

# 第1章 総則

## 第1 マニュアル策定の背景

全国に展開する農業水利施設は、老朽化の進行とともに更新時期を迎えるものが増加傾向にある。基幹的な農業水利施設である頭首工では、約4割が耐用年数を超過しており、施設の長寿命化を図りライフサイクルコストを低減させるため、適切な補修・補強工事の実施が求められている。

### 【解説】

現在、全国の基幹的農業水利施設は、ダムや頭首工(取水堰)等の点的な基幹的施設が約7.7千カ所、基幹的水路が約5万km整備されており、その資産価値(再建設費ベース)は20兆円に達している(表1.1-1、図1.1-1参照)。これら基幹的農業水利施設の多くは老朽化が進行しており、頭首工(取水堰)では、1,970カ所のうち859カ所(44%)が耐用年数(標準耐用年数50年)を超過している状況である(表1.1-2参照)。

表 1.1-1 農業水利ストックの整備状況

農業用排水路	約40万km以上 (地球約10周分)
うち基幹的水路	約5万km
基幹的施設	ダム、取水堰、 用排水機場等
	7.7千箇所

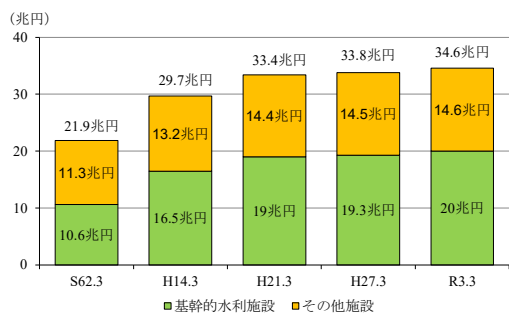


図 1.1-1 基幹的農業水利施設の資産価値

表 1.1-2 標準耐用年数超過状況

基幹的農業水利施設 施設区分	施設数 ・延長 (R4.3)	うち標準耐用 年数超過	
		施設数	割合
基幹的施設 (箇所)	7,735	4,445	57%
貯水池	1,293	133	10%
取水堰	1,970	859	44%
用排水機場	3,016	2,365	78%
水門等	1,138	846	74%
管理設備	318	242	76%
基幹的水路 (km)	51,954	23,832	46%

資料：農業基盤情報基礎調査 (R4.3 時点)

注：「標準耐用年数」は、所得税法等の減価償却資産の償却期間を定めた財務省令を基に農林水産省が定めたものであり、主なものは以下のとおり。

貯水池：80年、取水堰(頭首工)：50年、水門：30年、  
機場：20年、水路：40年

図 1.1-1、表 1.1-1、表 1.1-2 出典：農林水産省ホームページ「農業生産基盤の整備状況について(令和4年3月)」

これまでの全面的な改築を見直し、施設の長寿命化と機能保全コストの低減に向け、機能診断の実施と機能保全計画<sup>※1</sup>の策定に基づき、施設の変状状況に応じた補修・補強工事を計画的に行うことによる戦略的な保全管理の推進が必要となっている。

表 1.1-2 標準耐用年数超過状況によれば、基幹的農業水利施設に分類される頭首工(取水堰)は全国で1,970カ所整備されており、農業水利ストック情報データベース(令和2年(2020年)3月時点)によれば、国営事業で造成された頭首工(以下、「国営頭首工」という。)は381カ所であ

※1 機能保全計画は、原則施設毎に策定するものであり、「劣化予測」、「対策工法」、「対策実施シナリオ」、「機能保全コスト」及び「施設監視計画」についてそれぞれ取りまとめる。農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」令和7年6月 第4章 機能保全計画参照。

る。国営頭首工 381 カ所のうち令和 2 年（2020 年）3 月時点で耐用年数を既に超過した国営頭首工は 101 カ所<sup>※1</sup>（27%）ある。さらに 10 年以内に耐用年数を迎える 62 カ所<sup>※2</sup>（16%）を加えると、10 年後（令和 12 年（2030 年））には、耐用年数を超過する頭首工は 163 カ所（43%）に達する。このうち補修工事を実施した国営頭首工は 16 カ所<sup>※3</sup>のみである。したがって、補修済みを除く 147 カ所（39%）の適切な機能保全が急務となっており、今後、相当数の国営頭首工において補修・補強工事の実施が必要になると想定される（表 1.1-3、図 1.1-2 参照）。

表 1.1-3 国営頭首工の供用開始後経過年数と補修工事実施状況

供用開始後経過年数	1年未満	1～10年	11～20年	21～30年	31～40年	41～50年	51～60年	61～70年	計
供用開始後経過年数別頭首工数	2	23	52	64	77	※2 62	※1 82	※1 19	381
補修工事実施頭首工数	0	0	0	1	7	※3 6	※3 7	※3 3	24
高度化事業	0	0	0	1	2	0	1	0	4
更新事業	0	0	0	0	5	6	6	3	20

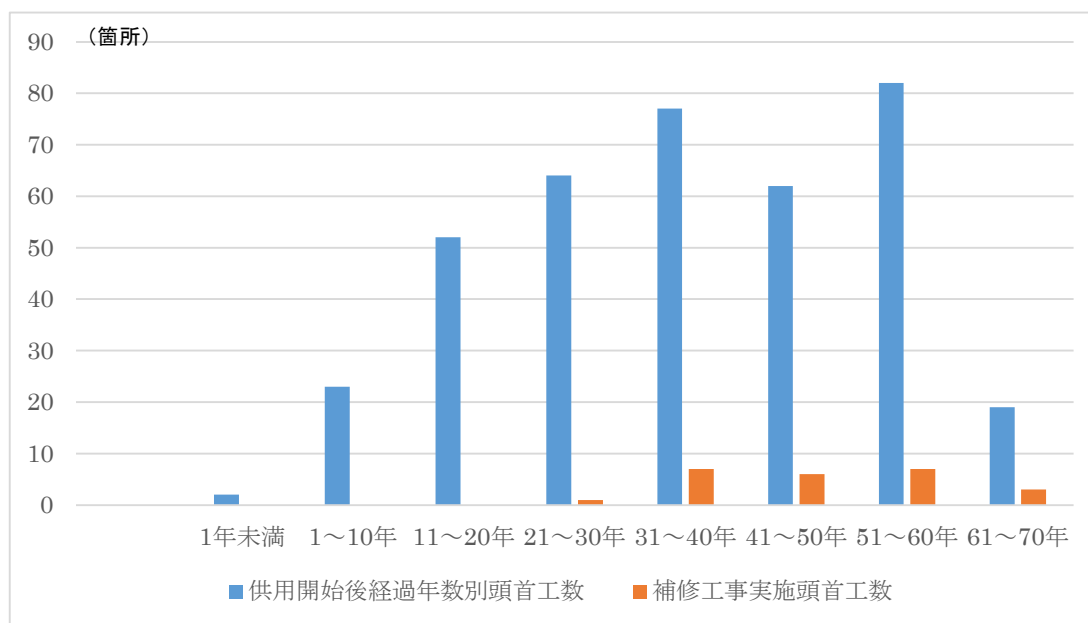


図 1.1-2 供用開始後経過年数別国営頭首工数と補修工事実施国営頭首工数

表 1.1-3、図 1.1-2 出典：農業水利ストック情報データベース（令和 2 年（2020 年）3 月時点）

他方、令和 4 年（2022 年）5 月には、これまでに例のない頭首工の大規模な漏水事故が発生し、その原因はパイピングによる浸透破壊と結論付けられており、地域社会や経済に重大な影響を与えた。

戦略的な保全管理の推進のためには、ストックマネジメントのプロセスの中で確認された施設の性能低下状況、要求性能、使用環境条件等に応じて、適切な時期に補修、補強等の対策を実施し、低下した施設性能の回復又は向上を図ることが重要である。

頭首工は、河川に設置される構造物であり、農業水利施設としての水利用・水理・構造機能を満足させる必要があることから、補修・補強工事は、変状要因、要求性能、その照査方法及び品質規格値などを理解した上で、適切な工法の選定、施工及び施工管理のもとで実施されることが求められる。

## 第2 図書の目的

本書は、頭首工を構成するコンクリート施設の補修・補強を実施する際の実務に必要なとなる材料・工法の選定、設計、施工管理及びモニタリング調査に関する考え方や留意すべき事項を取りまとめたものであり、補修・補強工事の適切な実施と品質確保を図ることを目的としている。

### 【解説】

補修・補強の材料・工法は、多種多様であり、それぞれの適用効果、適用上の留意点等が異なる。

本書は、頭首工を構成するコンクリート施設（堰体、堰柱、床版、エプロン、取水施設、魚道等）における補修・補強工法を体系的に分類・整理し、以下の項目についての基本的な考え方を取りまとめ、補修・補強工事の施工管理に資することを目的として作成したものである。特に材料・工法の品質管理については、頭首工を構成する各施設に要求される性能を考慮した上で補修・補強工事に使用する材料・工法の品質規格を設定している。

- ◇補修・補強工法の概要（種類・特徴）
- ◇補修に求められる要求性能に応じた材料・工法の照査方法と品質規格値
- ◇補修工法の施工手順
- ◇補修工事の施工管理及び完成検査
- ◇補修後のモニタリング

以下、参考として、**図 1.2-1 頭首工の機能保全のフロー**を示す。

前述のとおり、本書は、補修工事の実施段階で参考にすることを目的に作成している。

なお、対策工法の実施に至るまでのプロセスは、事業計画等により各地区で異なるが、その場合も、適切な工法選定の下、補修工事を実施する際に本書を参考にすることは妨げない。

ストックマネジメントによる機能保全の各プロセスにおける本書と「農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」（令和7年6月）」との関係を**図 1.2-2**に示す。

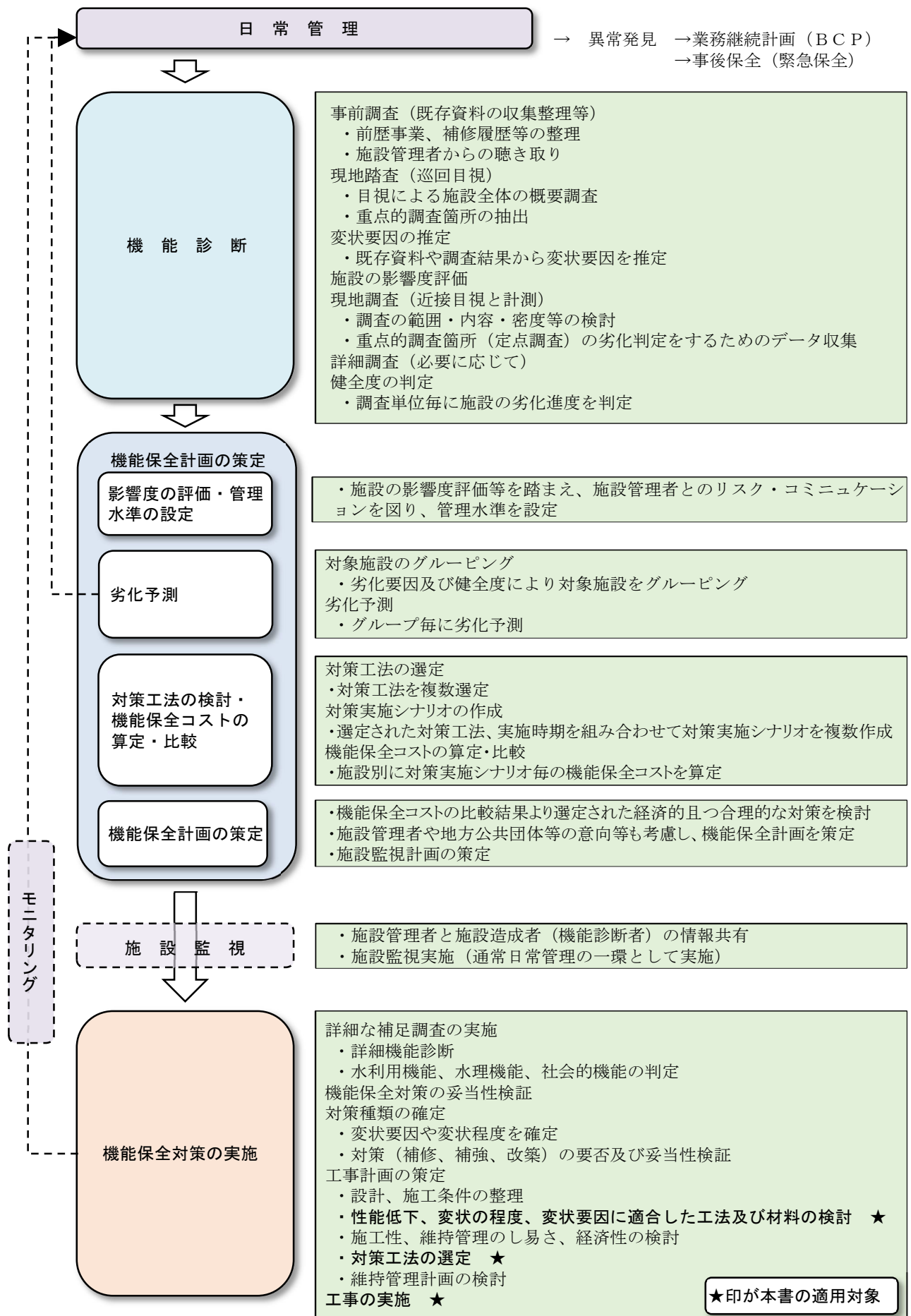


図 1.2-1 頭首工の機能保全のフロー

## 農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」(令和7年6月)

### 日常管理

### 機能診断

(事前調査(既存資料の収集整理等)、現地踏査(巡回目視)、変状要因の推定、現地調査(近接目視と計測)、健全度の判定)

### 機能保全計画の策定

(リスク管理、影響度と管理水準の考え方、リスク・コミュニケーション、緊急事態における対応の検討、対策時期・工法の検討、機能保全コストの算定)

### 施設監視と対策の実施

(施設監視、情報(造成時の設計・施工情報、過去の機能診断情報、補修等履歴情報等)の保存・蓄積・活用)

## 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル(頭首工編)

### 第1章 総則

#### 【頭首工の現状】

#### 第1

・農業水利ストック情報データベース(2020年3月時点)における頭首工(1952カ所)の耐用年数超過状況、国営頭首工(381カ所)の供用開始後経過年数と補修工事実施状況

