

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】

令和8年3月

農林水産省農村振興局整備部設計課

まえがき

新たな土地改良長期計画（令和7年9月12日閣議決定）では、「農業水利施設の戦略的な保全管理による持続的な機能確保」が政策目標の1つとして掲げられるとともに、その目標達成に向けて講ずべき施策として、「基幹から末端までの農業水利施設の機能保全に向けた施設の適時適切な補修・更新、適切な保全管理の推進」「施設の集約・再編、省エネルギー化・再生可能エネルギー利用、ICT導入等による維持管理の効率化・高度化の推進」が位置づけられています。

国営土地改良事業等に係る各地区においても、農業水利施設の保全管理の取組が一層重要となっている中、既存の水利ストックを活かす補修・補強工事に関する技術指針を迅速に整備し、技術支援等に対する各方面からの要請に応えていく必要があります。

このため、頭首工の補修・補強対策に関し、長寿命化のための機能保全対策の適切な実施と品質確保を図るための実務に必要な材料・工法の品質規格と選定、補修設計、施工管理及びモニタリング等に関する考え方や留意すべき事項等を取りまとめた技術図書として本マニュアルを策定しました。

策定に当たっては、東海農政局土地改良技術事務所において、平成29年度から検討を開始し、令和元年度からは学識経験者から成る技術検討委員会を設置して技術的な課題について審議を重ねてまいりました。

策定する際は、技術検討委員会の指導・助言の下、頭首工各施設の変状とその要因、頭首工各部位の年間摩耗速度、頭首工の補修・補強工事で用いられる材料・工法の実態を調査するとともに、コンクリート構造物の補修・補強に関する文献等から、頭首工で発生する摩耗のメカニズム、各種対策工法、工法の選定、耐摩耗性および耐衝撃性の照査方法と品質規格値等に関する最新の情報を収集し取りまとめております。本マニュアルでは、補修材料の耐摩耗および耐衝撃性能を評価するため、回転式水中摩耗試験法（角柱研磨式）（案）および鋼球落下式衝撃摩耗試験法（案）の仕様と品質規格値を規定しております。

また、令和4年5月に発生した頭首工の漏水事故を受けての留意点について、本マニュアルでは、日常点検時における留意点として記載したところであります。

今後、頭首工における補修・補強の設計・施工実績、年間摩耗量等の現場実証データを積み重ね、新材料・新工法の研究・開発の成果を得ながら、段階的に本マニュアルの充実を図っていくべきものと考えており、皆様からのご意見・ご提案を頂ければ幸いです。

末筆ではありますが、本マニュアルの策定にご協力いただいた技術検討委員会の委員等各位、並びに関係者の方々に対して深く感謝の意を表します。

技術検討委員会に参画された委員は次のとおりです。

委員長 中嶋 勇
委員 石井 将幸 河端 俊典 西山 竜朗 森 丈久
(五十音順、委員のみを記載)

令和8年3月
農村振興局整備部設計課長

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】

目 次

【本編】

第1章 総則	1- 1
第1 マニュアル策定の背景	1- 1
第2 図書の目的	1- 3
第3 図書の適用範囲	1- 8
第4 用語の定義	1-10
第5 用語の解説	1-13
第6 頭首工の変状とその要因	1-18
1 頭首工の変状	1-18
2 頭首工の変状要因	1-28
第7 頭首工に発生する摩耗現象	1-32
1 エプロン系施設の摩耗形態	1-32
2 エプロン系施設の摩耗事例	1-34
3 摩耗の特徴と進行	1-40
4 エプロン系施設の摩耗メカニズム	1-41
5 摩耗速度	1-42
第2章 補修・補強工法の概要	2- 1
第1 補修・補強工法の検討手順	2- 1
1 補修工法の検討手順	2- 1
2 補強工法の検討手順	2- 2
第2 補修・補強工法の種類	2- 3
1 補修・補強の目的	2- 3
2 補修工法の種類	2- 8
3 補強工法の種類	2-11
第3 補修工法の特徴	2-12
1 表面被覆(保護)工法	2-12
(1) 無機系被覆工法	2-17
(2) パネル工法	2-21
(3) 有機系被覆工法	2-26
(4) 石張工法	2-30
2 ひび割れ補修工法	2-33
3 断面修復工法	2-40
4 打換え工法	2-43

5	目地補修工法	2-46
6	表面含浸工法	2-49
第4	補強工法の概要	2-53
第5	構成施設の変状要因に応じた工法選定	2-58
第3章	補修の要求性能及び材料・工法の品質規格と選定	3- 1
第1	補修に求められる性能	3- 1
1	要求性能の特徴	3- 3
2	要求性能毎の品質規格	3- 7
第2	頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査	3-11
第3	エプロン系施設及び魚道の補修工法別の品質規格と照査	3-19
1	パネル工法	3-19
2	打換え工法	3-24
3	石張工法	3-25
4	魚道の補修工法	3-27
第4	その他施設の補修工法	3-29
1	無機系被覆工法	3-29
第4章	補修工法の施工	4- 1
第1	仮設工等共通工事の施工手順	4- 1
1	準備工	4- 3
2	仮設工	4- 3
3	構造物取り壊し工	4- 6
4	下地処理工	4- 7
第2	補修工法の施工手順	4- 9
1	エプロン系施設の補修工法	4- 9
(1)	パネル工法	4- 9
(2)	打換え工法	4-17
(3)	無機系被覆工法	4-20
(4)	有機系被覆工法	4-25
2	魚道	4-28
3	その他施設の補修工法	4-33
(1)	沈砂池	4-33
第5章	補修工事の施工管理と完成検査	5- 1
第1	施工管理	5- 1
1	施工計画	5- 2
2	施工計画書	5- 8
3	材料の承諾	5- 9

4	材料の保管及び搬送・搬入	5-11
5	補修範囲の確認	5-11
第2	品質管理	5-12
第3	出来形管理	5-13
1	直接測定による出来形管理	5-13
2	撮影記録による出来形管理	5-14
第4	完成検査	5-14
第5	安全管理	5-15
第6章	対策後の施設監視	6- 1
第1	基本的事項	6- 1
第2	着目すべき変状	6- 5
第3	基本情報の記録・収集・整理	6- 8
第4	モニタリング調査	6-10
第5	基本調査	6-12
第6	詳細調査	6-19
参考資料		
参考①	エプロン系施設の補修設計に関する取扱いについて	参- 1
参考②	パネル工法の諸元等	参-40
参考③	エプロン系施設の補修に関する工法選定フロー	参-45
参考④	補強工法の事例紹介	参-91
参考⑤	頭首工関連技術図書の変遷	参-101
巻末資料		
1	試験方法(案)	巻- 1
2	施工管理項目等参考例	巻-14
付属資料		
	モニタリング調査票（頭首工補修工法）(案)	付- 1

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

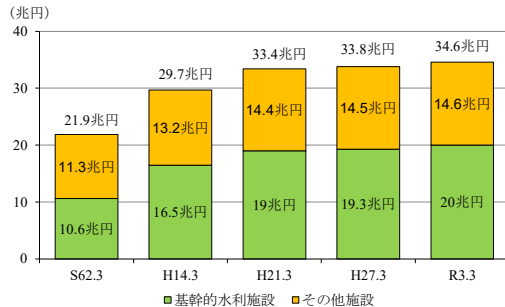


図 1.1-1 基幹的農業水利施設の資産価値

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^{※1}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^{*1}（27%）ある。さらに 10 年以内に耐用年数を迎える 62 カ所^{*2}（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^{*3}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

