HP 公開版

主に鋼材を用いた
砂防施設の維持管理マニュアル

初　　版

令和元年１２月２５日

一般財団法人　砂防フロンティア整備推進機構

はじめに

主に鋼材を用いた砂防施設(以下、「鋼材を用いた砂防施設」という)は、昭和40 年代から民間(鋼材メーカなど)を中心に研究開発が進められた。そのため、製品仕様がメーカーにより異なっていた。そこで、昭和 60 年代になって、鋼製砂防構造物設計便覧が整備(財団法人砂防・地すべり技術センター)され、具備すべき統一的仕様が定められた。これにより研究開発が進み、多くの鋼材を用いた砂防施設が建設されてきた。

鋼材を用いた砂防施設の部材は、工場で製作されることから、製品の品質管理が的確に行われる。また、機能面でも、屈撓性に優れたタイプや、透過型のように、平常時の流下土砂をスルーさせることにより、大規模土砂流出時に最大の機能を発揮するという機能面、並びに上下流の連続性など環境面の有利性があることから、現在までに4千5百基を超える施設が建設されてきている。

一方で、砂防設備を含む社会資本は、その多くが高度成長期以降に急速に整備されて来たことから、今後の老朽化による機能・性能の劣化が懸念されている。平成 24 年 8 月に閣議決定された第 3 次社会資本整備重点計画では、重点目標4に「社会資本の適確な維持管理・更新」が挙げられた。その後、笹子トンネルの天井板落下事故を経て、老朽化対策が加速され、平成 25 年 11 月には施設毎の長寿命化計画の策定とメンテナンスサイクルの構築によるトータルコストの縮減等を目指した関係省庁によるインフラ長寿命化基本計画が策定された。

さらに、平成 27 年 9 月の第 4 次社会資本整備重点計画では、社会資本が直面する4つの構造的課題の第一位に加速するインフラ老朽化が挙げられ、社会資本の戦略的維持管理・更新が重点課題として位置づけられた。

砂防関係施設については、「砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン」(平成 31 年 3 月)、「砂防関係施設点検要領(案)」(平成 31 年 3 月)が発出され、砂防関係施設の点検が統一した視点で実施されるとともに、点検結果に基づく長寿命化計画が策定されつつある。

しかしながら、「砂防関係施設点検要領(案)」では、砂防設備の過半を占めるコンクリート構造物を主な対象として施設の点検方法やその評価方法が記述されており、コンクリート構造物以外の構造物の点検方法については具体的な記述は少ない。

鋼材を用いた砂防施設は、工場製作された多数の鋼製部材を現場で組み立てて建設されることから、土石等により、個々の部材が損傷・摩耗・腐食するなど、マスコンクリート構造物とは異なった変状の実態があり、それらに合致した構造物の点検方法と評価方法が必要とされる。

そこで、当機構では、鋼材を用いた砂防施設の点検方法や評価方法など、維持管理に特化した「主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアル」を作成し、鋼材を用いた砂防施設の適切な維持管理に資することにした。

作成にあたっては、鋼材を用いた砂防施設の研究開発に長年にわたって携わってきた砂防鋼構造物研究会のご協力をいただくとともに、本マニュアル検討委員会の水山高久委員長を始めとする委員の皆様にご指導をいただきました。この場を借りて、深く感謝の意を表します。

令和元年12月

一般財団法人 砂防フロンティア整備推進機構

理事長 亀江幸二

緒　言

主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアルを刊行することになりました。ご活用いただくことを期待します。

さて、従来、砂防の世界では、砂防構造物はメンテナンスフリーであるということを強調していたと思います。このため、維持管理に関しての研究開発は十分に行われて来なかったのではないでしょうか。ただ、主に鋼材を用いた砂防施設については、コンクリートや石の世界への鉄という新しい素材であり、鋼製透過型砂防堰堤が土石流対策における砂防施設として期待されて来たこと、土石流の石礫の衝撃エネルギーを鋼管の凹み変形によって吸収することなど変形を前提としたことから、鋼製砂防構造物設計便覧((財)砂防・地すべり技術センター)では、点検項目や損傷レベルに応じた対応の考え方等の維持管理についても配慮して記述して来ました。

近年、国土交通省全体として、人口構造の高齢化と合わせるようにインフラの老朽化が懸念されるようになり、インフラ構造物全般について、体系的な点検と維持修繕など維持管理が求められるようになりました。このため、砂防でも国土交通省から砂防関係施設点検要領(案)や長寿命化計画策定ガイドラインが相次いで発出されています。

主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアルは、前述の設計便覧が維持管理に関しても記述はしてあるものの、あくまで新設の施設の設計方法を中心にとりまとめたものであることに対し、主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理に特化し、さらに、点検業務を担う技術職員やコンサルタント技術者を対象に、点検した施設の変状が修繕を必要とするレベルであるか否かの判定が可能となるようにとりまとめたものです。

統一的な点検と判定により、迅速な維持対応が実施されるとともに、体系的にデータが蓄積され、新しい技術の開発へとフィードバックされていくことを期待します。

令和元年12月

鋼製砂防構造物維持管理マニュアル検討委員会委員長

京都大学　名誉教授　　水山高久

目　次

1. 総説 1
1.1 主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理の基本 1
1.2 鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアルの目的 1
1.3 本マニュアルの適用範囲 2
2. 鋼材を用いた砂防施設の整備状況と実態 4
2.1 鋼材を用いた砂防施設の種類 4
2.2 鋼材を用いた砂防施設開発の経緯 5
2.3 鋼材を用いた砂防施設の整備状況 5
2.4 鋼材を用いた砂防施設の変状の実態 7
2.4.1 変状事例の整理分析 7
2.4.2 今回調査による変状事例の調査分析 8
2.4.3 変状の種類と発生原因 10
2.5 鋼材を用いた砂防施設の機能・性能に影響を及ぼす変状の種類 12
3. 施設点検 15
3.1 施設点検の基本的考え方 15
3.2 鋼材を用いた砂防施設の点検時の留意事項 16
3.3 詳細点検の基本 18
3.4 詳細点検の項目 18
3.5 詳細点検の計測方法 20
3.5.1 計測に用いる資材 20
3.5.2 全体変形 21
3.5.3 部材変形 26
3.5.4 コンクリートの摩耗 29
3.5.5 基礎部洗掘 29
3.5.6 天端の沈下 29
3.5.7 中詰材の流失 30
3.5.8 鋼材の腐食等 31
3.6 施設周辺の状況の点検 35
4. 健全度評価 38
4.1 鋼材を用いた砂防施設の健全度評価の考え方 38
4.2 部位の変状レベルの評価 40
4.3 鋼材を用いた砂防施設の健全度評価 67
5. 維持修繕 68
5.1 維持修繕の考え方と方法 68
5.2 施設機能の日常管理 69
5.3 施設性能の日常管理 69
5.4 維持管理記録の保存 69
5.5 安全対策 70

6. 参考資料 71
6.1 参考とする基準 71
6.2 参考とする図書・文献 72
6.3 用語の定義 73
6.4 施設点検の様式 74
6.5 修繕事例 82
6.5.1 鋼管フレーム型砂防堰堤の修繕事例 82
6.5.2 枠の修繕事例 84
6.5.3 セルの修繕参考事例 85
6.5.4 ウォールの修繕参考事例 86
6.6 詳細点検の仕様 87

巻末資料

・砂防設備として施工されている形式名称とメーカー一覧表

1. 総説

1.1 主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理の基本

主に鋼材を用いた砂防施設（以下、「鋼材を用いた砂防施設」という）の維持管理の基本方針は、以下のように定める。

〇鋼材を用いた砂防施設の機能・性能を持続的に発揮させるために必要な維持管理を行うこと

〇鋼材を用いた砂防施設の特徴を踏まえた点検・修繕を行うこと

【解説】

砂防設備の維持管理は、「砂防指定地等管理の強化について」（昭和 39 年 8 月建河発第 399 号河川局長通達）、「砂防設備の安全管理について」（昭和 46 年 11 月建河砂発第 98 号砂防課長通達）、「砂防設備の安全利用点検の実施について」（平成 14 年 3 月国河保第 121 号保全課長通達）、「砂防設備の定期巡視点検の実施について」（平成 16 年 3 月 25 日国河保第 88 号）、「砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）」（平成 31 年 3 月水管理・国土保全局砂防部保全課）、「砂防関係施設点検要領（案）」（平成 31 年 3 月国土交通省砂防部保全課）等により実施されて来ている。

したがって、砂防設備としての維持管理は、上記の通達等に基づいて実施するが、その際には、鋼材を用いた砂防施設の特徴を踏まえた維持管理を行うことが必要である。

また、鋼材を用いた砂防施設の施工実績が増加してきたことから、土石流等を捕捉する機会も増えて来ているため、平常時の点検結果とともに捕捉時の状況等を点検結果として確実に記録することで、今後の砂防計画や設計・修繕方法に反映させることが出来るようサイクル型の維持管理システムを目指す。

1.2 鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアルの目的

本マニュアルは、鋼材を用いた砂防施設を対象に、その機能を維持するために必要な管理方法としての点検方法と点検結果の評価方法並びに修繕事例を取りまとめ、鋼材を用いた砂防施設の適切な維持管理に資することを目的とする。

【解説】

鋼材を用いた砂防施設は、昭和 40 年代に開発され現在まで多くの施設が建設されてきている。鋼材を用いた砂防施設は、鋼製材料を用いることなどから、コンクリート構造物とは異なった構造基準や点検手法が求められる。このため、設計手法については鋼製砂防構造物委員会により鋼製砂防構造物設計便覧として取りまとめられて来た。しかしながら、維持管理のための点検手法については、鋼材を用いた砂防施設を対象にまとめられたものがなかった。

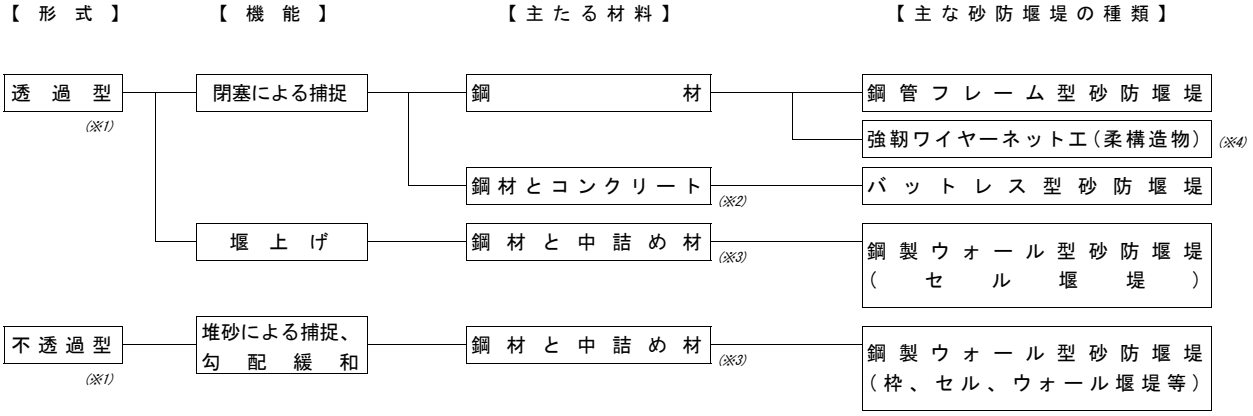
以上のことから、点検手法を主体に鋼材を用いた砂防施設に特化した維持管理マニュアルを策定することにより、鋼材を用いた砂防施設の適切な維持管理に資することを目的とする。

1.3 本マニュアルの適用範囲

本マニュアルは、全国で施工されている鋼材を用いた砂防施設に適用する。

【解説】

本マニュアルは、全国で施工されている鋼材を用いた砂防施設に適用する。ただし、柔構造物については対象外とする。鋼材を用いた砂防施設を形式、機能、主たる材料から分類し以下に示す。



※1)両者の中間的な分類として部分透過型がある。なお、この他に流木止めがあるが、必要に応じて砂防堰堤にその機能を付加する場合と、堰堤とは別に単体で設置するものがある。

(※2)土石流等を捕捉する部材(鋼材)と、それを支持する部材(コンクリート)からなる構造のもの。

(※3)中詰め材には、砂防ソイルセメント施工便覧(H28 年版)に基づく設計基準強度 3.0N/mm2 を満足する必要のない砂防ソイルセメントや、土砂、割石が用いられる。

(※4)一般には仮設構造物として使用されているが、海外においては砂防堰堤として設置している例があるため、本分類に掲載している。

図 1-1　鋼材を用いた砂防堰堤の分類

＊この図は､国土交通省ＨＰ　http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/entei_bunrui.pdf 「砂防堰堤の分類」の【主たる材料】のうち「コンクリート」を除き再編したものである。

表 1-1　砂防設備として施工されている構造・型式名称一覧表

形式	機能	主たる材料	主な鋼製堰堤の種類	型式名称
透過型	閉塞による捕捉	鋼材	鋼管フレーム型砂防堰堤	格子形鋼製砂防堰堤 2000C(格子形含む)
				鋼製スリット堰堤 A 型
				鋼製スリット堰堤 B 型
				鋼製 L 型スリット堰堤
				鋼製 I 型スリット堰堤
				CF 型スリット堰堤
				J－スリット堰堤
				鋼製スリット堰堤 T 型
				C 型スリット堰堤
				鋼製 D 型スリット(流木止含)
				h 型流木捕捉工
				N 型流木捕捉工
		鋼材とコンクリート	バットレス型砂防堰堤	横ビーム式 HBO 型
				CBBO 型(HBBO+型含む)
				鋼製Δ型スリット
	堰上げ	鋼材と中詰め材	鋼製ウォール型砂防堰堤（セル堰堤）	鋼板セル堰堤
				鋼矢板セル
	その他			底面水抜きスクリーン堰堤
不透過型	堆砂による捕捉・勾配緩和	鋼材と中詰め材	鋼製ウォール型砂防堰堤（枠、セル、ウォール堰堤等）	鋼製自在枠
				鋼製箱枠
				鋼製続枠
				鋼製組枠
				鋼矢板セグメント
				ダブルウォール
				INSEM ダブルウォール
				鋼板セル堰堤
				鋼矢板セル
	その他			鋼製スクリーン堰堤

2. 鋼材を用いた砂防施設の整備状況と実態

2.1 鋼材を用いた砂防施設の種類

本マニュアルでは、これまでに施工されてきた鋼材を用いた砂防施設を対象とする。

【解説】

本マニュアルで対象とする鋼材を用いた砂防施設の構造と型式名称及び施工開始時期を表 2-1 に示す。

表 2-1　砂防設備として施工されている型式名称一覧表（2016 年 3 月末現在）

形式	機能	主たる材料	主な鋼製堰堤の種類	型式名称	製造期間(年)	
					開始	終了
透過型	閉塞による捕捉	鋼材	鋼管フレーム型砂防堰堤	格子形鋼製砂防堰堤 2000C(格子形含む)	1979	
				鋼製スリット堰堤 A 型	1976	
				鋼製スリット堰堤 B 型	1989	
				鋼製 L 型スリット堰堤	1997	
				鋼製 I 型スリット堰堤	1999	
				CF 型スリット堰堤	2001	2006
				J－スリット堰堤	2006	
				鋼製スリット堰堤 T 型	2007	
				C 型スリット堰堤	1990	2006
				鋼製 D 型スリット(流木止含)	1991	
				h 型流木捕捉工	1991	
				N 型流木捕捉工	2001	
		鋼材とコンクリート	バットレス型砂防堰堤	横ビーム式 HBO 型	2005	－
				CBBO 型(HBBO+型含む)	2007	－
				鋼製Δ型スリット	1990	－
	堰上げ	鋼材と中詰め材	鋼製ウォール型砂防堰堤（セル堰堤）	鋼板セル堰堤	1990	
				鋼矢板セル	1990	－
	その他			底面水抜きスクリーン堰堤	1989	
不透過型	堆砂による捕捉・勾配緩和	鋼材と中詰め材	鋼製ウォール型砂防堰堤（枠、セル、ウォール堰堤等）	鋼製自在枠	1974	
				鋼製箱枠	1981	2006
				鋼製続枠	1978	
				鋼製組枠	1984	2004
				鋼矢板セグメント	1997	2006
				ダブルウォール	1984	－
				INSEM ダブルウォール	2006	－
				鋼板セル堰堤	1990	
				鋼矢板セル	1991	－
	その他			鋼製スクリーン堰堤	1966	－

2.2 鋼材を用いた砂防施設開発の経緯

これまで鋼材を用いた砂防施設の調査・計画・設計は、主に以下の図書を基準書として、約 30 年に渡って実施されてきており、施工実績も年々増加している。

表 2-2　鋼材を用いた砂防施設の調査・計画・設計に関する図書

発行年	図書名発行機関	発行機関
1985年（S60）	鋼製砂防構造物設計便覧	（財）砂防・地すべり技術センター
1987年（S62）	鋼製砂防構造物設計便覧	
1989年（H 1）	土石流対策技術指針（案）	建設省河川局砂防部砂防課
1993年（H 5）	鋼製砂防構造物設計便覧	（財）砂防・地すべり技術センター
2000年（H12）	土石流対策技術指針（案）	建設省河川局砂防部砂防課
2000年（H12）	流木対策技術指針（案）	
2001年（H13）	鋼製砂防構造物設計便覧	（財）砂防・地すべり技術センター
2007年（H19）	砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び土石流・流木対策設計技術指針	国土交通省　国土技術政策総合研究所
2009 年（H21）	鋼製砂防構造物設計便覧	（一財）砂防・地すべり技術センター

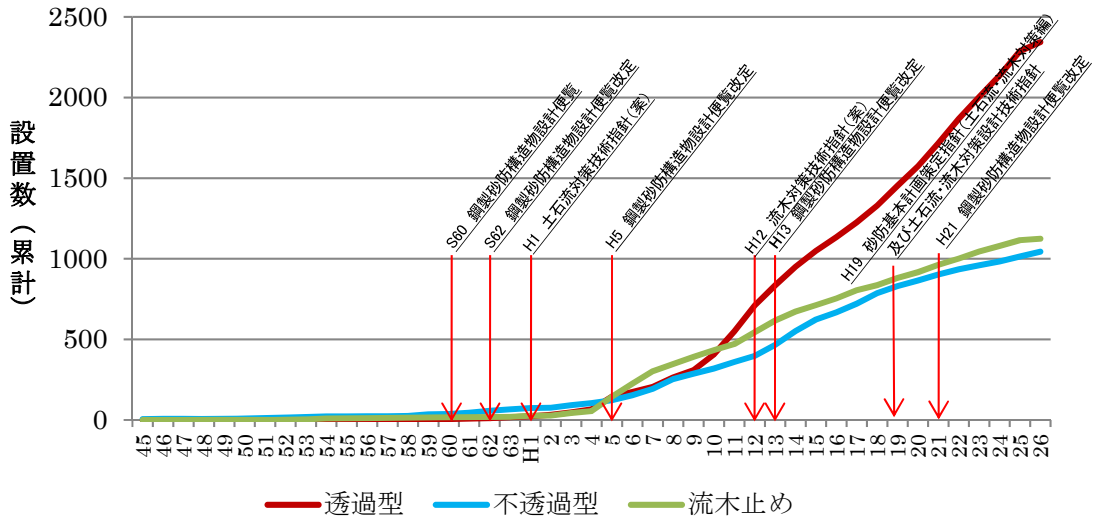
2.3 鋼材を用いた砂防施設の整備状況

鋼材を用いた砂防施設は、砂防施設として昭和 40 年代後半から計画・施工され、平成 26 年末までに計 4,536 基が施工されている。その内訳をみると、透過型は 2,352 施設（52%）、不透過型は 1,056 施設（23%）、流木止めは 1,128 施設（25%）となっている（表 2-3）。

表 2-3　鋼材を用いた砂防施設等の施工実績（平成 26 年末時点）

種別	施設数	割合（%）
透過型	2,352	52
不透過型	1,056	23
流木止め	1,128	25
合計	4,536	100

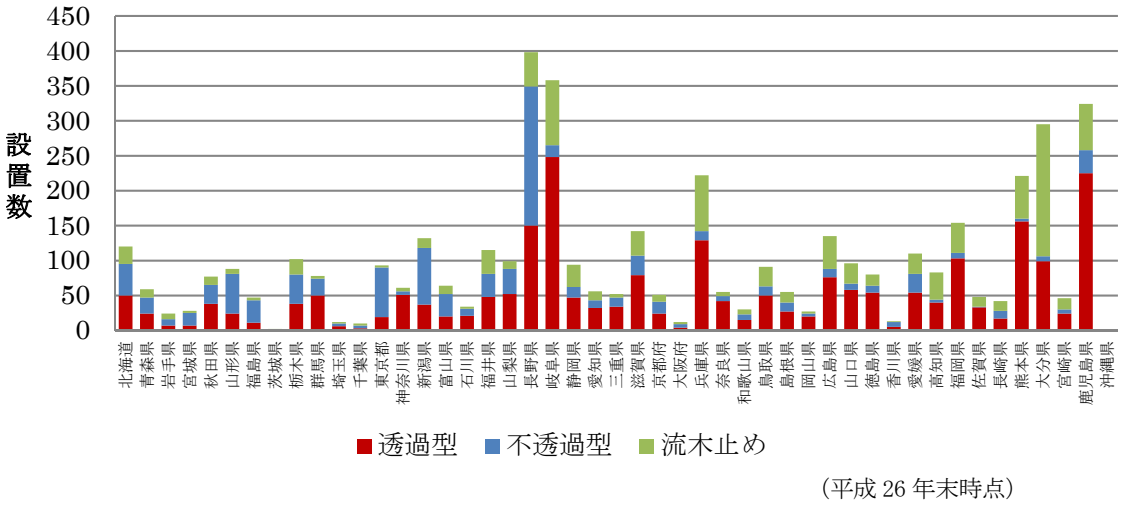
次に、施工実績の経年変化についてみると、大分県で流木災害が発生した平成 5 年を境に設置数が増加していることが分かる（図 2-1 参照）。



（平成 26 年末時点）

図 2-1　鋼材を用いた砂防施設設置数の推移

鋼材を用いた砂防施設の設置数を都道府県別に整理すると以下の通りであり、長野県、岐阜県、鹿児島県、大分県、次いで兵庫県、熊本県の順である。



（平成 26 年末時点）

図 2-2　都道府県別の鋼材を用いた砂防施設設置状況

2. 4 鋼材を用いた砂防施設の変状の実態

鋼材を用いた砂防施設の劣化損傷は、鋼製部では鋼材の変形、脱落、沈下、連結部の開口、ボルトの緩み、中詰材の流失および腐食等に分類される。

【解説】

鋼材を用いた砂防施設の変状の実態について以下に示す。

2. 4. 1 変状事例の整理分析

(1) 変状事例数の経年変化

変状事例の発生状況を時系列的にとりまとめ以下に示す。昭和 63 年以前は、「鋼製砂防構造物設置事例集」((財) 砂防・地すべり技術センター、H3.5) (以下、前回調査と呼ぶ。) をもとに再計、平成元年以降については砂防鋼構造物研究会提供データによる今回の調査結果である (以下、今回調査と呼ぶ。)。

鋼材を用いた砂防施設が初めて施工された昭和 44 年から、鋼製砂防構造物設計便覧が発行される以前 (昭和 59 年) までの 16 年間に施工された施設を対象とした変状事例数は 57 事例 (3.8 事例/年) である。これに対し、発行後の昭和 60 年から現在までの 30 年間では前回調査 8 事例、今回調査 24 事例の計 32 事例 (1.1 事例/年) であり、鋼製砂防構造物設計便覧発行後の変状発生頻度 (事例数/年) は、以前に比べ約 1／3 に減少している。

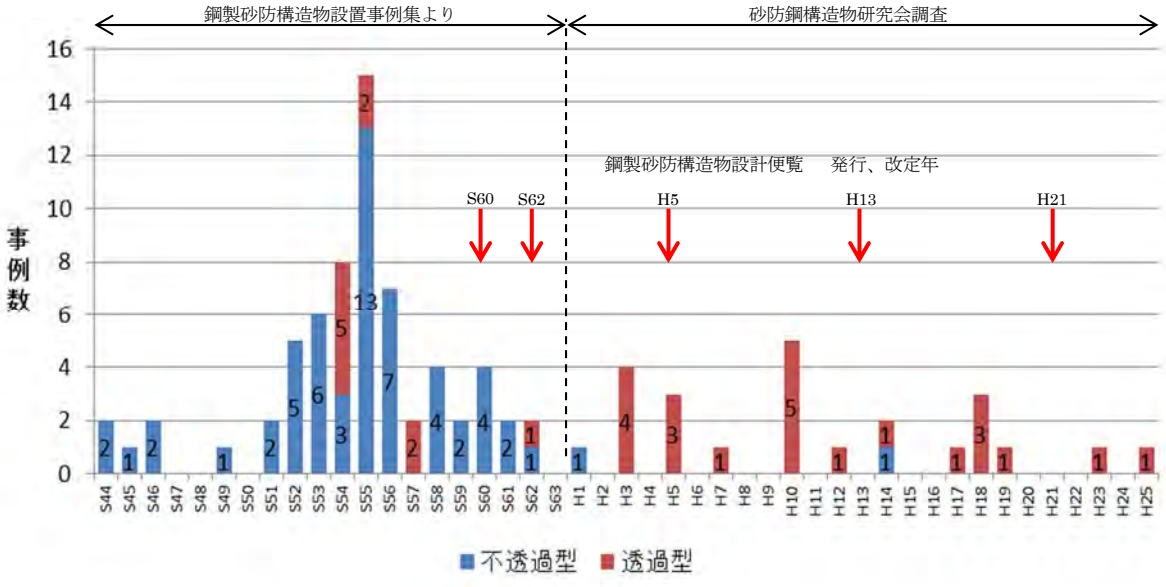


図 2-3　変状事例数の経年変化

(鋼製砂防構造物設置事例集および砂防鋼構造物研究会調査)

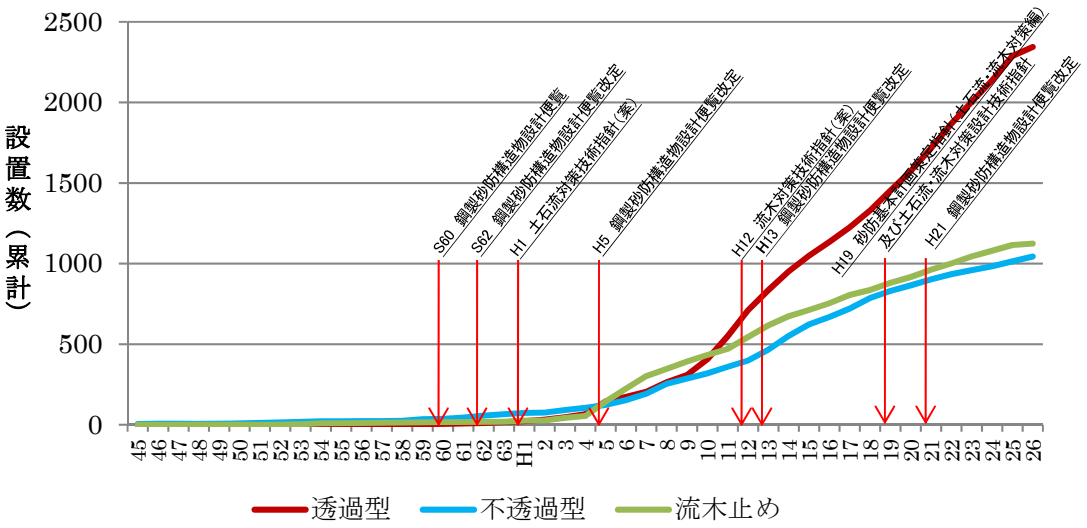
(2) 前回調査と今回調査の形式別変状事例数

前回調査では、不透過型を対象とした事例数が 55 事例、透過型が 10 事例であったのに対し、今回調査では不透過型が 2 件、透過型が 22 件とその割合が逆転している。

表 2-4　鋼材を用いた砂防施設形式別変状事例

データの出典	不透過型	透過型	合計
鋼製砂防構造物設置事例集	55	10	65
砂防鋼構造物研究会調査	2	22	24
合計	57	32	89

ここで、年別の設置数をみると、平成 4 年を境に不透過型に比べ透過型堰堤の設置数が急増していることが分かる（図 2-4 参照）。前回調査時に比べ、今回調査では鋼材を用いた砂防施設に占める透過型の割合が大きくなったこと、また、透過型は土石流対策として採用されており、設置数が増えるに従い土石流に遭遇する機会が増えていることが、透過・不透過の変状事例の発生割合の変化の一つの要因であると思われる。



（平成 26 年末時点）

図 2-4　鋼材を用いた砂防施設設置数の推移（再掲）

2.4.2 今回調査による変状事例の調査分析

(1) 変状事例の発生実態

今回調査では、変状の事例数は 24 事例報告されている（表 2-5 参照）。これら事例を形式別（不透過型、透過型別）にみると、透過型での事例が 22 件と全体の 9 割以上を占める。変状の種類内訳をみると、変形が 15 件と全体の 6 割以上を占める。次いで摩耗、腐食、ボルトの欠損がそれぞれ 2 件、底版コンクリートの摩耗、リブ破損、塗装の剥離がそれぞれ 1 件報告されている。

次に、形式別の変状の種類を見てみると、不透過型では 2 件とも腐食であった。

一方、透過型についてみると、変形が 15 件と全体の 6 割以上を占める。次いで摩耗、ボルトの欠損がそれぞれ 2 件、底版コンクリートの摩耗、リブ破損、塗装の剥離がそれぞれ 1 件であり、腐食については報告されていない。

表 2-5　形式別変状事例の内訳

項目	透過型	不透過型	合　計
変形	15		15
摩耗	2		2
腐食		2	2
ボルト欠損	2		2
リブ破損	1		1
塗装の剥離	1		1
底版コンクリートの摩耗	1		1
合　計	22	2	24

(2) 変状の種類別傾向

①変形

変形（凹み変形、全体変形など）の原因は、土石流の衝突、礫の衝突、礫の落下・衝突、土石流捕捉など、すべて「土石流」に起因するものである。(表 2-6 参照)。

表 2-6　変形原因の内訳（透過型）

項目	事例数
礫の衝突	5
土石流による衝突	4
土石流捕捉	3
礫の落下、衝突	2
礫の落下	1
合　計	15

②摩耗

摩耗は 2 件とも透過型で報告されており、その原因は 2 件ともに土石流の捕捉とされている。

③腐食

腐食は 2 件とも不透過型で報告されており、その原因は 1 件が火山性ガス、1 件が鋼材の成分問題となっている。

④底版コンクリートの摩耗・ボルトの欠損・リブ破損

底版コンクリートの摩耗、ボルト欠損、リブ破損の原因は、それぞれ 1 件の報告がある。これら

の原因はすべて土石流であると考えられ、具体的には底版コンクリートの摩耗の原因は越流、ボルト欠損は礫の衝突、リブ破損は礫の落下となっている。また、これらの変状は、発生原因の内容から、捕捉土砂により満砂状態になるような規模の土石流の捕捉により発生する場合が多いと推測することも可能である。

⑤塗装の剥離

塗装の剥離は、「火山ガス」による。

2.4.3　変状の種類と発生原因

(1) 変状の種類別発生原因

2.4.2 で示した今回調査時に確認された変状の種類の他に、前回調査では沈下、水平移動、ボルトの緩みといった変状が報告されている。これらの変状の発生原因について、前回および今回調査の結果をまとめて示す。

①変形

変形については、今回調査ではすべて「土石流」が原因のようである。また、変形は他の損傷種類を伴う場合が多い傾向がある。今回調査では、透過型砂防堰堤の非越流部で使用された鋼矢板セルの変形が報告された。これは、深層崩壊に起因する土石流が直撃したことによるとされている。

②沈下

沈下については、前回調査で１４件報告されている。その原因についての個別の記載はないが、以下のコメントを付している。「沈下については枠構造に多いが、枠構造物は接合部の構造的特徴により、堤体強度を低下させることなく沈下に対して追随することができるので一概に問題があるとは言えない。沈下事例の状況をみると、枠構造は接合部の構造から局部的な沈下事例が多く、鋼矢板ダブルウォールでは枠構造よりも広い範囲での沈下に特徴が見られる。」　（「鋼製砂防構造物設置事例集（(財）砂防地すべり技術センター；1991」より引用）

③水平移動

水平移動については、前回調査では 6 件報告されているが、原因についての記載はなく、特定することはできない。

④底版コンクリートの摩耗・ボルトの欠損・リブ破損

これらは、今回調査によるもので、透過型で生じている。底版コンクリートの摩耗は越流、ボルト欠損は礫の衝突、リブ破損は礫の落下がそれぞれの具体的発生原因となっているが、これらは全て土石流によるものである。

⑤ボルトの緩み

前回調査では、ボルトの緩みについて以下のコメントを付している。「ボルトの緩みや欠損は、土石流や転石の衝撃により緩んだり、せん断破壊したものであると思われる。」（「鋼製砂防構造物設置事例集（(財）砂防地すべり技術センター；1991」より引用）

⑥塗装の剥離

塗装の剥離は、「火山性ガス」が原因である。今回調査でのみ把握されている。

⑦摩耗

摩耗については、今回調査ではすべて「土石流の捕捉」が原因である。

⑧腐食

腐食については、他の損傷種類を伴わず、単独での発生が多い。その原因について、前回調査では以下のようなコメントを付している。「北海道有珠山の災害復旧工事の事例が大半を占めており、pH 値の低い酸性河川での設置事例がこの時期に多数であったためと思われる。」（「鋼製砂防構造物設置事例集（(財）砂防地すべり技術センター；1991」より引用）また、今回調査では「火山性ガス」が原因と推測されており、いずれも「火山地帯等の特殊条件下での事象」である。

（2）変状の発生原因と点検時の留意点

①火山等特殊条件

変状のほとんどは、土石流捕捉時あるいは火山活動による火山ガスや強酸性の水質等の特殊条件に起因するものであり、特殊条件地域以外での経年的な劣化によるものは報告されていない。このことから、特に腐食に関しては通常の設置環境では性能低下が問題になるようなことはないと考えられるが、火山地帯等の特殊条件下では留意する必要がある。

②土石流

臨時点検では、透過型、不透過型ともに土石流を捕捉した場合には、変形の有無や底版コンクリートの摩耗等について留意する他、ボルト等接合部の異常、摩耗、底版コンクリートの摩耗などが輻輳して発生する特徴があることにも合わせて留意する必要がある。特に、捕捉土砂により満砂し越流を生じるような規模の土石流を捕捉している場合には留意する必要がある。

③地すべり等

不透過型のうち、地すべり地域や地盤の悪い場所に施工されている施設については、地すべりや地盤の変形等により、変形、ボルト等接合部の異常などが輻輳して発生する恐れがあること、また設備に沈下、水平移動、（変形に伴う）ボルトの緩みなどが生じている可能性があるので、定期・臨時点検時に留意する必要がある。

2.5 鋼材を用いた砂防施設の機能・性能に影響を及ぼす変状の種類

鋼材を用いた砂防施設において、その機能・性能に影響を及ぼす変状の種類としては、全体変形、部材変形、鋼材の脱落、継手部の開口、基礎部洗掘、コンクリートの摩耗、中詰材（中詰礫、中詰土砂）の流失および腐食等が挙げられる。

【解説】

鋼材を用いた砂防施設の機能・性能に影響を及ぼす変状について以下に示す。

（1）全体変形

(i) 水平変位

土石流の衝突等により、構造物全体が変位することで構造物全体の安定性が損なわれる可能性があり、この場合施設の機能・性能の低下につながる。

写真 2-1 水平変位　鋼矢板セル

(ii) 鉛直変位

水通し部や袖部が鉛直方向に変位した場合、必要な効果量を確保できなくなる、あるいは変位量が大きくなると、部材の破断や中詰材(中詰礫、中詰土砂）の流失に至る場合があり、砂防堰堤としての機能・性能の低下につながる。

写真 2-2　鉛直変位（不透過型）

（2）部材変形

土石流や側岸からの落石等によって部材に変形が生じた場合、被災した部材だけでなく構造物全体の安定性が損なわれる可能性があり、機能・性能の低下につながる。

写真 2-3　凹み変形（透過型）

写真 2-4　凹み変形　鋼矢板セル

写真 2-5　鋼材の変形（不透過型）

(3) 鋼材の脱落・ボルトの欠損

土石流の衝突や落石等により、部材の脱落や部材を連結するボルトが欠損する場合がある。これにより、構造物としての一体性が失われ堤体の機能・性能の低下につながる。

写真 2-6　部材の脱落（左：透過型）（右：不透過型）

写真 2-7　ボルトの欠損（左：透過型）（右：不透過型）

(4) 継手部の開口

鋼管の継手部や壁面材接合箇所（鋼矢板、エキスパンド）が開口することで、構造上の安定性が低下するほか、中詰材の流失が進行し機能・性能の低下につながる。

写真 2-8　継手部の開口（透過型）

写真 2-9　継手部の開口　鋼矢板セル

(5) 基礎部洗掘

基礎部が洗掘され所定の根入れを確保できなくなると、施設の安定性を損ねる恐れがあり、施設の機能・性能の低下につながる。

写真 2-10　底版コンクリート下流の洗掘（透過型）

写真 2-11　基礎地盤の洗掘（不透過型）

(6) 中詰材の流失

不透過型の鋼材を用いた砂防施設において、中詰材の重量は抵抗力であるため、流失すると堤体の安定性が損なわれ、機能・性能の低下につながる。

写真 2-12　中詰材の流失（不透過型）

(7) 腐食等

部材である鋼管や鋼板等では腐食、摩耗、擦痕といった変状が生じる場合があるが、これらを現地調査時に区別することは難しい。そこで、腐食、摩耗、擦痕など板厚の減厚に関係する変状を「腐食等」とした。腐食等により板厚の減少が進行すると、構造物としての安定性が損なわれ、機能・性能の低下につながる。

写真 2-13　腐食等（透過型）

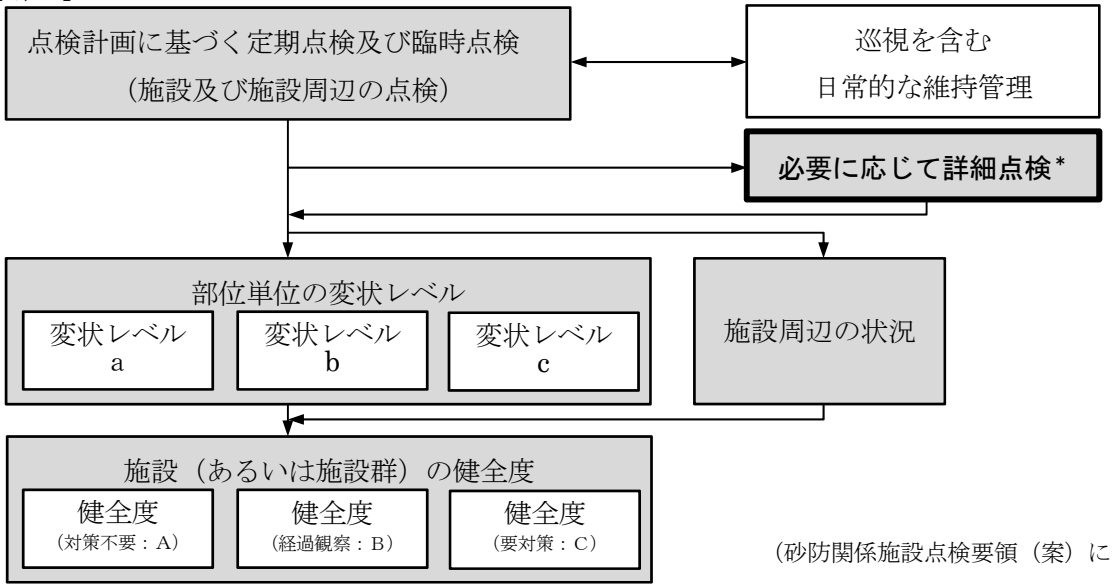
写真 2-14　腐食等　鋼矢板セル

3. 施設点検

3.1 施設点検の基本的考え方

鋼材を用いた砂防施設の施設点検は、「砂防関係施設点検要領（案）」に基づいて実施し、その結果は電子データで保存することを基本とする。なお、鋼材を用いた砂防施設においては、図 3-1 に示すフローに基づいて必要に応じて詳細点検を実施する。

【解説】



（砂防関係施設点検要領（案）に一部加筆）

図 3-1　点検の流れ

砂防関係施設の点検は、定期点検、臨時点検および詳細点検の 3 種類に区分されている。表 3-1 にそれぞれの概要（目的、頻度、方法）を示す。なお、鋼材を用いた砂防施設の点検は、構造的な特徴を理解して点検する必要がある。

表 3-1　点検の種類と概要

点検の種類	目 的	実施時期(頻度)	実施方法
定期点検	砂防関係施設の漏水・湧水・洗掘・亀裂・破損・地すべり等の有無などの施設状況及び施設に直接影響を与える周辺状況について点検する。	点検計画に基づき実施する。	・目視点検等を基本とする。 ・点検結果は点検個票にそれぞれとりまとめる。 ・施設の種類ごとに点検項目を定めるものとする。
臨時点検	出水や地震時などによる砂防関係施設の損傷の有無や程度及び施設に直接影響を与える周辺状況を把握、確認する。	出水時や地震時などの事象の発生直後の出来るだけ早い時期に実施する。	定期点検に準ずる。
詳細点検	定期点検や臨時点検ではその変状の程度や原因の把握が困難な場合に実施する。	必要に応じて実施する。	必要に応じその状況に適応した計測、打音、観察などの方法で確認するものとする。

（砂防関係施設点検要領（案）より引用）

3.2 鋼材を用いた砂防施設の点検時の留意事項

鋼材を用いた砂防施設の点検実施時にあたっては、変状の発生原因等に留意して点検する。

【解説】

鋼材を用いた砂防施設の機能・性能に影響を及ぼす変状の種類のうち、全体変形、部材変形、中詰材の流失および腐食等の発生原因等に留意して点検する。

⑴定期点検・臨時点検

定期点検および臨時点検時は、砂防関係施設点検要領（案）に基づいて行うものとするが、目視点検によって、変状レベルが判断できる点検項目については、本マニュアルの評価基準を用いることができる。

⑵詳細点検

詳細点検は、定期点検および臨時点検時において、施設全体の変位や、部材の変形、破損、凹み等の変状が確認されるが、定期・臨時点検だけではそれら変状の程度や原因の把握が困難な場合に実施し、変状レベルの判定と健全度の判断に資するものである。本マニュアルは主として詳細点検に用いられることを想定している。

表 3-2 鋼材を用いた砂防施設の点検時の留意点

点検の種類	点検時に確認するポイント	施設周辺の状況確認
定期点検 （目視）	● 全体変形状況 ● 部材変形 ● 中詰材の流失 ● 腐食等 ● 基礎等の洗掘 ● コンクリート部の摩耗、ひび割れ	● 施設近傍の崩壊・落石の有無 ● 施設上下流の土砂・流木の状況 ● 堆積の状況 ● 河床低下・異常堆積の有無
臨時点検 （目視）	● 出水や地震時などによる砂防施設の損傷の有無や程度 ● 施設に直接影響を与える周辺状況の把握、確認	● 堆積の状況 ● 河床低下・異常堆積の有無
詳細点検	● 変形(垂直、水平) ● 部材(凹み、脱落) ● 継手(開口、ボルト欠落) ● コンクリート摩耗・洗掘 ● 基礎地盤の洗掘 ● 腐食(水質・土壌影響) ● 中詰材の沈下・流失 ● 異常漏水	● 施設近傍の崩壊・落石の有無 ● 施設上下流の土砂・流木の状況 ● 堆積の状況 ● 河床低下・異常堆積の有無 ● 堆砂地の礫・流木調査

(i) 全体変形

水通しや袖部の変形は、土石流や礫の衝突や鋼材の脱落・破断や漏水に伴って中詰材が流失した場合、もしくは地すべりや地盤沈下によって地盤が沈下した場合、鋼材を用いた砂防施設の下流側が流水によって大きく洗掘された場合等に発生する。このため、土石流の発生の有無に加え鋼材の

脱落により鋼材間隔が中詰材の平均礫径を超えていないか、漏水が濁っていないか、もしくは側岸の地すべりや下流側洗掘が発生していないか等に注意する必要がある。

（ii）部材変形

鋼材の変形は土石流や側岸からの落石等によって発生しやすく、特に巨礫や流木の衝撃が作用した場合に生じやすいと考えられる。そのため、上流域に新規の崩壊や渓岸の地すべり土塊の押し出しが存在する場合や、設計時に想定していた規模を超える巨礫や流木が対象施設周辺に存在する場合には注意する必要がある。

（iii）中詰材の流失

沈下と同様、中詰材の流失は主に鋼材の脱落・破断や漏水によって生じる。また、中詰材がソイルセメントの場合は他の中詰材料と比べ直ちに流失しにくい。このため、中詰材の種類について確認するとともに、鋼材の脱落により鋼材間隔が中詰材の平均礫径を超えていないか、漏水が濁っていないか、に注意する必要がある。

（iv）腐食等

腐食は地際や水際など、乾湿を繰り返し受ける箇所において発生しやすく、点検時はこれらの部位について特に注意して観察する必要がある。また、火山ガスの放出が顕著な火山地域や、酸性河川（特に pH4 以下）等の特殊条件下においては、腐食の進行が顕著となる場合がある。

3.3 詳細点検の基本

詳細点検は、定期点検時及び臨時点検時にへこみや損傷等の異常が発見された場合に、変状を定量的に把握する目的で実施する。

【解説】

詳細点検は、鋼材を用いた砂防施設の損傷程度やその原因の特定、施設機能の低下状況を把握する目的で行う。目視では変状レベルの判断がつかないような場合に実施する点検で、変状の種類によりその方法が異なる。

詳細点検では、変状の形状や程度等を各種測定器や鋼尺、コンベックス等を用いて計測する他、写真等に記録する。その実施方法については 3.5 に示す。

3.4 詳細点検の項目

施設点検の項目は、被災事例やその構造的な特徴を考慮し、部位ごとに定める。

【解説】

被災事例では、変形、継手部の開口、ボルトの欠損、底版コンクリート下流の洗掘、腐食、摩耗等が報告されている。点検は、これらの異常の有無およびその程度を把握することを目的に、必要な点検項目について行う。点検の項目は、定期点検・臨時点検のように目視によるものを基本とするものと、詳細点検・詳細調査のように特殊な計測を必要とするものがある。

点検項目を以下に示す。

(1) 堰堤工（鋼製）

表 3-3　砂防堰堤工（鋼製）点検項目一覧表（本堤および副堤・垂直壁）

部位	形式	項目	部位	形式	項目
越流部	透過型	鉛直変位	非越流部	コンクリート不透過	ひび割れ*
		水平変位			破損
		凹み			漏水*
		鋼材の脱落		鋼製不透過	鉛直変位
		ボルトの欠損			水平変位
		継手部の開口			鋼材の変形・破損
		底版コンクリートの摩耗			鋼材の脱落
		底版コンクリートの下流洗掘			ボルトの欠損
		鋼材の腐食等			継手部の開口
	不透過型	鉛直変位			中詰材の流失
		水平変位			鋼材の腐食等
		鋼材の変形・破損			基礎部洗掘
		鋼材の脱落			
		ボルトの欠損			
		継手部の開口			
		中詰材の流失			
		鋼材の腐食等			
		基礎部洗掘			
		水通し天端の摩耗			