#### 第2

・本書と農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」との関係

#### 第3

・頭首工の構成施設系統図

#### 第4～第5

・頭首工の補修・補強に関する用語の定義と解説

#### 【頭首工の変状要因】

#### 第6

・平成18～30年度に補修・補強工事を実施した国営頭首工(26カ所)における変状要因とその事例数

#### 【摩耗のメカニズム・摩耗速度】

#### 第7

・頭首工エプロン系施設の摩耗メカニズム、摩耗形態、摩耗事例

・頭首工エプロン系施設と開水路の年間平均摩耗速度の比較

### 第2章 補修・補強工法の概要

#### 【対策工法の概要】

#### 第1

・補修工法及び補強工法の検討手順

#### 第2

・補修及び補強の定義、補修と補強の概念図、補修・補強工法の種類と分類

#### 第3

・補修工法(無機系被覆工法、パネル工法、有機系被覆工法、石張工法、ひび割れ補修工法、断面修復工法、打換え工法、目地補修工法、表面含浸工法)の特徴

#### 第4

・補強工法(接着工法、打換え工法、増厚工法、あと施工せん断補強工法、鋼板巻立て工法、上面増厚+下面鉄筋補強工法、増杭工法)の概要

#### 【対策工法の選定】

#### 第5

・頭首工補修・補強工事の工法選定プロセス

・工法選定に関する基本的考え方

ストックマネジメントによる機能保全のプロセス

農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（頭首工編）

第3章 補修の要求性能及び材料・工法の品質規格と選定

【対策工法の性能照査方法と品質規格値】

第1

- ・要求性能項目
- ・エプロン系施設に使用する材料・工法に期待される耐用年数（50年）
- ・その他施設に使用する材料・工法に期待される耐用年数（20年）

第2

- ・エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査方法
- ・耐摩耗性及び耐衝撃性の性能照査方法（耐摩耗性試験：回転式水中摩耗試験、耐衝撃性試験：鋼球落下式衝撃摩耗試験）

第3

- ・エプロン系施設及び魚道の補修工法別（パネル工法、打換え工法、石張工法、魚道の補修工法）の品質規格値と照査方法

第4

- ・その他施設の補修工法（無機系被覆工法）の品質規格値と照査方法

第4章 補修工法の施工

【対策工法の施工概要】

第1

- ・共通工事（準備工、仮設工、構造物取り壊し工、下地処理工）の施工手順等

第2

- ・補修工法（パネル工法、打換え工法、無機系被覆工法、有機系被覆工法）の施工手順等
- ・魚道の補修事例
- ・沈砂池の補修事例

第5章 補修工事の施工管理と完成検査

【対策工事の施工管理】

第1

- ・補修工事における施工段階毎の施工管理の例（パネル工法、打換え工法、無機系被覆工法、有機系被覆工法、断面修復工法）

第2

- ・品質管理

第3

- ・出来形管理（直接測定による出来形管理、撮影記録による出来形管理）

第4

- ・完成検査

第5

- ・安全管理

第6章 対策後の施設監視

【対策工事施工後の施設監視】

第1

- ・施設監視のための情報収集（資料収集）、施設監視計画記載項目

第2

- ・頭首工で発生しやすい変状とその要因

第3

- ・基本情報（施設情報、工法情報、施工情報、維持管理情報）の記録・収集・整理

第4

- ・モニタリング調査フロー図

第5

- ・基本調査（目視、打音調査、摩耗量調査、付着強度試験等）

第6

- ・詳細調査（表面走査法による表面劣化の確認試験、超音波伝播速度試験（透過法））

農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（頭首工編）

参考資料

【エプロン系施設の補修設計】

参考①

- 1.1 ・対策検討の流れ
- 1.2 ・頭首工エプロンの摩耗劣化の補修に関する基本的考え方
- 1.3 ・将来的に現場で想定される年間平均摩耗速度の推定と設定耐摩耗層厚の計算
- 1.4 ・弾性板
- 1.5 ・対策範囲の設定
- 1.6 ・その他の留意点（揚圧力、打ち継ぎ面、施工性、応急対策）
- 1.7 ・取付部の構造細目

参考②

- ・パネル工法の諸元等

参考③

- ・エプロン系施設の補修に関する工法選定フロー

【補強工法の事例紹介】

参考④

- ・補強工法の個別事例（異形鉄筋埋設工法（あと施工せん断補強工法）、鋼板巻立て工法、増厚工法）

【頭首工関連技術図書の変遷】

参考⑤

- ・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「頭首工」、農業水利施設の機能保全の手引き、農業水利施設の長寿命化のための手引き、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアルの変遷の状況

巻末資料

【耐摩耗性・耐衝撃性の試験方法（案）】

- ① 回転式水中摩耗試験法（角柱研磨式）（案）
- ② 鋼球落下式衝撃摩耗試験法（案）
- ③ 表面被覆材の水砂噴流摩耗試験方法（案）

【施工管理に関する資料】

- ・施工管理項目等参考例（1.1 パネル工法、1.2 打換え工法、1.3 無機系被覆工法、1.4 有機系被覆工法）

- ① 直接測定による出来形管理（案）
- ② 撮影記録による出来形管理（案）
- ③ 施工管理の記録様式（案）
- ④ 品質管理（案）

付属資料

【調査等の様式】

- ・モニタリング調査票（頭首工補修工法）（案）

（凡例） 機能保全の取組の流れを示す

図 1.2-2 本書と「農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」（令和7年6月）」との関連

### 第3 図書の適用範囲

- (1) 本書は、国営土地改良事業で整備した農業水利施設のうち、頭首工を構成するコンクリート施設（以下、「頭首工コンクリート施設」という。）を対象とし、補修を行う場合に適用する。
- (2) 本書は、補強に関しては概要を示す。

#### 【解説】

頭首工は、「コンクリート施設」、「施設機械設備」などの異なる機能を有する複数の施設・設備から構成される「複合施設」であり、取入口、取水堰、附帯施設及び管理施設から構成される。

以下に、参考として、図 1.3-1 頭首工の構成施設系統図及び図 1.3-2 頭首工の標準的な施設構成を例示する。

本書は、かんがい期間中又は年間を通じて、流水又は河床砂礫にさらされる頭首工コンクリート施設に対して補修を行う際に適用する。例えば、頭首工に変状が生じ補修を必要とする場合、又は劣化に対する予防保全のために補修を必要とする場合に適用する。

補強に関しては、本編で補強工法の概要を示し、参考資料で補強の事例を紹介する。

また、国営土地改良事業以外の事業における工事等においてもそれぞれの事業主体が独自の判断のもとで、本書を参考とすることを妨げるものではない。

本書では、頭首工を以下の施設に区分する。

- |                |   |
|----------------|---|
| <b>エプロン系施設</b> | ：土砂や玉石等の流下による損耗が著しい施設で、耐摩耗性及び耐衝撃性に対して高い性能を要求される施設【堰体、エプロン、床版、堰柱(下部)、導流壁(下部)等】。砂層地盤が存在するフローティングタイプの頭首工においては、浸透路長の確保のため、止水性に対しても高い性能を要求される施設【エプロン】。 |
| <b>魚道</b>      | ：エプロン系施設と同様に耐摩耗性及び耐衝撃性、砂層地盤が存在するフローティングタイプの頭首工においては止水性に対して高い性能を要求される施設、ならびに河床砂礫による摩耗性等をあまり生じず一般的な用排水路と同程度の性能を要求される施設。                             |
| <b>その他施設</b>   | ：土砂や玉石等が混入しない流水にさらされる施設で、一般的な用排水路と同程度の性能を要求される施設【取水庭、放流施設、沈砂池、堰柱(上部)、導流壁(上部)等】  |

なお、頭首工の中で、堰柱及び導流壁は、同一施設においても位置・高さによって、損耗の程度が大きく異なることから、土砂流による影響を受ける下部と受けにくい上部に区分した。但し、下部においても土砂流等の影響が小さく、損耗が軽微な施設についてはその他施設として取り扱う。

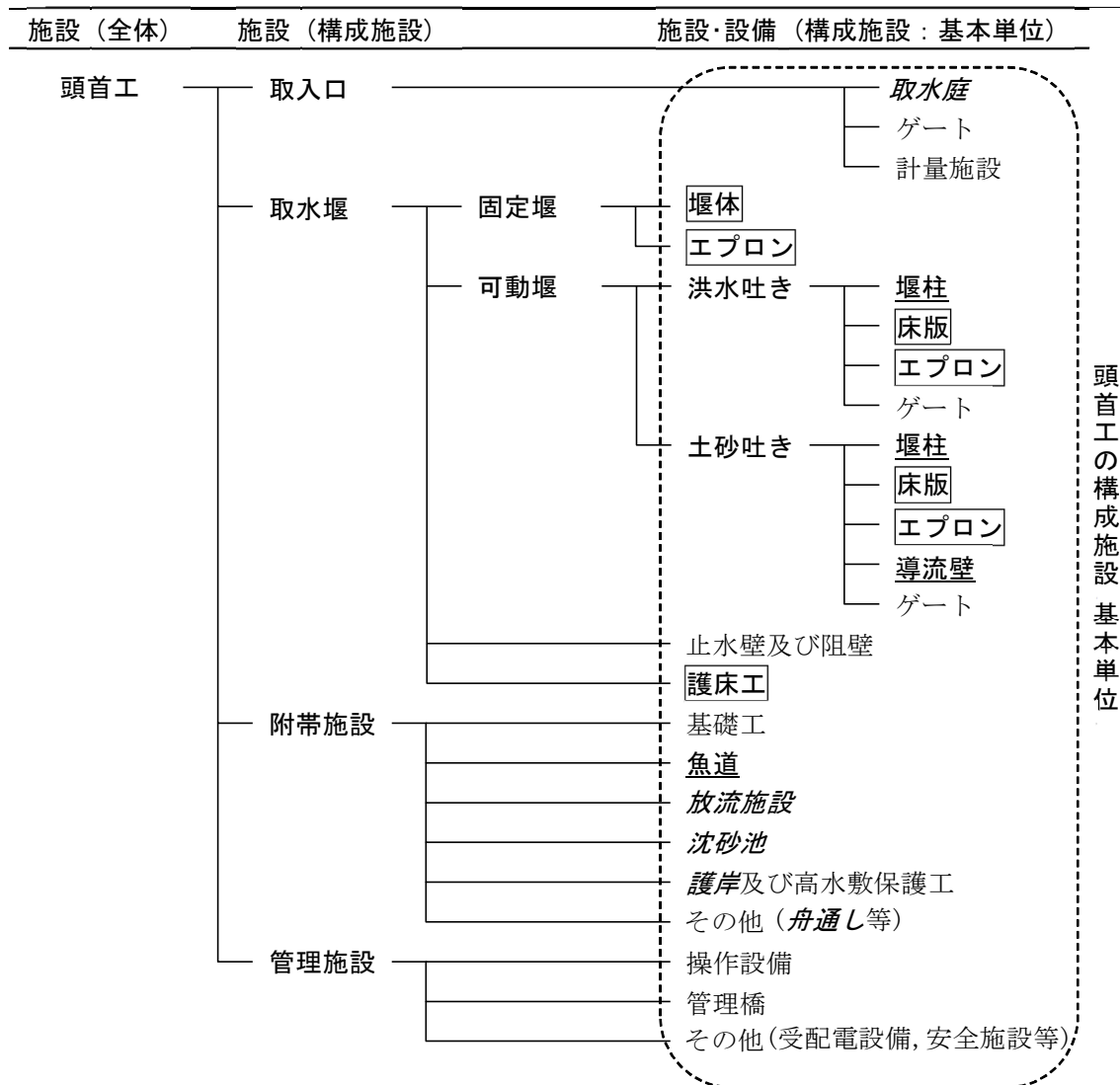


図 1.3-1 頭首工の構成施設系統図

(凡例) 文字表記の違いは、**名称** (口囲み) はエプロン系施設、**名称** (斜体) はその他施設、**名称** (下線) はエプロン系又はその他施設、**名称** (明朝体) は対象外を示す。

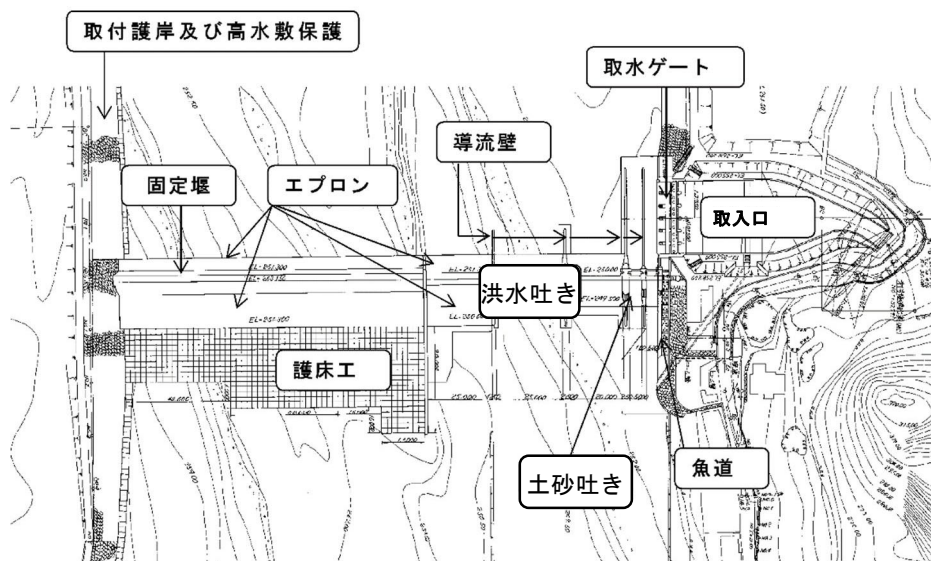


図 1.3-2 頭首工の標準的な施設構成

図 1.3-1、図 1.3-2 出典：農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」2 (1) 頭首工の構成施設

#### 第4 用語の定義

本書では、次のように用語を定義する。(※nはP.1-17下段参照)

維持管理	: 構造物の供用期間において、構造物の性能を所要の水準以上に保持するための行為。(※2)
施設管理者	: 施設造成者から管理委託や譲与を受けた農業水利施設を管理する者。自ら管理する場合は施設造成者に同じ。(※1)
施設造成者	: 農業水利施設を造成した者。(※1)
施設の機能	: 施設の設置目的又は要求に応じて施設が果たすべき役割、働きのこと。
施設の性能	: 施設が果たすべき役割(施設の機能)を遂行する能力のこと。
要求性能	: 施設や工法が果たすべき機能や目的を達成するために必要とされる性能。(※1, 3, 4, 5)
機能保全	: 農業水利施設を対象とし、農業水利システムの一要素として要求される性能が発揮されるよう、供用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復すること。(※1, 3, 4)
機能保全計画	: 性能指標や健全度指標について管理水準を定め、それを維持するための中長期的な手法を取りまとめたもの。(※1, 3, 4)
機能保全対策	: 機能保全計画に基づく工事等のこと。
機能保全コスト	: 一定期間に発生する維持管理費用、対策工事に係る費用等のコストの総額。(※1, 3, 4)
長寿命化	: 施設の機能診断に基づく機能保全対策により供用年数を延伸する行為。(※1, 3, 4)
長寿命化対策	: 施設の長寿命化のための機能保全対策。(※4)
維持管理区分	: 施設の維持管理における基本的な考え方に基づき設定する維持管理のレベル。予防維持管理、事後維持管理、観察維持管理がある。
予防維持管理	: 施設に劣化を発生あるいは顕在化させない、もしくは、性能低下を生じさせないための予防的処置を計画的に実施する維持管理。
事後維持管理	: 施設の性能低下の程度に対応して対策を実施する維持管理。
観察維持管理	: 補修、補強といった直接的な対策を実施しない、観察を中心とした維持管理。
供用年数	: 施設を供用する年数。(※1, 4)
耐用年数(耐用期間)	: 施設の水利用性能、水理性能、構造性能が低下することなどにより、必要とされる機能が果たせなくなり、当該施設が供用できなくなるまでの期間として期待できる年数。(※5)
耐久性	: 施設が予定供用期間にわたり安全性、使用性、復旧性を保持する性能。(※2)
安全性	: 通常の使用時に想定される全ての作用の下で、施設が使用者や周辺の人々の生命や財産を脅かさないための性能。(※2)