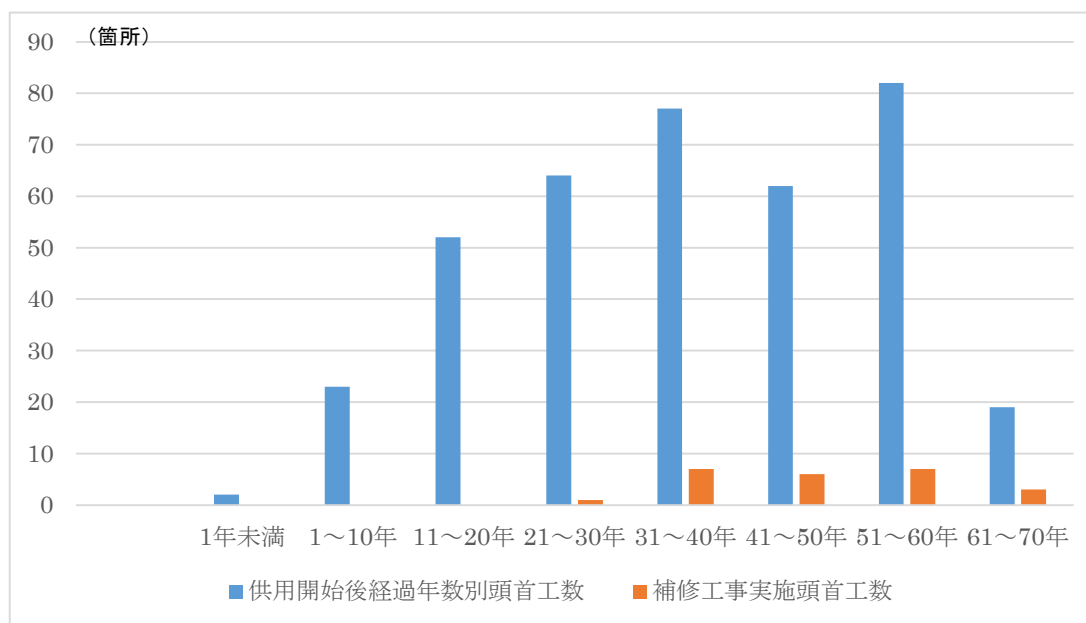


図 1.1-2 供用開始後経過年数別国営頭首工数と補修工事実施国営頭首工数

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。

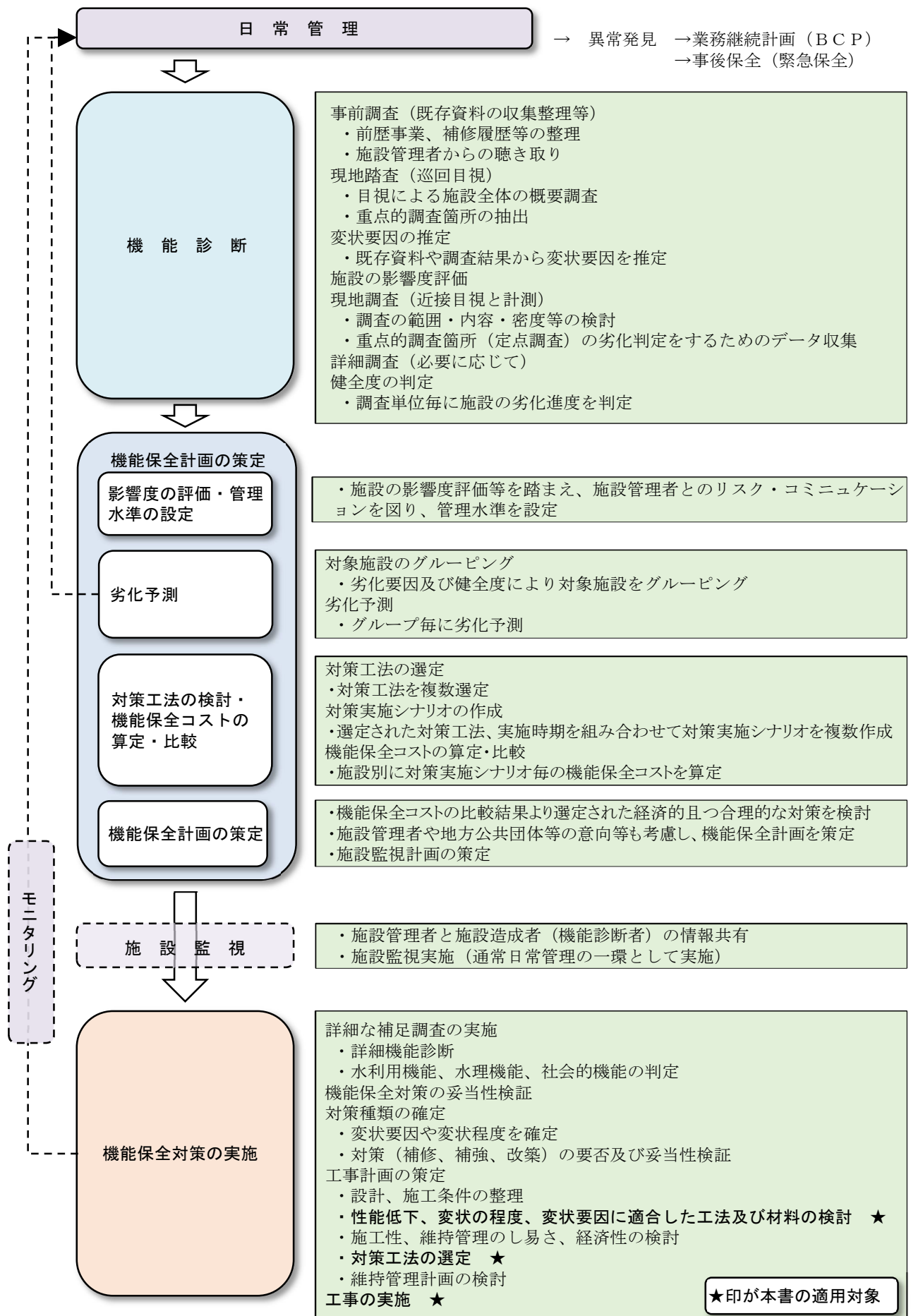


図 1.2-1 頭首工の機能保全のフロー

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。

- | | |
|----------------|---|
| エプロン系施設 | ：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】。 |
| 魚道 | ：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。 |
| その他施設 | ：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。