＊砂防関係施設点検要領（案）に準ずる

表 3-4　砂防堰堤工（鋼製）点検項目一覧表（前庭保護工のうち水叩き・側壁）

部位	材料	項目	部位	材料	項目
水叩き工	コンクリート	ひび割れ*	側壁工	コンクリート	ひび割れ*
		破損			破損
		漏水*			漏水*
		下流側の洗掘*			基礎の洗掘*
	鋼製	鉛直変位		鋼製	鉛直変位
		水平変位			水平変位
		鋼材の変形・破損			鋼材の変形・破損
		鋼材の脱落			鋼材の脱落
		ボルトの欠損			ボルトの欠損
		継手部の開口			継手部の開口
		中詰材の流失			中詰材の流失
		鋼材の腐食等			鋼材の腐食等

＊砂防関係施設点検要領（案）に準ずる

(2) 護岸工（鋼製）

表 3-5　護岸工（鋼製）点検項目一覧表

部位	材料	項目
本体	鋼製	鉛直変位
		水平変位
		鋼材の変形・破損
		鋼材の脱落
		ボルトの欠損
		継手部の開口
		中詰材の流失
		鋼材の腐食等
		基礎部洗掘

(3) 施設周辺の状況

表 3-6　施設周辺の点検項目一覧表

部位	項目
堰堤の周辺状況	流水の pH 値
	火山ガスの有無
	施設周辺の状況（崩壊・地すべり、落石等）
	上流域の荒廃状況（土石流発生頻度）
	堆積土砂の礫径、流木長・径
	下流側の洗掘状況

3.5 詳細点検の計測方法

詳細点検にあたっては、変状の観察および計測方法を定め、点検者による測定誤差のないように留意する必要がある。

【解説】

以下に変状ごとの計測方法の事例について具体的に示す。

3.5.1 計測に用いる資材

変形量の計測に用いる機材としては、マグネットスタンド、水糸、デジタル傾斜計、アルミスタッフ、コンベックスまたは鋼尺、下げ振りなどが挙げられる。

写真 3-1　変形計測に用いる道具（左；マグネットスタンド、水糸、右；デジタル傾斜計）

3. 5. 2 全体変形

（1）透過型

(i) 鋼管が鉛直の場合

下げ振りを用い、鋼材と下げ振りとの離隔を計測し、変形量を把握する方法を標準とする。この場合、測点は 50cm 間隔に設ける。また、大きな変位が認められない場合には、デジタル傾斜計での測定で良い。鋼管が鉛直の場合の測定の一例を作業手順に沿って次に示す。

①下げ振りの設置

フレーム交点（基準点）にマグネットスタンドを設置し、水糸の先に取り付けた下げ振りを垂らす。

写真 3-2　下げ振りの設置

②下げ振りによる傾き確認

基準点~地際まで 50cm 間隔で鋼材と水糸との離隔をコンベックス、鋼尺等で計測する。

写真 3-3　傾き測定状況（左；全景、右；計測）

※高さ 2m 以上の場合の測定は、安全作業を考慮した足場等を設置すること。

(ii) 鋼管が傾斜している場合

鋼管が傾斜した構造の場合は、デジタル傾斜計による計測を基本とするが、下げ振りを用いた計測でも良い。

(a) デジタル傾斜計による計測

柱鋼材の角度をデジタル傾斜計やスラントを用いて計測する（柱鋼材の頂部の開き角度はそれぞれの構造物で定められており、角度を計測すれば変形量の定量的把握が可能となる）。

①傾斜計等の設置

鋼材に対し水平方向にデジタル傾斜計またはスラントを設置する（写真 3-4）。

写真 3-4　デジタルスラントの設置

写真 3-5　傾きの計測

②傾きの確認

デジタル傾斜計またはスラント等に表示される傾きを確認する（写真 3-5）。

(b) 下げ振りを用いた計測

頂部に下げ振りを設置して、下げ振りと横鋼材中央のフランジ継手部中心との離隔を計測する。

①下げ振りの設置

上部にマグネットスタンドを設置し、水糸の先に取り付けた下げ振りを垂らす。

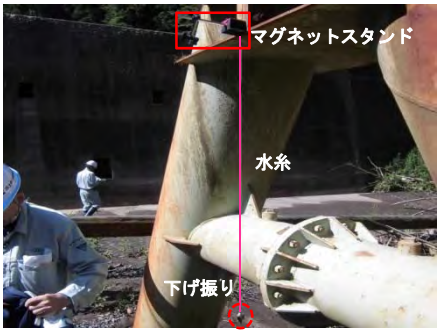


写真 3-6　下げ振りの設置

②傾きの確認

横材中央のフランジ継手部と水糸の位置を確認し、水糸と継手部のセンターの離れをコンベックス等で計測する。

※高さ 2m 以上の場合の測定は、安全作業を考慮した足場等を設置すること。

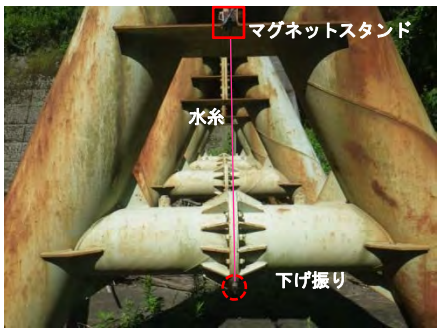


写真 3-7　傾きの計測

（2）不透過型

(i) 枠

枠構造の施設は、地すべり地帯等の地盤の変化量が大きい箇所に設置される場合が多いことから、変位量測定は水平方向と鉛直方向について実施する。水平方向の変位量については基線（水通し肩と袖端部）を設けて水糸を張り、水糸と堤体の離隔を測定する。鉛直方向の変位量については、水糸を垂み無く張ることが困難であることから、レベル等の測量機器により相対高さを測定する。

①作業準備

天端の清掃（天端が植生で覆われている場合、水通し肩から根入れ部まで見通せるように伐開※を行う(写真 3-8)。

※草本類の伐開は、砂防設備内での実施を原則とし必要最小限とする。

写真 3-8　清掃後の天端状況と水糸の設置

②－１　測定作業（水平変位）

水通し肩、および袖端部の上流側２ヶ所にマグネットスタンドを水平に設置する（写真 3-9)。マグネットスタンド間に水糸を張る。

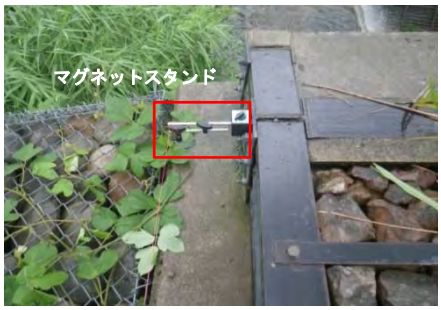


写真 3-9　水糸の設置（端部）

柱フレーム部（2m 間隔）において、水糸と鋼材との離隔を計測することで､水平方向の変位量を把握する(写真 3-10)。

写真 3-10　水平変位の計測

②－２　測定作業（鉛直変位（沈下））

計測部全体を見渡せる箇所にレベルまたはトータルステーションを据付け、柱フレーム部（2m 間隔）にアルミスタッフを立て、鉛直方向の変位量を計測する（写真 3-11)。

写真 3-11　鉛直変位の計測

(ii) 直立壁面材

セル構造(鋼板セル、鋼矢板セル)などで用いられている直立壁面材については、壁面材が分割されているため、構造物全体の変形の測定は下げ振りを用いることを原則とする。測定は、上端部と底部の 2 箇所を測定し、両者の離隔の差と高さから変形量を推定する。

また、変形が一様でない（高さ毎の傾きの変化が大きい）場合は、下げ振りによる測定の補足として、デジタル傾斜計等を用いてもよい。その場合、地上から計測箇所までの高さが 2m以上となる場合には足場等の安全対策を実施する。

①作業準備

計測するセル躯体のうち、上下流に最も張り出した 2 点に計測点を設定する。なお、透過型で目視により左右への傾倒が確認される場合は、左右方向にも 2 点計測点をとり、計 4 点で実施する。

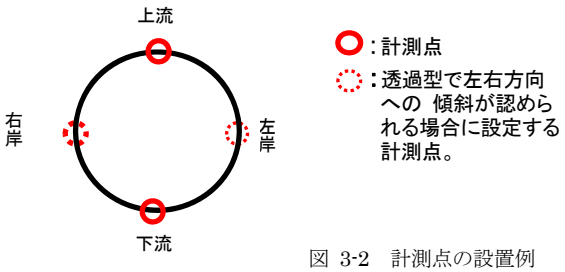


図 3-2　計測点の設置例

②－１測定作業（下げ振りによる傾倒の計測）

・天端よりアルミスタッフの先に設置した下げ振りを垂らす（写真 3-12)。

（写真 3-12 では天端下流側の計測点から 100cm 先に下げ振りを設置している。）

写真 3-12　下げ振りの設置(鋼矢板セル)

写真 3-13　傾きの計測(鋼矢板セル)

・コンベックス等で地表付近との開きを確認することで、傾倒度合いを判断する（写真 3-13)。

（写真 3-13 では 104cm となっているため、天端が 4cm 下流側に傾倒していることが分かる。）

②－２測定作業（デジタル傾斜計等による傾倒の計測）

・スラントやデジタル傾斜計を用いて壁面材の傾きを把握することで値の妥当性を把握する（写真 3-14)。(写真 3-14 では下流方向に約 1.0 度オーバーハングする傾きが捉えられおり、下げ振りによる傾きと整合している。)

写真 3-14　傾きの計測(鋼矢板セル)

(iii) 傾斜壁面材

ダブルウォール構造(鋼矢板、エキスパンド)などで用いられている傾斜壁面材については、下げ振りを用いた測定は実施できないため、デジタル傾斜計を用いる方法を原則とする。

なお、変形が一様でない（高さ毎の傾きの変化が大きい）場合で、地上から高さ 2m以上の箇所の測定が必要となる場合には足場等の安全対策を実施する。

3. 5. 3 部材変形

（1）透過型

(i) 鋼管のへこみ

へこみ量調査は、へこみが確認された部位について、鋼管に水糸を張り、水糸からの値を読み取るものとする。なお、鋼管の変形により直接測定が不可能な場合には、水糸が鋼管に干渉しない位置までずらし（逃げ）、へこみ量を測定するものとする。

また、位置、へこみ量、長辺、短辺を調査シートに記入し、写真撮影を行う。

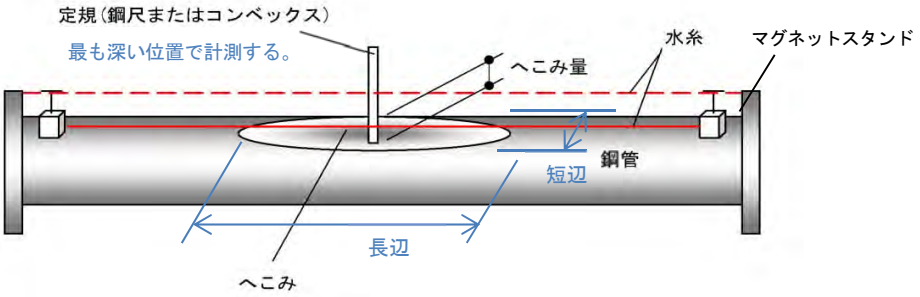


図 3-3　へこみ量調査模式図

写真 3-15　へこみ量調査実施状況（左；全景、右；変状部拡大）

写真 3-16　へこみ計測に用いる道具（マグネットスタンド 2 個、水糸）

(ii) 継手部の開口

フランジの開きが確認された箇所については、その開き幅を測定する。測定は、コンベックス等を用い、位置および測定値を調査シートに記入し、写真撮影を行う。

写真 3-17　円形フランジ継手部の開口調査（開き量左；55mm、右；20mm）

写真 3-18　角形フランジ継手部の開口調査（開き量右 3mm）

(iii) ボルトの欠損

フランジ接合等に用いるボルトの破断本数を目視で調査し、破断位置、本数について調査シートに記入し、写真撮影を行う。

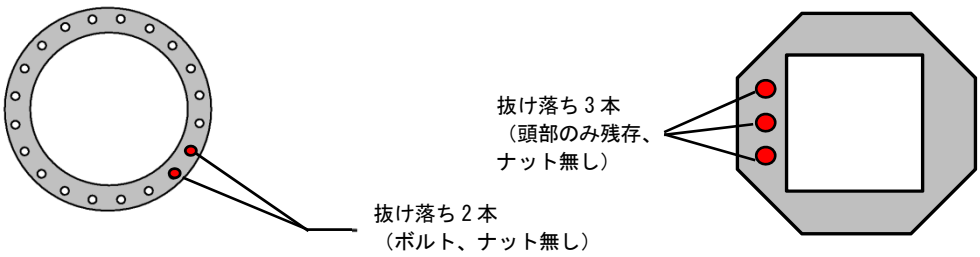


図 3-4　ボルトの欠損調査

(iv) 擦痕

擦痕は、擦痕が生じた部位および箇所（底版コンクリートからの距離等）を把握した上で、コンベックスや鋼尺等を用いて長さ、幅、深さを用いて計測し、記録する。

写真 3-19　上流側部材の擦過痕（鋼製砂防構造物設計便覧 H21 版　p.49 より引用）

(v) 摩耗

摩耗の計測方法は、局所的な摩耗であれば上記 3.5.3 （1）(iv) の擦痕の計測方法と同様に計測できる。一方、面的な摩耗であれば、3.5.8 で示す板厚計測を実施する。

(2) 不透過型

(i) ボルトの欠損

ボルトが欠損している場合、部材の機能が喪失している可能性がある。そのため、鋼管のフランジ部と同様の方法でボルトの破断位置と本数について調査シートに記入する。

写真 3-20　ボルトの欠損

(ii) 継手部の開口（継手部・継目部の開き）

鋼矢板継手部・継目部の開きや壁面材の亀裂が生じている場合、中詰の種類によっては中詰材が流失する可能性がある。そのため、目視によって開き、亀裂が確認される場合は、位置と開き幅を計測し、中詰材の種類とともに調査シートに記入する。

写真 3-21　継手部（合せ目）の開き事例
(鋼矢板ダブルウォール)

3.5.4 コンクリートの摩耗

（1）透過型

透過型堰堤では、主に底版コンクリート部に見られる。摩耗が生じた部位および箇所を把握した上で、ポールやアルミスタッフ（広範囲に及ぶ場合はトータルステーション等）を用いて長さ、幅、最も深くなる箇所で深さを用いて計測し、記録する。

（2）不透過型

不透過型堰堤では、主に水通し部の天端コンクリートに見られる。摩耗が生じた部位および箇所を把握した上で、ポールやアルミスタッフ（広範囲に及ぶ場合はトータルステーション等）を用いて長さ、幅、最も深くなる箇所で深さを用いて計測し、記録する。

3.5.5 基礎部洗掘

（1）透過型

透過型堰堤では、主に底版コンクリート直下で見られる。洗掘が生じた部位および箇所を把握した上で、ポールやアルミスタッフ（広範囲に及ぶ場合はトータルステーション等）を用いて長さ、幅、最も深くなる箇所で深さを計測し、記録する。

写真 3-22　透過型砂防堰堤における下流部の洗掘状況

（2）不透過型

不透過型堰堤では、主に前庭保護工直下で見られる。洗掘が生じた部位および箇所を把握した上で、ポールやアルミスタッフ（広範囲に及ぶ場合はトータルステーション等）を用いて長さ、幅、最も深くなる箇所で深さを計測し、記録する。

3.5.6 天端の沈下

不透過型砂防堰堤において天端部の沈下が見られる場合は、沈下が生じた部位および箇所を把握した上で、ポールやアルミスタッフを用いて長さ、幅、最も沈下が著しい箇所で深さを計測し、記録する。

写真 3-23　天端沈下状況の測定例

3. 5. 7 中詰材の流失

被災・流失箇所の位置、規模（延長、高さ、幅）や中詰材の種類について、現地もしくは図面から計測・判断し、記録する。この場合、中詰材がソイルセメントの場合は流失しにくいので、中詰材の種類も重要である。

写真 3-24　不透過型砂防堰堤（枠）の被災による中詰材の流失状況

3. 5. 8 鋼材の腐食等

（1）計測の対象とする腐食等の程度

軽度もしくは重度の変状を対象とし詳細点検（板厚計測）を実施し、減厚量と許容減厚量（腐食しろ＋余裕しろ）の関係を把握する。計測が不要と判断される軽微な事例、および計測が必要と思われる軽度もしくは重度の事例について写真 3-25～写真 3-27 に示す。

（i）軽微：塗装が部分的に剥がれているものや、全体的に腐食が発生しているが、鋼材の剥離や鋼材の膨張を伴わない変状を指す。

写真 3-25　軽微（左；透過型、右；鋼矢板ダブルウォール）

（ii）軽度：地際部に多く見られる鋼材の表面に薄層の剥離や、水際などで多く見られる不規則な粒上の腐食（ディンプル状の腐食）を伴う変状を指す。

写真 3-26　軽度（鋼矢板ダブルウォール）

（iii）重度：鋼材の腐食が表面だけでなく内部まで進行し、層状に剥離し重なった変状（ウエハース状）や、腐食により鋼材に穴が開いた変状（孔食）を指す。

写真 3-27　重度（不透過型）

(2) 計測の方法

板厚計測は、鋼材の腐食等による減厚が疑われる場合に実施し、鋼材表面に付着している錆びや塗装等をグラインダー等により落とし、地金を露出させた後、超音波板厚計を用いて測定することを基本とする。実施に当たっては以下の点について留意する。

①部位により厚さが異なる場合がある。

②許容減厚量（腐食代+余裕しろ）については、これまでの鋼製砂防構造物設計便覧の改定に伴いその考え方が変更されていることから、設計当時の便覧を参考とする（表 3-7 参照）。

③板厚は、JIS 規格の範囲内での増減があるため、設計板厚と同値でない場合がある。

表 3-7　許容減厚量に関する基準値の変遷

<table>
<tr><th>発行年度</th><th>許容減厚量の基準値</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>昭和 60 年版</td><td>さび代＝片面 1.5mm</td><td></td></tr>
<tr><td>昭和 62 年版</td><td>さび代＝片面 1.5mm</td><td></td></tr>
<tr><td>平成 5 年版</td><td>
<table>
<tr><th>型式</th><th>名称</th><th>部材</th><th>腐食しろ</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>不透過型</td><td>枠構造等</td><td>主要部材</td><td>1.5 ㎜</td><td>耐摩耗性材料で被覆</td></tr>
<tr><td rowspan="5">透過型</td><td>格子形・B 型</td><td>上流側最前列部材</td><td>5.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>格子形・B 型</td><td>その他主要部材</td><td>3.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>A 型</td><td>主要部材</td><td>5.0 ㎜</td><td>土石流区域単独設置</td></tr>
<tr><td>A 型</td><td>主要部材</td><td>3.0 ㎜</td><td>副ダム等に設置</td></tr>
<tr><td>共通</td><td>継手材等</td><td>1.5 ㎜</td><td></td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>平成 13 年版</td><td>
<table>
<tr><th>型式</th><th>名称</th><th>部材</th><th>腐食しろ</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>不透過型</td><td>枠構造
ダブルウォール等</td><td>主要部材</td><td>1.5 ㎜</td><td>衝撃や摩耗のおそれがある場合は耐摩耗性材料で被覆</td></tr>
<tr><td rowspan="3">透過型</td><td rowspan="3">骨組構造</td><td>上流側最前列部材</td><td>5.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>その他主要部材</td><td>3.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>継手材等</td><td>1.5 ㎜</td><td></td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>平成 21 年版</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">流下形態</th><th rowspan="2">型式</th><th rowspan="2">部位</th><th rowspan="2">腐食しろ
*1)
(片面)</th><th colspan="2">余裕しろ</th></tr>
<tr><th>通常</th><th>緩和条件</th></tr>
<tr><td rowspan="6">土石流</td><td rowspan="4">透過型</td><td>最上流部材</td><td rowspan="6">0.5 ㎜</td><td>3.5 ㎜</td><td>他に対策を施した場合
1.5 ㎜</td></tr>
<tr><td>底版近傍の部材</td><td>1.0 ㎜</td><td>－</td></tr>
<tr><td>継手部材</td><td>0.0 ㎜～3.5 ㎜</td><td>礫の衝突頻度、部材配置及び重要度による</td></tr>
<tr><td>その他部材</td><td>3.5 ㎜</td><td>他に対策を施した場合
1.5 ㎜</td></tr>
<tr><td rowspan="2">不透過型</td><td>最上流部材</td><td>0.0 ㎜～3.5 ㎜</td><td>礫の衝突頻度、部材配置及び重要度による</td></tr>
<tr><td>その他部材</td><td>1.5 ㎜</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="6">掃流</td><td rowspan="4">透過型</td><td>最上流部材</td><td rowspan="6">0.5 ㎜</td><td>－</td></tr>
<tr><td>底版近傍の部材</td><td>1.0 ㎜</td><td>－</td></tr>
<tr><td>継手部材</td><td>0.0 ㎜～1.5 ㎜</td><td>礫の衝突頻度、部材配置及び重要度による</td></tr>
<tr><td>その他部材</td><td>0.0 ㎜～1.5 ㎜</td><td>流水に含まれる砂礫の摩耗を受ける可能性のある箇所</td></tr>
<tr><td rowspan="2">不透過型</td><td>最上流部材</td></tr>
<tr><td>その他部材</td></tr>
</table>
＊1）ただし、取り替え可能な部材については、腐食しろを見込まなくてもよい。
</td><td></td></tr>
</table>

鋼製砂防構造物設計便覧（昭和 60、62、平成 5、13、21 年版）より

実施方法は、まず塗装が残存しているなど健全と考えられる部位を計測することで初期値を取得する。この際、設計上の初期値が分かる場合は必ず両者を照合した上で妥当な値であることを確認する。続いて減厚が疑われる部位の計測を実施することで残存板厚値を得る。初期値から残存板厚値を差し引くことで減厚量を算出し、減厚量と許容減厚量（腐食しろ＋余裕しろ）とを比較することで修繕の必要性の有無を判断する。

計測に用いる道具・機器類は以下に示す通りである。

写真 3-28　板厚・膜厚計測に用いる道具・機器類

（左から　グラインダー、接触媒質、超音波厚さ計、膜厚計、スポンジたわし、霧吹き、ステンレススクレーパ）

なお、点検後の測定箇所におけるタッチアップ（再塗装）は不要とする。

（3）計測の位置

（i）鋼管フレーム

鋼管は通常の場合、常時流水に曝されている上流側脚部において錆びの進行が速いことから、測定箇所は上流側の底版コンクリートから高さ 0.5m、1.0m の位置で実施する。また、目視によって他に著しい腐食の生じている箇所が確認される場合は別途測定する。

酸性河川ではさらに底版コンクリート上面または流水面から 10cm 程度の箇所を測定位置として追加する。

（ii）枠

著しい腐食の生じている部材について実施する。

（iii）セルおよびウォール

下流面の常時流水に曝されている水叩き上面または地際から高さ 0.5m、1.0mの位置で実施する。測定箇所は下流側を原則とするが、腐食が著しい場合は上流側でも実施する（写真 3-29）。

写真 3-29　鋼矢板ダブルウォール

（4）塗膜量計測

塗膜量計測は、亜鉛メッキやジンクリッチプライマー、エポキシ樹脂塗料などの重防食処理が変色している場合など、その減少が疑われる場合に実施し、膜厚計を用いて実施する。膜厚は、設置時の膜厚値と計測値との比較によって、膜厚減少の有無を判断する。

膜厚計による計測手順は以下の通りである。

① 計測面の清掃（白錆等の除去）

スポンジたわしおよび霧吹きにより、測定箇所表面を清掃する（写真 3-31）。

写真 3-30 計測前の状況(鋼矢板セル)

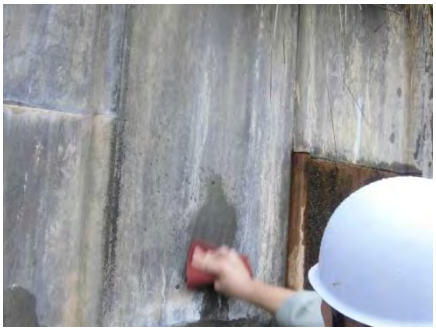


写真 3-31 計測面の清掃(鋼矢板セル)

②膜厚計による計測

清掃完了後、塗膜計により膜厚を測定する（写真 3-32）。

（写真 3-32 では 179μm＝0.17mm であり、公称厚さ 0.07mm を大きく上回るため、めっきが十分に残存しているものと判断される。）

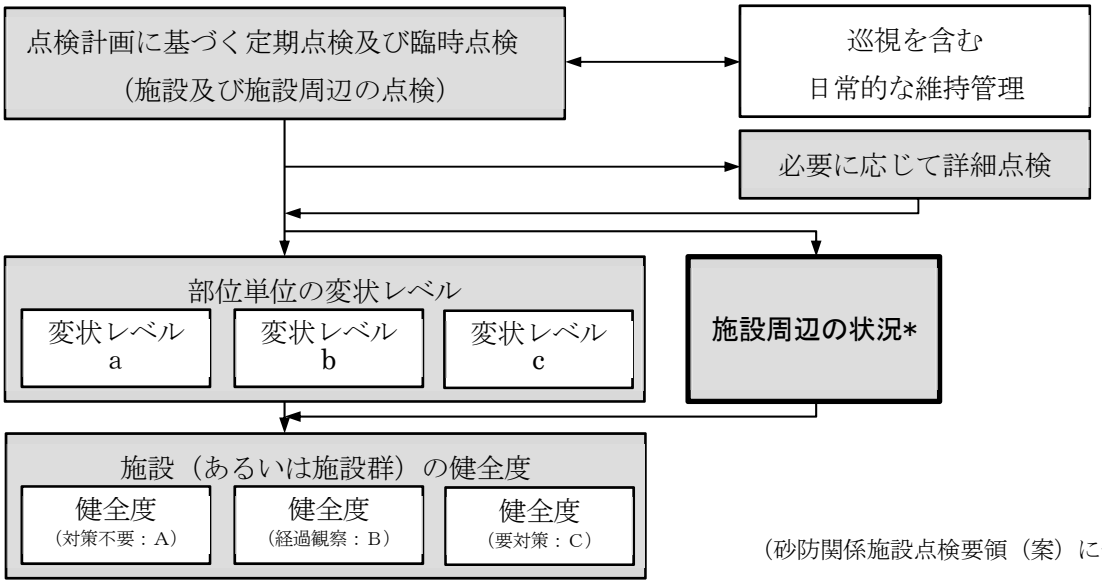
なお、点検後の測定箇所におけるタッチアップ（再塗装）は不要とする。

写真 3-32 膜厚計による計測(鋼矢板セル)

3.6 施設周辺の状況の点検

施設周辺の状況の点検は、「砂防関係施設点検要領（案）」に基づいて実施する。鋼材を用いた砂防施設の点検に当たっては、施設の状態を点検すると同時に、今後施設に影響を及ぼすと思われる施設周辺の崩壊・地すべりの発生、土砂流出状況などについても確認する。

【解説】



（砂防関係施設点検要領（案）に一部加筆）

図 3-5　点検の流れ

(1) 周辺の崩壊、地すべりの発生

砂防施設設置の際、施設の規模（高さ、幅）は上流域から発生・流下すると想定される土砂量および流木量を元に決定され、施設の断面形状（天端幅や上流側のり勾配）はそれらの量や礫径から求められる外力（土石流流体力や礫・流木による衝撃力）により決定される。

しかし、その後の崩壊・地すべりの発生によって量や外力が増大する可能性もあることから、上流域や施設周辺において新たに顕著な崩壊等が生じた場合は、崩壊等の延長、幅、推定深さを把握して地内に残存する土砂量および流木量を推定するとともに、渓床に堆積した新規の土砂・流木が顕著に認められる場合は、その延長、幅、深さを計測して量を推定する。

写真 3-33　上流域の崩壊状況（「鋼製砂防構造物」ガイドブック　砂防鋼構造物研究会編　p.111）

写真 3-34　上流域の地すべり発生状況

（2）堆積土砂の礫径、流木長・径

鋼材を用いた砂防施設設置の際、鋼材間隔等の決定のために礫径調査が実施されるが、その後の土砂流出によって設置時の礫径よりも大きな礫が施設上流に点在する場合がある。そこで、目視によって鋼材間隔と同規模かそれよりも大きい巨礫が確認された場合は、礫の 2 辺（横径、縦径）を計測し、記録しておく。

写真 3-35　礫径調査実施状況

写真 3-36　流木堆積状況

鋼材を用いた砂防施設上流側に流木が捕捉されている場合は、測定可能なもののうち大規模な流木の長さ（巻尺、メジャー等）と径（コンベックス等）を計測し、記録しておく。

（3）pH 値（水質の酸性度）測定

一般的に水質の酸性度が高い場合、鋼材は腐食のリスクが高まる。

鋼材を用いた砂防施設を設置する際、酸性度が強い（pH 値＜4）場合は、鋼材の重防食処理等がなされるが、火山活動の活発化等によって設置後に pH 値が変化する場合も想定される。

そこで、元々酸性度の高い箇所（火山地域等）において、目視によって腐食の進行が確認される場合は、詳細点検実施時に改めて pH 値を確認しておく必要がある。

写真 3-37　デジタル pH 計による流水の pH 測定状況

（4）ガス濃度測定

酸性水と同様、火山ガス（硫化水素、二酸化硫黄等）の濃度が高い場合、鋼材は腐食のリスクが高まる上、呼吸困難などの人体への強い影響が起きる可能性がある。そのため、火山ガスの放出が懸念される地域においては、ガス検知器を用いて硫化水素、二酸化硫黄の計測を行う。

例として、火山ガスの放出が続く三宅島のある東京都三宅支庁では火山ガスの注意報・警報の基準として、二酸化硫黄濃度によって下記の 4 段階のレベルを設定している。

表 3-8　東京都三宅村における短期的健康被害基準（二酸化硫黄濃度）
（東京都防災ホームページより引用）

レベル 1	0.2ppm 以上 0.6ppm 未満	二酸化硫黄に対して感受性の高い者が、二酸化硫黄を吸入すると、健康への影響を与えるおそれがある。 日頃から自覚症状がないかを確認し、発作などを未然に防ぐための注意が必要である。
レベル 2	0.6ppm 以上 2.0ppm 未満	二酸化硫黄に対して感受性の高い者は、健康又は生命に重大な影響を及ぼすおそれがある。 二酸化硫黄の吸入を少なくするための、行動をとることが必要である。
レベル 3	2.0ppm 以上 5.0ppm 未満	健康な者が、せきをしたり、目に違和感が生じたりするおそれがある。 健康な者に対して注意を呼びかけることが必要である。
レベル 4	5.0ppm 以上	健康な者に重大な影響を及ぼすおそれがある。 二酸化硫黄の吸入を少なくするための、行動をとることが必要である。

上記に従い、火山ガスの放出が懸念される地域において作業を実施する場合は濃度測定をリアルタイムで実施し、2.0～5.0ppm（高感受性者は 0.2～0.6ppm）ではガスマスクを着装し、5.0ppm（高感受性者は 0.6ppm）以上の二酸化硫黄が検出される場合、作業を中止してガスマスクを着装したまま安全な場所に避難する必要がある。

（5）中詰材

中詰材を有する構造の砂防堰堤の壁面材において、写真 3-38 に示すような腐食の事例が報告されている。当事例の場合、腐食箇所から流出した水からは、上流の河川水に比べ高濃度の硫酸イオンが検出されている。黄鉄鉱などのように、水・酸素と反応することで硫酸を生成する鉱物があることも知られている。

中詰土を使用した鋼材を用いた砂防施設において、腐食等の変状が見られた場合には、中詰土の化学組成についても留意する必要がある。特に、施設周辺において、鋼製の各種構造物に腐食が見られる場合には注意する必要がある。

写真 3-38　腐食箇所からの水に硫酸イオンが検出された鋼矢板セル壁面材

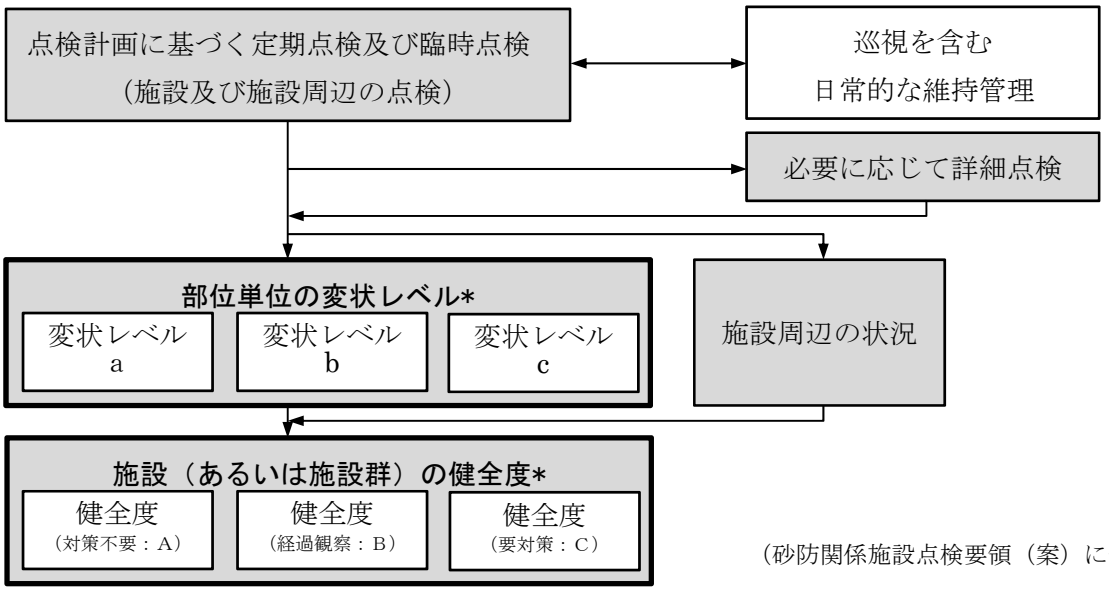
4. 健全度評価

4.1 鋼材を用いた砂防施設の健全度評価の考え方

施設の健全度評価は、定期点検及び必要に応じて実施される詳細点検等の結果に基づき、部位ごとの変状レベルを評価した上で（必要に応じ部位グループをまとめて変状レベルを評価する）、流域や地すべり地等の施設周辺の状況も踏まえ、施設あるいは施設群全体について総合的に健全度を評価する。

「砂防関係施設点検要領（案）　H31.3　国土交通省砂防部保全課」

【解説】



（砂防関係施設点検要領（案）に一部加筆）

図 4-1　点検の流れ

部位または部位グループ毎の変状レベルは、砂防関係施設点検要領に基づき a、b、c とするものとする。

個別施設の健全度の表記については、砂防関係施設点検要領に基づき対策不要を A、経過観察を B、要対策を C とそれぞれ表現する。

施設は多種にわたり、また、その構成材料も多様であることから、部位をおおまかに同じ工種ごとにまとめてグループ分けをして、その単位ごとの変状レベルを評価することが必要となる。

その上で、それらの各部位の変状レベルを総合的に考察するとともに、流域や地すべり地等の状況も踏まえ、施設全体としての健全度を評価する。なお、現場の条件によっては、個別の施設をさらに施設群としてまとめて、健全度を評価する場合もある。

鋼材を用いた砂防施設のうち、特に透過型については、コンクリート構造に比べ多くの部材から構成されており、その部材により求められる機能も異なる。健全度評価に際してはこの点についても留意する。

表 4-1　部位あるいは部位グループの変状レベル評価と表記

変状レベル	損傷等の程度	備考
a	当該部位に損傷等は発生していないもしくは軽微な損傷が発生しているものの、損傷等に伴う当該部位の性能の低下が認められず、対策の必要がない状態	
b	当該部位に損傷等が発生しているが、問題となる性能の低下が生じていない。 現状では早急に対策を講じる必要はないが、今後の損傷等の進行を確認するため、定期巡視点検や臨時点検等により、経過を観察する必要がある状態	
c	当該部位に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該部位の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態	

＊砂防関係施設点検要領（案）より抜粋

表 4-2　砂防関係施設の健全度評価と表記

健全度	損傷等の程度	表記
対策不要	当該施設に損傷等は発生していないか、軽微な損傷が発生しているものの、損傷等に伴う当該施設の機能及び性能の低下が認められず、対策の必要がない状態	A
経過観察	当該施設に損傷等が発生しているが、問題となる機能及び性能の低下が生じていない。 現状では早急に対策を講じる必要はないが、将来対策を必要とするおそれがあるので、定期点検や臨時点検等により、経過を観察する、または、予防保全の観点より対策が必要である状態	B
要対策	当該施設に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該施設の機能低下が生じている、あるいは当該施設の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態	C

＊砂防関係施設点検要領（案）より抜粋

4.2 部位の変状レベルの評価

砂防設備等の各部位の変状レベルの評価は、変状レベルに応じて評価する。

「砂防関係施設点検要領（案）　H31.3　国土交通省砂防部保全課」

【解説】

（1）点検・評価の項目

「砂防関係施設点検要領（案)」（平成 31 年 3 月、国土交通省砂防部保全課）では、変状レベルの評価項目を天端摩耗、ひび割れ、洗掘、漏水、変位変形、腐食、欠損としており、このうち鋼製部材における評価項目として、変位変形および腐食を参考として掲載しているのみである。

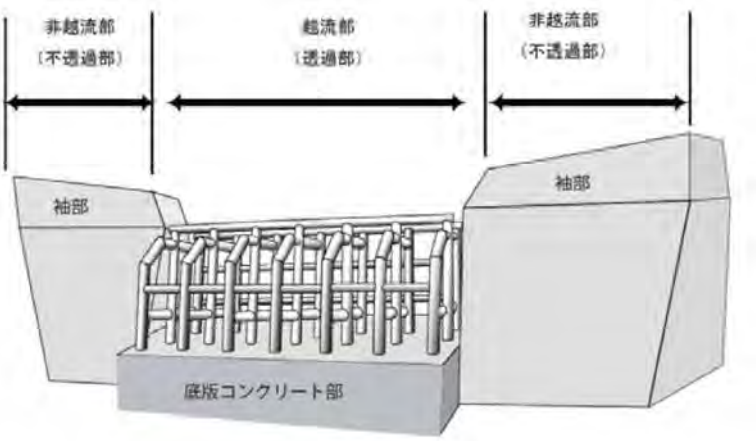
一方で、収集した変状事例を見ると、先に掲載された凹みなどの変位変形および部材の脱落、ボルトの欠損、継手部の開口、底版コンクリートの摩耗や下流洗掘などが見られた。変状事例を参考に、点検・評価項目についてとりまとめ表 4-3 に示す。

表 4-3　点検・評価項目対比表

	「砂防関係施設点検要領（案)」による 砂防設備の評価項目	本マニュアルによる 主に鋼材を用いた砂防施設の評価項目
鋼製部材	○変位変形	○全体変形 ○変位変形 ○鋼材の破損 ○鋼材の脱落 ○継手部の開口 ○ボルトの欠損
	○腐食	○鋼材の腐食等
コンクリート等	○洗掘	○底版コンクリート下流洗掘 ○基礎部洗掘
	○天端摩耗	○水通し天端の摩耗 ○底版コンクリートの摩耗
	○ひび割れ	
	○漏水	
		○中詰材(中詰礫、中詰土砂)の流失
周辺状況	○地山地盤の変位等 ○土石流等の痕跡 ○流域の荒廃状況	○地山地盤の変位等 ○土石流等の痕跡 ○流域の荒廃状況

また、砂防堰堤の場合では、本堤基礎、水通し部、本体、袖部、前庭部の部位に区分し、それぞれの部位の変状レベルを評価した上で､該当砂防堰堤の総合的な健全度を評価することとしている。

鋼材を用いた砂防施設の部位の考え方については、基本的にこれに準ずるものとする。



砂防関係施設点検要領（案）より抜粋

図 4-2　鋼製透過型砂防堰堤の部位の名称

（2）変状レベルの設定

先に示した評価項目は、変位変形や腐食等など定量的に計測できるものと、鋼材の脱落やボルトの欠損など「ある」「なし」といった点検結果となるものがある。

各変状について、対象とする砂防設備の損傷や機能・性能の有無を考慮の上、鋼製砂防構造物設計便覧や既往文献等から閾値を設定できる評価項目については閾値を、そうでない項目については「ある」「なし」で変状レベルを設定した。

各項目のうち、詳細点検で計測を伴う項目の変状レベルの内容について以下に示す。

(i) 透過型

① 変位変形（中空鋼管）

鋼管の凹みの程度と鋼材の耐力の程度から、鋼管径の凹みが鋼管径に対して 10%、40%を閾値とし変状レベルを設定した。なお、変状レベルｂについては、次に来襲する土石流に対して期待する機能を発揮できるかどうかを判断する場合、別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。

②変位変形（コンクリート充填鋼管）

実験の結果から得られる撓み変形角と CFT 鋼管の残存吸収エネルギーの関係から、撓み変形角が 2°、5°を閾値として変状レベルを設定した。なお、変状レベルｂについては、次に来襲する土石流に対して期待する機能を発揮できるかどうかを判断する場合、別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。

③底版コンクリートの摩耗

鋼製部材の安定性および構造物の安定性から変状レベル設定した。

④鋼材の腐食等

これまでの鋼製砂防構造物設計便覧で示された許容減厚量（余裕しろ+摩耗しろ）のうち、最も条件の厳しい 1.5mm を閾値とし変状レベルを設定した。

(ii) 不透過型

①全体変形（水平変位、セルおよびウォール）

与田切セル堰堤群の事例のうち、損傷形態がせん断変形の場合に設定された高さの 2%、4%を閾値とし変状レベルを設定した。なお、変状レベル b については、次に来襲する土石流に対して期待する機能を発揮できるかどうかを判断する場合、別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。

②全体変形（鉛直変位、枠）

製品ごとの性能試験結果から得られた変形を許容できる変位量のうち、最も厳しい値である 1 スパン当たり 15cm を閾値とし変状レベルを設定した。

③全体変形（鉛直変位、ウォール）

タイロッドの応力度とたわみ量の関係から、中詰材の沈下量 15cm、30cm を閾値とし変状レベルを設定した。

④全体変形（鉛直変位、セル）

壁面材や水抜き管等部材の変形の有無や壁面材の最小部材長、セル構造の閾値を参考に、15cm、50cm を閾値とし変状レベルを設定した。

⑤鋼材の腐食等

これまでの鋼製砂防構造物設計便覧で示された許容減厚量（余裕しろ+摩耗しろ）のうち、最も条件の厳しい 1.5mm を閾値とし変状レベルを設定した。

以上と定期、臨時点検から判断する項目を合わせ表 4-4 および表 4-5 に示す。

また、表 4-6～表 4-27 には、設定した評価基準に該当する参考事例を写真または模式図で紹介した。

表 4-4　鋼製砂防堰堤の変状レベルの評価基準（透過型）

項目		変状レベル a 軽微な損傷	変状レベル b 損傷あるが機能・性能低下に至っていない	変状レベル c 機能・性能低下あり	備考
（中空鋼管）変位変形	評価（閾値）	なし～鋼管径に対する鋼管の凹み 10%未満	鋼管径に対する鋼管の凹み 10%以上～40%未満	鋼管径に対する鋼管の凹み 40%以上	
	技術的根拠	中空鋼管の鋼管径の凹みが鋼管径に対して 10%未満の場合は、断面係数の低下率が 5%以内であり、ほとんど無視できるレベルであるため。	10%以上 40%未満の場合は別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。	中空鋼管の鋼管径の凹みが鋼管径に対して 40%以上の場合は、断面係数の低下率が 50%程度と大きい減少であり、設計荷重に対して抵抗できなくなるため。	
（コンクリート充填鋼管）変位変形	評価（閾値）	部材の撓み変形角が 2 度未満	部材の撓み変形角が 2 度以上 5 度未満	部材の撓み変形角が 5 度以上	
	技術的根拠	実験結果より撓み角 2°程度までは残存吸収エネルギーの低下が見られないため、変形角が 2°未満は変形を無視できるレベルであるとした。	2 度以上 5 度未満の場合は別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。	CFT 鋼管の静的終局限界を無損傷鋼管の残存吸収エネルギーの 60%とした場合の変形角は 5°であり、これ以上変形した場合は、設計荷重に対して抵抗できなくなるため。	
鋼材の脱落	評価（閾値）	なし	－	あり	注 1）
	技術的根拠	変状が確認された場合、設計・施工時の構造を維持できていないと判断できるため、”b”は該当なしとしている。			
継手部の開口	評価（閾値）	なし	－	あり	注 1）
	技術的根拠	変状が確認された場合、設計・施工時の構造を維持できていないと判断できるため、”b”は該当なしとしている。			
ボルトの欠損	評価（閾値）	なし	－	あり	注 1）
	技術的根拠	変状が確認された場合、設計・施工時の構造を維持できていないと判断できるため、”b”は該当なしとしている。			
底版コンクリートの摩耗	評価（閾値）	なし～10cm 未満	鉄筋が露出している、あるいは１０cm 以上の摩耗が確認される	ベースプレートが露出しているあるいは全体的に 1m 以上の摩耗が見られる	
	技術的根拠	ベースプレートが露出すると鋼材が不安定化する。また、ベースプレートは露出していないが、全体的な摩耗を受けた場合、施設の安定度を保てなくなる恐れがあるため。			
底版コンクリート下流洗掘	評価（閾値）	なし	洗掘はあるが基礎底面に達していない	洗掘が基礎底面に達している	注 1）
	技術的根拠				
鋼材の腐食等（擦痕・摩耗を含む）	評価（閾値）	減厚量が 1.5mm 未満	-	減厚量が 1.5mm 以上	
	技術的根拠	許容減厚量（腐食代+余裕しろ）については、これまでの鋼製砂防構造物設計便覧の改定に伴い考え方が変更されているが、最新の便覧（平成 21 年版）以前に建設されたものが半数以上になることもあり、それまでの最低値である 1.5mm を閾値とした。			