復旧性	: 地震の影響などの偶発作用によって低下した施設の性能を回復させ、継続的な使用を可能とするための性能。
修復性	: 復旧性のうち、施設の損傷に対する修復のしやすさを表す性能。(※2)
第三者影響度	: 施設から剥落したコンクリート片などが器物及び人に与える傷害などの影響度合い。安全性に含まれる。
外観	: 施設表面に生じる変状や汚れ等が周囲に不安感や不快感を与えず、構造物の使用を妨げないようにする性能。使用性に含まれる。
通水性	: 設計洪水量を安全に流下できる性能。(※11)
止水性	: 頭首工における止水性として、堰直下の地盤内における浸透路長を確保すること。または、堰下流のエプロン等において、水圧に対して目地からの漏水量を所定の量以下に抑制する性能。地下水等の外水圧に対する抵抗性。(※5)
水利用性能	: 送配水性、配水弾力性、保守管理・保全性等の水利用に対する性能。(※3)
中性化抑止性	: 中性化の原因である二酸化炭素の侵入を遮断又は抑制する性能。(※5)
耐候性	: 紫外線、温度等に起因する劣化に対する抵抗性。(※5)
付着性	: 躯体コンクリートから剥離しない性能。(※5)
耐摩耗性	: 流水等による摩耗に対する抵抗性。(※5)
耐衝撃性	: 流下物等の衝撃を受けても破壊されにくい性能。
一体化性	: 補修後に補修材が単独で破壊しない性能。(※5)
寸法安定性	: 長さ変化率が小さく安定している性能。(※5)
耐凍害性	: 寒冷地等における凍結融解作用に対する抵抗性。(※5)
耐震性能	: 耐震設計の目標とする施設に要求される性能。
作用	: 施設又は部材に応力や変形の増減、材料特性の経時変化をもたらすすべての働き。(※2)
変状	: 施設が健全な状態で本来期待されている機能や状況と比較して、異なっている状況。劣化、初期欠陥、損傷を含む。(※1, 3, 4, 11)
初期欠陥	: 計画・設計・施工に起因する欠陥。
損傷	: 偶発的な外力に起因する欠陥。
劣化	: 立地や気象条件、使用状況（流水による浸食等）等に起因し、時間の経過とともに施設の性能低下をもたらす部材・構造等の変状。(※1)
再劣化	: 長寿命化対策後の施設の劣化。(※4)
性能低下	: 経時的に施設の性能が低下すること。(※1, 4)
診断	: 点検、劣化予測、評価及び判定を含み、維持管理において施設や部材の変状の有無を調べ、状況を判断するための一連の行為。
点検	: 診断において施設や部材における変状や変状をきたす要因の有無、又はその程度を調べる行為の総称。
調査	: 構造物の状態やその周辺の状況を調べる行為。
日常管理	: 施設管理者が行う巡回点検、異常・変状の把握、軽微な補修。

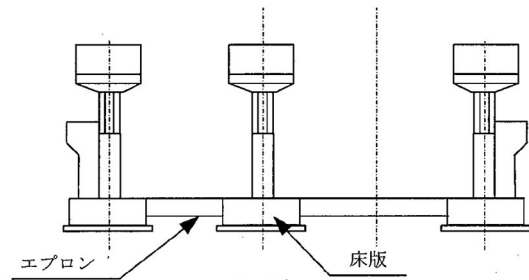
日 常 点 検	: 施設管理者が行う目視観察などの簡易な調査を主体として変状の有無を把握すること。
施設監視計画	: 施設の劣化の進行状況を見極め、最適と判断される時期に対策工事を実施できるようにすることなどを目的とした計画。策定に当たっては、施設機能の評価結果踏まえた上で、個々の施設の状態に応じて、測点・部位、監視内容・項目、監視頻度などを定める。(※11)
施設監視	: 施設監視計画等に基づき行う施設の監視（施設管理者は通常、日常管理の一環として行う）。(※4)
業務継続計画 (BCP)	: 豪雨、大規模地震等により土地改良施設が被災する、あるいは事故等により取水が停止するなどの不測の事態に際し、被害を最小限に抑え、事業の継続や早期復旧を図ることが重要なため、優先すべき業務を特定し、業務継続を確保することを目的に必要な取り組みを定めるもの。
モニタリング	: 施設の状態を継続的に調査し記録すること。
健全度指標	: 主に構造性能に影響する対象施設の変状等のレベルを指標化したもの。
対 策	: 施設において劣化が進行したり性能が低下した場合に実施される行為。監視強化、補修、補強、使用制限、解体・撤去、改築がある。
補 強	: 主に施設の構造的耐力を回復又は向上させること。(※1, 3, 4, 5)
補 修	: 主に施設の耐久性、通水性及び水密性を回復又は向上させること。
更 新	: 施設又は設備を撤去し、新しく置き換えること。なお、農業水利システム全体を対象とした場合は、農業水利システムを構成する全施設を更新する場合だけではなく、一部の施設又は設備の更新とあわせてほかの施設又は設備の補修、補強等を包括して行うことも更新という。(※1, 3)
再 対 策	: 長寿命化対策後の施設に対して行う補修・補強・改修・更新の各行為。(※4)

## 第5 用語の解説

代表的な用語について解説する。

<b>A S T M 規 格</b>	: 世界最大規模の標準化団体である ASTM International (旧称 American Society for Testing and Materials : 米国試験材料協会) が策定・発行する規格。
<b>H P F R C C</b>	: 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (High Performance Fiber Reinforced Cement Composites)。セメント系材料と補強用の短繊維を用いた複合材料であり、一軸直接引張応力下において擬似ひずみ硬化特性を示し、微細で高密度の複数ひび割れを形成する高靱性材料。
<b>あと施工せん断補強工法</b>	: 供用中のコンクリート施設に対して、あと施工でせん断補強を行う工法。補強用の鉄筋や PC 鋼棒を構造物に挿入しグラウト充填等により一体化し、せん断耐力を向上させる。
<b>A S R</b>	: アルカリシリカ反応 (Alkali Silica Reaction)。コンクリート細孔溶液に溶出したアルカリ成分と骨材中に含まれる特定の成分 (シリカ鉱物等) との間で生じる化学反応。この反応により生成されるアルカリシリカゲルは外部からの水分を吸水すると膨張するため、コンクリートのひび割れ、剥離・剥落が発生する。(※11)
<b>石 張 工 法</b>	: 切石、間知石、野面石などで、下地コンクリートを被覆する工法。耐衝撃性、耐摩耗性とも優れる。
<b>浮 き</b>	: ひび割れ等の変状の発生に伴い、コンクリート表層の一部が浮き上がって剥がれそうになっている状態、あるいは、覆工や補修材が、母材との接着面に隙間が生じて部分的に浮き上がっている状態。
<b>打 換 え 工 法</b>	: 耐力の低下した部材を取り壊し必要な耐力を有する部材を再構築することにより、耐力の回復又は向上を図る工法。(※5)
<b>エフロレッセンス</b>	: コンクリート中の可溶成分であるセメント水和物 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) やアルカリ成分等がひび割れ等の空隙から水分と共に溶出し、ひび割れ表面で蒸発して結晶化した、もしくは炭素ガスと反応して炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) や炭酸塩 ( $\text{NaCO}_3$ ) などに結晶化した物質。(※12) 現場では、ひび割れ表面のエフロレッセンスである白色物質を遊離石灰と言うことが多い。
<b>エ プ ロ ン</b>	: 堰の上下流部の河床の洗掘、浸透水によるパイピングを防止するために堰体上下流部に設けられる構造物。
<b>エプロン系施設の 下地処理</b>	: 既設コンクリート表面の局所的な脆弱部の除去などの物理的な処理で既設コンクリートと打替えコンクリートやパネルを一体化させるためにコンクリートをはつり、高圧洗浄等を行う工事。

塩害	: コンクリート中における塩化物イオンの存在により、鋼材の腐食が促進される劣化現象。塩害が生じると、コンクリート中の鋼材の腐食が進行し、腐食生成物の体積膨張によりかぶりコンクリートのひび割れや剥離・剥落、あるいは鋼材の断面減少が生じ、ひいては構造物の性能低下につながる。(※8)
可動堰	: 水位、流量を調節するための可動装置を備えている堰（水門等）。普通、適当な形式の水門によって水位を上昇させるようになっている。洪水吐きと土砂吐きに分けられる。(※13)
施工管理基準値	: 測定値が規格値の範囲内に収まるよう、受注者が施工管理の目標とする値。
規格値	: 設計値と出来形の差の限界値。測定値は全て規格値の範囲内が条件。
供試体	: 各種試験を行うために所定の形状・寸法になるように作製したコンクリート、モルタルなどの成形品。(※5)
回転式水中摩耗試験	: 円筒型容器の底面に台形型の供試体を設置し、水と摩耗材を混合し攪拌翼を用いて回転方向に水流を発生させることにより、底部に設置した供試体を摩耗材の擦り磨き作用と転がり摩耗、衝撃作用等により促進摩耗させる試験。
鋼球落下式衝撃摩耗試験	: 鋼球を自由落下させ、供試体に衝突させることによって生じる摩耗量を測定する試験。
グラウト材	: 流動性に富み、パネルと躯体コンクリート等の空隙に圧入、充填された後、一定期間を経て硬化する性質を持つ材料の総称。(※10)
洪水吐き	: 洪水の流下に支障を与えない可動堰部。(※11)
鋼板巻立て工法	: 耐震性能照査等により、曲げ耐力、せん断耐力及び靱性が不足する堰柱等の柱状構造物に対して、鋼板を取り付け、耐力を増加・向上させる工法。
固定堰	: 取水堰のうち、可動部の可動堰に対して、固定部を固定堰といい、上流面を垂直もしくはこれに近い勾配とし、下流勾配を緩勾配とする台形断面を基本とし、作用する荷重に対し安全な構造を有するもの。(※11)
シーリング材	: 目地やひび割れの内面に接着させることによって、水の侵入及び空気の通過を防止する材料。(※5)
止水壁	: 浸透水によるパイピング防止、浸透水量の抑制を目的とする構造物。堰体下部の上流端に十分な止水性と必要な根入れを確保するように設置する。一般に、鋼矢板Ⅱ型（改良型は不可）を用いて、長さ 2.0m 以上とする。
床版	: 堰柱の底版。(※11)
擦り磨き作用	: 流水中の砂などがコンクリート表面を流下する際に切削によって摩耗を生じさせる作用。



接 着 工 法	: コンクリート部材の引張応力が生じる面に鋼板やパネル、連続繊維シートを接着し耐力の回復又は向上を図る工法。
セメント混和用ポリマー	: コンクリート及びモルタルに、それらの性質を改質する目的で混和されるポリマー(重合体の意味で、広義には有機高分子材料全般を指す)で、水性ポリマーディスパージョン及び再乳化型粉末樹脂の総称。
相対動弾性係数 RE <sub>d</sub>	: JIS A1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」によって計測されるたわみ振動の一次共鳴振動数を劣化前と劣化後で求め、(E <sub>dn</sub> :劣化後の値) / (E <sub>d0</sub> :劣化前の値)を百分率で表したもの。(※5) $RE_d = \frac{E_{dn}}{E_{d0}} \times 100$
弾性シーリング材	: 硬化後に弾性的な性質を持つシーリング材。目地やひび割れの伸縮に追従して水密性等を保つ目的で使用される。
断面修復工法	: 豆板、コンクリートの劣化、内部鉄筋の腐食、その他の原因によって欠損しているコンクリート断面又は劣化因子を含むコンクリート部分を除去した後の断面を当初の性能及び形状・寸法に修復する工法。(※5)
中 性 化	: 二酸化炭素が硬化後のコンクリートに侵入し水酸化カルシウムなどのセメント水和物と炭酸化反応を起こすことにより、コンクリートの細孔液中のpHが低下する現象。(※5)
超高強度繊維補強 コンクリート	: 圧縮強度の特性値が150 N/mm <sup>2</sup> 以上、ひび割れ発生強度の特性値が4 N/mm <sup>2</sup> 以上、引張強度の特性値が5 N/mm <sup>2</sup> 以上の繊維補強を行ったセメント質複合材。
凍 害	: 寒冷地において、外気温差や日射によりコンクリート中の水分が凍結融解を繰り返し、それに伴う水分の凍結膨張圧によってコンクリートにひび割れや剥離が発生する現象。(※5)
導 流 壁	: 流路の安定を図るために設けられ、土砂礫の堆砂を防ぐ構造物。土砂吐きでは土砂吐き水路を形成しやすくするために設けられ、一般には取入れ敷高程度とするが、緩流河川では排砂時間の短縮のため計画取水水位程度とする方が望ましいとされている。(※11)
土 砂 吐 き	: 取水堰の取入口側に設け、取入口前面に堆積した土砂を短時間に掃砂し、取水時における水路内への土砂の流入を防止する構造物。(※11)
年間最大摩耗速度	: 局部的に生じた最も大きな摩耗深さを供用年数で除した値。
年間平均摩耗速度	: メッシュ測量等で得た摩耗深さの平均値を供用年数で除した値。
粘 稠 性 ねんちゆうせい	: 粘り気があって濃い性質を持つこと。(※5)
パ ネ ル 工 法	: 表面被覆工法において、特に被覆の構成要素の一つとしてパネルを設置することによりコンクリート構造物の表面を被覆する工法。(※5)
ひ び 割 れ	: 地震等の外力、ASR(アルカリシリカ反応)、凍害、中性化、塩害等によりコンクリート構造物に生じる変状。

ひび割れ追従性	: 補修後に補修材がひび割れの挙動に追従する性能。(※5)
ひび割れ補修工法	: ひび割れの発生によって損なわれたコンクリート部材（構造物）の構造安全性能（耐力など）以外の性能を回復あるいは向上させる工法。(※5)
表面処理工法	: コンクリート構造物の表面又は断面修復を終えたコンクリート構造物の表面に保護措置を施す工法。表面被覆工法と表面含浸工法に大別される。(※5)
表面含浸工法	: 表面含浸材をコンクリート表面から含浸させコンクリート表層部の組織を改質し、所定の効果を発揮する性能を付与する工法。(※5)
表面被覆工法	: 劣化因子の侵入を抑制又は防止する効果を有する被覆をコンクリート構造物の表面に形成する工法。(※5)
品質規格値	: 補修工事に使用する材料・工法の品質を確認するための上限あるいは下限値。(※5)
プライマー	: 「primary」（最初の）に由来し、下地の吸水調整や下地への接着性改善のために下地に塗布する材料又は、接着材や養生材。(※5)
不陸	: コンクリート等の表面の凹凸の部分。(※5)
ポリマー含浸コンクリート	: 浸透性重合性を持つモノマーを脱気後含浸させ、重合させたセメントコンクリート。(※9)
ポリマーセメントモルタル	: 結合材にセメント及びセメント混和用ポリマー（又はポリマー混和材）を用いたモルタル。(※9)
ポリマーモルタル	: 結合材にポリマーだけを用い、充填材及び細骨材を加えたもの。レジンモルタルとも呼ばれる。(※9)
増厚工法	: 既設コンクリートの表面にコンクリートもしくは鉄筋コンクリートを打設し一体化することにより部材断面を増加させ、耐力の回復又は向上を図る工法。(※5)
豆板（まめいた）	: 打ち込んだコンクリートの一部に粗骨材が多く集まってできた空隙の多い不良部分。コンクリート打設時の材料分離又は締め固め不足により生じる。「す」ともいう。(※14)
摩耗	: 流水中の土砂によるすり磨き作用や落差による衝撃力などが組み合わさり、コンクリートの断面が欠損する現象。(※5)
摩耗深さ	: 施設の初期表面を基準に測定した摩耗によって削り取られた深さ。
摩耗量計測	: メッシュ水準測量、摩耗測定装置等を用いて摩耗深さを計測すること。測定方法により局所的な摩耗深さ、平均的な摩耗深さが求まる。
無機系被覆工法	: 表面被覆工法において、無機系の材料を主な成分としてコンクリート構造物の表面を被覆する工法。(※5)
目地	: コンクリート、石材、パネルなどの接合部などの継目。(※14)
目地補修工法	: 目地材の劣化、脱落などにより漏水等を生じている目地を補修する工法。(※5)