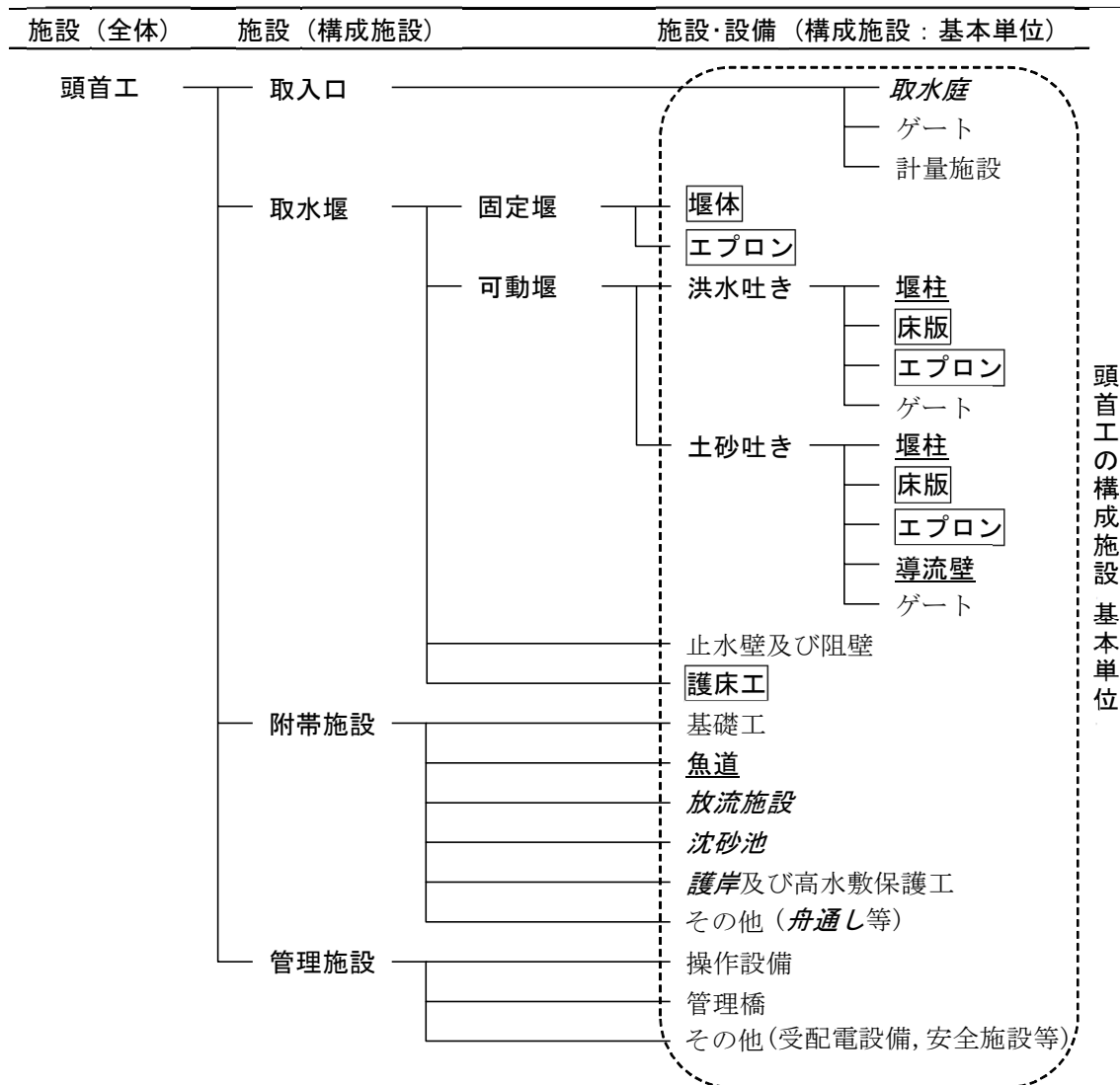


図 1.3-1 頭首工の構成施設系統図

(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。

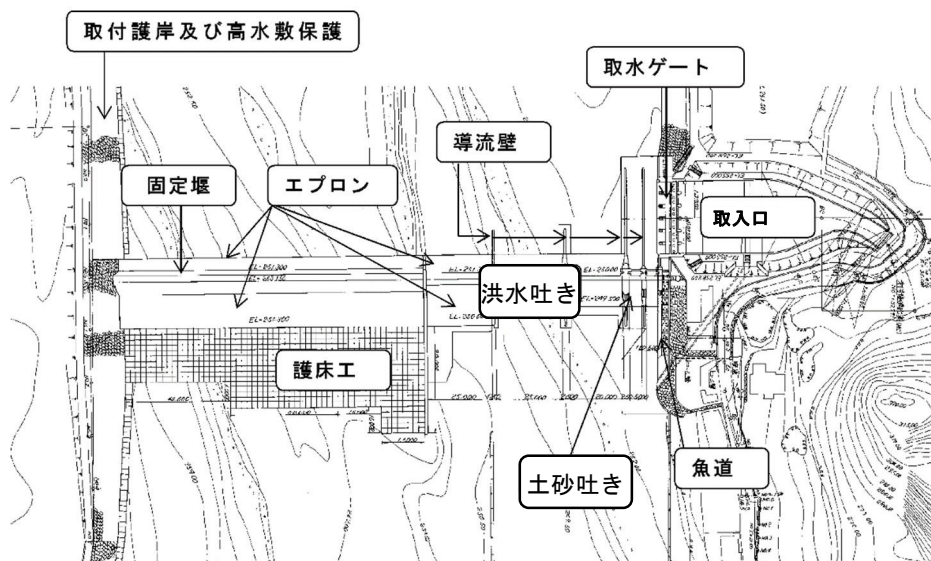


図 1.3-2 頭首工の標準的な施設構成

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。

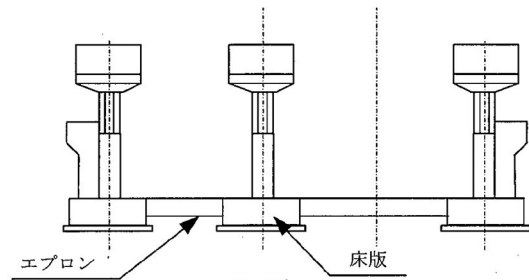
日 常 点 検	: 施設管理者が行う目視観察などの簡易な調査を主体として変状の有無を把握すること。
施設監視計画	: 施設の劣化の進行状況を見極め、最適と判断される時期に対策工事を実施できるようにすることなどを目的とした計画。策定に当たっては、施設機能の評価結果踏まえた上で、個々の施設の状態に応じて、測点・部位、監視内容・項目、監視頻度などを定める。(※11)
施設監視	: 施設監視計画等に基づき行う施設の監視（施設管理者は通常、日常管理の一環として行う）。(※4)
業務継続計画 (BCP)	: 豪雨、大規模地震等により土地改良施設が被災する、あるいは事故等により取水が停止するなどの不測の事態に際し、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。

A S T M 規 格	: 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。
H P F R C C	: 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。
あと施工せん断補強工法	: 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。
A S R	: 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) との間に生じる化学反応。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)
石 張 工 法	: 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。
浮 き	: 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。
打 換 え 工 法	: 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)
エフロレッセンス	: 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 (CaCO_3) や炭酸塩 (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。
エ プ ロ ン	: 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。
エプロン系施設の 下地処理	: 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り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 _d	: 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 _{dn} :劣化後の値) / (E _{d0} :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 ² 以上、ひび割れ発生強度の特性値が4 N/mm ² 以上、引張強度の特性値が5 N/mm ² 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)

メッシュ水準測量	: 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。
モジュラス	: 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)
有機系被覆工法	: 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)
ライフサイクルコスト(LCC)	: 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)
連続繊維シート巻き立て工法	: 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、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^{※1}、更新事業22カ所^{※2}）、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 ^{※1}	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
更新事業 ^{※3}	高度化事業 ^{※2} 補修		4								4
	補修	18	12	9	^{※4} 10	6	5	5	3	^{※5} 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^{※3}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）。

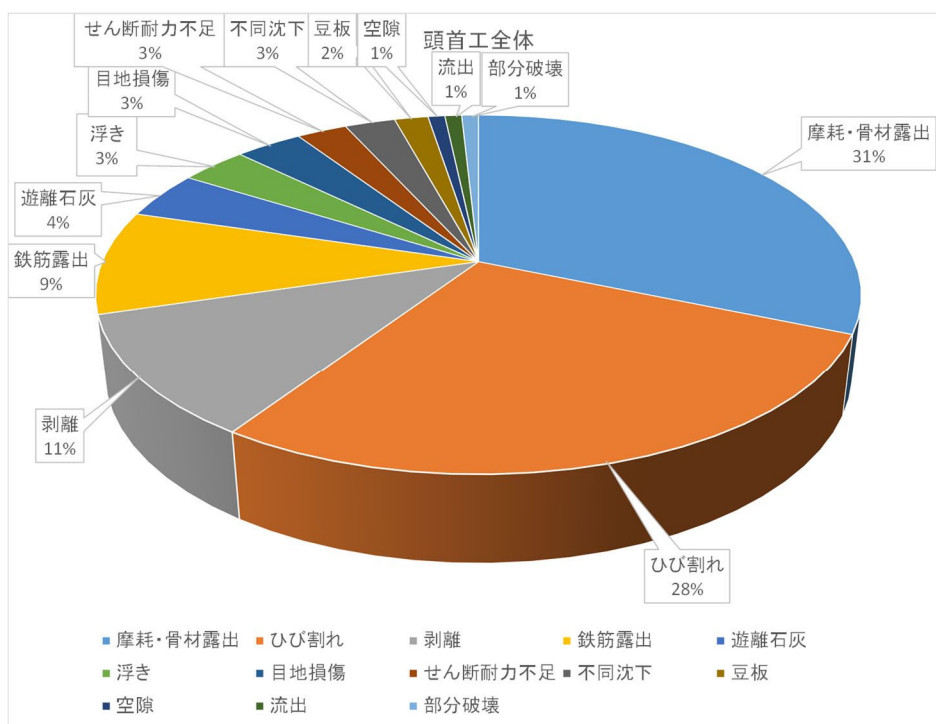


図 1.6-1 国営頭首工における変状の割合

(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^{※1}、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）。

