケーリング深さ30mm以上、鉄筋の断面欠損			

<特徴>

凍害を受けた構造物では、コンクリート表面に微細なひび割れ、スケーリング、ポップアウトなどの形で劣化が顕在化するのが一般的である。微細ひび割れとスケーリングは、コンクリートのペースト部分が劣化するものであり、コンクリートの品質が劣る場合や適切な空気泡が連行されていない場合に多く発生し、一方、ポップアウトは骨材の品質が悪い場合によく観察されることが知られている。

また、古い年代の治山施設（特に溪間工）に用いられた練石積や玉石コンクリートの場合、内部材の品質が悪いため、スケーリングやポップアウトが躯体全体の弱体化に繋がる可能性がある。



図 5-3 歩車道境界縁石のスケーリング進行 (例)

凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書 (案) 平成 23 年 10 月 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所

(ひび割れ形状の特徴)

① Dひび割れ

縁端部やジョイントに平行にそして狭く微細なひび割れが連続的にできる特徴があり、隅角部では「D」の字に回り込む形状となる。隅角部は風などの影響を受け周囲に比べ温度が低下し、ひび割れが集中的に発生すると思われる。

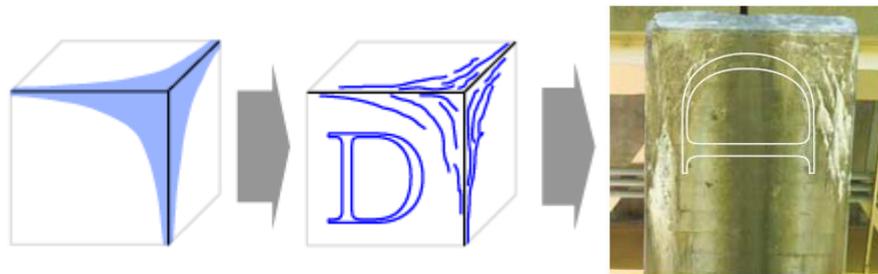


図 5-4 Dひび割れの模式図

凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書 (案) 平成 23 年 10 月 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所

② 地図状ひび割れ

表面のひび割れの模様が地図状（網目状とも言われる）に細分化されているひびわれであり，日射，環境温度，水の供給等の環境外力を受ける条件が一様な面部材等に見られる。



写真 5-1 道路橋の地図状ひび割れの例

凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）平成 23 年 10 月 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所

③ 長手方向ひび割れ

長手方向のひび割れは，部材の長手方向中心線に平行に現れる直線的なひび割れであり，日射，環境温度，水の供給等の環境外力を受ける面が長く連続している地覆，柱等に見られる。写真は地覆の天端および側面に地覆延長方向に発生したひび割れである。天端あるいは路面側から供給された水がひび割れ内を通り地覆側面下方のひび割れからエフロレッセンスとなって析出している。

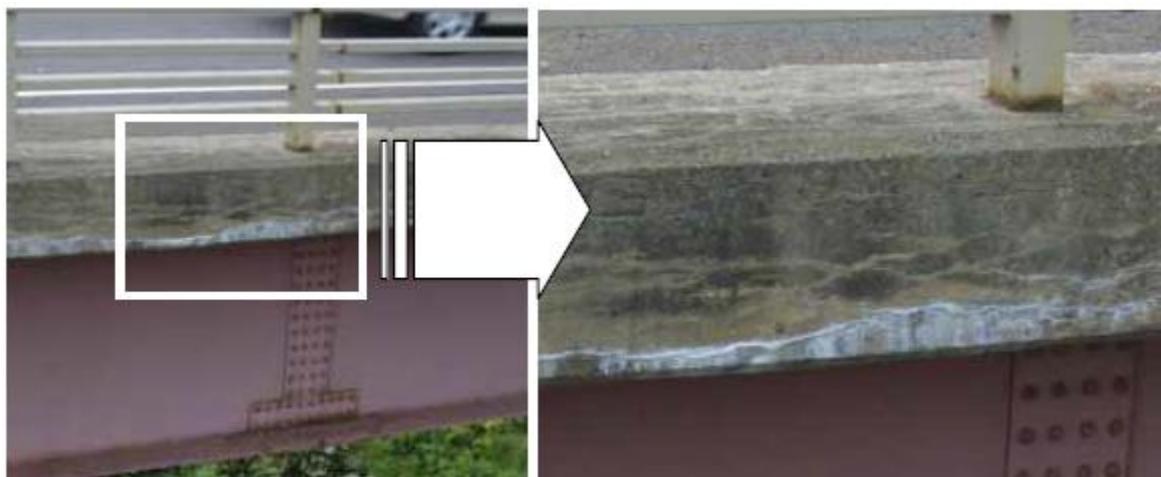


写真 5-2 地覆の側面および天端に生じた長手方向のひび割れ

凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）平成 23 年 10 月 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所

<地域性>

凍結時の最低温度が低いほど凍害が大きくなり、また、年間の凍結融解回数が多いほど凍害劣化が早く進行する。このため、凍害劣化外力として最低気温、凍結融解回数が挙げられる。

凍害危険度の分布図を以下に示す。

1. ○内の数値は凍害危険度、

凍害危険度	凍害の予想程度
5	極めて大きい
4	大きい
3	やや大きい
2	軽微
1	ごく軽微

2. 凍害重み係数 $t_{(a)}$ - 良質骨材、または AE 剤を使用したコンクリートの場合。

3. コンクリートの品質が良くない場合には、
 —— 内の地域でも凍害が発生する。

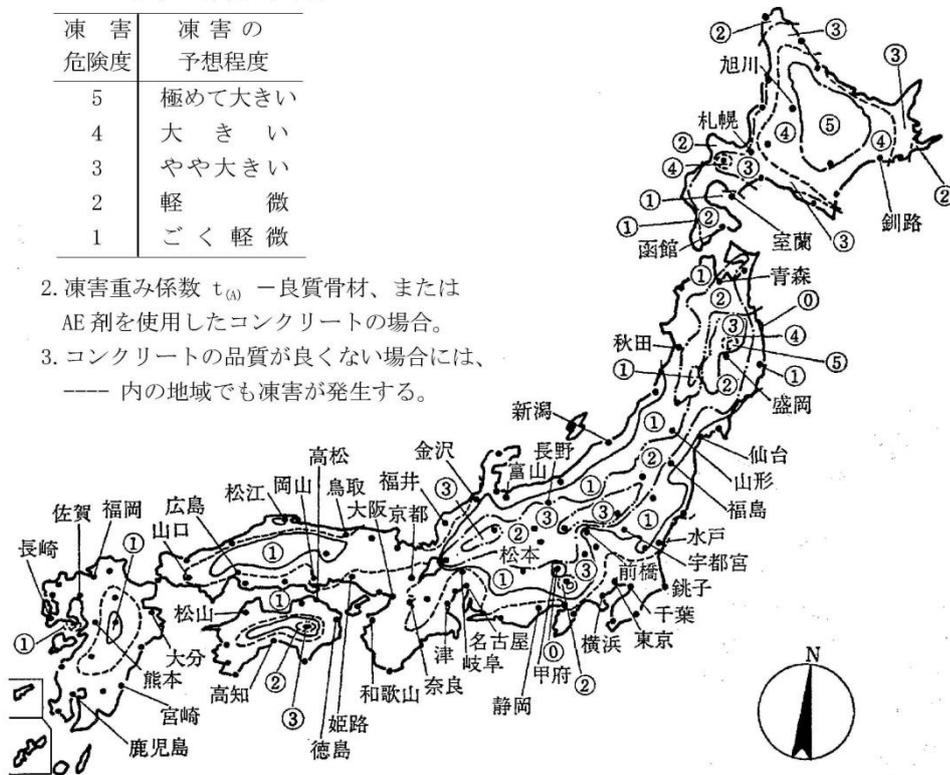


図 5-5 凍害危険度の分布図 (「コンクリート診断技術」(社) コンクリート工学会 p.50)

<治山施設における事例>

凍害は、治山施設のうちコンクリート構造の全ての工種で発生する危険性があり、主に北海道や東北地方、中部地方の高標高地帯での事例が多い。



図 5-6 凍害によるものと見られるスケーリング (長野県内の谷止工の事例)

(2) アルカリ骨材反応

コンクリート中のナトリウム・カリウムなどのアルカリ金属イオン（アルカリ性細孔溶液）が、骨材中の特定の鉱物（反応性骨材）と反応。異常膨張を起こし、コンクリートにひび割れを生じさせる現象であり、アルカリシリカ反応（ASR）、アルカリ炭酸塩反応の2つに分類できる。

日本でもっとも多く発生しているのが ASR で、アルカリイオン・水酸基イオンと骨材中に含まれる準安定なシリカとの間に生じる化学反応である。

劣化過程としては、潜伏期→進展期→加速期→劣化期と進み、進展期の膨張量が非常に大きく、この間の補修が極めて困難なことが特徴である。各ステージの特徴としては以下の通りである。

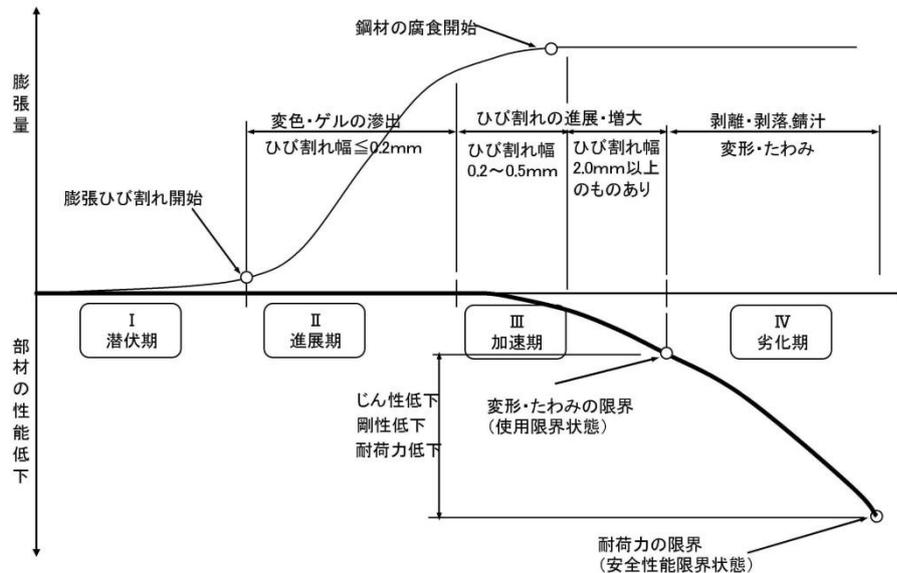


図 5-7 アルカリ骨材反応の劣化過程

表 5-7 アルカリ骨材反応の劣化過程の特徴

劣化過程	定義	外観 ※印は「鉄道総研」による。	標準的な機能低下		
			安全性能	使用性能	美観景観
I.潜伏期 (膨張状態 I a)	ASR は進行するが、膨張がまだ顕著に現れない時期。	外観上の変状は見られない。			
II.進展期 (膨張状態 I b)	水分とアルカリ供給下において膨張が継続的に進行している時期。	ひび割れが発生し、変色、ゲルの滲出が見られる。 ※ひび割れ幅 0.2mm 以下 ※ひび割れが密な箇所 30% 程度		水密性の低下 変位・変形	美観の低下
III.加速期 前期・収束期 (膨張状態 II)	ASR による膨張が顕著に現れ、膨張速度が最大になる時期。	ひび割れが進展。 ※ひび割れ幅 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ ※ひび割れ密度 5 個/㎡ 以下			
III.加速期 後期・収束期 (膨張状態 II)	ASR はほぼ収束し、膨張速度が低下する時期。	ひび割れが多数発生。構造物に段差、ズレなどが見られる。 ※ひび割れ幅 2mm 以上がある ※ひび割れ密度 5 個/㎡ 以上	耐力低下		
IV.劣化期 終了期 (膨張状態 III)	ASR は収束し、残存膨張量がほぼ 0 となる時期。過大な膨張が発生した場合は、鋼材が降伏、あるいは破断するなどの影響が出る。	鉄筋被り位置で部分的な剥離・剥落が発生する。錆汁が見られる。変位、変形が大きい。ズレ、段差が見られる。	じん性の低下		

<劣化形態の特徴>

外見的な特徴としては以下の通りである。

- ・ 白色ゲルの発生により全体が白色を帯びることが多い。
- ・ 亀甲状のひび割れ（不規則）
- ・ ゲル状、ロゼット状、ラメラ状の反応生成物（SEM（走査型電子顕微鏡）による観察）

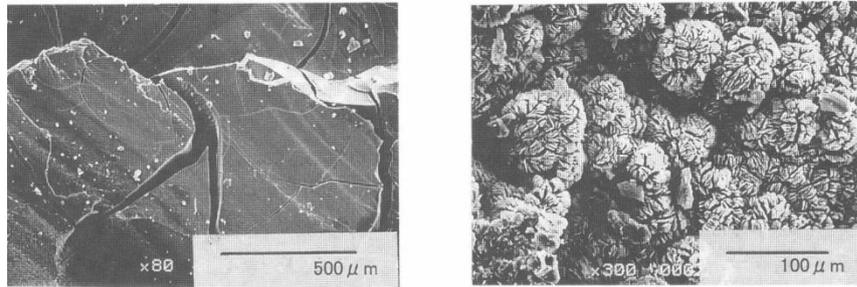


図 5-8 走査型顕微鏡による観察状況（左：ゲル状、右：ラメラ状）

「ASRが発生したコンクリート構造物の耐久性調査」(コンクリート工学年次論文集 Vol.23, No.1 2001)

アルカリ骨材反応は、以下の3条件がすべてそろった場合に進行する。

- ・ 反応性骨材の存在
- ・ 限界値以上のアルカリの存在
- ・ 十分な水分の供給

アルカリ骨材反応が生じた場合でも、コンクリート自体の耐久性には本質的にはあまり問題とはならず、アルカリ骨材反応によって生じる反応生成物（アルカリシリカゲル）が吸水して膨張し、コンクリートの劣化をもたらす。その過程を以下に示す。

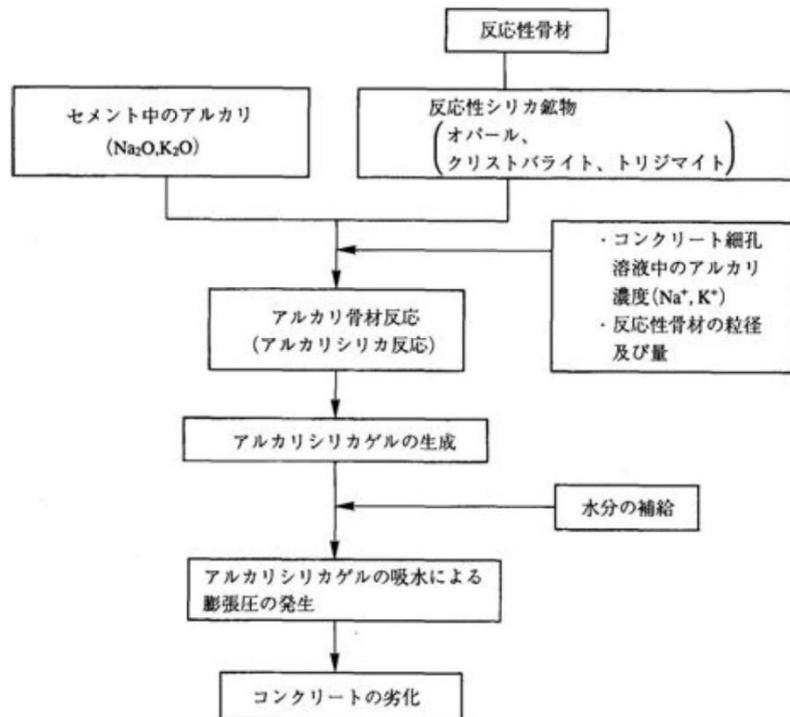


図 5-9 アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化過程

<地域性>

アルカリ骨材反応は北陸地方、瀬戸内地方、近畿地方での発生事例が多く報告されている。

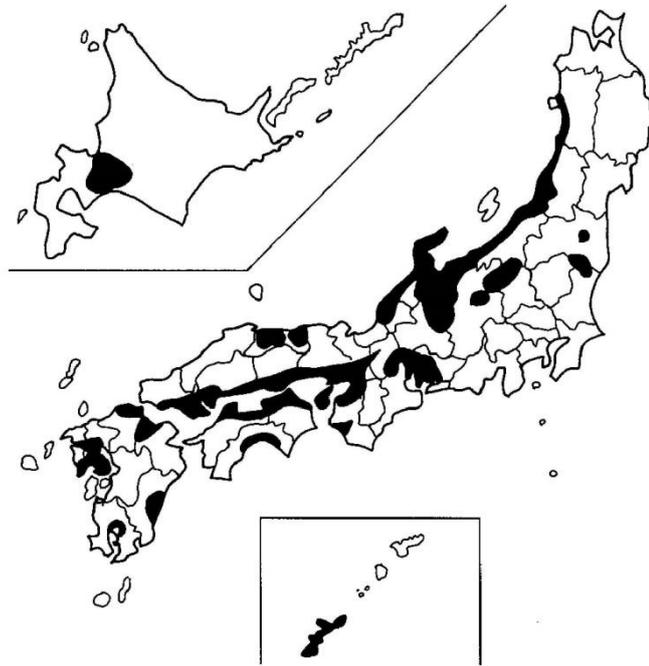


図 5-10 ASR による損傷が報告されている地域
(「コンクリート診断技術」'14 [基礎編] (社) コンクリート工学会 p.201)

○反応性骨材

- ・ シリカ質鉱物（石英，クリストバライト，トリジマイト，オパール）
- ・ ガラス（火山ガラス）
- ・ シリケート鉱物（雲母，粘土鉱物）



図 5-11 アルカリシリカ反応性の骨材分布

(「コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果）（財）土木研究センター」 p.294)

<治山施設における事例>

アルカリ骨材反応は、治山施設のうちコンクリート構造の全ての工種で発生しており、特に北陸地方や東海地方以西において事例が多い。



図 5-12 アルカリ骨材反応による治山施設の劣化事例

(3) 塩害

塩害は、コンクリート表面に付着した塩分が内部に浸透することでコンクリート内部の鋼材が腐食し、発錆による鋼材の体積膨張によってコンクリートに剥離やひび割れが生じる現象である。

一旦コンクリートに剥離やひび割れが生じるとコンクリート中の鋼材は外気に曝され、腐食が一層促進されることになり、構造物の健全性に深刻な影響を与える危険性がある。

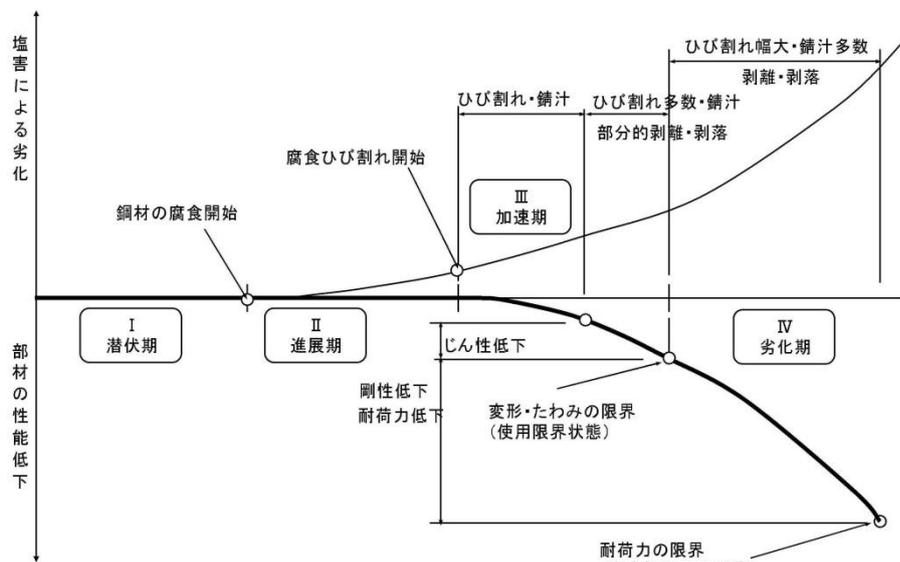


図 5-13 塩害の劣化過程

表 5-8 塩害の劣化過程の特徴

劣化過程	定義	外 観 ※印は「鉄道土木構造耐久性研究会」(山海堂)による。	標準的な機能低下		
			安全性能	使用性能	美観景観
I.潜伏期	鋼材の被り位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度まで達する期間。	外観上の変状は見られない。 腐食発生限界塩化物イオン濃度以下。			
II.進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間。	外観上の変状は見られない。 腐食発生限界塩化物イオン濃度以上 (鉄筋腐食が開始)。			
III.加速期前期	腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間。	腐食ひび割れが開始 錆汁が見られる。 ※ひび割れ幅 0.35mm以上の場合、鉄筋が腐食開始している可能性が高い (供用年数 40 年以上の場合)。			美観の低下
III.加速期後期		腐食ひび割れが多数発生 錆汁が見られる。 部分的な剥離・剥落が見られる (鉄筋の腐食量増大)。 ※経過年数が 40 年以上の場合、ひび割れ幅に関係なく鉄筋腐食が進んでいる可能性がある。	耐力低下 じん性の低下	剛性の低下	
IV.劣化期	鋼材の腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間。	ひび割れ幅が大きい。 錆汁が見られる。 剥離・剥落が見られる。 変位、たわみが大きい。			

<特徴>

- ・ 塩害のひび割れの特徴として、主として鉄筋に沿う方向に入り、ひび割れ箇所において錆汁が見られるのが特徴である。
- ・ 地域性が強く、海からの飛来塩分の影響が大きい地域に集中する。
- ・ 近年では融雪剤の散布による影響も大きい（主に道路施設）。
- ・ 鉄筋腐食先行型のひび割れであるため、治山施設の劣化との関連は少ないが、複合劣化（凍害、ASR等）による劣化進行の危険性があることから、海岸沿いの治山施設の劣化原因として十分考えられる。

<地域性>

道路橋の塩害対策指針（案）S59では、塩害対策が必要な地域が明示され、海岸線からの距離に応じた塩害対策区分が設定されている。



図 5-14 塩害範囲地域（道路橋）

（道路橋示方書・同解説 I 共通編Ⅲ コンクリート橋編 H24（社）日本道路協会 p.176）

表 5-9 塩害対策区分（道路橋の塩害対策指針（案）S59 より）

地 域	海岸線からの距離	対策区分
沖縄県	海上部および海岸線から100mまで	I
	上記以外の範囲	II
別表-1に示す地域	海上部および海岸線から100mまで	I
	100mをこえて200mまで	II
	200mをこえて300mまで	III
上記以外の範囲	海上部	I
	海岸線をこえて100mまで	II
	100mをこえて200mまで	III

<治山施設における事例>

塩害は、鉄筋腐食先行型の劣化形態であるため、治山施設では事例が少ないが、鉄筋を用いる法枠工等の工種のうち、海岸に近い施設はリスクが高いと考えられる。

(4) 中性化

中性化とは、本来高アルカリ性 (pH12 以上) であるコンクリートが中性 (pH8.5~10) に近づく現象であり、最も一般的な中性化は大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し、コンクリートの空隙中の水分の pH を低下させる。コンクリート中の空隙に二酸化炭素が侵入し、内部へ拡散するため、コンクリート表面から内部へと進行する。

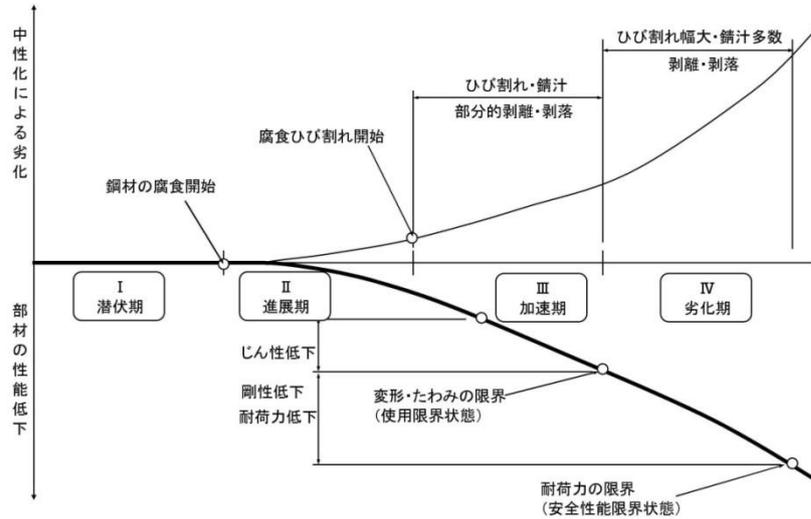


図 5-15 中性化の劣化過程

図 5-16 中性化の劣化過程の特徴

劣化過程	定義	外観 ※印は「鉄道土木構造の耐久性 02」 (山海堂) P38	標準的な機能低下		
			安全性能	使用性能	美観景観
I. 潜伏期	中性化深さが腐食発生限界に到達するまでの期間	外観上の変状は見られない			
II. 進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間 中性化残りが発錆限界未満、(鉄筋腐食が開始)	外観上の変状は見られないが後期には多少のひび割れ、錆汁が見られる ※ひび割れ幅 0.35mm 以上の場合、鉄筋が腐食開始している可能性が高い (供用年数 40 年以上の場合)			
III. 加速期 前期	腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間	腐食ひび割れ 錆汁が発生			美観の低下
III. 加速期 後期		腐食ひび割れが多数発生 多数の錆汁が見られる 部分的な剥離・剥落が見られる ※経過年数が 40 年以上の場合、ひび割れ幅に関係なく鉄筋腐食が進んでいる可能性がある		剛性の低下	
IV. 劣化期	鋼材の腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	腐食ひび割れが多数発生 ひび割れ幅が大きい 錆汁が見られる 多数の剥離・剥落が見られる 変位・たわみが大きい	耐荷力の低下 じん性の低下		

<特徴>

- ・ 漏水等による水の供給が無い限り、強度低下に影響を与えにくい。
- ・ 鉄筋腐食先行型のひび割れであるため、治山施設の劣化との関連は少ないが、複合劣化（塩害、凍害、ASR）による劣化進行の危険性がある。
- ・ 締固め不足による初期欠陥（豆板（ジャンカ）、コールドジョイント）があるほど、大気中の炭酸ガスの侵入が促進されるため、中性化は進みやすい。
- ・ コンクリートの表面仕上げを実施する場合やコンクリートのかぶり厚が大きいほど、大気中の炭酸ガスの侵入が抑制されるため、中性化は進みにくい。

表 5-10 中性化の条件

「コンクリートの主要な劣化と特徴、劣化要因の推定方法」（農業水利施設のストックマネジメント 参考資料編）

中性化しやすい構造物、部材	備 考
南に面している	コンクリート内部に水分を含み、表面が乾燥している場合
コンクリート品質が低い	水セメント比 60%以上；当初から pH が良質のコンクリートより低い
鉄筋被りが小さい	鉄筋被り 30mm未満；中性化の影響が早く鉄筋に及ぶ
塩害を起こしやすい環境	塩化物イオンにより pH が低下；塩害と中性化の複合劣化

<地域性、環境要因>

中性化は、気温・湿度が高い地域、海から多く塩分が飛来する地域、融雪剤が散布される地域で発生しやすい。中性化の進行速度は、湿度 50～60%で最大となり、それ以上になれば、湿度が上がるほど小さくなるとともに、気温が高いほど大きくなる。

また、塩化物イオンによりコンクリート中の水酸化カルシウムが消費され、pH が低下するため、海からの飛来塩分が多い地域や融雪剤散布がなされている地域では中性化の進行速度が速くなる。

<治山施設における事例>

中性化は塩害と同様、鉄筋腐食先行型の劣化形態であるため、治山施設では事例が少ないが、鉄筋を用いる法粋工等の工種のうち、施工年度の古い施設についてはリスクが高いと考えられる。

(5) 化学的浸食（酸性による）

外部からの二酸化炭素や塩酸、硫酸、硝酸などの浸入により、内部の水和物の分解・反応生成物の溶出・反応に伴う膨張などによってコンクリート自体の耐力の低下、ひび割れの発生、溶解・剥落が生じる現象。