<b>メッシュ水準測量</b>	: 水準測量により、エプロン等にあらかじめ設定された格子中央点又は各格子交点の標高を計測。施工標高もしくは設計標高と比較して最大摩耗深さと平均摩耗深さを確認する。
<b>モジュラス</b>	: 弾性体に一定の歪みを生じさせた時の応力。シーリング材では、50%の歪みを生じさせた時の応力を50%モジュラスという。一般に、モジュラスが低いほど柔らかい材料となる。(※5)
<b>有機系被覆工法</b>	: 表面被覆工法において、有機系樹脂を主な成分としてコンクリート構造物の表面を被覆する工法。(※5)
<b>ライフサイクルコスト(LCC)</b>	: 施設の建設に要する経費に、供用期間中の運転、保守、補修等の維持管理に要する経費及び廃棄に要する経費の合計金額。(※1, 3, 4)
<b>連続繊維シート巻き立て工法</b>	: 耐震性能照査等により、曲げ耐力、せん断耐力及び靱性が不足する堰柱等の柱状構造物に対して、連続繊維シート(炭素繊維シートなど)を巻き立て、耐力を増加・向上させる工法。

#### 用語の定義及び用語の解説 参考文献

- ※1 農村振興局整備部：農業水利施設の機能保全の手引き 令和5年4月
- ※2 土木学会：2022年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】
- ※3 農村振興局整備部：農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」 平成28年8月
- ※4 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【パイプライン編】(案) 平成29年4月
- ※5 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】 令和5年3月
- ※6 リサーチナビ 国立国会図書館
- ※7 農村振興局整備部設計課：農業水利施設の長寿命化のための手引き 平成27年11月
- ※8 土木学会：2022年制定コンクリート標準示方書【維持管理編 標準付属書】
- ※9 土木学会：2023年制定コンクリート標準示方書【規準編】
- ※10 コンクリート工学会推奨用語を使用
- ※11 土地改良事業計画設計基準 設計「頭首工」 令和6年3月
- ※12 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術 10 基礎編 2010.1
- ※13 農業農村工学会：改訂6版 農業農村工学標準用語事典 2019.8
- ※14 長滝重義、山本泰彦：図解コンクリート用語事典 2000.5

## 第6 頭首工の変状とその要因

平成18～30年度に補修・補強工事を実施した国営頭首工における主な変状は、摩耗・骨材露出、ひび割れであり、これらが頭首工全体の変状に占める割合は59%である（図1.6-1参照）。

また、主な変状要因は、経年劣化、凍害であり、これらが頭首工全体の変状要因に占める割合は66%である（図1.6-13参照）。

### 【解説】

頭首工は、エプロン、固定堰(堰体)、堰柱、魚道、導流壁、取水工(取入口)、沈砂池、護床工、護岸工、ゲート設備など、機能の異なる複数の施設・設備から構成される複合施設である。平成18～30年度に国営事業で補修・補強工事を実施した頭首工は、26カ所（高度化事業4カ所<sup>※1</sup>、更新事業22カ所<sup>※2</sup>）、施工対象施設は、80カ所で、その内訳は、エプロン系施設36カ所（エプロン16、堰体6、堰柱(下部)6、導流壁5、護床工3）、魚道10カ所、その他施設34カ所（堰柱(上部)17、取水工9、護岸工5、沈砂池3）である（表1.6-1参照）。

本項目では、これらの施設を対象として、変状要因について調査した結果を図表等で示している。

表1.6-1 国営事業における頭首工補修・補強工事の施工対象施設(改修含む)

対象施設		堰柱	エプロン	取水工	魚道	固定堰	導流壁	護岸工	沈砂池	護床工	計
頭首工補修・補強工事の工法数 <sup>※1</sup>	計	23	16	9	10	6	5	5	3	3	80
	エプロン系施設	6	16			6	5			3	36
	魚道				10						10
	その他施設	17		9				5	3		34
高度化事業 <sup>※2</sup>	補修		4								4
更新事業 <sup>※3</sup>	補修	18	12	9	<sup>※4</sup> 10	6	5	5	3	<sup>※5</sup> 3	71
	補強	5									5

※1 表中の数字は工法の事例数である。集計の基となる調査票において、“一つの施設に一つの工法”、“一つの施設に複数の工法”、“一つの工法に複数の施設”を記載するものが混在するため、工法の事例数と補修・補強を実施した施設の数とは一致しないことがある。

※2 高度化事業：国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）

※3 更新事業：国営かんがい排水事業、国営総合農地防災事業

※4 魚道の補修工法（10カ所）は、補修（6カ所）、改修（4カ所）で新設を除く。この補修6カ所を実施した魚道数は2、この改修4カ所を実施した魚道数は4である。

※5 護床工（3カ所）は、護床ブロックの改修である。

## 1 頭首工の変状

### (1) 頭首工の変状の概要

平成18～30年度に補修・補強工事を実施した国営頭首工26カ所<sup>※3</sup>では、堰柱、エプロン、

※1 高度化事業4カ所：円山、下台、宮川、犬山

※2 更新事業22カ所：草薙、尻平、夏油、上戸、羽山、赤川、熱海、銀、名取川、勝瓜、菊川、小場江、駒込堰、阿賀野川、善根、藤井、加治川第2、白山、岡島、粟生、明治用水、水口

※3 国営頭首工26カ所：円山、下台、宮川、草薙、尻平、夏油、上戸、羽山、赤川、熱海、銀、名取川、勝瓜、菊川、小場江、駒込堰、阿賀野川、善根、藤井、加治川第2、白山、岡島、犬山、粟生、明治用水、水口

取水工、魚道、固定堰(堰体)、導流壁、護岸工、沈砂池等の施設において摩耗・骨材露出、ひび割れ、剥離、鉄筋露出等の変状が発生している（表 1.6-2 参照）。

表 1.6-2 国営頭首工における変状とその事例数

補修施設	摩耗・骨材露出	ひび割れ	剥離	鉄筋露出	遊離石灰	浮き	目地損傷	せん断耐力不足	不同沈下	豆板	空隙	流出
堰柱	7	12	8	3	3			3		1		
エプロン	11	6	2	5		1	1					
取水工	3	5	1	1		1	1					
魚道	5	3							1			
固定堰	4	1	2			1					1	
導流壁	2	2										
護岸工	2	2		1	1	1	1					
沈砂池	2	2		1	1		1			1		
護床工	1								2			1
頭首工全体	37	33	13	11	5	4	4	3	3	2	1	1

国営頭首工における変状は、割合の高いものから順に、摩耗・骨材露出、ひび割れ、剥離、鉄筋露出、遊離石灰、浮き、目地損傷、せん断耐力不足、不同沈下、豆板、空隙、流出、部分破壊となっている（図 1.6-1 参照）。

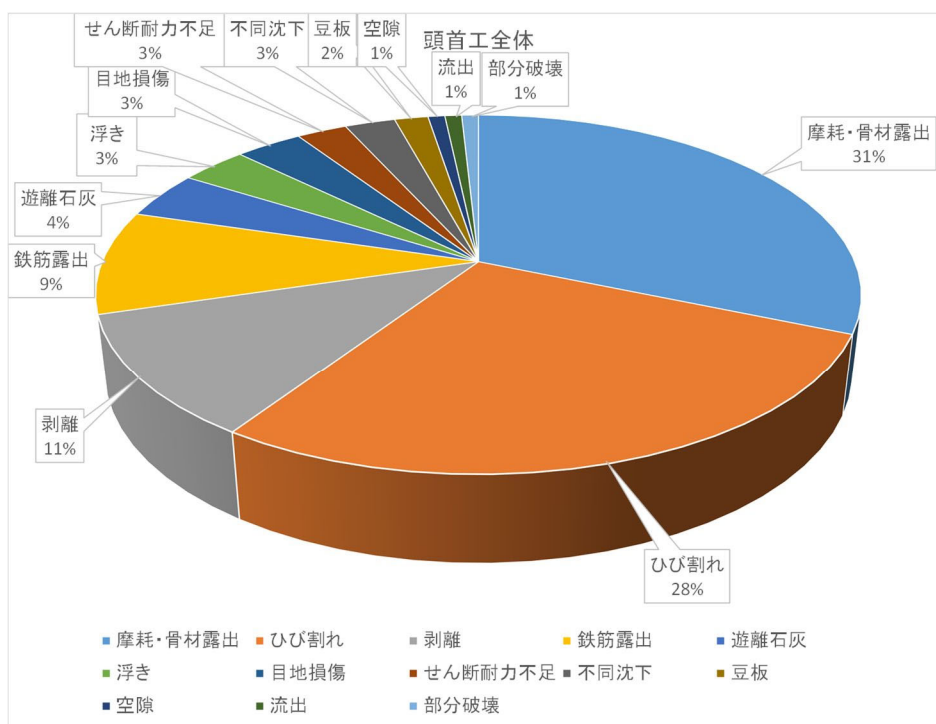


図 1.6-1 国営頭首工における変状の割合

## (2) エプロン系施設の変状

エプロン系施設（エプロン、固定堰(堰体)、堰柱、導流壁等）では、摩耗・骨材露出、剥離、鉄筋露出など、経年劣化<sup>※1</sup>、転石等に起因する変状の発生が多い。また、凍害、ASR、乾燥収縮等に起因するひび割れの発生も多い。これらの変状の発生には、複数の要因が関係している場合もある。

魚道やその他施設（取水工、沈砂池等）でも摩耗・骨材露出やひび割れの発生が比較的多い。

したがって、頭首工の補修を行う際は、全体の6割を占める摩耗とひび割れを中心とした対策の検討が重要である。

エプロン系施設の中で摩耗速度が大きいエプロンでは、摩耗・骨材露出の割合が42%と高い。また、ひび割れ（23%）と鉄筋露出（19%）の割合も比較的高い（図1.6-2参照）。

固定堰(堰体)の変状はエプロンと同様に、摩耗・骨材露出の割合が45%と高い。また、固定堰(堰体)は剥離の割合が22%と高く、堰柱の剥離と同じ割合となっている（図1.6-3、図1.6-5参照）。

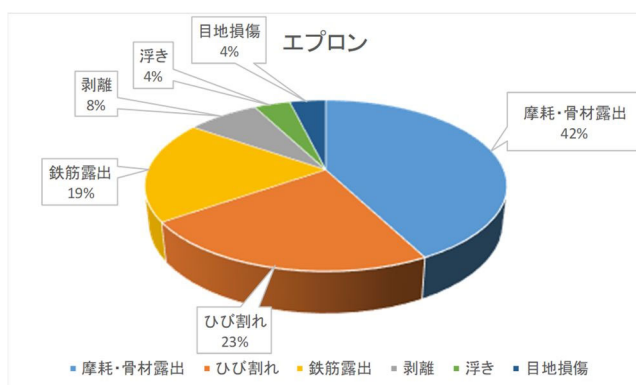


図1.6-2 エプロンにおける変状の割合

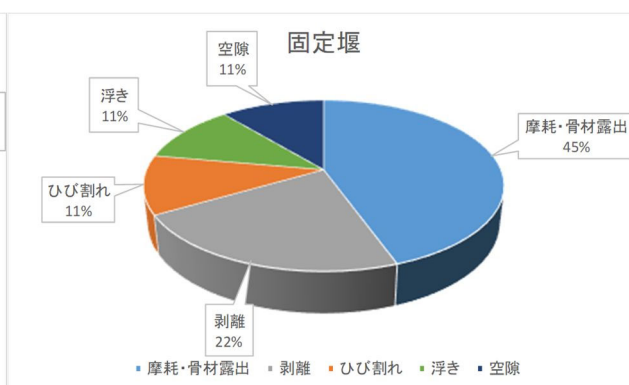


図1.6-3 固定堰(堰体)における変状の割合

※1 流水、流砂、風雨、降雪、日照等の自然現象を要因とし、具体的にどれか一つに特定できない場合の要因。

固定堰(堰体)・エプロン部の摩耗測量図 (設計値に対する標高差のイメージ図) の事例を図1.6-4に示す。この図は、国営頭首工の補修を実施するにあたり、固定堰(堰体)・エプロン部での摩耗範囲、深さを調査した結果を整理したものである。頭首工のエプロン部での摩耗進行は、頭首工の環境条件によって大きく変化するため、摩耗状況の把握とその状況に応じた対策の立案が必要とされる。