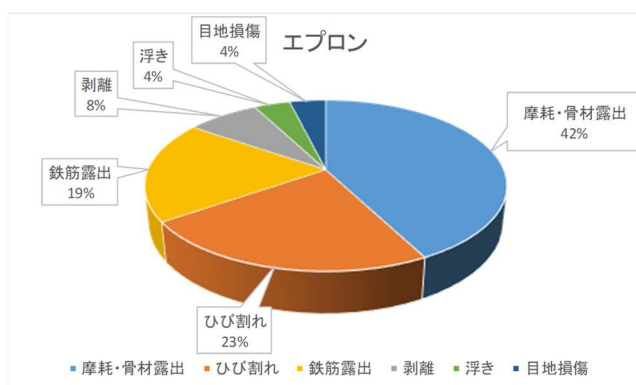


図1.6-2 エプロンにおける変状の割合

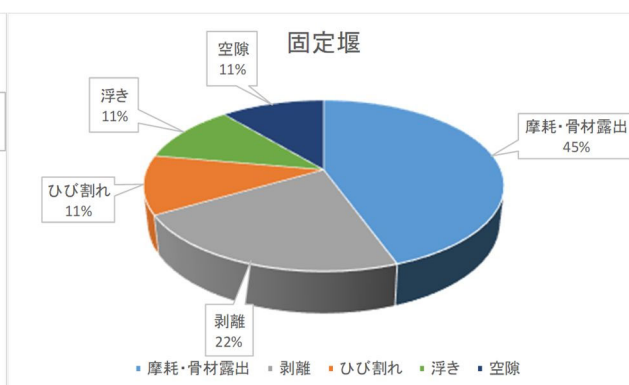


図1.6-3 固定堰(堰体)における変状の割合

※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。

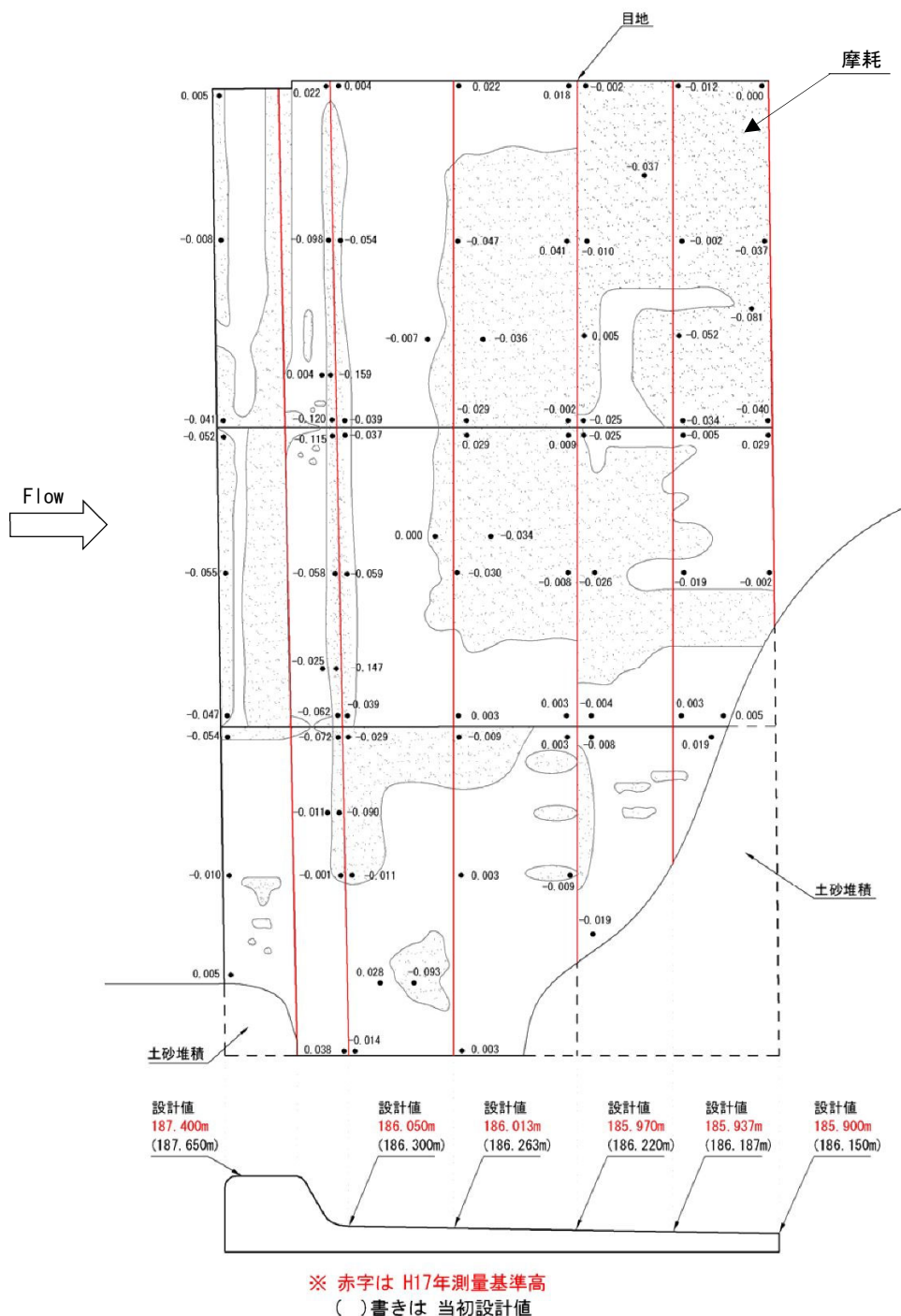


図1.6-4 固定堰(堰体)・エプロン部の摩耗測量図 (設計値に対する標高差) の事例

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)。

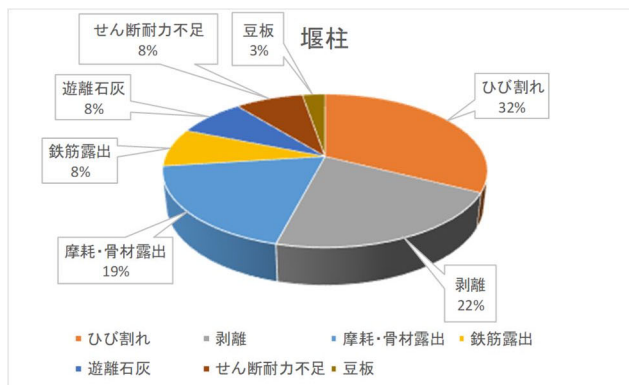


図1.6-5 堰柱における変状の割合

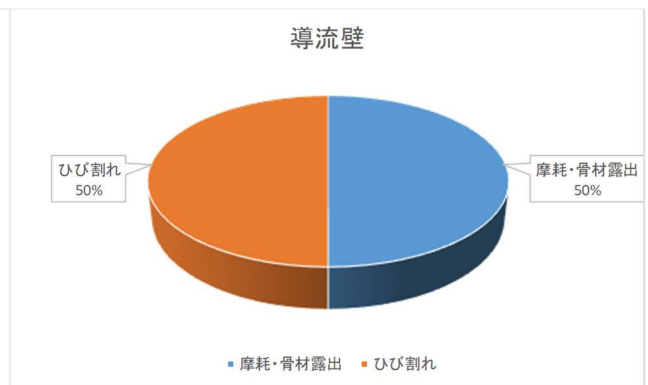


図1.6-6 導流壁における変状の割合

堰柱の変状図の事例を図 1.6-7 に示す。これは、国営頭首工の補修を実施するにあたり、堰柱における変状（ひび割れ、遊離石灰、豆板、剥離等）を調査した結果を整理したものである。