注 1)　定期・臨時点検により部位別変状レベルを判断する変状。

表 4-5　鋼製砂防堰堤の変状レベルの評価基準（不透過型）

項目		変状レベル a 軽微な損傷	変状レベル b 損傷あるが機能・性能低下に至っていない	変状レベル c 機能・性能低下あり	備考
全体変形（水平変位）枠	評価（閾値）	なし	全体変形あり＋部材の破損なし	全体変形あり＋部材の破損あり	注１）
	技術的根拠	－	枠構造は屈撓性があり自在性に富むことから、部材の破損（鋼材の割れ、部材のはずれ、ボルト脱落等）があれば、中詰材が流失する可能性があり、堤体の安定性の低下が懸念される状態である。	部材の破損(鋼材の割れ、部材のはずれ、ボルト脱落等)があれば、中詰材が流失する可能性がある。	
全体変形（水平変位）セル・ウォール	評価（閾値）	なし～高さの2%未満	高さの2%以上4%未満*	高さの4%以上	*2%以上4%未満の場合は別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる
	技術的根拠	与田切セル堰堤群の事例のうち、損傷形態がせん断変形の場合の測定値の目安を参考とした。			
全体変形（鉛直変位）枠	評価（閾値）	なし	～1スパン当たり15ｃｍ未満	1スパン当たり15cm以上	
	技術的根拠	－	接合部の工夫により､1スパン当たり15cmの自在性があることから、変位量が15cm未満であれば部材強度に問題は生じない。	接合部の工夫により､1スパン当たり15cmの自在性があるが、変位量がこれを超えると部材強度に問題が生じる。	
全体変形（鉛直変位）セル	評価（閾値）	なし～15cm未満	15cm以上～50cm未満	50cm以上＋部材の損傷	鋼板セル堰堤を対象とする
	技術的根拠	壁面材や水抜き管等部材の変形の有無や、壁面材の最少部材長、ダブルウォール構造※の閾値を参考に、15cm、50cmを閾値とし変状レベルを設定した。			
全体変形（鉛直変位）ウォール	評価（閾値）	なし～15cm未満	15cm以上～30cm未満	30cm以上	
	技術的根拠	タイロッドの応力度とたわみ量から決定			
鋼材の変形・破損	評価（閾値）	なし	変形あり+中詰材流失なし	破損ありまたは中詰材流失あり	注１）
	技術的根拠		中詰材の流失がないため、機能・性能の低下はない。	部材が損傷しており中詰材流失の可能性がある、または中詰材が流失しており、機能・性能の低下が懸念される状態である。	
鋼材の脱落	評価（閾値）	なし	－	あり	注１）
	技術的根拠		－	部材の脱落があった場合は、中詰材の流失の可能性があるため、機能・性能の低下が懸念される状態である。	
鋼矢板継手部※の開口	評価（閾値）	なし	開口はあるが、中詰材の流失が見られない。	開口があり、かつ中詰材の流失が見られる。	注１）
	技術的根拠	中詰材が流失することで必要な構造を維持できないと判断されるため、中詰の流失の有無をｂ、ｃの閾値とした。			
継手部の開口	評価（閾値）	なし	開口はあるが、中詰材の流失が見られない。	開口があり、かつ中詰材の流失が見られる。	注１）
	技術的根拠	中詰材が流失することで必要な構造を維持できないと判断されるため、中詰の流失の有無をｂ、ｃの閾値とした。			
ボルトの欠損	評価（閾値）	なし	－	あり	注１）
	技術的根拠	変状が確認された場合、設計・施工時の構造を維持できていないと判断できるため、”ｂ”は該当なしとしている。			
水通し天端の摩耗	評価（閾値）	なし	摩耗が壁面材に達していない	摩耗が壁面材に達している。	注１）
	技術的根拠	－	－	－	
中詰材の流失	評価（閾値）	なし	－	あり	注１） 透過型についても同様
	技術的根拠	変状が確認された場合、設計・施工時の構造を維持できていないと判断できるため、”ｂ”は該当なしとしている。			
鋼材の腐食等（擦痕・摩耗を含む）ウォール	評価（閾値）	減厚量が1.5㎜未満	-	減厚量が1.5㎜以上	
	技術的根拠	許容減厚量（腐食代+余裕しろ）については、これまでの鋼製砂防構造物設計便覧の改定に伴い考え方が変更されているが、最新の便覧（平成21年版）以前に建設されたものが半数以上になることもあり、それまでの最低値である1.5㎜を閾値とした。			

注1)　定期・臨時点検により部位別変状レベルを判断する変状。

評価項目と事例

表 4-6　評価項目と事例の索引

型式	評価項目	表番号
透過型	変位変形（中空鋼管）	表 4-7
	変位変形（コンクリート充填鋼管）	表 4-8
	鋼材の脱落	表 4-9
	継手部の開口	表 4-10
	ボルトの欠損	表 4-11
	底版コンクリートの摩耗	表 4-12
	底版コンクリート下流洗掘	表 4-13
	鋼材の腐食等（擦痕・摩耗を含む）	表 4-14
不透過型	全体変形（水平変位）枠	表 4-15
	全体変形（水平変位）セル・ウォール	表 4-16
	全体変形（鉛直変位）枠	表 4-17
	全体変形（鉛直変位）セル	表 4-18
	全体変形（鉛直変位）ウォール	表 4-19
	鋼材の変形・破損	表 4-20
	鋼材の脱落	表 4-21
	鋼矢板継手部の開口	表 4-22
	継手部の開口	表 4-23
	ボルトの欠損	表 4-24
	水通し天端の摩耗	表 4-25
	中詰材の流失	表 4-26
	鋼材等の腐食等（ウォール）	表 4-27

表 4-7　評価基準と事例（変位変形（中空鋼管））

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし～鋼管径に対する凹み 10%未満	 堰堤本体透過部
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	鋼管径に対する鋼管の凹み 10%以上～40%未満	
c （機能・性能低下あり）	鋼管径に対する鋼管の凹み 40%以上	 堰堤本体透過部

表 4-8　評価基準と事例（変位変形（コンクリート充填鋼管））

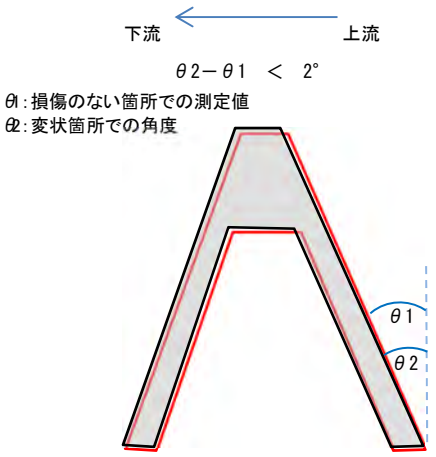
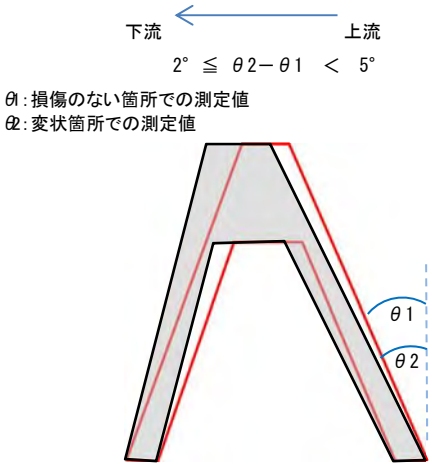
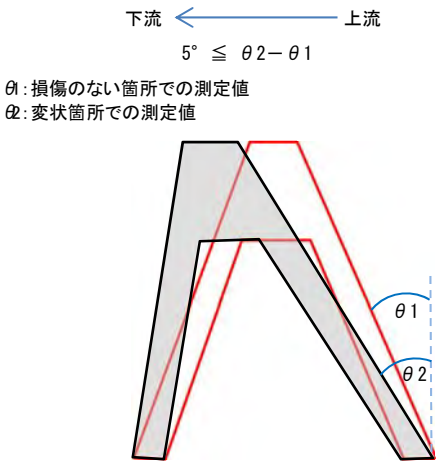
変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし～ 部材の撓み変形角が 2 度未満	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	部材の撓み変形角が 2 度以上～5 度未満	
c （機能・性能低下あり）	部材の撓み変形角が 5 度以上	

表 4-9　評価基準と事例（鋼材の脱落）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	 堰堤本体透過部
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	あり	

表 4-10　評価基準と事例（継手部の開口）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	あり	

表 4-11　評価基準と事例（ボルトの欠損）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	あり	

表 4-12　評価基準と事例（底版コンクリートの摩耗）

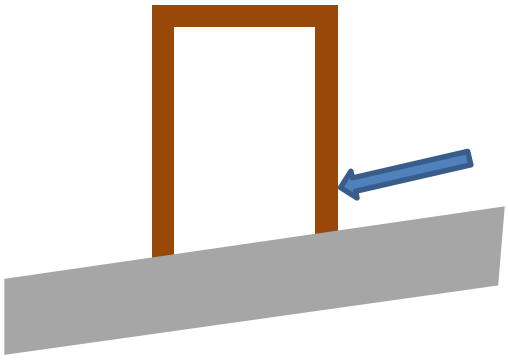
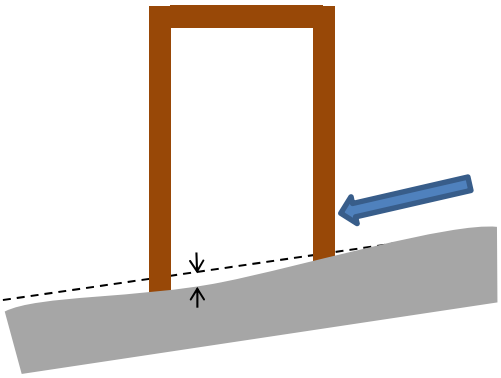
変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし～10cm の摩耗	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	鉄筋が露出している。あるいは10cm 以上の摩耗が確認される	
c （機能・性能低下あり）	ベースプレートが露出している。あるいは全体的に 1m以上の摩耗が見られる。	

表 4-13　評価基準と事例（底版コンクリート下流洗掘）

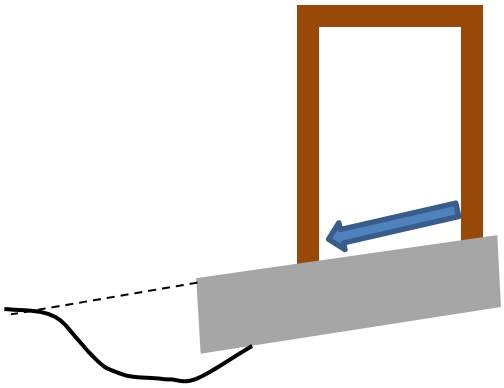
変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	洗掘はあるが基礎底面に達していない	
c （機能・性能低下あり）	洗掘が基礎底面に達している	

表 4-14　評価基準と事例（鋼材の腐食等）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	減厚量が 1.5㎜ 未満	 堰堤本体透過部
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	減厚量が 1.5㎜ 以上	 **フランジの摩耗**

表 4-15　評価基準と事例（全体変形（水平変位)、枠）

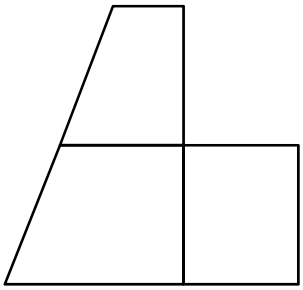
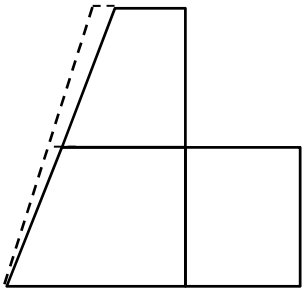
変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	全体変形あり ＋ 部材の破損なし	
c （機能・性能低下あり）	全体変形あり ＋ 部材の破損あり	

表 4-16　評価基準と事例（全体変形（水平変位）、セルおよびウォール）

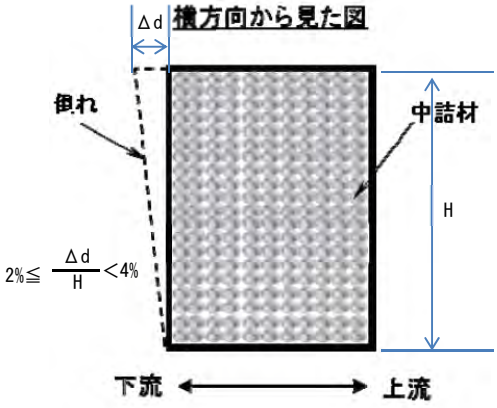
変状レベル	評価基準	参考事例
a （軽微な損傷）	なし～下流側天端の水平変位が 堤高の 2%未満	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	下流側天端の水平変位が 堤高の 2%以上 4%未満	
c （機能・性能低下あり）	下流側天端の水平変位が 堤高の 4%以上	

表 4-17　評価基準と事例（全体変形（鉛直変位）、枠）

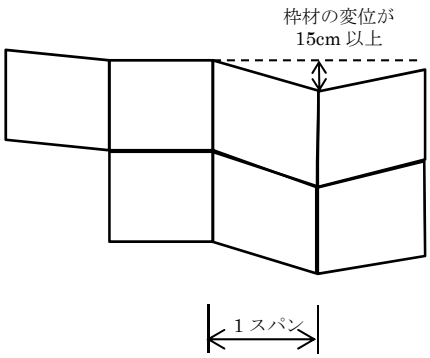
変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	1 スパン当たり 15ｃｍ未満	
c （機能・性能低下あり）	1 スパン当たり 15ｃｍ以上	

表 4-18　評価基準と事例（全体変形（鉛直変位）、セル）

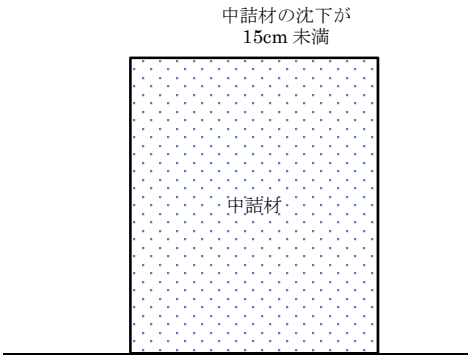
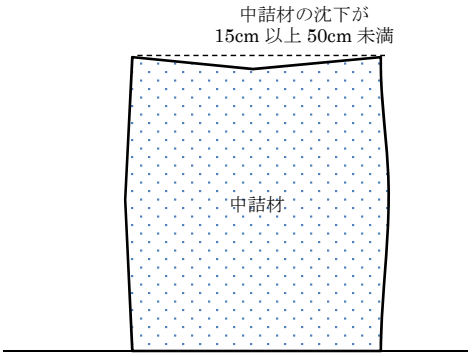
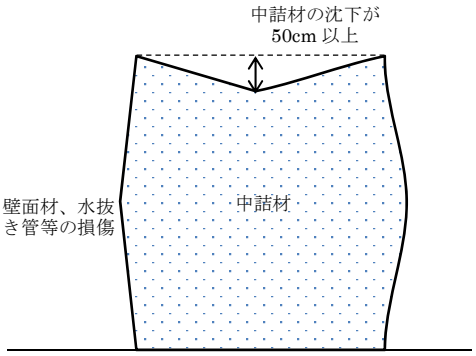
変状レベル	評価基準	参考事例
a （軽微な損傷）	なし～15cm 未満	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	15cm 以上～50cm 未満	
c （機能・性能低下あり）	50cm 以上＋ 部材（壁面材、水抜き管等）の損傷	

表 4-19　評価基準と事例（全体変形（鉛直変位）、ウォール）

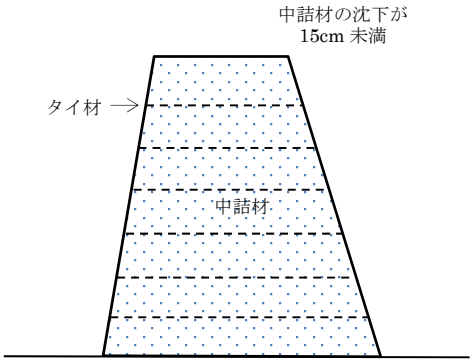
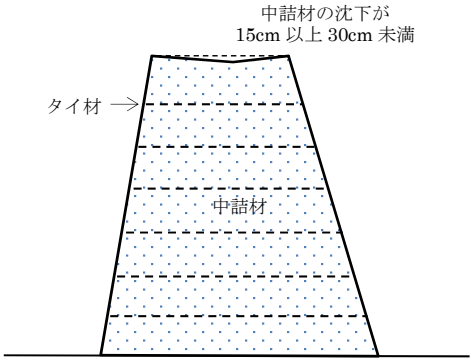
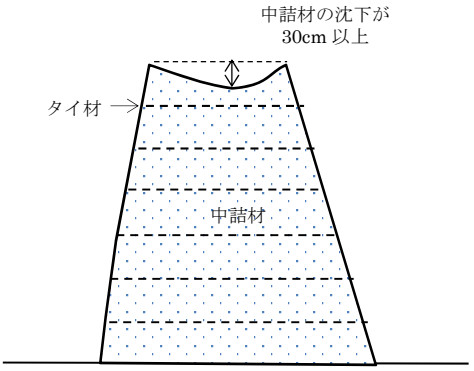
変状レベル	評価基準	参考事例
a （軽微な損傷）	なし～15cm 未満	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	15cm 以上～30cm 未満	
c （機能・性能低下あり）	30cm 以上	

表 4-20　評価基準と事例（鋼材の変形・破損）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	変形あり+中詰め材流失なし	
c （機能・性能低下あり）	破損ありまたは 中詰め材流失あり	

表 4-21　評価基準と事例（鋼材の脱落）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	あり	

表 4-22　評価基準と事例（鋼矢板継手部の開口）

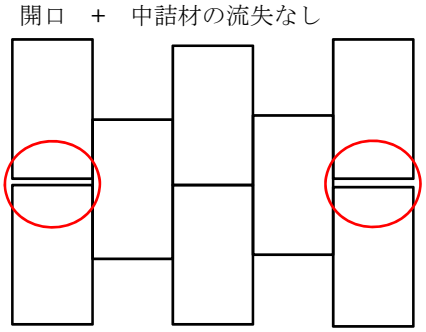
変状レベル	評価基準	参考事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	開口はあるが、中詰材の流失が見られない。	
c （機能・性能低下あり）	開口があり、かつ中詰材の流失が見られる。	

表 4-23　評価基準と事例（継手部の開口）

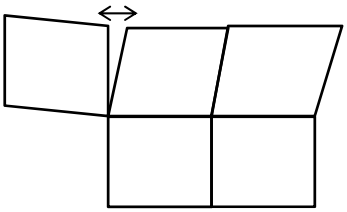
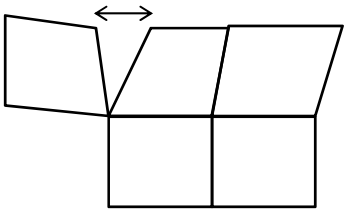
変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	開口はあるが、中詰材の流失が見られない。	
c （機能・性能低下あり）	開口があり、かつ中詰材の流失が見られる。	

表 4-24　評価基準と事例（ボルトの欠損）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	あり	

表 4-25　評価基準と事例（水通し天端の摩耗）

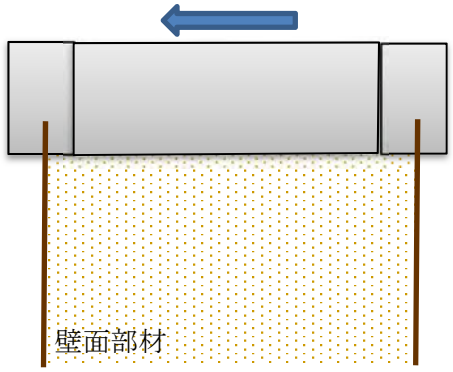
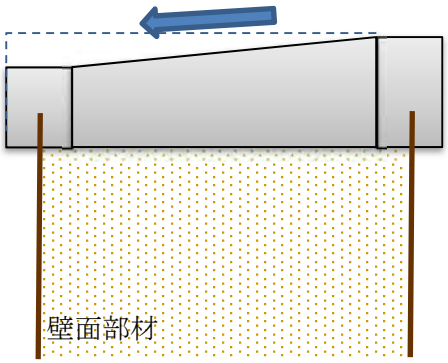
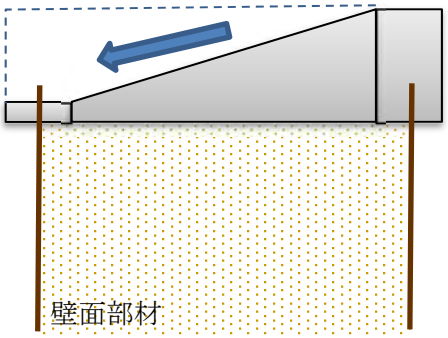
変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）	摩耗が壁面材に達していない	
c （機能・性能低下あり）	摩耗が壁面材に達している	

表 4-26　評価基準と事例（中詰材の流失）

変状レベル	評価基準	事例
a （軽微な損傷）	なし	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	あり	

表 4-27　評価基準と事例（鋼材の腐食等、ウォール）

変状レベル	評価基準	参考事例
a （軽微な損傷）	減厚量が 1.5㎜ 未満	
b （損傷はあるが機能・性能低下に至っていない）		
c （機能・性能低下あり）	減厚量が 1.5㎜ 以上	

4.3 鋼材を用いた砂防施設の健全度評価

（1）施設の健全度評価に必要な点検の視点

施設の健全度評価に際しては、砂防関係施設の機能および性能が適切に維持されるかという視点が必要である。このため、現地での点検段階から施設及び施設周辺の状況の特性を十分理解した上で、点検を実施することが必要である。

「砂防関係施設点検要領（案）　H26.9　国土交通省砂防部保全課」

（2）健全度評価の留意点

健全度は施設の健全性を示すものであって、対策実施のための優先度評価とは異なることを認識した上で、砂防関係施設のそれぞれの機能及び性能の特性、設置された現場の条件等に留意して評価する。

「砂防関係施設点検要領（案）　H26.9　国土交通省砂防部保全課」

【解説】

施設の維持管理は、施設の機能や性能が確保されているかという視点から検討する必要がある。従って、例えば堰堤にクラックが認められたことですぐに「要対策」と評価するのではなく、その現象が技術的に見て、施設の機能や性能に影響するかという視点から健全度を評価する必要がある。

また、鋼材を用いた砂防施設のうち、鋼管フレーム構造などの場合、型式によっては構成する部材を構造部材、機能部材に明確に区分している。健全度を評価する上では、変状を生じた部材の構造全体に対する影響や機能に対する影響度合いを健全度評価に反映させることも今後の重要な課題である。

（3）健全度評価を行う技術者

健全度評価は砂防関連分野の資格・認定を受けた技術者が実施することが望ましい。

【解説】

砂防関係施設点検要領（案）では、詳細点検の対象となる施設の判別抽出（詳細点検の実施の緊急性の判断、着目点などの把握含む）に当たっては、砂防関係施設に関する技術的知識や経験の豊富な技術者が統括することが望ましいとしている。

5. 維持修繕

5.1 維持修繕の考え方と方法

鋼材を用いた砂防施設は特別な保守工事を必要としないが、土石流・流木対策施設が十分に機能を発揮できるよう定期点検と臨時点検を行い、異常の早期発見および除石・除木等の必要な処置を講じることが必要である。

点検項目としては、堆砂状況の調査とともに、構造物の点検を実施し、透過型砂防堰堤については土石流あるいは流出土砂、流出流木の捕捉状況を点検し、除石・除木等の検討資料を整備しておくことが重要である。

※鋼製砂防構造物設計便覧（H21）を一部加筆

【解説】

鋼製砂防構造物設計便覧（H21）では、鋼材を用いた砂防施設の維持管理について次のとおり述べている。「鋼製構造物は原則として保守工事を必要としないものとして計画される。例えば防食は塗装によらず腐食しろあるいはめっきで対処しているので、定常的な保守作業は原則として必要ない。しかし少なくとも重力式コンクリート砂防堰堤と同様に定期点検と出水後点検を行い、異常の早期発見に努める必要があり、特に出水後には堆砂状況の調査とともに、構造物の点検を実施すべきである。また、小出水時の流木等によって開口部が閉塞され、湛水状態になることも予想されるので、その点検にも留意しておく必要がある。

透過型砂防堰堤については、その機能を十分に発揮するために、土石流、流出土砂、流木等の捕捉状況を点検して、除石・除木などの検討資料を整備しておく。

鋼製流木捕捉工については、特に捕捉された相当量の流木、土砂、ゴミ等は除去するべきであり、出水後に渓流等に堆積している流木についても、調査のうえ必要に応じて除去する。流木を捕捉した施設において、除木等の処置をする前に、流木・砂礫等の捕捉状況、流木の捕捉量・長さ・径、通過流木の有無、流れの状態・流量などを速やかに調査して、当該渓流における今後の流木対策施設計画に役立てていくべきである。

礫や流木の衝突などにより鋼材を用いた砂防施設に著しい部材変形等が生じている場合には、その補修など所要の対策について検討する。」

鋼材を用いた砂防施設については、上記の考え方に沿って維持や修繕を行う。

5.2 施設機能の日常管理

施設機能については、定期的および出水の後に堰堤堆砂状況の調査を行い、必要に応じて除石・除木の処置を講ずる。土石流発生後は施設の被害について必要に応じて点検を行い、破損等に対し必要な処置を講ずる。このとき、透過型砂防堰堤や部分透過型砂防堰堤については、流木等によって透過部断面が閉塞しないように管理する。

※鋼製砂防構造物設計便覧（H21）より

【解説】

砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説（平成 19 年 3 月版）では、砂防堰堤の除石（流木の除去を含む）計画について以下のように述べている。

「土石流・流木対策施設が十分機能を発揮するよう、定期的および土石流発生後等においてすみやかに堆砂状況の確認等を行い、必要に応じて除石（流木の除去を含む）等を行う。

また、土石流・流木処理計画上、除石（流木の除去を含む）が必要となる場合は、搬出路を含め、あらかじめ搬出方法を検討しておくものとする。」

土石流・流木対策で設置された透過型の鋼製砂防堰堤は、このような管理を行うことで施設機能の維持につとめる。

5.3 施設性能の日常管理

施設性能については、必要に応じてライフサイクルコスト（LCC）の低減等を目的とした管理を検討する。

【解説】

施設性能の維持としては、土石流等による変状把握や組み立て時の作業性の向上、さらには LCC の低減、景観の維持と言った観点から必要に応じて塗装を行う。

5.4 維持管理記録の保存

点検、修繕等の維持管理記録は、施設の現況把握や将来の変状の進行度合いを検討することができるよう、データを蓄積することが必要である。

5.5 安全対策

鋼材を用いた砂防施設の維持管理時には、維持管理作業を安全に実施するための措置を講ずることが必要である。また、維持管理実施作業実施前には、袖天端部などの伐開等の必要な処置を講じることが必要である。

【解説】

現地での点検実施の際には、特に袖や水通し天端部などの高所での点検作業において転落等の危険性が生じるため、維持管理作業を安全に実施するための施設（安全帯や転落防止対策など）の措置が必要である。

また、袖天端部（特に枠構造や袖部天端保護コンクリートのないセルおよびウォール）については植生が繁茂し易く、点検者が点検実施時に足を取られて躓くなどの危険性がある上、袖天端部の端部位置が確認しづらい。そのため、このような場合は点検実施前に伐開を実施し、作業の安全を確保する必要がある。

6. 参考資料

6.1 参考とする基準

本マニュアルは、現在策定されている砂防施設点検および鋼材を用いた砂防施設の基準等を参考にとりまとめたものである。

本マニュアルを取りまとめるに当たり参考とした資料は以下のとおりである。

参考資料 1:「砂防関係施設長寿命化計画策定ガイドライン（案）について（平成 31 年 3 月　水管理・国土保全局砂防部保全課)」
参考資料 2:「砂防関係施設点検要領（案)、平成 31 年 3 月、国土交通省砂防部保全課」
参考資料 3:「鋼製砂防構造物設計便覧、鋼製砂防構造物委員会編集、平成 21 年版、財団法人砂防地すべり技術センター」
参考資料 4:「鋼製砂防構造物設計便覧、鋼製砂防構造物委員会編集　平成 13 年版　財団法人砂防地すべり技術センター」
参考資料 5:「平成 5 年度　鋼製砂防構造物設計便覧、鋼製砂防構造物委員会編集　平成 5 年版、財団法人砂防地すべり技術センター」
参考資料 6:「鋼製砂防構造物設計便覧、昭和 62 年版、財団法人砂防地すべり技術センター・鋼製砂防構造物委員会」
参考資料 7:「鋼製砂防構造物設計便覧、編集　昭和 60 年版　財団法人砂防地すべり技術センター・鋼製砂防構造物委員会」
参考資料 8:「土石流・流木対策設計技術指針解説、国土交通省国土技術政策構造研究所、平成 19 年 3 月」
参考資料 9:「河川砂防技術基準　維持管理編（砂防編)」

6.2 参考とする図書・文献

参考資料 10：「鋼製砂防構造物設置事例集、鋼製砂防構造物委員会編集、平成 3 年 5 月、財団法人砂防地すべり技術センター」
参考資料 11：白石博文、梶田幸秀、香月智、石川信隆、松村和樹、嶋丈示：礫衝突による損傷を受けた中空鋼管の残存耐力評価実験、構造工学論文集、Vol. 48A（2002 年 3 月）、pp1505-1512
参考資料 12：中安正晃、水山高久、香月智、阿部宗平、扇行徳：与田切鋼製セル群ダムの維持管理手法について、平成 8 年度砂防学会研究発表会概要集、pp89-90
参考資料 13：赤塚雄三、浅岡邦一：高張力タイロッドの実験的研究、港湾技術研究所報告第 7 巻第 3 号、ｐｐ135-167、1968.9
参考資料 14：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻）、平成 11 年 4 月、社団法人日本港湾協会」
参考資料 15：「第一回改訂版　盛土の調査・設計から施工まで、H8.8.20、社団法人　地盤工学会」

6.3 用語の定義

本マニュアルで用いる用語を以下で定義する。

【解説】

鋼材を用いた砂防施設や砂防施設の維持管理に関する用語については、これまで参考資料 1、2、3 で定義されている。

本マニュアルで用いる用語についてはこれらに準ずるものとし、以下の用語について定義する。

ID	用語	意味	出典
1	維持	砂防関係施設の機能や性能を確保するために行う日常的な作業のこと。	砂防関係施設点検要領（案） 砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
2	火山性ガス	火山の火口や噴気口から出る成分（火山噴出物）のうち、気体のもの。主成分は水蒸気、二酸化炭素でほかに二酸化硫黄（亜硫酸ガス）も含まれる。通常は少量の水素ガス、一酸化炭素、硫化水素、塩化水素が含まれ、金属の腐食の原因となる。中でも硫化水素は特に腐食性が強い。	
3	許容減厚量	鋼製砂防構造物設計便覧における「腐食しろ+余裕しろ」のこと	
4	機能	砂防関係施設が土砂災害防止のために、有すべき施設の働きのこと。	砂防関係施設点検要領（案） 砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
5	機能部材	鋼製透過型砂防堰堤の透過部断面に設置する部材のうち、土石流・流木を捕捉するために設置する部材。	鋼製砂防構造物設計便覧（H21）
6	亀裂	鋼材表面に現れているひび割れ	
7	健全度	有すべき機能及び性能に対して、当該砂防関係施設が有している程度のこと。	砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
8	孔食	金属面の欠陥部分から腐食が進行し，孔状に起る腐食のこと。	
9	構造部材	鋼製透過型砂防堰堤を構成する部材の中で、力学的な抵抗力を必要とする部材。鋼製透過型砂防堰堤においては、土石流や流木を捕捉した機能部材を支える部材であり、機能部材を兼用する場合もある。	鋼製砂防構造物設計便覧（H21）
10	水平移動	壁面の前方向への傾きによる天端の水平移動	
11	修繕	既存の砂防関係施設の機能や性能を確保、回復するために、損傷または劣化前の状態に補修すること。	砂防関係施設点検要領（案） 砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
12	性能	砂防関係施設が機能を発揮するために必要となる、構造上保持すべき強度、安定性等のこと。	砂防関係施設点検要領（案） 砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
13	損傷	劣化以外の原因により生じた部材や材料の性能低下のこと(出水・斜面変動や地震等に伴って生じたひび割れや剥離・破損等をいう)。	砂防関係施設点検要領（案）
14	脱落	部材やボルトが抜け落ちたり折損した状態	
15	沈下	鉛直方向に位置が下がる	
16	ディンプル状のさび	水際など乾湿の繰り返す箇所で生じる小さなくぼみ状のさび	
17	破損	損傷よりも性能が低下した状態	
18	破断	鋼材の亀裂の進行等により部材が切断された状態	
19	腐食	断面欠損を伴う錆の発生のこと	
20	腐食しろ	将来的な鋼材の腐食量を想定し、あらかじめ鋼材の板厚を割り増ししておく部分で鋼製砂防構造物の耐用年数に応じた値を設ける。	鋼製砂防構造物設計便覧（H21）
21	変形	たわみ・へこみ・ねじれ	
22	防食機能の劣化	断面欠損を伴わないとみなせる程度の軽微な錆の発生のこと	
23	ゆるみ	締め付けトルクが緩んだ状態	
24	余裕しろ	常時流水中の砂礫による鋼材の磨耗、および土石流中の礫の衝突による擦痕に対して、あらかじめ鋼材の板厚を増しておく余裕部分をいう。	鋼製砂防構造物設計便覧（H21）
25	劣化	時間の経過に伴って進行する部材や材料の性能低下のこと。	砂防関係施設点検要領（案）

6.4 施設点検の様式

定期点検、臨時点検および詳細点検は、施設点検様式に従って実施する。

【解説】

【点検・調査表の例】 様式－1

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（鋼管フレーム型）

定期点検・臨時点検

調査日	平成　　年　　月　　日		調査地案内図
調査者			
事務所名			
河川名	水系名		
	幹川名		
	渓流名		
堰堤名			
竣工年			
形式			
諸元	堤高（m）		
	堤長（m）		

調査項目	調査結果		変状部位	備考
全体変形（鉛直変位・水平変位）	有	無		
部材変形（凹み）	有	無		
鋼材の脱落	有	無		
継手部の開口	有	無		
ボルトの欠損	有	無		
底版コンクリートの摩耗	有	無		
底版コンクリート下流洗掘	有	無		
鋼材の腐食	有	無		

コメント
（施設）

（施設周辺状況）

＊写真記録方法については、「砂防関係施設点検要領（案）」に準ずる

様式－2

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（鋼管フレーム型）

詳細点検

調査日	平成　　年　　月　　日		調査地案内図
調査者			
事務所名			
河川名	水系名		
	幹川名		
	渓流名		
堰堤名			
竣工年			
形式			
諸元	堤高（m）		
	堤長（m）		

調査項目	調査結果		変状部位	備考
全体変形（鉛直変位・水平変位）	cm・度			
部材変形（凹み）	cm			
鋼材の脱落	有	無		
継手部の開口	有	無		
ボルトの欠損	有	無		
底版コンクリートの摩耗	cm			
底版コンクリート下流洗掘	cm			
鋼材の腐食	mm			

コメント
（施設）

（施設周辺状況）

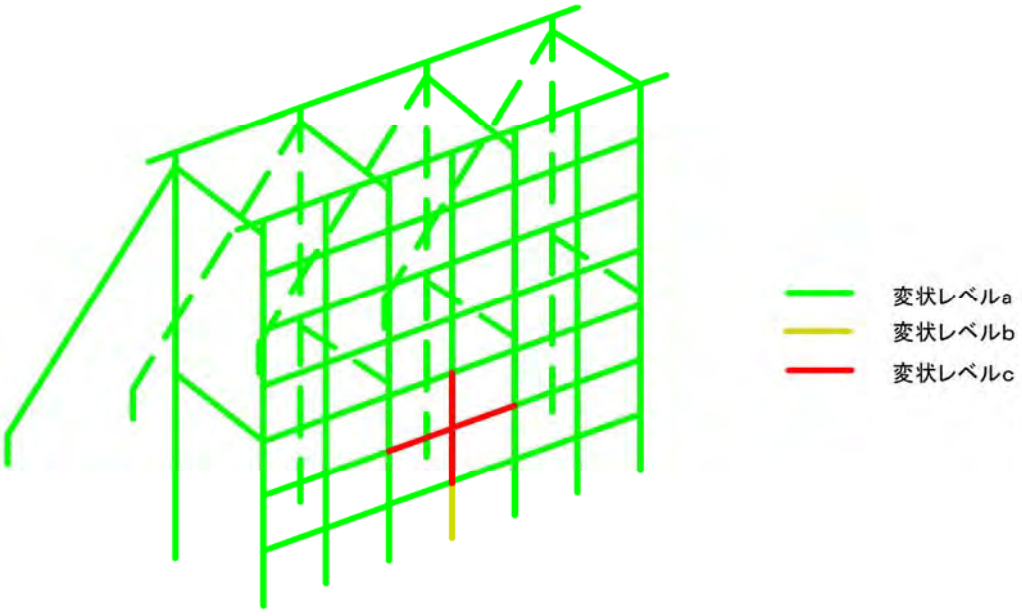
＊写真記録方法については、「砂防関係施設点検要領（案）」に準ずる

様式－３

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（鋼管フレーム型）

詳細点検

変状箇所と変状レベル（記入例）



変状の生じた位置が分かるように、点検時には施設等の竣工図書をあらかじめ準備し、変状の程度に応じた変状レベルを構造図に記入する。

様式－4

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（枠）

定期点検・臨時点検

調査日	平成　　年　　月　　日		調査地案内図
調査者			
事務所名			
河川名	水系名		
	幹川名		
	渓流名		
堰堤名			
竣工年			
形式			
諸元	堤高（m）		
	堤長（m）		
	中詰材料		

調査項目		調査結果		変状部位	備考
全体変形	水平変位	有	無		
	鉛直変位	有	無		
鋼材の変形・破損		有	無		
鋼材の脱落		有	無		
継手部の開口		有	無		
ボルトの欠損		有	無		
水通し天端の摩耗		有	無		
中詰材の流失		有	無		
鋼材の腐食		有	無		

コメント
（施設）

（施設周辺状況）

＊写真記録方法については、「砂防関係施設点検要領（案）」に準ずる

様式－5

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（枠）

詳細点検

調査日	平成　　年　　月　　日		調査地案内図
調査者			
事務所名			
河川名	水系名		
	幹川名		
	渓流名		
堰堤名			
竣工年			
形式			
諸元	堤高（m）		
	堤長（m）		
	中詰材料		

調査項目		調査結果		変状部位	備考
全体変形	水平変位	cm			
	鉛直変位	cm			
鋼材の変形・破損		有	無		
鋼材の脱落		有	無		
継手部の開口		有	無		
ボルトの欠損		有	無		
水通し天端の摩耗		有	無		
中詰材の平均径		cm			
鋼材の腐食		mm			

コメント
（施設）

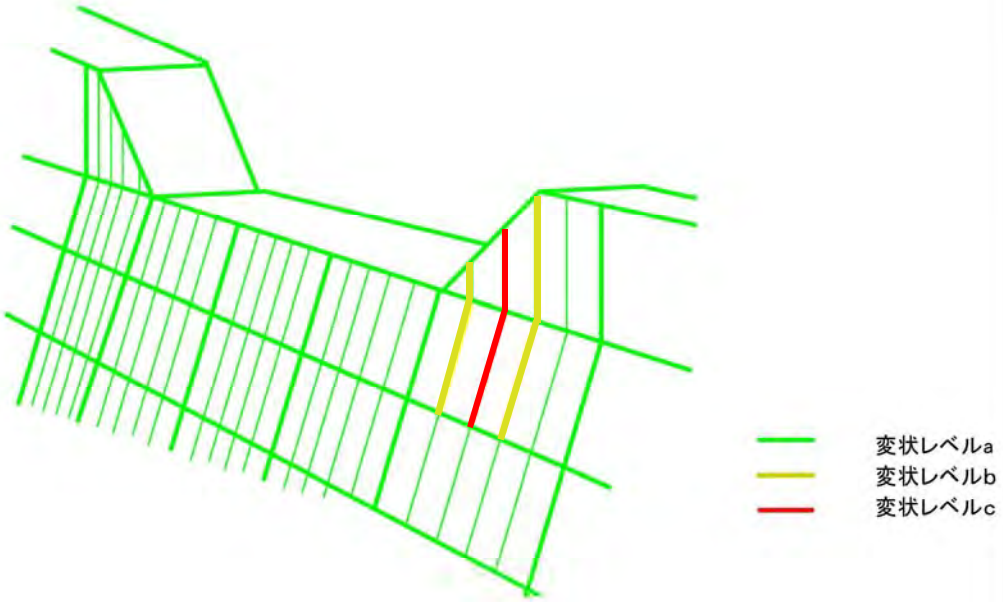
（施設周辺状況）

＊写真記録方法については、「砂防関係施設点検要領（案）」に準ずる

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（枠）

詳細点検

変状箇所と変状レベル（記入例）



変状の生じた位置が分かるように、点検時には施設等の竣工図書をあらかじめ準備し、変状の程度に応じた変状レベルを構造図に記入する。

様式－7

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（セルおよびウォール）

定期点検・臨時点検

調査日	平成　　年　　月　　日		調査地案内図
調査者			
事務所名			
河川名	水系名		
	幹川名		
	渓流名		
堰堤名			
竣工年			
形式			
諸元	堤高（m）		
	堤長（m）		
	中詰材料		

調査項目		調査結果		変状部位	備考
全体変形	水平変位	有	無		
	鉛直変位	有	無		
鋼材の変形・破損		有	無		
鋼材の脱落		有	無		
継手部の開口		有	無		
ボルトの欠損		有	無		
水通し天端の摩耗		有	無		
中詰材の流失		有	無		
鋼材の腐食		有	無		

コメント：
（施設）

（施設周辺状況）

＊写真記録方法については、「砂防関係施設点検要領（案）」に準ずる

様式－8

主に鋼材を用いた砂防施設点検シート（セルおよびウォール）

詳細点検

調査日	平成　　年　　月　　日		調査地案内図
調査者			
事務所名			
河川名	水系名		
	幹川名		
	渓流名		
堰堤名			
竣工年			
形式			
諸元	堤高（m）		
	堤長（m）		
	中詰材料		

調査項目		調査結果		変状部位	備考
全体変形	水平変位	cm			
	鉛直変位	cm			
鋼材の変形・破損		有	無		
鋼材の脱落		有	無		
継手部の開口		有	無		
ボルトの欠損		有	無		
水通し天端の摩耗		有	無		
中詰材の平均径		cm			
鋼材の腐食		mm			

コメント：
（施設）

（施設周辺状況）

＊写真記録方法については、「砂防関係施設点検要領（案）」に準ずる

6.5 修繕事例

6.5.1 鋼管フレーム型砂防堰堤の修繕事例

(1) 鋼材の脱落、底版コンクリートの摩耗

底版コンクリートのはつり、再打設を行った。

また、部材については、再利用可能な部材は再利用を図るとともに、再利用不可能なものについては交換した。

写真 6-1　修繕前

写真 6-2　修繕後

(2) 変位変形（中空鋼管）

損傷部材を板巻により修繕した。

写真 6-3　修繕前（左）、修繕後（右）

(3) 鋼材の脱落等

損傷、破損部材を交換した。

写真 6-4　修繕前

写真 6-5　修繕後

（4）変位変形（中空鋼管）

柱材・蓋材の修繕、梁材の交換を行った。

①柱材

写真 6-6　修繕前

写真 6-7　修繕後

②梁材

写真 6-8　修繕前

写真 6-9　修繕後

③蓋材

写真 6-10　修繕前

写真 6-11 修繕後

6. 5. 2 枠の修繕事例

（1）全体変形（垂直変位）

新設構造物を上流側に腹付けした。

写真 6-12　修繕前

写真 6-13　修繕後

6.5.3 セルの修繕参考事例

（1）鋼材の変形・破損等

損傷レベルに応じて補強を実施した。天端部鋼矢板の取り替えおよび天端コンクリートの再打設の他、摩耗損傷が大きい部位は鋼矢板の外側から鋼板溶接し補強した。

①天端

写真 6-14　修繕前（天端鋼矢板の捲れ）

写真 6-15　修繕後

写真 6-16 修繕中（左；天端鋼矢板部の取替設置、右；天端コンクリートの再打設）

②へこみ変形

写真 6-17 修繕前（へこみ変形）

写真 6-18　修繕後

（2）全体変形（水平変位）

解体した鋼製部材を用いて構造物を再構築した。変形が大きく再組立てが困難な場合は部材を交換する。

写真 6-19 修繕前

写真 6-20　修繕作業（再構築）実施中

6.5.4 ウォールの修繕参考事例

（1）鋼材の変形・破損

変形した部材を撤去し、施設を再構築した。部材は変形状況に応じ再利用できる部材は再利用した。

写真 6-21　修繕前

写真 6-22　修繕作業（再構築）実施中

（2）鋼材の腐食等

火山ガスにより壁面材が腐食したため、コンクリートにより壁面を被覆した。

写真 6-23　修繕前

写真 6-24　修繕後

6.6 詳細点検の仕様

透過型、不透過型それぞれの詳細点検の標準的な仕様について、参考として以下に示す。
なお、詳細点検の歩掛案を別添参考資料に付す。

【主に鋼材を用いた砂防施設（鋼管フレーム型）詳細点検の標準仕様書案】

１．点検の対象

主に鋼材を用いた透過型砂防堰堤のうち鋼管フレーム型を対象とし、定期点検または臨時点検の際に測定が必要と判断された項目について実施する。なお、調査は除石後が望ましいが、除石が困難な場合は可能な限りの情報を収集する。

２．現地調査

詳細点検において実施する測定項目は、以下のとおりとする。

【構造物】

① 全体変形：デジタルスラント、コンベックス、スタッフ等により変形量を測定する。
② 底版コンクリートの摩耗：スタッフ、鋼尺等を用い、摩耗量を測定する。
③ 鋼材の腐食等：板厚計によるフレーム鋼材の板厚測定するほか、必要に応じて塗膜計による残存塗膜量を測定する。

【構造物の周辺状況】

① 流水の pH 値
② 火山ガスの有無
③ 施設周辺の状況（崩壊・地すべり、落石等）
④ 上流域の荒廃状況（土石流発生頻度）
⑤ 堆積土砂の礫径、流木長・径
⑥ 洗掘状況等

３．報告書作成

詳細点検結果を簡潔に取りまとめ、健全度評価を行う。

【主に鋼材を用いた砂防施設（枠）詳細点検の標準仕様書案】

１．点検の対象

主に鋼材を用いた砂防堰堤のうち枠を対象とし、定期点検または臨時点検の際に測定が必要と判断された項目について実施する。なお、調査は除石後が望ましいが、除石が困難な場合は可能な限りの情報を収集する。

２．現地調査

詳細点検において実施する測定項目は、以下のとおりとする。

【構造物】

① 全体変形（水平変位、垂直変位）；スタッフ、光波測距義、鋼尺等による測定
② 中詰材：種類、礫径を目視、コンベックス等により測定する
③ 鋼材の腐食等：板厚計によるフレーム鋼材の板厚測定するほか、必要に応じて塗膜計による残存塗膜量を測定する。
④ その他、壁面材等に塑性変形が確認された場合には、コンベックス等を用いて塑性変形量を測定する。

【構造物の周辺状況】

① 流水の pH 値
② 火山ガスの有無
③ 施設周辺の状況（崩壊・地すべり、落石等）
④ 上流域の荒廃状況（土石流発生頻度）
⑤ 堆積土砂の礫径、流木長・径
⑥ 洗掘状況等

３．報告書作成

詳細点検結果を簡潔に取りまとめ、健全度評価を行う。

巻末資料

砂防設備として施工されている形式名称とメーカー一覧表

型式名称		メーカー名	
		旧名	現在名
透過型	格子形鋼製砂防堰堤 2000C(格子形含む)	(株)神戸製鋼所	
	鋼製スリット堰堤 A 型	新日本製鐵(株)	日鉄建材（株）
	鋼製スリット堰堤 B 型	日鐵建材工業（株）	
	鋼製 L 型スリット堰堤	川鉄建材（株）	JFE 建材（株）
	鋼製 I 型スリット堰堤	日本鋼管ライトスチール（株）	
	CF 型スリット堰堤	住友金属建材（株）	日鉄建材（株）
	J－スリット堰堤	JFE 建材（株）	
	鋼製スリット堰堤 T 型	日鐵住金建材（株）	日鉄建材（株）
	C 型スリット堰堤	住友金属工業（株）	日鉄建材（株）
	鋼製 D 型スリット(流木止含む)	JFE 建材（株）	
	h 型流木捕捉工	(株)神戸製鋼所	
	N 型流木捕捉工	各社共通	
	鋼製Δ型スリット	共生機構(株)	(株)共生
	鋼板セル堰堤	住友金属工業（株）	日鉄建材（株）
	鋼矢板セル	共生機構(株)	(株)共生
	横ビーム式 HBO 型	共生機構(株)	(株)共生
	CBBO 型(HBBO⁺型含む)	共生機構(株)	(株)共生
不透過型	鋼製自在枠	日鐵建材工業（株）	日鉄建材（株）
	鋼製箱枠	住金鋼材工業（株） (1997 年、住友金属建材（株）へ商号変更)	
	鋼製続枠	川鉄建材（株）	JFE 建材（株）
	鋼製組枠	日本鋼管ライトスチール（株）	
	鋼矢板セグメント	新日本製鐵(株)	日鉄建材(株)
	ダブルウォール	共生機構(株)	(株)共生
	INSEM ダブルウォール		
	鋼板セル堰堤	住友金属工業（株）	日鉄建材（株）
	鋼矢板セル	共生機構(株)	(株)共生
	底面水抜きスクリーン堰堤	日鐵建材工業（株）	日鉄建材（株）
	鋼製スクリーン堰堤	新日本製鐵(株)	日鉄建材（株）