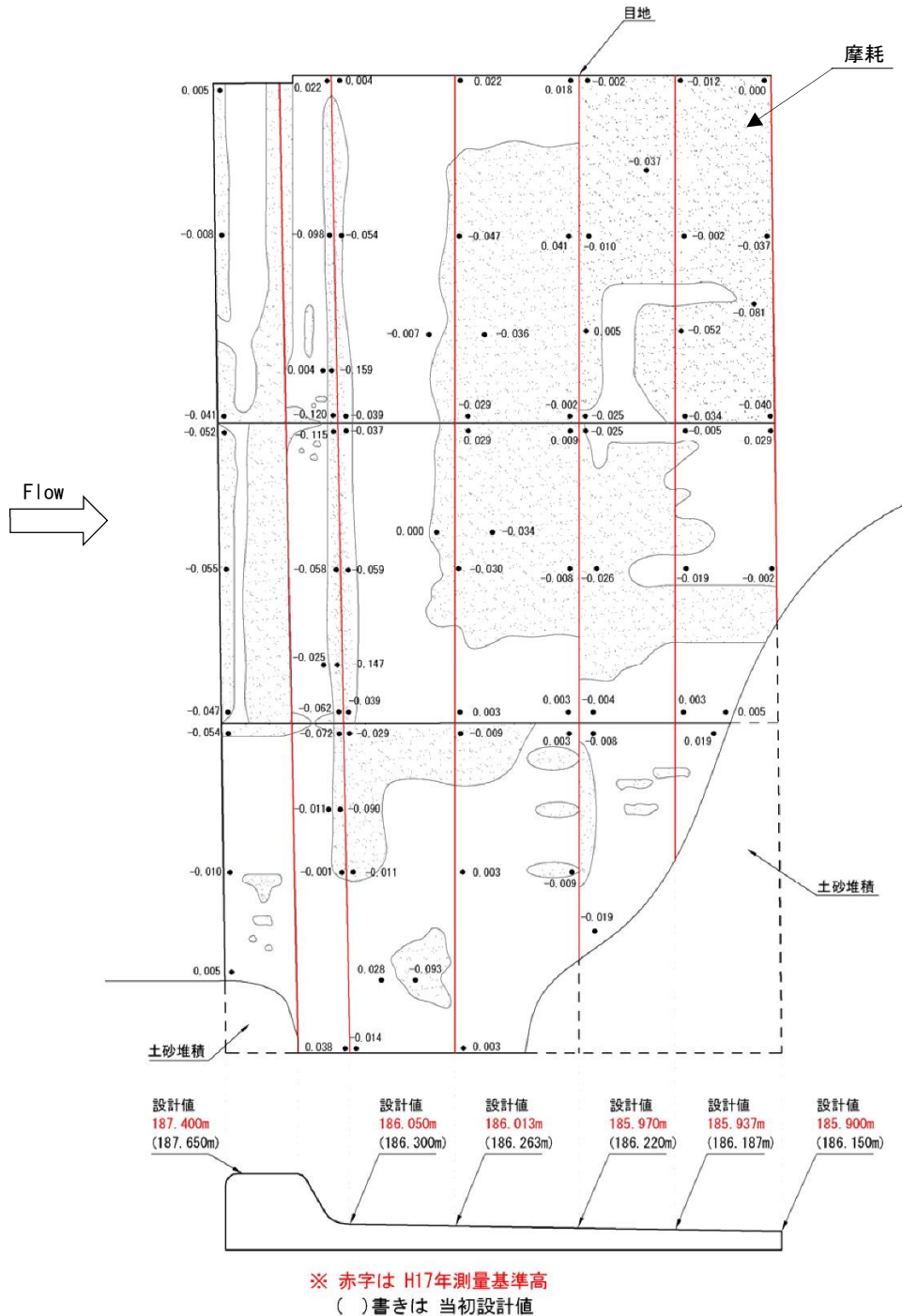


図1.6-4 固定堰(堰体)・エプロン部の摩耗測量図 (設計値に対する標高差) の事例

固定堰(堰体)・エプロン部の変状事例 (摩耗・骨材露出、ひび割れ) を、写真1.6-1～写真1.6-4に示す。なお、エプロン施設の摩耗の事例については、第1章第72 エプロン系施設の摩耗事例にも掲載しているので、こちらも参照されたい。



写真1.6-1 固定堰(堰体)・エプロン部の摩耗・骨材露出



写真1.6-2 固定堰(堰体)の摩耗・骨材露出



写真1.6-3 エプロン部のひび割れ



写真1.6-4 エプロン部のひび割れ

### (3) 堰柱の変状

エプロン系施設の中で、堰柱の摩耗速度は中間的な値を示す。変状は、ひび割れの割合が32%と最も高く、固定堰(堰体)と同様に剥離の割合(22%)が第2位となっている。また、堰柱では、せん断耐力不足も生じている(図1.6-5参照)。

エプロン系施設の中で摩耗速度が小さい導流壁では、摩耗・骨材露出とひび割れの2つの変状が見られ、その割合は、ともに50%と同率である(図1.6-6参照)。

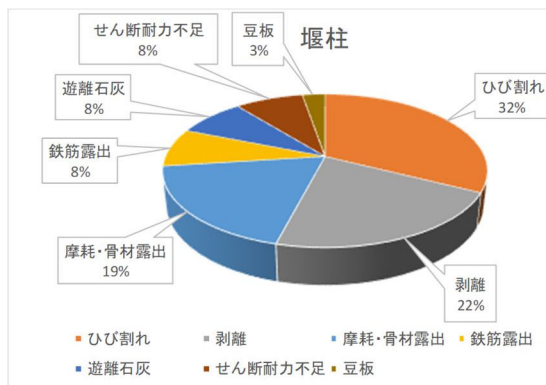


図1.6-5 堰柱における変状の割合

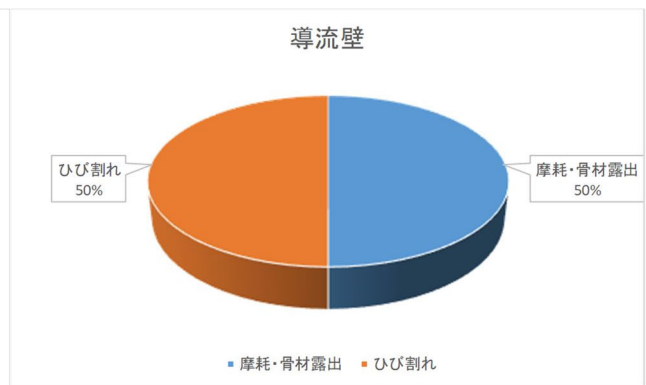


図1.6-6 導流壁における変状の割合





写真1.6-5 堰柱のひび割れ、遊離石灰



写真1.6-6 堰柱のひび割れ、遊離石灰



写真1.6-7 堰柱のひび割れ、遊離石灰



写真1.6-8 堰柱のひび割れ



写真1.6-9 導流壁の摩耗・骨材露出

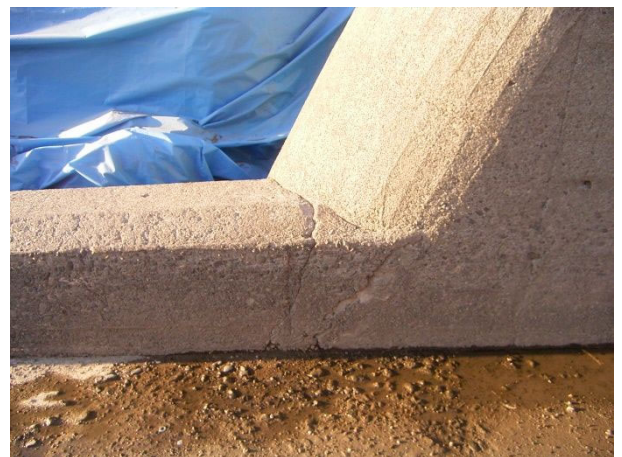


写真1.6-10 導流壁のひび割れ

#### (4) 魚道・取水工の変状

魚道の変状は、摩耗・骨材露出 (56%)、ひび割れ (33%) の割合が高く、次に護床工と同様に不同沈下の変状が見られる。なお、摩耗・骨材露出の割合は 56% と構成施設の中で最も高い割合となっている (図 1.6-8 参照)。

取水工の変状は、ひび割れ (42%) と摩耗・骨材露出 (25%) の割合が高く、その他の変状として剥離、鉄筋露出、浮き、目地損傷が見られる (図 1.6-9 参照)。

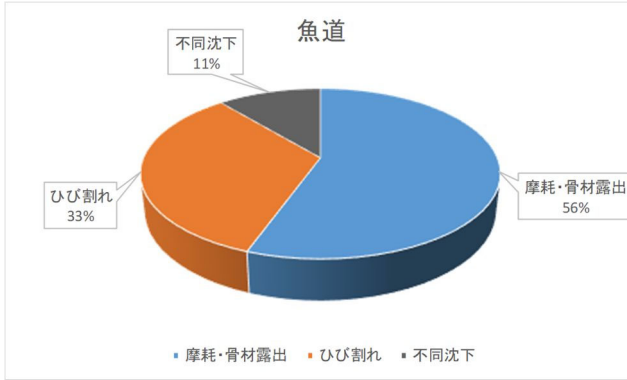


図1.6-8 魚道における変状の割合

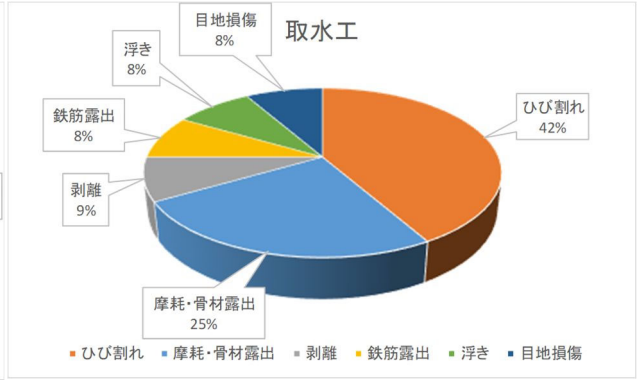


図1.6-9 取水工における変状の割合

魚道の変状（摩耗・骨材露出、ひび割れ）については、写真1.6-11～写真1.6-14のとおりである。取水工の変状（ひび割れ、摩耗・骨材露出、剥離）については、写真1.6-15、写真1.6-16のとおりである。

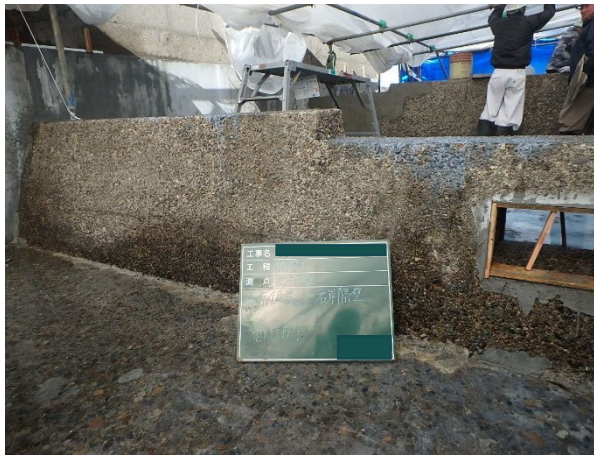


写真1.6-11 魚道(隔壁)の摩耗・骨材露出



写真1.6-12 魚道(側壁)の摩耗・骨材露出、ひび割れ



写真1.6-13 魚道(側壁天端)のひび割れ



写真1.6-14 魚道(側壁天端)のひび割れ



写真1.6-15 取水工の摩耗・骨材露出



写真1.6-16 取水工(翼壁)の剥離、ひび割れ

### (5) 沈砂池の変状

沈砂池の変状は、摩耗・骨材露出とひび割れの割合がともに25%と最も高く、鉄筋露出、遊離石灰、目地損傷、豆板がほぼ同率である(図1.6-10参照)。

護岸工の変状は、摩耗・骨材露出とひび割れの割合がともに25%と最も高く、鉄筋露出、遊離石灰、浮き、目地損傷がほぼ同率である(図1.6-11参照)。

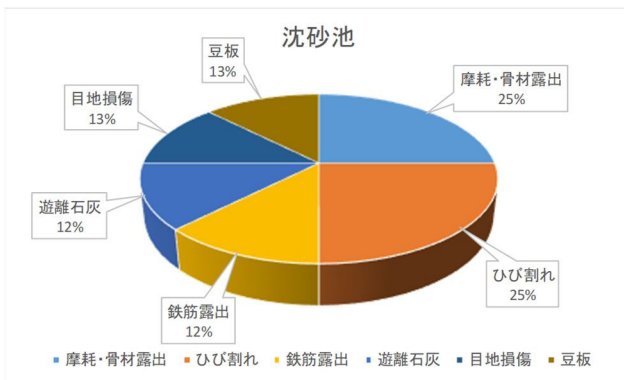


図1.6-10 沈砂池における変状の割合

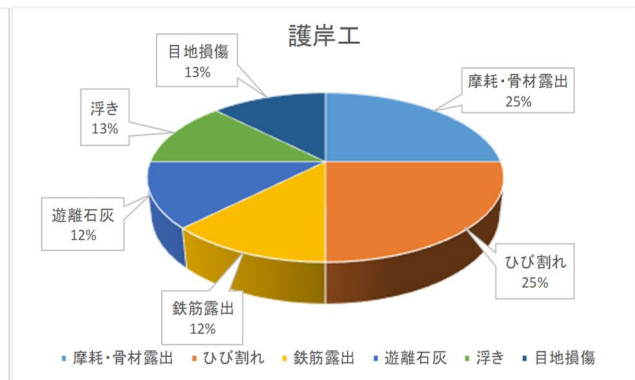


図1.6-11 護岸工における変状の割合

沈砂池の変状(摩耗・骨材露出、ひび割れ)については、写真1.6-17、写真1.6-18のとおりである。護岸工の変状(摩耗・骨材露出、ひび割れ)については、写真1.6-19、写真1.6-20のとおりである。



写真1.6-17 沈砂池の摩耗・骨材露出



写真1.6-18 沈砂池(側壁)のひび割れ



写真1.6-19 護岸工(笠コン)の摩耗・骨材露出



写真1.6-20 護岸工のひび割れ

### (6) 護床工の変状

護床工の変状は、河床低下に起因する不同沈下の割合が50%と最も高く、次いで摩耗・骨材露出、流出である（図1.6-12参照）。

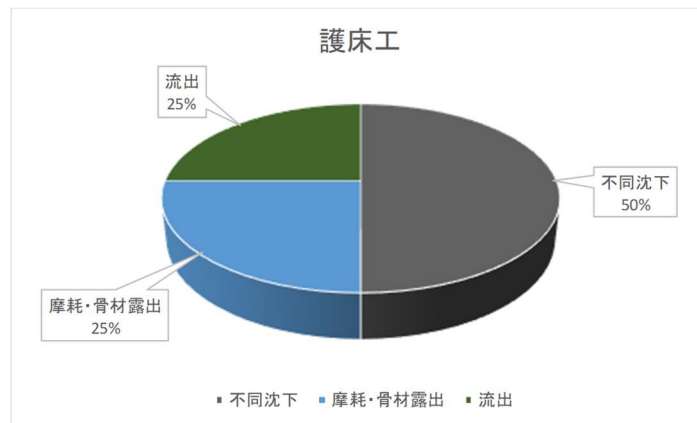


図1.6-12 護床工における変状の割合

護床工の変状（摩耗・骨材露出）については、写真1.6-21のとおりである。



写真1.6-21 護床工(六脚ブロック)の摩耗・骨材露出

## 2 頭首工の変状要因

### (1) 頭首工の変状要因の概要

平成 18～30 年度に補修・補強工事を実施した国営頭首工 26 カ所<sup>※1</sup>における主な変状要因は、経年劣化（流水、流砂、風雨、降雪、日照等の自然現象を要因とし、具体的にどれか一つに特定できない場合の要因）、凍害、転石、ASR 等である（表 1.6-3 参照）。

表1.6-3 国営頭首工における変状要因とその事例数

補修施設	経年劣化	凍害	転石	ASR	乾燥収縮 <sup>*</sup>	中性化	河床低下	塩害
堰柱	10	7		4	3	1		1
エプロン	11	5	5					
取水工	3	3		3		2		
魚道	5		2				3	
固定堰	4	1	1			1		
導流壁	2			1	1			
護岸工	5	3	1		1	1		
沈砂池	2	1			1			
護床工	1						2	
操作室	1							
頭首工全体	44	20	9	8	6	5	5	1