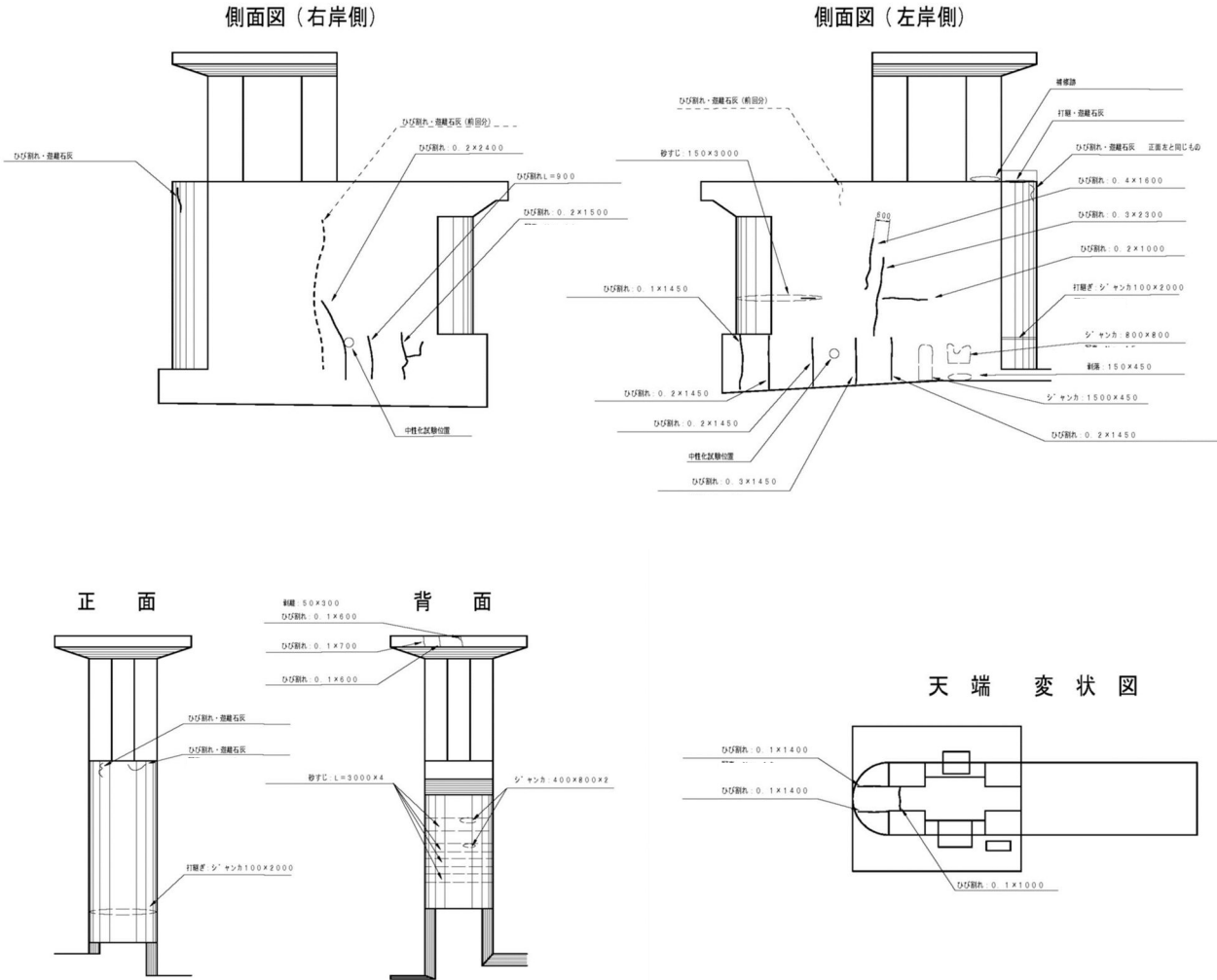


図1.6-7 堰柱の変状図の事例

堰柱の変状（ひび割れ、遊離石灰）については、写真 1.6-5～写真 1.6-8 のとおりである。導流壁の変状（摩耗・骨材露出、ひび割れ）については、写真 1.6-9、写真 1.6-10 のとおりである。