治山施設の場合、主に火山地帯における火山ガス及び酸性水による劣化が挙げられる。

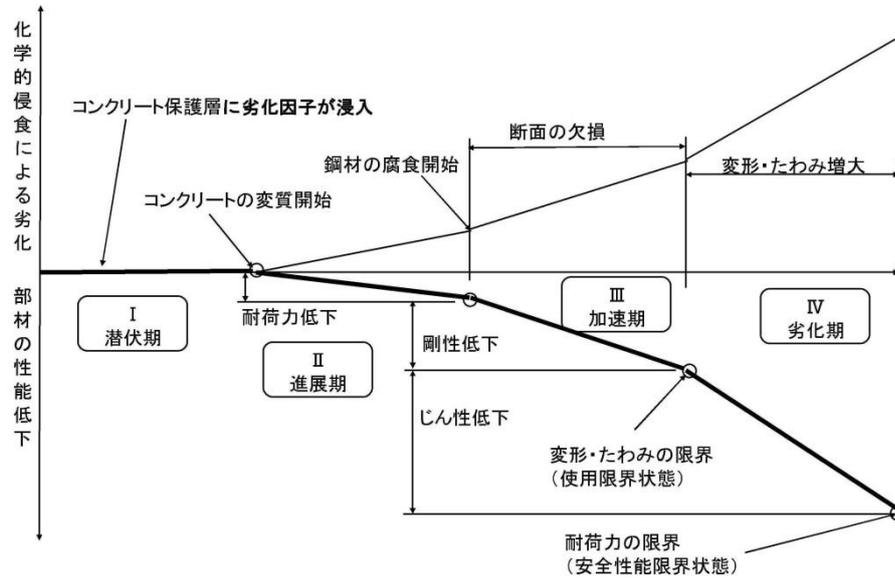


図 5-17 化学的浸食の劣化過程

表 5-11 化学的浸食の劣化過程の特徴

劣化過程	定義	外観	標準的な機能低下		
			安全性能	使用性能	美観景観
I. 潜伏期	コンクリートの変質が生じるまでの時期。	外観上の変状は見られない。 保護層に劣化因子が浸入しているが外観の変状は見られない。			
II. 進展期	コンクリートの変質が鋼材位置に達するまでの時期。	コンクリート表面が荒れた状態、もしくはひび割れが見られる。			美観の低下
III. 加速期	鋼材腐食が進行する期間。	コンクリートの断面欠損が著しく、骨材露出あるいは剥落している。	耐力力低下	剛性の低下	
IV. 劣化期	コンクリートの断面欠損、鋼材の断面減少等により耐力力の低下が顕著な時期。	変位・たわみが大きい。 (鋼材の腐食が著しい)	耐力力低下 じん性の低下		

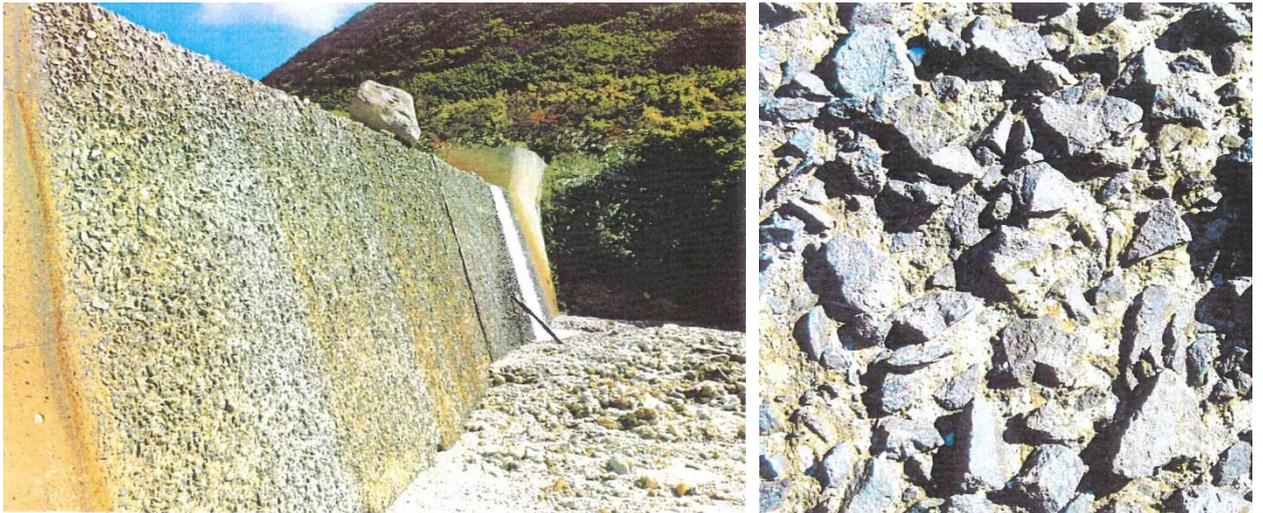


図 5-18 酸性水による谷止工前面の劣化

(6) 施工年度

治山施設（主に溪間工）に用いられてきた材料の変遷は概ね以下の通りである。

表 5-12 溪間工に用いられる材料の変遷

治山ダムの種別(材料)の変遷

種別(材料)	大正	昭和10年	昭和20年	昭和30年	昭和40年	昭和50年 ~
空石積	●					
練石積		●				
玉石(粗石)				●		
コンクリート					●	
配合					容積配合	重量配合
生コン					現場練り	生コン
鋼製						

純コンクリートダムが施工されたのは昭和 40 年頃からであるが、当初は現場練りコンクリートで、配合の方法も現在と異なり容積配合であり、品質が均一でない場合もあることから、施工年度が古い施設（特に昭和 40 年台半ば以前のもの）は、施設の強度に注意する必要がある。

第3項 劣化要因の推定方法

(1) ひび割れタイプと劣化要因

ひび割れ形状等の表面劣化の症状と劣化要因の関係は以下の通りである。

表 5-13 鉄筋コンクリートのひび割れ形状の変状と劣化要因の関係

「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説」日本建築学会

ひび割れ形状 コンクリート表面変状	鉄筋腐食先行型		ひび割れ先行型			初期 ひび割れ	外力
	中性化	塩害	ASR	凍害	化学的腐食	乾燥収縮	
亀甲状			○	○	○	○	
細かい不規則なひび割れ				○	○	○	
鉄筋に関係しない軸方向ひび割れ			○				
軸力に対して直角のひび割れ(注-1)						○	○
軸力に対して斜めのひび割れ(注-1)						○	○
鉄筋に沿ったひび割れ	○	○				注-2	
スケーリング				○	○		
コンクリート表層の軟化					○		

注-1；軸力に対して直角および斜めひび割れは、水路壁では水平ひび割れとして現れる。

注-2；被りの薄い部材では、乾燥収縮の場合でも鉄筋に沿ってひび割れが発生する。

ASR は亀甲状や鉄筋に関係しない軸方向のひび割れが見られ、凍害では細かい不規則なひび割れやスケーリング（剥離）、塩害、中性化では鉄筋に沿ったひび割れが見られる場合が多い。

(2) 劣化要因の推定方法

農業水利施設（開水路）では以下の推定表により劣化要因の推定を行うこととなっている。

表 5-14 施設（開水路）が置かれた環境と劣化要因の関連性（劣化要因推定表）

「コンクリートの主要な劣化と特徴、劣化要因の推定方法」（農業水利施設のストックマネジメント 参考資料編）

劣化要因	使用・劣化環境	内部要因							外部要因						
		コンクリート							鋼矢板	外部要因					
		中性化※1	塩害※1	ASR※2	凍害	化学的腐食	疲労	摩耗風化	腐食	土圧・後背土滑り	凍上圧	地下水圧	地盤沈下	その他転石衝突等	底面浸食盤膨れ
供用年数	40年以上	○	○	○	○	○	○	○	◎						
	20～40年未満	△	△	△	△	△	△	○	○						
施工年	1986年以前		△	△											
	1978年以前	△													
鉄筋被り	t < 30mm	○	○												
地域 図1.1.1 ～ 図1.1.7 参照	①塩害を起こしやすい(起きた)地域	△	○	△	△										
	②ASRを起こしやすい(起きた)地域		△	○	△										
	③凍害を起こしやすい(起きた)環境		△	△	○						○				
	④ASR、塩害複合劣化地域	△	○	○	△										
	⑤塩害、凍害複合劣化地域	△	○	△	○										
	⑥凍害、ASR複合劣化地域		△	○	○										
供用環境	①南向き面の部材	△			○						○				
	②融雪剤・凍結防止剤の使用		△		△			○							
	③接水時間が長い(常時)							△	○						
	④周辺に樹木等の植生あり									◎					
	⑤海水の流入あり		○						◎						
材料	①水セメント比60%以上	○	○		○										
	②海砂の使用		◎												
	③反応性材料使用			○											
水質	①硫酸分水質(温泉)					○			◎						
	②化学工場・食品加工場等の廃液流入					○			◎						
	③硬度が小さい							○							
土壌・地盤	①腐食性土壌(酸性土壌)	△		△		△									
	②地下水位(高い)			△	△	△						○			○
	③軟弱地盤									○			○		○
	④片盛土区間・切盛境界									○			○		
	⑤地山の透水性が高い									○	○	○			
地圧	繰返荷重						○			◎					
	①自動車荷重(直接)									◎					
	②自動車以外の荷重						△			○					
	③設計荷重を大きく上回る荷重の負荷									◎				○	
	④極端な偏荷重が作用									◎					
⑤過去に地震被害を受けた									○			○		○	
摩耗条件	①射流の水路							○							
	②砂礫・転石の流下							○						○	

【関連性：高 ← ◎・○・△・なし → 低】

※1 無筋コンクリートの場合は劣化要因としない。

※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。

※3 1978年に鉄筋被りと設計基準強度について規定、1986年に塩分総量規制施行・ASR対策について規定

第2節 鋼製構造物

第1項 劣化形態の種類

(1) 公園施設の事例

公園施設長寿命化計画策定指針（案）では、金属類の損傷種類（健全度調査項目）として、以下を挙げている。

① 防食機能劣化/腐食

防食機能の劣化とは、鋼材の防食被覆（塗装、メッキ・金属溶射）の劣化により、変色・光沢減少、ひび割れ、剥がれ等が生じている状態をいう。

腐食とは、鋼材に錆が生じている状態、または、錆の進行により断面欠損を生じている状態をいう。

② ゆるみ・脱落

接合部分のボルト類にゆるみが生じたり、脱落している状態。

③ 亀裂

鋼材に外力が作用することで、弱点部（溶接の内部欠陥、溶接の止端部、ボルト孔等の応力集中部）を起点とする微細な亀裂が発生した状態

④ 摩耗

材料が他の物体と摩擦接触の繰り返しにより、表面がすり減った状態。

鋼材を用いた公園施設の劣化事例としては腐食が多く、特に地際部での腐食事例が多い。

施設名	照明灯		材質		鋼材														
健全度判定 A																			
部材名	支柱部	経過年数	10年	部材名	支柱部	経過年数	不明	部材名	支柱部(地際)	経過年数	不明	部材名	支柱部(地際)	経過年数	8年	部材名	照明部	経過年数	24年
コメント		塗装の光沢も残っており、劣化の進行は小さい		コメント		塗装劣化は進行しているが、錆の発生は見られない		コメント		地際部に錆の発生は見られない		コメント		地際部に錆の発生は見られない		コメント		塗装の光沢も残っており、劣化の進行は小さい	
健全度判定 B																			
部材名	支柱部	経過年数	21年	部材名	支柱部	経過年数	27年	部材名	支柱部(地際)	経過年数	不明	部材名	支柱部(地際)	経過年数	10年	部材名	照明部	経過年数	18年
コメント		全体的に塗装劣化が進行し、表面的な錆が部分的に発生している		コメント		全体的に塗膜のはがれ、点錆が見られる		コメント		地際部で表面的な錆が発生している		コメント		地際部で表面的な錆が発生している		コメント		笠に表面的な錆が発生している	
健全度判定 C																			
部材名	支柱部	経過年数	不明	部材名	支柱部	経過年数	不明	部材名	支柱部(地際)	経過年数	不明	部材名	支柱部(地際)	経過年数	51年	部材名	照明部	経過年数	不明
コメント		全体的に表面的な錆が発生している		コメント		全体的に表面的な錆が発生し、一部で断面減少が発生している		コメント		地際部で断面減少が発生している		コメント		地際部で断面膨張が生じている		コメント		笠の全体に表面的な錆が発生している	
健全度判定 D																			
部材名	支柱部	経過年数	不明	部材名	支柱部	経過年数	38年	部材名	支柱部(地際)	経過年数	不明	部材名	支柱部(地際)	経過年数	51年	部材名	照明部	経過年数	26年
コメント		支柱の一部に断面欠損が発生している		コメント		支柱の一部に断面欠損が発生している		コメント		地際部で著しい断面減少が生じ、一部で断面欠損が発生している		コメント		地際部で著しい断面欠損が発生している		コメント		笠の全体に錆が発生し、一部で断面減少が生じている	

図 5-19 照明灯の健全度判定事例

(公園施設長寿命化計画策定指針（案）健全度調査・判定事例集 H24.4 国土交通省都市局公園緑地・景観課)

(2) 道路標識・照明施設の事例

下図は平成16年に、当時試行段階であった点検要領の案によって直轄国道の照明柱711基の点検を行った結果を損傷箇所別に整理したものである。**損傷発生箇所は、基部、接合部及び柱の開口部であり、その他部分、すなわち一般部ではほとんど発生していないことがわかる。**原因として、基部や接合部、あるいは柱の開口部などの不連続部では伝い水による滞水、局部腐食などの形状不整によって応力集中に起因する疲労亀裂の発生など経年劣化の影響を相対的に受けやすいことが挙げられる。

一方、一般部（接合部以外の部分）で損傷実績がほとんど報告されていない原因として、基本的に材料的にも構造的にも断面変化等の不連続となる要因がなく、相対的に経年劣化要因による影響を受けにくいことが挙げられる。

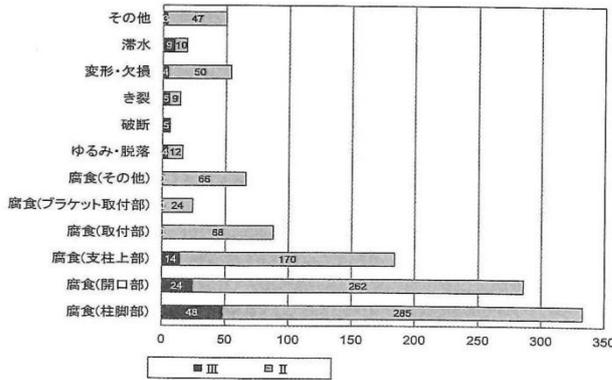


図 5-20 経過年数ごとの損傷度の比率

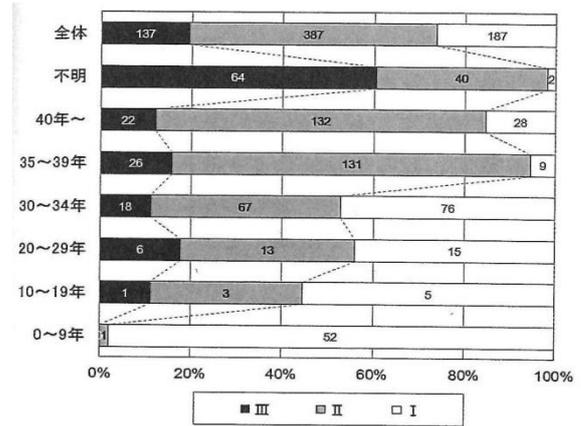


図 5-21 損傷の種類と発生部位

「道路標識・照明施設の定期点検」土木技術資料 57-8 (2015)

平成16年と19年に標識・照明施設を対象として、倒壊に直接的に影響を及ぼす路面境界部での腐食状況の調査が各整備局で実施された。路面との境界部の柱外面の環境を「土砂」、「アスファルト」、「コンクリート」に分け、設置年数による腐食状況の違いを下図にまとめた。路面材料によって腐食の進行傾向がことなるものの、いずれも**設置年数が20年～30年を超えると地中部で腐食が進行している場合がある**ことが分かる。路面境界部の典型的な腐食状況を下図に示す。コンクリート中では今日アルカリ性環境により鋼材が腐食しにくい場合もあるが、標識、照明柱では、コンクリートと支柱との間に生じた隙間から雨水や様々な腐食因子の侵入によって、コンクリートによる鋼材保護機能が期待できないことも多いものと考えられる。

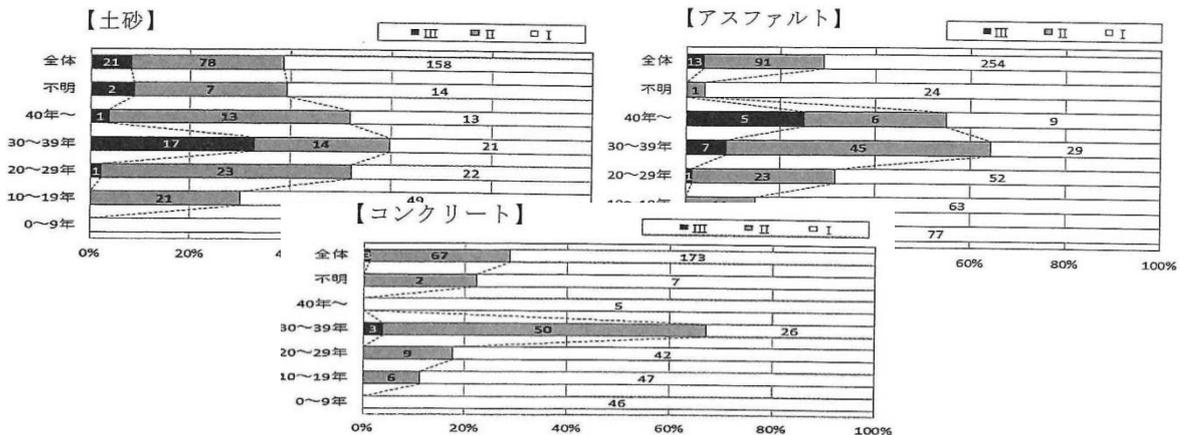


図 5-22 路面境界部の腐食状態と設置年数の関係

「道路標識・照明施設の定期点検」土木技術資料 57-8 (2015)



図 5-23 路面境界での腐食状態の例（左：アスファルト、右：コンクリート）

以上の分析結果を通じて、国土交通省国土技術政策総合研究所では、標識・照明柱の点検の合理的な実施方法として、以下のような考え方を提案している。

- ① 経過年が10年に満たない標識・照明柱であっても損傷事例があること、また、ボルトやナットの緩みが生じたり、車両衝突により取付け部に損傷が生じていることがあるため、定期的に点検を行うのが良い。
- ② 点検を効率よく行うために、**柱基部、開口部、継手部、表示板又は灯具取付け部等を弱点部として特定可能である**。これらの部位に対しては、目視し、腐食、亀裂の状況を確認するとともに、器具などを用いてボルトやナットの緩みに対して直接措置を行う必要がある。
- ③ **経過年が20～25年を超えると、掘削調査による路面上での腐食の直接の確認や非破壊検査に等による板厚減少量の確認を行うなど、詳細な調査が必要である**。他方、それに満たない年数の場合は、境界部にて腐食や滞水、コンクリートのひび割れが確認されない場合には、掘削調査等は省略できる可能性が高い。

(参考文献)

道路標識・照明施設の定期点検 玉越隆史・白戸真大・増田安弘 土木技術資料 57-8 (2015)

(3) 治山施設

(i) バットレス式谷止工の事例

静岡県西部農林事務所農林局が平成 25 年度に実施したバットレス式谷止工の調査によれば、錆の進行は、塗装が剥げて鋼材がさびに変化し（赤さびが浮き）、徐々に板厚が減少していく場合と、塗装が剥げてさびコブが発生・剥離した跡が孔として残る、またはさびコブが発生・成長し、隣接するさびコブと合体して層状になり剥落する場合があると推察し、以下のようにさびが進行するものと仮定し、さびの進行状況に応じた劣化レベル 1～4 を定義し、これによる分類を行うことでバットレス式谷止工の劣化状況を評価している。その結果、24 基中 17 基（71%）の施設で劣化レベル 4 に達しており、何らかの対策が必要と判断された。

図-1 さびの進行の概要

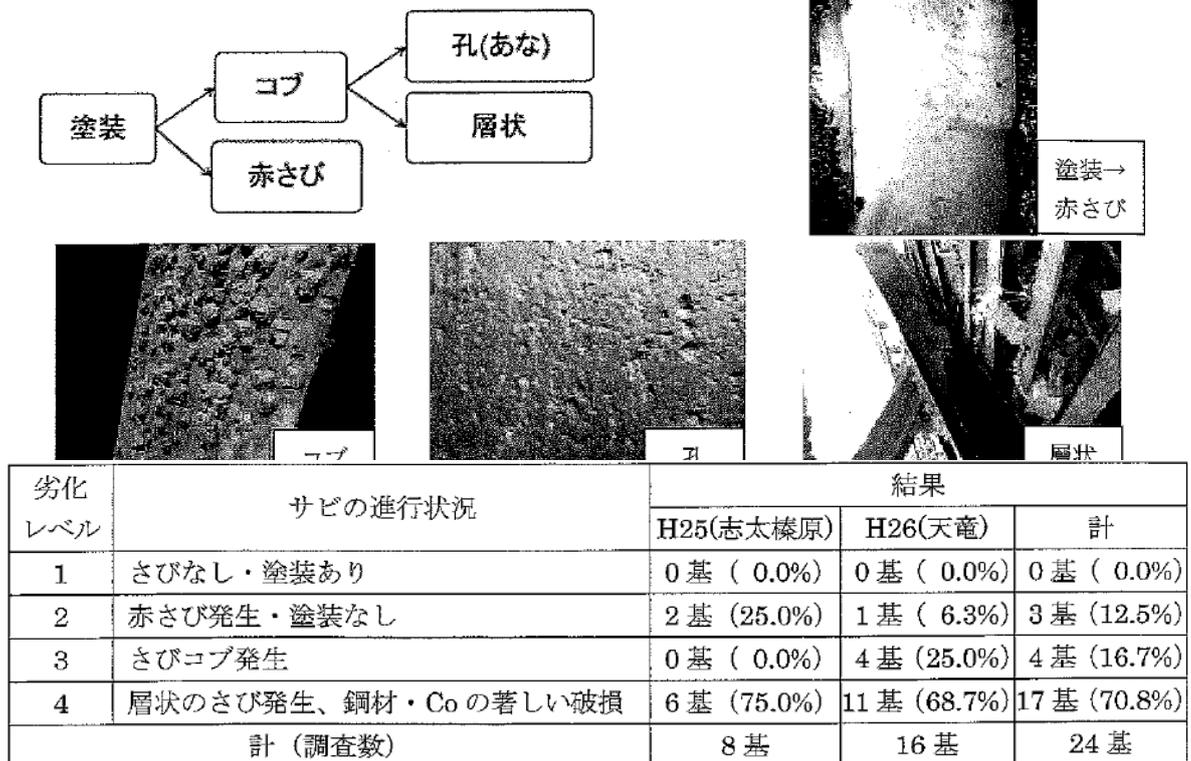


図 5-24 「バットレス式谷止工の現状」(平成 27 年度治山研究発表会要旨)

(ii) 治山鋼製施設の劣化実態 (陶山 (1987))

(a) 鋼材の材質と構造に起因する劣化

鋼製施設は、一般に部材を連結した構造物であるので、コンクリート構造物に比べて一体性が劣る欠点を有する。したがって、流砂の激しい溪流などでは、鋼製ダムが一度砂礫などの衝撃荷重を受けると、水通部や袖部の局所破壊からダム全体の破壊に至る過程をたどり、時としてダムの部材が無残に飛散する場合がある。このような例は少ないが、衝撃荷重の対策として効果的な緩衝材の採用を検討するとともに、構造物の形状、部材連結部、溶接性、耐候性等についても十分留意する必要がある。

(b) 鋼材の腐食・摩耗による劣化

鋼材は一般に腐食に対する抵抗性が低い、治山施設が水や土に接する構造物であるので、さびによる劣化が起こりやすい。したがって、水の pH 値など環境条件による鋼製施設の適用性や、防食対策を十分検討する必要がある。また、鋼製施設は断面寸法が比較的小さくて摩耗の影響を受けやすいので、鋼材の余裕厚、最少板厚など摩耗による劣化防止対策についても、早急に設計基準を確立する必要がある。

(参考文献)

- ・ 治山鋼製施設に作用する外力と安全設計 陶山正憲 林業技術 No.548 1987.11

第2項 劣化の原因・要因

(1) 大気中の腐食

大気中における鋼材の腐食の進行は、一般的に降雨、結露や湿気による極薄い水膜が金属表面に生じている時間（濡れ時間）により影響を受ける。湿気による水膜は、相対湿度が 100%を越えようとすることによる結露に達しなくても、鋼材表面に吸湿性物質（塩化物類、二酸化硫黄など）、ダストやガス状の浮遊物、さびなどが付着することで、微細な隙間や毛細管が形成されるため、相対湿度が 50~70%と比較的低い場合でも薄い水膜が形成される。腐食の進行を促進させる因子には、水膜によるぬれ時間以外にも塩化物や二酸化硫黄などの物質による影響があり、これらの物質を含む大気環境下では、腐食が著しく促進される場合がある。

各種環境での鋼材腐食量についての調査結果を元にした平均年間腐食量の一例として、次のような値が得られている。

一般に腐食速度は時間の経過とともに低下してくるが、これは錆びの保護性によるものであり、実験調査をもとにいくつかの腐食量推定式が発表されている。

「陸上鉄骨構造物研究会」の腐食推定式は 5 年間の腐食調査量を基に誘導されたもので、式 (1) および下図の通りである。

$$Y = A \cdot e^{\frac{B}{X}} \cdot X^C \dots \dots \dots (1)$$

ここに、Y : 腐食量 (mm)
 A, B, C : 定数
 X : 暴露期間 (年)

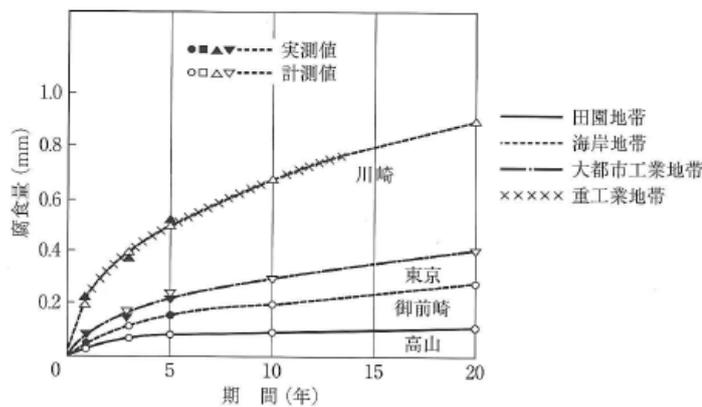


図 5-25 腐食環境別の腐食量

(2) pHの影響による腐食

軟鋼の腐食速度と純水のpH値の影響の関係を下図に示す。

pHが5~9(中性域)の範囲では腐食速度は概ね一定であるが、**pHが4以下(酸性域)になると錆が融解するので、錆の腐食抑制機能が失われる**上に、水素発生型の腐食が生じるので、腐食速度は早くなる。

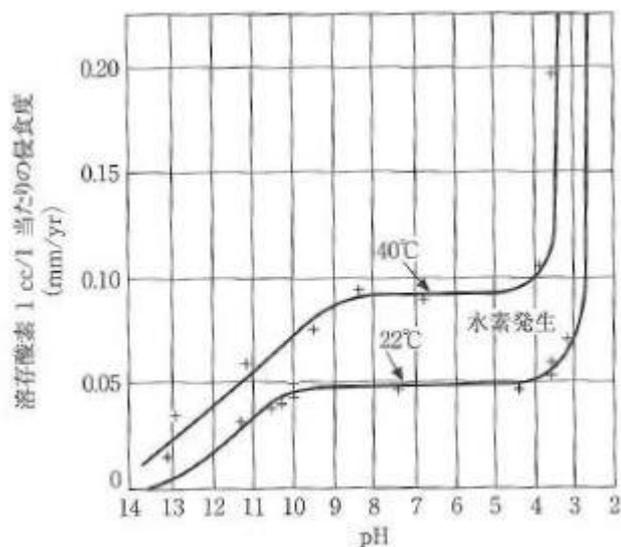


図 5-26 軟鋼の腐食と水の pH の影響
(金属防蝕技術便覧 昭和 47 年 4 月 日本学術振興会編)