<sup>\*</sup> 乾燥収縮は初期欠陥である。

国営頭首工における変状要因は、割合の高いものから順に、経年劣化、凍害、転石、ASR、乾燥収縮、中性化、河床低下、塩害となっている（図 1.6-13 参照）。

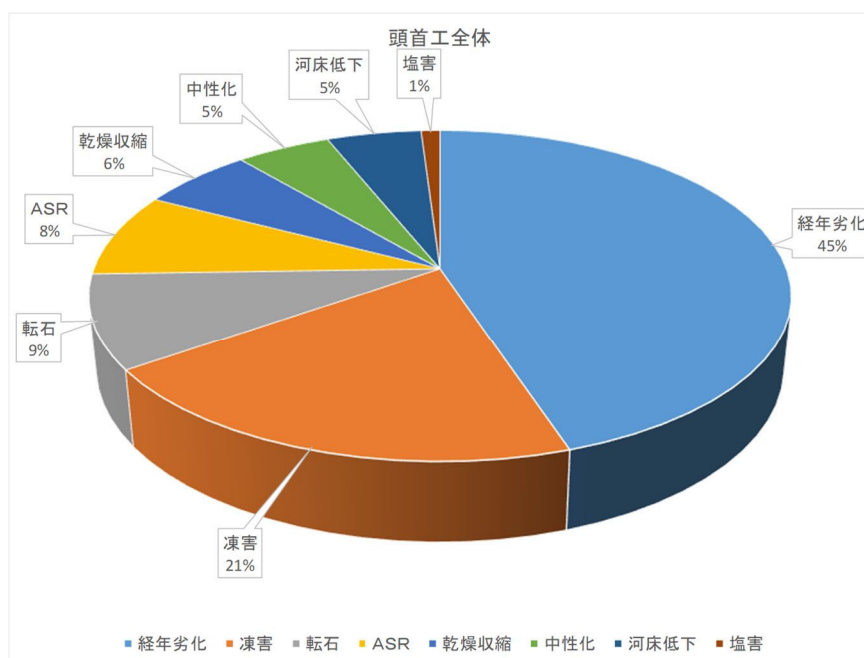


図1.6-13 国営頭首工における変状要因の割合

<sup>※1</sup> 国営頭首工26カ所：円山、下台、宮川、草薙、尻平、夏油、上戸、羽山、赤川、熱海、銀、名取川、勝瓜、菊川、小場江、駒込堰、阿賀野川、善根、藤井、加治川第2、白山、岡島、犬山、粟生、明治用水、水口

## (2) エプロンの変状要因

エプロンの変状要因は、経年劣化（52%）、転石（24%）及び凍害（24%）の3種類である（図1.6-14 参照）。エプロンの経年劣化及び転石はエプロン全体（洪水吐き、土砂吐き）の変状要因であり、凍害は冬期に水が流下していないエプロンの変状要因であると推測できる。

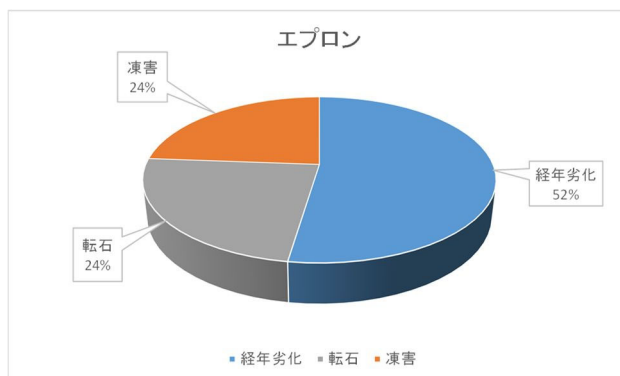


図1.6-14 エプロンにおける変状要因の割合

## (3) 固定堰(堰体)の変状要因

固定堰(堰体)の変状要因は、経年劣化（57%）、続いて凍害（15%）、転石（14%）、中性化（14%）の4種類である（図1.6-15 参照）。通常、固定堰(堰体)は無筋コンクリートであるが、中性化は鉄筋が配置され、鉄筋の腐食が想定される場合に問題となる。

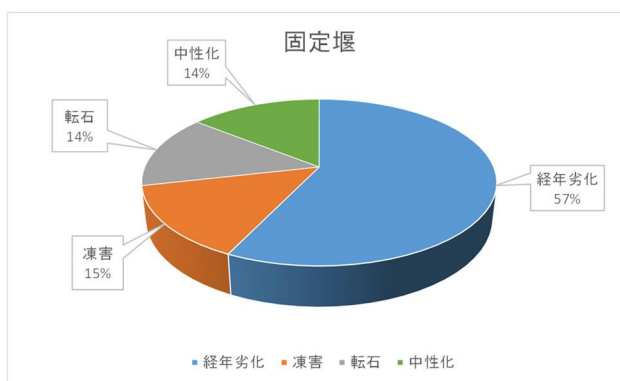


図1.6-15 固定堰(堰体)における変状要因の割合

#### (4) 堰柱及び導流壁の変状要因

堰柱の変状要因は、経年劣化（38%）、続いて凍害（27%）、ASR（15%）、乾燥収縮（12%）、中性化（4%）、塩害（4%）の6種類と比較的多くなっている。エプロンや固定堰と比べ経年劣化の割合は低くASR、乾燥収縮の割合が増える（図1.6-16参照）。これは、堰柱は水中部では、水流や流砂の影響、気中部では、気温や乾燥収縮の影響が大きいなど、水中部と気中部で変状要因が異なるためと考えられる。

導流壁の変状要因は、経年劣化（50%）、ASR（25%）及び乾燥収縮（25%）の3種類である（図1.6-17参照）。導流壁の土砂吐き側は、流水や土砂流の影響を受けて経年劣化を生じやすく、導流壁の天端付近、洪水吐きや固定堰側の側壁は、乾燥収縮を受けやすい傾向にあると考えられる。

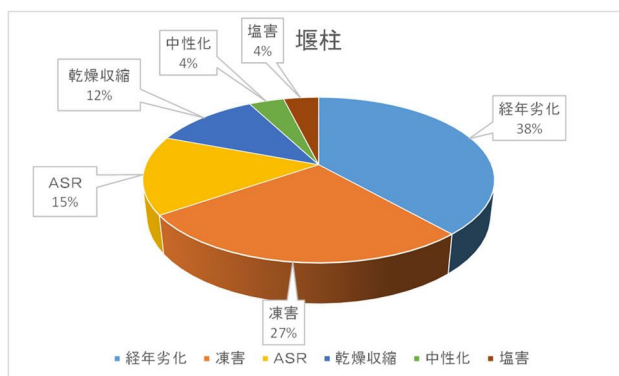


図1.6-16 堰柱における変状要因の割合

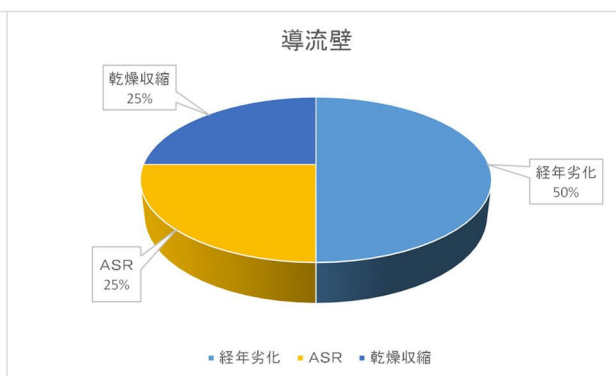


図1.6-17 導流壁における変状要因の割合

#### (5) 魚道及び取水工の変状要因

魚道の変状要因は、経年劣化（50%）、河床低下（30%）及び転石（20%）の3種類である（図1.6-18参照）。これらの要因から、魚道は河床洗掘、流水及び土砂流の影響を受けていると考えられる。

取水工の変状要因は、ASR（28%）、凍害（27%）、経年劣化（27%）及び中性化（18%）の計4種類である（図1.6-19参照）。この結果は、冬期は、取入口は露出し、凍害を受けやすい環境にあり、また、洪水時は流水や土砂流に接することが多いためと考えられる。

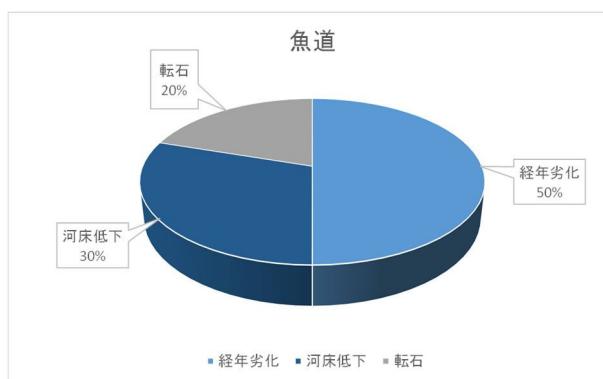


図1.6-18 魚道における変状要因の割合

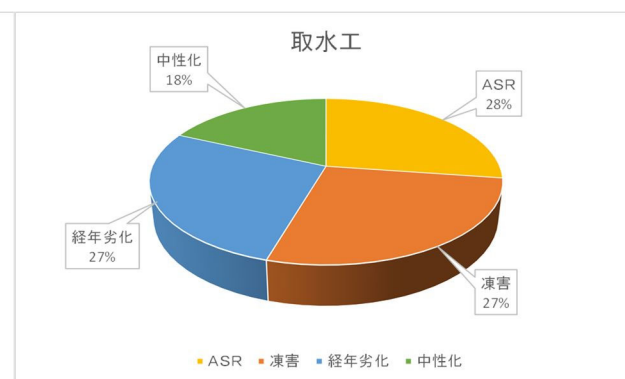


図1.6-19 取水工における変状要因の割合

### (6) 沈砂池及び護岸工の変状要因

沈砂池の変状要因は、経年劣化（50%）、凍害（25%）及び乾燥収縮（25%）の3種類である（図1.6-20参照）。この結果は、冬期は、沈砂池は側壁が露出して凍害を受けやすい環境にあり、また、かんがい期は、流水の影響を受け、側壁の気中部は乾燥収縮を受けやすいためと考えられる。

護岸工の変状要因は、経年劣化（46%）、続いて凍害（27%）、転石（9%）、乾燥収縮（9%）及び中性化（9%）の5種類となっている（図1.6-21参照）。この結果は、護岸工の水中部では、流水・流砂や転石等の影響を受け、気中部では、凍害等を受けやすい環境にあるためと考えられる。

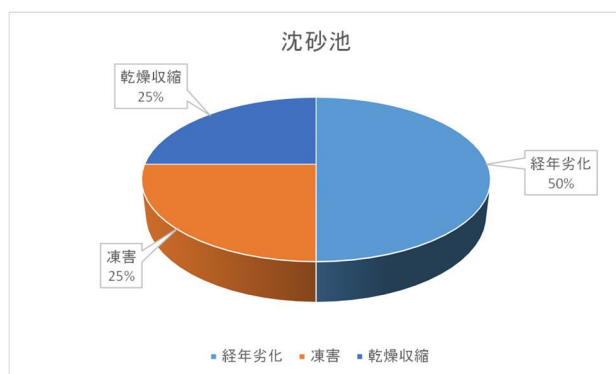


図1.6-20 沈砂池における変状要因の割合

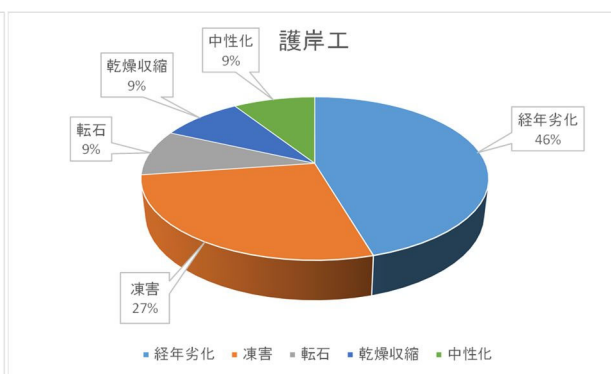


図1.6-21 護岸工における変状要因の割合

### (7) 護床工の変状要因

護床工の変状要因は、河床低下（67%）及び経年劣化（33%）の2種類である（図1.6-22参照）。

護床工では、河床低下に伴う不同沈下と流水や土砂流による護床ブロックの変状（摩耗、流出）が発生していると考えられる。

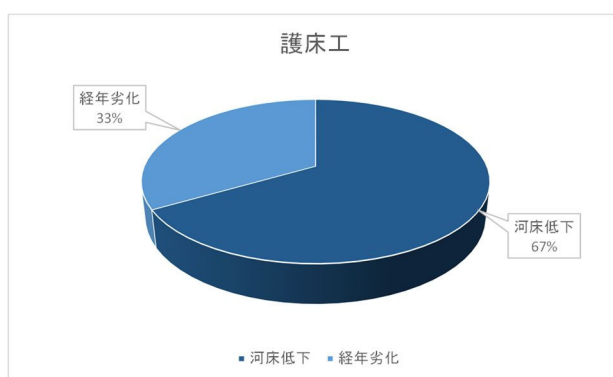


図1.6-22 護床工における変状要因の割合

## 第7 頭首工に発生する摩耗現象

### 1 エプロン施設の摩耗形態

エプロン系施設は、堰柱、固定堰、可動堰、越流部の上流・下流、エプロン、土砂吐きなどの様々な部位に分かれる。各部位では、材料条件（コンクリートの配合）及び摩耗作用（流況等）が異なるため、その摩耗形態も様々である。

#### 【解説】

頭首工のエプロン系施設は、下図に示すように様々な部位に分かれる。部位ごとに材料条件及び摩耗作用が異なるため、部位毎の摩耗形態も様々である。以下、部位毎に特徴的な摩耗を事例として紹介する（図 1.7-1～2 参照）。

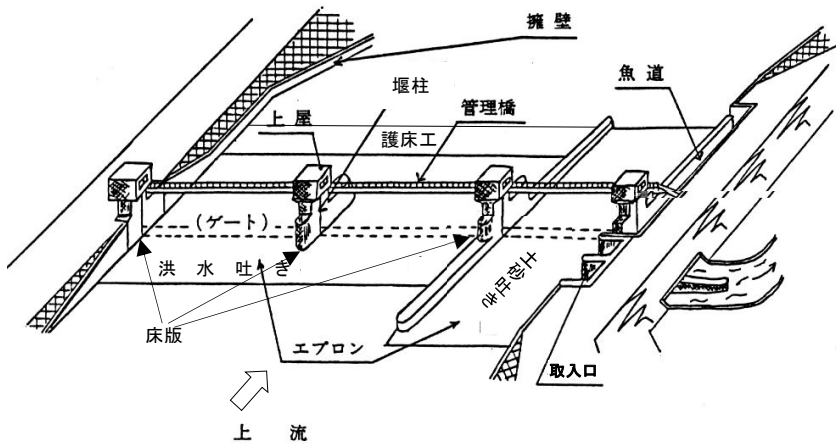


図 1.7-1 頭首工概要図

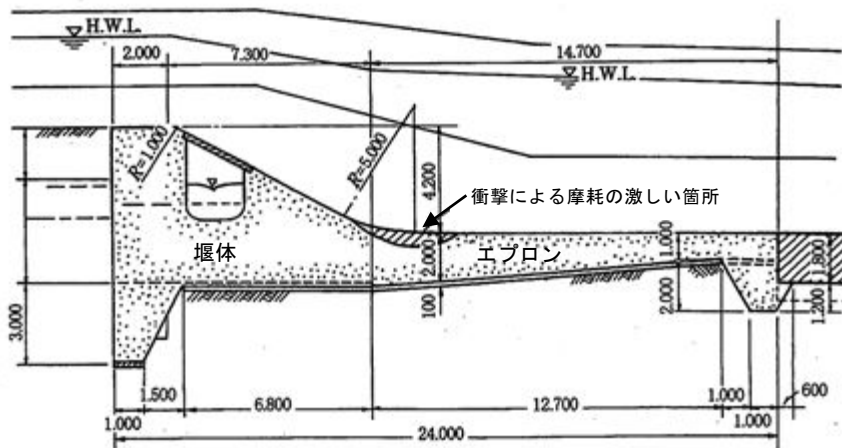


図 1.7-2 衝撃による摩耗の激しい箇所の例

出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「頭首工」  
付録 技術書第25章 エプロンの表面保護