鋼製砂防構造物維持管理マニュアル　検討委員会名簿

（平成 28 年 3 月現在）

委員長	水山　高久	政策研究大学院大学特任教授
委員	香月　智	防衛大学校建設環境工学科教授
	酒谷　幸彦	国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防施設評価分析官
	桜井　亘	国土技術政策総合研究所砂防研究室長
	石川　信隆	砂防鋼構造物研究会顧問
	坂口　哲夫	（一社）建設コンサルタンツ協会　砂防・急傾斜専門委員会委員長
	亀江　幸二	（一財）砂防フロンティア整備推進機構　副理事長

鋼製砂防構造物維持管理マニュアル（案）　検討ワーキングメンバー

星野　和彦	（一財）砂防フロンティア整備推進機構 上席研究員 兼研究第二部長
西　真佐人	（一財）砂防フロンティア整備推進機構 研究第一部長
寺田　秀樹	国土防災技術株式会社 副社長
岡田　勝	砂防鋼構造物研究会 事務局長
守山　浩史	砂防鋼構造物研究会 技術幹事
山口　聖勝	砂防鋼構造物研究会 技術幹事
国領　ひろし	砂防鋼構造物研究会 技術幹事

事務局	（一財）砂防フロンティア整備推進機構	研究第二部	近藤　康弘、中居　暁
	国土防災技術株式会社	技術本部	小林　浩、敦賀屋研次郎

主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアル

令和元年12月25日　初版発行
（不許複製）

編集　　一般財団法人　砂防フロンティア整備推進機構
東京都千代田区平河町 2-7-4 砂防会館別館 6F
電話　03-5216-5872
FAX　03-3262-2202

主に鋼材を用いた
砂防施設の維持管理マニュアル

参考資料

目　次

参考資料１　詳細点検歩掛（案）……1

参考資料２　変状レベルの評価基準に関する資料……3

【透過型】

１．変位変形（中空鋼管）……4

２．変位変形（コンクリート充填鋼管）……5

【透過型・不透過型共通】

１．鋼材の腐食等……6

【不透過型】

１．全体変形（水平変位）：セル、ウォール……8

２．全体変形（鉛直変位）：枠……9

３．全体変形（鉛直変位）：セル……10

４．全体変形（鉛直変位）：ウォール……11

参考文献等目次……13

参考資料３　ご質問票……77

詳細点検歩掛（案）

透過型、不透過型それぞれの詳細点検歩掛（案）を参考として以下に示す。

鋼製砂防堰堤（透過型）の詳細点検歩掛（案）

１施設当たり

項目		仕様	単価（円）	単位	数量	金額（円）	備考
直接人件費	現地調査	技師Ａ 技師Ｂ 技師Ｃ		人	1.0 1.0 1.0		１施設当たり５変状を想定。（変状箇所間の移動含む）
	報告書作成	技師Ａ 技師Ｂ 技師Ｃ		人	0.5 1.0 1.0		１施設当たり５変状を想定。
	構造照査	技師Ａ 技師Ｂ		人	0.5 1.5		必要に応じて計上
直接人件費計							①
直接経費	測定機材損料	変形測定機材 鋼材板厚測定機材 塗装膜厚測定機材 PH 測定機材		式	1.0 1.0 1.0 1.0		必要に応じて計上する
	現地調査交通費	現地調査旅費・宿泊費・車輌費等		式	1.0		
	電子成果品作成費	報告書作成		式	1.0		
直接経費計							②
その他原価							③＝①×0.35/（1-0.35）
一般管理費等							④＝（①+②+③）×0.35/（1-0.35）
計							①+②+③+④

＊必要に応じて足場設置及び撤去を計上する。

＊足場上の測定作業では、作業条件の低下を考慮し作業効率を 0.5 と想定している。

＊調査対象堰堤までの移動時間は含まれない。

参考資料１

鋼製砂防堰堤（不透過型）の詳細点検歩掛（案）

１施設当たり

項目		仕様	単価（円）	単位	数量	金額（円）	備考
直接人件費	現地調査	技師Ａ 技師Ｂ 技師Ｃ		人	1.0 1.0 1.0		１施設当たり５変状を想定。（変状箇所間の移動含む）
	報告書作成	技師Ａ 技師Ｂ 技師Ｃ		人	0.5 1.0 1.0		１施設当たり５変状を想定。
	構造照査	技師Ａ 技師Ｂ		人	0.5 1.5		必要に応じて計上
直接人件費計							①
直接経費	測定機材損料	変形測定機材 沈下測定機材 鋼材板厚測定機材 塗装膜厚測定機材 PH 測定機材		式	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0		必要に応じて計上する
	現地調査交通費	現地調査旅費・宿泊費・車輌費等		式	1.0		
	電子成果品作成費	報告書作成		式	1.0		
直接経費計							②
その他原価							③＝①×0.35/（1-0.35）
一般管理費等							④＝（①+②+③）×0.35/（1-0.35）
計							①+②+③+④

＊必要に応じて足場設置及び撤去を計上する。

＊足場上の測定作業では、作業条件の低下を考慮し作業効率を 0.5 と想定している。

＊調査対象堰堤までの移動時間は含まれない。

変状レベルの評価基準に関する資料

部位別の変状レベルを評価するために、計測値により閾値を設定した下記の評価項目について、閾値の考え方と参考文献について整理した。

【透過型】
１．変位変形（中空鋼管）
２．変位変形（コンクリート充填鋼管）

【透過型・不透過型共通】
１．鋼材の腐食等

【不透過型】
１．全体変形（水平変位）：セル、ウォール
２．全体変形（鉛直変位）：枠
３．全体変形（鉛直変位）：セル
４．全体変形（鉛直変位）：ウォール

【透過型】

１.「変位変形（中空鋼管）」の変状レベルと閾値

	変状レベル			備考
	a 軽微な損傷	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	
評価（閾値）	なし～鋼管径に対する鋼管の凹み 10%未満	鋼管径に対する鋼管の凹み 10%以上～40%未満*	鋼管径に対する鋼管の凹み 40%以上	
技術的根拠	中空鋼管の鋼管径の凹みが鋼管径に対して 10%未満の場合は、断面係数の低下率が 5%以内であり、ほとんど無視できるレベルであるため。	10%以上 40%未満の場合は別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。	中空鋼管の鋼管径の凹みが鋼管径に対して 40%以上の場合は、断面係数の低下率が 50%程度と大きい減少であり、設計荷重に対して抵抗できなくなるため。	

【説明】

鋼製砂防構造物設計便覧では、機能の低下がなく共用に支障のない凹みを、中空鋼管の鋼管径の凹みが鋼管径に対して 10%未満の場合としている。これは、断面係数の低下率が 5%以内であり、ほとんど無視できるレベルであり、この状態を変状レベル a とした。

一方で、施設機能が喪失している凹みを、中空鋼管の鋼管径の凹みが鋼管径に対して 40%以上の場合としている。これは、断面係数の低下率が 50%程度と大きい減少であり、設計荷重に対して抵抗できなくなるためであり、この状態を変状レベル c とした。

また、10%以上 40%未満の変位については、次に来襲する土石流に対して期待する機能・性能を発揮できるか否かの判断が現段階ではできないことから変状レベル b とし、必要に応じて構造照査を別途行うことで補修・補強の必要性を判断することができる、とした。

【参考文献等】

(1) 白石博文、梶田幸秀、香月智、石川信隆、松村和樹、嶋丈示：礫衝突による損傷を受けた中空鋼管の残存耐力評価実験、構造工学論文集、vol.48A、2002.3
(2) 凹み変形と断面係数（砂防鋼構造物研究会提供）
(3) 鋼製砂防構造物設計便覧における部材の損傷レベルと対応（鋼製砂防構造物設計便覧より抜粋）

【透過型】

２.「変位変形（コンクリート充填鋼管)」の変状レベルと閾値

	変状レベル			備考
	a 軽微な損傷	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	
評価（閾値）	部材の撓み変形角が 2 度未満	部材の撓み変形角が 2 度以上 5 度未満	部材の撓み変形角が 5 度以上	
技術的根拠	実験結果より撓み角 2° 程度までは残存吸収エネルギーの低下が見られないため、変形角が 2° 未満は変形を無視できるレベルであるとした。	2 度以上 5 度未満の場合は別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。	CFT 鋼管の静的終局限界を無損傷鋼管の残存吸収エネルギーの 60%とした場合の変形角は 5° であり、これ以上変形した場合は、設計荷重に対して抵抗できなくなるため。	

【説明】

CFT 鋼管に対する実験では、CFT 鋼管の静的終局限界を無損傷鋼管の残存吸収エネルギーの 60%とした場合の撓み変形角は 5° であり、これ以上変形した場合は、設計荷重に対して抵抗できなくなる。この状態を変状レベル c とした。

一方で、撓み角が 2° 未満については、高速載荷の場合でも残存吸収エネルギーの低下が見られないことから、この場合は変形を無視できるレベルであるとし、変状レベル a とした。

また、2° 以上 5° 未満の変位については、次に来襲する土石流に対して期待する機能・性能を発揮できるか否かの判断が現段階ではできないことから変状レベル b とし、必要に応じて構造照査を別途行うことで補修・補強の必要性を判断することができる、とした。

【参考文献等】

(4) 石川信隆、白石博文、梶田幸秀、香月 智、松村 和樹：礫衝突による損傷を受けたコンクリート充填鋼管の終局限界に関する実験的研究、土木学会第 57 回年次学術講演会（平成 14 年 9 月）造物設計便覧より抜粋)

【透過型・不透過型】

１.「鋼材の腐食等」の変状レベルと閾値

	変状レベル			備考
	a 軽微な損傷	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	
評価（閾値）	減厚量が 1.5㎜ 未満	－	減厚量が 1.5㎜ 以上	
技術的根拠	許容減厚量（腐食代+余裕しろ）については、これまでの鋼製砂防構造物設計便覧の改定に伴い考え方が変更されているが、最新の便覧（平成 21 年版）以前に建設されたものが半数以上になることもあり、それまでの最低値である 1.5㎜ を閾値とした。			

【説明】

鋼材の腐食等の考え方については、鋼製砂防構造物設計便覧の改定に合わせて、何度か変更されている。発刊当初は片面 1.5mm を基準値としていたが、型式や部位によりそれぞれ設計に用いる基準値を設定している（表 1 参照）。

ここで、現在設置されている施設は、鋼製砂防構造物設計便覧の平成 21 年版よりも前に建設されたものが半数以上にのぼり、基準値は最も厳しい値で 1.5mm である。また、21 年版でも、摩耗の危険性の高い最上流、底版近傍は 1.5mm 以上となっている。

また、鋼製砂防構造物維持管理マニュアル検討委員会での、「鋼製構造物の点検は、あまり複雑にしないほうがよい」という考えと、測定時の煩雑さを避けるという観点から、部材位置などにより基準値を変えずに統一した。

表　1　許容減厚量に関する基準値の変遷

<table>
<tr><th>発行年度</th><th>許容減厚量の基準値</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>昭和 60 年版</td><td>さび代＝片面 1.5mm</td><td></td></tr>
<tr><td>昭和 62 年版</td><td>さび代＝片面 1.5mm</td><td></td></tr>
<tr><td>平成 5 年版</td><td>
<table>
<tr><th>型式</th><th>名称</th><th>部材</th><th>腐食しろ</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>不透過型</td><td>枠構造等</td><td>主要部材</td><td>1.5 ㎜</td><td>耐摩耗性材料で被覆</td></tr>
<tr><td rowspan="5">透過型</td><td>格子形・B 型</td><td>上流側最前列部材</td><td>5.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>格子形・B 型</td><td>その他主要部材</td><td>3.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>A 型</td><td>主要部材</td><td>5.0 ㎜</td><td>土石流区域単独設置</td></tr>
<tr><td>A 型</td><td>主要部材</td><td>3.0 ㎜</td><td>副ダム等に設置</td></tr>
<tr><td>共通</td><td>継手材等</td><td>1.5 ㎜</td><td></td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>平成 13 年版</td><td>
<table>
<tr><th>型式</th><th>名称</th><th>部材</th><th>腐食しろ</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>不透過型</td><td>枠ウォール等</td><td>主要部材</td><td>1.5 ㎜</td><td>衝撃や摩耗のおそれがある場合は耐摩耗性材料で被覆</td></tr>
<tr><td rowspan="3">透過型</td><td rowspan="3">骨組構造</td><td>上流側最前列部材</td><td>5.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>その他主要部材</td><td>3.0 ㎜</td><td></td></tr>
<tr><td>継手材等</td><td>1.5 ㎜</td><td></td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>平成 21 年版</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">流下形態</th><th rowspan="2">型式</th><th rowspan="2">部位</th><th rowspan="2">腐食しろ *1)
（片面）</th><th colspan="2">余裕しろ</th></tr>
<tr><th>通常</th><th>緩和条件</th></tr>
<tr><td rowspan="6">土石流</td><td rowspan="4">透過型</td><td>最上流部材</td><td rowspan="6">0.5 ㎜</td><td rowspan="2">3.5 ㎜</td><td>他に対策を施した場合 1.5 ㎜</td></tr>
<tr><td>底版近傍の部材</td><td></td></tr>
<tr><td>継手部材</td><td>1.0 ㎜</td><td>－</td></tr>
<tr><td>その他部材</td><td>0.0 ㎜～3.5 ㎜</td><td>礫の衝突頻度、部材配置及び重要度による</td></tr>
<tr><td rowspan="2">不透過型</td><td>最上流部材</td><td>3.5 ㎜</td><td>他に対策を施した場合 1.5 ㎜</td></tr>
<tr><td>その他部材</td><td>0.0 ㎜～3.5 ㎜</td><td>礫の衝突頻度、部材配置及び重要度による</td></tr>
<tr><td rowspan="6">掃流</td><td rowspan="4">透過型</td><td>最上流部材</td><td rowspan="6">0.5 ㎜</td><td rowspan="2">1.5 ㎜</td><td>－</td></tr>
<tr><td>底版近傍の部材</td><td>－</td></tr>
<tr><td>継手部材</td><td>1.0 ㎜</td><td>－</td></tr>
<tr><td>その他部材</td><td>0.0 ㎜～1.5 ㎜</td><td>礫の衝突頻度、部材配置及び重要度による</td></tr>
<tr><td rowspan="2">不透過型</td><td>最上流部材</td><td rowspan="2">0.0 ㎜～1.5 ㎜</td><td rowspan="2">流水に含まれる砂礫の摩耗を受ける可能性のある箇所</td></tr>
<tr><td>その他部材</td></tr>
</table>
＊1）ただし、取り替え可能な部材については、腐食しろを見込まなくてもよい。
</td><td></td></tr>
</table>

鋼製砂防構造物設計便覧（昭和 60、62、平成 5、13、21 年版）より

【参考文献等】

(5)　鋼製砂防構造物設計便覧における「腐食しろ」（鋼製砂防構造物設計便覧より抜粋）

(6)　鋼製砂防構造物設計便覧における「余裕しろ」（鋼製砂防構造物設計便覧より抜粋）

(7)　腐食量調査事例（鋼製砂防構造物設計便覧による）

(8)　摩耗調査事例（鋼製砂防構造物設計便覧による）

(9)　腐食量調査事例（砂防鋼構造物研究会提供）

【不透過型】

１．「全体変形（水平変位：セル、ウォール）」の変状レベルと閾値

	変状レベル			備考
	a 軽微な損傷	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	
評価（閾値）	なし～高さの 2%未満	高さの 2%以上 4%未満*	高さの 4%以上	*2%以上 4%未満の場合は別途構造計算を行い取り替えの必要性を判断することができる。
技術的根拠	与田切セル堰堤群の事例のうち、損傷形態がせん断変形の場合の測定値の目安を参考とした。			

【説明】

セルの損傷形態と損傷レベルごとの測定値の目安（閾値）については、「与田切鋼製セル群ダムの維持管理法について」（参考文献(10)）において検討されている。本マニュアルにおける変状レベルおよびこの参考資料中の損傷レベルと定義を対比させ下表に示す。

機能低下レベルと定義において、「次期同程度の土石流に対しては機能を発揮できない」とする損傷レベルⅣを変状レベルｃとし、変状レベルｃをセル高さの 4%以上とした。

変状レベル ｂについては、現状では機能の喪失はないが、将来機能の喪失の可能性がある損傷レベルⅢとし、変状レベルａとの閾値を 2%とした。

また、ウォールに関する閾値についても、セルと同様とした。

表　1　変状レベルと損傷レベル対比表

本マニュアルでの変状レベルと定義		「与田切鋼製セル群ダムの維持管理法について」における損傷レベルと定義			
変状レベル	定義	損傷レベル	機能低下レベルと定義		測定値の目安
変状レベルｃ	機能・性能低下あり	Ⅳ	機能喪失	次期同程度の土石流に対しては機能発揮できない。	下流天端変位がセル高の 4%以上
変状レベルｂ	損傷あるが機能・性能低下に至っていない	Ⅲ	重度機能低下	将来的レベルⅣに至る可能性がある。	下流天端変位がセル高の 2%以上～4%未満
変状レベルａ	軽微な損傷	Ⅱ	軽度機能低下	将来的にも安定上ほとんど問題ないと考えられるが、場合によってはレベルⅢに至る可能性がある。	下流天端変位がセル高の 2%未満
		Ⅰ	機能維持	完成時と比べて機能の低下はない。	

*参考文献等(10)、2.1_表 1、表 3 に加筆

【参考文献等】

(10)　中安正晃、水山高久、香月智、阿部宗平、扇行徳：与田切鋼製セル群ダムの維持管理法について、平成８年度 砂防学会研究発表会概要集

(11)　今井一之：与田切鋼製セルダム、新砂防、vol.44、№5、1992

(12)　中安正晃、白江健造、佐藤敏明：平成 5 年 8 月に発生した土石流と与田切鋼製セル群ダムの効果、新砂防、vol.46、№5、1994

(13)　中安正晃、今井一之：与田切鋼製セル群ダムの効果（速報）、新砂防、vol.47、№4、1994

【不透過型】

２.「全体変形（鉛直変位）：枠」の変状レベルと閾値

	変状レベル			備考
	a 軽微な損傷	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	
評価（閾値）	なし	～1 スパン当たり 15ｃｍ未満	1 スパン当たり 15cm 以上	
技術的根拠	－	接合部の工夫により、1 スパン当たり 15cm の自在性があることから、変位量が 15cm 未満であれば部材強度に問題は生じない。	接合部の工夫により、1 スパン当たり 15cm の自在性があるが、変位量がこれを超えると部材強度に問題が生じる。	

【説明】

枠の自在性については、製造メーカーによる実験が行われている。（参考文献(14)、(15)）
実験結果をまとめると以下のとおりとなる。

表　1　構成部材やボルト等の破断が認められない沈下量の最大値

形式	中詰材の有無	沈下量（変形量）	備考
鋼製自在枠	なし	80cm	
	あり	20cm	
鋼製続枠	なし	15cm	

上記の結果から、変位については、点検者の混乱をさけるため沈下量の最も小さい続枠の値を採用し、「15cm 以内であれば構造物の安定性に問題はない」とした。

なお、鋼製続枠は、接合部の構造上（ボルト孔の余裕）部材に影響を与えることなく 15cm まで変形（沈下）を許すことができる。このため、沈下が 15cm までは部材に影響を与えないため、中詰材の有無に関わらず、接合部で変形が可能であることから、「中詰材あり」の場合の実験は行っていない。

【参考文献等】

(14)　鋼製自在枠の自在性に関する資料　（砂防鋼構造物研究会提供）
(15)　鋼製続枠の自在性に関する資料（砂防鋼構造物研究会提供）

【不透過型】

３.「全体変形（鉛直変位）：セル」の変状レベルと閾値

	変状レベル			備考
	a 軽微な損傷	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	
評価（閾値）	なし～15cm 未満	15cm 以上～50cm 未満	50cm 以上	
技術的根拠	壁面材や水抜き管等部材の変形の有無や、壁面材の最少部材長、ウォールの閾値を参考に、15cm、50cm を閾値とし変状レベルを設定した。			

【説明】

セルでは、中詰材に沈下が生じても、壁面材への構造的な影響はほとんどない。

ただし、中詰材の沈下に伴い、水抜き管の変形など部材変形が伴うことも想定される。また、中詰材の沈下で天端部が壁面材だけとなった状態では、水平力を受けることができなくなる。以上のことから、壁面部材の最小長程度である 50cm を、変状レベル c とした。

変状レベル a と b の閾値については、ウォールの値を参考とし、15cm とした。

【不透過型】

４.「全体変形（鉛直変位）：ウォール」の変状レベルと閾値

	変状レベル			備考
	a 軽微な損傷	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	
評価（閾値）	なし～15cm 未満	15cm 以上～30cm 未満	30cm 以上	
技術的根拠	タイロッドの応力度とたわみ量から決定			

【説明】

港湾の施設におけるタイ材の設計では、中詰材の沈下に伴う曲げによる引張強度の低下を考慮して、許容応力度を低減している（曲げ考慮無し：降伏応力度の 60%、曲げ考慮あり：降伏応力度の 40%）。

砂防堰堤のウォールと港湾の施設とでは、タイ材と鋼矢板との取り付け方法が異なるが、中詰材の沈下の影響を考慮して、同様に許容応力度を低減している。

港湾の施設では、タイ材の鋼矢板取り付け部が固定支承に近いことから、中詰材が沈下すると取付点においてタイ材に曲げモーメントを受ける。一方、砂防堰堤では、タイ材は回転自由の自在ジョイントを介して壁面材に取り付けているので、中詰材が沈下すると曲げではなく引張応力が付加される。

タイ材がたわみ変形したときの引張応力度は伸びとたわみ量の関係から求まり、天端付近の壁体幅 5m において、タイ材の応力状態が許容応力度（0.6σy）に達するときのたわみ量は 18cm（≒15cm）、降伏点応力度（σy）は 31cm （≒30cm）が求まる。

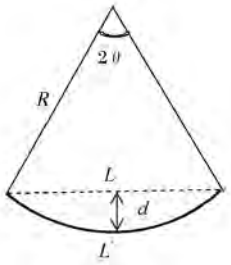
タイ材の伸びとたわみの関係式は、

$$L' = \left(1 + \frac{\varepsilon}{100}\right) \cdot L + 2\alpha$$

$$L' = R \cdot 2\theta$$

$$L = 2 \cdot R \cdot \sin\theta$$

$$d = (1 - \cos\theta) \cdot R$$



ここに、L'：弧の長さ（mm）
L：タイ材の初期長さ（=5,000 mm）
ε：タイ材の伸び歪（%）
α：自在ジョイントの変形伸び（mm）
R：沈下による変形の曲率半径（mm）
2θ：たわみ変形の中心角（rad）
d：たわみ（mm）

以上より、

表－1　計算結果

σ	ε (%)	2α (mm)	θ (rad)	R (mm)	d (mm)
σy	0.20	40	0.244	10,340	310
0.6・σy	0.12	13	0.151	16,240	180

このことから、変状レベル c を沈下量 30cm 以上、変状レベル b を沈下量 15cm 以上 30cm 未満、変

状レベルａを沈下量15㎝未満とした。

堰堤高の高い非越流部において沈下量を目視点検し、中詰材の沈下量が30㎝ を超える場合は詳細調査を行う。詳細調査では、測量による変形量および中詰材の掘削によりタイ材の状態確認等を行う。

【参考文献等】

(16)　ダブルウォール工構造詳細図（参考）
(17)　港湾の施設の技術上の基準・同解説、社団法人日本港湾協会、H11.4

参考文献等目次

(1) 白石博文、梶田幸秀、香月智、石川信隆、松村和樹、嶋丈示：礫衝突による損傷を受けた中空鋼管の残存耐力評価実験、構造工学論文集、vol.48A、2002.3・・・・・・・・・・・・・・・・・14

(2) 凹み変形と断面係数（砂防鋼構造物研究会提供）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22

(3) 鋼製砂防構造物設計便覧における部材の損傷レベルと対応（鋼製砂防構造物設計便覧より抜粋）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

(4) 石川信隆、白石博文、梶田幸秀、香月 智、松村 和樹：礫衝突による損傷を受けたコンクリート充填鋼管の終局限界に関する実験的研究、土木学会第 57 回年次学術講演会（平成 14 年 9 月）造物設計便覧より抜粋)・・・ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24

(5) 鋼製砂防構造物設計便覧における「腐食しろ」（鋼製砂防構造物設計便覧より抜粋） ・・・26

(6) 鋼製砂防構造物設計便覧における「余裕しろ」（鋼製砂防構造物設計便覧より抜粋） ・・・31

(7) 腐食量調査事例（鋼製砂防構造物設計便覧による）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36

(8) 摩耗調査事例（鋼製砂防構造物設計便覧による）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43

(9) 腐食量調査事例（砂防鋼構造物研究会提供）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・51

(10) 中安正晃、水山高久、香月智、阿部宗平、扇行徳：与田切鋼製セル群ダムの維持管理法について、平成８年度 砂防学会研究発表会概要集・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・52

(11) 今井一之：与田切鋼製セルダム、新砂防、vol.44、№5、1992・・・・・・・・・・・・・・54

(12) 中安正晃、白江健造、佐藤敏明：平成 5 年 8 月に発生した土石流と与田切鋼製セル群ダムの効果、新砂防、vol.46、№5、1994 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・62

(13) 中安正晃、今井一之：与田切鋼製セル群ダムの効果（速報）、新砂防、vol.47、№4、1994 ・・・・・・・・・・・・67

(14) 鋼製自在枠の自在性に関する資料 （砂防鋼構造物研究会提供） ・・・・・・・・・・・・・72

(15) 鋼製続枠の自在性に関する資料（砂防鋼構造物研究会提供） ・・・・・ ・・・・・・・・73

(16) ダブルウォール工構造詳細図（参考）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・75

(17) 港湾の施設の技術上の基準・同解説、社団法人日本港湾協会、H11.4 ・・・・・・・・・・ 76

構造工学論文集　Vol. 48A (2002年3月)　　土木学会

礫衝突による損傷を受けた中空鋼管の残存耐力評価実験

Experimental study on the residual strength of damaged steel pipe due to rock collision

白石　博文*，梶田　幸秀**，香月　智***，石川　信隆****，　松村　和樹*****，嶋　丈示******

Hirobumi Shiraishi,　Yukihide Kajita,　Satoshi Katsuki,　Nobutaka Ishikawa,　Kazuki Matsumura,
Joji Shima

*防衛大学校理工学研究科学生　建設環境工学科　(〒239-8686　神奈川県横須賀市走水 1-10-20)
**博士(工学)　防衛大学校助手　建設環境工学科　(〒239-8686　神奈川県横須賀市走水 1-10-20)
***工博　防衛大学校助教授　建設環境工学科　(〒239-8686　神奈川県横須賀市走水 1-10-20)
****工博　防衛大学校教授　建設環境工学科　(〒239-8686　神奈川県横須賀市走水 1-10-20)
*****(財)砂防・地すべり技術センター　砂防技術研究所　(〒102-0074　東京都千代田区九段南 4-8-21)
******砂防鋼構造物研究会　(〒102-0093　東京都千代田区平河町 2-7-5)

Studied herein is the residual strength of the damaged steel pipe due to rock collision.　In this paper, two kinds of the test are carried out in order to obtain the residual strength of the damaged steel pipe.　At first, the weight dropping impact test is executed in order to give the damage to steel pipes.　Next, the static flexural test is performed to find the residual strength of the damaged steel pipes.　It is noted that there are inflection points in the relationship between the residual strength and the local deformation of the damaged steel pipe by which the serviceability limit and the ultimate limit states are determined.　It is also found that the flexural failure mode of the damaged steel pipes is changed from the local buckling mode to the proceeding local deformation mode.

KeyWords : Damaged steel pipe, residual strength, local deformation, damaged level
キーワード：損傷鋼管，残存耐力，局部変形，損傷レベル

1. 緒言

我が国では土石流対策として砂防ダムが全国に設置されており，主な例として写真-1 に示す格子型鋼製砂防ダムがあげられる．東海地方を襲った平成 12 年 9 月の集中豪雨では，岐阜県の阿木川で土石流が発生し，格子形鋼製砂防ダムの部材の一部である柱材が損傷した(写真-2)．損傷の状況を見ると，土石流の流下中に砂防ダム最上流柱をすり抜けた礫が 2～4 列目の柱根元部に複数個衝突したため，鋼管断面の上流部に相当する部分が過度にへこんだが，補修の明確な基準がなく事後処理の方針はまだ決定されていない．

写真-1　格子形鋼製砂防ダム

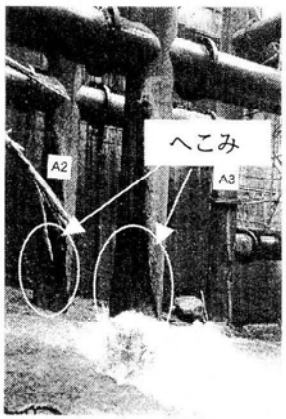


写真-2　損傷例

今回の被災例のように，鋼製砂防ダムに土石流が作用した場合，部材の損傷の程度により構造物が今後も使用できるか否かを判断する必要がある．現在，(財)砂防・地すべり技術センターの砂防構造物委員会では，表-1 左部に示すように視認により損傷レベルを 3 段階に設定して対策をとっている．損傷レベルⅠは部材が健全と判断され，何ら補修を加える必要が無いもの，損傷レベルⅡは部材の耐力が低下し，構造物が使用に耐えられるか否か検討の必要があるもの，損傷レベルⅢは部材が破損したと判断され，

表-1　損傷レベルに対する考え方

現　行			本研究		
部材の状態	視認による損傷レベル	対　策	判　定	対　策	へこみ
変形なし	Ⅰ	放　置	健　全	放　置	
変形あり	Ⅱ	耐力の低下を要検討	使用限界		αD
			損　傷	補強・補修	
			終局限界		βD
	Ⅲ	取　替	破　壊	取　替	

(a)　上方から　　(b)　断面方向から

写真-3　落錘式衝撃載荷装置

取替等が必要なものをいう．ここでいう破損とは，断面のへこみ変形と部材の弾塑性変形を加えた変形がある許容範囲を超える変形状態になることをいう．

しかしながら，現在の判定基準は，外見すなわち経験的判断から設定されているため，力学的根拠に乏しく，さらに各損傷レベルの境界となる使用限界および終局限界がはっきりと定義されていない．この理由として，損傷の程度による鋼管の残存耐力が明らかになっていないためである．

従来，鋼管部材の礫衝突に関する研究は，健全な鋼管に対して数多くなされてきた．例えば，水山ら[1]は鋼管への局部荷重載荷時の力学的挙動ならびに崩壊までに部材が吸収できるエネルギー量に関して研究し，川井ら[2]は実大鋼管供試体に対し静的載荷による部材耐力実験を行っている．また，斎藤ら[3),4)]は，鋼管片持ちはりに対し重錘衝突実験を行い，その局部変形や衝撃吸収エネルギーについて解明し，星川ら[5~8)]は，中空鋼管はりの静的および動的終局限界に関して塑性回転容量に着目して実験を行い，動的塑性回転容量を基準とした耐衝撃設計法を提案している．さらに，中島ら[9)]は大径鋼管の落錘衝撃実験と衝撃解析を実施し，巨礫の衝突に対する格子型鋼製砂防ダムの鋼管部材の局部変形について解明している．このように，健全な鋼管に対する研究では設計法の提案に至るまでの詳細な研究が行われている．また，損傷を受けた鋼管に関しては上田，Rashed[10)]が海洋構造物を対象として局部変形および曲げ変形を受けた鋼管部材の最終強度までの挙動を実験および解析により明らかにしているが，局部変形量(へこみ量)は，健全時の10%と非常に小さい範囲で行っている．

そこで，本研究では以下のような2段階実験を行って，礫衝突による損傷を受けた中空鋼管部材の残存耐力評価を行った．まず第1段階として重錘落下衝突実験を行い，中空鋼管に損傷を与え，次に，第2段階として損傷を与えた鋼管に対し静的載荷実験を行い，荷重～変位関係から無損傷の鋼管と損傷を受けた鋼管の耐力比較を行い，へこみ量と残存耐力の関係を明らかにした．さらに，得られた実験結果より，損傷を受けた鋼管の残存耐力評価判定の基準について，表-1右部に示すような，使用限界へこみ量($\delta_\alpha=\alpha D$，α：使用限界へこみ率，D：鋼管径)および終局限界へこみ量($\delta_\beta=\beta D$，β：終局限界へこみ率)により使用限界(この値までは部材を放置して良い)および終局限界(この値を超えると部材を取り替える)を定量的に定義しようとしたものである．

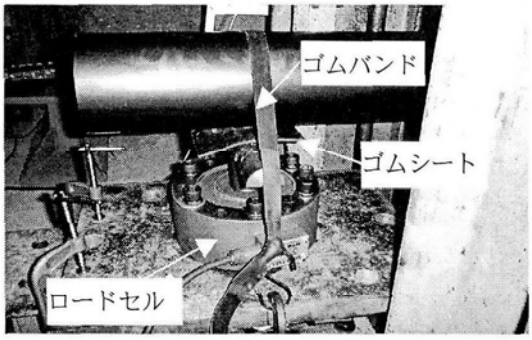


写真-4　支点近傍状況

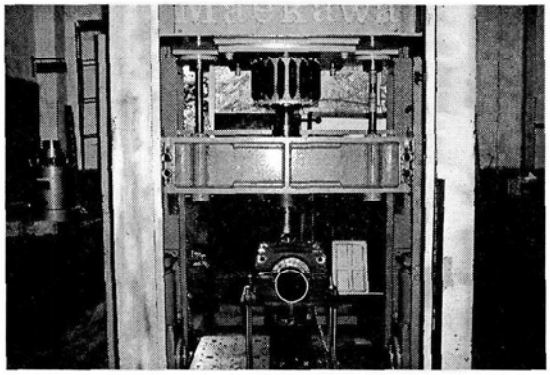


写真-5　静的曲げ載荷実験風景

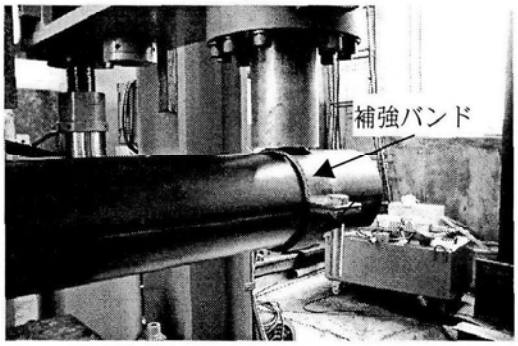


写真-6　補強バンド

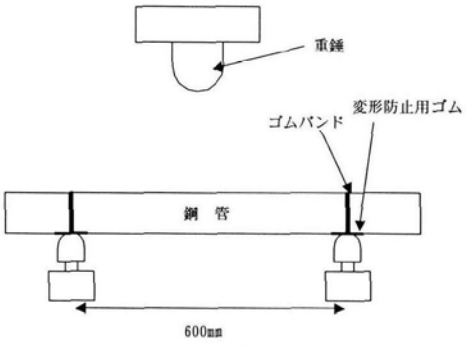


図-1　第１段階：重錘落下衝突実験と測定項目

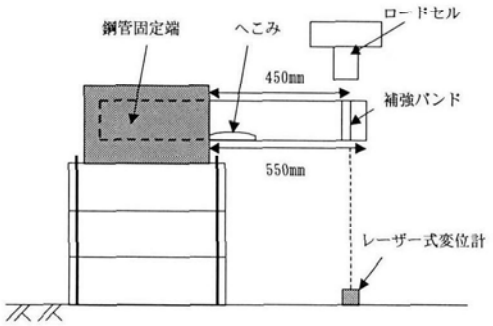


図-2　第２段階：片持ばりの静的曲げ実験と測定項目

2．２段階実験の概要

２段階実験つまり第１段階として重錘落下衝突実験により鋼管にへこみ変形を生じさせ，第２段階としてそのへこみ変形のある鋼管に対し静的曲げ実験を行い，残存耐力を評価した．

この２段階実験を採用した背景としては，緒言でも述べたように，当初土石流の巨礫が衝突して鋼管にへこみ変形が生じ，その後，後続流としての流体圧や堆砂圧に対して鋼管にどれだけの残存耐力が残っているかを調べようとするものである．

2.1 供試体

本実験に用いた鋼管は，一般構造用炭素鋼管(JIS G 3444 材質STK400)であり，直径139.8mm，長さ1000mm，肉厚3.5mmおよび4.5mm(径厚比40および31)のものである．実際の鋼製砂防構造物では径厚比20～50程度の鋼管が使用されており，本実験においてもこの値をもとに径厚比31と40の鋼管を使用した．

2.2 第１段階：重錘落下衝突実験（礫衝突による損傷実験）

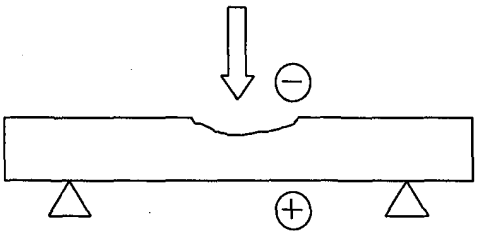
重錘落下衝突実験は，写真-3 に示すような落錘式衝撃載荷装置を用いた．本研究では，へこみを有する鋼管の残存耐力を得ることが目的であるため，重錘の高さを徐々に上げて落下させ，鋼管中央部にへこみ変形を発生させた．本実験では，へこみ変形のみを発生させるためにスパン長を短くしてはり変形を防止し，かつ支点部での鋼管の損傷を防ぐため，支点部には写真-4 に示すように変形防止用のゴムシートを敷いた．

実験は図-1 に示すように，鋼管はりのスパン長を600mmとし，スパン中央部に重錘が落下するように設置した．写真-4 に示すとおり，支点にはロードセル上に鋼製のカマボコ型の治具を取り付け，その上にゴムシートを敷き，上下方向はゴムバンドにより鋼管の移動を拘束した．重錘質量は200kg，重錘先端部は直径220mmの半球状である．本実験の主目的は鋼管に損傷を与えることであるため，計測項目としては鋼管のへこみ量(局部変形)を実験終了後，ノギスにより測定した．

2.3 第２段階：静的曲げ載荷実験（残存耐力評価実験）

静的曲げ載荷実験は，写真-5 に示すような高速載荷実験装置の油圧を調整して用いた．

今回は，へこみが生じた鋼管の残存耐力評価法として，図-2 のようにへこみ(損傷部)を下側(圧縮側)にし，片持ちばりにより耐力を評価する方法を採用した．この理由は，



（⊕：引張，⊖：圧縮）

図-3　単純ばりによる曲げ耐力評価

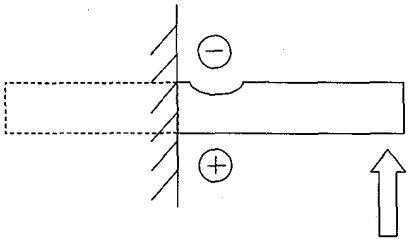


図-4　片持ちばりによる実験 1

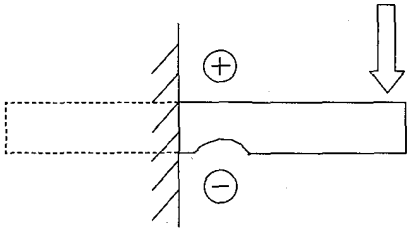
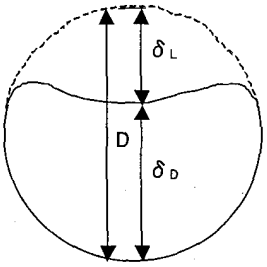


図-5　片持ちばりよる実験 2

図-3 のように単純ばりのままでへこみ変形を受けた鋼管の曲げ耐力を評価しようとすると，載荷位置がはり中央であるため既にへこみ変形を受けたところに載荷することになり，さらにへこみ変形が促進し，真の曲げ耐力を測定することができない．そこで図-4 のように片持ちばりとし，へこみ変形を受けた部分に単純ばりの場合と同様に圧縮作用(-)が生じるように載荷をすれば，へこみ変形を促進させることなく，へこみ変形を受けた鋼管の曲げ耐力を測定できる．ところが，実験の容易さから図-5 のようにへこみ部を下にして片持ちばりの先端部を上から載荷すれば，へこみ部を上にした場合と同じ力学的関係となり，効率よくへこみ変形を受けた鋼管の曲げ耐力を測定できると判断した．鋼製砂防ダムの設計における曲げの方向とは逆であるが，各損傷の度合いごとに鋼管の残存耐力を合理的に評価するためには，載荷によってへこみ変形を促進させない図-5 の方法が適切であり，ここでの耐力評価を実鋼製砂防ダムの設計に適用しても差し支えないと判断した．

実験の状況としては，図-2 に示すとおり片持ちばりの



へこみ率 $\alpha_L = \delta_L/D$

図-6　へこみ率の定義

スパンは 550mm とし，載荷位置は固定端より 450mm とした．これは，へこみの中心位置(端部より 500mm)では，重錘落下実験によりへこみ変形しているため鋼管が楕円形状になっており，固定治具による固定が不可能であるため，50mm だけスパンを長くし，鋼管を確実に固定治具により固定するためである．

さらに，載荷位置では鋼管断面の変形を拘束するため写真-6 に示すような補強バンドを取り付けている．なお，載荷変位は試験機の能力から最大 100mm とした．計測項目は図-2 に示すとおり，ロードセルによる載荷点荷重とレーザー式変位計による載荷点変位の 2 種類である．

2.4 実験ケース

本実験では損傷の度合いをへこみ率という物理量で表すことにした．へこみ率とは鋼管のへこみ量 δ_L を鋼管径 D で割った値(δ_L/D)である．図-6 に示すとおり重錘落下衝突実験終了後の鋼管の断面径(δ_D)をノギスにより計測し，へこみ変形(δ_L=D－δ_D)を求め，鋼管径 D で無次元化して求めた．次に，目標へこみ率を表-2 の一番左の列のように 8 通り設定した．目標へこみ率を達成するような重錘の落下高さの設定方法として，式(1)に示す修正エリナス式を参考にした[8]．修正エリナス式は，両端固定はりにおける動的荷重～へこみ変形関係を与えた式であるが，本実験ではスパンが短いため，両端固定はりのように重錘の衝突エネルギーのほとんどがへこみ変形により吸収されると考え，予測式として用いた．

$$P = \frac{161}{4}\left(\frac{D_0}{D}\right)^{0.11} \sigma_{yd} t^2 \left(\frac{\delta_L}{D}\right)^{0.8} \cdots (1)$$

ただし，

P ：へこみ変形に対応する動的荷重

σ_{yd} ：鋼管材料の動的降伏応力度($=1.2\sigma_{ys}$)

σ_{ys} ：鋼管材料の静的降伏応力度($240N/mm^2$)

t ：鋼管肉厚

D ：鋼管外径($139.8mm$)

δ_L ：へこみ変形

D_0 ：礫の直径($220mm$)

表-2　重錘落下高さと測定へこみ率

	目標へこみ率	t=3.5mm		t=4.5mm	
		重錘落下高さ(cm)	測定へこみ率	重錘落下高さ(cm)	測定へこみ率
1	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0.05	11	0.05	15	0.02
3	0.10	20	0.10	30	0.07
4	0.20	40	0.15	70	0.16
5	0.30	70	0.22	90	0.20
6	0.40	100	0.31	170	0.31
7	0.50	150	0.41	260	0.41
8	0.55	200	0.51	380	0.56

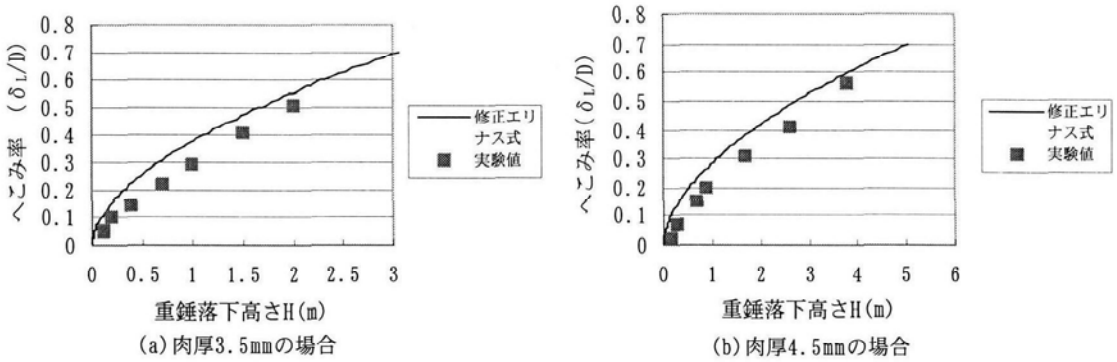


図-7　へこみ率～重錘落下高さ関係

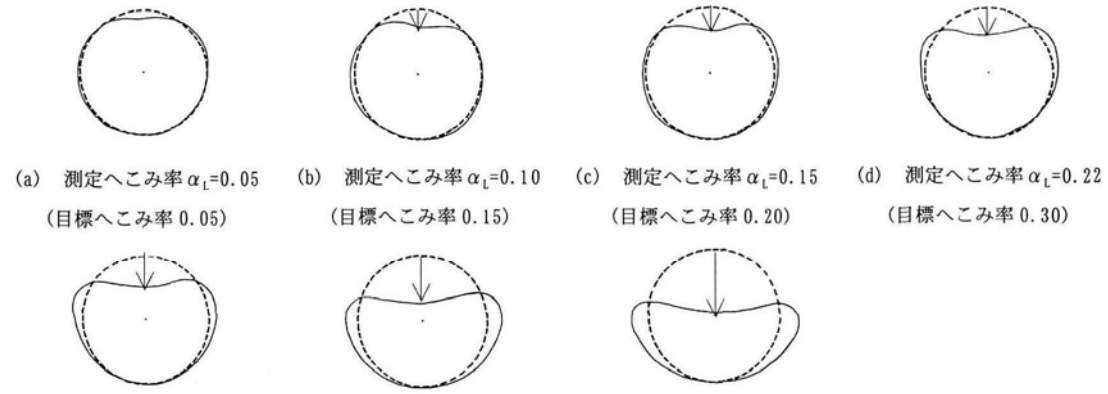


図-8　鋼管のへこみ状況(t=3.5mmの場合)

式(1)をへこみ量δ_Lで積分するとへこみ変形による吸収エネルギーU_Lが式(2)のように求められる.

$$U_L = \frac{161}{7.2} D_0^{0.11} D^{0.89} \sigma_{yd} t^2 \left(\frac{\delta_L}{D}\right)^{1.8} \cdots (2)$$

重錘の位置エネルギーE(=WH, W:重錘重量, H:重錘落下高さ)がすべてへこみ変形による吸収エネルギーに変換されるもの($E=U_L$)として目標へこみ率に対応する重錘落下高さHが式(3)のように求まり, 表-2のように決定される.

$$H = \frac{U_L}{W} \cdots (3)$$

ただし,

H ：重錘落下高さ

W ：重錘重量

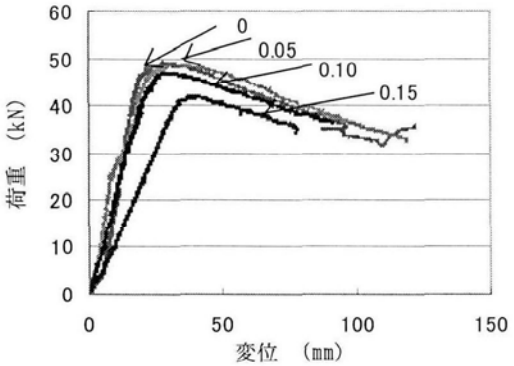
3. 実験結果と考察

3.1 重錘落下実験

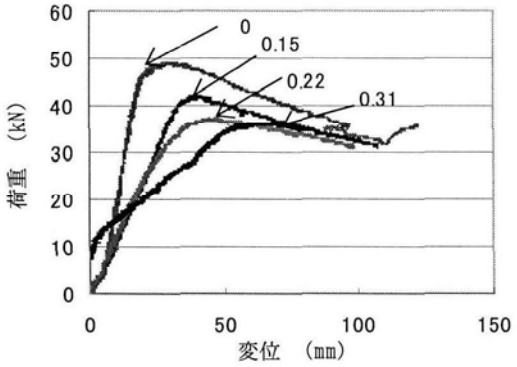
(1)へこみ率～落下高さ関係

表-2の測定へこみ率は重錘落下高さに応じて図-6の定義に基づきノギスにより測定された値である. 図-7の実線は式(3)を用いて修正エリナス式によるへこみ率～重錘落下高さの関係を表している.