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

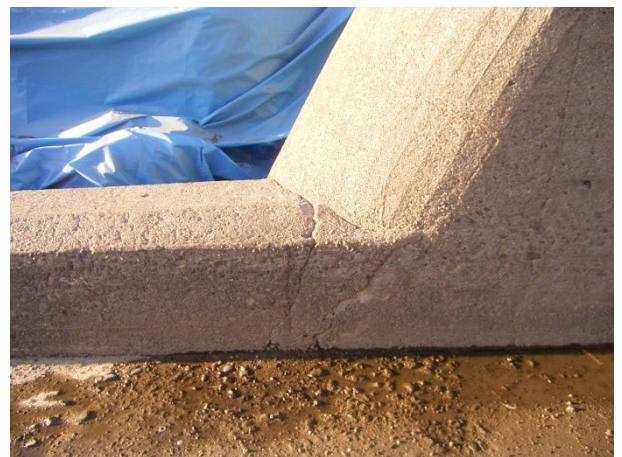


写真1.6-10 導流壁のひび割れ

(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)。

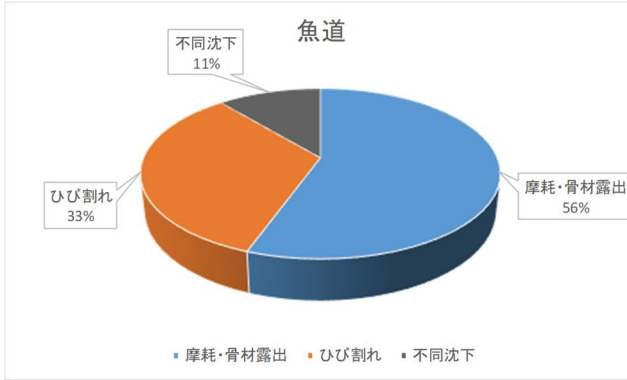


図1.6-8 魚道における変状の割合

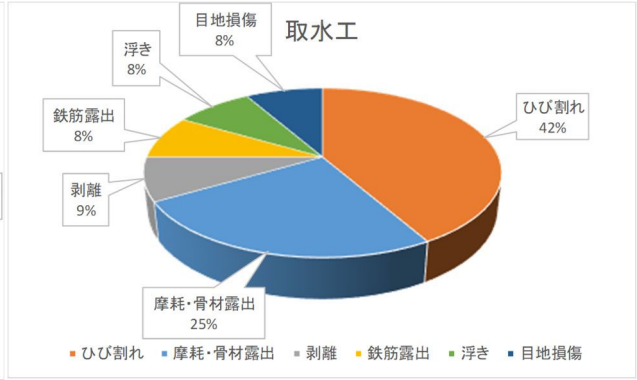


図1.6-9 取水工における変状の割合

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。

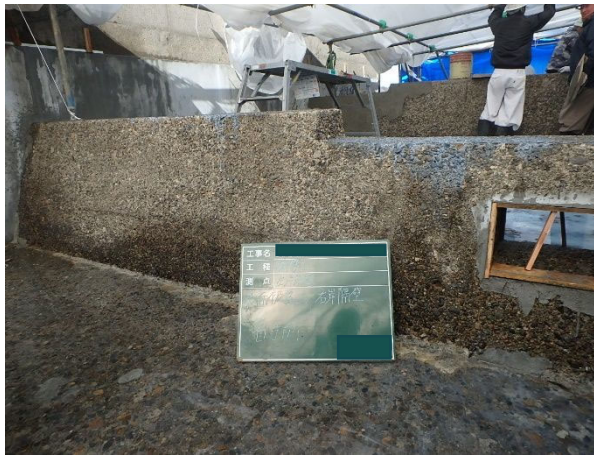


写真1.6-11 魚道(隔壁)の摩耗・骨材露出



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)。

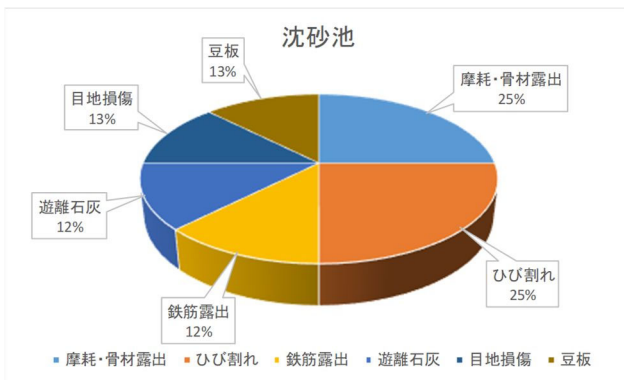


図1.6-10 沈砂池における変状の割合

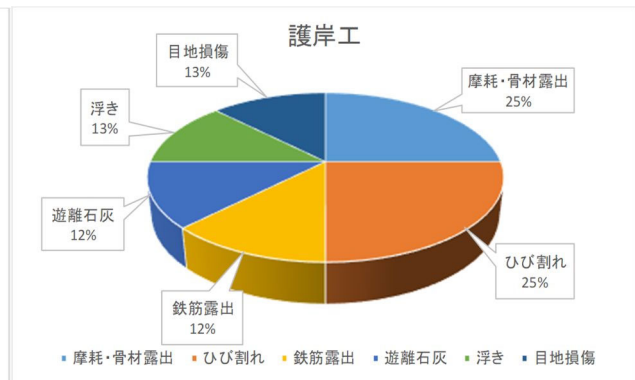


図1.6-11 護岸工における変状の割合

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）。

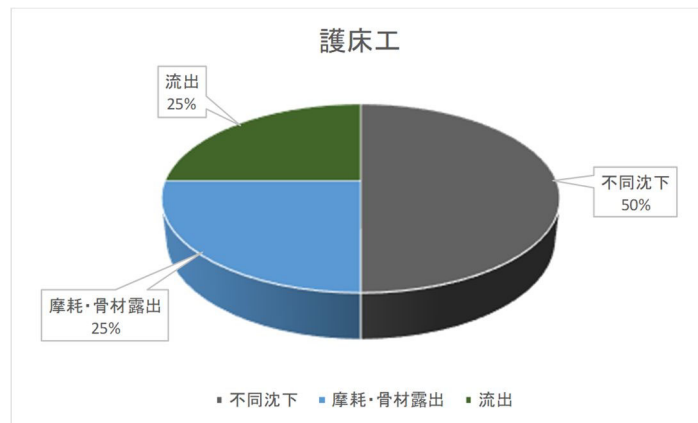


図1.6-12 護床工における変状の割合

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^{※1}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 [*]	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