写真 1.7-1 と写真 1.7-2 では、可動堰の下流スロープに全面摩耗が生じている中で、局部的に溝状の摩耗を生じている事例を示した。

写真 1.7-3 と写真 1.7-4 は、溪流河川の固定堰の土砂吐き下流のエプロンの写真であり、共に流心に近い導流壁側の方が摩耗している事例である。



写真1.7-1 F頭首工  
可動堰下流スロープの全面摩耗と溝状の摩耗



写真1.7-2 F頭首工  
溝状の摩耗の拡大写真



写真1.7-3 S T頭首工  
土砂吐き下流エプロンの導流壁側の摩耗



写真1.7-4 M Y頭首工  
土砂吐き下流エプロンの導流壁側の摩耗

## 2 エプロン系施設の摩耗事例

### (1) 可動堰の下流部

可動堰下流法先、それに接続するエプロン最上流部では、土砂などの衝撃により強い摩耗作用が働き、激しい摩耗が発生する場合がある。

#### 【解説】

写真 1.7-5 の下流法先のエプロンは粗骨材が露出している。このような場所では、土砂の落下、渦の発生などで激しい摩耗が発生する場合がある。

図 1.7-3 は、エプロンの補修前の摩耗状況図である。下流法先までの区間の摩耗深さが大きいことがわかる。

また、法先から下流側のエプロン部も右岸側が左岸側より摩耗深さが大きい。このように摩耗は均一に発生しているわけではないため、施工前の調査で摩耗が激しい場所には必要な対策を講じることが重要である。



写真1.7-5 Z頭首工 可動堰下流スロープ端部の摩耗状況

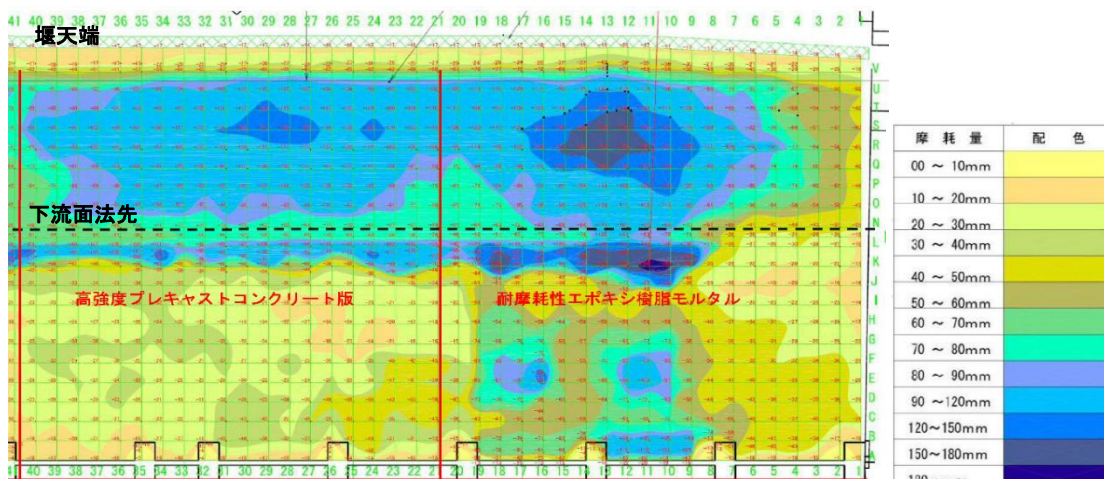


図1.7-3 I頭首工 補修前摩耗状況図(50cm<sup>2</sup>メッシュ)

(2) 固定堰

固定堰は、上流側に土砂が堆積している場合、堰天端や法先の部分に礫・転石による摩耗を受けやすい環境になる。

【解説】

土砂の流入が多い河川の固定堰では、写真のように上流側に土砂が溜まり、洪水時は容易に転石や土石流が堰を流下する。このため堰天端や法先などに摩耗が発生しやすい(写真1.7-1~11参照)。



写真1.7-6 ST頭首工 右岸端部以外の天端の摩耗状況



写真1.7-7 ST頭首工 左岸側天端の摩耗状況



写真1.7-8 ST頭首工 固定堰とエプロンの摩耗状況



写真1.7-9 ST頭首工 固定堰とエプロンの摩耗状況



写真1.7-10 ST頭首工 固定堰下流端部の段差100mm



写真1.7-11 ST頭首工 エプロンの摩耗状況

### (3) 土砂吐き

土砂吐きでは、土砂吐きゲートの下流エプロン部分に激しい摩耗が生じる場合がある。特に取水工への土砂流入及び頭首工上流の土砂堆積を防ぐために、土砂吐きゲートを微小開度で常時フラッシュさせている場合、激しい摩耗が発生しやすい。これは、常時フラッシュの高速流と土砂によって摩耗が進行するためである。また、土砂吐きの流入口付近は大きな粒径の土砂を排出させるために限界流が生じるように設計されており、土砂の流下によりこの部分の摩耗が進行しやすい。

#### 【解説】

激しい摩耗を生じる場合、土砂吐き下流のエプロンは、**写真 1.7-12** のように鉄筋が露出することがある。また、**写真 1.7-13** のように土砂吐き上流エプロンにも摩耗を生じることがある。



写真1.7-12 K頭首工 土砂吐き下流エプロンの摩耗及び鉄筋露出状況



写真1.7-13 S T頭首工 土砂吐き上流エプロンの摩耗状況

(4) 洪水吐き

急流河川に築造される頭首工の洪水吐き下流エプロンは、ゲート部下流にスロープがない場合でも、洪水時の高速流で流下する河床砂礫によって摩耗が進行する。また、堰柱から離れた洪水吐きの流心部では流速が大きくなるため、摩耗が進行しやすい。

【解説】

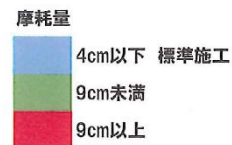
堰下流にスロープがない洪水吐き下流エプロンは、スロープのあるエプロンのように極端にえぐれることは少ないが、写真 1.7-14 や図 1.7-4 のようにエプロン全面に一樣ではない摩耗を生じる。



写真1.7-14 ○B頭首工 洪水吐き下流エプロンの摩耗状況

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
A	17981	17986	17971	17950	17923	17868	17920	17928	17935	17938	17931	17925	17925	17942	17939	17965	17962	17964	17982	17970	
B	17985	17980	17977	17958	17933	17925	17935	17937	17940	17941	17923	17908	17940	17936	17956	17975	17990	17986	17981	17973	
C	17987	17984	17982	17970	17940	17924	17928	17954	17960	17938	17902	17900	17934	17940	17971	17990	17987	17979	17977	17976	
D		17988	17985	17965	17949	17940	17953	17958	17959	17949	17940	17931	17921	17947	17954	17974	17984	17982	17983		
E	3号堰柱	17990	17984	17970	17953	17928	17932	17958	17940	17944	17945	17949	17943	17965	17961	17952	17978	17985	17985	4号堰柱	
F		17995	17985	17946	17943	17938	17960	17945	17940	17939	17941	17948	17958	17963	17954	17977	17984	17991	17985		
G		17993	17982	17963	17928	17955	17954	17963	17943	17949	17950	17948	17947	17966	17973	17969	17987	17989	17994		
H		17994	17975	17948	17948	17947	17935	17923	17954	17939	17952	17944	17961	17972	17982	17983	17991	17994			
I		17990	17957	17923	17932	17936	17949	17924	17923	17948	17932	17920	17915	17945	17958	17972	17970	17982	17989		
J		17983	17978	17954	17952	17960	17946	17915	17933	17938	17925	17929	17946	17950	17963	17968	17962	17957	17984	17978	17984
K		17955	17957	17956	17943	17926	17901	17906	17916	17918	17928	17923	17921	17982	17921	17947	17939	17954	17976	17979	17975
L		17767	17741	17746	17736	17727	17707	17728	17724	17754	17763	17738	17719	17715	17718	17740	17746	17739	17779	17777	17769
M		17463	17450	17458	17443	17463	17468	17456	17444	17468	17491	17500	17489	17452	17484	17480	17490	17500	17490	17484	17483

図1.7-4 ○B頭首工 上記洪水吐き下流エプロンの摩耗状況図



(5) 堰柱、導流壁

堰柱と導流壁は、洪水吐き側より土砂吐き側の摩耗が大きい場合がある。

【解説】

土砂吐きゲート直下流では、堰柱下部にその影響が出やすく、摩耗が進行しやすい。

導流壁は、洪水吐き側より流水の影響を多く受ける土砂吐き側の摩耗が進行することがある（写真 1.7-15～20 参照）。



写真1.7-15 N頭首工  
堰柱側面下端の摩耗状況



写真1.7-16 N頭首工  
堰柱最大摩耗深さ40mm



写真1.7-17 ST頭首工  
堰柱の土砂吐きゲート直下流の摩耗状況



写真1.7-18 ST頭首工  
堰柱固定堰側の摩耗状況



写真1.7-19 ST頭首工  
導流壁 土砂吐き側の摩耗状況



写真1.7-20 ST頭首工  
導流壁 固定堰側の摩耗状況

(6) 石張工法を用いた固定堰

石張工法の固定堰は耐摩耗性に優れるが、砂礫や流水の影響に加え、間詰コンクリートや固定堰本体のコンクリートの変状等により、石の脱落や漏水を生じる。

【解説】

事例の石張工法の固定堰は、河川勾配 1/50、堰高 4.6m であり、砂礫の流下による損傷が著しいため、平成 27 年に石張工法で再度施工されている。写真 1.7-21 と写真 1.7-22 は、施工前の調査写真で、黄色丸の中は、石が抜け落ち、モルタルで補修されている箇所である。

補修箇所は、図 1.7-5 のように固定堰天端と礫や流水の落下地点であるスロープとエプロンの境界付近に集中している。

漏水箇所は、スロープに集中しており、モルタル分の流出や固定堰のコンクリートの変状が原因と考えられる。



写真1.7-21 H頭首工 固定堰 補修状況



写真1.7-22 H頭首工 固定堰 補修箇所

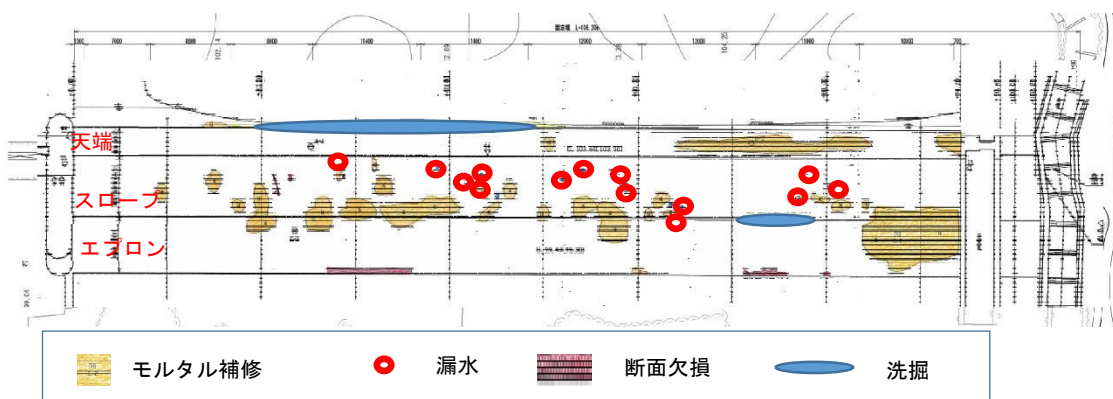


図1.7-5 H頭首工 石張工法 固定堰の調査図面

### 3 摩耗の特徴と進行

頭首工で発生する摩耗とは、流水中の土砂による擦り磨き作用や落差による衝撃力などが組み合わさり、コンクリートの表面が削り取られていく現象である。

#### 【解説】

頭首工のエプロン系施設では、流水や土砂による擦り磨きや衝撃作用を伴う過酷な摩耗が発生する。エプロン系施設の摩耗進行を模式的に表した図を図1.7-6に示す。摩耗の初期段階では図の②に示すようにモルタル部分が削りとられ粗骨材が露出する。その後、摩耗が進行し、さらに土砂等の衝撃力が加わると、③及び④に示すように粗骨材が抜け出し、凹凸となる。

実際は粗骨材の大きさが異なるため凹凸は不均一になり大きな凹の部分は洗掘されやすく、摩耗進行が一気に進む場合もある。また、粗骨材が抜け出した穴に砂礫が入り高速水流によって動転し、コンクリート内部に向かって大きな空洞が発生する場合もある。摩耗が進行した④の段階の表面状態は、コンクリートの配合及び強度によって異なり、高強度コンクリートではモルタル部分の強度が高いため、凹凸が少なく平滑な面となる場合もある。

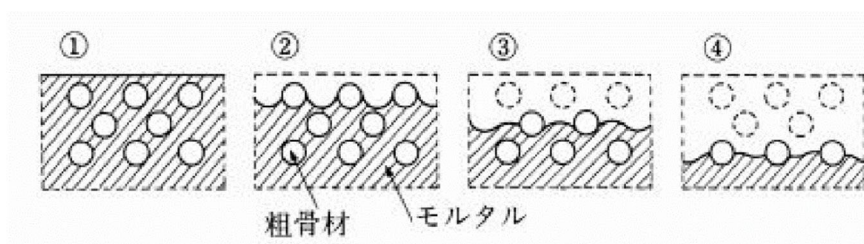


図1.7-6 コンクリート面の擦り減り進展状況の単純モデル

出典：コンクリート工学32巻（1994）7号 増田隆・松永嘉久・渡邊芳春：高耐摩耗性コンクリート

#### 4 エプロン系施設の摩耗メカニズム

エプロン系施設の摩耗の主要因としては、流水、土砂等による①擦り磨き作用又は②衝撃作用が考えられる。そのほかにキャビテーションの影響も考えられるが、エプロン系施設で発生する摩耗の大部分は、①擦り磨き作用、②衝撃作用により生じると考えられる。両者に共通する作用は衝突である。

#### 【解説】

エプロン系施設の摩耗の主要因は上述のとおりである。図 1.7-7 は増田らが行ったコンクリート系材料の〇式摩耗試験の結果である。グラフの縦軸はすり減り係数である。〇式摩耗試験では供試体の表乾質量を測定し、減量した質量から体積を求め、その体積を擦り減りを受けた面積で割って、擦り減り係数 ( $\text{mm}^3/\text{cm}^2$ ) を求める。擦り減り係数を 100 で割ると供試体全体の平均摩耗深さ (mm) となる。グラフから次のことがわかる。