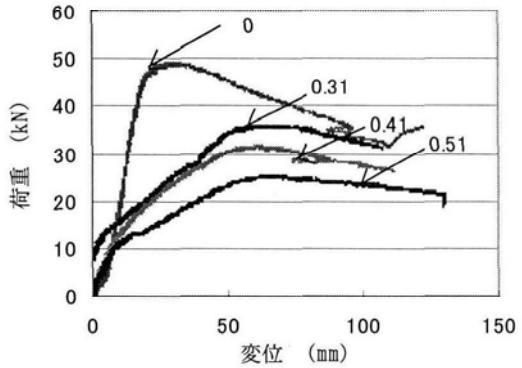
図-7(a),(b)は, 肉厚t=3.5mmと4.5mmの場合を示したもので, いずれの肉厚においても実験で得られた重錘落下高さ～へこみ率関係が修正エリナス式を下回っている. これは先に述べたとおり, 修正エリナス式が両端固定はりに対して定式化されているため, 今回の支持条件(単純支持)



(a) へこみ率 α_L が小さい場合

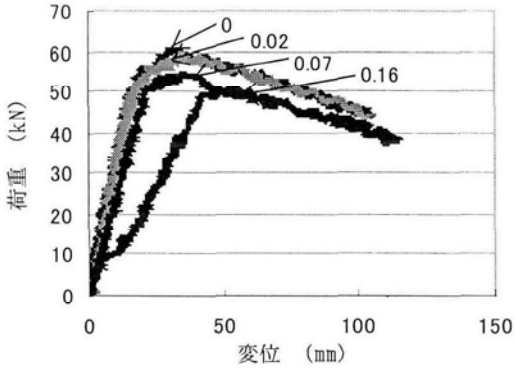


(b) へこみ率 α_L が中程度の場合

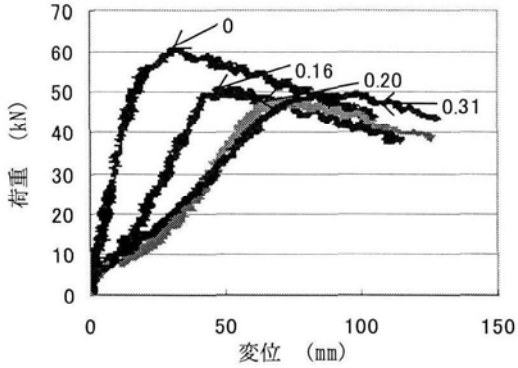


(c) へこみ率 α_L が大きい場合

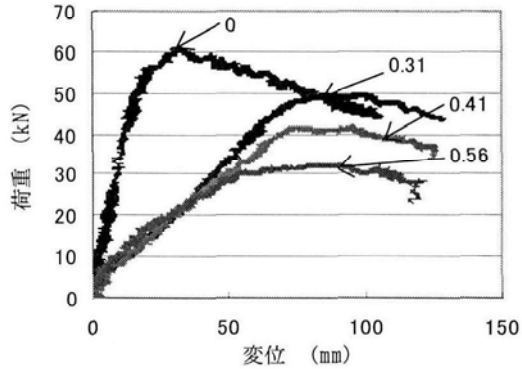
図-9 荷重～変位関係(t=3.5mm)



(a) へこみ率 α_L が小さい場合



(b) へこみ率 α_L が中程度の場合



(c) へこみ率 α_L が大きい場合

図-10 荷重～変位関係(t=4.5mm)

において，スパン長を短くして，はりの変形をおさえたとはいえ，はりの曲げ変形による吸収エネルギーがある分だけへこみ率が小さくなったと考えられる．

(2)鋼管のへこみ形状

重錘落下により損傷を受けた鋼管(肉厚 3.5mm)の実験終了後のへこみ状況を図-8 に示す．鋼管の断面図は，鋼管の外周に軟質の針金を沿わせ複写する方法を用いて図示化した．点線は実験前(無損傷)を表している．図-8 より，へこみの増大に伴い，横方向につぶれるようにして鋼管断面が変形していることがわかる．この結果，へこみの視認による使用限界すなわち表-1 に示すような健全であると判断されるへこみ率は，礫衝突部が少しへこむが全体形状がほぼ円形をとどめている測定へこみ率 α_L=0.10～0.15 の範囲が妥当であると思われる．一方，終局限界すなわち交換が必要であると判断されるへこみ率は，礫衝突部が大きくへこみ，鋼管が横方向に大きくはらみだした測定へこみ率 α_L=0.41～0.51 の範囲が妥当であると思われる．

3.2 静的載荷実験

(1)荷重～変位関係

肉厚 t=3.5mm および t=4.5mm の場合の静的載荷実験から得られた荷重～変位関係をそれぞれ図-9 および図-10

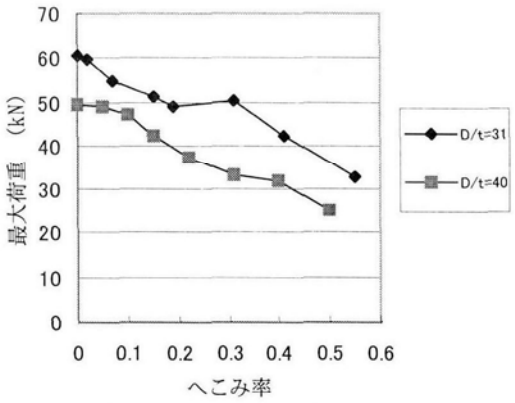


図-11　最大荷重～へこみ率関係

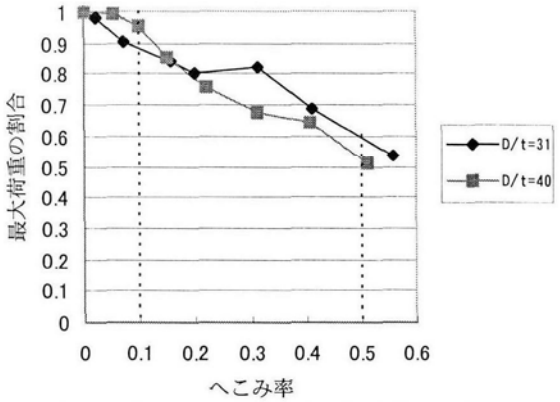
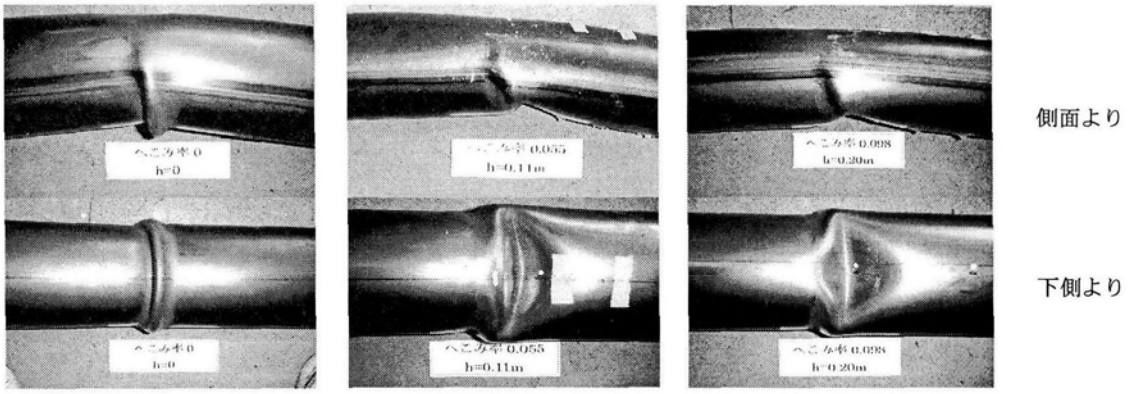
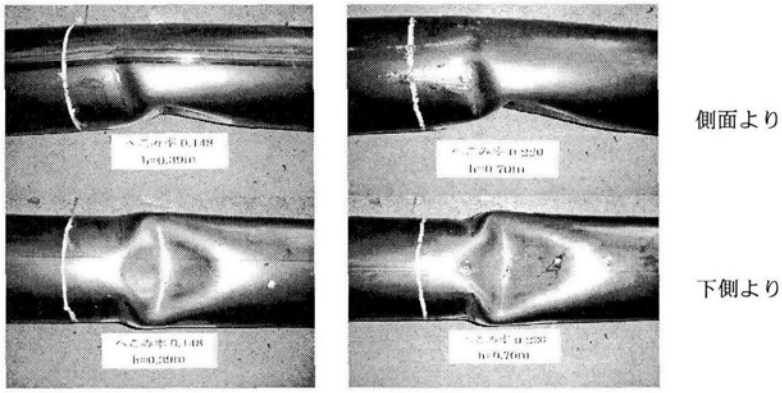


図-12　各へこみ率における最大荷重の割合



（ア）へこみ率 α_L=0　（イ）へこみ率 α_L=0.05　（ウ）へこみ率 α_L=0.10

(a)局部座屈による変形状態



（エ）へこみ率 α_L=0.15　（オ）へこみ率 α_L=0.22

(b) へこみの増進による変形状態

写真-7　各鋼管のへこみ変形(t=3.5mm)

に示す．すなわち，図-9,10 いずれも(a)へこみ率 α_L が小さい場合(α_L=0～0.16)，(b)へこみ率 α_L が中程度の場合(α_L=0.15～0.31)，(c)へこみ率 α_L が大きい場合(α_L=0.31～0.56)に分類して示している．これらより，(a)の場合はあまり耐力の低下が認められないが，(b)および(c)の場合は無損傷鋼管に比べかなり大きな低下が認められる．耐力低下の定量的評価については以下の図-11,12 に示す．

(2)最大荷重～へこみ率関係

図-9，10 より得られた最大荷重とへこみ率 α_L の関係を図-11 に，さらにへこみ率が 0 の時の最大荷重を基準とし，各へこみ率における最大荷重の割合を図-12 に示す．図-11 および図-12 よりへこみ率 0.10 と無損傷鋼管の最大耐力はほとんど変わらず，へこみ率 0.10 では耐力の低下は t=3.5mm(D/t=40)が 5%，t=4.5mm(D/t=31)が 10%程度である．ところが，へこみ率 0.15 になるとどちらの肉厚においても耐力の低下率が 10%を超え，さらにへこみ率が大きくなると最大荷重はほぼ直線的に低下している．すなわち，最大荷重が直線的に低下し始める点(最大荷重の変

曲点)がへこみ率0.10を超えたところに存在することが分かる．よって，使用限界の耐力低下率を 10%とすると，損傷を受けた鋼管の使用限界へこみ率は$\alpha \fallingdotseq 0.1$ となる．さらに，へこみ率が 0.5 になると最大耐力は無損傷鋼管の約半分まで低下している．損傷を受けた鋼管の終局限界を無損傷鋼管の最大耐力の 50%とすると，終局限界へこみ率は$\beta \fallingdotseq 0.5$ となる．

(3)静的曲げ実験後の鋼管の変形状態

各鋼管の静的曲げ実験終了時の変形状態を写真-7 に示す．すなわち，変形状態は 2 種類に分類され，写真-7(a)は片持ちばり固定端下側の局部座屈による変形状態を，写真-7(b)は片持ちばり固定端下側のへこみがさらに増進した変形状態を示す．固定端下側に完全な局部座屈がみられたのはへこみ率 0 と 0.05 の場合で，わずかな局部座屈とみられる鋼管のふくらみが見えたのがへこみ率 0.10 の場合である．

しかし，へこみ率が 0.15 より大きくなると損傷を受けた位置から曲がり始め，鋼管は横方向につぶれているのがわかる．これは，図-9,10 に示した荷重～変位関係からも読み取ることができる．すなわち，へこみ率 0～0.10 までの初期剛性とへこみ率 0.15 の初期剛性は明確に変化しており，これにより局部座屈により損傷するか，あらかじめ損傷したところのへこみがさらに増進して損傷するかに分けることができる．また，へこみ率が 0.15 より大きくなると最大荷重を迎える際の剛性が徐々に小さくなっていくのが分かる．これは，へこみ率が大きいほど損傷を受けていた部位の断面 2 次モーメントが小さくなるため剛性も小さくなったと考えられる．

(4)径厚比の違いによる最大荷重の低下率について

図-11 より，肉厚が厚くなると当然ながら最大荷重は大きくなり無損傷の場合(α_L=0)は約 1.2 倍の増加率であった．しかし，図-12 を見ると無損傷鋼管の最大荷重に対する損傷を受けた鋼管の最大荷重の割合は径厚比の違いによる大きな差異は認められず，いずれの場合もへこみ率 0.10 付近で 5～10%耐力が低下しており，へこみ率 0.5 付近で 50%耐力が低下していることが分かる．これにより，最大荷重の低下率に関しては径厚比の影響はあまり大きくないのではないかと考えられる．

4. 結論

本実験は損傷を受けた鋼管の残存曲げ耐力に着目し，損傷の度合い(へこみ率)と残存耐力の関係を 2 段階実験により明らかにしたものである．以下に本実験により得られた結果をまとめると次のようになる．

(1)へこみ率と最大荷重の割合より本実験の径厚比の範囲ではへこみ率が 0.05 までは無損傷鋼管と比較して最大荷重はほぼ同じであるが，へこみ率が 0.10 以上になると最大荷重が下がり始める．

(2)へこみ率が 0.10 を超えると最大荷重が直線的に下がり始める点(変曲点)が存在する．これは，へこみ率が小さい場合，鋼管の変形は局部座屈によるが，へこみ率が大きくなると鋼管の局部座屈は発生せず，損傷を受けた場所がさらにへこむという変形状態をとることから，変曲点は変形状態が局部座屈からへこみを増進させる損傷への移行点ともいえると考えられる．

(3)最大耐力の低下率 10%を損傷を受けた鋼管の使用限界とすると，使用限界へこみ率を$\alpha \fallingdotseq 0.1$ として差し支えないのではないかと思われる．

(4) 最大耐力の低下率 50%を損傷を受けた鋼管の終局限界とすると，終局限界へこみ率を$\beta \fallingdotseq 0.5$ として良いと思われる．

本実験は同一径で肉厚を変化させた 2 種類の鋼管に対して実験を行った．本実験の手法により損傷を受けた鋼管の残存耐力の評価や使用限界・終局限界の設定法を提案できたと考えるが，実験パラメータとして不十分な点もあるため，今後は鋼管径を変化させた実験や解析も必要であると考える．

参考文献

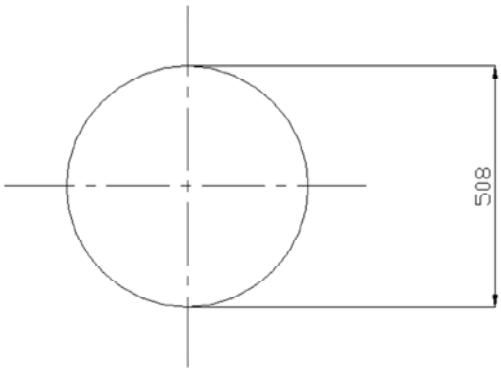
1) 水山高久，中西　宏，松村和樹：大口径鋼管に対する衝撃実験，新砂防，Vol.38.No.4(141)，1985.11.
2) 川井　豊，石橋正夫，山野井節雄：鋼管部材の耐力実験，落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，pp.9-14,1991.3.
3) 斎藤英明，石川信隆，大野友則，水山高久：鋼管片持ちばりの衝撃吸収エネルギーに関する基礎的研究，土木学会論文集，第 386 号/Ⅰ-8,pp.321-328 1987.10.
4) 斎藤英明，大野友則，石川信隆，水山高久：局部変形を考慮した鋼管片持ちばりの衝撃吸収エネルギーに関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.35A，pp.1057-1068,1989.3.
5) 星川辰雄，石川信隆，彦坂　熙，阿部宗平：半球状の重錘落下による鋼管固定はりの衝撃応答変位，構造工学論文集，Vol.40A，pp.1543-1554,1994.3.
6) 星川辰雄，石川信隆，彦坂　熙，阿部宗平：局部変形とひずみ速度効果を考慮した鋼管固定はりの衝撃応答変位，土木学会論文集，No.513/I-31，pp.101-115,1995.4.
7) 星川辰雄，石川信隆，彦坂　熙，阿部宗平：鋼管はり部材の動的終局限界に関する一考察，土木学会論文集，No.525/I-33,pp.139-152,1995.10.
8) 星川辰雄，石川信隆，彦坂　熙，水山高久，阿部宗平：鋼製透過型砂防構造物の弾塑性衝撃応答解析と耐衝撃設計法，土木学会論文集，No.549/I-37，pp.159-173, 1996.10.
9) 中島一義，中西　宏，井村章雄：大径鋼管の落錘式衝撃実験と衝撃解析，神戸製鋼技法，Vol.35，No4，pp.101-104，1992.
10) 上田幸雄，Sherif M.H.Rashed：損傷パイプ部材の挙動と最終強度，日本造船学会春季講演会，pp.439-448，1984.5.
11) (財)砂防・地すべり技術センター　鋼製砂防構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧，平成 13 年版.

(2001 年 9 月 14 日受付)

(2)　凹み変形と断面係数

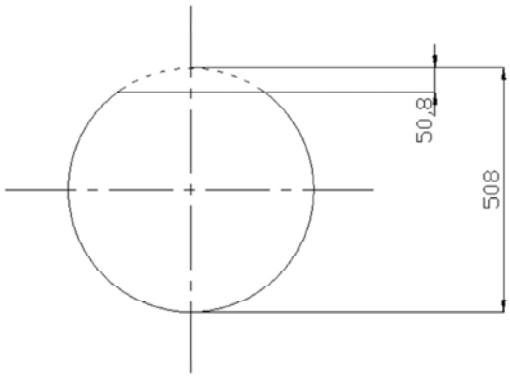
凹み変形と断面係数

○凹み変形なし



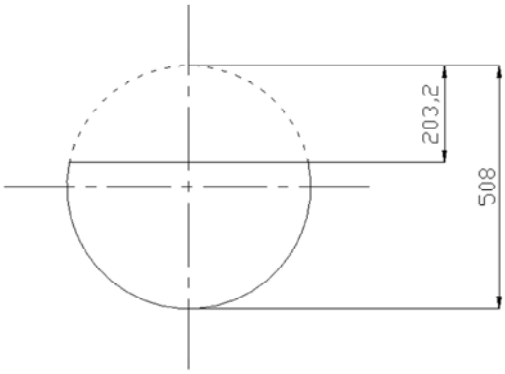
断面係数 Z = 2690615 mm3

○凹み変形 10%



断面係数 Z = 2675015 mm3（健全時の 99%）

○凹み変形 40%



断面係数 Z = 1349955mm3（健全時の 50%）

(3)　鋼製砂防構造物設計便覧における部材の損傷レベルと対応

148

2.1　点検

鋼製砂防構造物が土石流や流木の流出を受けた場合，構造物に対して何らかの損傷を受け，変形を生じることがある。一般に，鋼製砂防えん堤は，構造物の全体変形や部材の局部変形により礫や流木の衝撃力を吸収する構造であることから，変形が生じること自体がそのまま問題とはならない。しかし，損傷が著しい場合等には，砂防施設としての機能が低下していることが考えられることから，将来的にも新設時と同等の機能を必要とするためには，何らかの対策を講じることが望ましいと考えられる。ここでは，鋼製砂防構造物の施設点検に実施にあたり，主要な点検項目について整理した。点検を実施する上での参考にされたい。

(1)　透過型砂防えん堤の損傷レベル

部材の状態表面の傷，局部的な小さな凹みが見られても耐力が低下しているわけではなく，中空鋼管の場合鋼管径の10%程度まで凹んでも健全として放置しておいても特段問題はない。しかし，鋼管外形が変形するほどの凹みが見受けられる場合やCFT鋼管の場合に鋼管が折れたり亀裂が見られる場合には，鋼管の補修・補強が必要と考えられる。

損傷を受けた砂防構造物が補修・補強を必要とするか否かについては，施設管理者の判断が必要となる。そこで，透過型砂防えん堤が供用できるか否かの判定の目安として，施設の損傷レベルの設定例を表2.2に示した。

表2.2　部材の損傷レベルと対応

損傷レベル	機能低下レベルと定義	対応策	判　定	
			中空鋼管	CFT鋼管※
レベルⅠ －健全－	完成時と比べ機能の低下がなく，供用に支障がない	補修の必要なし	鋼管径の凹みが鋼管径に対して10%未満	部材の撓み変形角が2度未満
レベルⅡ －損傷－	部材耐力が低下しており，完成時と比べ機能低下のおそれがある	構造照査により補修・補強の必要性を検討する	鋼管径の凹みが鋼管径に対して10%以上，40%未満	部材の撓み変形角が2度以上，5度未満
レベルⅢ －破壊－	施設機能が喪失しており，次に設計荷重が作用すると機能が発揮できない	必ず補修・補強を行う	鋼管径の凹みが鋼管径に対して40%以上	部材の撓み変形角が5度以上

※CFT：コンクリート充填鋼管構造（Concrete Filled Steel Tube）

損傷レベルⅡにおいて補強・補修の必要性については，鋼管の残存耐力を算定し，骨組解析を行い供用できるか否かで判断することができる。以下に，判定の目安を示す。

表2.3　部材損傷に対する修復の判定

発生応力度　≦　許容応力度	放置
許容応力度　＜　発生応力度　≦　降伏応力度	施設の重要度に応じて修復の有無を判断
降伏応力度　＜　発生応力度	補修・補強

「鋼製砂防構造物設計便覧、平成21年版、（財）砂防・地図べり技術センター」より抜粋

(4)礫衝突による損傷を受けたコンクリート充填鋼管の終局限界に関する実験的研究

礫衝突による損傷を受けたコンクリート充填鋼管の終局限界に関する実験的研究

防衛大学校　ﾌｪﾛｰ　○石川信隆　学生会員　白石博文　正会員　梶田幸秀　正会員　香月　智　正会員　松村　和樹

1．緒言

格子形鋼製砂防ダムを始めとする鋼製砂防ダムの多くは，中空鋼管が使用されているため礫の衝突に対して鋼管のへこみおよびはりの塑性変形で抵抗する構造となっている．しかし，近年，鋼管部材の強度の向上を期待するため，コンクリート充填鋼管(以下CFT鋼管)を採用することが検討されている．これまで健全なCFT鋼管の耐衝撃性に対する検討は行われてきたが，損傷を受けたCFT鋼管の残存耐力については未だ明らかにされていなかった．そこで本研究は，第１段階として重錘落下実験を行ってCFT鋼管に損傷を与え，第２段階としてその損傷を受けたCFT鋼管に対し静的および高速載荷曲げ実験により残存耐力を評価し，その終局限界を定量的に定義しようとしたものである．

2．実験の概要

2．1　供試体

実験に用いた鋼管は，一般構造用炭素鋼管(JIS G 3444 材質STK400)，直径139.8mm，肉厚3.5mm，(径厚比40)，長さ1000mmとした．また，鋼管内に充填したコンクリートは，圧縮強度21N/mm^{2}である．表－１にコンクリートの配合表を示す．

表-1　コンクリート配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m^3) 水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材	混和剤
20.0	120.0	61.5	46.5	160	261	864	1025	2.61

※普通ポルトランドセメント使用

表-2　第１段階のケースと実験結果

No	質量(kg)	落下高さ(m)	衝撃エネルギー(kN･m)	へこみ率	変形角(°)
1	420	0.00	0.00	0.000	0.000
2		0.50	2.10	0.012	0.287
3		1.00	4.20	0.027	1.261
4		1.25	5.25	0.027	1.662
5		1.50	6.30	0.027	2.293
6		2.00	8.40	0.027	3.669
7		2.50	10.50	0.027	4.930
8		2.75	11.55	0.041	6.420
9		3.00	12.60	破断	

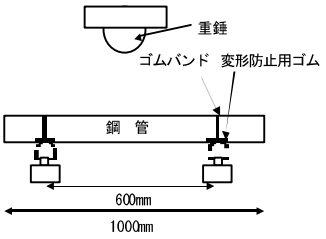


図-1　重錘落下実験概要図

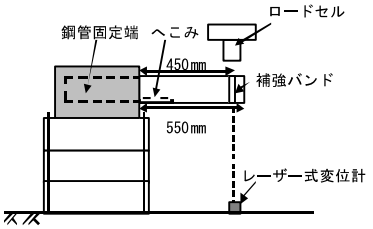


図-2　静的載荷曲げ実験概要図

2．2　重錘落下実験(第１段階)

重錘落下実験は，CFT鋼管に損傷を与えることを目的とし，重錘の落下高さを変えて，スパン中央部に重錘を落下させた．実験の概要を図-1に示す．落下高さおよび与えたエネルギー(衝撃エネルギー)は表-2に示す9通りであり，重錘先端部は直径220mmの半球状とし．重錘質量は420kgを使用した．

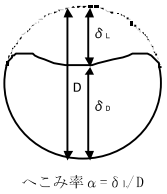


図-3　へこみ率の定義

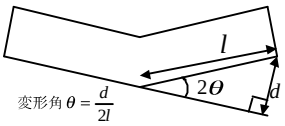


図-4　変形角の定義

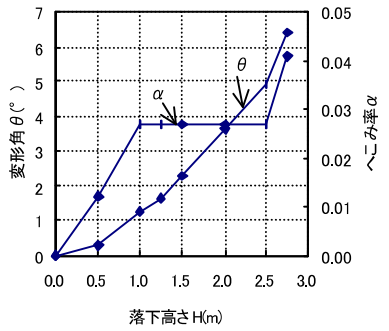


図-5　へこみ率・変形角～重錘落下高さ関係

2．3　静的載荷曲げ実験(第２段階)

静的載荷曲げ実験は，図-2に示すように損傷部を下側(圧縮側)にし，片持ちばりにより残存耐力を評価した．また，片持ちばりのスパンは550mmとし，載荷位置を固定端より450mmとした．載荷変位は，固定端端部の上面(引張側)の鋼管が破断し，充填コンクリートが目視できるまでとした．

2．4　測定項目

重錘落下実験では，損傷の度合いをへこみ率および変形角の２つの物理量で表した．へこみ率とは，図-3に示すように重錘落下実験後の損傷部の断面径(δ_D)をノギスにより測定し，鋼管のへこみ量(δ_L=D－δ_D)を求め，鋼管径Dで無次元化したものである．また，変形角とは図-4に示すとおり，はり変形により発生した変形量dを定規により測定し，変形角θを求めた．静的載荷曲げ実験については，載荷点荷重をロードセル，載荷

写真-1　CFT鋼管の損傷モード

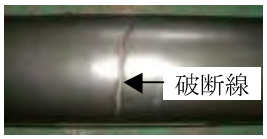


写真-2　破断線の状況
(H=2.75m)

写真-3　完全に破断した状況
(H=3.0m)

キーワード：損傷鋼管，変形角，残存耐力
連絡先：〒239-8686　神奈川県横須賀市走水1-10-20　TEL 0468-41-3810, FAX 0468-44-5913

点変位をレーザー式変位計により計測した．

3．　実験結果と考察

3．1　重錘落下実験（第 1 段階）

(1) CFT 鋼管の損傷モード

CFT 鋼管の損傷モードとしては写真-1 のようにへこみとはり変形の 2 つが同時に生じる．落下高さ 2.75m では写真-2 のように引張力が生じる鋼管中央下部において破断線が発生し，さらに落下高さ 3.00m では写真-3 に示すように，中のコンクリートが露出し鋼管は完全に破断した．

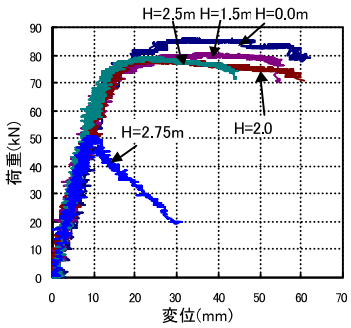


図-6　荷重～変位関係（第 2 段階）

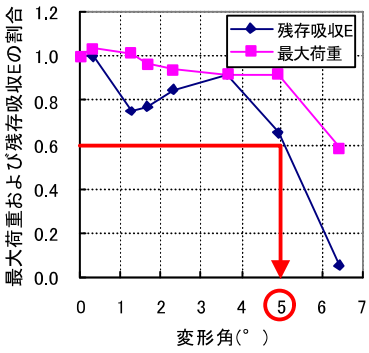


図-7　最大荷重および残存吸収 E の割合～変形角関係(第 2 段階・静的)

(2) へこみ率～落下高さ関係

表-2 および図-5 に各実験ケースでの損傷度を示す．図-5 より，落下高さ 1.0～2.5m の場合，へこみ率は一定であることがわかる．これは，落下高さを高くしてもへこみ率が変化しないことを意味し，衝撃エネルギーに比例して増大する損傷のパラメータとしてへこみ率を用いることは適当ではないことがわかる．

(3) 変形角～落下高さ関係

図-5 に変形角（θ）～落下高さ(H)関係を示す．図より変形角は重錘の落下高さに比例して増大し，変形角～落下高さ関係はほぼ比例関係にある．また，写真-1 からも重錘落下実験後，はり変形が発生し衝撃エネルギーの増加に伴って変形角が増加することもわかる．よって，鋼管が損傷を受けたことを示すパラメータとして変形角が妥当であると考えた．

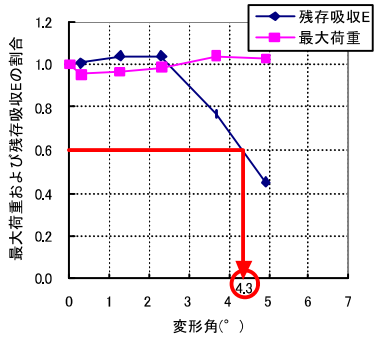


図-8　最大荷重および残存吸収 E の割合～変形角関係(第 2 段階・高速)

3．2　静的および高速載荷曲げ実験（第 2 段階）

(1) 荷重～変位関係

静的載荷曲げ実験から得られた荷重～変位関係を図-6 に示す．図-6 より落下高さ 2.5m までは荷重～変位曲線にほとんど違いは見られないが，落下高さ 2.75m では発生した破断線の影響により最大荷重が急激に低下している．

(2) 最大荷重の割合～変形角関係

図-7 に最大荷重の割合～変形角関係を示す．最大荷重の割合とは，各損傷の度合いにおける最大荷重を無損傷鋼管の最大荷重で無次元化した値である．図-7 より変形角が 5° 以下の場合，最大荷重の割合はほとんど低下せず 1.0 付近であるのに対し，6.4°（破断線が発生した鋼管）において割合が 0.6 と急激に低下した．

(3) 残存吸収エネルギー～変形角関係および終局限界の定義

図-7 に残存吸収エネルギー～変形角関係を示す．残存吸収エネルギーとは，破断するまでの荷重～変位曲線を積分して得られる結果であり，各損傷を受けた鋼管の残存吸収エネルギーを無損傷鋼管の残存吸収エネルギーで無次元化した値を残存吸収エネルギーの割合とした．ここで，無損傷鋼管の 60%以上を確保した状態を静的終局限界と定義すると変形角 θ =5° を静的終局限界と提案できる．

(4) 終局限界に及ぼす載荷速度の影響

図-8 に高速載荷における最大荷重の割合および残存吸収エネルギーの割合～変形角関係を示す．図より，高速においても変形角が増大しても最大荷重はほぼ低下しないが，残存吸収エネルギーは変形角の増大に応じ低下している．ここで，静的と同様に無損傷鋼管の残存吸収エネルギーの 60%以上を確保した状態を動的終局限界と定義すると，変形角 θ =4.3° を動的終局限界と提案できる．

4　まとめ

以下に本研究により得られた成果を示すと次のとおりである．

(1) CFT 鋼管は，変形角が発生しても鋼管に破断線が発生しない場合，最大耐力はほとんど低下しないが，鋼管に破断線が入ると急激に耐力が低下する．

(2) 損傷を受けた CFT 鋼管の(静的)終局限界を無損傷鋼管の残存吸収エネルギーの 60%以上を確保した状態と定義すると静的終局限界の変形角を θ =5° と提案できる．

(3) 静的と同じ定義で動的終局限界を判断した場合，動的終局限界の変形角は θ =4.3° と高速の方が小さくなり，載荷速度は終局限界に影響を及ぼすことがわかった．

(5)　鋼製砂防構造物設計便覧における「腐食しろ」

44

2.3.8　腐食しろ

錆の発生による鋼材の有効断面厚の低減を考慮して腐食しろを設け，鋼製砂防えん堤の耐久性を高めるものとする。ただし，取り替え処置が可能な部材に関しては，取り替えを前提に腐食しろを考慮しなくてよい。

(1)　腐食しろ

腐食しろは，酸性河川を除き片面0.5mmとする。ただし，小径礫の捕捉を目的とした機能部材は，取り替えを前提に腐食しろを設けなくてもよい。

一般に鋼製砂防構造物は，酸性河川を避けて設置している場合が多い。設置から20年以上経過している施設でも，浮き錆程度で塗装が残っている場合が大半であり鋼材内部への腐食の進行は0.1mm以下である。

写真2.1　昭和54年度に竣工した鋼製透過型砂防えん堤

設計耐用年数は，[設計腐食しろ/腐食環境に応じた年間腐食速度] で表せるので，腐食しろ0.5mmでは，特殊な環境（酸性河川，特殊な土壌，常時湛水状態）でなければ，一般の土木構造物の耐用年数である50年～80年程度の間は，腐食しろ控除後の設計板厚が保証されることになる。そこで，酸性河川でないことおよび清澄な大気中であることを前提として，片面0.5mmの腐食しろを設けることとする。密閉された鋼管内面では，酸素の供給がとだえるので，錆の進行はないものとしてよい。なお，pH 4以下の酸性河川や土の比抵抗値が20Ωm未満の粘性土地盤では，別途腐食対策を検討する。

また，腐食しろの代わりに，防食対策として亜鉛めっきを用いる場合は，砂礫の摩耗による損傷のおそれがないことを前提として，500g/m^{3}以上の亜鉛めっきを施すものとする。

ただし，土砂捕捉機能を補助する目的で配置される機能部材で，取り替えを前提とした構造の場合は，腐食しろを設ける必要はない。

「鋼製砂防構造物設計便覧、平成21年版、（財）砂防・地図べり技術センター」より抜粋

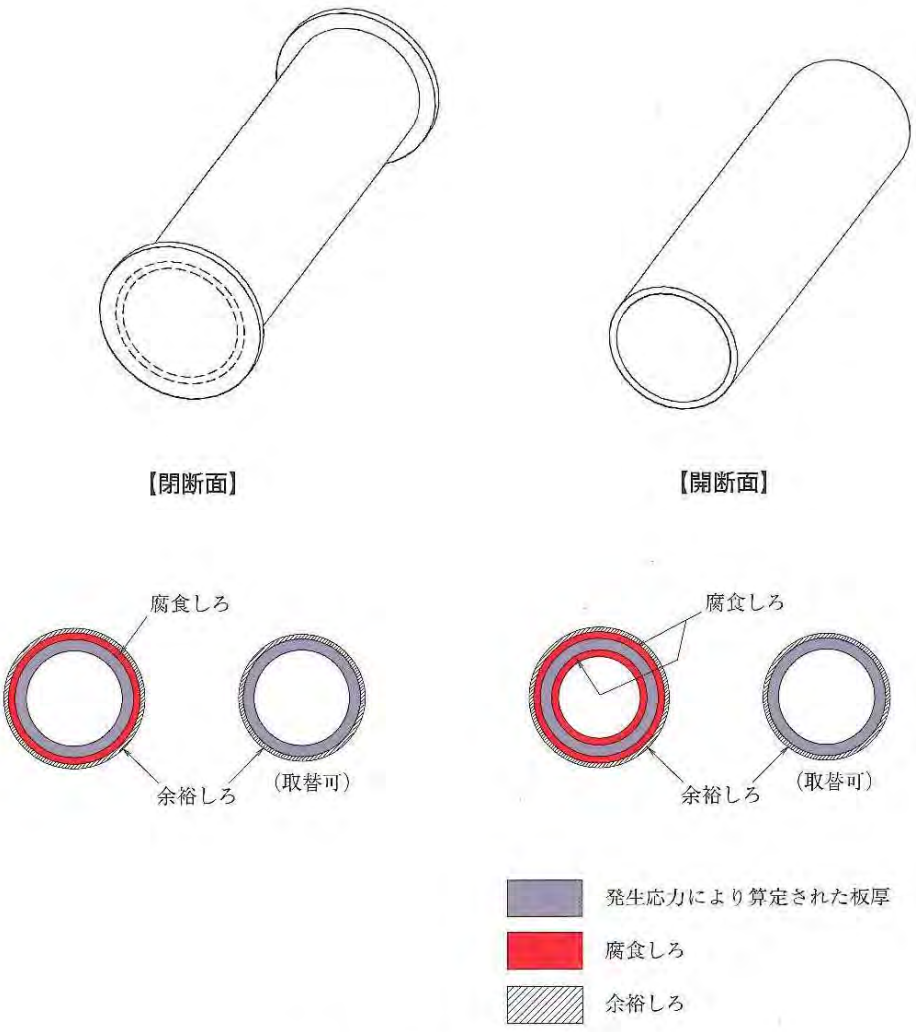


図2.15　鋼材の腐食しろと余裕しろ

Q&A

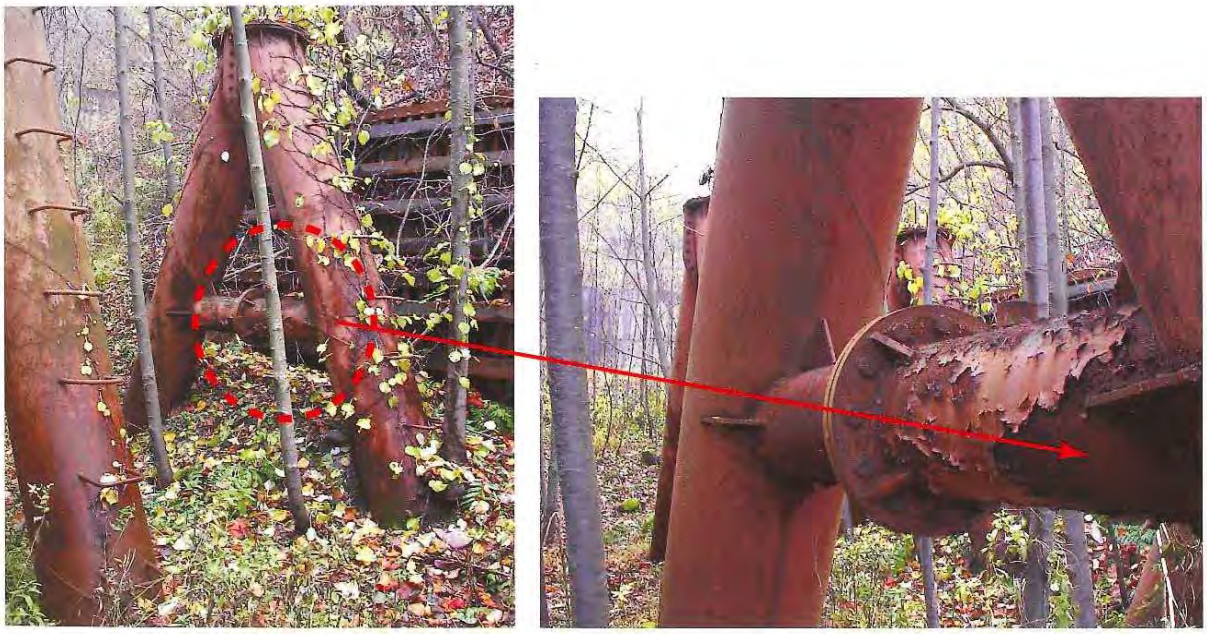
鋼製砂防構造物は，錆びると強度が低下して使えなくなるのですか

鋼製砂防構造物は，計画段階で現地のphを計測し，ph 4以下の酸性河川の場合には設置を避けるか，何らかの防錆処理を施します。また，各部材は錆による板厚の減少を考慮して設計しています。現行では，腐食しろを見込んでいます。つまり，錆に対しては，あらかじめ錆の進行しにくいところを選び，かつ発錆による板厚減も見込んで計画・設計しています。万が一，錆により板厚が減少している場合には，減少した板厚で再計算し，部材の発生応力が降伏を超えるようであれば補修あるいは補強対策を施す必要があります。

実際には，錆が発生している鋼製砂防構造物も，鋼材の表面に錆が発生したため塗装の一部が剥がれていても鋼材内部にまで錆が進行していることは希で，見た目ほど錆による板厚減はありません[1]。錆の進行を測定するには，実際に板厚を測定することになりますが手間が掛かります。簡単な判定として，例えば他の部位に塗装が残っていれば内部まで進行していないと考えてよいでしょう。ただし，鋼製枠のように土中に埋め込まれている場合には目視によって確認できません。そこで，計画前に流水のphや土の比抵抗値を測定することで鋼構造物の適地か確認する必要があります。土壌内には錆進行を促進させるバクテリアもありますが，通常は無視してよいでしょう。

錆は鋼構造物の耐用年数に最も影響を与えます。砂防設備を建設する場所は，沿岸部や工業地域のような塩分や亜硫酸ガスなど，錆を促進させるような場所から遠いため，錆が進行しにくい場所と言えるでしょう。ただし，火山地域では亜硫酸ガスの影響の及ぶ場所もありますから，塗装による防錆処理が必要です。

1）嶋丈示：鋼製透過型砂防えん堤の腐食に関する一考察，平成15年度砂防学会研究発表会概要集,pp. 152-153



錆の事例　小有珠川１号の沢１号スリットえん堤（昭和54年竣工）

(2) 塗装について

鋼製砂防構造物は，腐食対策として必要板厚に腐食しろを加算していることから塗装は必要ない。したがって，火山地域や酸性河川のような錆の進行が懸念される場所以外では，塗装が無くなっても強度上は問題ない。

しかしながら，近年では民家に近い場所にも設置されるようになり，錆の発生自体は強度上問題ない場合にも，錆が生じることで鋼材の強度低下があるのではといった見た目の不安感を抱かせる可能性がある。そのイメージを払拭する意味や景観対策として塗装は有効な手段であり，周辺環境に配慮する必要がある場合は塗り替えも検討することになる。

また，塗装を施すと錆の発現を長期間抑え，完成当初の強度を長期間維持できることから耐用年数を大幅に伸ばすことができる。特に砂防えん堤を設置するようなところでは，建設後に樹木の回復により管理用道路の維持も難しく，えん堤自体のメンテナンスにコストが掛かる。塗装を施すことで錆の発生の有無を目視により簡単に確認できることからえん堤の経年変化の点検も容易になる。このことから，塗装はえん堤の耐用年数を延ばす有効な手段となり，ライフサイクルコストの面で有効である。

ただし，流砂により塗装は剥離するため，流水に曝される部位については塗装の効果は小さい。

Q&A

鋼製砂防構造物に耐候性鋼材を使うことは可能ですか

施工から年数が経つと植生の回復など現地にアクセスするのも難しくなるような場所では，塗装する代わりに耐候性鋼材を採用することも考えられます。耐候性鋼材の錆は緻密で鋼材の表面が錆で覆われると酸素の供給を遮断するため，結果的に錆は進行しません。耐候性鋼材を採用する場合には，安定錆を発生させる必要があります。安定錆は，鋼材表面が乾湿を繰り返す必要があるので，水が溜まらないよう部材形状を工夫しますが，鋼製透過型砂防えん堤の場合，鋼管を使用しているので，雨に濡れても表面に水分を保持しにくいため，安定錆の発生には特段工夫する必要がないでしょう。底版近傍の流水に曝される箇所では，錆が定着しにくいですが，鋼材自体が耐摩耗性材料であることから摩耗による減厚を気にするほどではないでしょう。

(6) 鋼製砂防構造物設計便覧における「余裕しろ」

2.3.9 余裕しろ

現地の土砂移動実態を考慮して鋼材の有効断面厚に余裕しろを設け，鋼製砂防構造物の安全性を高めることが望ましい。

鋼製砂防えん堤の設置基数が増えるに従い，土石流を捕捉した事例も毎年のように見受けられるようになった。これら捕捉事例の調査から礫の衝突による鋼製部材の損傷事例も散見され，常時流水中に含まれる砂礫による摩耗や土石流中の礫の衝突により，局所的に断面欠損や断面変形が生じている。また，このような箇所は錆も発生しやすい。したがって，設計時に予想しにくい断面形状の変化への耐性を期待して，設計外力により算定された必要板厚に現地の土砂移動実態を考慮した余裕しろを設けるものとする。以下に，各部材の位置による余裕しろの設定について述べる。

(1) 最上流部材

施設の上流側に配置され土石流の直撃を受ける部材（最上流部材）は，余裕しろを3.5mm設けるものとする。ただし，衝撃や摩耗による減厚が特に大きいと予想される場合は，別途耐摩耗性材料などで被覆するなどの処置をとるものとする。この処置により板厚の減厚がない場合と判断される場合には，余裕しろを1.5mmまで低減してもよい。

鋼製透過型砂防えん堤の最上流部材は，土石流の先頭部を構成する巨礫や流木の直撃を受けるため，それらがどの方向から礫が衝突しても対応できるよう鋼管を採用している。しかし，礫の形状によっては局所的に集中荷重が作用し，へこみや削れが生じる可能性がある。このため，最上流部材の板厚は厚いほど，これらの不確定な断面変化による耐力低下を押さえることができる。写真2.2は，最上流の鋼管柱の径厚比（D/t）を40として余裕しろを3.5mm設けたもので鋼管板厚は22mmであり，設計時に想定していた礫径より大きい巨礫が衝突しても耐力低下を懸念するほどの変形は認められない。他の捕捉事例においてもこの程度の板厚があれば，耐力低下が懸念されるほどの断面変形はこれまでのところ報告されていない。

ただし，礫の衝突により局所的に２～３mm削り取られている事例も見受けられる。そこで，土石流の直撃を受ける最上流部材については，従来どおり余裕しろとして3.5mm設けるものとした。

写真2.2 上流側部材の擦過痕

(2) 底版近傍の部材

常時流水に曝される底版近傍の部材は，余裕しろを3.5mm設けるものとする。ただし，鋼管部材が常時流水に曝されない対策を施したり，摩耗や損傷を緩和する対策を施した場合には余裕しろを1.5mmまで低減してもよい。