(3) 飛来塩分

下図は鋼橋について、海塩粒子の付着が主な原因と考えられる事例とそうでない事例について、腐食が確認されるまでの供用年数を整理したものである。海塩粒子の付着が原因の場合は、それ以外の場合と比較して、発見までの供用年数が少ない傾向にあり、**供用開始後 10~15 年程度で腐食が発見された事例もあり、塩分の付着が腐食を助長する重要な要因となっている**。なお、海岸からの距離が数 km 離れた位置の橋梁においても塩分が付着し、鋼材表面に凹凸やピットを伴った腐食が生じている事例があり、架橋地域によっては、かなり内陸部の橋梁においても飛来塩分の影響を考慮する必要がある。

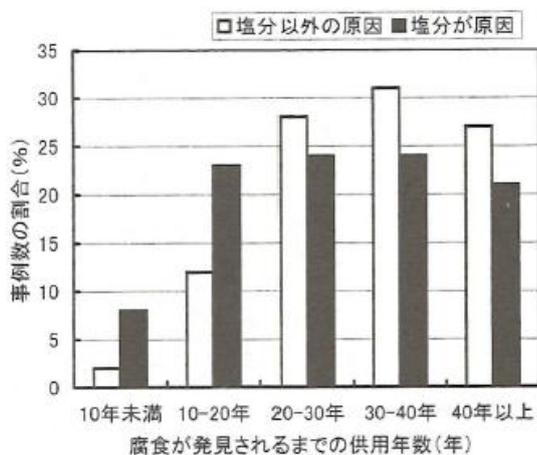


図 5-27 腐食発見までの供用年数
「鋼橋の腐食事例とその分析」土木学会論文集 No.668 2001.1

下図は、(独) 土木研究所による実橋梁の桁内暴露試験結果に基づく研究報告書に掲載されている耐候性鋼材（表面に緻密な錆びを形成して腐食速度を遅らせる鋼材）が無塗装で適用できる地域を示している。耐候性鋼材が無塗装で適用できる地域は飛来塩分量が 0.05mdd ($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$) 以下であることが示されており、日本における飛来塩分量は、概ね海からの距離に依存することから、適用可能な地域が海岸線からの距離として示されている。

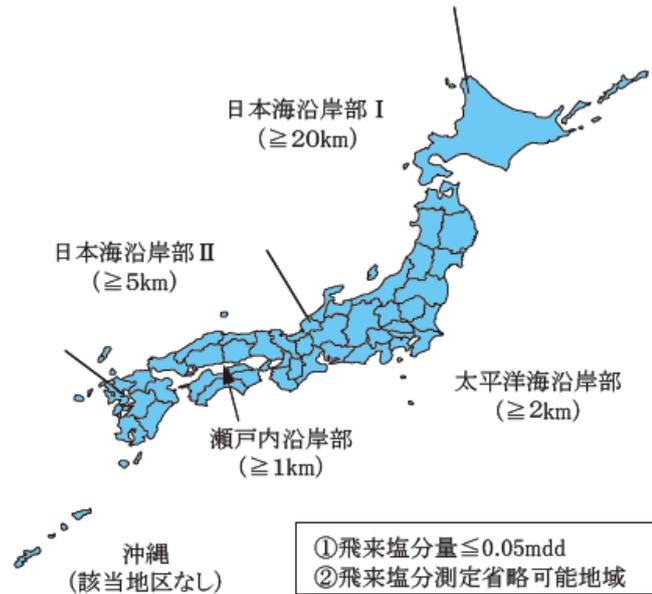


図 5-28 無塗装耐候性鋼橋梁の適用地域区分

第3節 木製構造物

第1項 劣化形態の種類

(1) 腐朽

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。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。

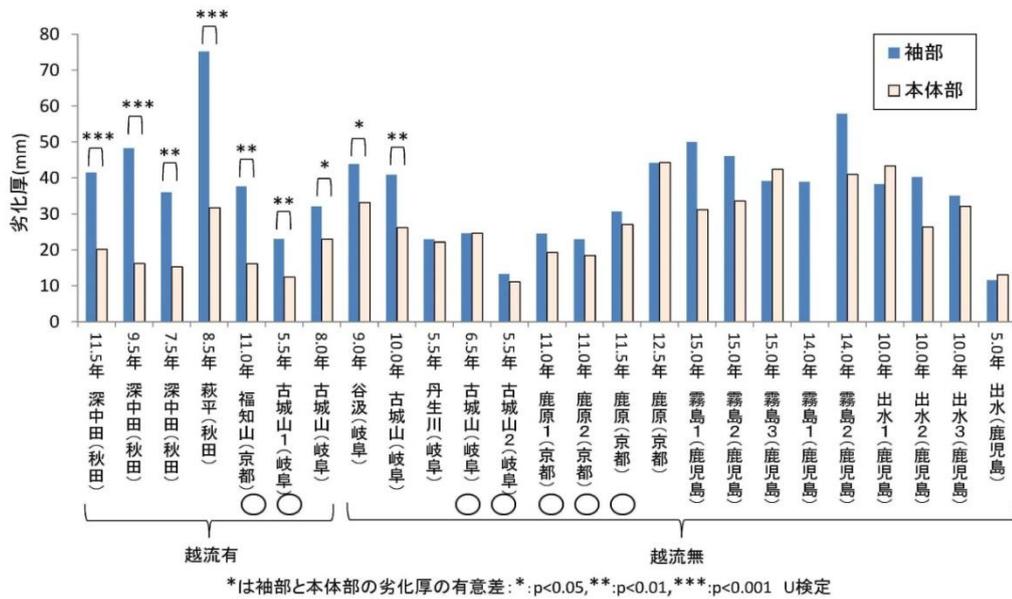


図 5-29 スギ材を用いた治山ダムの袖部と本体部における劣化厚の比較 (和多田ら)

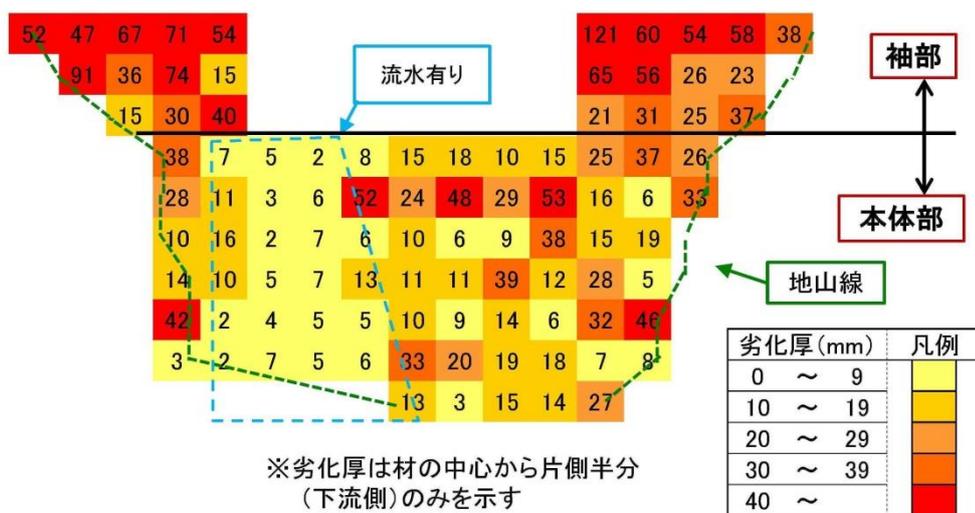


図 5-30 スギ材を用いた治山ダムの部材劣化の事例 (施工後 9.5 年経過)

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)

(2) 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。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、設計及び維持管理の際に留意が必要である。

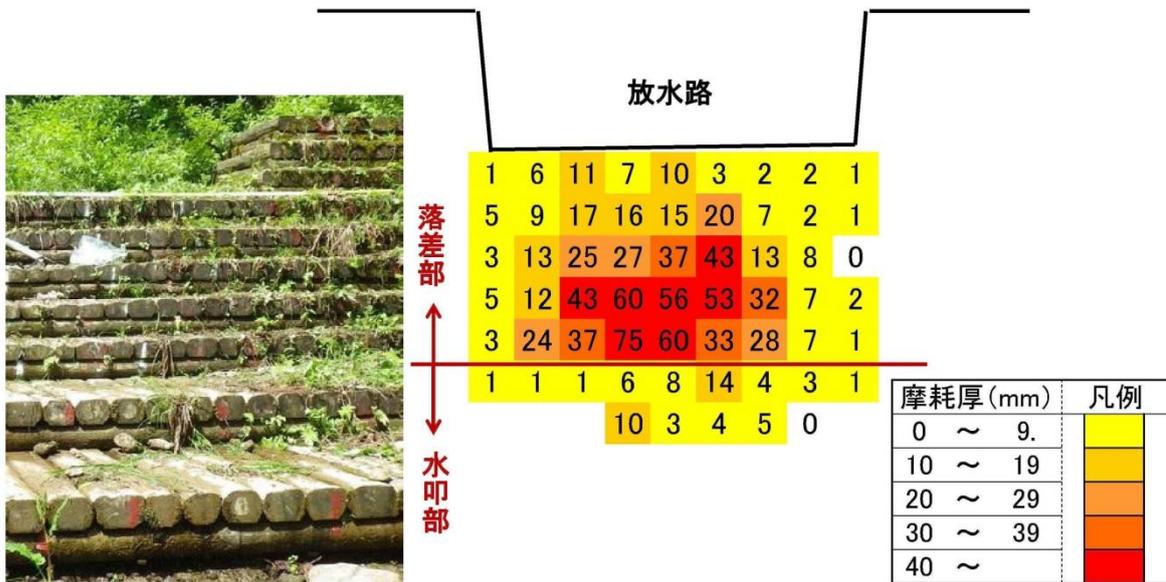


図 5-31 スギ材を用いた治山ダムの部材の摩耗事例（ラムダ型：施工後 9.5 年経過）
木製治山構造物技術指針（案）—耐久性を期待する木製治山構造物の設計・施工・維持管理—（平成 28 年 2 月）



図 5-32 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）
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）



図 5-33 部材の劣化に伴い袖部が損壊した木製治山ダム

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）

(3) 基礎部の洗掘

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 5-34 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

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）

第2項 劣化の原因・要因

(1) 腐朽

木材の腐朽は、折損や摩耗、蟻害等によって木材が傷付いたところに、カビの孢子（第一次寄生菌と呼ばれる）が付着し、菌が繁殖することにより発生する。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。

(2) 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、放水路付近の部材が摩耗する恐れがある。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、設計及び維持管理の際に留意が必要である。

(3) 基礎部の洗掘

構造物の落差が大きくなると、構造物下流の河床の洗掘量が大きくなる危険性があり、木製構造物の場合は根入れが他工種よりも少ない（0.5m程度である）場合が多いため、洗掘のリスクが増大する。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。

(参考文献)

- ・ 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－
木製治山構造物技術指針検討会（平成28年2月）

第6章 劣化リスクの判断手法の検討

治山施設は、自然環境の厳しい地域に施工されている場合が多く、劣化の進行が環境要因に支配される場合が多いことから、本研究では劣化リスクを「環境要因の度合いなど今後のリスクも考慮した劣化度」と定義する。

また、治山施設の劣化させる環境要因については、定量的な評価が難しいため、閾値等の設定が困難である。一方で、劣化度については劣化の規模（クラック幅等）によって閾値を設定する可能であり、治山施設個別施設計画策定マニュアル（案）においても、劣化度によって部位別の健全度を把握することとなっている。ここではまず、劣化度の把握手法および閾値について整理した上で、劣化度に環境要因を考慮する方法について提案する。

第1節 劣化度の閾値および計測手法

第1項 コンクリート構造物

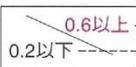
(1) 劣化度の閾値等に関する基準

(a) 鉄筋コンクリートのひび割れ閾値

一般的な鉄筋コンクリートのひび割れ幅の判定基準を示す。

表 6-1 ひび割れ補修の要否を判定する基準（コンクリート名人養成講座 日経BP社）

●ひび割れの補修の要否を判定する基準(ひび割れ幅, 単位はmm)
資料:日本コンクリート工学協会のひび割れ調査, 補修・補強指針をもとに修正

数字の見方 

*この中間の数字の場合は、技術者が個別に判断する

[耐久性から見た場合]		鉄筋の腐食環境	厳しい	中間	緩やか	[防水性から見た場合]
補修の要否に影響するそのほかの要因			しばしば水にさらされるなど	屋外でも水にさらされる頻度が低いなど	室内など	
大	0.4以上 0.1以下	0.4以上 0.2以下	0.6以上 0.2以下	0.8以上 0.2以下	0.2以上 0.05以下	
中	0.4以上 0.1以下	0.6以上 0.2以下	0.8以上 0.2以下	1.0以上 0.2以下		
小	0.6以上 0.2以下	0.8以上 0.3以下	1.0以上 0.3以下			

*そのほかの要因(大, 中, 小)とは、コンクリート構造物の耐久性や防水性に及ぼす有害性の程度を示す。ひび割れの深さやパターン、かぶり厚さ、被覆の有無、コンクリートの種類、打ち継ぎの有無などの影響を総合して定める

ただし、上記は鉄筋コンクリートに関する基準であり、法枠工の枠部材等を除いて、治山施設の多くは無筋コンクリートであるため、無筋コンクリート（マスコンクリート）の基準を適用する必要がある、次頁に無筋コンクリートに関する基準を述べる。

(b) 無筋コンクリートのひび割れ閾値

1) ひび割れ幅からのひび割れ深さの推定 (防波堤胸壁)

基準書に記載されているコンクリートの閾値はほとんどが鉄筋コンクリートに関する値であり、無筋の治山施設に適用するには厳しい基準値である。そこで、無筋コンクリートに関する既往研究についてレビューを行った。

(参考文献) 北海道大学の海岸構造物に関する研究

1. 漁港施設を構成する無筋コンクリート構造物の劣化度判定基準に関する研究 北海道大学
古谷宏一他 (プレストレストコンクリート技術協会 第20回シンポジウム論文集 2011.10)
2. 無筋コンクリートの海岸構造物のひび割れ幅に基づく新しい劣化度判定基準の提案 北海道大学
古谷宏一他 (土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2, I_360-I_365, 2012)
3. 無筋コンクリートの防波堤胸壁のひび割れ深さ推定に関する統計解析
古谷宏一他 (土木学会第67回年次学術講演会 平成24年9月)

古谷ら (2011、2012) は、海岸構造物の無筋コンクリート防波堤胸壁を対象とし、ひび割れ幅、ひび割れ深さ及び胸壁寸法の測定を実施し、胸壁の性能に大きな影響を与えるひび割れ深さを推定する手法を検討している。測定対象とするひび割れは、コンクリートの収縮等に起因すると推定される鉛直方向のひび割れを対象とし、ひび割れ深さの推定には、衝撃弾性波法を用いて実施している。

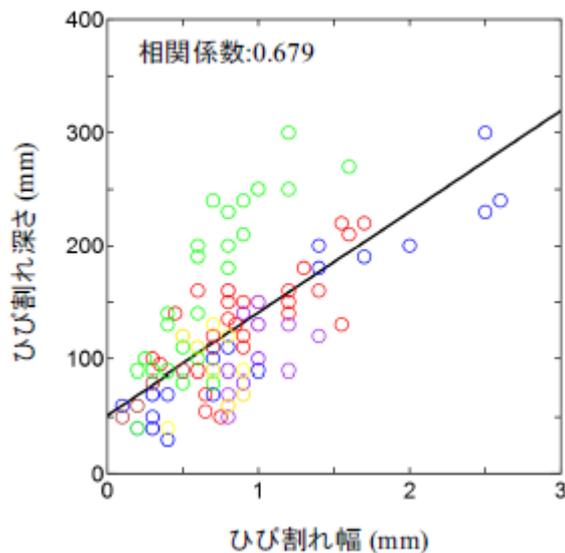


図 6-1 ひび割れ幅とひび割れ深さの関係 (参考文献3)

その結果、ひび割れ幅とひび割れ深さの関係は相関係数が0.679であり、いくらかの相関があることが分かった。しかし、ひび割れ幅のみを指標としてひび割れ深さを推定することは、相関係数が0.7程度であることから、推定誤差が大きくなってしまふことが考えられる。そのため、ひび割れ深さに影響を与えるさらなる要因について検討を行っている。

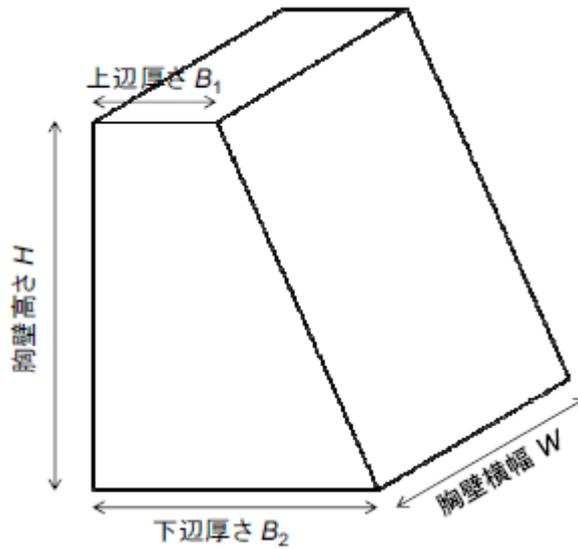
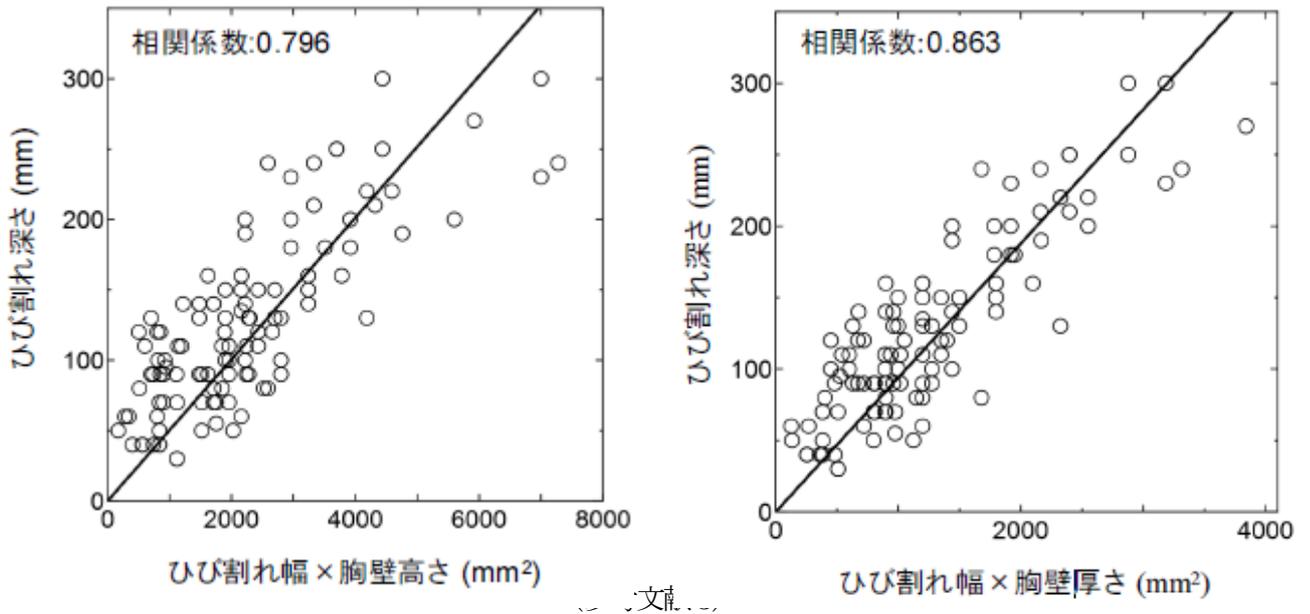


図 6-2 防波堤胸壁寸法の定義 (参考文献 3)



以上から、ひび割れ幅×胸壁厚さのひび割れ深さに対する相関係数が 0.863 と大きいことから、ひび割れ幅×胸壁厚さでひび割れ深さを推定する下式を提案している。

$$D = A(w \cdot B)$$

ここで、D: ひび割れ深さ (mm)、A: 回帰係数 (0.0938)、B: 胸壁厚さ (mm)、w: ひび割れ幅 (mm)

また、古谷ら（2011）は、初期ひび割れが0mmの場合の耐力を1.0として求めた耐力比と初期ひび割れ幅との関係を示している（下図）。これより、初期ひび割れが1mmの場合、XおよびY方向の耐力低下は見られなかった。X方向では、初期ひび割れ幅の増加に伴い、なだらかな耐力低下が生じ、10mmを超えると急激な耐力低下が見られた。Y方向では、初期ひび割れ幅の増加に伴い、比例的に耐力低下が見られた。この場合、耐力低下の勾配はX方向と比較して急であり、**初期ひび割れ幅が7mmの場合、耐力が概ね1/2となった**。Z方向については、初期ひび割れ幅が3mmまでの場合、耐力低下は確認できないが、初期ひび割れ幅が5mmの場合、急激な耐力低下が生じた。

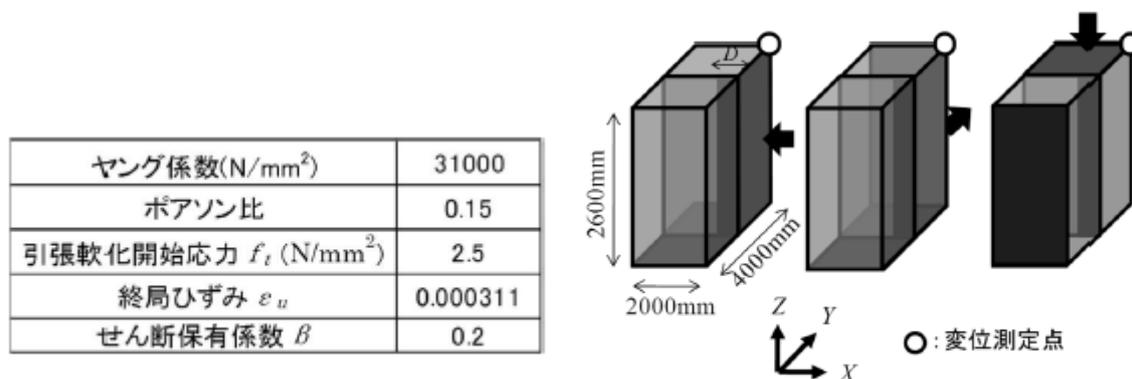


図 6-5 材料物性値と解析モデル概要（参考文献1）

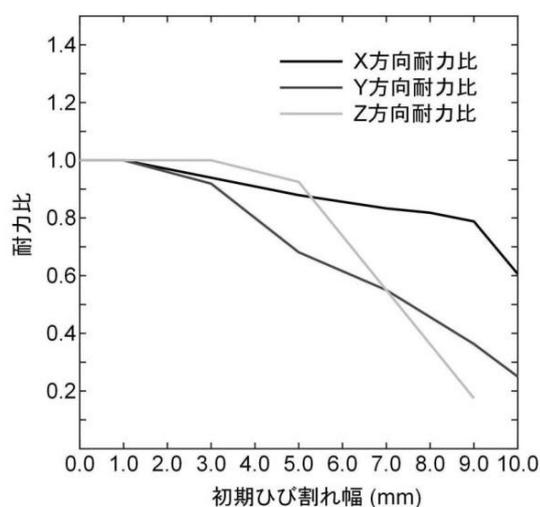


図 6-6 初期ひび割れ幅と耐力比の関係（参考文献1）

上記の結果から、以下のひび割れ劣化度の判定基準を提案している。

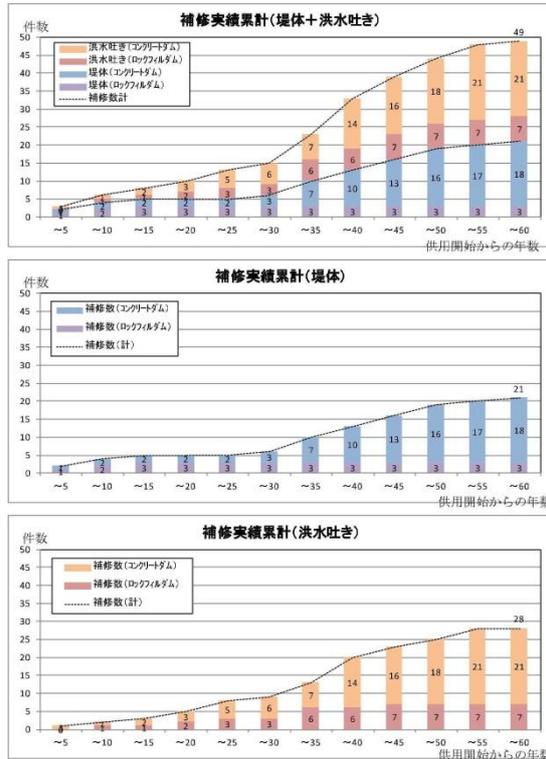
表 6-2 ひび割れ劣化度の判定基準（参考文献1）

判定	評価基準
a	貫通した可能性のあるひび割れが生じている。
	ひび割れ幅が7mm以上
b	ひび割れ幅が4mm以上7mm未満
c	ひび割れ幅が1mm以上4mm未満
d	ひび割れ幅が1mm未満

漁港施設では上記のようなひび割れの閾値に関する研究成果があるが、治山施設とは施設の厚さ等が異なるため、治山施設でも同様の研究の実施による閾値の取得が望まれる。

2) 耐用年数 (貯水ダム)

国土交通省直轄ダムと水資源機構ダムの補修事例を分析した結果によれば、管理開始後概ね 30 年を経過すると大規模なものではないものの、補修事例が増加する傾向が認められる。



管理開始後30年程度経過すると補修事例が増加

工種	事例数	補修を実施した主な変状
堤体	21	クラック、漏水、コンクリートのはく離
洪水吐き	28	洪水吐きシュート部や瀝勢工部コンクリートのクラック・はく離、漏水
基礎岩盤	0	
貯水池周辺斜面	10	吹付けのクラック・空洞化、滑落
取水・放流設備	1	ジェットバルブ下流導流壁の摩耗劣化
周辺構築物	7	管理用道路や操作室におけるコンクリートのクラック、漏水

○堤体における主な変状事例

経過年数	ダム名	形式	工種	変状箇所	経過年数	変状の概要
30年以上	Aダム	アーチ式コンクリート	堤体	下流面	31	堤体下部面のひび割れ・剥離。
	Bダム	アーチ式コンクリート	堤体	下流面	41	凍結融解によるコンクリートの劣化により、堤体下流面にヘアークラック、ポップアウト、一部コンクリートの剥離が発生。
	Cダム	重力式コンクリート	堤体	下流面	43	骨材中のローモントナイトが乾燥の繰り返しによる縮水・吸水を繰り返して、コンクリート中に膨張・収縮が発生したことにより、コンクリート表面が劣化。

○洪水吐きにおける主な変状事例

経過年数	ダム名	形式	工種	変状箇所	経過年数	変状の概要
30年以上	Bダム	アーチ式コンクリート	洪水吐き	越流部	41	洪水吐きピアの損傷、劣化。
	Dダム	アーチ式コンクリート	洪水吐き	越流部	52	トンネル洪水吐き覆工コンクリートの劣化、漏水。
	Eダム	土質還元壁型ロックフィル	洪水吐き	導流部	32	導流部に施工時の欠陥に起因すると推定されるコンクリートの剥離・浮きを確認。
	Fダム	重力式コンクリート	洪水吐き	越流部	35	ピア及びダム越流コンクリートに洪水流による摩耗・洗掘。
	Gダム	土質還元壁型ロックフィル	洪水吐き	導流部	31	洪水吐き導流壁等にアルカリシリカ反応が原因と見られるひび割れが発生。