^{*} 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）。

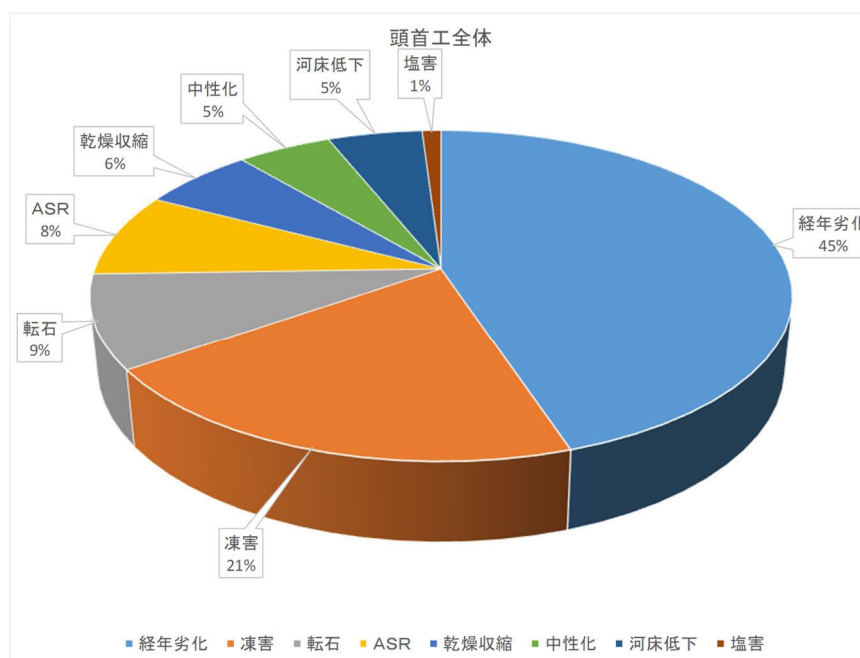


図1.6-13 国営頭首工における変状要因の割合

^{※1} 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。

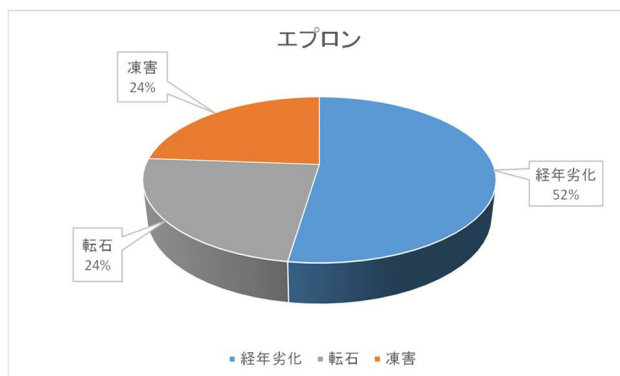


図1.6-14 エプロンにおける変状要因の割合

(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。

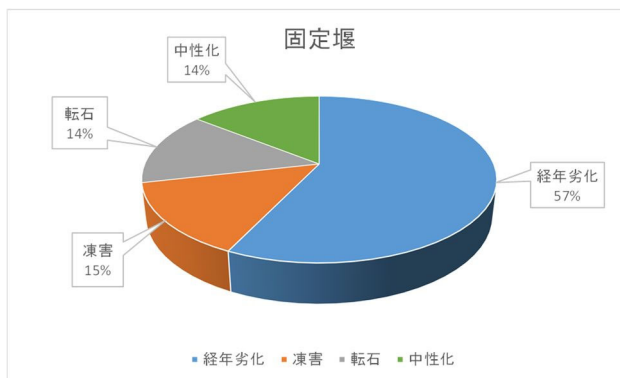


図1.6-15 固定堰(堰体)における変状要因の割合

(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。

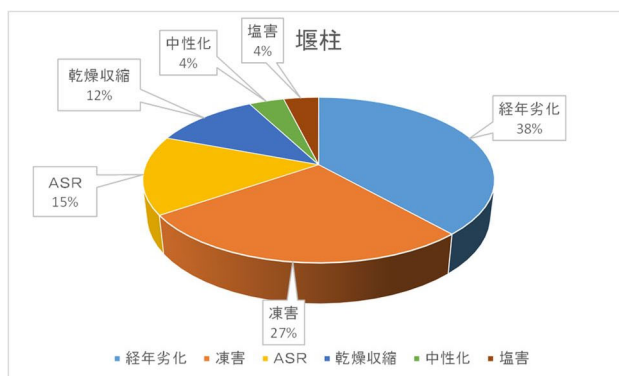


図1.6-16 堰柱における変状要因の割合

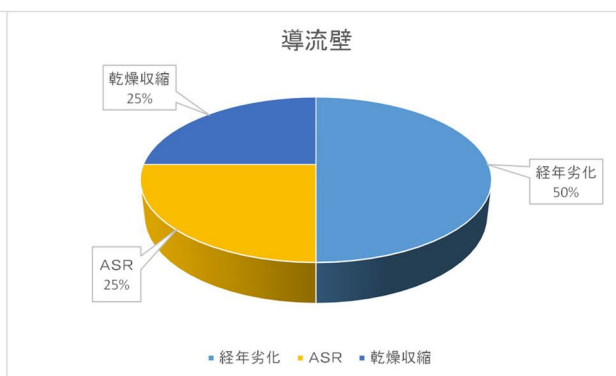


図1.6-17 導流壁における変状要因の割合

(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。

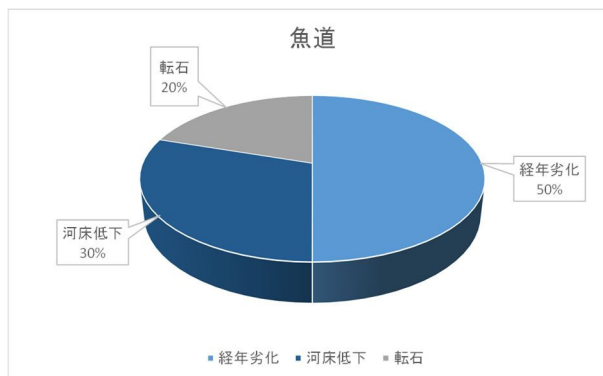


図1.6-18 魚道における変状要因の割合

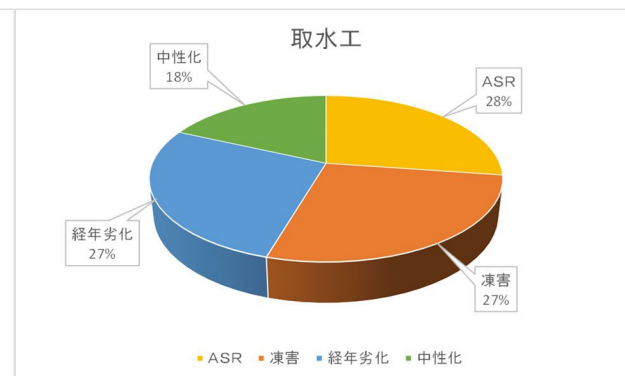


図1.6-19 取水工における変状要因の割合

(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。

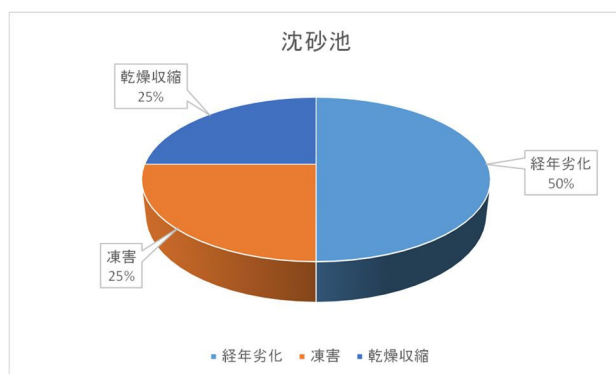


図1.6-20 沈砂池における変状要因の割合

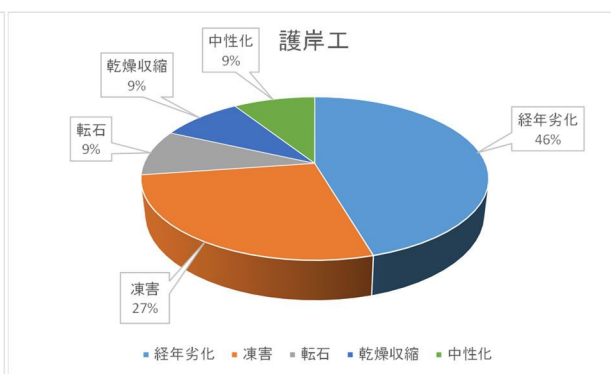


図1.6-21 護岸工における変状要因の割合

(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。

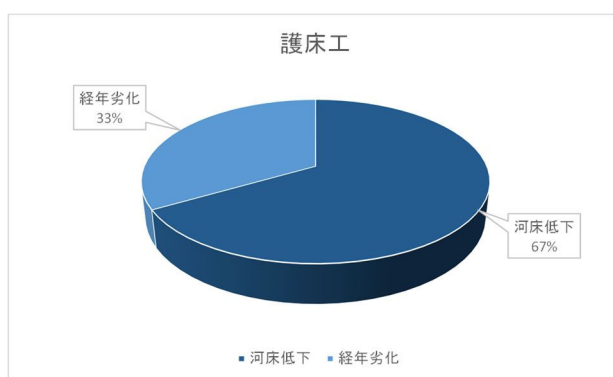


図1.6-22 護床工における変状要因の割合

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）。

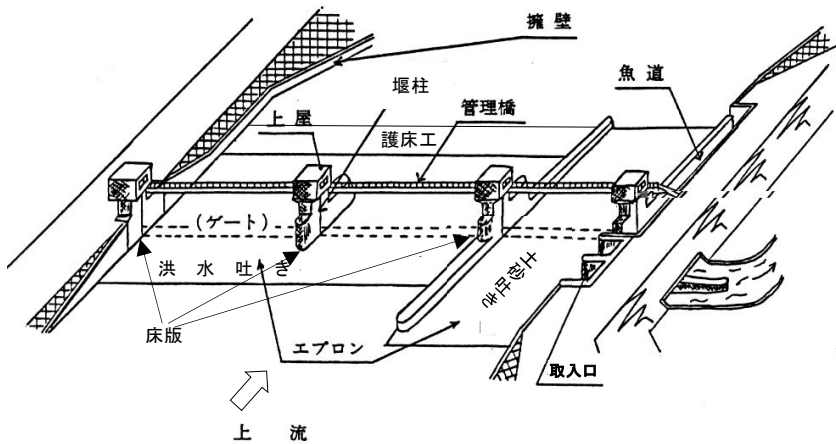


図 1.7-1 頭首工概要図

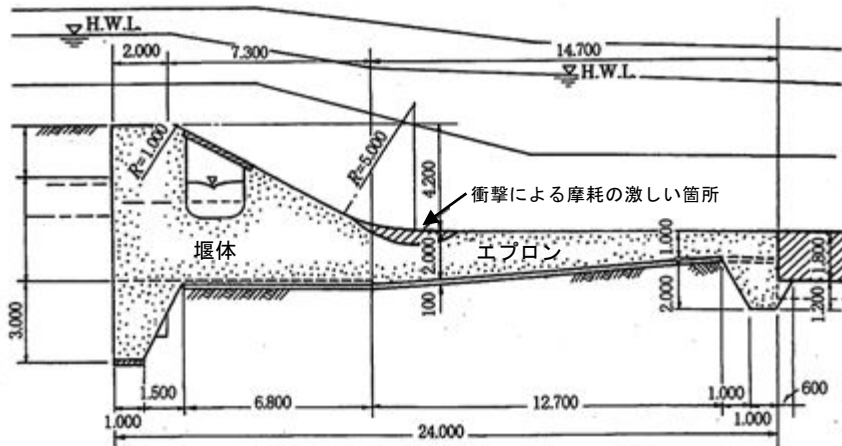


図 1.7-2 衝撃による摩耗の激しい箇所の例

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 ST頭首工
土砂吐き下流エプロンの導流壁側の摩耗

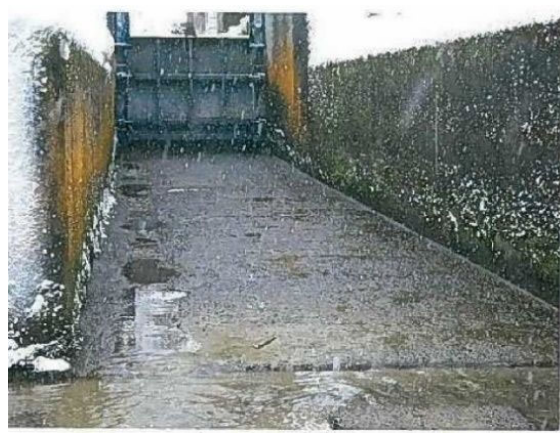


写真1.7-4 MY頭首工
土砂吐き下流エプロンの導流壁側の摩耗