鋼製透過型砂防えん堤の底版付近は，常時流水により砂礫の摩耗に曝される。しかし，鋼材自体が耐摩耗性材料で，かつ円形状であることから砂礫が下流にスムーズに流送される。このため，砂礫による摩耗の影響は小さい。現地調査からも，常時流水中の砂礫で極端に摩耗した例はない。

しかしながら，最上流の鋼管柱をすり抜けたり越流した礫が，下流に位置する鋼管柱根元に衝突し，断面変形を生じさせることがある。写真2.3は，径厚比（D/t）を80として余裕しろを1.5mm設けたもので板厚は12.7mmであり，鋼管のへこみが著しく割れが発生している事例である。

この底版近傍の鋼管柱は，外力を底版コンクリートに伝えるところでもあり，発生応力も他の部材に比べ大きいことから，ここが断面欠損や断面変形すると局所的に応力集中しやすく弱部になる可能性がある。したがって，底版近傍の砂礫に曝される箇所については礫の作用に対して十分に対策を施す必要がある。

そこで，底版近傍の砂礫が通過する箇所に位置する鋼管部材は，土石流の直撃を受ける部材と同等の余裕しろを3.5mm設けるものとした。ただし，底版近傍は鋼管板厚を増やす以外に底版コンクリートの形状を工夫したり，完成後にも手を加えることも可能なことから，余裕しろを設ける以外の対策を施す余地がある。そこで，その対策を施した場合には余裕しろを従来どおり1.5mmまで低減してもよいこととした。

（土石流を捕捉したが，流量が多く礫が下流に流れ，柱に複数回衝突し柱が大きく凹み鋼管が割れた。）

写真2.3 底版付近の鋼管変形状況

(3) その他の部材

最上流および底版近傍以外の部材は礫の作用頻度が少ない。よって，余裕しろを設けなくてよい。ただし，現地の礫の大きさ，土石流の発生頻度，えん堤の規模，部材の位置等を勘案して3.5mmまで増厚してもよい。

鋼製透過型砂防えん堤が満砂して天端からの礫落下により部材が大きく破損する事例も見受けられる(写真2.4)。この落下による影響は鋼管部材のへこみにより抵抗しており，大きく損傷した部材については補修や取り替えを検討することとなる。つまり，部材そのものを取り替えることを想定すると，余裕しろによる板厚の増加に期待してむやみに板厚を厚くするより，礫により破損した場合でも構造体として安定性を確保できるよう部材の数を増やしたり，部材の位置を工夫するなど，リダンダンシーの高い構造として対応した方が合理的な設計となる。そこで，その他の部材については，調査結果を参考に余裕しろを設けなくてもよいものとした。ただし，部材の重要度，礫の作用頻度によっては構造物の安全性，補修の容易さを考慮して3.5mmまで増厚してもよい。

(土石流を捕捉したが，後続の礫が天端から複数個落下し梁を傷め，横材が柱部から外れて流出した。)

(谷地形の深いところにえん堤が位置し，えん堤の上方から落石により斜材が外れて流出した。)

写真2.4 落下礫による部材損傷事例

(4) 継手部

継手部の鋼材は，余裕しろを片面1.0mm設けるものとする。

写真2.5は，礫の作用によりリブ有りフランジ継手のリブプレートが破断した事例である。ただし，リブによって接合用ボルトは保護されている。

写真2.5 継手部の損傷事例1

写真2.6，礫の作用によりリブ無しフランジ継手の接合用ボルトが破損し，フランジプレート自体も角が丸くなるほど摩耗している。ただし，フランジプレート自体は変形していない。

写真2.6　継手部の損傷事例２

リブ無しフランジ継手は，リブ有りフランジ継手と同等の耐力と剛性を得るために，フランジプレートを厚くしている。このため，礫が衝突してもフランジプレート自体が大きく変形した事例はなく，ボルトが破損した場合にも再度ボルトを締め付けることが可能である。したがって，フランジプレートやリブプレートなど継手部の部位に使用する鋼材は，従来通り耐力の向上を考慮して余裕しろを片面1.0mm設けることとした。

(5)　衝撃や摩耗のおそれのない場合

掃流区間に設置する場合，余裕しろを設ける必要はない。ただし，構造上突起部や角隅部となり流水に含まれる砂礫の摩耗を受ける可能性のある箇所については1.5mm以上の余裕しろを設けるか，保護するなどの処置を施すものとする。

掃流区間のように砂礫による衝撃や摩耗の影響の小さいところは，余裕しろを設ける必要はない。ただし，構造上突起部や角隅部となり流水に含まれる砂礫の摩耗を受ける可能性のある箇所については1.5mm以上の余裕しろを設けるか，コンクリートで凹凸を緩和したり，ゴムなどで継ぎ手を保護するなどの処置を施すものとする。例えば，不透過型の鋼製枠えん堤の水通し部がこれに相当する。

表2.20　部位に対する腐食しろおよび余裕しろ

流下形態	型式	部位	腐食しろ※1（片面）	余裕しろ	
				通常	緩和条件
土石流	透過型	最上流部材	0.5mm	3.5mm	他に対策を施した場合1.5mm
		底版近傍の部材			他に対策を施した場合1.5mm
		継手部材		1.0mm	－
		その他の部材		0.0mm～3.5mm	礫の衝突頻度、部材配置および重要度による
	不透過型	最上流部材		3.5mm	他に対策を施した場合1.5mm
		その他の部材		0.0mm～3.5mm	礫の衝突頻度、部材配置および重要度による
掃流	透過型	最上流部材	0.5mm	1.5mm	－
		底版近傍の部材			－
		継手部材		1.0mm	－
		その他の部材		0.0mm～1.5mm	礫の衝突頻度、部材配置および重要度による
	不透過型	最上流部材		0.0mm～1.5mm	流水に含まれる砂礫の摩耗を受ける可能性のある箇所
		その他の部材			

※1ただし、取り替え可能な部材については、腐食しろを見込まなくてもよい。

参考資料３　鋼製砂防構造物の腐食量調査

はじめに

鋼製砂防構造物の構成する鋼材の腐食量は，メンテナンスの必要性や供用期間を決める重要なデータである。そこで，各種環境における鋼材腐食量に関する既往データと鋼製砂防構造物の設置箇所を対象として暴露試験の結果を紹介する。

１．各種環境における鋼材腐食量

各種環境での鋼材腐食量についての調査結果をもと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。

(1)　大気中の腐食

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) および図-1のとおりである。

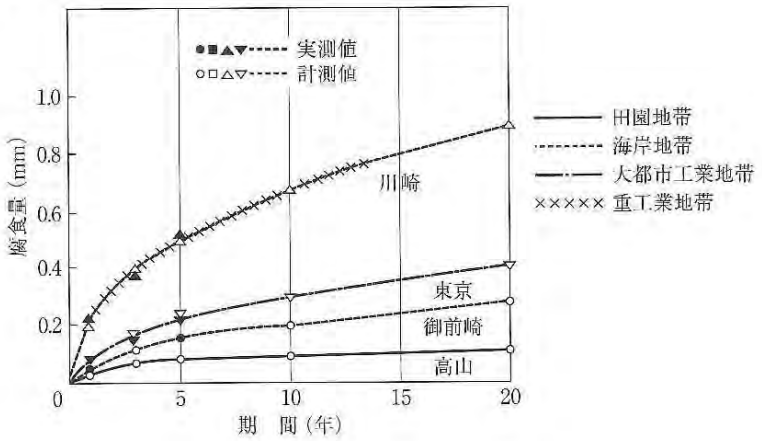
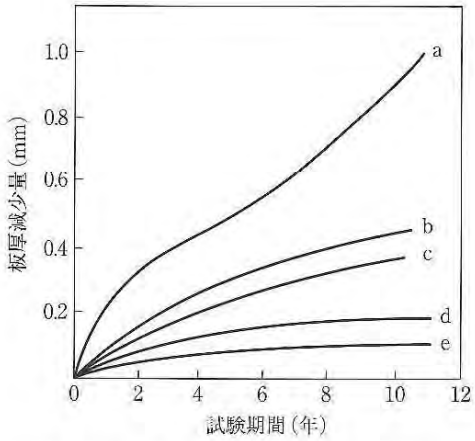


図-1　腐食環境別の腐食量



a ：非常に腐食の大きい臨海工場地帯および海岸地帯

b ：腐食の大きい臨海工場地帯

C ：やや腐食の大きい臨海工場地帯および海岸地帯

d ：比較的腐食の小さい臨海工場地帯，海岸地帯，内陸都市，田園地帯

e ：非常に腐食の小さい内陸都市および田園地帯

図-2　普通鋼の大気暴露試験結果

（(社)鋼材倶楽部，土木構造物の腐食・防食Q＆A，平成４年12月）

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

ここに，Y　　：腐食量 (mm)

A，B，C ：定数

X　　：暴露期間（年）

(2) pHの影響による腐食

軟鋼の腐食速度と純粋のpH値の影響の関係を図-3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，水素発生型の腐食を生じるので腐食速度は速くなる。

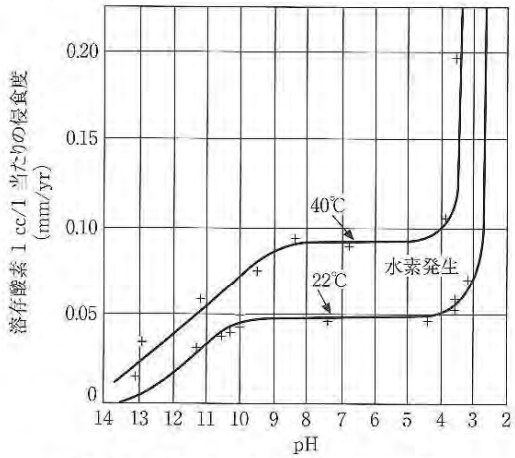


図-3　軟鋼の腐食と水のpHの影響

（日本学術振興会編，金属防蝕技術便覧,昭和47年４月）

(3) 亜鉛めっきの腐食

亜鉛付着量と耐用年数の関係を使用環境別に示した図とpHと亜鉛の関係を図-4，図-5に示す。

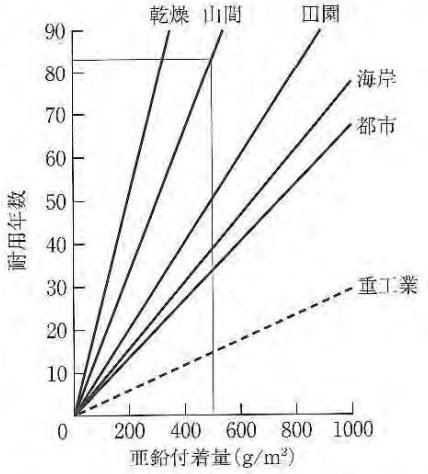


図-4 亜鉛付着量と環境別耐用年数の関係

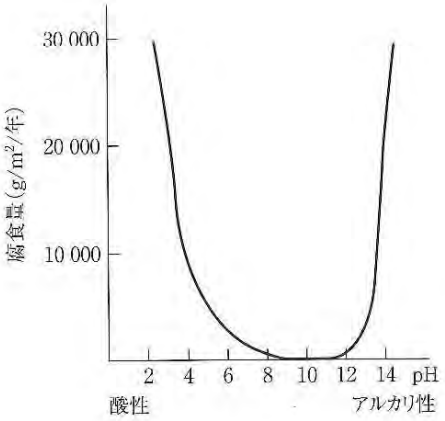


図-5 水溶液pHと亜鉛の腐食

一般に亜鉛めっきの耐用年数は，亜鉛皮膜の10％が残っている時点で素地から錆が発生すると仮定して，亜鉛の付着量と亜鉛の腐食速度から次式で表せる。

$$\text{亜鉛めっきの耐用年数}=\frac{\text{亜鉛の付着量}(g/m^2)}{\text{腐食速度}(g/m^2/\text{年})}\times 0.9$$

例として，山間部の亜鉛付着量500g/m^2（片面）の場合の耐用年数は，

耐用年数＝(500/6)×0.9＝75（年）

2．供試体における腐食量調査結果

(1) 供試体設置箇所

平成17年に鋼製砂防構造物の腐食進行度を予測するために，腐食環境である火山地域に鋼製砂防構造物で使用されている材料で作った供試体を設置し継続調査を行っている。供試体の設置箇所は有珠山（北海道）と桜島（鹿児島県）である。有珠山は平成12年（2000年）噴火の噴火口から約１km東側の沢筋に設置している。桜島の供試体は野尻川４号えん堤の下流右岸側に設置している。

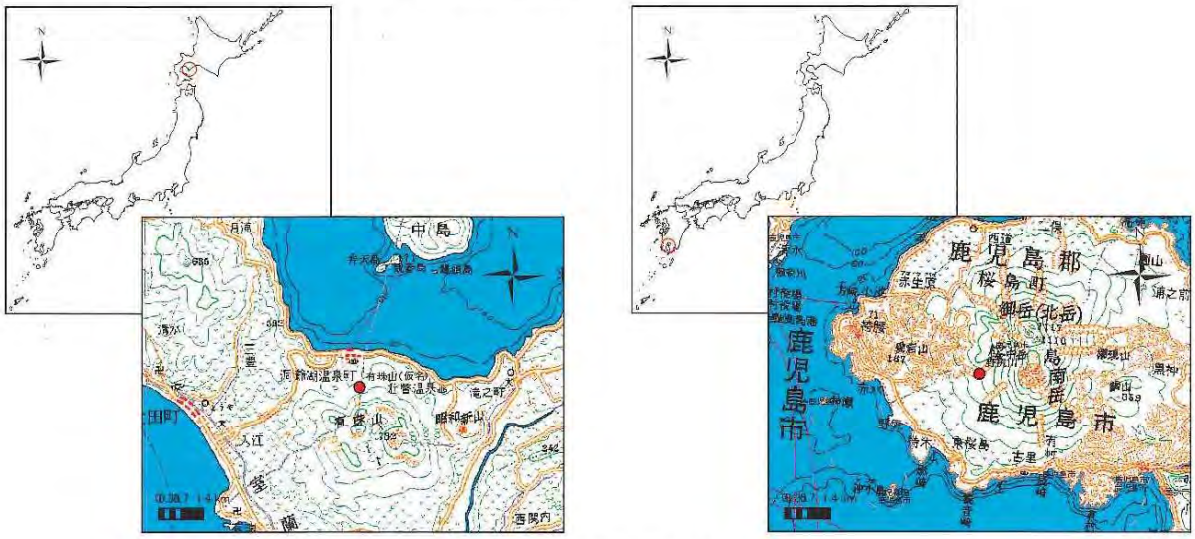


図-6　供試体の位置図

(2) 供試体の仕様

表-1 暴露供試体の部材仕様

部材	材質	サイズ	表面処理	設置箇所	本数	備考
鋼管	STK400	φ267.4×6.6×1394	塗装2回塗り	柱材	1	穴あけ5箇所Φ14mm
	STK490	φ267.4×6.6×1394	無塗装(黒皮)	柱材	1	穴あけ5箇所Φ14mm
	STK490	φ267.4×6.6×1394	塗装2回塗り	柱材	1	穴あけ5箇所Φ14mm
鋼板(鋼管の蓋)	SM400	φ260×6.0	塗装2回塗り	柱材	1	全周すみ肉溶接
	SM490	φ260×6.0	無塗装(黒皮)	柱材	1	全周すみ肉溶接
	SM490	φ260×6.0	塗装2回塗り	柱材	1	全周すみ肉溶接
H型鋼	SS400	H-125×125×6.5×9.0 L=1400mm	塗装	柱材	1	穴あけ10箇所Φ24
			めっき	柱材	1	穴あけ10箇所Φ24
等辺山型鋼	SS400	L-75×75×6×200	塗装	梁材	10	穴あけ各2箇所Φ24
六角ボルト	4.6	M20-55	めっき	—	10	ナット(4T), 平座金つき
高力ボルト	F10T	M20-55	—	—	10	ナット, 平座金つき
コンクリート	21N/mm^2	500×600×2200	—	基礎	0.7m^3	型枠:2.8m^2

架　台

等辺山型鋼	SS400	L-75×75×6×400	無塗装(黒皮)	—	4	穴あけ各2箇所Φ14, すみ肉溶接にて取り付け
等辺山型鋼	SS400	L-75×75×6×275	無塗装(黒皮)	—	2	穴あけ各2箇所Φ14, すみ肉溶接にて取り付け
等辺山型鋼	SS400	L-75×75×6×200	無塗装(黒皮)	—	4	穴あけ各2箇所Φ14, すみ肉溶接にて取り付け
等辺山型鋼	SS400	L-75×75×6×420	無塗装(黒皮)	—	2	すみ肉溶接にて取り付け
等辺山型鋼	SS400	L-75×75×6×1775	無塗装(黒皮)	—	2	すみ肉溶接にて取り付け
六角ボルト	4.6	M12	無塗装(黒皮)	—	20	ナット, 平座金つき

注) 架台(1台), 鋼管(3本), H鋼(2本), アングル(10セット)を現地にてボルト組み立て後, 型枠立込み, コンクリート打設。

塗装仕様

塗　装	第3種ケレン後, 塗膜性能JIS K 5664 2種相当, 特殊アクリル系塗料(ニットコートDP又はニッペプライマー)又は, ノンタールエポキシ樹脂塗料一回塗り
塗装2回塗り	金属面　前処理(工場)　:　ショットブラスター後, 長ばく形エッチングプライマー(15μm)
	下塗り　第1層(工場)　:　鉛系さび止めペイント1種(35μm)
	下塗り　第2層(工場)　:　鉛系さび止めペイント1種(35μm)
	中塗り(工場)　:　長油性フタル酸樹脂塗料中塗り(30μm)
	上塗り(現場)　:　長油性フタル酸樹脂塗料上塗り(25μm)
めっき	JIS H 8641　溶解亜鉛メッキ　2種　HD755

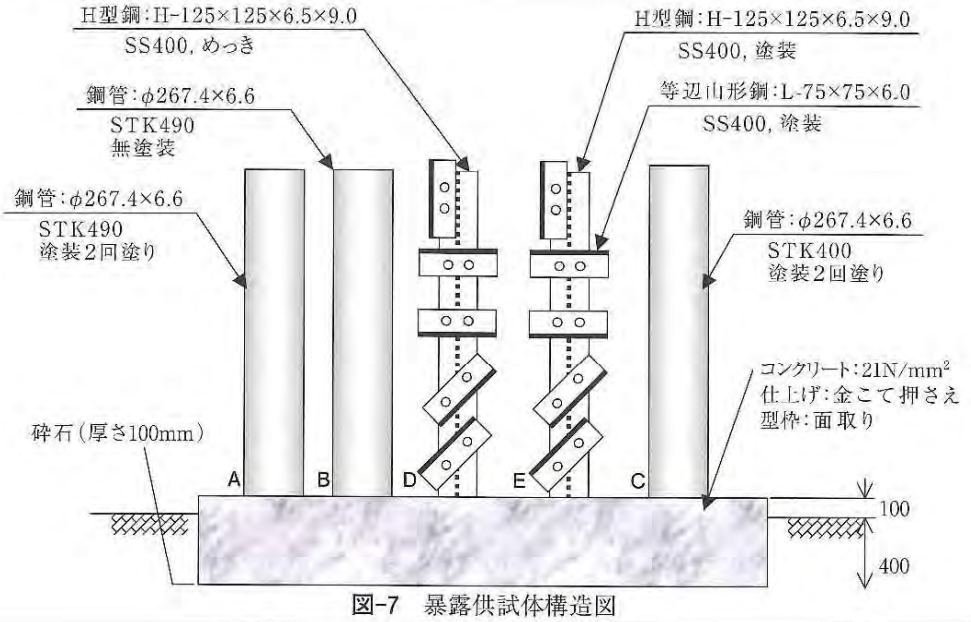


図-7 暴露供試体構造図

(3) 腐食量の調査方法

塗装が残っている箇所を初期値として，腐食している箇所の錆を取り除いた後，超音波厚さ計で板厚を計測し初期値と比較することで腐食量を算出した。

使用機器　：一般・腐食検査用 超音波厚さ計　CMX（株式会社TMIダコタ製）

測定範囲　：0.63～508 mm

超音波精度：+－0.01 mm

写真-1　計測状況

(4) 調査結果

腐食量の測定結果を表-2に示す。腐食量は有珠山で0.01以下～0.02mmを示し，桜島で0.09～0.18mmを示した。年平均すると有珠山では0.003以下～0.005mmであり，桜島では0.023～0.045mmであった。桜島では試験体設置から噴火活動レベルが２となっており，火口周辺からは水蒸気とともに火山ガス（二酸化硫黄や硫化水素等）が微量ではあるが噴出している。鋼製砂防構造物の設置箇所としては腐食環境が高い箇所である。

既往文献[1]によると，大気中の腐食速度は田園地帯・内陸地帯で0.01～0.02mm/年程度以下である。この値と測定値を比較すると，有珠山の測定値は田園地帯・内陸地帯の範囲内であり，桜島の測定値は田園地帯・内陸地帯を上回り大都市工業地帯の範囲内である。

表-2　板厚の測定結果

		有珠山	桜　島
設置日		平成17年 ９月23日	平成17年 ９月23日
調査日		平成21年 ５月10日	平成21年 ５月12日
設置期間		約４年間	
腐食量 (mm)	最大値	0.02	0.18
	最小値	0.01以下	0.09
腐食量 (mm/年)	最大値	0.005	0.045
	最小値	0.003以下	0.023

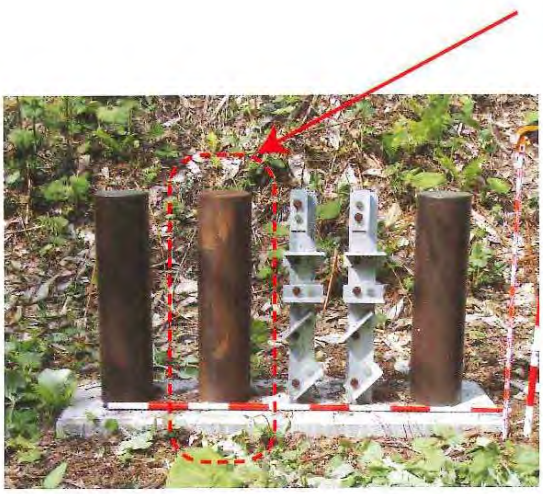


写真２　有珠山に設置した供試体の状況
（平成21年５月10日撮影）

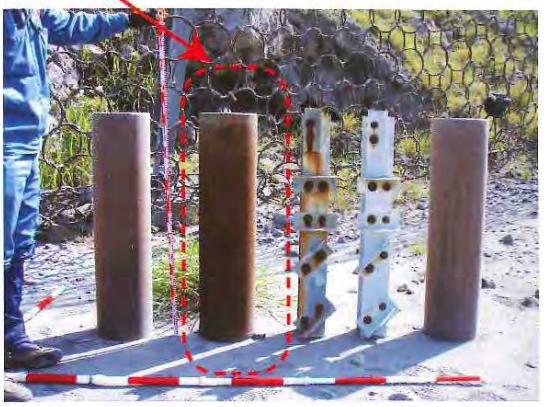


写真３　桜島に設置した供試体の状況
（平成21年５月12日撮影）

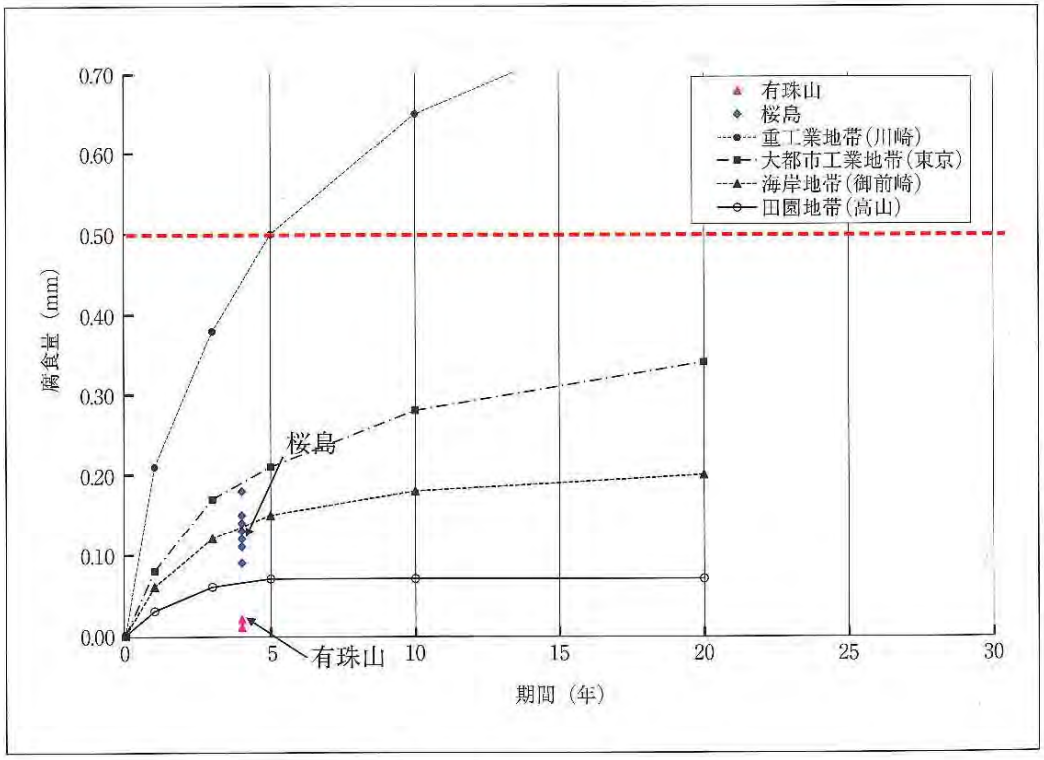


図-8　腐食量の経年変化

データ引用：(社)鋼材倶楽部，土木構造物の腐食・腐食Q＆A，平成４年12月

参考文献

1）(社)鋼材倶楽部，土木構造物の腐食・防食Q＆A，平成４年12月

(8)　摩耗調査事例（鋼製砂防構造物設計便覧による）

参考資料４　鋼製透過型砂防えん堤の摩耗調査

はじめに

近年，鋼製砂防えん堤の設置基数が増えるに従い，土石流を捕捉した事例も毎年のように見受けられるようになってきた。これら捕捉事例の調査から礫衝突による鋼製部材の損傷事例も散見され，局所的に断面欠損や断面変形が生じた例もある。また，常時流水中に含まれる砂礫により摩耗した鋼管は，塗装が剥離し錆も発生しやすい。このため，透過型えん堤を構成する鋼管部材は，設計外力により算定された必要板厚に余裕しろを加算している。余裕しろについては，現地の土砂移動実態を考慮して，流水中の砂礫による摩耗と，礫衝突による擦痕の減厚を見込んで設定されている。透過型の場合，最上流部材では3.5 mm，その他の主要部材では1.5mm，継手等では余裕しろは設けず錆しろのみとしている。今回，これまで鋼製砂防構造物の腐食[1]および摩耗状況を数年にわたり継続調査してきたので，現行設計の余裕しろの値について果たして妥当であったかどうか，現地調査の結果を踏まえて検討したものである[2]。

１．調査地点

鋼材の摩耗量の調査を，土石流による擦痕と常時流水等による摩耗に分類して，鋼材の損傷が確認される透過型砂防えん堤を対象に調査した。調査対象とした渓流は土砂流出が活発であり，鋼材の表面には擦痕が多く確認された地点を中心に選定した。

表-1　調査地点

調査地点（砂防えん堤の種類）	常時流水の有無
雄忠志内川３号砂防えん堤　B型スリット（北海道利尻富士町）	×
波田黒川３号砂防えん堤　格子形（長野県波田黒町）	○
大津谷砂防えん堤　格子形（岐阜県池田町）	○
船石川２砂防えん堤　B型スリット（鹿児島県南大隅町）	×
与田切川セル群えん堤　鋼矢板セル・鋼板セル（長野県飯島町）	○

２．摩耗の調査方法

鋼材の傷（擦痕）の深さと塗装が剥がれている箇所の板厚の変化量を減厚量とした。擦痕の位置・幅・深さはノギス，メジャー，ポールを使って測定した（写真-1)。板厚の変化量は板厚計を使って計測した（写真-2)。なお，各えん堤の測定箇所は目視により確認できた箇所で測定している。

写真-1　擦痕の測定状況

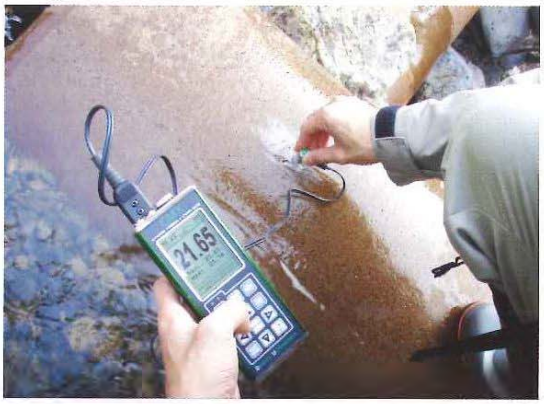


写真-2　板厚の測定状況

3．調査結果

(1)　土石流による擦痕深さ

各施設の擦痕深さの最大値と計測した擦痕の部位を表-2に示す。

表-2　鋼材の擦痕の深さ調査結果

調査地点	調査箇所	損傷内容(mm)
雄忠志内川	最上流側鋼管	擦痕0.2～1.0
	下流側鋼管	擦痕0.5
波田黒川	下流側鋼管根元	摩耗0.03～0.07
船石川	最上流川鋼管	擦痕2.5
大津谷	下流川鋼管	擦痕3.0
	継手隅角部	擦痕5.0
与田切川	外壁鋼矢板	擦痕2.4

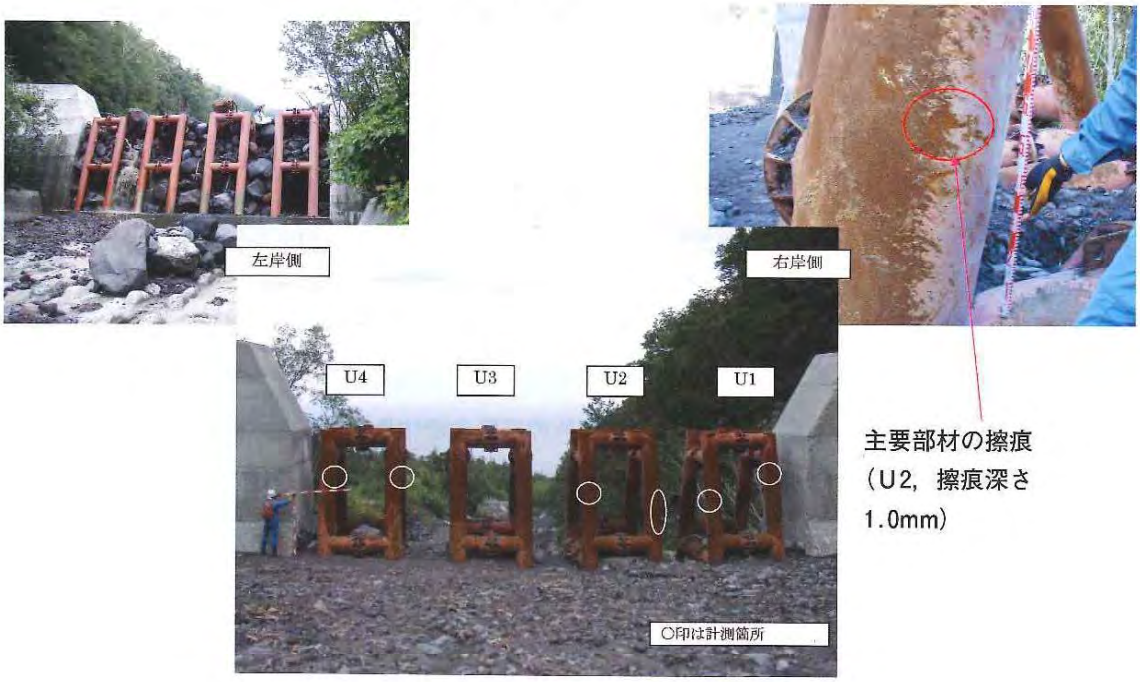


写真-3　雄忠志内川の擦痕

写真-4　大津谷川の擦痕

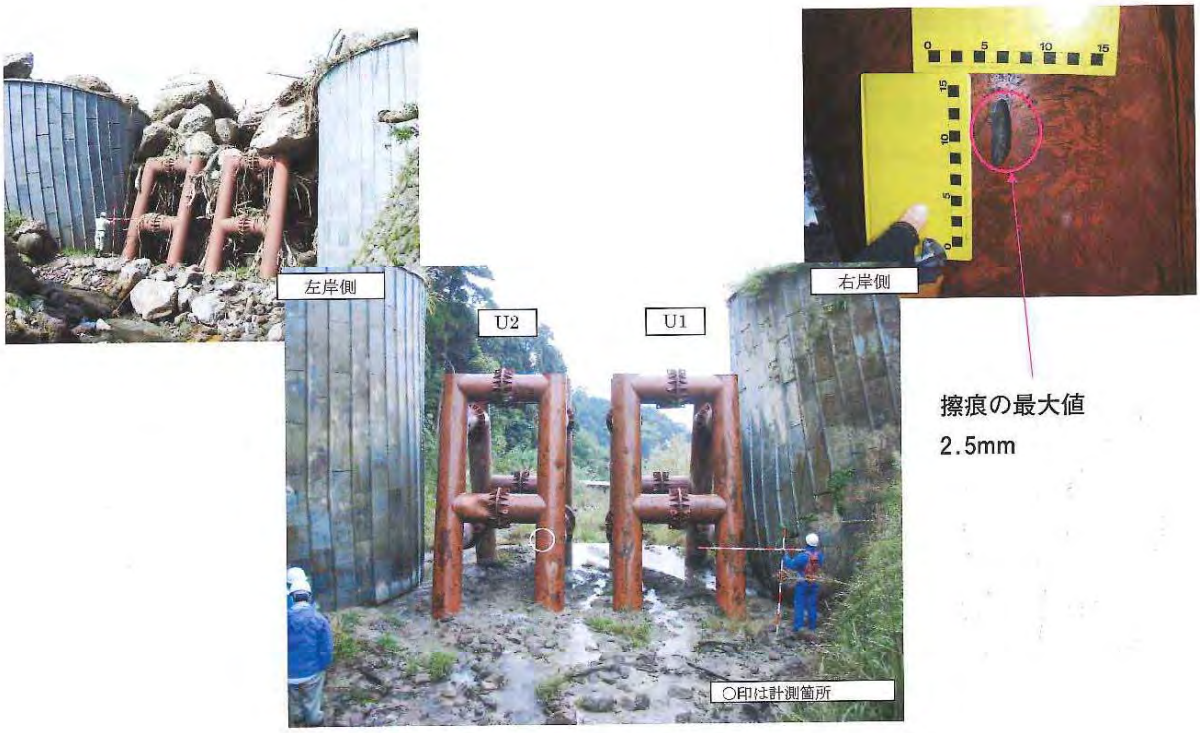


写真-5　船石川の擦痕

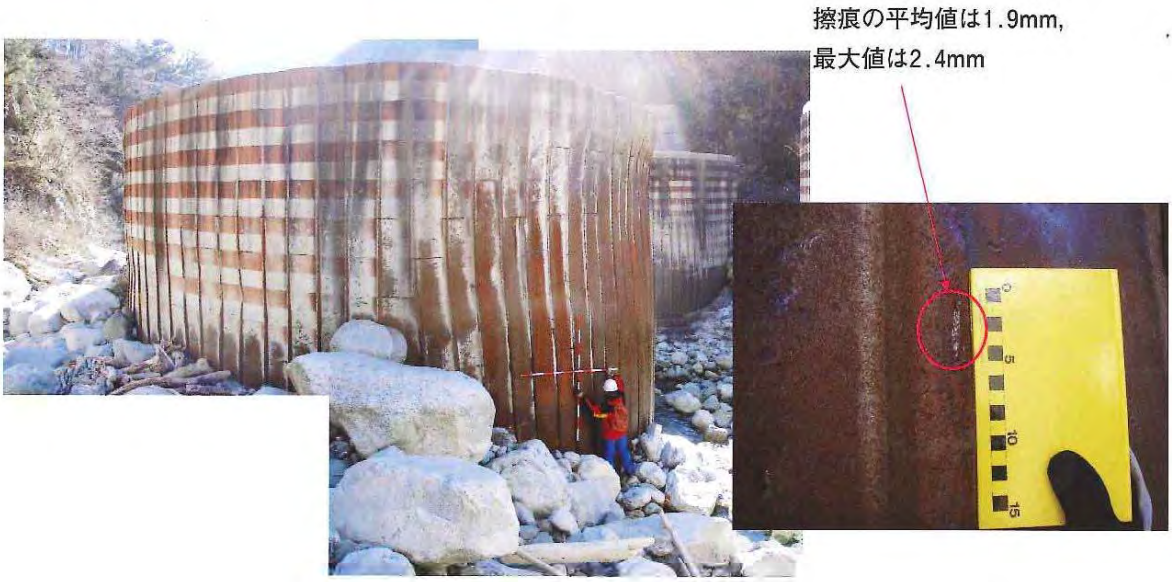


写真-6　与田切川の擦痕

(2)　土砂流による摩耗量

写真-7の施設はえん堤設置後，流木の閉塞により１～２ｍの堆砂が数回あり土砂の流出が活発な渓流であり，常時流水により底版コンクリートが摩耗している。しかしながら，底版コンクリート天端を流下する砂礫によって鋼管根元の塗装は剥がれているが，鋼管の摩耗はほとんどなく，摩耗による板厚低減量は僅か（0.1mm以下）であった。

写真-7　常時流水による摩耗（例）

擦痕深さと摩耗量の計測結果の期間分布を図-1に示す。調査実施箇所の擦痕深さの最大値は3.0mmであり，いずれの調査箇所も3.5mmを下回っている。大部分の板厚低減量は1.0mm以下だったが，最上流部材には1.0mmを超す擦痕深さ・摩耗量が計測されている。また，その他の部材については透過部閉塞後の落下石礫による計測結果が多いため，当該施設より上流側で整備率が100%とならない施設配置位置では，その他の部材の摩耗に対して留意が必要である。

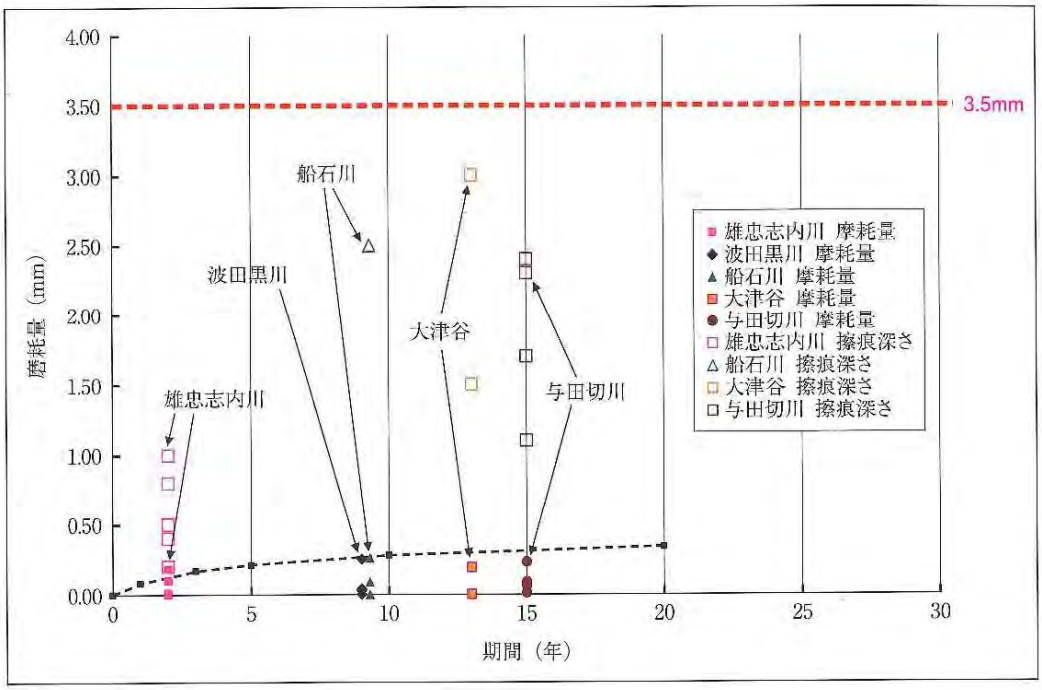


図-1 擦痕深さと摩耗量の期間分布

4．余裕しろに対する考察

(1) 最上流部材

写真-8は，最上流部材の鋼管で土石流の直撃により局所的に鋼管表面が削られた例であり，2.5mmの擦痕が見受けられた。鋼管自体のへこみ量は鋼管径に対して10%以下であった。この鋼管は余裕しろ3.5mmとして板厚を16mmとして設計されていたので，設計時に想定していた礫径より大きい巨礫が衝突しても耐力低下を懸念するほどのへこみ変形は認められず，耐力的には何ら問題ないものと考えられる。また，他の捕捉事例においても最上流に位置する鋼管は，余裕しろを3.5mm設けており，耐力低下が懸念されるほどの断面変形はこれまでのところ報告されていない。よって，礫衝突により局所的に2～3mm削り取

写真-8 最上流部材の損傷の例（船石川）

られている事例も見受けられるが，鋼管自体のへこみ変形は許容範囲内であり，土石流の直撃を受ける最上流部材については，従来通り余裕しろとして3.5mmのままで差し支えないものと考える。

(2) 底版近傍の鋼管柱材

通常，鋼製砂防えん堤は塗装しているが，底版コンクリート天端を流下する砂礫によって根元の鋼管の塗装が剥がれる場合が多い。写真-9は，常時流水により底版コンクリートの摩耗が激しかった鋼管根元である。このえん堤は完成から10年が経過しているが，摩耗による断面低減は僅か（0.1mm以下)であった。これは，鋼材自体が耐摩耗性材料であることに加え，断面が円形であることから突起部がなく，流水中の砂礫は鋼管表面をスムーズに流下するため，結果として摩耗されにくいものと推察される。

写真-9 常時流水を受けている鋼管根元（波田黒川）

写真-10は，底版近傍の鋼管柱が礫衝突により鋼管のへこみ（60mm以上）が発生した例である。この鋼管は板厚比 D/t=80で余裕しろ1.5mmを設けて板厚12.7mmとして設計されていた。つまり，底版近傍で砂礫に曝される箇所の場合，一般に摩耗の影響は小さいが，礫衝突に対しては摩耗しろ1.5mmでは十分ではないと考える。すなわち，底版近傍で砂礫が通過する箇所に位置する鋼管部材は最上流部材と同程度の余裕しろ3.5mmを設けた方がよいと考える。ただし，板厚を増やす以外の対策を施した場合には，従来どおり余裕しろ1.5mmとしてよいと考える。

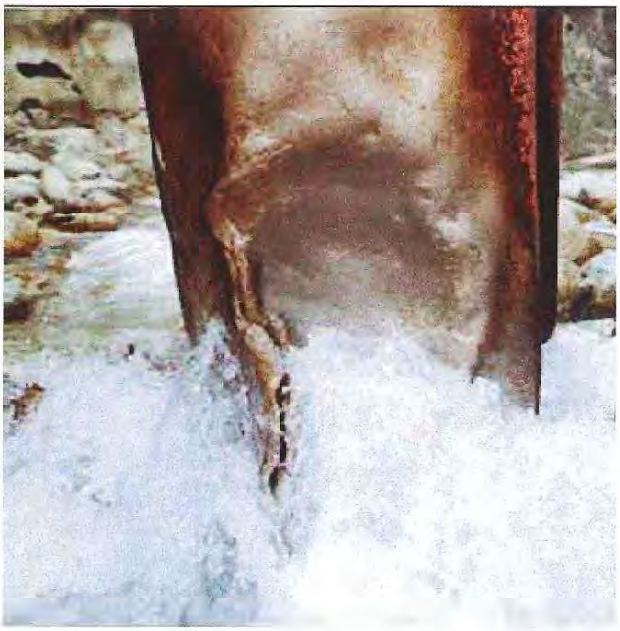


写真-10 底版近傍の鋼管柱のへこみの例（阿木川）

(3) その他の部材

写真-11は満砂して天端からの礫落下により部材が大きく破損した例である(擦痕3.0mm)。したがって，最上流以外の部材であっても，土石流の越流などにより礫が直撃する可能性がある場合には，必要に応じて礫衝突によるへこみ対策を1.5mmから増厚することが考えられる。しかしながら，このように大きく損傷した部材については補修や取り替えを検討することになり，余裕しろによる板厚の増加に期待してむやみに板厚を厚くするよりも経済的な場合もある。また構造体として安定性を確保できるよう部材の強度や位置を工夫し，リダンダンシーの高い構造として対応することも考えられる。よって，その他の部材に

ついては，礫の衝突頻度や部材の位置などを考慮し，摩耗しろを0.0~3.5mmと幅を持たせることで合理的な設計が成されるものと考える。

写真-11　礫落下による部材の損傷例（大津谷）

(4) 継手部

フランジプレート等の継手材については，従来，衝撃や摩耗による減厚のおそれがほとんど無いと想定され，余裕しろは0.0mmで錆しろのみを考慮して片面1.5mmとしていた。しかし，写真-12では下流部材のフランジ部についても落下礫により擦痕が生じている（擦痕深さ５mm)。このため，継手部においても何らかの余裕しろが必要（１mmぐらい）と考える。ただし，リブ無しフランジ継手は，リブ有りフランジ継手と同等の耐力と剛性を得るために，フランジプレートを厚くしている。したがって，礫が衝突してもフランジプレート自体が大きく変形した事例はなく，ボルトが破損した場合にも再度ボルトを締め付けることで対応が可能である。よって，今回の調査からフランジプレートやリブプレートなど継手部の部

写真-12　礫落下による継手部の損傷例（大津谷）

位に使用する鋼材は，錆による板厚低減が小さいことから腐食しろはそのままに，余裕しろとして現行の0.0mmから1.0mmに増加させるべきと判断する。

参考文献

1）嶋丈示：鋼製透過型砂防えん堤の腐食に関する一考察，平成15年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 152-153

2）嶋丈示，飯塚孝司，石川信隆：鋼製透過型砂防えん堤の摩耗に関する一考察，平成21年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 120-121