※国土交通省直轄ダム及び水資源機構ダム(平成24年4月現在管理中の118ダム)から報告のあった管理開始以降の補修事例49件について、管理開始後何年経過した時点での補修実績であったかを整理したもの

図 6-7 補修実施ダムの管理年数と補修実績の推移

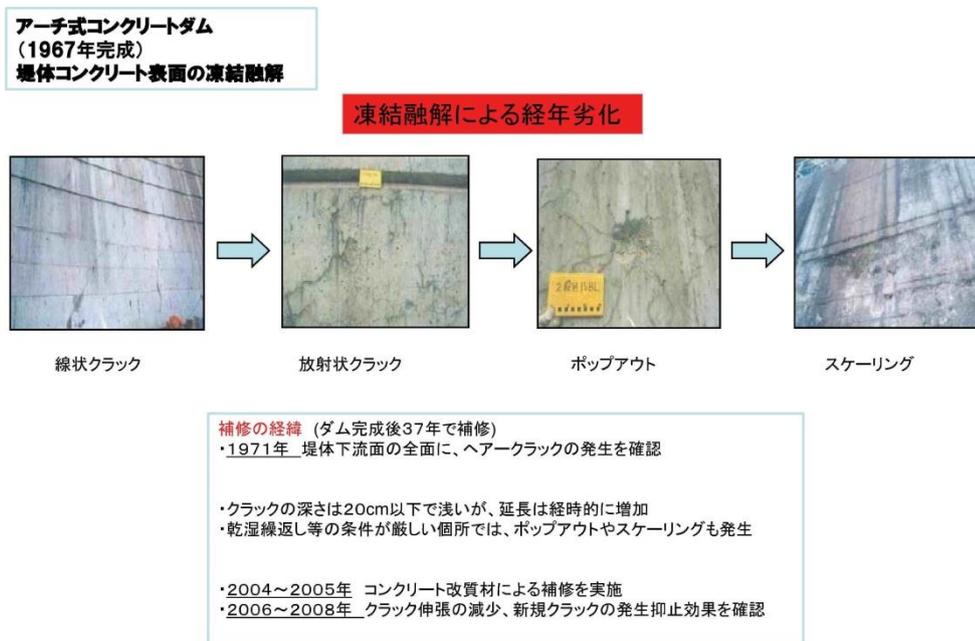


図 6-8 補修の対象となった凍結融解によるクラックの伸長事例

<参考文献>

- ・ダム総合点検実施要領・同解説 (H25.10 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課)

○水による成分溶解

成分溶出は、コンクリート中のセメント水和物が周囲の水に融解し、組織が疎となる変状・劣化の現象である。下図はコンクリートダム堤体の上部と底部の強度比の経年変化を示したものであるが、常に貯水に接している底部ほど強度の経年変化が大きいことを示している。

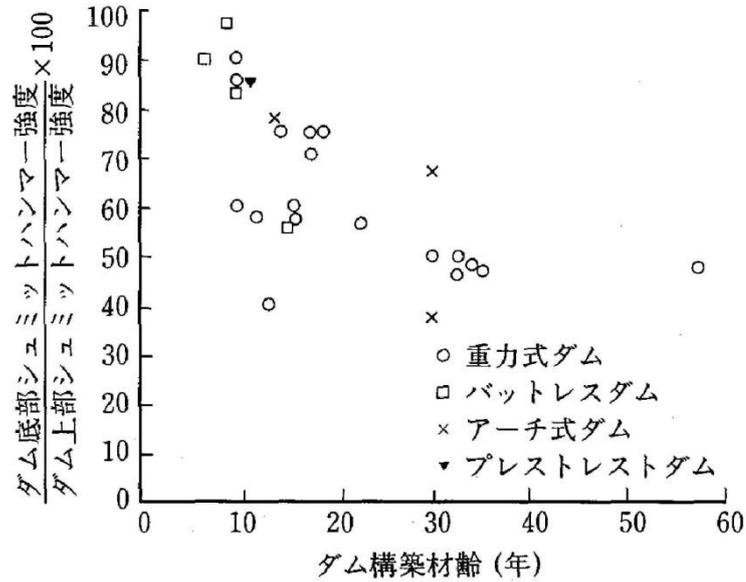


図 6-9 ダム堤体強度推定値

(スコットランドの事例—「コンクリート診断技術14 [基礎編] (社) 日本コンクリート工学会」 p.62)

コンクリートの概略的な強度は、シュミットハンマー等の簡易調査で容易に判断できるので、それが成分溶出を原因としたものかどうかは、水に接する時間が少ないと見られる部位との相対比較で判断するものとする。

(2) 基礎部洗掘の予測方法

<洗掘メカニズム>

大河内（1960）によれば、水路構造物下流側の洗掘に重大な影響のあるのは渦であるとし、下図に示すように渦の状態は、越流水が貫入する水脈を境にして上部を表面渦（負渦：A）、下部を底面渦（正渦：B）と区別している。

洗掘初期は負渦のみ発生し、下流底質の洗掘・移動を起こし、下流側に堆積して洲を形成する。次第に洲が発達するにしたがって洗掘穴が拡大され、底面渦（正渦）が発生すると洗掘穴の底部土砂が Y 点を境にして上下流側に移動するようになる。一方表面渦については、底質を巻き上げ、X 点を境にして上下流側へ移動した土砂は初期に発生した洲を発達させ、次第に土砂を下流に流送する。Y 点を境にして移動する底質は、そのとき水中安定勾配を保とうとするが、負渦が巻きあげるエネルギーの範囲内で水中安定勾配より大となる。水理構造物の基礎の安定度を考える時、Y 点より下流向きの正渦が土砂を絶えず構造物の方へ寄せるから倒壊せずにいることができるが、減水時になれば落水の到達距離が構造物に近づき、今まで正渦によって寄せられていた砂礫が次第に巻き上げられ危険な状態となるとしている。

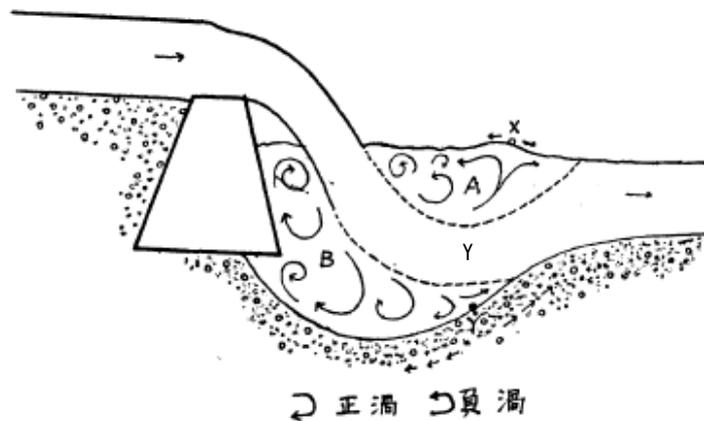


図 6-10 洗掘が発達した場合の渦の状態（参考文献 1）

御子柴（1984）は、常願寺川本川中流部及び支流に施工されている砂礫基礎の砂防ダムについて、立山砂防事務所で開催した昭和 25 年または 29 年より年 1 回継続測量されている河床変動資料と、既設砂防ダム下流の洗掘調査（昭和 55 年 10 月）の結果より、砂防ダム下流の河床変動と洗掘深（滝ツボ深）を検討している。

洗掘深さについては、下図に示すように、本ダムの洗掘深（滝ツボ深）と副ダム（複数の場合は、最下流端）の洗掘深について落下高との関係を検討している。

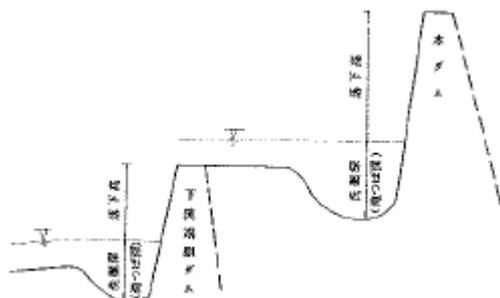


図 6-11 洗掘深（滝ツボ深）と落下高（参考文献 2）

① 本ダム直下流の洗掘深さ（滝ツボ深）

副ダムを有する本ダム直下流の洗掘深（滝ツボ深）と落下高（ダム水通し天端から下部水面までの高さ）との相関図は下図のようにほぼ直線的な関係を示す。

相関式は下式で表され、相関係数も 0.87 と高い。

$$h = 0.0855H_0 + 0.58 \div 0.09H_0 + 0.6 \quad (n = 14)$$

$$\text{相関係数 } r_0 = 0.872 > r(12; 0.01) = 0.661 \quad (h ; \text{滝ツボ深 } H_0, \text{落下高})$$

式中 0.58 (0.6) を副ダムの越流水深と考えれば、副ダムを有する本ダム下流の洗掘深は、落下高の 10%前後となる。

② 下流端副ダム直下流の洗掘深

下流端副ダム直下流の洗掘深と落下高との相関図は下図のようにほぼ直線的な相関性が認められる。相関係数は 0.78 とややばらつきが見られるが、かなり高い相関を有している。

$$h = 0.196H_0 + 0.62 \div 0.2H_0 + 0.6 \quad (n = 8)$$

$$r_0 = 0.78 > r(6; 0.05) = 0.71$$

式中 0.62 (0.6) を副ダム下流の水深と考えれば、下流端副ダム直下流の洗掘深は、落下高の 20%前後となり、前述の副ダムを有する本ダムの場合と比較して、洗掘深は約 2 倍の比率で深くなること分かる。

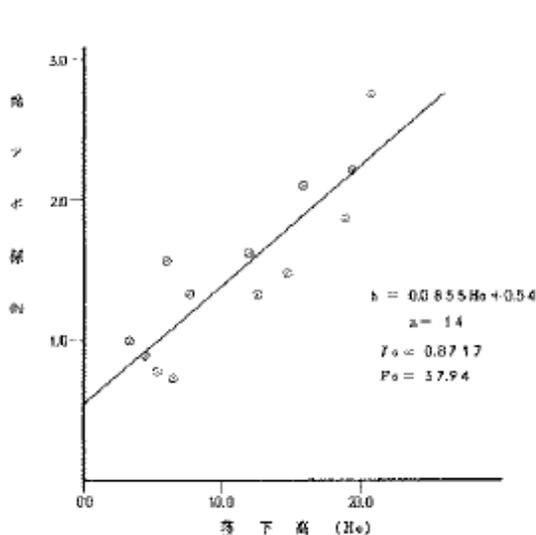


図 6-12 洗掘深—落下高相関図 (本ダム)

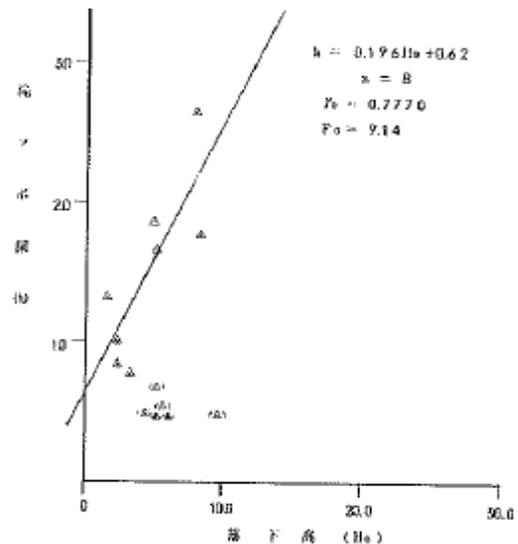


図 6-13 洗掘深—落下高相関図 (下流端副ダム)

(参考文献)

1. 砂防ダム前庭部洗掘試験について 大河内禎二 建設省日光砂防工事事務所 新砂防 Vol. 12 (1959-1960) No. 4 P 1-11
2. 砂防ダム下流の洗掘、河床低下に関する考察 御子柴三男 (国土防災技術 (株) 名古屋支店) 昭和 59 年砂防学会研究発表会概要集

(3) 劣化度の定量的計測方法

コンクリート構造物の詳細調査の種類および内容、適用できる工種等について、平成 26 年度の当部会の報告書において以下の通り整理を行っている。

表 6-3 コンクリート構造物の詳細調査方法一覧表

調査分類	調査名	把握できる内容・結果の利用	摘要できる工種	
打音調査	打音調査	空洞化の有無や範囲	全て	
コア抜き・ボーリング	強度調査	圧縮強度試験	コア強度の定量的把握	溪間工・土留工
	性状調査	コア判定	目視コア判定による強度の定性的把握・分類	溪間工・土留工
	健全度(老朽化)調査	アルカリシリカ反応性(ASR)試験	異常膨張やひび割れ進行度の把握	全て
		中性化試験	コンクリートの中酸化進行度の把握	全て
非破壊検査	内部状況調査	ポアホールスキャナ	内部状況の可視化	溪間工・土留工
		熱赤外線調査	吹付のり面背面の土砂化、空洞化	吹付工
		弾性波(PS)探査	弾性波の伝わり方による強度の把握	溪間工・土留工
	強度調査	シュミットハンマー法	コンクリートの強度測定調査	全て

それぞれの実施方法や判断手法については本報告書 4.4 「構造 (コンクリート、鋼製、木製) 毎の点検手法の検討」に整理済である。

第2項 鋼製構造物

(1) 劣化度の閾値等に関する基準

(a) 経過年数

1) 他所管施設による事例

耐久年数は20～30年程度（公園施設や道路標識・照明構造物の事例より）

2) 治山施設の事例

○鹿児島県北薩地域振興局管内における落石防護柵工の点検・評価判定

鹿児島県北薩地域振興局管内では、昭和50年度から落石対策工事を21地区で実施し、落石防護工はλ型、I型、リングネットおよびストーンガードを施工している。

これらの施設について、施設周辺の環境状況と構造物の状況について以下の項目で点検を実施した。

環境状況：斜面方向、施設周辺の植生繁茂状況、表流水、落石、土砂堆積状況、保全対象

構造物：鋼材部、接合部、緩衝部、基礎部の錆や破損等

施設の点検結果については、鋼材の腐食状況等に応じて、危険度の低いものからレベルを1～5に区分し、鋼材部、接合部、緩衝部及び基礎部について、レベル評価を行なった。

表 6-4 落石防護柵の評価判定レベル表（出典：平成26年度治山研究発表会要旨）

レベル	状 況	判 断 写 真			
		鋼材部		接合部	緩衝部
		外観	支柱・壁材		
1	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材部（支柱・壁材）で塗装の剥がれ錆が見られない。 接合部で塗装の剥がれ錆が見られない。 緩衝部で錆や腐食が見られない。 基礎部で異音が見られない。 				
2	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材部（支柱・壁材）で塗装の剥がれ錆が見られる。 接合部で塗装の剥がれ錆が見られる。 緩衝部で錆が見られる。 基礎部で浸食を受けている。 				
3	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材部（支柱・壁材）で部分的に腐食が見られる。 接合部で部分的に腐食が見られる。 緩衝部で破損や部分的に腐食が見られる。 基礎部でヒビ・割れが発生している。 				
4	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材部（支柱・壁材）で全体的に腐食が見られる。 接合部で全体的に腐食が見られる。 緩衝部で落下や全体的に腐食が見られる。 基礎部で傾きが発生している。 				
5	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に腐食が進行し、原型が保たれていない。 基礎部が崩壊している。 				

【調査結果】

- ・ 補修などの必要なレベル2以上の地区が8地区中7地区
- ・ **鋼材部、接合部では20年を経過すると腐食による断面欠損が見られ、危険度が高くなる。**
- ・ 緩衝部では、緩衝材に木材を使用している地区は、施工後12年で腐食が見られ、古タイヤを使用している地区のうち、**海岸から100m以内の地区では、結束線の腐食が早く進んでいた。**
- ・ 基礎部（コンクリート）は、経過年数による変化は見られなかった。
- ・ 全体的に見て、20年を経過すると危険度が高くなり、重点的に点検を行う必要がある。

3) 腐食量（減厚量）の目安

大気中における鋼材の腐食量の標準値は、片面で1.5mm（亜鉛メッキ防食材では0.5mm）、土中の平均年間腐食量は0.01～0.15（mm/年）の値域が、それぞれ現在採用されている。

そのため、砂防施設では鋼製構造物を施工する際、用いる部材には下表のような余裕しろ（腐食しろ）を予め設けている。治山施設（鋼製枠ダム等）は、この砂防基準を準用して設計が行われている場合が多い。

4) 流水のpH値

前述の通り、pHが4以下（酸性域）になると鍍が融解し、鍍の腐食抑制機能が失われる上に、水素発生型の腐食が生じるため、pH<4以下の溪流で鋼製構造物を施工する場合は重防食処理を施すなどの対策が必要となる。

(2) 劣化リスクの判断手法 (計測方法)

(a) 板厚計測

ノギス、または超音波板厚計等を用い、余裕しろ (腐食しろ) である 3mm (片側 1.5mm) 以上の板厚減少の有無を確認する。

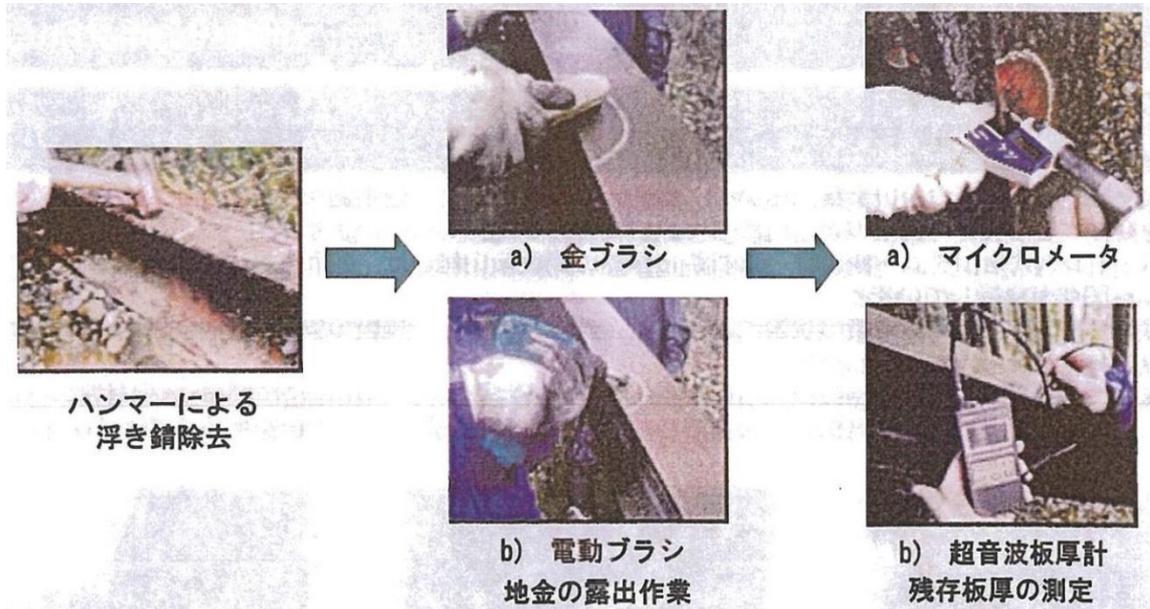


図 6-14 測定箇所の錆除去および計測

「鋼製治山施設の腐食調査手法および対策 (案)」日鐵住金建材 (株) 資料

板厚計測によって得られた残存板厚値を用いて構造計算を行い、部材の安定性を照査する。

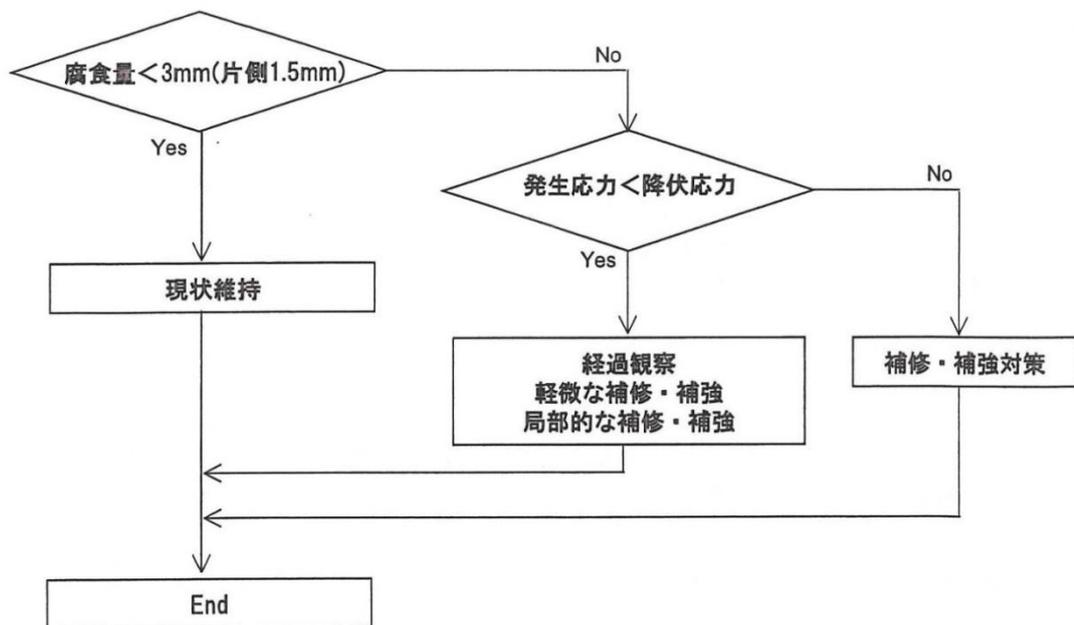


図 6-15 鋼製構造物の応力照査の流れ

「鋼製治山施設の腐食調査手法および対策 (案)」日鐵住金建材 (株) 資料

第3項 木製構造物

(1) 劣化リスクの判断手法（計測方法）

(a) ピロディン

ピン打込試験機を用いた非破壊試験である。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）を計測するもので、比較的簡易に計測が可能である。

これまでの研究で、打込深さは木材の曲げ強度と負の相関関係があり、劣化が進むと打込深さが大きくなる。腐朽厚が比較的小さい場合に有効である。

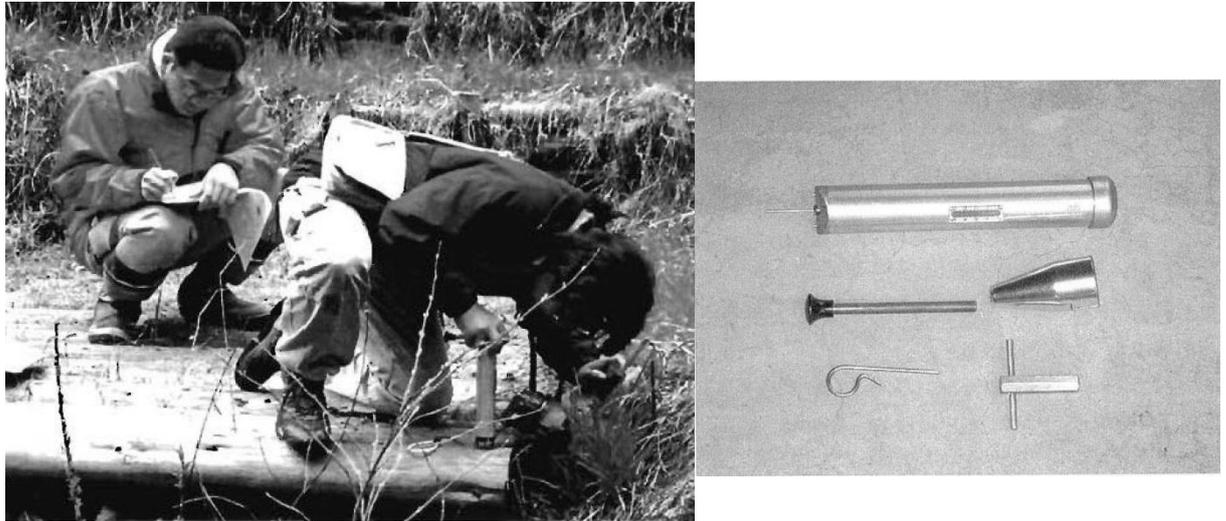


図 6-16 ピロディンによる測定（京都府林業試験所 試験研究業務月報 H15. 5）

（左：京都府林業試験所 試験研究業務月報 H15. 5、右：大分県林試研報 15 号土木用木製構造物の耐久性に関する研究）

なお、大分県林試による研究では、土木用木製構造物への使用頻度が最も高い直径 10cm の小径スギ丸太を例にして、腐朽の進行にともなう Pdr（ピロディン貫入深さ）の増大とそれによる強度劣化について検討している。これによれば、丸太内部が均質であると仮定すると、表 8 に示すように、Pdr の増大に伴う縦圧縮の強さの減少率は、丸太断面積に比例し、Pdr が 32.54mm（≒33mm）のときに 50%となっている。つまり、健全材と比較して Pdr が 33mm のとき（Pdr. 33）に強度が概ね半分になることから、これを使用不能材としている。

また、Pdr. 33 が 70%を耐久限界とし、木製構造物の耐用年数は、無処理材で 6.2 年、防腐処理材で 16.0 年であったと報告している。

以上から、Pdr ≧ 33mm を補修（部材交換）や更新実施の目安と判断できる。

表 6-5 直径 10cm の小径丸太における Pdr と縦圧縮強度減少率

（大分県林試研報 15 号 土木用木製構造物の耐久性に関する研究）

Pdr (mm)	腐朽部半径 (mm)	健全部半径 (mm)	断面積 (mm ²)	強度減少率 (%)
18	0.1	49.9	7819	99.9
19	1.1	48.9	7508	95.6
20	2.1	47.9	7204	91.8
21	3.1	46.9	6907	88.0
22	4.1	45.9	6615	84.3
23	5.1	44.9	6330	80.6
24	6.1	43.9	6051	77.1
25	7.1	42.9	5779	73.6
26	8.1	41.9	5513	70.2
27	9.1	40.9	5253	66.9
28	10.1	39.9	4999	63.7
29	11.1	38.9	4751	60.5
30	12.1	37.9	4510	57.5
31	13.1	36.9	4275	54.5
32	14.1	35.9	4047	51.6
33	15.1	34.9	3825	48.7
34	16.1	33.9	3609	46.0
35	17.1	32.9	3399	43.3
36	18.1	31.9	3195	40.7
37	19.1	30.9	2998	38.2
38	20.1	29.9	2807	35.8
39	21.1	28.9	2623	33.4
40	22.1	27.9	2444	31.1

(b) マイナスドライバー

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、マイナスドライバーと荷重測定器を組み合わせた簡便な劣化（腐朽等）厚測定方法を示す。

（用いる道具）

デジタルフォースゲージ（1.0kN）の先端部にドリルチャックを介してマイナスドライバー（DIN規格、軸径 3mm）を装着した計測機器を使用する。軸長 15cm 以上では偏心して大きな荷重を加えると座屈する恐れがあるため、軸長 10cm 程度とする。

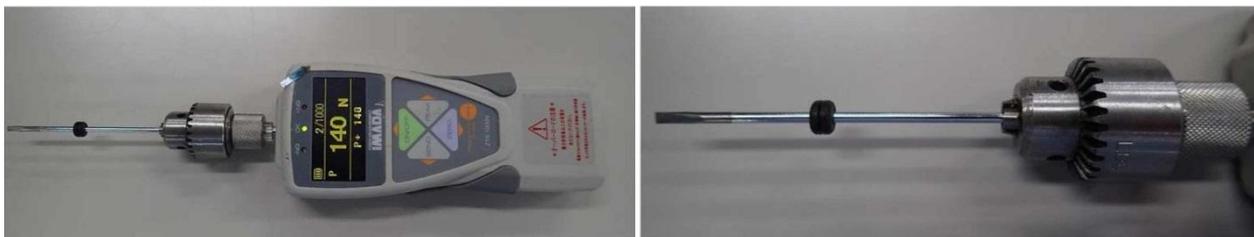


図 6-17 計測機器の例（左：デジタルフォースゲージ 右：貫入深読み取りのためのゴムリングの装着状況）

「木製治山構造物技術指針（案）」平成 28 年 2 月 木製治山構造物技術指針検討会

（測定方法）

- 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。

（腐朽厚の妥当性）

石川ら（2003）によれば、ピロディン、レジストグラフ、および応力波伝播法等、各種の腐朽度試験方法を比較した結果、レジストグラフが腐朽厚を最も精度よく把握できる方法であると報告している。レジストグラフは、先端の幅が 3mm の細いニードル、（シャフト径 1.5mm）を回転させて木材を穿孔しながら貫入する際にニードルが受ける回転抵抗を深さごとに記録紙上に記録する測定機器である。