- ① 圧縮強度が増加すると材料の耐摩耗性は向上する。
- ② 同じ圧縮強度では粗骨材が配合されたコンクリートの方が耐摩耗性が高い。
- ③ 圧縮強度が  $100 \text{ N/mm}^2$  ( $980 \text{ kgf/cm}^2$ ) を超えると上で述べた①、②の影響は小さくなる。

以上の結果から、増田らは、摩耗作用が極めて激しい海岸の橋脚などでは、(1) 圧縮強度  $80 \sim 90 \text{ N/mm}^2$  以上のコンクリート、(2) コンクリートのモルタル部分の圧縮強度  $130 \text{ N/mm}^2$  以上の材料を用いることを推奨している。通常の頭首工エプロンでの摩耗作用力は波浪による海岸の橋脚に比べると小さいと推定されるが、耐摩耗性を高めるためには材料の強度を高め、耐摩耗性が高い粗骨材などの材料を混入するのが有効である。新設する場合の基準ではあるが、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「頭首工」では、圧縮強度が  $50 \text{ N/mm}^2$  の以上のコンクリートの使用が推奨されている。

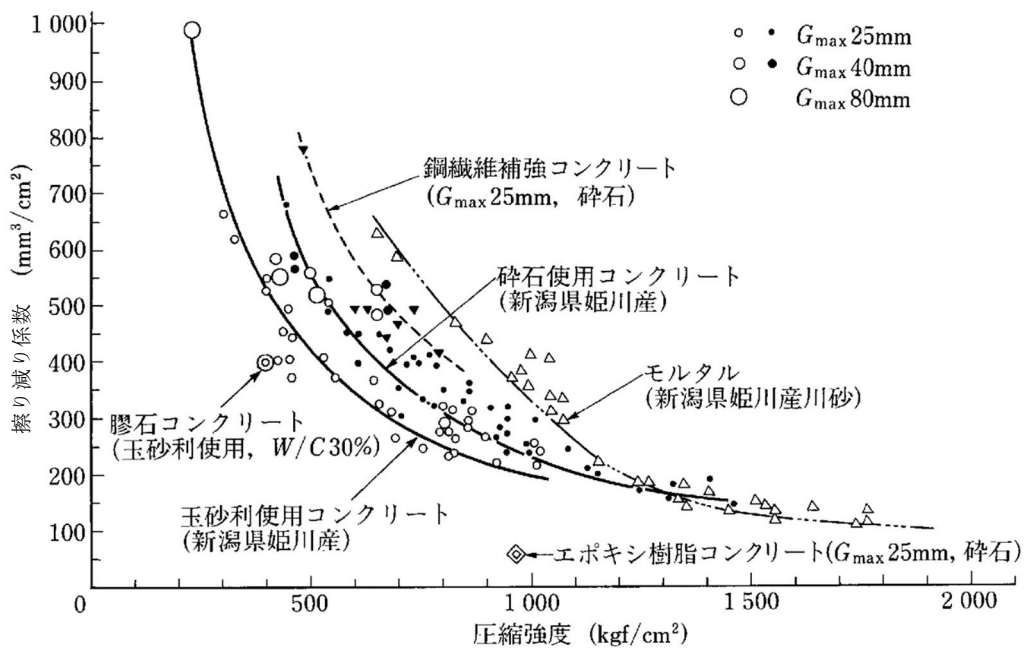


図1.7-7 圧縮強度と擦り減り係数の関係

出典：コンクリート工学32巻（1994）7号 増田隆・松永嘉久・渡邊芳春：  
高耐摩耗性コンクリート

## 5 摩耗速度

単位期間（年）当たりの施設の摩耗深さ（mm）を年間摩耗速度と呼ぶ。次の2つの指標が良く用いられる。

- ①年間最大摩耗速度：局部的に生じた最も大きな摩耗深さを供用年数で除した値
  - ②年間平均摩耗速度：メッシュ測量等で得た摩耗深さの平均値を供用年数で除した値
- 摩耗速度は、頭首工の既設コンクリートや補修材料の摩耗進行の指標となる。

### 【解説】

#### (1) エプロン系施設の摩耗速度

頭首工の各部位の摩耗速度の現地測定結果を表 1.7-1 に示す。年間平均摩耗速度は、エプロンでは 1.6 mm/年、固定堰では 1.8 mm/年であり、導流壁（0.1 mm/年）や魚道（0.1 mm/年）に比べると摩耗進行が大きい。後ほど示すが、頭首工エプロン系施設の年間平均摩耗速度は、一般の開水路に比較すると 5～10 倍大きくなる傾向を示す。

表 1.7-2 にエプロン系施設等の摩耗状況調査結果を示す。この表から、以下の特徴が見られる。

- ①エプロンは、可動堰下流スロープ端部（落水地点）の摩耗速度が大きい。
- ②土砂吐き下流エプロンの摩耗速度が上記の次に大きい。
- ③固定堰は、堰天端と堰下流端やエプロン上流端の摩耗速度が大きい。
- ④導流壁と魚道は、エプロンや堰柱と摩耗速度を比較すると摩耗速度がかなり小さい。

表1.7-1 頭首工の年間最大及び平均摩耗速度 (mm/年)

対象施設	部位	対象	年間最大摩耗速度	左記平均値	対象	年間平均摩耗速度	左記平均値	対象施設別左記平均
エプロン	土砂吐き下流エプロン	5ヶ所	2.5～6.6	4.1	3ヶ所	1.5～2.6	1.9	1.6
	可動堰下流スロープ端部	4ヶ所	4.3～7.4	6.1	3ヶ所	1.2～4.1	2.3	
	エプロン全体	9ヶ所	1.8～5.3	3.2	8ヶ所	0.7～2.5	1.3	
	可動堰上流エプロン	1ヶ所	2.4	2.4	1ヶ所	1.1	1.1	
固定堰	固定堰天端	1ヶ所	4.4	4.4	1ヶ所	2.6	2.6	1.8
	固定堰下流端、エプロン上流端	4ヶ所	3.1～4.1	3.6	2ヶ所	1.3～1.4	1.4	
堰柱	接水部	1ヶ所	1.5	1.5	-	-	-	-
導流壁	接水部	1ヶ所	0.4	0.4	1ヶ所	0.1	0.1	0.1
魚道	接水部	1ヶ所	0.4	0.4	1ヶ所	0.1	0.1	0.1

表1.7-2 エプロン系施設等の摩耗状況調査結果

施設名	堰区分	河川 勾配	劣化箇所	主な劣化要因	劣化状況等	コンクリート圧縮 強度(N/mm <sup>2</sup> )	経過 年数	年間最大 摩耗速度 (mm/年)	年間平均 摩耗速度 (mm/年)
SM頭首工	可動堰	1/70	エプロン全体	流水等	最大摩耗深さ155mm 平均摩耗深さ71.9mm	21.7, 29.9	29	5.3	2.5
MY頭首工	固定堰	1/74	土砂吐き下流エプロン	土砂・転石混じりの 流水、落水	最大摩耗深さ105mm 平均摩耗深さ26.6mm	-	16	6.6	1.7
			エプロン全体	-	-		-	-	-
I頭首工	固定堰 可動堰	1/46	可動堰エプロン全体	土砂を含んだ 高速流	最大摩耗深さ201mm 平均摩耗深さ45.6mm	15.5~39.9 (リハ'ウツ'ハンマー)	47	4.3	1.0
ST頭首工	土砂吐	1/35	土砂吐き下流エプロン	土砂を含んだ 高速流	最大摩耗深さ173mm 平均摩耗深さ103.2mm	14.8~30.5	39	4.4	2.6
	固定堰天端			最大摩耗深さ173mm 平均摩耗深さ103.2mm	4.4			2.6	
	固定堰下流端		土砂・転石混じりの 流水、落水	最大摩耗深さ120mm 平均摩耗深さ50.6mm	17.6~27.3	3.1		1.3	
	エプロン上流端			最大摩耗深さ159mm 平均摩耗深さ56.5mm		4.1		1.4	
	エプロン全体			最大摩耗深さ159mm 平均摩耗深さ25.4mm		4.1		0.7	
N頭首工	可動堰	1/380	土砂吐き下流エプロン	ゲートからの越流水 による衝撃やアン ダーフローによる流 水及び土砂の流下	最大摩耗深さ67mm 平均摩耗深さ39.4mm	21	27	2.5	1.5
			エプロン全体		最大摩耗深さ72mm 平均摩耗深さ25.7mm			2.7	1.0
			堰柱		最大摩耗深さ40mm			1.5	-
			導流壁	土砂を含む流水や転石等	最大摩耗深さ10mm 平均摩耗深さ4mm			0.4	0.1
			魚道		最大摩耗深さ10mm 平均摩耗深さ4mm			0.4	0.1
G頭首工	固定堰	上流1/48 下流1/54	土砂吐き下流エプロン	流水や転石等	最大摩耗深さ150mm	27	37	4.1	-
			固定堰下流端		最大摩耗深さ130mm			3.5	-
			エプロン上流端					3.5	-
OB頭首工	固定堰 可動堰	1/756	可動堰上流エプロン	流水や流水に含まれる 砂利等	最大摩耗深さ90mm 平均摩耗深さ40.5mm	31.8	38	2.4	1.1
			可動堰下流エプロン全体		最大摩耗深さ67mm 平均摩耗深さ31.7mm			1.8	0.8
Z頭首工	可動堰	-	可動堰下流 スロープ端部	流水や流水に含まれる 砂利等	最大摩耗深さ200mm 平均摩耗深さ110mm	34.0 (1号ピア側面)	27	7.4	4.1
			エプロン全体		最大摩耗深さ80mm 平均摩耗深さ40mm			3.0	1.5
F頭首工	可動堰	-	可動堰下流 スロープ端部	流水や流水に含まれる 砂利等	最大摩耗深さ200mm 平均摩耗深さ35mm	21.2 (2号ピア頂部)	29	6.9	1.2
			エプロン全体		最大摩耗深さ50mm 平均摩耗深さ35mm			1.9	1.2
K頭首工	可動堰	1/1540	土砂吐き下流エプロン	アンダーフロー 流水や細砂	最大摩耗深さ100mm	-	32	3.1	-
			起伏ゲート下流 エプロン全体	流水や細砂	最大摩耗深さ100mm 平均摩耗深さ50mm			3.1	1.6
H頭首工	固定堰 可動堰	1/138	固定堰(石張)	底面の空隙、ジャン カ、下流の空洞	固定堰の底面の空隙のため 安定を欠き、空隙充填とカッ トオフの対策を講じた	-	-	-	-
OK頭首工	固定堰 可動堰	1/259	エプロン全体	流水や玉石等	最大摩耗深さ102mm	34.6	35	2.9	-
A頭首工	固定堰 可動堰	-	可動堰スロープ端部	流水や玉石、ゲート の不具合等	最大摩耗深さ200mm 平均摩耗深さ75mm	40.6	47	4.3	1.6
MZ頭首工	固定堰 可動堰	-	可動堰スロープ端部	流水や玉石等	最大摩耗深さ300mm	24.6	51	5.9	-

頭首工エプロン系施設の年間平均摩耗速度は、表 1.7-6 に詳細を示すが、従来の開水路と比較すると表 1.7-3 に示すように 5～10 倍大きくなる傾向を示す。

表1.7-3 摩耗速度の比較

施設名称	年間平均摩耗速度(mm/年)
頭首工エプロン系施設	0.7～4.1
開水路(表面被覆材)	0.18
開水路(コンクリート)	0.11、0.43

## (2) 開水路の摩耗速度

### ア 無機系表面被覆材の年間平均摩耗速度

図 1.7-8 に全国 10 カ所で測定した無機系表面被覆工の年間平均摩耗速度の分布を示す。

年間平均摩耗速度は 0～0.55 mm/年程度の範囲に分布するが、年間平均摩耗速度は 0.18 mm/年である。年間平均摩耗速度が 0.3 mm/年を超えるデータの占める割合は全体の上位約 15%と小さい。

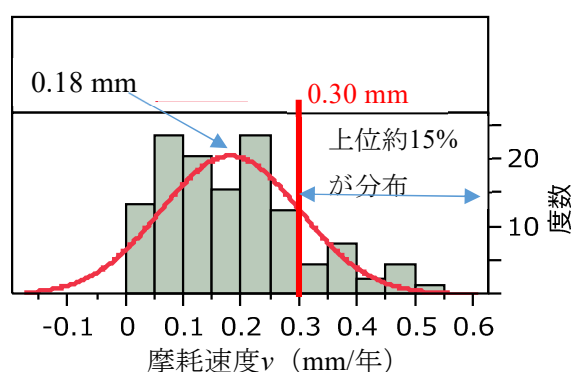


図1.7-8 無機系被覆工の年間平均摩耗速度

\* 「摩耗量の測定値に基づく無機系表面被覆工の摩耗進行予測手法」、

[https://www.naro.go.jp/project/results/4th\\_laboratory/nire/2016/nire16\\_s09.html](https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nire/2016/nire16_s09.html)

### イ 現場のコンクリート開水路の年間平均摩耗速度

#### (ア) 渡嘉敷の論文<sup>※1</sup>

渡嘉敷の論文によれば、現場のコンクリート開水路の年間平均推定摩耗速度は表 1.7-4 に示すように 0.43 mm/年である。

※1 渡嘉敷 勝：農業用コンクリート水路における摩耗機構及び促進摩耗試験に関する研究 農工研報52 1～57, 2013

表1.7-4 平均摩耗速度算出

地区	供用年 (年)	推定摩耗深さ (mm)	摩耗速度 (mm/年)
A	40	12.3	0.31
B	51	32.4	0.64
C	35	17.2	0.49
D	38	14.2	0.37
E	38	12.8	0.34
		平均	0.43

(イ) 上野らの論文<sup>※2</sup>

上野らも渡嘉敷と同様の検討を行っており、これによれば、4 水路の平均から現場におけるコンクリート開水路の年間平均摩耗速度を 0.11 mm/年と推定している。

(表 1.7-5 参照)。

表1.7-5 平均摩耗速度算出

水路名	供用年 (年)	推定摩耗深さ (mm)	摩耗速度 (mm/年)
H水路	52.5	3.65	0.07
I水路	52.0	7.33	0.14
Y水路	35.5	3.00	0.08
K水路	32.0	4.40	0.14
		平均	0.11

(3) 頭首工エプロン系施設等と開水路の年間平均摩耗速度の比較

頭首工エプロン系施設等と開水路の年間平均摩耗速度を比較した表を表 1.7-6 に示す。

頭首工では、開水路と比較すると年間平均摩耗速度は 5~10 倍大きくなる傾向を示す。

表1.7-6 摩耗速度の比較

施設名称	年間平均摩耗速度 (mm/年)
頭首工 土砂吐き下流エプロン	1.5~2.6
頭首工 洪水吐き 可動堰下流スロープ端部	1.2~4.1
頭首工 固定堰	0.8~1.4
導流壁(下部)、魚道	0.15
開水路(表面被覆材)	0.18
開水路(コンクリート)	0.11、0.43

※2 上野和広, 長東 勇, 石井将幸: 開発した水砂噴流摩耗試験機の促進倍率 農業農村工学会論文集 No.266, pp. 41~47 (2010.4)