(9)　腐食量調査事例（砂防鋼構造物研究会提供）

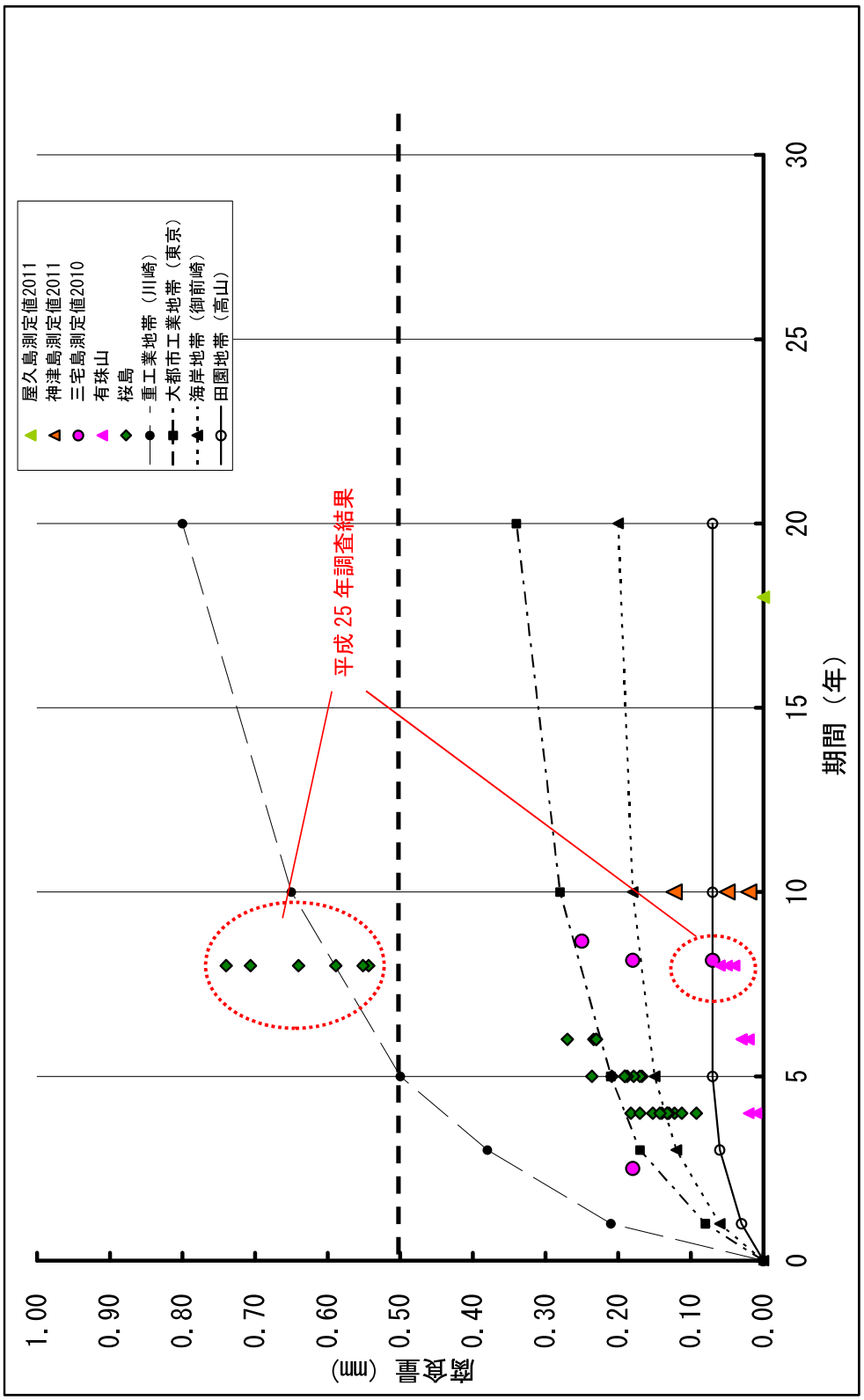


図　鋼材の腐食状況の時系列変化

砂防鋼構造物研究会提供

45　与田切鋼製セル群ダムの維持管理法について

建設省中部地方建設局天竜川上流工事事務所　中安　正晃
京都大学　水山　高久
防衛大学校　香月　智
(財)砂防・地すべり技術センター　阿部　宗平　○扇　行徳

1．はじめに

天竜川水系与田切川に設置された鋼製セル群ダムは、平成６年８月に発生した土石流によって、部分的な損傷を受けながらも、十分な捕捉効果を発揮した。本報告は、その損傷程度の実態を調査し、維持管理手法についての基本的な考え方と復旧方法を検討した結果をまとめたものである。

2．鋼製セル群ダムの概要

鋼製セル群ダムは、河床幅40m、河床勾配 1/9の箇所に土石流捕捉を目的に設置され、対象流域面積は 18.1km²である。セルは、直径12m、高さ８mの円筒形で、内部に現地発生土砂を充填し、天端をコンクリートで覆ったものを、上流側２基、下流側３基の計５基を千鳥に配置している。セル部分は、鋼矢板セルタイプと、鋼板セグメントセルタイプの２種を設置している。セルそのものは不透過型に属するが、施設としては透過型に分類される。

3．発生した土石流の規模

田切雨量観測所の記録によると、ピーク雨量は 59.5mm/hr、ピーク流量は 370m³/sであり、 100年超過確率流量に達している。セル位置での土石流の流下速度は直接には測定されていないが、上流取水堰のＩＴＶカメラの観測によれば、流木の流れから表面流速ではあるものの、6m/s程度であった。

4．変形・損傷状況と要因の考察

検討手法として、まず、土石流の流下堆積によるセルの変形と損傷状況の把握を行い、損傷の特徴を整理し、次にセルの設計、施工内容を吟味し、損傷要因について考察した。また、巨礫の衝撃によるセルの変形挙動のシュミレーションからセルの抵抗性を検証した。

検討結果を要約すると、次のようになる。

局所的な変形と一部の損傷が認められたが、セル構造が即座に破壊に至るものではなく、長期的にみると構造的な機能低下が進行する可能性があるという程度である。局所的な損傷形態は主に鋼材や継手の亀裂・破断および撓み等であり、その程度は最大で前者が幅５cm程度、後者で深さ30cm程度のものである。

セルの設計条件に匹敵する土石流流下に対して、セル構造物は十分な安定を保った。このことは、土石流対策指針及び鋼製砂防構造物設計便覧に示される設計荷重を用いて設計を行えば安定が確保されることが実証されたことになる。

なお、天端部では鋼材の捲れが生じたが、原因は締固め不良の中詰が圧縮沈下した結果起こったことから、損傷形態としては特別なことと考えた。

表－１　損傷レベルと対応策

損傷レベル	機能低下レベルと定義		対応策
Ⅳ	機能喪失	次期同程度の土石流に対しては機能発揮できない	補強または改築
Ⅲ	重度機能低下	将来的にレベルⅣに至る可能性がある	大規模な補修または補強
Ⅱ	軽度機能低下	将来的にも安定上ほとんど問題ないと考えられるレベルが、場合によってはレベルⅢに至る可能性がある	小規模な補修
Ⅰ	機能維持	完成時と比べて機能の低下はない	対策なし

ここで言う機能とは構造体としての安定上の抵抗機能を指す。
対応策の意味は次のとおりである。
改築：大部分あるいは全部を改築する
補強：機能の向上を図る処置
補修：現状機能を保持する処置

表－２　損傷形態別の損傷レベル

損傷形態	損傷レベルの設定			
	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
1．セルのせん断変形	○	○	○	○
2．鋼材の亀裂・破断	○	○	○	○
3．継手の開き・破断	○	○	○	○
4．鋼材の合せ目の開き	－	▲	▲	▲
5．鋼材の磨耗・削傷	－	－	○	○
6．局所的な撓み	－	－	○	○
7．天端部鋼材の捲れ	－	－	○	○

○：鋼矢板セルと鋼板セグメントセルの両者を対象
▲：鋼矢板セルのみを対象

5．維持管理方針の目安

5.1　補修・補強の基本的な考え方

セル構造物の維持管理方針及び具体的な補修・補強方法を決めるため、表－１に示すように、構造的な機能低下順に損傷レ

ベルを大きいものから、Ⅳ（機能喪失）、Ⅲ（重度機能低下）、Ⅱ（軽度機能低下）、Ⅰ（機能維持）の４段階に設定し対応策を講じることとした。

5.2　補修・補強方法の検討

損傷状況調査の結果に基づいて損傷形態を表－２に示すように７つに分類し、損傷レベルの設定を鋼矢板セルと鋼板セグメントセルについて行った。セル全体に拘る形態としてはせん断変形についてだけであり、その他は鋼材の亀裂や継手の破断など局所の形態である。表－３には、損傷形態及び損傷レベルごとに測定値の目安を示し、補修・補強の要否の判定を容易にできる提案をした。

表－３　損傷レベル設定のための測定値の目安

損傷範囲	損傷形態	損傷レベル	測定値の目安	損傷レベルの設定理由（構造力学面）（※中詰土砂流出面）
全体	１．せん断変形	Ⅳ	下流端天端変位がセル高の４％以上	せん断破壊を起こす可能性あり（歪みが破壊限界以上）
		Ⅲ	下流端天端変位がセル高の２％以上～４％未満	せん断変形が進行する可能性あり（歪みが許容限界から破壊限界まで）
		Ⅰ，Ⅱ	下流端天端変位がセル高の２％未満	問題なし（歪みが許容限界以内）
局所	２．鋼材の亀裂・破断	Ⅳ	幅５cm以上，且つ長さがセグメントの全高または全長に至る	セグメント単位の破断が生じ、構造上安定を確保できない可能性あり
		Ⅲ	幅５cm以上または長さ50cm以上	亀裂が進行して破断の可能性あり
		Ⅱ	幅，目視可能～５cm未満または長さ目視可能～50cm未満	亀裂が進行する可能性あり
		Ⅰ	幅，長さとも目視不可能	問題なし
	３．継手の開き・破壊	Ⅳ	幅５cm以上，且つ長さがセグメントの全高または全長に至る	セグメント単位の破断が生じ、構造上安定を確保できない可能性あり
		Ⅲ	幅５cm以上	継手の開きが著しく進行するかまたは継手ボルトが一部破断する可能性あり
		Ⅱ	幅１cm以上～５cm未満	継手の開きが進行する可能性あり
		Ⅰ	幅１cm未満	問題なし
	４．鋼材の合せ目の開き	Ⅲ	幅10cm以上	※大量の中詰土砂流出の可能性あり
		Ⅱ	幅２cm～10cm未満	※小量の中詰土砂流出の可能性あり
		Ⅰ	幅２cm未満	問題なし
	５．鋼材の磨耗・削傷	Ⅱ	板厚で５mm以上	鋼材の設計強度上の問題はないが、腐食しろの範囲を越えている
		Ⅰ	板厚で５mm未満	問題なし
	６．局所的な撓み	Ⅱ	深さ30cm以上	鋼材の設計強度上の問題なし
		Ⅰ	深さ30cm未満	問題なし
	７．天端部鋼材の捲れ	Ⅱ	捲れあり	鋼材の亀裂が進行する可能性あり
		Ⅰ	捲れなし	問題なし

６．おわりに

鋼製セル群ダムの維持管理について、補修・補強の要否の判断となる値を目安として提案したが、ここで示した考え方はあくまで試案であり、今後の経験を通じて見直すことも必要である。損傷実態及び、補修の基本的な考え方、補修方法の調査検討を通じて、セル構造のあり方を現時点でまとめると次のようになる。①セルの基本的な構造を現時点で変える必要はない。②セルの規模や形状にもよるが、巨礫の衝撃力による変形は、全体的なせん断変形を生じさせる前に、衝突点周辺の局所的な変形を起こす傾向である。③天端部の構造については、鋼材天端を若干コンクリート天端面よりも下げて、中詰沈下や天端摩耗によって鋼材の捲れが生じることを防止できるようにする。④セル構造は、中詰め材のせん断抵抗力を期待するものであり、中詰材料についての検討が重要である。

今後は、設置後の維持管理を考慮した、中詰材の選択あるいは工法の検討が必要であろう。

【参考文献】
１）今井一之；与田切鋼製セルダム：新砂防，Vol.44，No.5（178）January.1992。
２）中安正晃・白江健造・佐藤敏明；平成5年8月に発生した土石流と与田切鋼製セル群ダムの効果：新砂防，Vol.46，No.5（190）January.1994。
３）中安正晃・今井一之；与田切鋼製セル群ダムの効果（速報）：新砂防，Vol.47，No.4（195）November.1994。

(11)　与田切鋼製セルダム

与田切鋼製セルダム

今 井 一 之*
Kazuyuki IMAI

はじめに

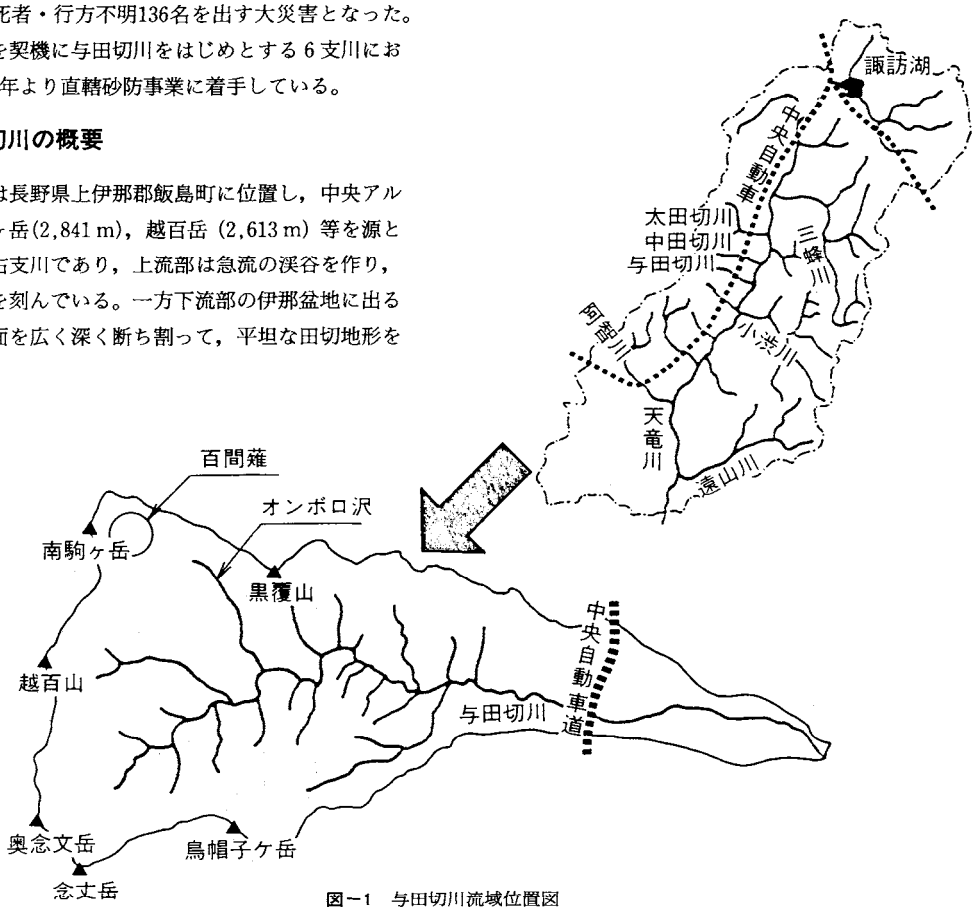
天竜川水系は，中央アルプスと南アルプスに挟まれた伊那谷に位置する。天竜川における直轄砂防事業は昭和12年，小渋川流域に着手して以来現在までに10支川において実施している。天竜川上流域は中央構造線をはじめ多くの断層や，両アルプスの険しい地形の影響を受け，多量の土砂を生産しており，古くから「あばれ天竜」と呼ばれるように，豪雨時にはこれら土砂の流出による災害が頻発する河川であった。昭和36年の梅雨前線による集中豪雨では，大規模崩壊，土石流による被害をはじめ，これら土砂が天竜川本川の河床を上昇させ，洪水災害を引き起こし死者・行方不明136名を出す大災害となった。

この災害を契機に与田切川をはじめとする6支川において，翌37年より直轄砂防事業に着手している。

1．与田切川の概要

与田切川は長野県上伊那郡飯島町に位置し，中央アルプスの南駒ヶ岳(2,841 m)，越百岳（2,613 m）等を源とする天竜川右支川であり，上流部は急流の渓谷を作り，深いV字谷を刻んでいる。一方下流部の伊那盆地に出ると，扇状地面を広く深く断ち割って，平坦な田切地形を形成しており，天竜川にほぼ直角に流入し，流路延長16 km，流域面積42.7 km²，高低差2,300 mを有する。

与田切川流域は中央構造線西側の内帯に含まれ，領家帯の花崗岩類の分布域にあたり，白亜紀後期の新期花崗岩類である市田花崗岩・伊奈川花崗岩が広く分布している。山地内ではシオジ平断層・マセナギ断層等何本かの断層がみられ，特にオンボロ沢では数本の断層破砕帯が数mにわたって，約500 mの間に現れている。オンボロ沢谷頭の南駒ヶ岳と赤梛岳に囲まれた位置には「擢鉢窪カール」が，幅300 m，奥行き400 mにわたって存在し，その直下には約20 haの「百間薙」が迫っている。年々カール底を崩しており，与田切川で生産される土砂の多



図－1　与田切川流域位置図

＊ 建設省天竜川上流工事事務所 砂防調査課長

くはここで生産されている（図－1)。

当流域は年間平均気温が約10℃と比較的冷涼な気候を示し，年間降水量は1,500 mmを越え，梅雨や台風の通過などによる大雨の影響を受ける6，9月に集中している。

2．施工の経緯

与田切川には，長野県施工分を含め，これまでに7基の砂防ダムを完成しているが最近でも平成元年7月に坊主平砂防ダムが被災するなど，土石流・土砂流の発生が頻発している。昭和60年6月の土石流では3名が死亡している。当時飯島第5砂防ダムが建設中であったが，幸いにも作業員は避難し無事であった（口絵写真参照)。

その後の調査で，この土石流は，百間薙～オンボロ沢に堆積していた土砂が流下したものと判明した。しかしながら現在なお発生している土砂の流出は，当時オンボロ沢に堆積した土砂の再移動と考えられ，残留土砂が多く堆積土砂は未だ不安定な状態にあり，現在もなお比較的大きな土砂の流出が続いている。平成3年3月には，飯島第5砂防ダムが完成したが，既に約7割程度堆砂している状況にある。

このような状況のもと，平成3年度から飯島第6砂防ダムの事業が開始されようとしているが，たび重なる土石流の発生に対して，現場での作業員の安全確保が重要な課題となってきた。このため，6号ダム施工の安全性の向上のため，「鋼製セルダム」を6号ダム上流に施工する運びとなった。これにより土石流のフロント部を捕捉すると同時に，土石流発生を下流工事現場へ通報できるよう，ワイヤセンサー，ITVカメラの設置を行い，6号ダムの工事に備えている。

3．鋼製セルダムの特徴

現地の状況から，安全確保のための施設として計画してきたが，鋼製セルダムの構造的な特徴として，

①鋼製部材を用いるため工期を大幅に短縮でき，山間遠隔地でも施工が容易で省力化が可能

②現地発生材が利用でき，運搬費も軽減，施工が安易

③毎年のように発生する土石流に対応するため，除石工が容易

等が上げられる。鋼製セルダムは，鋼矢板を用いて組立てた円筒の中に現地発生材を中詰めし，上部をコンクリートで覆ったもので，これを千鳥状に配置することによって，その機能を最大限に発揮することが可能となる（図－2，－3)。

〔鋼製セルダムの機能〕

鋼製セルダムの機能として次のようなものがある。

①土石流を捕捉し，流出する土砂量を減少させる。

②土石流発生から扇状地に流出するまでの時間を長くする。

③渓床堆積物の移動を防止する。

④土石流最先端の巨礫・流木を捕捉する。

⑤土石流を土砂流に変化させる。

⑥土石流ピーク流量を減少させる。

〔鋼製セルダムの設計〕

設計条件は以下のとおりである。

1）計画降雨量: 竜西流域の計画降雨量

295.5 mm/day（1/100)

2）計画流量: 合理式により求める

$$Q = 0.2778 \cdot f \cdot r \cdot A$$

3）土石流のピーク流量: $Q_{sp} = \dfrac{C_*}{C_* - C_d} Q_p$

C_*: 堆積土砂濃度（＝0.6)

4）土石流の流速（U）と水深（h):

$$U = \frac{1}{h} R^{\frac{2}{3}} (\tan\theta)^{\frac{1}{2}}$$

R: 土石流の径深，$R = h$とする。

n: 粗度係数，フロント部で0.10

後続流で　0.06

h＝土石流の水深は，流れの幅$B = 50$(m)より

$= Q_{sp} / B \cdot U = 1.75$(m)≒1.8(m)とする。

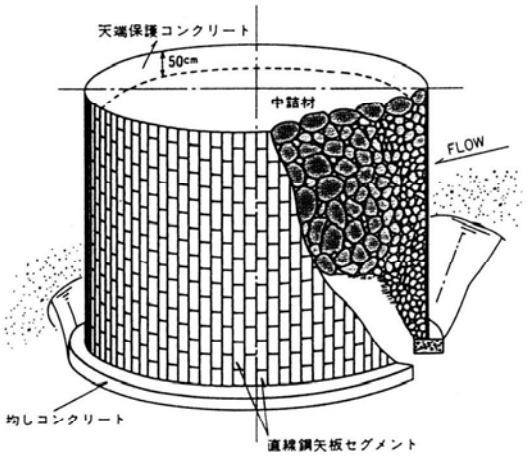
以上より

$$U = \frac{1}{0.1} \cdot 1.8^{\frac{2}{3}} \cdot (\tan 8°)^{\frac{1}{2}} = 5.55 \fallingdotseq 6 \text{(m/s)}$$

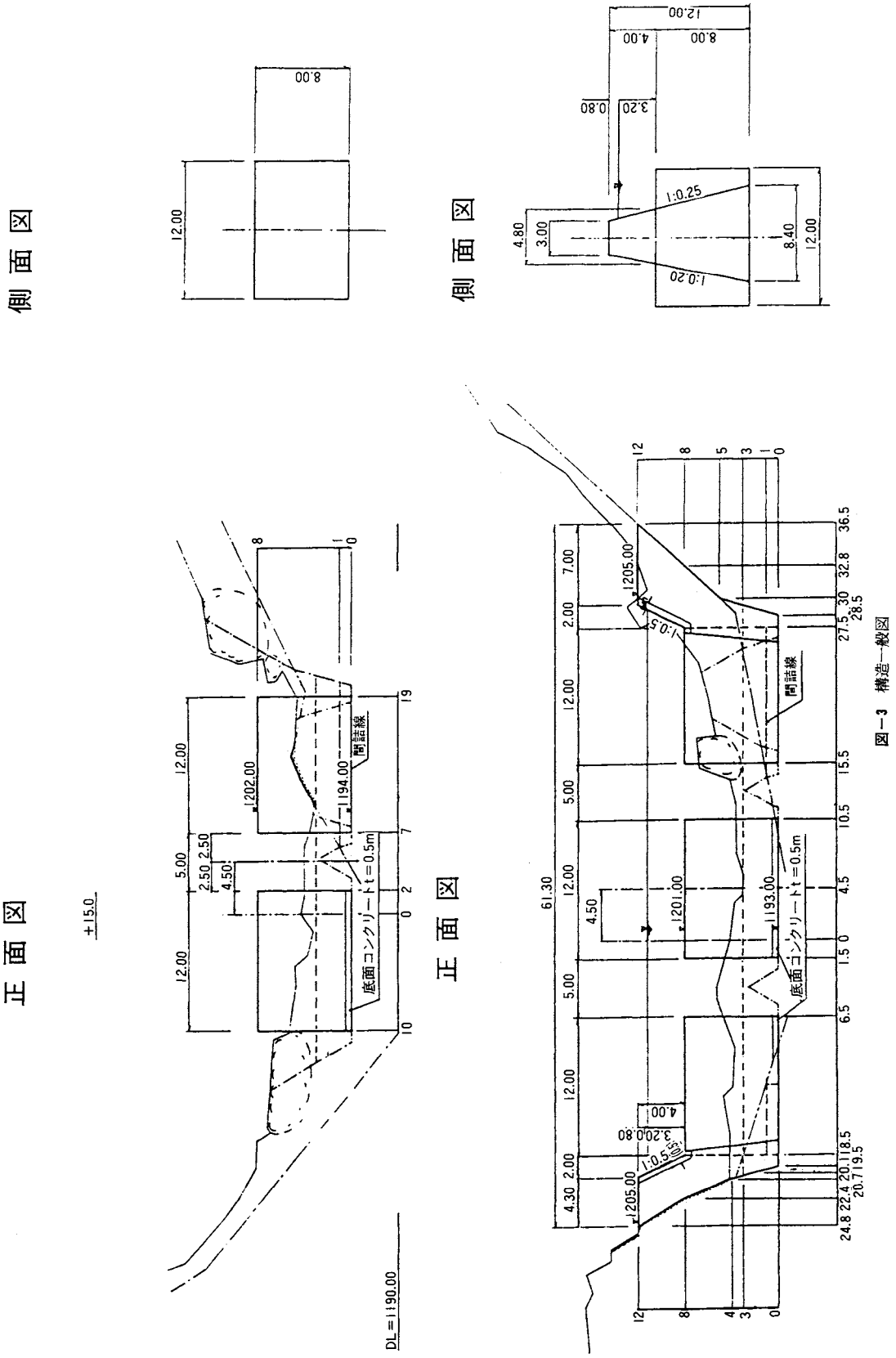
とする。

5）土石流の単位体積重量:

$$\rho d = \sigma \cdot Cd + \rho(1 - Cd) = 1.62 \text{ t/m}^3$$



図－2　鋼製セルダムの構造


側面図
正面図
+15.0
DL=1190.00
底面コンクリート t=0.5m
間詰線
1202.00
1194.00
1205.00
1201.00
1193.00
1:0.5
1:0.25
1:0.20
12.00
8.00
4.00
3.20
0.80
4.80
3.00
8.40
61.30
36.5
32.8
28.5
27.5
15.5
10.5
6.5
4.5
1.5
0
24.8
22.4
20.1
18.5
20.7
19.5

図－3 構造一般図

6）土石流の流体力（表－1）:

$$F=\alpha\frac{\rho d}{g}\cdot h\cdot Uf^2 \quad (\sigma\text{: 係数 1.0 とする})$$

$$=10.7\ \mathrm{t/m}$$

7）ダム高及びセルの配置形状: セルのスリット部の間隔は，水理模型実験結果に基づき5(m)とする。主ダムの高さは，土石流の段波高以上とする必要があることから，有効高は最低5(m)程度とし，河床部の3(m)程度の根入れを含め，$H=8$(m)とした。

8）水通し断面: 水通し断面は，①清水×1.5，②土石流ピーク流量から決定し，越流水深: $h_3=3.2$(m)，余裕高0.8(m)より4.0(m)とする。

9）安定計算: 鋼製セルダムは機能上オープンタイプと同じであるが，開口部の占める割合が小さいことから，クローズタイプのものと同様に取り扱う。なおセル全体が一体として機能することが必要であり，水平力によって生ずるせん断変形に対して，中詰の抵抗力に期待している（表－2，3）。

4．施設の効果及び問題点

以上のような設計により，平成2年に工事に着手し，平成3年8月に工期約6ヶ月，工事費約120百万円で完成した。このような構造での施工は全国でも初めての試みであり，その機能・効果について現地で確認・検証が必要であるため，ITVカメラを設置して，セルダムにおける土石流の通過状況を観察するとともに，セルダム上流面に圧痕計，衝撃力計，歪計を設置している（図－4，写真－1）。

平成3年度は，オンボロ沢に設置したセンサーが5回切断されたが，現在のところ土石流状態での流下は認められていない。しかしながらセルダム直上流の土砂移動を確認しておりセルダムに堆砂している状況である。また流水による礫の移動により，セル表面が若干磨耗し，傷が生じているが，外見上はひずみ等は認められていない。今後も継続して観測を実施していく予定である（写真－2，3）。

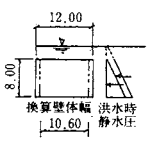
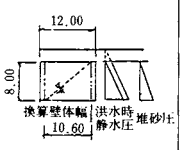
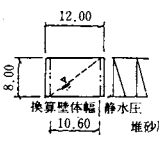
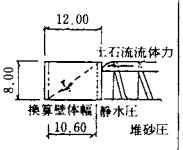
表－1　水理計算結果

項目			与田切本川	オンボロ沢
流域面積	A	(km²)	12.5	5.6
流出係数	f		0.8	0.9
表高差	H	(km)	1.60	1.33
流路延長	L	(km)	4.20	4.05
	W	(km/hr)	40.4	36.9
	T_1^-	(min)	20.0	20.0
	T_2	(hr)	0.104	0.11
	T_2^-	(min)	6.2	6.6
	T^-	(min)	26.2	26.6
降雨強度	γ	(mm/hr)	74.6	74.3
計画流量	Q	(m³/s)	207.2	104.0
渓床勾配	θ	(度)	−	8
土石流濃度	Cd		−	0.28→0.3
	α		−	2.0
ピーク流量	Q_{sp}	(m³/s)	−	208.0
土砂含有率30%の流量		(m³/s)	269.4	−
土石流のピーク流量		(m³/s)	477.4	
清水の1.5倍の流量		(m³/s)	466.8	

表－2　荷重の組合せ

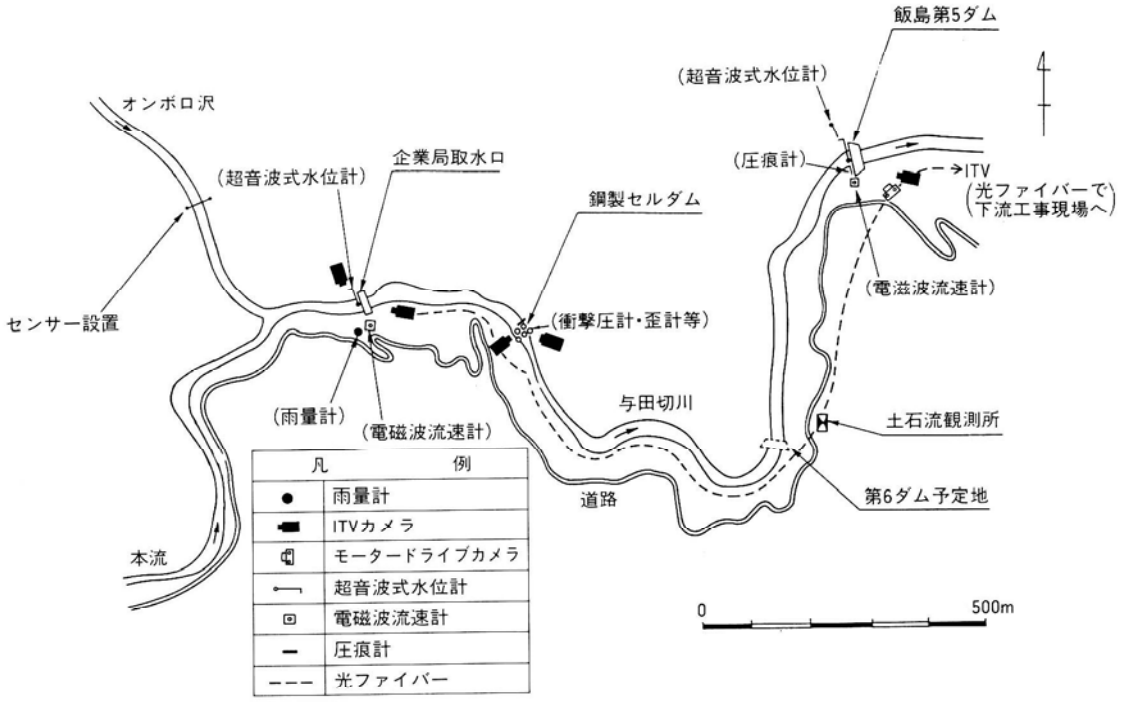
適用基準	荷重の種類	荷重の組合せ
鋼製砂防構造物設計便覧	設計荷重 I	自重，静水圧
	設計荷重 II	自重，浮力，静水圧，堆砂圧
	設計荷重 III	自重，浮力，静水圧，堆砂圧，地震時慣性力
土石流対策指針	土石流流体力時	自重，浮力，静水圧，堆砂圧，土石流流体力

表－3　安定計算結果

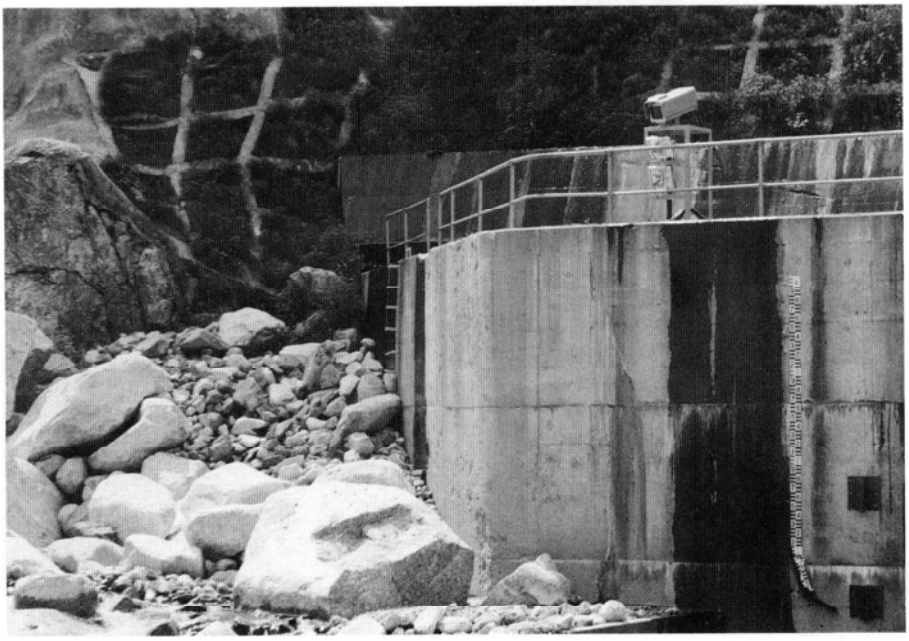
項目	記号	単位	設計荷重時＜I＞	設計荷重時＜II＞	設計荷重時＜III＞	土石流流体力時
設計断面						
鉛直力	V	t/m	193.34	176.38	135.68	135.68
水平力	H	t/m	69.12	72.22	60.25	54.13
抵抗モーメント	M_R	tm/m	1,024.72	904.87	689.14	689.14
転倒モーメント	M_0	tm/m	225.28	233.56	185.09	180.87
中詰土の抵抗モーメント	M_{sr}	tm/m	456.34	416.31	320.24	320.24
せん断変形に対する安全率	F_{sr}	−	2.03>1.2	1.58>1.1	1.49>1.1	1.52>1.1
滑動に対する安全率	F_s	−	1.96>1.2	1.71>1.1	1.58>1.1	1.75>1.1
合力の作用位置	e	m	1.165<1.767	1.494<1.767	1.585<1.767	1.554<1.767
最大地盤反力	q_{max}	t/m²	30.27	30.71	24.28	24.06
最小地盤反力	q_{min}	t/m²	6.21	2.57	1.32	1.54

5．おわりに

与田切鋼製セルダムは，土石流のフロント部を捕捉するために考案された施設である。この他与田切川では，プレキャスト型枠拡張レア工法による飯島第６ダム，与田切砂防林の計画も進めており，下部部での町の公園計画と一体となった与田切流路工を含め，新しい砂防事業を展開している渓流である。土砂災害の防止とともに，住民のレクリエーション空間の創出を目指して事業を進めているところである（写真－4)。



図－4　土石流観測計画図（セルダムより上流の４台のITVカメラ及び衝撃力計・歪計が完成している。）

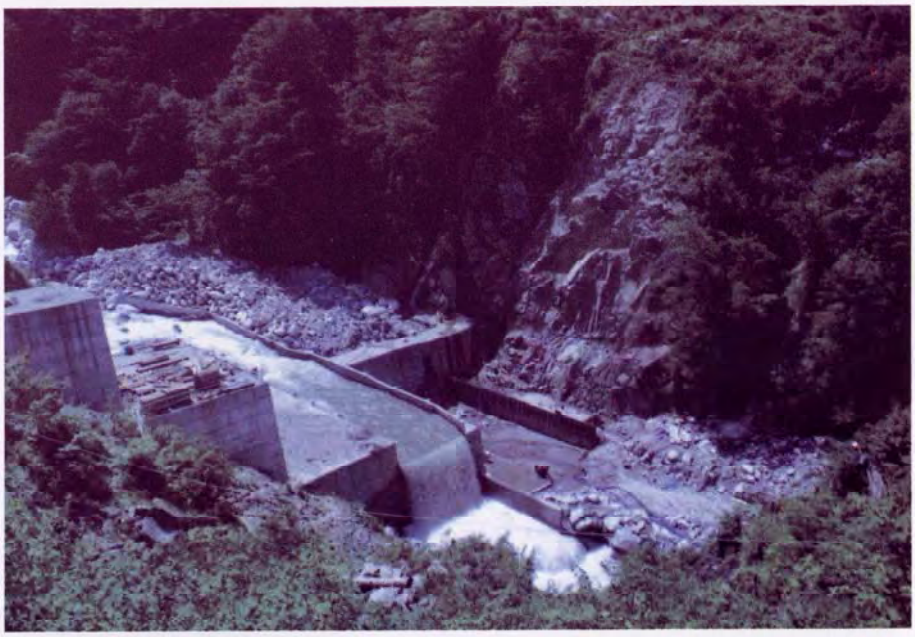


写真－1　ITVカメラ設計状況

与田切鋼製セルダム

（本文 51～56 ページ参照）

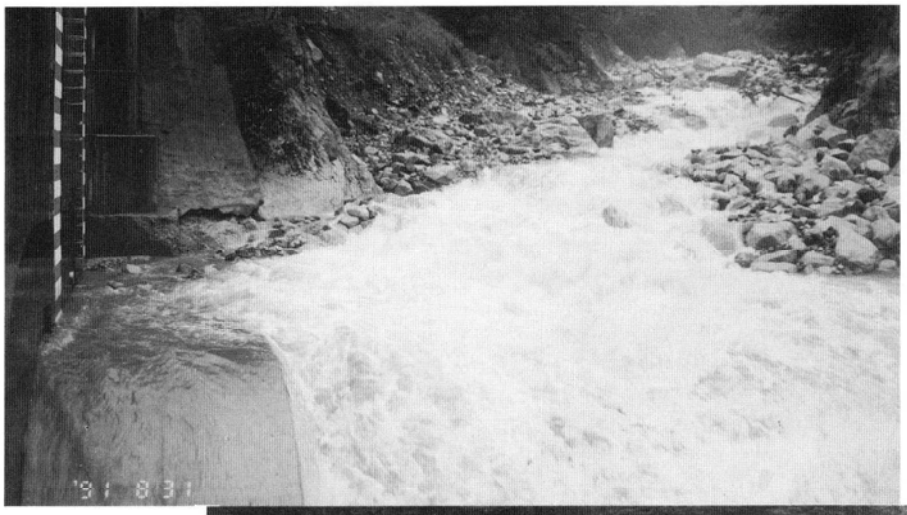
写真－1　鋼製セルダム完成写真



（土石流流下前）

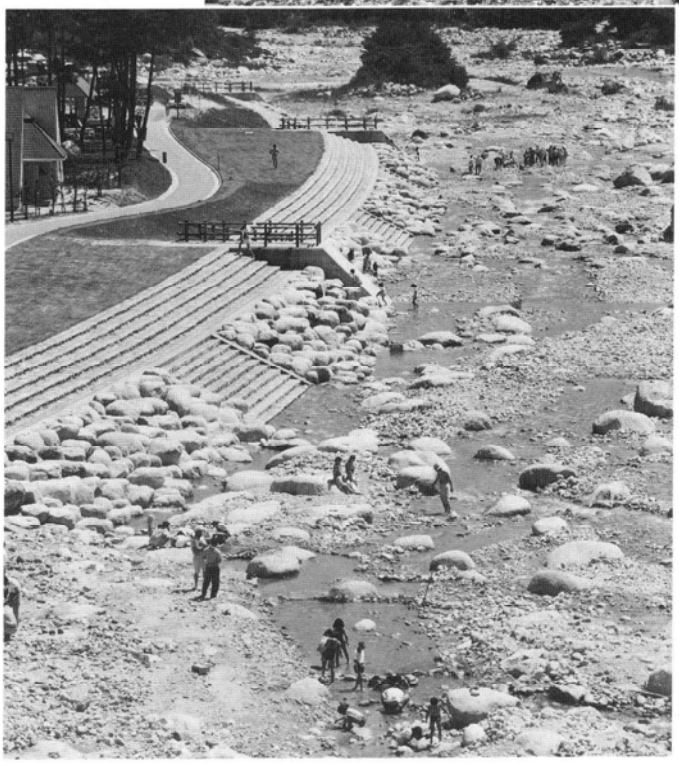
（土石流流下中）

写真－2　昭和60年7月発生の土石流（飯島第5砂防ダム工事現場にて）



写真－2 平成３年
８月の出水状況
（企業局取水口付近）

写真－3 鋼製セルダム
完成写真
（上流側より）



写真－4 与田切流路工利用状況

(12)　平成5年8月に発生した土石流と与田切鋼製セル群ダムの効果

〈技術ノート〉

平成５年８月に発生した土石流と与田切鋼製セル群ダムの効果

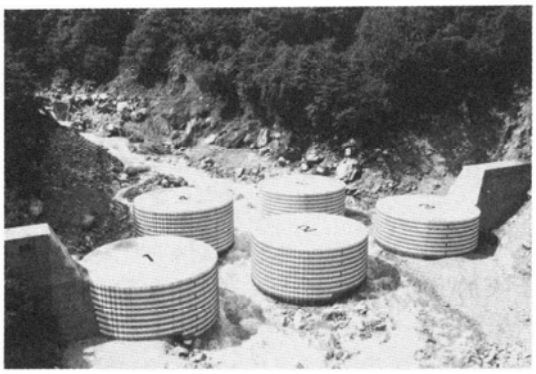
The Effect of Steel Shell Dam on Debris Flow of August 1993

中安正晃*　白江健造*　佐藤敏明**
Masaaki NAKAYASU　Kenzou SIRAE　Tosiaki SATO

１．はじめに

天竜川水系与田切川は，中央アルプス東斜面を集水域とする荒廃渓流である。特に面積 20 ha におよぶ百間なぎ崩壊地が源流部に位置する支渓オンボロ沢では，活発な土砂生産と土石流の流出を繰り返している。本流域には今までに７基の砂防ダムが設置されているが，今後施工される飯島第６砂防ダムがオンボロ沢から流出する土石流の通過地点にあるため，施工上の安全を確保する目的で新しいタイプの土石流対策施設である鋼製セル群ダムを設置した(写真－1)。オンボロ沢では，平成５年８月14日～17日にかけて比較的規模の大きな土石流が発生し，本川まで流下したが，鋼製セル群ダムは，セルの一部が被災したものの，土石流を捕捉し，その効果を発揮した（写真－2)。

本報では，土石流発生後に緊急に行った調査の結果をもとに，発生した土石流の状況，鋼製セル群ダムの効果および損傷の状況についてその概要を報告する。

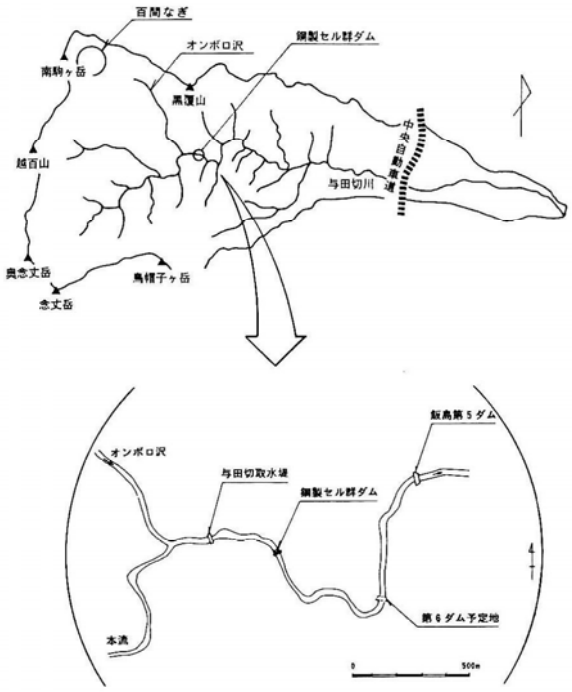


写真－1　施工直後の鋼製セル群ダム

写真－2　セル群ダム堆砂状況

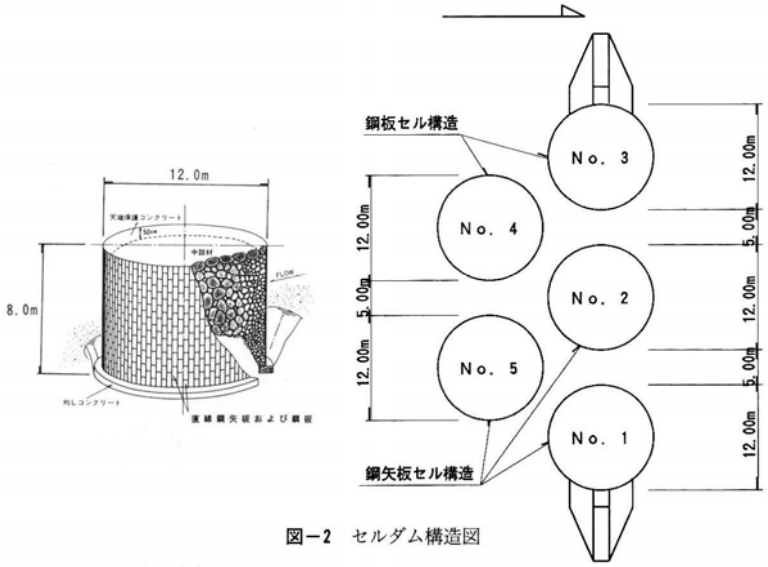
２．鋼製セル群ダムの概要

与田切川に設置された鋼製セル群ダムは，図－1 に示すようにオンボロ沢と本川の合流点から下流約 500 m 地点に設置しており，上流の与田切取水堤との距離は約 300 m である。ダムは直径 12 m，高さ 8 m の鋼製円筒の内部に現地発生の土砂を中詰めし，上部をコンクリートで覆ったユニットセルを，上流側に２個，下流側に３個配置したもので，セル部分は幅 0.4 m，高さ 1.0 m の鋼矢板を市松模様に組んだ鋼矢板セルタイプと，幅 4.7 m，高さ1.6mの鋼板を同様に組んだ鋼板セルタイプを施