表に示す施工後 7 年から 13 年経過した木製ダム 11 基に対して試験を実施した。下図にレジストグラフによる腐朽厚とマイナスドライバーによる貫入深さの測定値の関係を示す。荷重 200N の場合が高い決定係数 0.65 が得られ、簡便な腐朽厚の測定方法として採用することは妥当と考えられる。

表1 腐朽厚調査対象施設の概要

施工年度	施工箇所	データ数n=	部材種類
2002	長野県	86	カラマツ
2003	長野県	83	カラマツ
2004	長野県	54	カラマツ
2007	長野県	93	カラマツ
2007	長野県	158	カラマツ
2008	長野県	127	カラマツ
2004	岐阜県	76	スギ
2007	岐阜県	146	スギ
2008	岐阜県	66	スギ
2003	京都府	31	スギ
2004	京都府	65	スギ

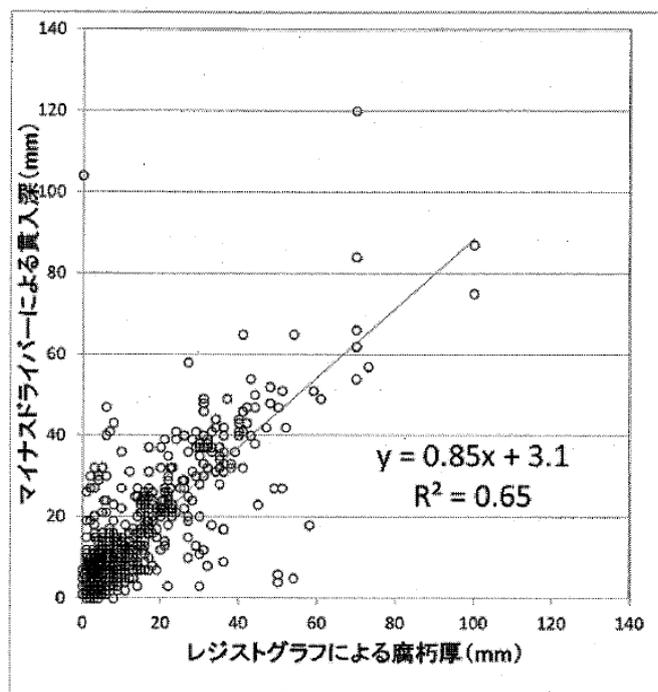


図 6-18 レジストグラフによる腐朽厚とマイナスイドライバーによる貫入深さの関係 (荷重 200N)
木製治山ダムの維持管理手法—簡便で効果的な腐朽厚の測定— (平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集)

木製ダムは部材を連結させ、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であり、転倒、滑動、地盤支持力に加え、セル構造体として安定性の照査を行なっている。したがって、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部材に必要な断面が残存し、また中詰材の流種豆の変状が無く構造体として安全性が保たれていれば、その施設の機能は確保されているものと判断できる。この点を踏まえて、点検項目は施設の機能に影響を及ぼす変状の程度を具体的に把握するため、①部材の摩耗・損傷、②部材の腐朽状態、③連結部の状態、④中詰材の状態、⑤基礎部・取付部の状態の5項目とし、それぞれ判定基準（下表）を設定している。

表 6-6 木製ダムの健全度判定基準表

木製治山ダムの維持管理手法—簡便で効果的な腐朽厚の測定— (平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集)

点検項目 ランク	部材の摩耗・損傷	部材の腐朽状態	連結部の状態	中詰材の状態	基礎部・取付部の状態
a	全体的に 重度の摩耗・損傷	全体的に 重度の腐朽	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
b	部分的に 重度の摩耗・損傷	部分的に 重度の腐朽	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	軽度の摩耗・損傷	軽度の腐朽	連結部に緩み (ずれ)	中詰材流出の兆候	軽度の侵食・洗掘
d	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
調査方法	目視	目視・触診・打診 ・刺診	目視・触診	目視	目視

(2) 耐用年数（劣化速度）予測法

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、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。

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。

(a) 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 6-19）。

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 6-19、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(1)と式(2)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

$$\text{本体部の劣化厚 (mm)} = 0.97X - 2.79 \quad \dots \dots (1)$$

X：経過年数（年）

$$\text{袖部の劣化厚 (mm)} = 1.74X - 7.69 \quad \dots \dots (2)$$

X：経過年数（年）

(b) 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 6-19）。

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(3)と式(4)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

$$\text{本体部の劣化厚 (mm)} = 2.618X_1 - 0.389X_2 + 36.555 \quad \dots \dots (3)$$

X₁：経過年数（年）、X₂：乾燥指数（AI）

$$\text{袖部の劣化厚 (mm)} = 3.714X_1 - 0.026X_2 + 56.638 \quad \dots \dots (4)$$

X₁：経過年数（年）、X₂：年降水量（mm）

なお、乾燥指数（AI）は式(5)により求める。

$$AI = P/T + 10 \quad \dots \dots (5)$$

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（℃）

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6-19に示す。なお、図6-19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）。

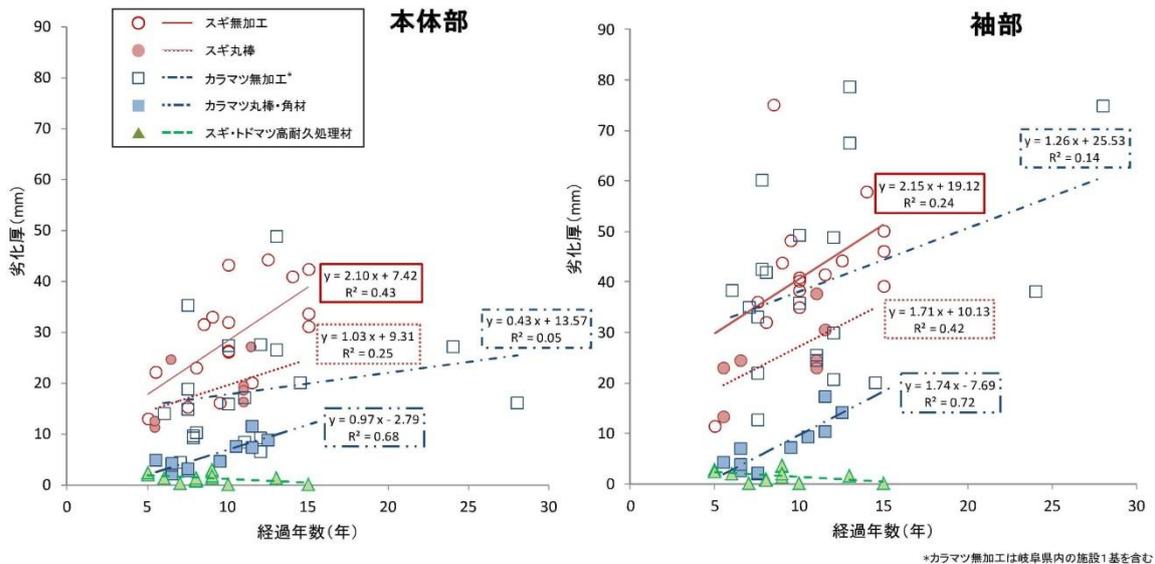
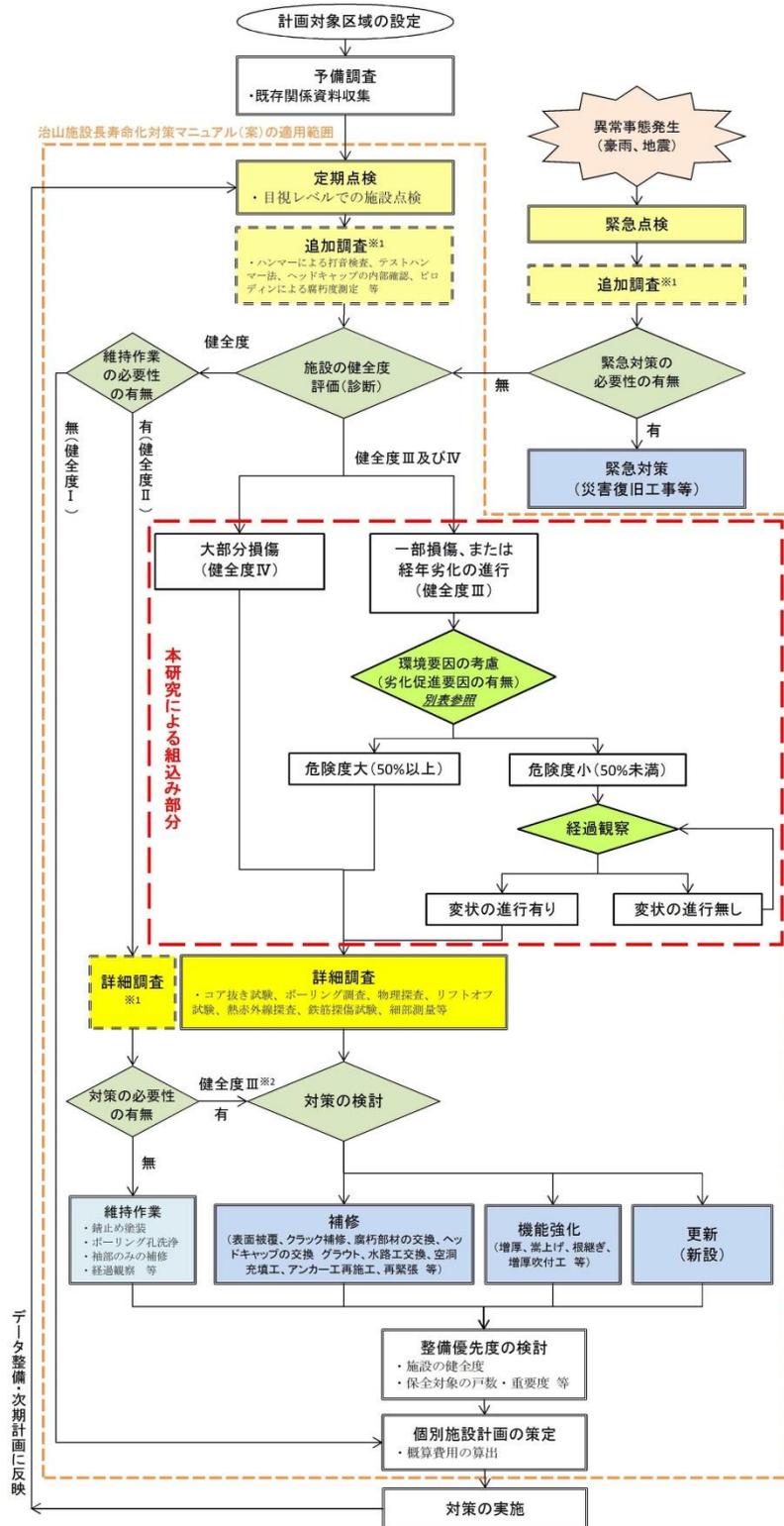


図 6-19 設置から5~15年経過した木製治山構造物（主として床固工）の本体部と袖部の部材の種類別の経過年数と劣化厚の全国実態調査結果（山内ら, 2015；吉田ら, 2015）

第2節 劣化度に環境要因を考慮する方法（案）

治山施設個別施設計画策定マニュアル（案）では、点検から診断、長寿命化対策（維持作業、補修、機能強化、更新）に至るまでの一連の流れがフローで示されており、当フローに本研究における「環境要因の考慮」の考え方を組み込んだフロー図を作成した（赤囲み部分）。



※1: 必要に応じて実施
 ※2: 対策の必要性有(健全度がⅡからⅢに低減)の判断は、詳細調査の実施を基本とする。
 注) 個別施設計画の対象から除外した施設についても、豪雨後等の緊急点検等の機会に施設を点検し、対策の必要性の有無を判断する。

図 6-20 劣化環境要因の考慮を取り入れた個別施設計画策定の流れ（案）

また、図中の「環境要因の考慮」の条件判断については、下表にしめす「環境要因点数表」に基づいて点数の合計によって「危険性大」（最高得点の50%以上）、「危険性小」（最高得点の50%未満）に区分される。

表 6-7 治山施設が置かれた環境と劣化要因との関連性（環境要因点数表）

劣化要因		内部要因								外部要因			
		コンクリート						鋼材	木材	外部要因			
		中性化 ※1	塩害 ※2	ASR	凍害	化学的侵食	摩耗	腐食	腐朽	基礎部の洗掘	土圧・背面土すべり	地盤沈下	転石等衝撃
使用年数	40年以上	○	○	○	○	○	○	◎	◎				
	20~40年未満	△	△	△	△	△	○	○	◎				
施工年	1986年以前		△	△									
	1978年以前	△											
鉄筋かぶり	t<30mm	○	○										
地域 (各分布図参照)	①塩害を起こしやすい(起きた)地域	△	○										
	②ASRを起こしやすい(起きた)地域			○									
	③凍害を起こしやすい(起きた)環境				○								
使用環境	①乾湿の繰り返しを受ける(水際、地際等)				△		○	◎					
	②劣化部への流水、湧水の供給がある			○	○								
	③周辺に樹木等の植生あり									◎			
水質	①硫酸分水質(温泉) pH4以下					○	◎	○					
土壌・地盤	①腐食性土壌(酸性土壌) pH4以下	△		△		△							
	②スコリア層が3m以上(火山地域)									◎		○	
	③堆積層が3m以上									◎		○	
流域状況	①流域面積が5km ² 以上で流量が多い						○			○			○
	②崩壊地が多い(崩壊面積率1.0%以上)						◎						◎
	③上流側未満砂ダム等による流送土砂のカット									◎			
地圧	①設計荷重を大きく上回る荷重の負荷(土石流、落石等)										◎		◎
	②極端な偏荷重が作用										◎		
	③過去に地震被害を受けた										○	○	
摩耗条件	①射流(渓床勾配が10°以上である)						○						○
	②石礫の流下(礫径1m以上)						◎						◎
点数表	最高得点	8	8	9	8	6	14	10	11	11	11	6	13
◎…3点	劣化進行の危険性小(50%未満)	0~3	0~3	0~4	0~4	0~2	0~6	0~4	0~5	0~5	0~5	0~2	0~6
○…2点	劣化進行の危険性大(50%以上)	4~8	4~8	5~9	5~8	3~6	7~14	5~10	6~11	6~11	6~11	3~6	7~13
△…1点	【関連性:高-◎・○・△・なし-低】												

※1 無筋コンクリートの場合は劣化要因としない。

※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。

※3 1978年に鉄筋被りと設計基準強度について規定、1986年に塩分総量規制施行・ASR対策について規定

次頁に、点数設定の例として「高標高地域の谷止工」と「沿岸地域の法枠工」をイメージした環境要因点数表をそれぞれ示す。

表 6-8 高標高地域の谷止工をイメージした環境要因点数表

劣化要因	内部要因									外部要因			
	コンクリート				鋼材	木材	外部要因						
使用・劣化環境	中性化※1	塩害※2	ASR	凍害	化学的侵食	風化摩耗	腐食	腐朽	基礎部の洗掘	土圧・背面土すべり	地盤沈下	転石等衝撃	
使用年数	40年以上 20~40年未満	○	○	○	○	○	○	◎	◎				
施工年	1986年以前		△	△									
	1978年以前	△											
鉄筋かぶり	t<30mm												
地域 (各分布図参照)	①塩害を起こしやすい(起きた)地域												
	②ASRを起こしやすい(起きた)地域												
	③凍害を起こしやすい(起きた)環境				○								
使用環境	①乾湿の繰り返しを受ける(水際、地際等)				△		○	◎					
	②劣化部への流水、湧水の供給がある			○	○								
	③周辺に樹木等の植生あり									◎			
水質	①硫酸分水質(温泉) pH4以下												
	②スクリア層が3m以上(火山地域)												
土壌・地盤	①腐食性土壌(酸性土壌) pH4以下												
	②スクリア層が3m以上(火山地域)												
	③堆積層が3m以上												
流域状況	①流域面積が5km ² 以上で流量が多い					○			○			○	
	②崩壊地が多い(崩壊面積率1.0%以上)												
	③上流側未満砂ダム等による流送土砂のカット												
地圧	①設計荷重を大きく上回る荷重の負荷												
	②極端な偏荷重が作用												
	③過去に地震被害を受けた												
摩耗条件	①射流(渓床勾配が10°以上である)					○						○	
	②石礫の流下(礫径1m以上)						◎					◎	
点数表	得点	3	3	5	7	2	9	5	6	2	3	0	7
◎…3点	最高得点	8	8	9	8	6	14	10	11	11	11	6	13
○…2点	劣化進行の危険性小(50%未満)	0~3	0~3	0~4	0~4	0~2	0~6	0~4	0~5	0~5	0~5	0~2	0~6
△…1点	劣化進行の危険性大(50%以上)	4~8	4~8	5~9	5~8	3~6	7~14	5~10	6~11	6~11	6~11	3~6	7~13

【関連性: 高-◎・○・△・なし-低】
 ※1 無筋コンクリートの場合は劣化要因としない。
 ※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。
 ※3 1978年に鉄筋被りと設計基準強度について規定、1986年に塩分総量規制施行・ASR対策について規定

表 6-9 沿岸地域の法枠工をイメージした環境要因点数表

劣化要因	内部要因									外部要因			
	コンクリート				鋼材	木材	外部要因						
使用・劣化環境	中性化※1	塩害※2	ASR	凍害	化学的侵食	風化摩耗	腐食	腐朽	基礎部の洗掘	土圧・背面土すべり	地盤沈下	転石等衝撃	
使用年数	40年以上 20~40年未満	△	△	△	△	△	○	◎					
施工年	1986年以前		△	△									
	1978年以前												
鉄筋かぶり	t<30mm	○	○										
地域 (各分布図参照)	①塩害を起こしやすい(起きた)地域	△	○										
	②ASRを起こしやすい(起きた)地域			○									
	③凍害を起こしやすい(起きた)環境												
使用環境	①乾湿の繰り返しを受ける(水際、地際等)												
	②劣化部への流水、湧水の供給がある			○	○								
	③周辺に樹木等の植生あり									◎			
水質	①硫酸分水質(温泉) pH4以下												
	②スクリア層が3m以上(火山地域)												
土壌・地盤	①腐食性土壌(酸性土壌) pH4以下												
	②スクリア層が3m以上(火山地域)												
	③堆積層が3m以上												
流域状況	①流域面積が5km ² 以上で流量が多い												
	②崩壊地が多い(崩壊面積率1.0%以上)												
	③上流側未満砂ダム等による流送土砂のカット												
地圧	①設計荷重を大きく上回る荷重の負荷												
	②極端な偏荷重が作用												
	③過去に地震被害を受けた												
摩耗条件	①射流(渓床勾配が10°以上である)										○	○	
	②石礫の流下(礫径1m以上)												
点数表	得点	4	6	6	3	1	2	2	3	0	5	2	0
◎…3点	最高得点	8	8	9	8	6	14	10	11	11	11	6	13
○…2点	劣化進行の危険性小(50%未満)	0~3	0~3	0~4	0~4	0~2	0~6	0~4	0~5	0~5	0~5	0~2	0~6
△…1点	劣化進行の危険性大(50%以上)	4~8	4~8	5~9	5~8	3~6	7~14	5~10	6~11	6~11	6~11	3~6	7~13

【関連性: 高-◎・○・△・なし-低】
 ※1 無筋コンクリートの場合は劣化要因としない。
 ※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。
 ※3 1978年に鉄筋被りと設計基準強度について規定、1986年に塩分総量規制施行・ASR対策について規定

第7章 補修・補強等対策手法の事例とりまとめ

第1節 渓間工の補修・補強等対策事例

第1項 コンクリート構造物（増厚・嵩上）

治山施設の補修・補強に関する事例を収集したところ、15件の事例が収集され、いずれも谷止工に関する機能強化事例（増厚、嵩上げ、根継ぎ、副ダム）のみであった。これは多くの場合、補修・補強対策の設計業務として発注される工種は谷止工のみであり、山腹工（土留工・水路工）については原状復帰のための工事発注のみで、補修設計業務が生じないためと考えられる。

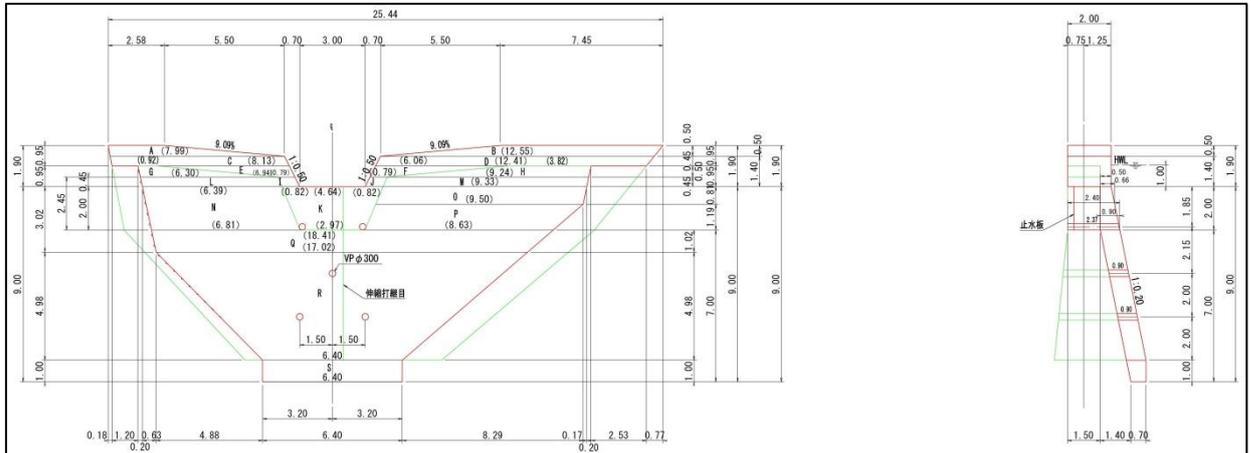


図 7-1 収集事例の一例（谷止工増厚・嵩上）【再掲】

(1) 収集事例の分析

収集した15事例の傾向等について分析を行った。以下に分析結果を示す。

- ⑧ 嵩上（下流腹付）：5件、嵩上（上流）：4件、嵩上（袖部のみ）：1件、根継工実施：2件、副堤施工による埋戻し：1件、新設（詳細調査の結果、嵩上が困難と判断）：2件
- ⑨ 嵩上方法は治山関連基準には記載無く、国土交通省中部地方整備局発行の「砂防施設設計要領（案）」に従っている（既設への付着を確実にを行うため、チップング、挿し筋を併用している）。
- ⑩ 嵩上高は1.5～5.0mであり、嵩上高2.0mの事例が最も多い。
- ⑪ 根継工は「治山必携（災害編）」に従って実施している。
- ⑫ 副堤による埋戻しは、脚部洗掘が著しく、これ以上の掘削は困難と判断の上実施している。
- ⑬ 目視点検以外の詳細調査は実施事例が3件のみ、玉石コンクリートなど堤体内部の状況が分からない場合に実施している。
- ⑭ 施設の健全性、安定性を評価するための詳細調査は、簡易的に実施する場合はコア抜きによる試料調査、本格的に実施する場合はボーリングコアによる資料調査、ボアホールスキャナ観測等を実施している。

第2項 コンクリート構造物（補修）

治山施設における補修事例は公開されているものが少ないため、ここでは治山施設に類似する施設として、農業水利施設（開水路）での補修事例を示す。

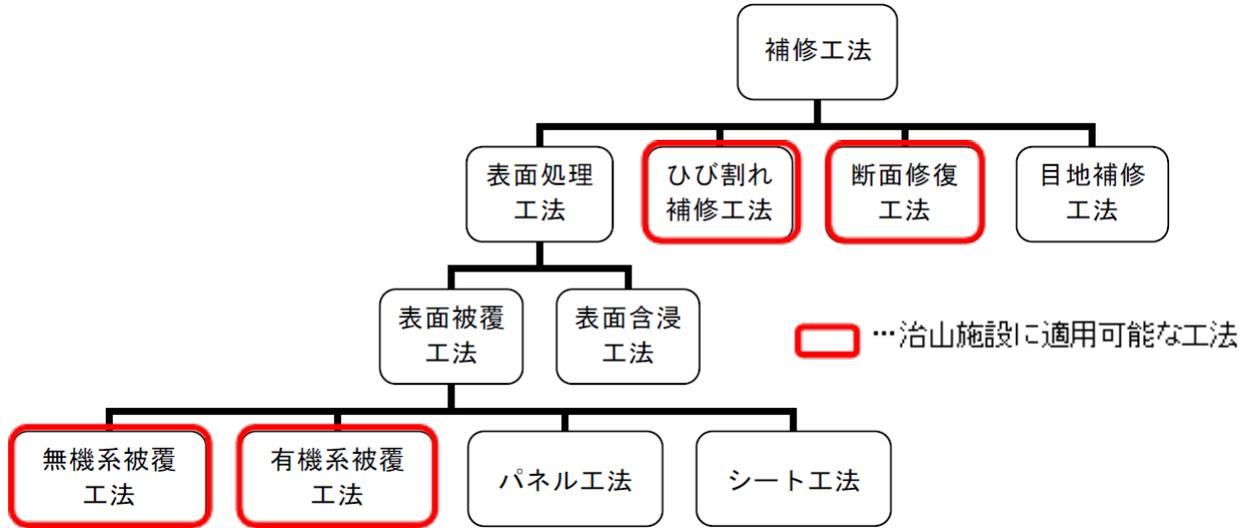


図 7-2 コンクリート構造物の補修工法の分類
 (農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】(案))

(1) 表面被覆工法

コンクリート表面にモルタル被覆または有機系の塗膜を形成し、構造物の外部から構造物中に水が浸入することを防ぐ補修工法。無機系（モルタル）と有機系（エポキシ、ビニルエステル、ポリエステル、ポリウレタン等）とに分かれる。また、必要に応じてひび割れ補修工法、断面修復工法あるいは湧水の導水対策を併用する。標準的な施工手順は以下の通りである。

- (1) 準備工
- (2) 下地処理工
- (3) 不陸調整工（必要に応じて）
- (4) 表面被覆工（プライマー工、モルタル被覆工または中塗り・上塗り工、仕上げ工を含む）
- (5) 養生工



写真 2.2.1.1-1
 無機系被覆工法（左官工法）施工状況



写真 2.2.1.2-1 有機系被覆工法
 （塗り付け型）施工状況

図 7-3 表面被覆工施工状況（農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】(案))

(2) ひび割れ補修工法（注入工法・充填工法）

劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分、硫化水素等の侵入の抑制等を目的とし、ひび割れ部にエポキシ樹脂あるいはセメント系の材料を注入する補修工法。ゴムやばね等を利用して加圧する専用の治具を用いてひび割れに注入する注入工法と、ひび割れ表面を U（V）カットして行う充填工法に分かれる。注入するひび割れを特定した上で実施するため、ある程度進行したひび割れに有効。

①ひび割れ注入工法の施工手順

- (1)準備工
- (2)清掃
- (3)注入用器具の設置
- (4)ひび割れ表面のシーリング
- (5)注入
- (6)養生
- (7)注入用器具の撤去
- (8)表面仕上げ

②ひび割れ充填工法の施工手順

- (1)準備工
- (2)ひび割れ表面の U カット
- (3)清掃
- (4)プライマー塗布
- (5)充填
- (6)養生

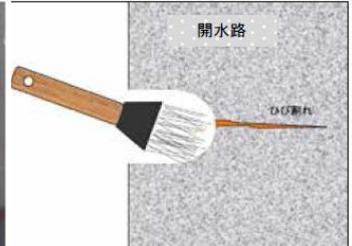


写真 4.2.2-2 注入用座金の設置と
ひび割れ表面のシーリング状況

写真 4.2.2-3 注入用器具による注入例

写真 4.2.2-4 U字カットの例

図 4.2.2-2 プライマー塗布

図 7-4 ひび割れ修復工施工状況（農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】（案））

(3) 断面修復工法

劣化したコンクリートはつりとって、その部分のコンクリートを打ち換える補修工法。浮き、剥離及びジャンカ等の発生箇所、および面的に発生した比較的深いひび割れに適用する。左官工法と吹付工法、充填工法がある。



写真 4.2.1-1 断面修復材の充填

写真 4.2.1-2 断面修復終了後

図 7-5 断面修復工施工状況（農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】（案））

第3項 鋼製構造物

治山施設における鋼製構造物の代表工種は、バットレス式治山ダム、鋼製枠、落石防護壁の3工種であるが、いずれも昭和40年代から設置が始まり、40~50年が経過している施設も多い。そのため施設によっては、周辺環境の状況によっては、腐食が進行し、施設の安定性を確保するため補修・補強が必要なケースが顕在化している。

一般的に鋼製構造物の場合、部分的に補修・補強するよりも全体を交換(更新)するケースが多いが、鋼製治山施設は山深く条件の悪い場所での施工事例が多いことから、堆積土砂を残置したまま鋼材を補強する工法の必要性も迫られている。鋼製治山施設の補修・補強対策事例(案)の以下に示す。

補修・補強対策(案)

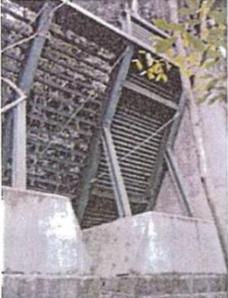
レベル3に対する補修・補強

Case1: 脚部の腐食が激しい状態(局部腐食)

- 鋼材脚部をコンクリートで巻建て、腐食の進行を抑える。
- コンクリートは、鋼材の脚部のみ打設する。流水の流下場所を確保することにより、脚部の腐食環境の改善を図る。



脚部の局所的な腐食



コンクリートで補強

Case2: 壁材の腐食が激しい状態(局部腐食)

上流の堆積土砂を除去できる場合

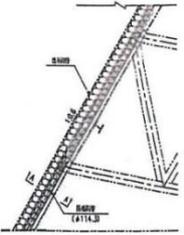
- 全面的に交換、または、不良部材のみ抽出し、新規部材との取替えにより対応

経年変化により、上流の堆積が進行し、安定した状態にある場合

- 既存の壁材はそのまま残し、下流側に新規部材を接続し、2重壁構造にて対応



上流側は安定した状態にある



二重管構造(案)

補修・補強対策(案)

レベル4に対する補修・補強

鋼製えん堤が腐食により老朽化したため、バットレス部材等を撤去し、透水性を保持した枠構造に置換えた事例です。



下流側



上流側




下流側



上流側

置換え前

置換え後

図 7-6 鋼製治山施設の補修・補強対策(案)
「鋼製治山施設の腐食調査手法および対策(案)」日鐵住金建材株式会社



図 7-7 バットレス式谷止工の補修事例（主鋼材：ケレン作業後再塗装、壁材：新材に取り替え）

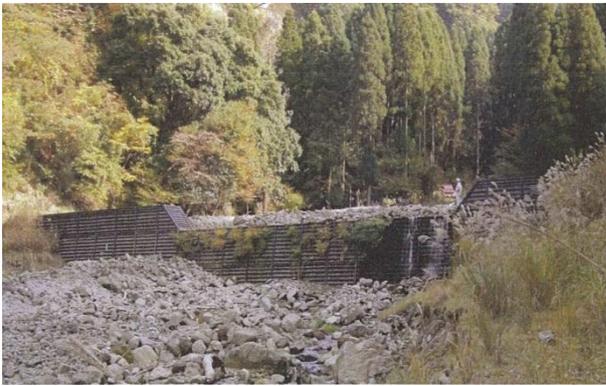


図 7-8 鋼製枠床固工の増厚・嵩上げ事例（ダム高 5m→8m）

第4項 木製構造物

木製治山構造物（治山ダム）の修繕（補修）、更新、改築（機能強化）の選択の事例を図 7-9 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）

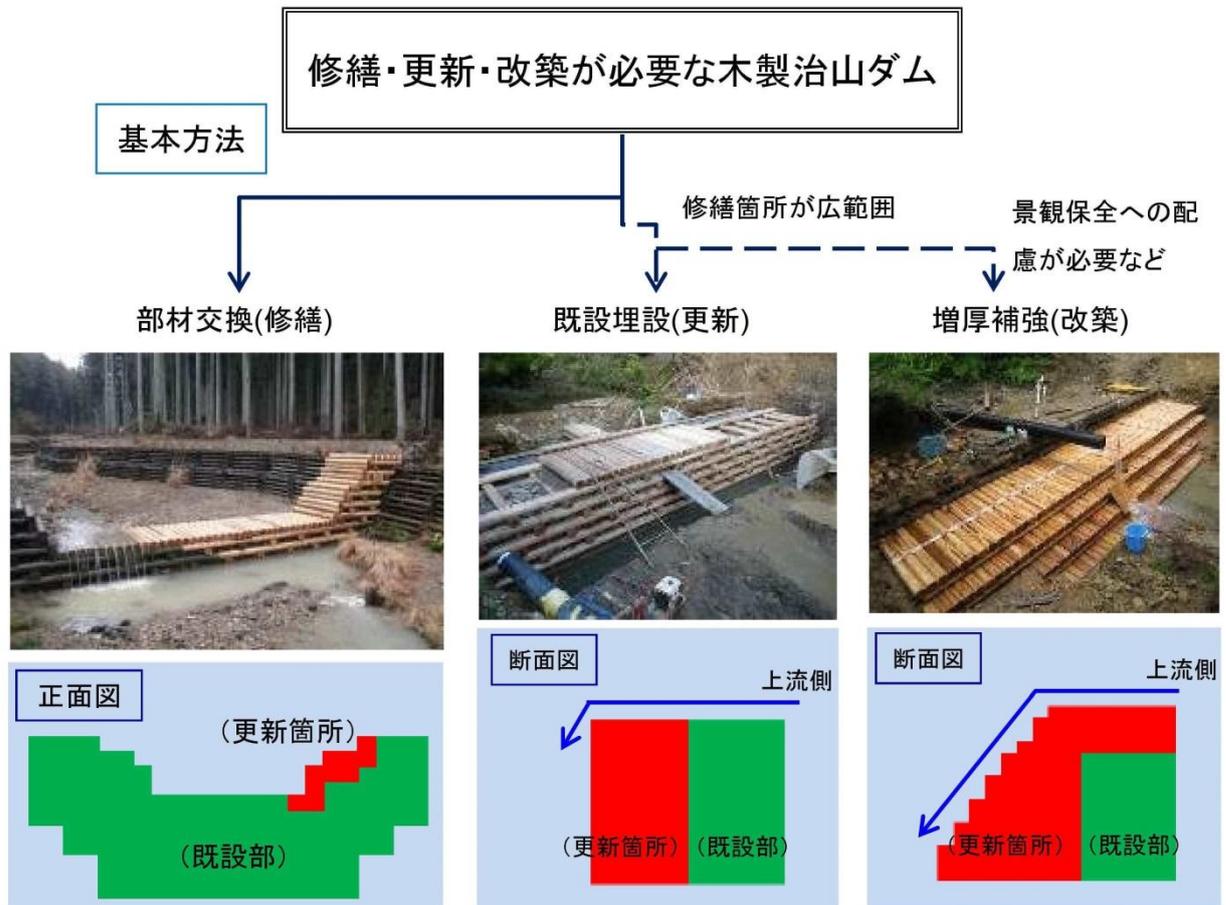


図 7-9 木製治山ダムの修繕、更新、改築の方法例（明石ら、2015 を一部改変）



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

図 7-10 木製治山ダムの部材交換の例（工法検討のための試験施工時の例）

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

第2節 山腹工

土木分野における斜面对策関連施設の補修・補強工法は数多く開発されている。治山山腹工はこれら斜面防災施設とほぼ同様の構造であるためこれらの工法が準用可能であると考えられ、劣化・損傷の原因を調査し、経済性や施工性等を勘案の上、最適な工法を選択することが望ましい。

斜面对策工法のうち NETIS（新技術情報提供システム）の登録がされている補修・補強に関連する技術で、かつ施工実績を有する工法の一覧について以下に示す。

表 7-1 斜面防災施設における補修・補強対策工法一覧 (1)

斜面・のり面の適切な点検方法の手引きと補修・補強工法選定資料 (一社) 建設コンサルタンツ協会近畿支部

整理No.	対策工法分類	対象構造物等	対象とする変状	工法名	NETIS No.	実績
A-1	A:空洞充填	擁壁工	クラック、欠損	注入充填工法	KT-090052-A	有
A-2	A:空洞充填	モルタル吹付工	剥離、空隙	老朽モルタル補修補強工法	QS-990023-A	有
B-1	B:地山補強土工	杭背面地山	杭周辺の地盤・構造物の変状	ラディッシュアンカー工法	KK-990020-A	有
B-2	B:地山補強土工	擁壁工	クラック、沈下	EPルーフトパイル工法	KT-000007	有
B-3	B:地山補強土工	切土のり面構造物	強度不足	パワーネット工法	KT-080009-A	有
B-4	B:地山補強土工	切土のり面構造物	強度不足	クモの巣ネット工法	KT-020056-V	有
B-5	B:地山補強土工	既設ブロック積など	擁壁の変状	ミニアンカー工法	KT-990162-V	有
B-6	B:地山補強土工	擁壁、切土のり面	老朽化した石積・ブロック積の変状	PAN WALL(パインウォール)工法	CB-980093-A	有
B-7	B:地山補強土工	擁壁、切土のり面	老朽化した擁壁、吹付のり面の変状	グリーンパネール工法	CG-010007-V	有
C-1	C:法枠工	法面	表層崩壊	ノイルクリート工法	CB-980023-V	有
D-1	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	崩壊・地すべり、既設構造物の安定	EHD永久アンカー	KT-040039-V	有
D-2	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁や橋台等の耐震補強	SEE永久グラウンドアンカー工法タイプアンカーU型	KT-990309-V	有
D-3	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁や橋台等の耐震補強	KTB・引張型SCアンカー工法	KT-990247-V	有
D-4	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策	荷重分散式支圧型グラウンドアンカー	CG-050001-V	有
D-5	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	NMグラウンドアンカー工法	CG-980012-A	有
D-6	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	SSL永久アンカー工法	HR-990015-A	有
D-7	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	RSIグラウンドアンカー工法	KT-030024-A	有
D-8	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	スーパーSCアンカー(スライラル地盤圧縮型永久アンカー)	KT-990314-A	有
D-9	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	荷重分散型KTB永久アンカー工法	KT-990136-A	有
D-10	D:アンカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり、急傾斜地崩壊対策・擁壁補強・湛流岸壁	SEE永久グラウンドアンカー工法 タイプアンカーU型	KT-990071-A	有

表 7-2 斜面防災施設における補修・補強対策工法一覧 (2)

斜面・のり面の適切な点検方法の手引きと補修・補強工法選定資料 (一社) 建設コンサルタンツ協会近畿支部

整理No.	対策工法分類	対象構造物等	対象とする変状	工法名	NETIS No.	実績
D-11	D:アーカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり・急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	KTB・芯力拘束型Cmsアーカー工法	TH-010005-A	有
D-12	D:アーカー工	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	軟弱地盤	Balloon Body Anchor	QS-980069-A	有
D-13	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	崩壊・地すべり、既設構造物の安定	KTBスーパーブレームアーカー工法	KT-000115-V	有
D-14	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	崩壊・地すべり、既設構造物の安定	SEEE/KIT受圧板	QS-040016-V	有
D-15	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠	地すべり・のり面保護	PUC受圧板工法	KT-010006-V	有
D-16	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり・急傾斜地崩壊対策	GET受圧板工法	CG-050001-V	有
D-17	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり・急傾斜地崩壊対策	ES工法	KT-040080-V	
D-18	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり・急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	フィットフレーション工法	KT-980611-V	有
D-19	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり・急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	D&Sアーカー工法	KT-070066-A	有
D-20	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり・急傾斜地崩壊対策・擁壁補強	PCブレーム工法	KT-990350-A	有
D-21	D:アーカー工 (受圧板)	モルタル吹付け・のり枠・擁壁など	地すべり・急傾斜地崩壊対策	TFC受圧体工法	QS-090028-A	有
E-1	E:断面修復	擁壁工	擁壁の変状	無溶剤タイプジュエルクラン系表面含浸材	KT-070047-V	有
E-2	E:断面修復	コンクリート構造物	コンクリート構造物の損傷	IPHシステム内圧充填接合補強工法	CG-070007-A	有
E-3	E:断面修復	コンクリート構造物	コンクリート構造物の劣化	ノールナノコン工法	HK-090009-A	有
E-4	E:断面修復	コンクリート構造物	コンクリート構造物の劣化	ASRリチウム工法	KK-010026-A	有
H-1	H:杭工	杭背面地山	杭周辺の地盤・構造物の変状	マイクロパイロネーリング工法	CB-050045-A	有
H-2	H:杭工	杭背面地山	杭周辺の地盤・構造物の変状	STマイクロパイロネーリング工法タイプI	HR-030012-V	有
H-3	H:杭工	杭背面地山	杭周辺の地盤・構造物の変状	ジャイロプレス工法	KT-060020-A	有
I-1	I:排水ボーリング工	擁壁、のり枠、切土のり面	擁壁、法枠、切土のり面の変状	恒久排水補強パイプ	KT-040081-A	有
I-2	I:排水ボーリング工	集水工	地すべり	恒久集水ボーリング保孔管(サビレス)	KK-030021-V	有

表 7-3 斜面防災施設における補修・補強対策工法一覧 (3)

斜面・のり面の適切な点検方法の手引きと補修・補強工法選定資料 (一社) 建設コンサルタンツ協会近畿支部

整理No.	対策工法分類	対象構造物等	対象とする変状	工法名	NETIS No.	実績
I-3	I:排水ボーリング工	集水工	地すべり	ST集排水工法	HR-990020-V	有
I-4	I:排水ボーリング工	集水工	地すべり	MTパイプによる水抜きボーリング工法	SK-990017-V	有
J-1	J:クラック補修	コンクリート構造物	コンクリート構造物のクラック	HPグラウト工法	TH-010011-A	有
J-2	J:クラック補修	コンクリート構造物	亀裂、ひび割れ	ノズル型圧力調整注入工法	TH-110003-A	有
J-3	J:クラック補修	コンクリート構造物	ひび割れ、剥離	土木用ネットバリヤー工法(C2)	TH-030013-A	有
J-4	J:クラック補修	コンクリート構造物	ひび割れ、剥離	アドバンテナージ工法	KK-050004-A	有
J-5	J:クラック補修	コンクリート構造物	注入工	珪酸塩系含浸コンクリート保護材	KT-080005-V	有
J-6	J:クラック補修	コンクリート構造物	繊維補強工	二方向アラミドシート補修・補強工法	KT-070047-V	有
J-7	J:クラック補修	コンクリート構造物	注入工	ビックス工法	QS-990009-V	有
P-1	P:植生工	のり面	浸食	浸食防止シート工	QS-020022-V	有
P-2	P:植生工	のり面	表層崩壊	ローソングウォール工法	QS-000021-V	有
P-3	P:植生工	のり面	表層崩壊	多機能フィルター	CG-980018-V	有
P-4	P:植生工	のり面	表層崩壊	ボンテラ	TH-990064-V	有
P-5	P:植生工	のり面	表層崩壊	自生種回復緑化工法	CG-080004-V	有
P-6	P:植生工	のり面	表層崩壊	環境復元緑化工法(リサイクル吹付)	HK-090013-A	有
P-7	P:植生工	のり面	表層崩壊	タフグリーン工法	KT-040082-A	有
P-8	P:植生工	種子吹付工・厚層基 材吹付工など	植物生育不足、裸地化	ジオファイバー工法	KT-980183-V	有
P-9	P:植生工	種子吹付工・厚層基 材吹付工など	植物生育不足、裸地化	EMN 厚層基材吹付工	QS-020013-V	有
P-10	P:植生工	種子吹付工・厚層基 材吹付工など	植物生育不足、裸地化	バイオ・プラスチック種子吹付工	HK-060010-A	有
P-11	P:植生工	のり面	植生の枯れ	アニマルガード工法	CB-110023-A	有

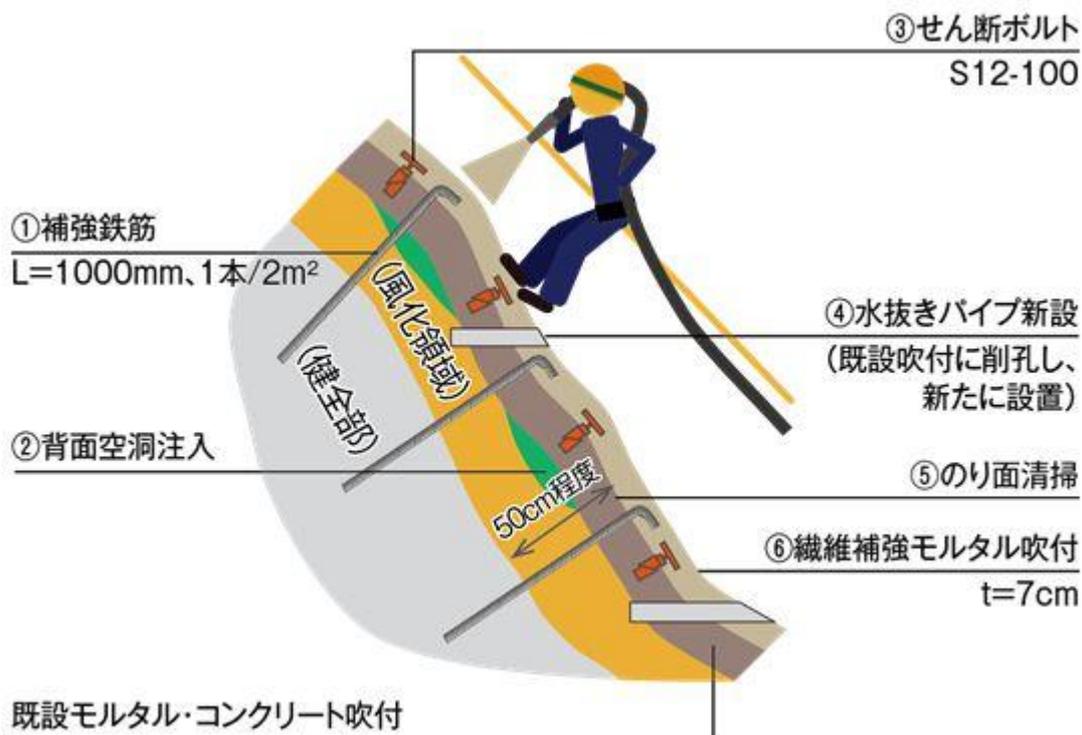
表 7-4 斜面防災施設における補修・補強対策工法一覧 (4)

斜面・のり面の適切な点検方法の手引きと補修・補強工法選定資料 (一社) 建設コンサルタンツ協会近畿支部

整理No.	対策工法分類	対象構造物等	対象とする変状	工法名	NETIS No.	実績
M-1	M:かご工	のり面	表層崩壊、擁壁変状	KSパッケージ	KT-000040-V	有
吹-1	その他 (吹付工)	のり面	表層崩壊	ユニラップ工法	KT-980565-V	有
吹-2	その他 (吹付工)	モルタル・コンクリート吹付工	ひび割れ、剥離	ジャストショット工法	KK-050074-A	有
吹-3	その他 (吹付工)	モルタル・コンクリート吹付工	剥離、空隙	法面モルタル補強用ピロニ繊維	CG-070010-V	有
吹-4	その他 (吹付工)	モルタル・コンクリート吹付工	ひび割れ、剥離	ReSP 工法	KT-980212-V	有
吹-5	その他 (吹付工)	モルタル・コンクリート吹付工	ひび割れ、剥離	ニューレスプ工法	QS-110014-A	有
吹-6	その他 (吹付工)	モルタル・コンクリート吹付工	ひび割れ、剥離	繊維グリッドのり面補強工	HR-060032-A	有
落-1	その他 (落石防止網設置工)	落石防護網	落石防護網の補修、修復	RCネット工法	HR-990117-A	有
落-2	その他 (落石防止網設置工)	擁壁工	落石防護網の補修、修復	ネットワロン	HR-070004-A	有
落-3	その他 (落石防護柵設置工)	擁壁工	擁壁の変状	QKウォール	CB-090036-A	有
他-1	その他 (地盤改良工)	擁壁工	クラック、沈下	浸透性耐久グラウト材「グラントエース」	CB-060026-A	有
他-2	その他 (水路工)	コンクリート構造物	コンクリート構造物のクラック	F E 工法	QS-060007-A	有
他-3	その他 (埋設型砕工)	擁壁、吹付のり面など	老朽化した擁壁、吹付のり面の変状	デコメッシュ	KT-070100-V	有
他-4	その他 (プレキャスト擁壁工)	擁壁、ブロック積	擁壁の変状	親杭パネル壁工法	CB-990007-A	有
他-5	その他 (コンクリート擁壁工)	擁壁、ブロック積	擁壁の変状	セーフワイウォール工法 (ASW工法)	CB-030033-A	有

(1) 増厚吹付工の例：ニューレスプ工法（NETIS 登録番号 QS-110014-V 設計比較対象技術）

ニューレスプ工法は、既設吹付コンクリートをはつり取ることなく、幾つかの要素技術を組み合わせ、既設吹付のり面を効率的に補強する工法である。



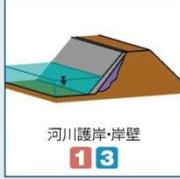
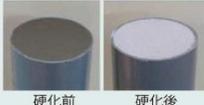
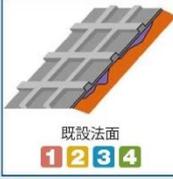
【特徴】

- 既設吹付コンクリートのはつり取り作業、風化した地山の整形作業が不要なため、簡易な防護柵で施工が可能
- 風化した地山の領域に応じて、対策パターンを選定可能。
- 繊維補強モルタルを吹付けることにより、対策したのり面を高い性能に回復させることが可能
- 繊維補強モルタル吹付に使用する繊維は、吹付専用開発した繊維“BC ファイバー”を使用します。BC ファイバーをモルタルに 1vol%混入することにより、高い靱性が発揮され、ひび割れの拡大防止、剥落防止性能が高まる。
- 繊維補強モルタルは、一般的な湿式吹付方式で施工が可能で

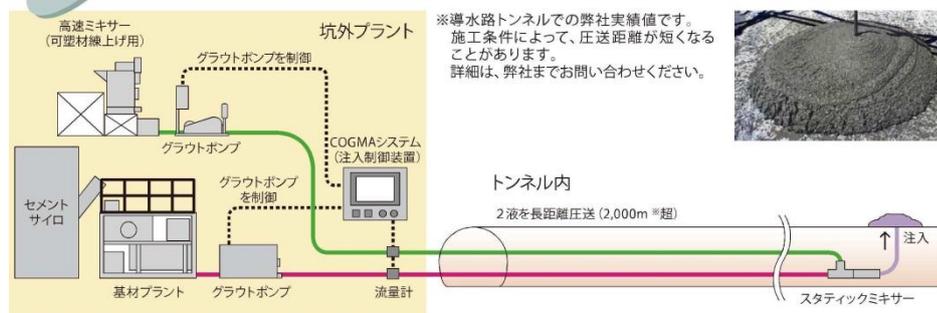
【施工実績】 110 件 (H27.3)

(2) 空洞充填工法の例：パフェグラウト工法（NETIS 登録番号 KT-090052-V）

パフェグラウト工法は、セメント系の充填剤「パフェグラウト」と注入制御装置「COGMA システム」を組み合わせた空洞・空隙充填工法であり、構造物や基礎地盤の空洞・空隙を、施工条件や環境に応じた適切な方法で充填する方法である。

特 長	用 途
<p>■可塑性</p> <p>パフェグラウトは、空洞・空隙をくまなく充填する「柔軟性」と、不要な場所へ流れ出さない「自立性」を併せ持っています。</p>  <p style="text-align: center;">柔軟性と自立性</p>	 <p>トンネル (道路・導水路・鉄道) 1 2 4</p>  <p>河川護岸・岸壁 1 3</p>
<p>■非収縮性</p> <p>パフェグラウトは、ブリーディングや硬化収縮をほとんど生じません。</p>  <p style="text-align: center;">硬化前 硬化後</p>	 <p>構造物基礎 (ダム・橋梁・道路) 1 3</p>  <p>グラウンドアンカー 3</p>
<p>■水中不分離性</p> <p>パフェグラウトは、静水中で溶け出さない程度の水中不分離性を備えています。</p> 	 <p>既設法面 1 2 3 4</p>  <p>岩盤 1 3</p>
<p>■コンピュータ制御</p> <p>COGMAシステムは、タッチパネル式コンピュータで自動的に、そして正確に材料・エアの流量・圧力を制御します。</p> 	<p>1 2 3 4: 適用が期待できる配合を示しています。 設計・施工の際には、弊社までお問い合わせください。</p>

■施工システム例



【特徴】

- 可塑性を備える
 - 水中不分離性に優れる
 - 非収縮性に優れる
 - バリエティに富んだ配合構成
- 1号（長距離配合）、2号（軽量配合）、3号（高強度配合）、4号（エアモルタル配合）。特殊配合にも対応

【施工実績】 101 件（H24.3 現在）

(3) クラック補修工法の例：繊維シート補強工法

繊維シート補強工法は、含浸接着樹脂により繊維シートを既設コンクリート部材の下面や側面に接着すると同時に、含浸接着樹脂により繊維間を結合して、FRP（Fiber reinforced Plastics）を形成し、鉄筋量を増加させたことと同様な効果を得る工法である。

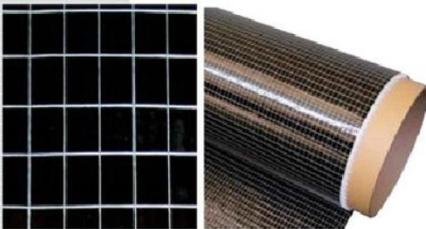
繊維シート補強

繊維シート補強工法は、含浸接着樹脂により繊維シートを既設コンクリート部材の下面や側面に接着すると同時に、含浸接着樹脂により繊維間を結合して、FRP（Fiber reinforced Plastics）を形成し、鉄筋量を増加させたことと同様な効果を得る工法です。

アラミド繊維シート



炭素繊維シート



コンクリートはく落防止シート



アラミド繊維シート巻立て補強



炭素繊維シート巻立て補強



断面図

「A&P耐震補強工法」（アラミド繊維シート+高伸度繊維シート）
繊維シート巻立て補強工法「A&P耐震補強工法」の標準施工構造図

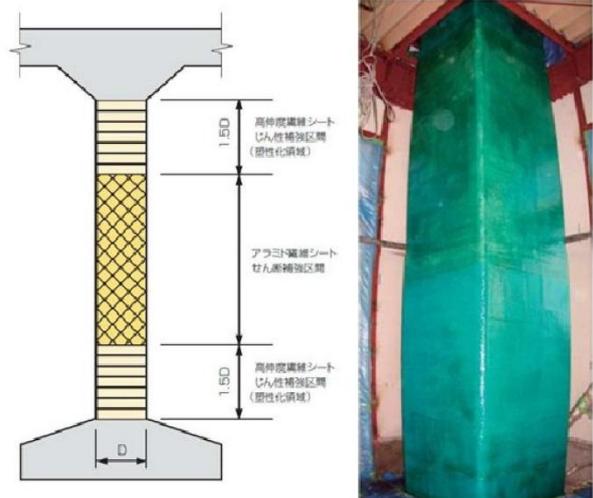
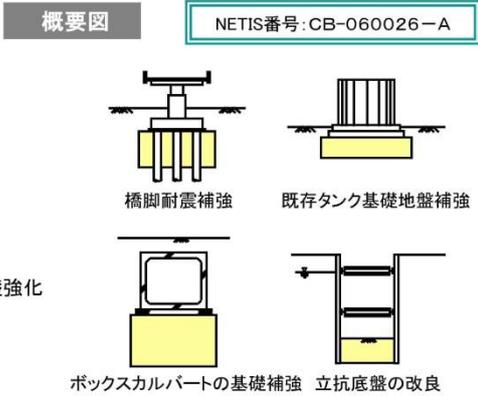