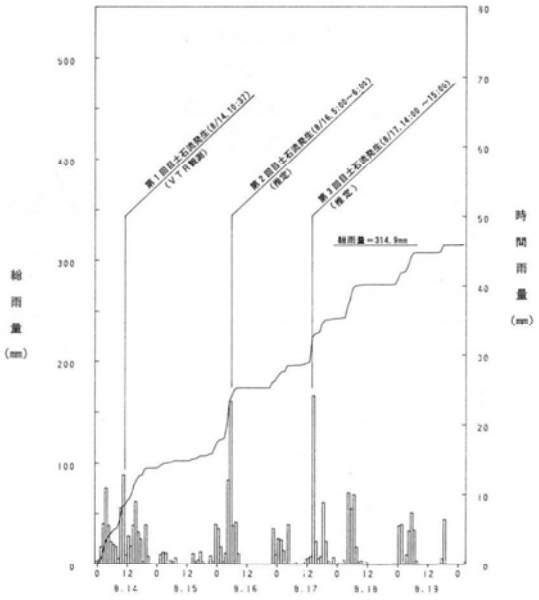


図－1　鋼製セル群ダム位置図

＊　建設省中部地方建設局天竜川上流工事事務所
＊＊　八千代エンジニヤリング株式会社



図－2 セルダム構造図



図－3 土石流発生時の降雨状況

工した（図－2)。土石流対策施設として機能としては，次のことを期待している。

①土石流を捕捉し，流出する土砂量を減少させる。

②土石流が下流へ到達する時間を遅らせる。

③渓床堆積物の移動を防止する。

④土石流先端部の巨レキ，流木を捕捉する。

⑤土石流を土砂流に変化させる。

⑥土石流ピーク流量を減少させる。

また，ユニットセルはその構造から，部材の内部剪断抵抗により土石流の衝撃力が吸収され，堤体の変形により衝撃力が分散される効果も期待している。

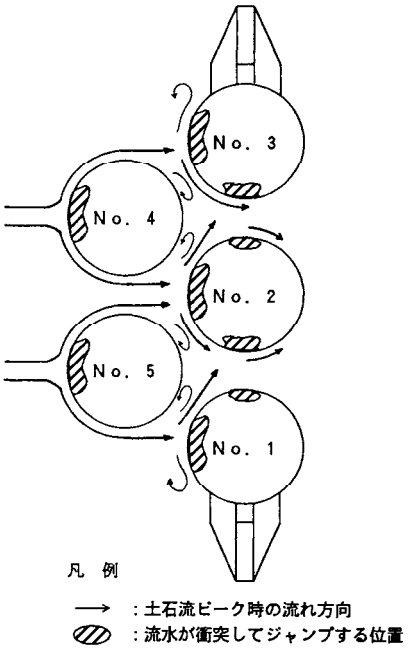
3．平成5年8月に発生した土石流

3.1 降雨状況

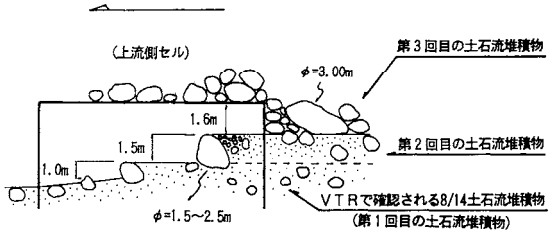
今回の土石流が発生した平成5年8月14～17日の降雨状況を図－3に示す。今回の土石流発生時を含む8月14日から19日の連続雨量はオンボロ沢近傍の黒覆山観測所で314.9 mmを記録しており，土石流観測用VTRで土石流が観測された8月14日10：00～11：00には12.9 mm/hr，その後の8月16日5：00～6：00に23.4 mm/hr，17日14：00～15：00に24.2 mm/hrをそれぞれ記録している。オンボロ沢では，これまでにも昭和58年9月，昭和61年7月に土石流が発生して本川まで流下しているが，このときは連続雨量（9/19～30）551.5 mm，597.0 mm (7/8～23) を記録している。今回の土石流においても8月13日が無降雨であったが，それ以前の8月1日～13日まで連続して227.7 mmの降雨があり，これを含めると総雨量は542.6 mmになっていることから，オンボロ沢では連続雨量500 mm以上が土石流発生の危険を示す一つの目安であると考えられる。

3.2 8月14日に発生した土石流の流下状況

平成5年8月14日10時37分にセル群ダムに設置されたVTRが第1回目の土石流を観測した。VTRから読み取った土石流の流速は3.26 m/s，波高は約2.0 mであった。土石流のピークがセル群ダムを通過する状況は，VTRの判読からおおむね次のとおりである。土石流のフロントは，まず上流側のセルへ衝突してジャンプし，その後左右へ分流する。このときのジャンプの高さはセル天端をわずかに越える程度で越流はしていない。分流した流れは再び下流側のセルへ衝突してジャンプして左右へ分流するが，セル間に堆積している土砂の量や堆積形状の違いにより分流した流れの速度に差が生じ，速度



図－4　セル群ダムを通過する土石流の流れ(8/14 土石流)

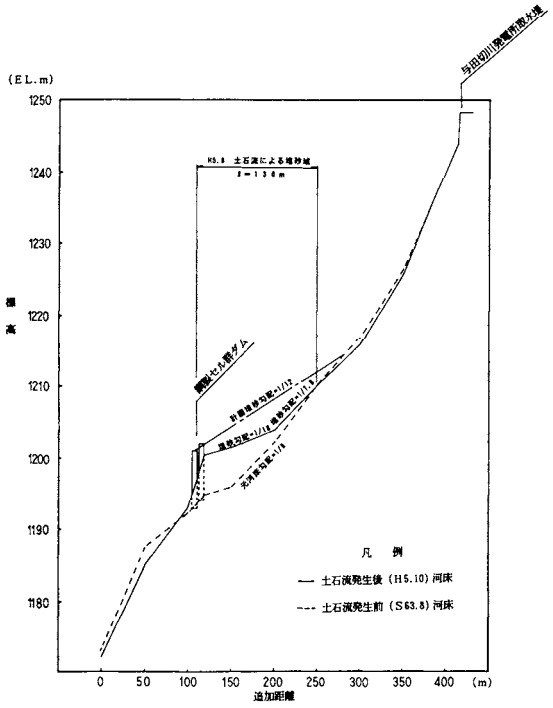


図－5　セル部の土砂停止状況

の速い流れが隣接するセルの側面に衝突してダム下流に向かっている。セルの下流側は，渦の形成が見られ流速は比較的穏やかである（図－4)。

3.3　セル部における土砂の停止状況

図－5は，セル部における土砂の堆積状況を示したものである。図に示すように，セル間では径1.5～2.5mの巨レキを先頭とし，その上流に比較的細粒土砂がたまった堆積物が上，下2段に堆積している。これらのうち，下段のものはVTRの判読から8/14の土石流時に停止したものである。また，上段の堆積物上には，細粒土砂をほとんど含まない巨レキ群がセル天端に乗り上げて堆積している。またダムを越流した土石流のフロントがダム下流約300m地点で停止している。このことから，上流側の落差は8/14発生の土石流とダムを越流した土石流発生の間に起こった土石流が停止したものと考えられ，今回の土石流は8月14日～17日の間に計3回発生したものと推定できる。



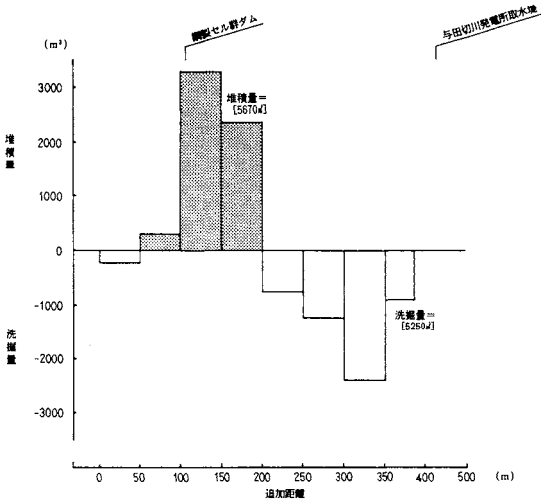
図－6　鋼製セル群ダム上・下流区間における土石流発生前後の河床

4．ダムの効果

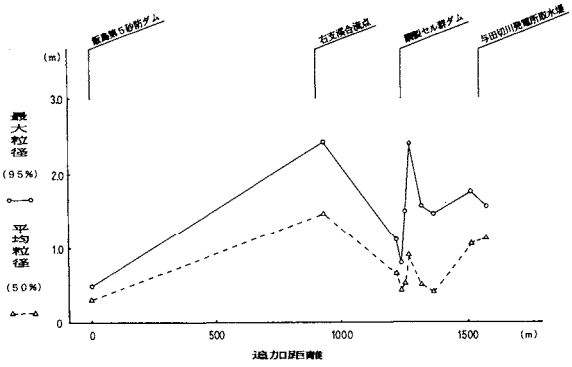
4.1　流出土砂の捕捉効果

図－6は，今回発生した土石流の前後における鋼製セル群ダム上下流の河床を，河床縦横断測量により比較したものである。これによると，セル群ダム上流約130mの区間の河床が上昇しており，ダムによって土石流が捕捉されたことがわかる。堆砂域の平均河床勾配は1/11でこれは計画堆砂勾配とほぼ同じになっているが，堆砂の形状を見るとダムより上流80m区間は1/18の緩い勾配で，それより上流が1/7.8の急な勾配になっており，ダム直上流ではかなりゆるやかな勾配で土砂が堆積している。このような堆砂形状となったのは，現地での観察からセル部で巨レキが停止してその上流に比較的細粒の土砂が多く堆積したためである。

図－7は，セル群ダム上下流における土石流発生前後の河床変動量を示している。これによると，セル群ダム上流の堆積土砂量は5,670 m³で，堆砂域末端から与田切発電所取水堰までの洗掘量5,250 m³とほぼ同じになっている。今回は土石流の総流出土砂量調査は行わなかったため，セル群ダムの土砂捕捉率(ダムの捕捉土砂量/土石流の総流出土砂量)はわからないが，3回の土石流のうち1回および2回目の土石流はフロント部がセル部で停止していることから，今回の土石流のかなりの部分はセ



図－7　セルダム上・下流の河床変動量



図－8　セル群ダム上・下流における河床レキ径の変化

ル群ダムで捕捉されたものと思われる。

4.2　粒径調節効果

鋼製セル群ダムの効果として期待されている土石流の巨レキ捕捉効果をみるため，セル群ダム上下流の河床レキについて線格子法による粒径分布調査を行った。図－8はその結果を示したものである。図によれば，セル群ダムの直上流に堆積している河床レキは，セル群ダム上流の河床レキより最大レキ径，平均レキ径ともに大きくなっており，セル群ダムにより土石流中の巨レキが捕捉されたと考えられる。捕捉された巨レキは最大レキ径が2.4m，平均レキ径が1.5mであり，最大レキ径に対するセル間隔（5m）の大きさは，約2倍になっている。なお，セル群ダム下流で河床レキが大きくなっているところは，3回目の土石流フロントが停止した地点である。

5．被災状況

鋼製セル群ダムは，平成5年8月の土石流にも崩壊することなくその機能を発揮したが，ダムの各部には次のような損傷が発生した。

①セル（鋼材）の変形。

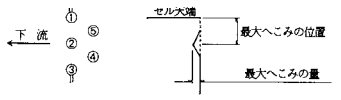
②セル（鋼材）表面の摩耗。

③天端コンクリートの摩耗。

表－1　各セルの変形の状況

セルNo.	変形位置（下流）←（上流）	変形の大きさ 最大変形部の幅 (m)	最大のへこみ量 (cm)	最大へこみの位置 (m)	衝突レキの大きさ 平均 (m)	最大 (m)
1		5.3	10.0	1.5	不明	不明
2		7.2	32.0	1.4	1.2	3.1
3		4.7	8.0	1.2	1.1	2.0
4		9.4	8.0	1.2	1.1	2.2
5		4.4	4.1	2.2	1.0	2.3

凡例：セルNo.図　　最大へこみの位置・量



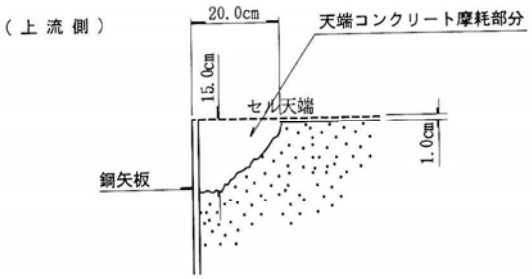
5.1　セルの変形

各ユニットセルの変形は，セル部に土砂が堆積しているため全体の確認はできなかったが，観察可能な部分から変形状況をまとめたものが表－1である。各セル最大変形位置は，No.5のセルを除き，いずれも上流側に生じており，変形の幅は4.4～9.4m，最大へこみ量は4.1～32.0cm，最大へこみの生じている位置はセル天端から1.2～1.5m程度である。各セルのうち変形が最も大きいのは，下流側中央に位置するNo.2セルで最大へこみ量は32.0cmに達しており，鋼矢板の水平継ぎ目(溶接はされていない)には，最大5.2cmの開きが生じている。セルの変形に関係したと考えられる巨レキのレキ径は，平均レキ径でみると各セル共に1.0m程度で変わらないが，最大レキ径でみると最も大きな変形を生じたNo.2セルでは，3.1mで他のものより1.0mほど大きくなっており，このような巨レキが衝突したことがセルに大きな変形を生じた原因である（写真－3)。

5.2　セル表面の摩耗

鋼製セル群ダムのセル部は，今回の土石流により表面がかなり摩耗を受けた。セル表面の摩耗は，各セルとも

写真－3 第2セルの変形と衝突した巨レキの状況
(写真中央部の巨レキは長径が4.0 m)



図－9 天端コンクリートの摩耗状況

に土石流を直接受ける上流側では激しいが，下流側はほとんど摩耗されていない。摩耗の激しい部分はセル表面の塗装がすべて消失して鋼材が露出しており，特に摩耗が激しい部分では腐食防止材が削り取られている。またセルの摩耗の程度は，セル表面が滑面の鋼材セルタイプが，表面に突起のある鋼矢板セルタイプに比べ激しかった。

5.3 天端コンクリートの摩耗

セル部の天端コンクリートの摩耗は，各セルとも平均1.0 cm程度あり大きな摩耗は生じていないが，土石流が直撃したセル上流側では15 cm程度の欠損が生じているところがみられる（図－9)。また，各セルのうち摩耗が比較的激しいものは中央のNo. 2，4，5のセルで，下流側左右岸のNo. 1, 3のセルは天端コンクリートの摩耗はほとんどない状況であった。

6．おわりに

鋼製セル群ダムは，土石流中の巨レキをセル部で直接停止させるという新しいタイプの透過型砂防ダムであり，わが国でははじめて与田切川に設置し，今回の土石流に対しても巨レキの捕捉および流出土砂の捕捉効果を発揮したことが確認できた。しかし，本ダムは新しい施設であることから，セル部での巨レキの衝突・停止や上流の土砂堆積のメカニズム，巨レキの衝突による衝撃力や摩耗対策等の調査課題が多く残されている。これらについては，今後も調査を継続していく予定である。

参考文献

1) 今井一之(1992): 与田切川鋼製セルダム．新砂防，178, pp. 51－56

(原稿受理　1993年11月15日)

平成6年度　㈶砂防・地すべり技術センター研究開発助成募集の御案内

財団法人　砂防・地すべり技術センター　理事長　矢野勝太郎

当財団では毎年度研究開発助成事業を実施しています。助成は砂防ならびに地すべりおよびがけ崩れ対策に関する技術の向上を図るため，これらに関する技術開発および調査研究を対象として，特に問題意識が鮮明で達成目標が具体的であるテーマで，優れた人材を結集し十分な遂行能力を有する大学，高等専門学校等の研究者に対して実施しております。

平成6年度も研究開発助成を実施するため募集を行うものです(募集受付け期間は平成6年4月1日～30日)。募集内容は「平成6年度　砂防・地すべり技術センター研究開発助成募集要領」に示されておりますので，必要な方は下記へ請求して下さい。

(請求先)
財団法人　砂防・地すべり技術センター　企画研究部
(担当: 加藤)
〒162 東京都新宿区砂土原町3-4 (生泉市ヶ谷ビル)
TEL 03-3267-8014，FAX 03-3267-8040(FAX申込可)

〈技術ノート〉

与田切鋼製セル群ダムの効果（速報）

The Effect of Steel Shell Dam on Debris Flow on August 5, 1994 (Prompt Report)

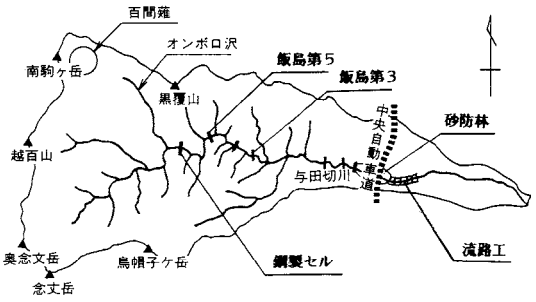
中安正晃*　今井一之**
Masaaki NAKAYASU　Kazuyuki IMAI

1．はじめに

平成6年8月5日，天竜川水系与田切川（長野県上伊那郡飯島町）において土石流が発生した。カラカラ天気の続いていた中部管内だったが，天竜川上流域は夕刻から局地的な集中豪雨に見舞われ，与田切川（与田切雨量観測所）では，5日19時～20時の1時間雨量が75 mm，総雨量（17時～22時）は159 mmに達した。

土石流は最上流部に建設された鋼製セル群ダムによって一部捕捉されたが，飯島第3砂防ダム下流の飯島町上水道取水口が閉塞し，復旧までの約9時間，2,800戸が断水したのをはじめ，川沿いの林道は9箇所で寸断，天竜川本川では増水のため釣客4名が流され亡くなった。

本報告は，発生した土石流の諸元，鋼製セル群ダムの効果等について速報として取りまとめたものである。



図－1　与田切川流域図

2．土石流の流下状況

2.1　流出土砂量

発生した土石流は，上流部の崩壊地「百間薙」から生産された土砂がオンボロ沢に堆積し，豪雨によって流出したものと考えられる。現地調査の結果，流出した土砂は主として既設の飯島第5砂防ダム上流に堆積し，第5砂防ダムの約400 m上流に計画している第6砂防ダム地点では河床が約6 m上昇，完成した仮排水路呑口が埋没した。測量の結果，第5砂防ダムからセル群ダム上流区間には約20万 m^3 もの土砂が堆積した。また発電取水堰上流の土砂堆積状況等から，総流出土砂量はさらに上回るものと考えられ，近年でも大規模なものであった。

与田切川では既に8基の砂防ダム，流路工及び砂防林の一部が完成しており，今回の出水で，第3砂防ダム下流の飯島町上水道取水口が土砂によって閉塞し，砂防林左岸側の河岸が約150 m，高さ3 mにわたって洗掘を受けた。また第5ダム上流部の各支川からは土石流が発生したとみられ，林道が9箇所寸断された。

2.2　ピーク流量の検討

2.2.1　取水堰での流下映像による検討

セル群ダムの約400 m上流に，長野県企業局の発電取水堰がある。当施設の水通しは，幅25.0 m，高さ6.75 mの矩形で，左岸袖天端及び下流に設置したITVカメラにより今回の土石流を捕らえることができた。これによるとピークは，19時59分頃から約4分間程段波として流下，段波は5 m以上の波形となって表れているが，夜間でもあったため流下状況が明確でない。段波前の映像では比較的粘性が小さく，巨石を含むような土石流形態ではないが，水深が確認できる映像であることから，段波直前の水深2.0 mを用いて流量を算定してみた。水深確認場所，すなわち撮影場所が限界水深と仮定した場合，流量は約456 m^3/secである。

当取水施設下流に架けられた釣橋が一部被災したが，これは土石が衝突したものと考えられ，取水施設天端より高い位置にあり水平距離で10 m以上離れていることから，段波によるものと推察できる。

$$Q = A \cdot (1/n) R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$
$$= 50.0(m^2) \times 9.13(m/s) = 456(m^3/s)$$

n: 土石流対策指針（案）より＝0.06（粘性が低いため後続流扱いとした）

I: 取水堰上流の河床勾配＝1/6.9

A: 流下断面＝25×2 m

2.2.2　降雨量による土石流ピーク流量の検討

検討にあたっては10分間雨量データのある田切観測所のデータを用いた。

洪水到達時間（分）は，

＊　建設省中部地方建設局天竜川上流工事事務所
＊＊　建設省中部地方建設局河川部

$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35}$

A: 流域面積＝18.0 km²，C: 係数＝120

r_e: 有効降雨強度: talbot 型で評価，

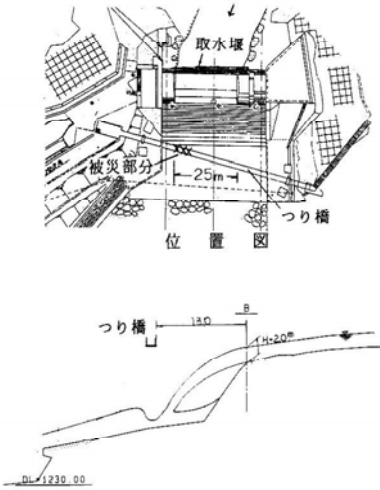
f: 流出係数＝0.9 のとき t_p＝60 分となる。よって

r: 60 分最大雨量＝59.5 mm を用いて

$Q_p = (1/3.6) \cdot f \cdot r \cdot A = 268 (m^3/s)$

一方，

$C_d = \rho \cdot \tan\theta / \{(\sigma - \rho) \cdot (\tan\phi - \tan\theta)\}$



図－2　ピーク時の状況: 発電取水堰付近の縦断図

表－1　土石流発生時の降雨状況

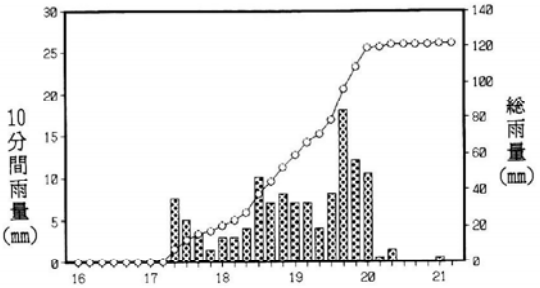
時間	観測所名							
	田切（飯島第5ダム）		与田切（発電取水堰）		飯島（出張所）	片桐松川	太田切	赤穂（事務所）
	時間	累計	時間	累計	時間	時間	時間	時間
16～17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17～18	20.5	20.5	25.5	25.5	1.0	2.0	0.0	0.0
18～19	39.0	59.5	53.0	78.5	0.0	10.0	0.0	0.0
19～20	59.5	119.0	75.0	153.5	4.0	20.0	0.0	0.0
20～21	2.5	121.5	5.0	158.5	0.0	5.0	0.0	0.0
21～22	0.0	121.5	0.5	159.0	0.0	0.0	0.0	0.0

σ: 礫の密度＝2.6 t/m³，ρ 水の密度＝1.2 t/m³，

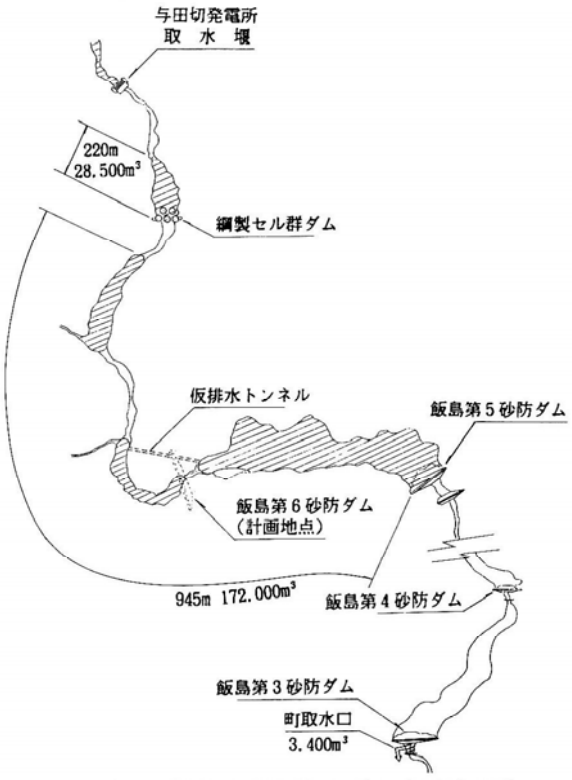
θ: 河床勾配＝8.2 度，

ϕ: 堆積土砂の内部摩擦角＝30 度

として，計算値 C_d＝0.285 となり，



図－3　土石流発生時の降雨状況（田切観測所）



図－4　土石流到達範囲及び土砂量（調査分のみ）

写真－1　飯島第5砂防ダム上流堆砂状況（第6ダム施工仮橋流失）

$C_d = 0.30$　また，$C_* = 0.60$ より，土石流の流量

$$Q_{sp} = \{C_* / (C_* - C_d)\} Q_p = 536 (m^3/s)$$

これらから判断して，流量は 500 m³/s 程度であったと想定でき，セル群ダムにおける計画流量は，480 m³/s (1/100 確率) であることから，ほぼこれに匹敵するものであったと考えられる。しかしながら下流部や近隣の片桐松川（松川町）では雨量は少なく，10 km も離れていない太田切川，天竜川上流工事事務所（駒ヶ根市）や，中央アルプスを挟んだ木曽川水系の松ヶ平(上松町)，須原（大桑村）などでも雨量は記録されていないことから，今回の豪雨は与田切川上流部を中心とした 3 時間にわたる局地的集中豪雨であった。

3．鋼製セル群ダムの土石流捕捉状況

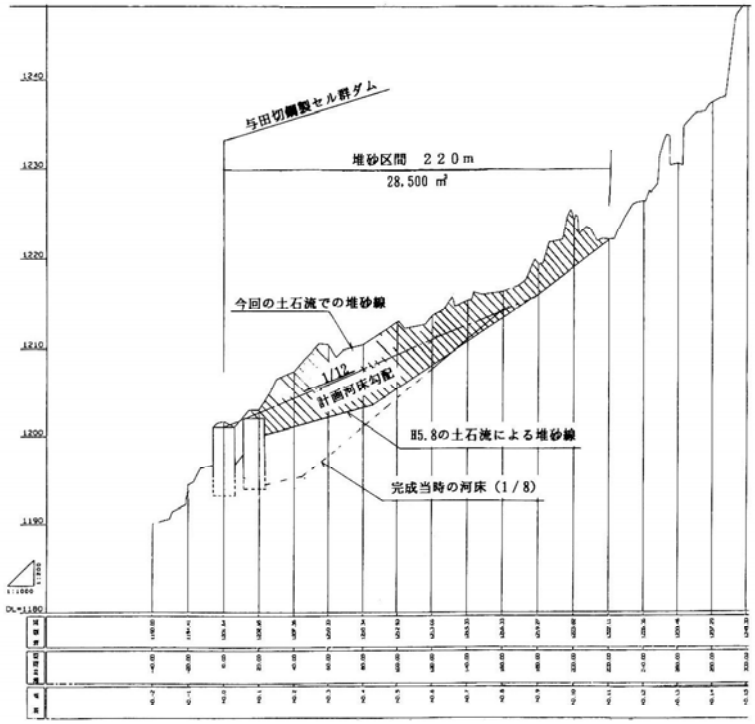
鋼製セル群ダムは鋼矢板を円筒状に組み，現地発生材を中詰め土砂として使用することにより，工期が短縮できる土石流対策ダムであり，5 基のセル（$H = 8$ m，$\phi = 12$ m）を千鳥状に配し，計画貯砂量は 10,000 m³ である。セル群は下流右岸から左岸へ 1，2，3，上流右岸から 4，5 とナンバーが付けられており，オープンタイプのセル群ダムとしては全国初で平成 3 年 8 月に完成した。昨年 8 月に発生した土石流では，5,670 m³ の土砂を捕捉し効果を発揮しており，この時の堆砂区間はセル群ダムの上流 130 m であった。

セル間には直径 6 m 前後の巨石が数個捕捉され一時的にスリット部が閉塞し，これによる効果で計画貯砂量をはるかに上回る土砂が堆積した。昨年 8 月の土石流発生以来，抜本的な除石は行われていないことから，この堆砂分を除く今回の出水による捕捉量は 28,500 m³，堆砂区間は 220 m であった。

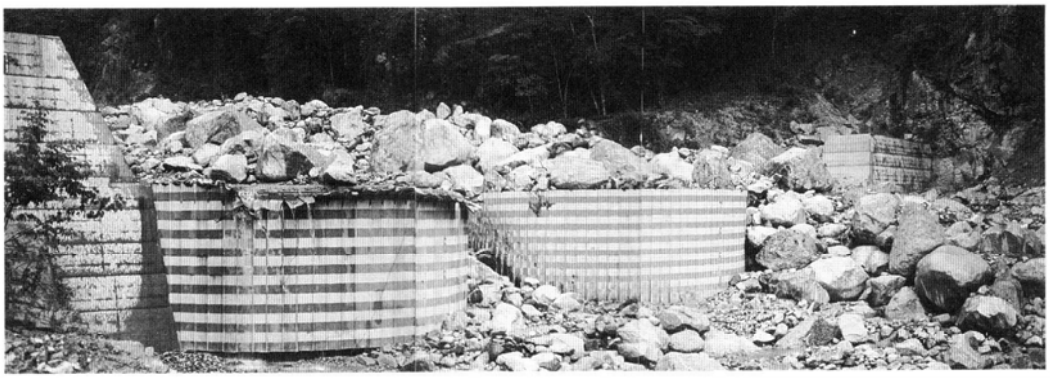
また，セル全体が土砂に覆われているが，後続流が流下したと思われる右岸側 1，2，4 号の下流側及び天端の一部が露出している。3，5 号セルに関しては土砂に覆われ外見上ほとんど見えない。

一方，セル群ダム及び第 6 号砂防ダムサイト付近で堆積した土砂の表面部の粒径について調査したところ，セ

写真－2　施工直後のセル群ダム

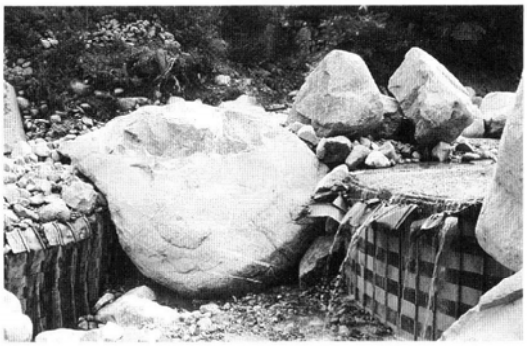


図－5　セル群ダム上流の堆砂状況

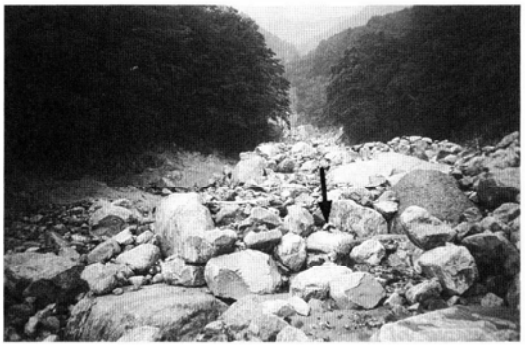


写真－3　土石流を捕捉したセル群ダム

写真－4　捕捉した巨石（2，4号セル間）



写真－5　捕捉した巨石（1，4号セル間）

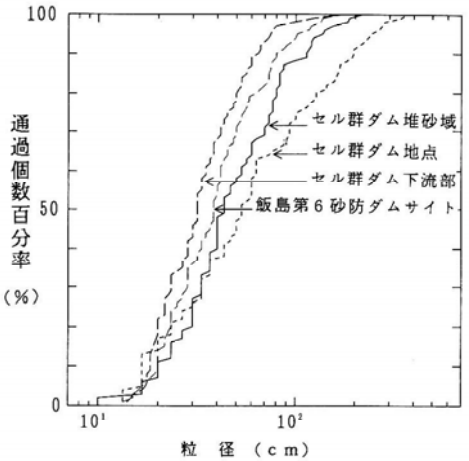


写真－6　セル群ダム上流の堆砂状況

ル群ダム上流部で多くの巨石が堆積していることがわかる。第5砂防ダムから第6砂防ダムサイト付近は最大で直径(長径)3m以上の巨石が多く見られる。また第3砂防ダムより下流ダムの堆砂域は細かい粒子の砂で覆われており，主に減水時に堆積したものではないかと思われる。縦断的に見ても砂防ダム群によるふるい分け効果が見られ，セル群ダムによって巨石が捕捉されたことがわかる。

4．被災状況

そもそもセル群ダムは，矢板及び中詰め土砂のせん断



図－6　堆積土砂表面部の粒径加積曲線

抵抗によって土石流の衝撃を吸収するものであるため，土石流を受けた場合，セルの変形や破損が生じることになる。

外見上土砂に覆われている部分が多いため詳細は不明だが，セル自身は自立しており，一部損傷を受けたものの十分に土石流の捕捉効果はあったと考えられる。損傷状況については以下のように大きく分類できる。なお袖部コンクリートにおいても一部欠損が見られた。

写真－7　セルダム側面の摩耗状況（2号セル）

写真－8　セルダム上流側の変形状況及び天端の被災状況（1号セル）

4.1　摩耗による矢板継ぎ手部の損傷

中詰め土砂の流出はセル群ダムとしては致命傷になりかねない。矢板の継ぎ手部分の摩耗，破損状況を調査し，改良点があれば反映する必要がある。

4.2　衝撃力による矢板の変形

安定計算上，土石流の計画水深は1.8ｍであるが，6ｍを越す巨石を捕捉しており，変形量も大きいことなどから土石流の流体力は計画以上のものであったと想定できる。当時の土石流流体力を把握するためにも，今後の調査が必要である。

計画土石流流体力　10.7 t/m

土石流の計画水深　1.8ｍ

4.3　天端コンクリートの沈下による矢板のめくれ上がり

天端コンクリートの沈下は，土石流の衝突時の振動により体積圧縮が生じたものか，施工時転圧等が原因と考えられる。天端が沈下したセルは1号及び4号であり，後続流が流下した部分であることから，天端沈下によりはみ出した矢板が土石によりめくれていったと思われる。しかしながらセルそのものが剛体でなく，現地材の中詰めであることから，ある程度は避けがたい現象とも考えられ，中詰め土砂を用いた構造物における今後の課題とも言える。

5．今後の課題

鋼製セル群ダムは，土石流対策ダムとして今後期待される工法のひとつであり，これまで室内実験等によりその効果が検証されているが，今後研究解明すべき課題は多く残っている。当ダムも試験工事の意味合いが強く，ITV カメラをはじめ各種計測機器を設置し観測体制を整えていたところである。

今後の調査内容としては以下の内容があげられる。

①土石流発生現象に関する調査

②土石流流下状況及び堆積状況の調査（河床変動，河床材料，土石流痕跡）

③セル群ダムへの影響に関する調査（作用外力，損傷状況，復旧方法）

④土石流観測体制の整備

発電取水施設によって人工的に狭窄部が形成されており，巨石を直接捕捉したセル群ダムほどの効果はなかったものの，上流部には相当量の土砂を堆積させているものと考えられる。さらにマクロ的に河道の縦断勾配，河床幅等地形調査を行い河道特性，各施設の効果等を把握していくことも必要であろう。また，オープンタイプの砂防ダムのスリット部で巨石が捕捉された場合，水通し断面を侵すこととなる。水通し断面の検討も必要である。

一方，セル群ダムでの土石流の映像は撮影ができなかったことから，ダム地点での流下状況は不明な点が多い。観測機器のシステム上の問題を解決し，改良が望まれるところである。

本速報は土石流発生直後の現地調査の結果によるものであり，詳細については除石後の調査を待つ必要がある。当ダムの補修，改良にあたっては，これらの調査結果を積極的に反映していくこととするが，さらに今後のセル群ダムの構造，施工方法にも反映されることを期待する。

最後になりましたが，本速報にあたっては砂防地すべり技術センター砂防技術研究所阿部課長をはじめ関係各位から資料提供及び貴重なアドバイスをいただきました。紙面をお借りして謝意を表します。

参考文献

1）中安正晃・白江健造・佐藤敏明（1994）：平成5年8月に発生した土石流と与田切鋼製セル群ダムの効果．新砂防 190, pp. 33～37

2）今井一之（1992）：与田切鋼製セルダム．新砂防　178, pp. 51～56

（原稿受理　1994年9月22日）

（14） 鋼製自在枠の自在性に関する資料

日鐵住金建材株式会社
防災・鉄構商品技術室

◆鋼製自在枠の自在性について

鋼製自在枠は、ある程度の不同沈下（鉛直方向の沈下）等に対応できるように、柱材（勾配付）と水平材の接合部にテーパーワッシャーを取り付け、自在性を有する構造としている（写真-1）。

写真-1 テーパーワッシャー

ここで、構造理論上の沈下量（スパン固定とした場合のボルト孔のみによる沈下量）は 8.7cm である（図-1）。

一方、実物大による鉛直方向沈下量の検証実験では、各実験により以下の値が計測されており、この範囲内においては、構成部材やボルト等の破断は認められず、構造体としての安全性を有していることが確認されている。

◇中詰材無しの場合：約 80cm（写真-2）

◇中詰材有りの場合：約 20cm（写真-3）

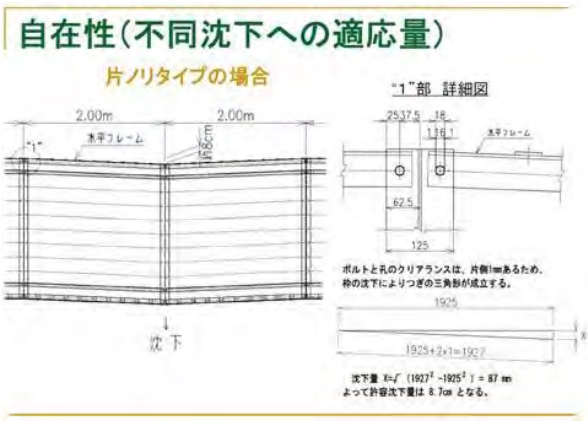


図-1 許容沈下量（理論値）

写真-2 許容沈下量（中詰材無しの場合）

写真-3 許容沈下量（中詰材有りの場合）

※以上より、鋼製自在枠の許容沈下量は、実現場の状況を勘案し、20cm 以下（中詰材有りの実験結果以下）とする。

－以上－

(15)　鋼製続枠の自在性に関する資料

鋼製続枠のタイプ

鋼製続枠には、えん堤タイプ、擁壁タイプの2タイプがあります。
以下に、タイプ別の適切な使用場所を示します。

区　　分	治山・砂防事業	林道事業
えん堤タイプ	①谷頭部の土石流発生防止 ②荒廃渓流の保全、勾配の維持(谷止工) ③渓床の洗掘防止(床固工) ④渓岸の維持(護岸工) ⑤地すべり抑制	①林道上部渓流の保全 ②盛土箇処の維持 ③捨土箇処の維持
擁壁タイプ	①山腹土留工、水路工 ②盛土工、切土工の法面の押さえ ③渓床の維持(護岸工) ④地すべり抑制・抑止	①法止よう壁(路側) ②捨土箇処の維持 ③盛土箇処の維持 ④護岸工 ⑤地すべり箇処の抑止工

※砂防えん堤タイプは、「鋼製砂防構造物設計便覧」に準拠しています。
谷止め工タイプは、「治山技術基準」に準拠しています。

部材の仕様

・フレーム	JIS G 3466	「一般構造用角形鋼管」(STKR400)(□−125×125×6)	または同等以上
・ビーム	JIS G 3466	「一般構造用角形鋼管」(STKR400)(□−125×125×6)	または同等以上
・ツナギ材	JIS G 3101	「一般構造用圧延鋼材」(SS400)(L−75×75×6)	または同等以上
・斜材	JIS G 3101	「一般構造用圧延鋼材」(SS400)(L−75×75×6)	または同等以上
・前面材	JIS G 3350	「一般構造用軽量形鋼」(SSC400)(U−50×85×6)、(U−50×55×6)	または同等以上
・後面材	JIS G 3101	「一般構造用圧延鋼材」(SS400)(L−50×50×6)	または同等以上
・側面材	JIS G 3101	「一般構造用圧延鋼材」(SS400)(L−50×50×6)	または同等以上
・上面材	JIS G 3101	「一般構造用圧延鋼材」(SS400)(FB−6×50)	または同等以上
・底面材	JIS G 3101	「一般構造用圧延鋼材」(SS400)(FB−6×50)	または同等以上
・ジョイントプレート	JIS G 3101	「一般構造用圧延鋼材」(SS400)(PL−6,9)	または同等以上
・ボルト	JIS B 1180	「六角ボルト」の規定による	
・ナット	JIS B 1181	「六角ナット」の規定による	
・座金	JIS B 1256	「平座金」の規定による	
・ばね座金	JIS B 1251	「ばね座金」の規定による	
・土砂漏れ防止材	JIS G 3351	「エキスバンドメタル」	

ジョイント部の回転性能

当社工場内仮組による
ジョイント部の回転性能試験
変形量　15cm/スパン（=2m）

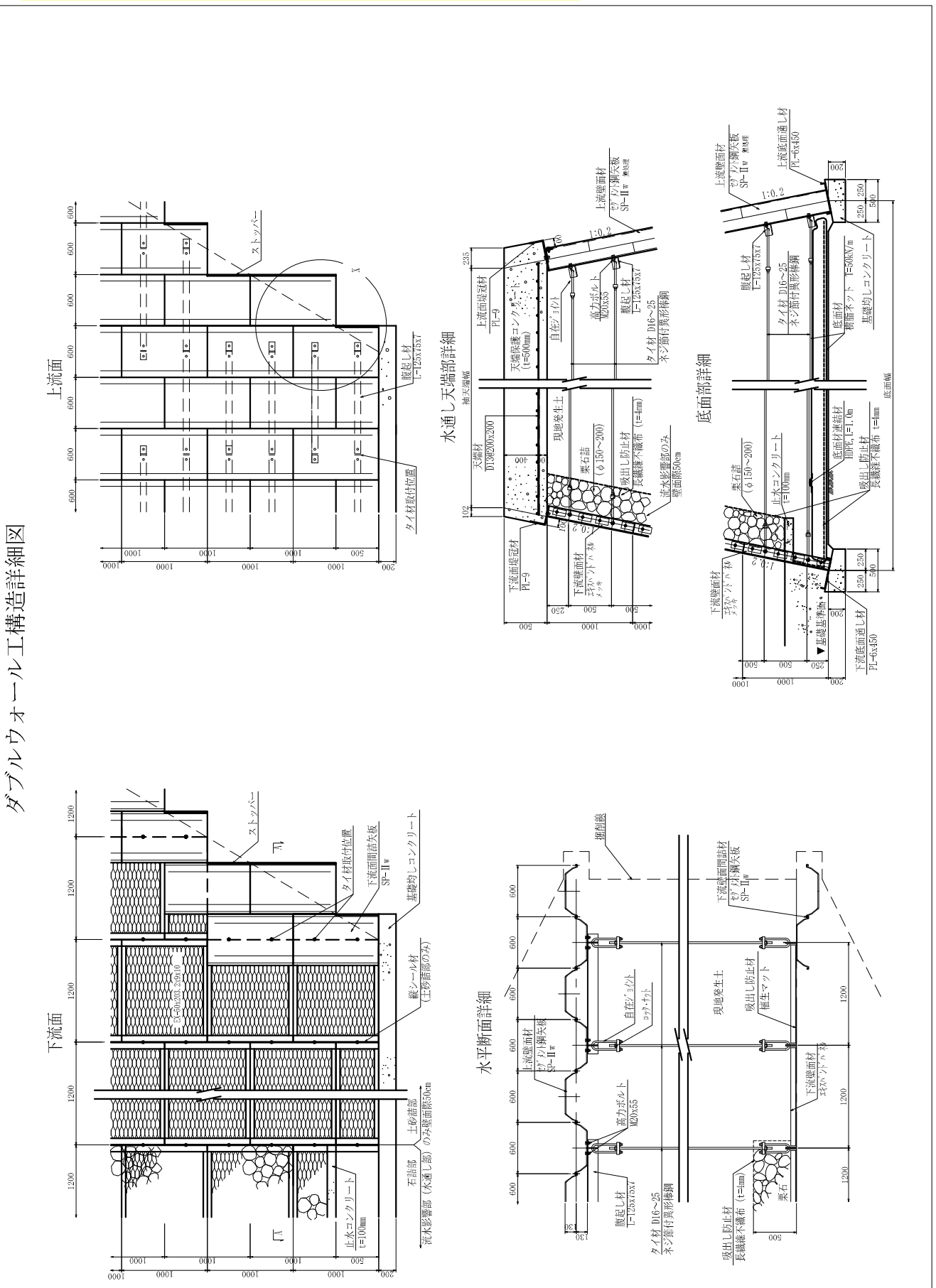
○自在性について

続枠はその構造上、部材連結部をピン構造とすることで、自在性をもたせてあります。

鉛直方向の自在性

工場での仮組実験によると、1スパン（2ｍスパン）当り15cm以上の自在性があることが検証されており、この範囲では部材強度的にも問題がありません。

(16)　ダブルウォール工構造詳細図　（参考）



5.5　腹起しの設計

腹起しの最大曲げモーメントは，適切な方法により算定する。

〔解説〕

腹起しの最大曲げモーメントを求める式は，種々提案されているが，現場の諸条件により，安全で経済的な断面となるよう算定する。

〔参考〕

(1)　腹起しの最大曲げモーメントは，**式（5.5.1）**によって求めてよい。

$$M = T\ell / 10 \qquad (5.5.1)$$

ここに，

M；腹起しの最大曲げモーメント（kN・m）

T；**本編5.4.1 タイ材の張力** によるタイ材の張力（kN）

ℓ；タイ材取付間隔（m）

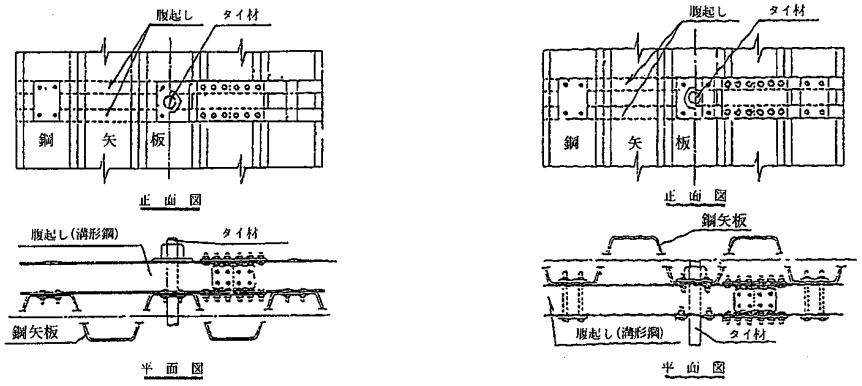
この式はタイ材取付点反力（A_p）を等分布荷重とし，タイ材取付点を支点とした三径間連続ばりとして解いたものである。

(2)　矢板の上部には水平に腹起し材を設け，これに矢板とタイ材を取り付ける。腹起しは，通常，**図ー参5.5.1**のように溝形鋼を組み合わせて用いるが，山形鋼又はH形鋼を用いることもある。

(3)　腹起しの許容応力度は，**第3編2.3 鋼材の許容応力度** を参照のこと。

(4)　腹起しは，腹起しにかかる応力を減少させること，及び防食上の見地から上部工に埋込むことが望ましい。上部工に埋込まないときは，応力度の算定は腐食代を除いた断面について行う必要がある。腐食量については，**第3編2.4.2 鋼材の腐食速度** を参照のこと。

(5)　上部工に係船柱を設けた場合は，**本編5.4.1 タイ材の張力〔参考〕**(2)によって，船舶の牽引力を考慮したタイ材張力を用いて係船柱付近の腹起しの設計を行う必要がある。この場合，許容応力度は，常時の1.5倍としてよい。ただし，腹起しを上部工に埋込んだ場合には牽引力の影響を無視してもよい。



(a)　鋼矢板の海側に設置した場合　　(b)　鋼矢板の陸側に設置した場合

図ー参5.5.1　腹起しの取付けの例

(6)　腹起しは矢板の海側に設ける場合と陸側に設ける場合がある（**図ー参5.5.1**参照）。

腹起しを海側に設ける場合は，矢板はこれにもたれかかる状態になるので，個々の矢板をボルトで強制的に縫いつける必要はなく，ボルト締めは少数でよい。しかし，腹起し材の腐食や損傷は矢板壁に致命的損傷となるので，上部工コンクリートを厚くして，腹起しをコンクリートに包み込む必要がある。腹起しを陸側に設ける場合は，矢板の縫いつけに十分な強度をもつボルトを多く必要とし，施工が繁雑であるが，上部工コンクリートの厚さは，海側の場合に比べて薄くできる。

ご質問票

◆主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアルに関するご質問の内容を具体的にご記入ください。

（1）点検方法について

（2）変状レベルの評価について

（3）その他

◆恐れ入りますが、ご質問者様の以下の情報についてご記入ください。

1．お　名　前　：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

2．ご所属先名　：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

3．ご 連 絡 先　：TEL＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

FAX＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

送信先

（一財）砂防フロンティア整備推進機構　研究第二部

主に鋼材を用いた砂防施設の維持管理マニュアル　担当者　宛て

FAX.　０３－３２６２－２２０２