図 7-11 繊維シートによる補強例（前田工織（株）資料 「災害応急復旧対策用工法・資材」より）

(4) 地盤改良工法の例：グラントエース（浸透性耐久グラウト材）（NETIS登録番号 CB-060026-A）

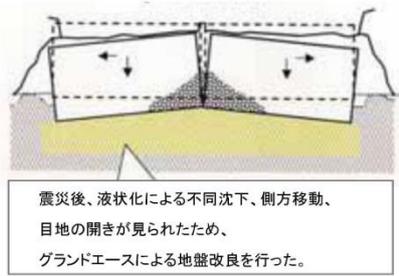
グラントエース 港湾施設の復旧（液状化対策）⇒ 浸透性耐久グラウト材

耐久性・浸透性に優れたグラウト材です。従来の水ガラス系とは異なった無機系・懸濁型グラウト材であり、注入された後、地盤成分と反応し固化的することで、現地盤を乱さず地盤補強できます。特に液状化地盤の強化に適しています。材料の調合性、作業性ならびに注入の施工性に優れ、且つ材料中の六価クロムは検出限界値未満です。

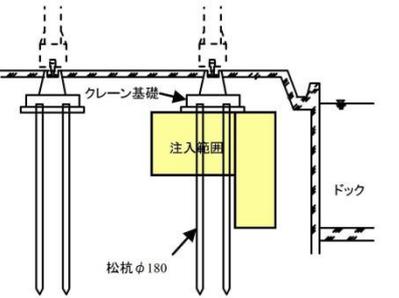


- | 特徴 | 用途 |
|------------|-------------------|
| ■ 高い耐久性 | ■ 橋脚・タンク・建屋 |
| ■ 優れた浸透性 | ■ ボックスカルバート等の基礎強化 |
| ■ 安定した圧縮強度 | ■ 港湾・河川護岸の強化 |
| ■ 環境適合性 | ■ 耐久性を求められる止水 |
| ■ コンパクトな設備 | ■ 液状化防止 |

新潟中越震災復旧事例：国道8号線 ボックスカルバート下部の液状化防止工事
工法：二重管ストレーナー工法複相タイプ 対象土質：細砂～中砂 改良範囲：GL-1.0～-6.5m



補修事例：ドック（船舶修理場）クレーン基礎の地盤対策工事 護岸背面地盤吸出しによる基礎地盤沈下対策
工法：二重管ストレーナー工法複相タイプ 対象土質：細砂 改良範囲：GL-1.6～-11m



東日本大震災報告⑥ ～復旧事例～

場所：茨城県臨海部 施工：2011年5月
 状況：液状化により側方流動が発生、護岸のせり出しや構造物基礎の沈下が見られたため、地盤改良を行った。
 工法：二重管ストレーナー工法複相タイプ
 対象土質：細砂 改良範囲：GL-0.5～-2.5m

図 7-12 浸透性耐久グラウト材による地盤改良例（三井化学産資料（株）「災害復旧・防災資料」より）

第8章 対策手法の考え方とその分類

治山施設の長寿命化対策手法は、劣化や損傷の形態によって様々な種類があるが、対策の種類（補修、機能強化、更新）と構造（材質）によって以下のように分類される。

表 8-1 治山施設の長寿命化対策手法の分類

構造(材料)	長寿命化対策の種類			
	補修	機能強化(主に溪間工)	更新(新設)	
コンクリート	ひび割れ対策	表面被覆工法	<ul style="list-style-type: none"> ・増厚(下流腹付、上流腹付) ・嵩上げ ・洗掘対策(根継ぎ、副ダム・水叩き設置) 	<ul style="list-style-type: none"> ・既設と同位置での新設 ・既設の下流側での新設 ・同材料による更新 ・別材料による更新
		クラック補修工法		
		断面補修工法		
	内部劣化対策	グラウト 等		
	摩耗対策	巨石張工		
		富配合コンクリート工 等		
漏水対策	グラウト 等			
目地部の補修	地盤改良工法 等			
鋼製	腐食対策	ケレン・再塗装	<ul style="list-style-type: none"> ・増厚(下流腹付、上流腹付) ・嵩上げ ・洗掘対策(根継ぎ、副ダム・水叩き設置) 	<ul style="list-style-type: none"> ・既設と同位置での新設 ・既設の下流側での新設 ・同材料による更新 ・別材料による更新
	変形、破損、腐食、摩耗対策	部材の補修・交換		
		中詰材の充填		
木製	変形、破損、腐朽、摩耗対策	部材の交換	<ul style="list-style-type: none"> ・増厚(下流腹付、上流腹付) ・嵩上げ ・洗掘対策(根継ぎ、副ダム・水叩き設置) 	<ul style="list-style-type: none"> ・既設と同位置での新設 ・既設の下流側での新設 ・同材料による更新 ・別材料による更新
		中詰材の充填		

以下、構造（材質）および劣化損傷形態ごとに対策手法の選定の流れと考え方について述べる。

第1節 溪間工・土留工（コンクリート）

コンクリート溪間工・土留工における補修は、おもに堤体のひび割れ対策、漏水対策、放水路天端の摩耗対策が挙げられる。

第1項 補修

(1) ひび割れ・剥離補修

ひび割れ・剥離が発生した場合の補修工法選定の流れとしては、以下の通り示される。

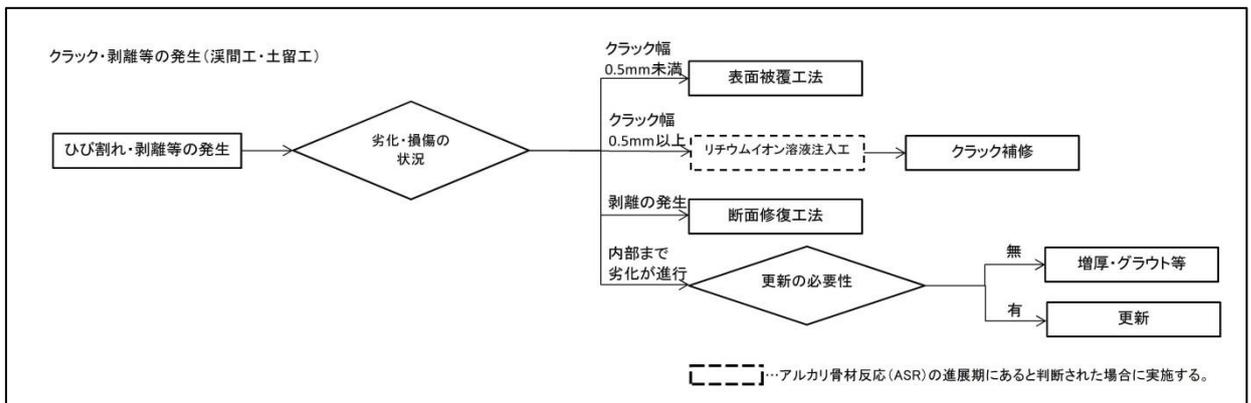


図 8-1 コンクリート構造物（溪間工・土留工）のひび割れ・剥離発生時における工法選定の流れ

(i) 表面被覆工法

軽度のクラック（亀裂幅 0.5mm 以下）が広範囲に見られる場合、モルタルまたはエポキシ系樹脂等によって表面被覆を実施する。

(ii) クラック補修

クラックの亀裂幅が 0.5mm 以上の場合、クラック毎に補修材を圧入するなどの対策が取られる。

(iii) 断面修復工法

クラックの進行によってスケーリング（剥離）等が発生し、断面欠損が生じている場合は、断面修復を実施する。昭和 40 年台以前に施工された治山施設（特に溪間工）は、玉石コンクリートが用いられる場合が多く、スケーリングの発生によって内部材が抜け出す危険性が高く、早急な断面修復、または増厚の実施が望ましい。

(iv) 増厚・グラウト

クラック・剥離の進行により、躯体内部まで劣化が進行している場合は、クラック補修や断面修復のみでは対応が困難であり、増厚や堤体のグラウトの実施が必要となる。

(v) その他

アルカリ骨材反応の進行を抑えるため、亜硝酸リチウム水溶液を圧入する等、ひび割れの原因が特定されればその原因に特化した補修方法もある。

(2) 漏水対策

漏水が発生した場合の補修工法選定の流れとしては、以下の通り示される。

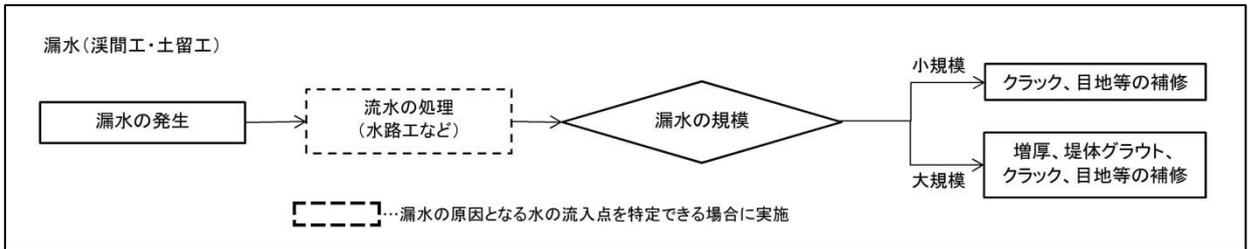


図 8-2 コンクリート構造物（溪間工・土留工）の漏水発生時における工法選定の流れ

漏水はクラックの貫通や目地の開きによって発生することが多く、放置すると凍害や ASR の進行に繋がるおそれがあるため、クラックや目地部の補修により止水処理を行う必要があり、漏水が大規模な場合は増厚やグラウト等の対策が必要となる。また、漏水の原因となる水の侵入箇所が特定できる場合は、水路の敷設や水抜き孔の追加等による排水処理を行う必要がある。

堤体が大きく損傷し、下流側腹付（増厚）によって修復する場合は、特に水処理に注意する必要がある。



図 8-3 平成 20 年岩手・宮城内陸地震時の谷止工増厚による災害復旧の例
(治山 Vol.58, No.8 2014 より)

(3) 目地部の補修

目地部の開きが発生した場合の補修工法選定の流れとしては、以下の通り示される。

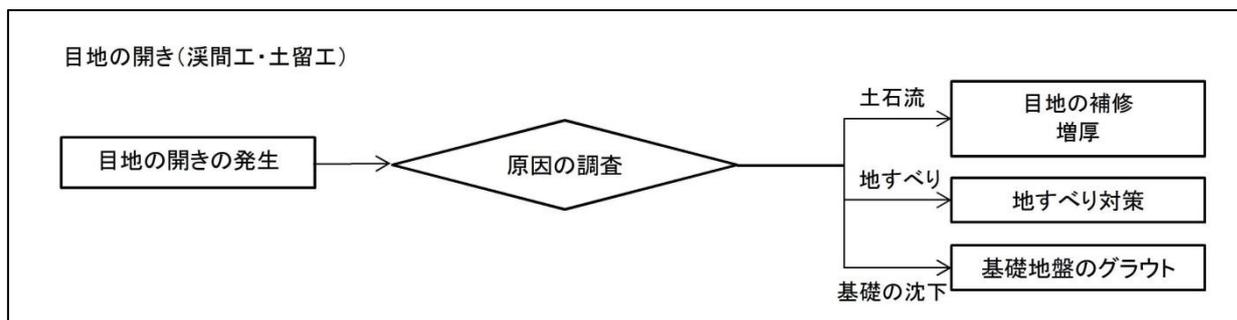


図 8-4 コンクリート構造物（溪間工・土留工）の目地部の開き発生時における工法選定の流れ

目地部の開きは、土石流の衝撃や地すべりによる側圧等の外力を受けた場合や基礎の不同沈下によって発生するケースが多い。そのため、目地部そのものの補修のみならず、原因（外力や基礎の沈下）に対する対応が必要である。

なお、基礎の不同沈下による場合の対策は、浸透性耐久グラウト材等を用いた地盤改良が挙げられるが、小規模な土留工等の場合は更新（再設置または鋼製枠等への材料変更）した場合の方が安価な場合があるため、経済性の比較を十分に行った上で選定する必要がある。

(4) 放水路天端の摩耗対策

放水路天端の摩耗が発生した場合の補修工法選定の流れとしては、以下の通り示される。

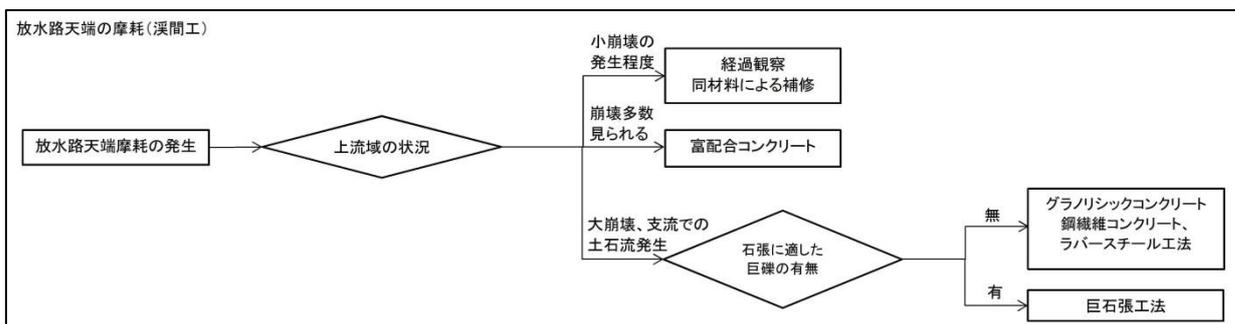


図 8-5 コンクリート構造物（溪間工）の放水路天端摩耗の発生時における工法選定の流れ

溪間工の放水路天端の摩耗は、静岡県大井川流域や石川県手取川流域等、上流域からの土砂生産・流出が活発な流域において多く見られる。静岡県大井川流域では、大井川治山センターによって巨石張による摩耗対策の取組がなされているが、石張りに適した径（50～80cm）の石礫が現場で入手できない場合は、施工性や経済性が低減するため、適用可能な場所が限定される。

補修工法としては、原状復帰（普通コンクリートによる補修）のみならず、富配合コンクリートやラバースチール工法等、高強度材料によって置換するケースが多い。

○放水路天端摩耗時の補修工法（高強度材料による置換）

- 巨石張（石径 50～80cm）
→ 治山での実績が多く、LCC 縮減にも寄与。ただし該当する径の巨石および間知石積作業の熟練技術者が確保可能な場合に限られる。
- 鉄板張
→ 大転石が流下する溪流で施工例が多いが、近年の施工事例は少ない。
- 富配合コンクリート（単位セメント量 500kg/m³ 程度（通常の 1.7 倍程度））
→ 治山での実績が多い。経済的で施工性に優れる。
- グラノリシックコンクリート（粗骨材主体の超硬練りコンクリート）
→ 砂防での実績が多い。高強度だが施工性に難がある。
- スチールファイバーコンクリート（高価だが耐摩耗性、施工性に優れる。）
- ラバースチール工法（高価だが耐摩耗性に最も優れる。）

これらの工法は摩耗速度等の研究成果が多く示されているため、初期費用と推定摩耗速度から普通コンクリートで施工した場合との LCC を比較し、施工性も考慮した上でメリットの大きい工法を選定することが望ましい。

<巨石張による天端摩耗対策の例>

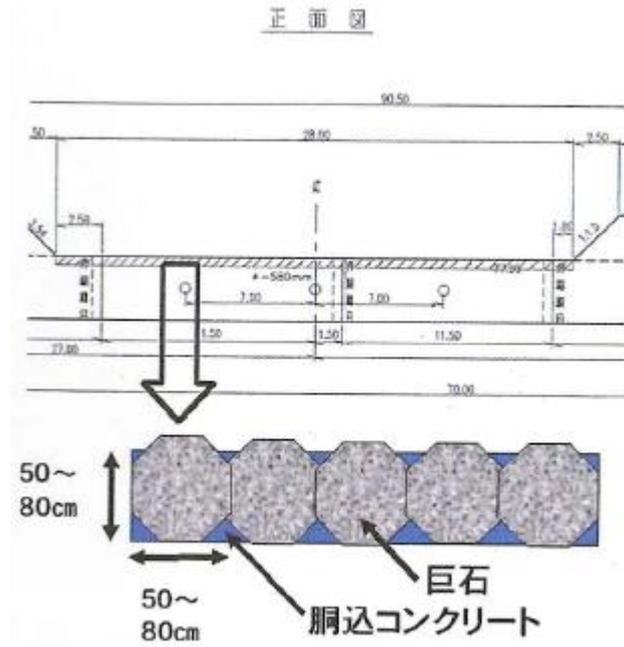


図 2 巨石練石張放水路定規図



図 8-6 巨石による練石積放水路 (大井川治山センター) 治山_2008.11 (Vol.53 No.7)

第2項 機能強化

機能強化は主に上流域で新たに崩壊が発生するなど、当初想定したよりも強大な外力が施設に作用することが懸念される場合に、機能および性能を強化するために実施され、増厚、嵩上げ、根継ぎ・副ダムの設置等が挙げられる。なお、機能強化は溪間工において実施される場合がほとんどであり、山腹工は劣化、損傷した場合には現状復帰（補修または更新）することがほとんどであるため、機能強化が実施されるケースは少ない。

(1) 増厚

溪間工の断面欠損が顕著な場合や、現行の基準では安定性が確保できていない（現行基準不整合）施設で、嵩上げや根継ぎの実施が必要な場合に併せて実施される。増厚幅は施工性等の観点から1.0～1.5m程度として実施される場合が多い。

【継目処理について】

増厚実施時にはチップング処理等の打継部の表面処理により、旧堤体との付着力を高める必要がある。しかし、チップング処理に関しては各設計マニュアルにおいて、処理深さや凹凸の処理密度等の目標値が異なっており、不明な点が多いのが実状である。一方で、近年ではチップングの代わりに繊維ポリマー系接着剤による付着方法も開発されている。

(2) 嵩上げ

上流域で崩壊が発生するなど、当初想定したよりも強大な外力が施設に作用することが想定される場合で、溪間工を新設するよりも安価な場合、または新設するための適地が他に存在しない場合等に実施される。ほとんどの場合、現行基準不整合の解消と併せて増厚と併せて実施される。

嵩上高は2m程度として実施される場合が多い。

既存治山ダムの機能強化によるダム新設数の削減	
実施箇所：神戸市北区山田町下谷上字中一里山（七三峠付近） 業務名：治山施設機能強化事業 概要：不安定に堆積した土砂の流出及び溪岸浸食の防止を図るため、既設治山ダムの嵩上げ・増厚により機能強化を進める。	
効果 ・既存治山ダムの嵩上げ・増厚等の機能強化により、ダムの追加新設費を削減。 ・新設工事による支障木の撤去範囲が縮小され、環境保全につながる。 コスト削減額8,631千円 コスト削減率21%	
機能強化前 	機能強化後 

既存治山ダムの
嵩上げ・増厚

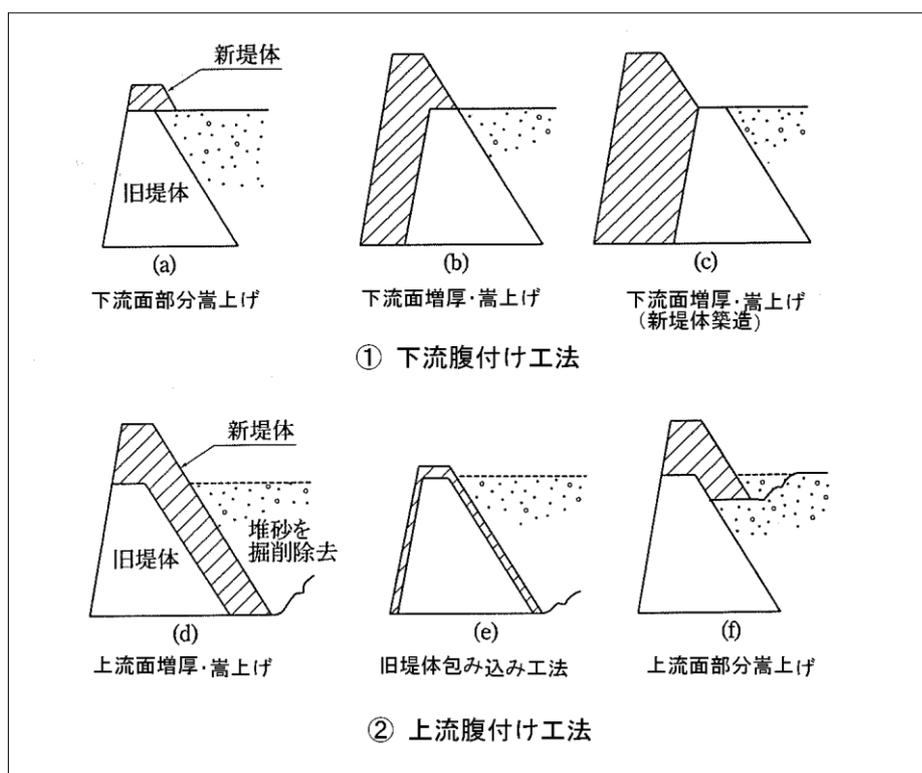
図 8-7 兵庫県六甲治山事務所における増厚・嵩上げ実施事例（兵庫県 HP より）

【堤体嵩上げ工法の分類】

堤体の嵩上げ工の方法は大別すると図 3-7 に示すように①下流面腹付け工法と②上流面腹付け工法に分類できる。両工法の特徴は次の通りである。

なお、下記の内容は、「砂防施設設計要領（案）」平成 16 年 3 月（国土交通省 中部地方整備局）及び「砂防設計の手引き」平成 20 年 3 月（愛知県建設部）を参考とした。

- ③ 下流面腹付け工法は、堤体背後の堆砂域は現状のまま簡易な水替えで施工が可能であり施工上有利であるが、主応力の方向と継目の方向が同方向となり応力上良好とはいえない。
- ④ 上流面腹付け工法は、施工上、堤体背後の堆砂域内の堆積土砂を掘削除去（施工上必要範囲）し、施工箇所を確保するため転流工が必要となる。応力上は、主応力の方向と継目の方向が直交するため下流面腹付けに対して有利となる。



上図の (a) 及び (f) の部分嵩上げ工法は、嵩上げによる作用荷重の増分を旧堤体で受け持つ構造である。よって、この型式を採用する場合は旧堤体が健全な状態でなければならない。 (b), (c), (d) の工法は旧堤体が健全な状態でない場合の補強対策を併用した嵩上げ工法である。

図 8-8 堤体嵩上げ工法の種類

(3) 洗掘対策（根継ぎ・副ダム（水叩き）の設置）

溪間工における基礎部洗掘発生時の対策工法選定の流れとしては、以下の通り示される。

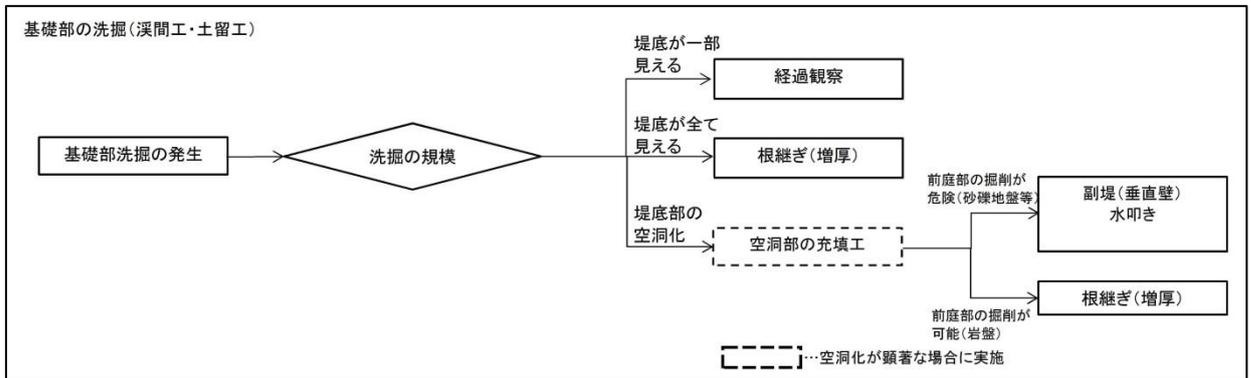


図 8-9 コンクリート構造物（溪間工）の基礎部洗掘発生時の対策工法選定の流れ

溪間工において、基礎部の洗掘は発生事例の多い損傷形態であるため、根継工は機能強化の施工事例としては非常に多い。根継工単独で実施される場合よりも、現行基準不整合の解消と併せて前述の増厚、嵩上げと一体で実施される場合が多い。

根継工は治山必携等に掲載されている以下の基準に基づいて実施される場合が多く、根継工の幅は1.0～1.5m、本堤との取付け部の高さは0.5mとしている施工事例が多い。

- (c) 根継ぎをし、前堤を設ける
(洗掘が深くかつ渓床の低下がはなはだしく、本堤がきわめて危険な場合)

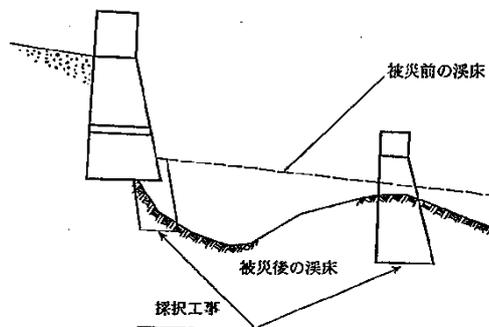


図 8-10 根継ぎ、副ダムの考え「H19 治山必携（災害編）より抜粋」

ア) 根継ぎによる復旧
 被災部が少なく、岩盤または下方が緩で、床掘をしても本体
 な場合に計画する。
 根継ぎの法勾配は、既設構造物の法勾配と同等または緩とす

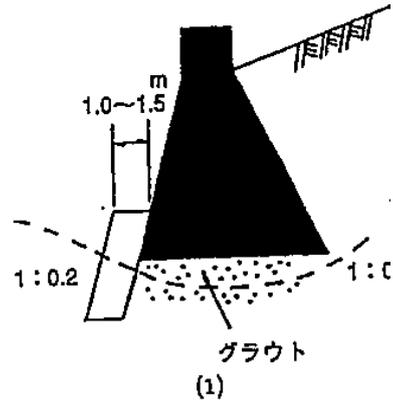
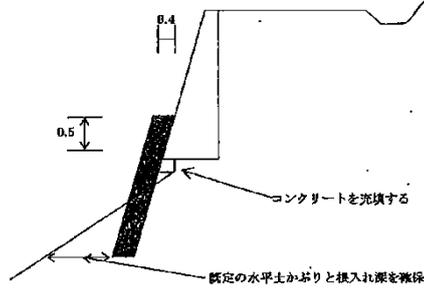


図 8-11 根継工に関する基準値

(左: 岐阜県林道設計指針 (災害編) 平成 24 年度版 林政部森林整備課)、
 右: 公共土木施設「災害復旧技術講習テキスト」(平成 17 年 6 月 社団法人全国防災協会)

<洗掘対策の事例>

- 事業名 : 予防治山事業
- 施工地 : 千葉県君津市大野台地区
- 施工年度 : 平成 17 年～19 年 (19 年については、森林整備を追加し、奥地保安林保全緊急対策事業として実施)
- 事業費 : 87,300 千円
- 主要工種 : 谷止工 (水叩工) 7 基、木製流路工 353.1m
- 内容 : 当地区では、昭和 47～48 年度に土砂流出の抑止と溪岸山脚の固定のための谷止工を施工したが、長年にわたる流水侵食で垂直壁の下流端部が洗出されて空洞化し、堤体及び水叩きの一部が破損するという現象が生じた。このため、躯体下部にコンクリートの充填を行った上で新しく水叩工を設置するとともに、溪岸侵食を防止するための流路工を施工した。流路工は、溪流の常水が少なく水浸部の局所的な腐朽の恐れが少ないこと、県産間伐材の利用促進及び景観への配慮の観点から、丸太積み木製流路工を採用している。なお、流路工上段にはケヤキ、ヤシヤブシを植栽し、将来的には植生により溪岸を安定させることを目標としている。



施工前



施工後

図 8-12 洗掘対策の実施例 (千葉県君津市大野台地区) 治山_2007.10 (Vol.52 No.6)

第3項 更新

土石流等による外力により構造物全体に重度の損傷が発生している場合等で、補修や他既存施設の機能強化を行うよりも安価な場合に実施される。

第2節 溪間工・土留工・落石防護柵工（鋼製）

第1項 補修

鋼製構造物において、腐食が発生した場合の補修工法選定の流れとしては、以下の通り示される。

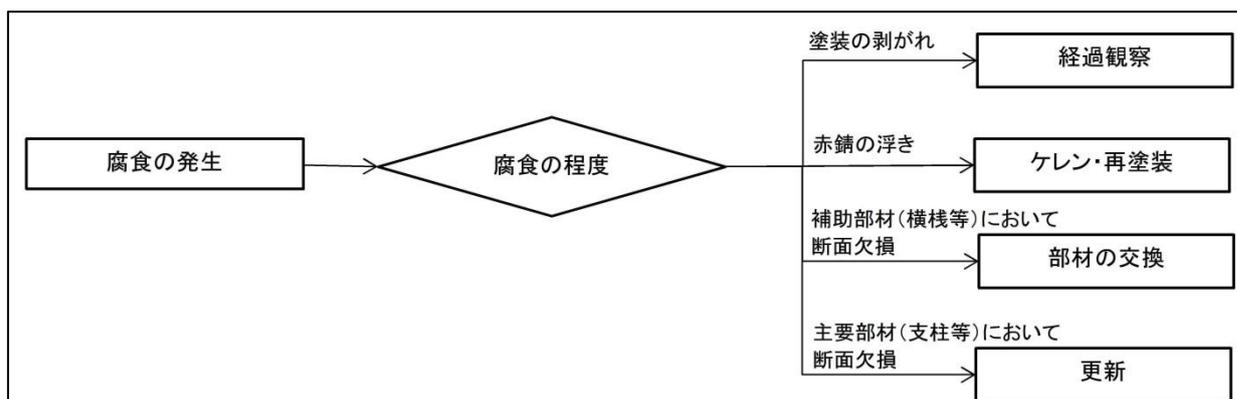


図 8-13 鋼製構造物（溪間工・土留工・落石防護柵工）腐食時の対策工法の分類

(1) ケレン・再塗装

赤錆びの発生により、塗装がはがれている場合などはケレン（錆落とし、目荒し等の素地調整）実施後、再塗装を実施する。ケレンのグレードは以下の通りであり、橋梁や船舶等の重防食時は1種（粉塵対策が必要）、鉄塔などの鉄骨構造物では2種が実施されるが、一般的な戸建て住宅の補修時等、通常は3種の実施が最も多い。

表 8-2 素地調整の程度（鋼道路橋塗装・防食便覧より）

素地調整程度	さび面積	塗膜異常面積	作業内容	作業方法
1種	-	-	さび、旧塗膜を完全に除去し鋼材面を露出させる。	プラスト法
2種	30%以上	-	旧塗膜、さびを除去し鋼材面を露出させる。 ただし、さび面積30%以下で旧塗膜がB、b塗装系の場合はジंकプライマーやジंकリッチペイントを残し、他の旧塗膜を全面除去する。	ディスクサンダー、ワイヤホイールなどの電動工具と手工具との併用、プラスト法
3種A	15%～30%	30%以上	活膜は残すが、それ以外の不良部（さび、割れ、膨れ）は除去する。	同上
3種B	5%～15%	15%～30%	同上	同上
3種C	5%以下	5%～15%	同上	同上
4種	-	5%以下	粉化物、汚れなどを除去する。	同上

また、近年では錆びの進行を防ぐ効果を持つ防食塗料が開発され、ケレン作業を省略することも可能である（図 8-14）。ただし、通常の塗料と比較して高価なため、ケレン+再塗装の場合とのコスト比較を実施した上で選定することが望ましい。



図 8-14 防食塗料（商品名：サビキラープロ）による塗装例（株式会社 BAN-ZI HP より）

(2) 部材の交換

腐食が進行し、部材に断面欠損が生じていたり、再塗装するよりも安価な場合に部材の交換が実施される。ただし、バットレス式治山ダムなど、背面に土砂が堆積している場合は、土砂を移動してからでなければ施工できないなどの難点もある。その場合は下流側に鋼管壁を施工して二重管構造とするなどの対策も考えられる。

第2項 機能強化

鋼製構造物では実施事例は少ないが、p.138で示す通り、枠構造の溪間工や土留工では増厚や嵩上げも実施可能である。

第3項 更新

構造物全体に重度の腐食が進行している場合、あるいは想定していなかった土石流や落石等により機能が大きく損なわれた場合で、補修を行うよりも安価な場合に実施される。

鋼製構造物の場合、土石流等の外力が作用すると構造全体が被災するケースが多く、補修よりも更新がなされる場合が多い。

第3節 溪間工・土留工（木製）

第1項 補修（部材の交換）

木製構造物の補修は、ほとんどの場合部材の交換であり、他材料と比較して強度が劣り、腐朽が進行しやすいため交換の頻度も高い。そのため、設計当初より交換しやすい構造としておくことが望ましい。

第2項 機能強化

木製構造物では実施事例はほとんど無いが、鋼製構造物溪間工や土留工では増厚や嵩上げも実施可能である。

第3項 更新

鋼製構造物同様、構造物全体に重度の腐朽が進行している場合、あるいは想定していなかった土石流や落石等により機能が大きく損なわれた場合で、補修を行うよりも安価な場合に実施される。

第4節 法枠工

のり枠工の劣化及び破損の原因とその対応を以下に示す。

劣化や破損の原因を地すべり活動, 外力等による物理作用, 風化等の化学作用の3つに分類している。それぞれの中で考えられる具体的な原因を挙げ, それぞれに対して考えられる対策を記述している。

表 8-3 のり枠工の劣化及び破損の原因と対応方針

斜面防災対策技術協会（未定稿）：斜面对策工維持管理実施要領，第7章第11節

原因	解説	対応方針
地すべり活動	のり枠工の設計対象である斜面変動や地すべり活動によって、のり枠やアンカー工に変形が生じるが、許容値を超過した場合は、のり枠やアンカー工に劣化や破損が生じる。	<許容応力までの変形：レベル1> ・正常であり対応不要 <許容応力超過&破壊応力以下：レベル2> ・のり枠の補修 ・アンカーの荷重除荷 ・アンカー工の追加施工 ・他の地すべり対策工の追加 <破壊応力超過：レベル3> ・のり枠の補修 ・アンカー工の追加施工 ・他の地すべり対策工の追加
外力等による物理的作用	部分的な崩壊や地盤変形の発生によるのり枠の変形や破損。	・のり枠の補修 ・アンカー工追加施工
	部分的な崩壊や地盤変形の発生によるアンカーの荷重超過や破損。	・アンカー工追加施工 ・アンカーの荷重除荷
	のり枠裏面の洗掘に伴う空洞化	・背面空洞充填 ・背面の地下水・表層水の排水処理追加
	凍害によるのり枠の劣化や枠表面の剥離	・のり枠の補修
	乾燥収縮などに伴うのり枠の亀裂	・のり枠の補修
	地震等によるアンカー頭部の破損	・アンカー頭部の補修
風化等の化学的作用	温泉地帯などでのり枠の劣化	<施工前> ・高耐力コンクリートの使用等 <施工後> ・のり枠の補修
	中性化や塩害, 化学的腐食などに伴うのり枠の経年劣化 (老朽化)	<施工前> ・高耐力コンクリートの使用等 <施工後> ・のり枠の補修
	アンカー材やアンカー体の劣化	<施工前> ・高耐候性のアンカー材採用 <施工後> ・定期的な頭部のメンテナンス (グリース交換など) ・アンカー工の高耐候性アンカーへの更新

変状に対する対策工の選定にあたっては、変状現象、変状原因、環境条件等を十分考慮して、効率的な計画を立案する必要がある。変状現象に基づく対策工選定の標準的な考え方を次に示す。

表 8-4 のり枠工の変状現象と対策工法

斜面防災対策技術協会（未定稿）：斜面对策工維持管理実施要領，第7章第11節

変状現象	対策工法	選定条件
のり枠の品質低下	高耐力コンクリートの使用等	<ul style="list-style-type: none"> ・寒暖差の激しい場所にある場合 ・塩害などの環境負荷が大きい場合
	のり枠の補修・補強	<ul style="list-style-type: none"> ・のり枠本体の劣化が著しい場合
アンカー工又は鉄筋挿入工の品質低下	高耐候性のアンカー材等の採用	<ul style="list-style-type: none"> ・設置場所の環境負荷が大きい場合
	定期的な頭部のメンテナンス(グリース交換など)	<ul style="list-style-type: none"> ・通常のアンカー等は頭部の水密性に課題があるので、供用期間内での定期的なメンテナンスは必須。
	高耐候性アンカーヘッドの更新	<ul style="list-style-type: none"> ・塩害などの環境負荷が大きい場合
のり枠の機能低下	背面空洞充填	<ul style="list-style-type: none"> ・背面の空洞化が発生している場合
	背面の地下水・表層水の排水処理追加	<ul style="list-style-type: none"> ・背面に大量の地下水や地表水が確認できる場合
	のり枠の補修・補強	<ul style="list-style-type: none"> ・のり枠の変形や劣化が認められる場合
	アンカー工や鉄筋挿入工の追加施工	<ul style="list-style-type: none"> ・のり枠の変形や亀裂が著しい場合
	他の地すべり対策工の追加	他の方法で機能回復が図れない場合は、他の地すべり対策工の追加について検討する。
アンカー工又は鉄筋挿入工の機能低下	アンカー工や鉄筋挿入工の追加施工	<ul style="list-style-type: none"> ・部分的な崩壊や地盤変形の発生による破損やアンカーの荷重超過 ・地すべり変位などに伴うアンカー工や鉄筋挿入工の破断が生じた場合
	アンカーの荷重除荷	<ul style="list-style-type: none"> ・荷重超過の場合
	のり枠の補修・補強	<ul style="list-style-type: none"> ・のり枠の変形や劣化が認められる場合
	頭部の補修	<ul style="list-style-type: none"> ・頭部の破損や劣化が認められる場合
	他の地すべり対策工の追加	他の方法で機能回復が図れない場合は、他の地すべり対策工の追加について検討する。

第5節 吹付工

劣化及び破損の原因は、大別して以下の3項目に分けて整理する。

吹付工は、吹付と地山が密着して性能を発揮する構造物であることから両者の境界部での劣化を原因の一つとして区分した。

表 8-5 吹付法面の劣化及び破損の原因とその対応

斜面防災対策技術協会（未定稿）：斜面对策工維持管理実施要領，第7章第12節

原因の区分	解説	対応
・地すべり活動	<ul style="list-style-type: none"> ・地すべり活動に伴う地山の移動により、吹付のはらみ出しやせり出し、吹付面のひび割れ、劣化、破損、背面の空洞が生じる 	<ul style="list-style-type: none"> ・増厚吹付や吹付のり砕工による補強 ・表面被覆工、ひび割れ補修工 ・地盤注入や空洞充填工による補強工
外力による物理的作用	<ul style="list-style-type: none"> ・地山と吹付の付着が損なわれ、法肩や局部的な崩壊、滑動が発生し、ひび割れ、破損が生じる。 ・湧水により背面土砂の流出等のため空洞化やひび割れが生じる ・目地や亀裂部に植物が侵入し、吹付の浮きやひび割れが拡大する ・温度変化に伴う伸縮応力により損傷、剥離が発生する 	<ul style="list-style-type: none"> ・切土や吹付工打替えによる更新 ・補強鉄筋工や地山補強土工による補強 ・表面被覆工やひび割れの補修による補修工 ・流入水防止対策 ・地盤注入や空洞充填工による補強工
風化等の化学的作用	<ul style="list-style-type: none"> ・吹付材料の老朽化・劣化の進行によりひび割れが発生し、拡大や連結により破損する。 ・吹付材料の硬化後、乾燥収縮等によりひび割れの発生 ・凍害・塩害による表面劣化や表面剥離 ・吹付のひび割れからの流入水や地山背面からの湧水により強風化部の土砂が流出し、背面に空洞が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れの状態を確認し、ひび割れ補修による補修 ・吹付工の打替えなどによる更新 ・増し厚吹付やのり砕工による補強 ・地盤注入や空洞充填工による補強工 ・流入水防止などの排水工 ・表面被覆工やひび割れの補修による補修工

表 8-6 吹付法面の対策と期待される機能

斜面防災対策技術協会（未定稿）：斜面对策工維持管理実施要領，第7章第12節

（「吹付のり面診断・補修補強の手引き」のり面診断・補修補強研究会，2013 加筆修正）

区分	目的・性能 工種	吹付自体の劣化対策			吹付と地山の密着性の低下			
		風化・侵食防止性能の回復			法面の安全性能の回復			
		遮水性	耐火性	剥離防止	風化進行抑制	密着性向上	空洞充填	小規模崩壊
補修	表面被覆工	◎	○	◎	△			
	ひび割れ補修工	◎			△			
補強	増厚吹付工	◎	◎	◎	△			
	補強鉄筋工					◎		○
	空洞充填工				△	○	◎	
	地山補強土工					○		◎

◎：主目的、△：効果あり、間接的に効果あり

吹付の劣化や背面地山の風化による密着性、強度の低下にたいする対策工の計画は、吹付自体の劣化の原因・機構、進行状況（健全度）、背面地山の安定度等に応じて工種を選定する。

劣化、破損した吹付のり面はでは、複数の変状や劣化現象が複合して現れている場合が多いため、補強・補修の工法を複数併用することや、複合的に組合せて用いる必要がある。

また、新しい工法が新技術として開発され、採用されてきている。変状現象に基づく対策工選定の標準的な考え方を次に示す。

表 8-7 吹付工の変状現象と対する対策工法

斜面防災対策技術協会（未定稿）：斜面对策工維持管理実施要領，第7章第12節

変状現象	対策工法	選定条件
吹付自体の劣化	表面被覆工	<ul style="list-style-type: none"> ・背面地山からの土圧の作用に伴うひび割れでないひび割れが吹付表面に密集している場合 ・表面剥離が進行している場合
	ひび割れ補修工	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れが背面まで貫通している場合 ・ひび割れが進行し、拡大を抑制する必要がある場合
吹付自体の劣化 吹付と地山の密着性の低下	繊維補強モルタル吹付と補強鉄筋工の併用	<ul style="list-style-type: none"> ・吹付自体が劣化し、著しい風化により背面地山の風化領域が概ね0.5mより浅い場合
吹付と地山の密着性、背面地山の強度低下	地山補強土工	<ul style="list-style-type: none"> ・吹付自体が劣化し、著しい風化により背面地山の風化領域が0.5m以上の場合
	地山補強土工と吹付のり枠工との併用	<ul style="list-style-type: none"> ・著しい風化が深くまで進行し、背面地山の作用する土圧が大きい場合
背面に空洞がある	空洞充填工	<ul style="list-style-type: none"> ・空洞があるが、背面地山の風化は進行していない場合
背面の空洞が湧水の影響	空洞充填工と排水工の併用	<ul style="list-style-type: none"> ・空洞の形成が、背面からの湧水が原因である場合
	空洞充填工と吹付のり枠工の併用	<ul style="list-style-type: none"> ・背面に脆弱な透水層などが存在する場合

第6節 落石防護柵工

防護柵は落石による変形、破損がないか点検するとともに、ワイヤーロープのたわみの程度や索端金具の状態を点検し、緩みがみられる場合は必要に応じて緊張する。また、鋼材部の腐食状態や防錆塗装の状態を確認し、補修を行う。

防護柵の斜面側に土砂が多量に堆積している場合には、これを排除する。金網の破損や、取付部材に変形や欠損がみられる場合は交換を行う。

ポケットは長期間放置した場合、斜面からの土砂や落石が堆積して埋まっていることがある。ポケットは落石が落下したとき擁壁や柵に直接当たらずに、これらが損傷することを防ぐ役割を果たすとともに、路上へ落下することを防止するためにも有効である。したがって土砂溜まりは土石等の排除を定期的実施しておく。

落石防護柵工の劣化及び破損の原因とその対応を以下に示す。

表 8-8 落石防護柵工の劣化および破損の原因と対応
斜面防災対策技術協会（未定稿）：斜面对策工維持管理実施要領，第7章第14節

原因	解説	対応
落石・斜面崩壊	<ul style="list-style-type: none"> ・落石・崩落土砂が堆積し、落石跳躍高さを確保できなくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ・背面堆積土砂の撤去 ・落石，崩落土砂流出防止対策など発生源対策の検討
外力等による物理的作用	<ul style="list-style-type: none"> ・落石や雪崩の衝撃により H 型鋼、ワイヤーロープ、金網の破損やたわみ、変形が生じる ・塗装の剥離 	<ul style="list-style-type: none"> ・ワイヤーロープの再緊張、締め付け金具や取付部材の補修 ・金網の補修や交換 ・H 型鋼の再設置 ・塗装の剥離 ・基礎部（コンクリート）の破損 ・防護柵工の新設 ・防護柵工の部材交換
風化等の化学的作用	<ul style="list-style-type: none"> ・部材の鋼材自体が塩害による錆の発生や劣化 ・紫外線などにより塗装が劣化し腐食の発生が生じる 	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化が進行した金網やワイヤーロープの交換 ・防錆塗装の補修

落石に対する対策工の選定にあたっては、発生源状況、発生原因、環境条件等を十分考慮して、効率的な計画を立案する必要がある。変状現象に基づく対策工選定の標準的な考え方を次に示す。

表 8-9 落石防護柵工の変状現象と対する対策工法

斜面防災対策技術協会（未定稿）：斜面对策工維持管理実施要領，第7章第14節

変状現象	対策工法	選定条件
部材の品質低下	耐腐食性部材の使用	支柱や網の材質劣化を防止する場合
	耐候性塗装の使用	支柱や網の材質劣化を防止する場合
落石防護柵本体の機能低下	除石	落石，崩落土砂を撤去することで、ポケット容量の不足が解消され、支柱，網の耐力が回復する
	防護柵工の新規施工（落石許容エネルギー増）	新規施工できる場所がある場合 設計計算で支柱・網の設計計算を満たす場合
	他の対策工の追加	防護柵工のみでは対応できない場合は発生源対策などを検討する。

第9章 維持管理の容易な施設についての提言

第1節 点検の実施が容易な施設

(1) 点検用通路の設置

車道から距離のある治山施設については、点検の効率化のため、点検用通路の設置しておくことが望ましい。急勾配斜面に通路を設ける場合は手摺りとなるロープを設置しておくことで、点検時の安全確保とともに通路の目印ともなる。また、山地内の未舗装の通路は年月を経ると雑草等に覆われ、探すことが困難な状況も想定されることから、初回点検時にはGPSの軌跡図(車道から施設までのルート図)を作成しておくことが望ましい。

(2) 昇降用ステップの設置

規模の大きな谷止工など、堤体上部の状況を近接目視できない施設については、堤体や間詰部等に点検用の昇降用ステップを設置しておくことが望ましい。

(3) 天端部のコンクリート被覆

鋼製枠構造の溪間工など、天端部に隙間の多い施設の場合、経年によって草本、木本類が繁茂し、点検の実施に支障を来す場合がある。そのため、天端をコンクリート等で被覆することにより、雑草の侵入を防ぐことが望ましい。

(4) アンカー工の頭部および荷重変動の視覚監視

アンカーの頭部状況や荷重を簡便かつ視覚的にアンカーの状態を確認する技術が開発されている。

適用アンカーは、新設を対象とし工法も限定されるが、荷重変動や頭部背面充填状況を可視化することによって、常時のモニタリングが可能となる。

アンカー点検時に、頭部・頭部背面の防錆油の充填・劣化状況や背面止水具の状態及び表示色の変化を目視確認し、記録と写真撮影を行う。

表 9-1 頭部・頭部背面及び荷重変動の可視化技術

名 称	KP アンカー	見えるアンカー
特 徴	・防錆油の充填及び劣化状況が目視確認できる	・荷重変動を表示板の色で示す ・誰もが容易に確認できる
構 造	・部分透明タイプの窓付頭部キャップを用いる ・透明タイプの窓付止水具を用いる(アンボンドタイプに適用可能)	・アンボンドワイヤーをアンカー材に沿って配置、一端を定着体に固定、もう一端を歯車を介して見えるアンカー装置のばねに取付ける
判 定	・防錆油の変色や変質及び減少の有無で、劣化程度を確認する ・背面止水具の状態を確認する	・着色表示板の針の位置が、アンカー定着時(=青色)から暖色系へ移れば荷重増加、寒色系へ移れば荷重低下と判定する

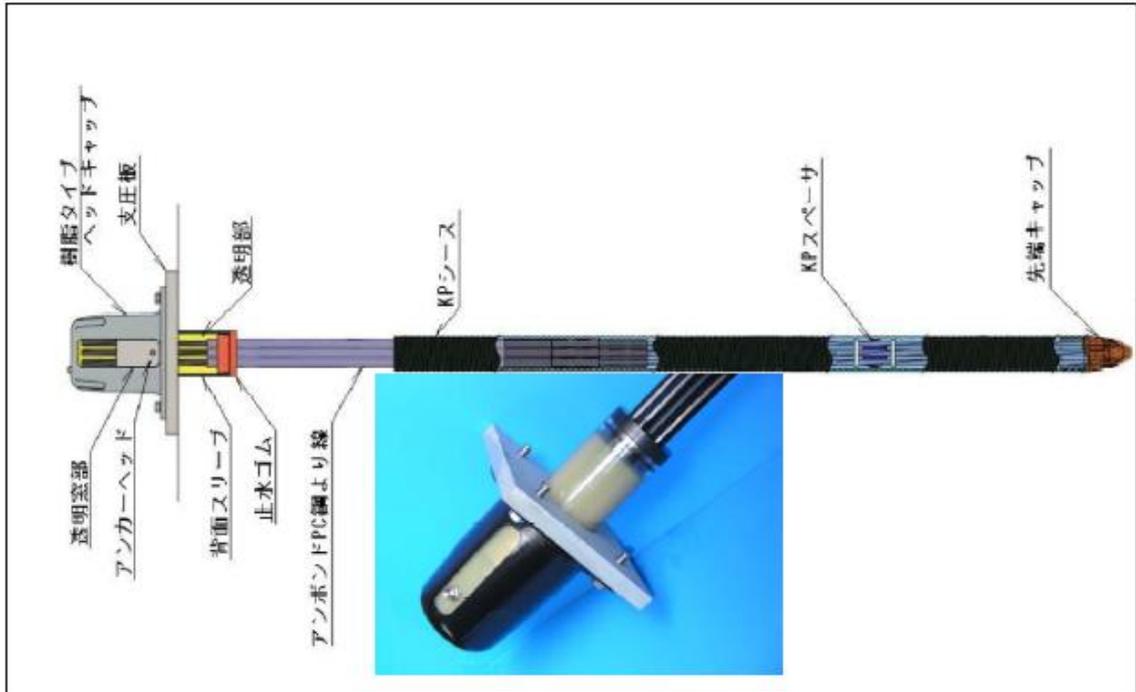


図 9-1 KP アンカー構造図

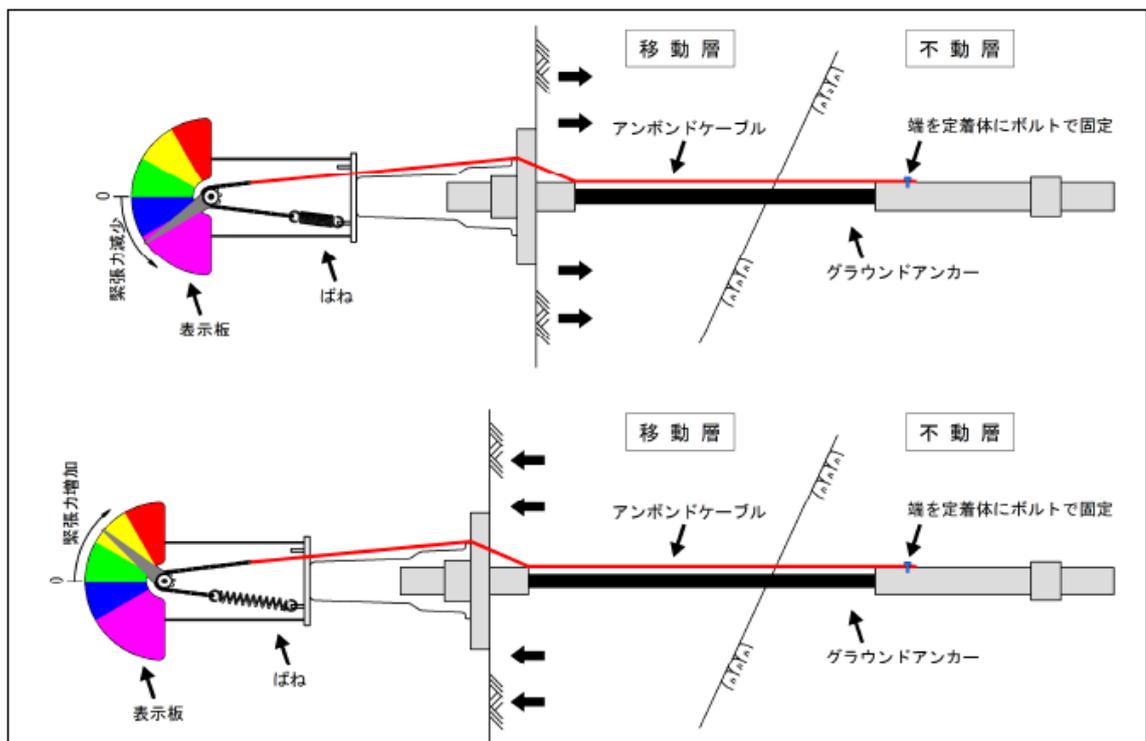


図 9-2 見えるアンカー概念図

<参考文献>

- ・弘和産業(株)KJS エンジニアリング(株)(2012)：KP アンカー設計・施工マニュアル
- ・(株)エスイー(2014)：見えるアンカー計画・施工マニュアル(案)

第2節 詳細調査、補修等の実施が容易な施設

(1) 足場設置スペースの確保

急勾配な山腹工（特に法枠工、吹付工、アンカー工等）については、詳細点検や補修等対策実施時に足場仮設が必要になる場合がある。そのため、施設下方に足場の土台となるスペースを確保しておくことが望ましい。

(2) 管理用道路の設置

土石流の捕捉を目的とした谷止工は、満砂時に除石の実施が必要である。また、谷止工の機能強化（上流側の増厚、嵩上げ）実施時においても、除石の実施が必要となるため、土砂生産が活発な流域等で、将来的に除石や嵩上げの実施等が予測される場合は、施設施工時に重機やダンプ等の通行可能な管理用道路を設けておくことが望ましい。

(3) 交換が容易なボルト構造（鋼製、木製の場合）

鋼製、木製施設は、部材が腐食、腐朽した場合に交換が必要となる。特に、木製施設に用いる木材は、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 9-3 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 9-3 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

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

第3節 損傷しにくい施設の構築（未然対策）

治山施設は、自然条件の厳しい箇所に施工される場合が多いため、予め劣化のリスクを予想し、耐久性を高めた構造としておくことで、その後の補修等の機会を少なくするといった視点も重要である。

例を挙げると、以下の通りである。

- ① 谷止工における副ダム、カットオフの設置（基礎部洗掘の予防）
- ② 谷止工における放水路天端の高強度材料の使用（天端摩耗の予防）
- ③ 谷止工袖部における緩衝材（盛土）の設置
- ④ 鋼製施設への溶融亜鉛メッキ品の適用
- ⑤ 法枠工鉄筋への防錆剤の使用（塩害等による腐食の予防）
- ⑥ 法枠工への高強度コンクリートの使用（凍害、塩害等の予防）