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

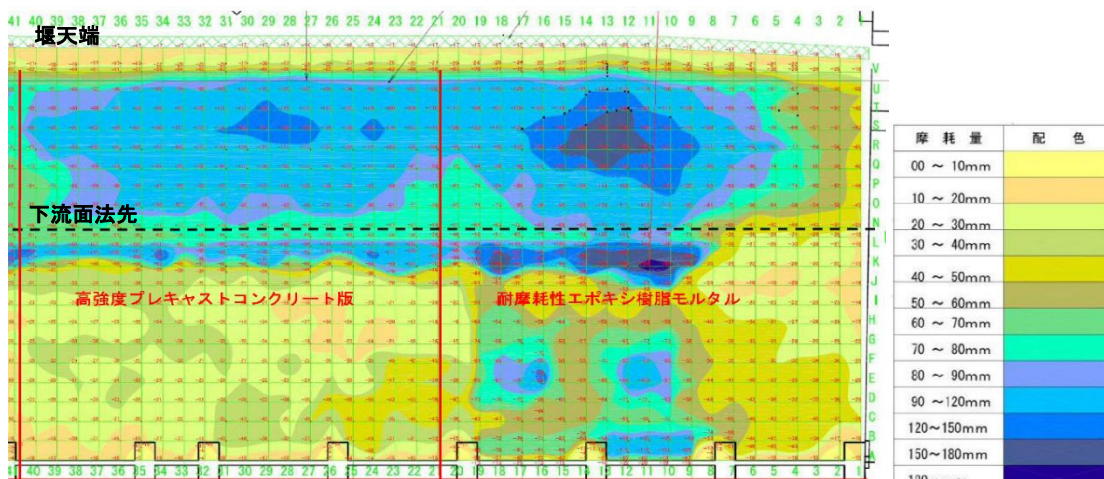


図1.7-3 I頭首工 補修前摩耗状況図(50cm²メッシュ)

(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】

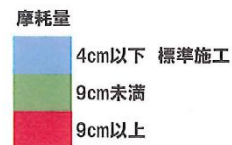
堰下流にスロープがない洪水吐き下流エプロンは、スロープのあるエプロンのように極端にえぐれることは少ないが、写真 1.7-14 や図 1.7-4 のようにエプロン全面に一様ではない摩耗を生じる。



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	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	17962	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

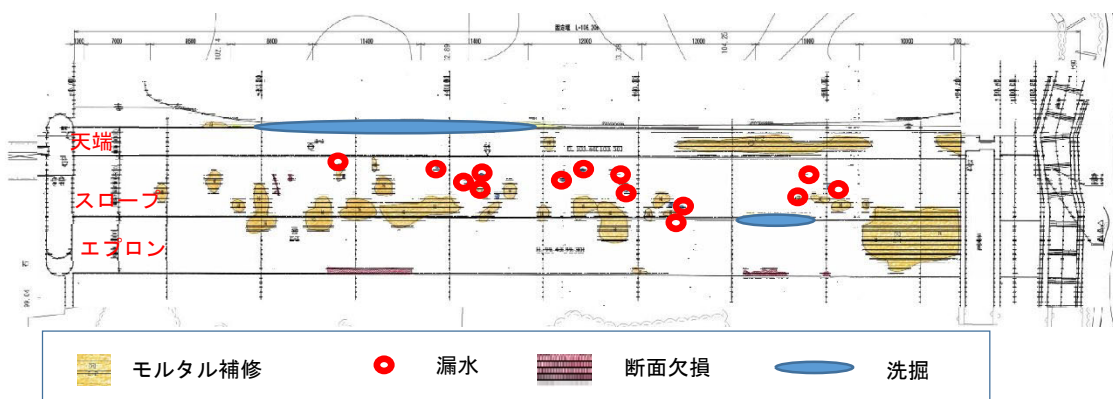


図1.7-5 H頭首工 石張工法 固定堰の調査図面

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。

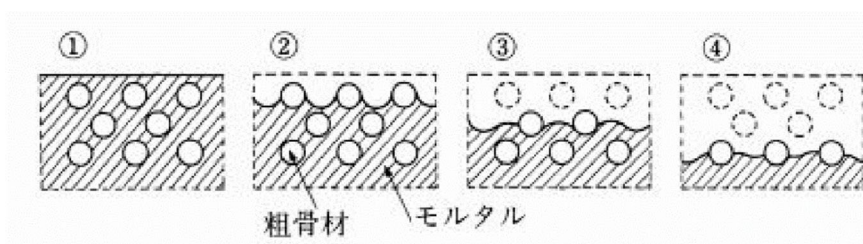


図1.7-6 コンクリート面の擦り減り進展状況の単純モデル

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 (mm^3/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 N/mm^2 (980 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 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 N/mm^2 の以上のコンクリートの使用が推奨されている。

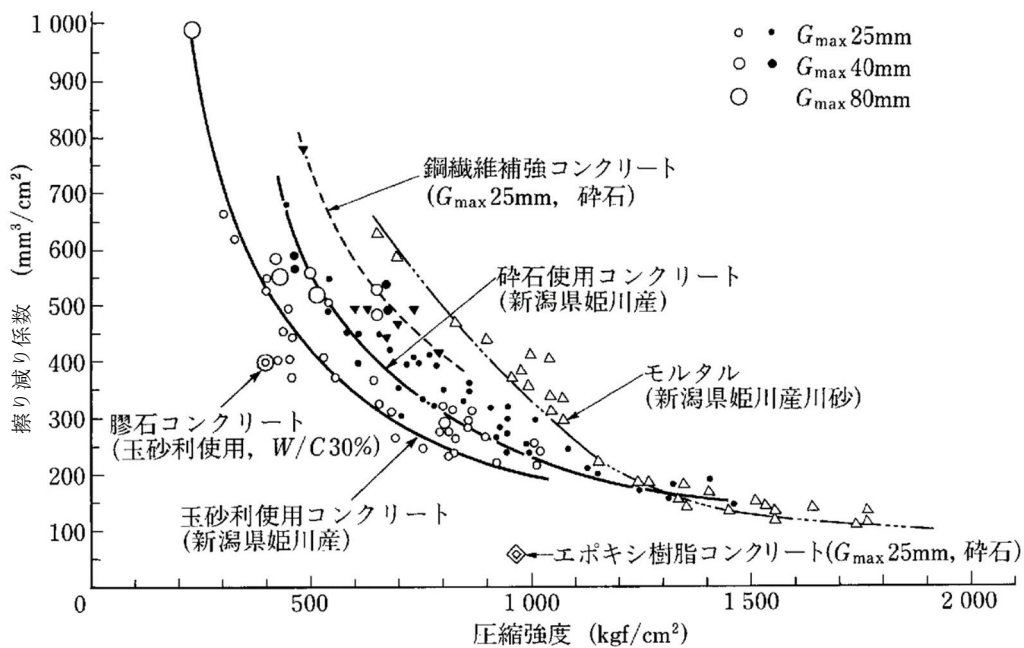


図1.7-7 圧縮強度と擦り減り係数の関係

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 ²)	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。

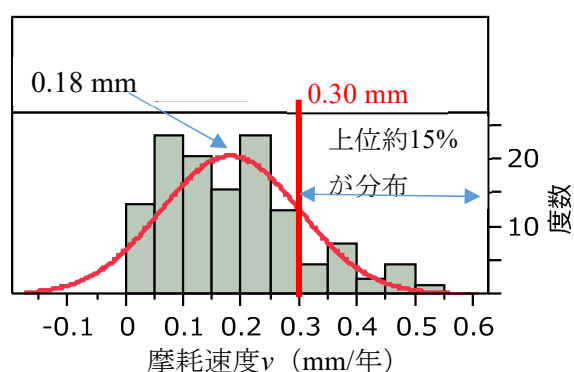


図1.7-8 無機系被覆工の年間平均摩耗速度

* 「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

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^{※1}

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^{※2}

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)

第2章 補修・補強工法の概要

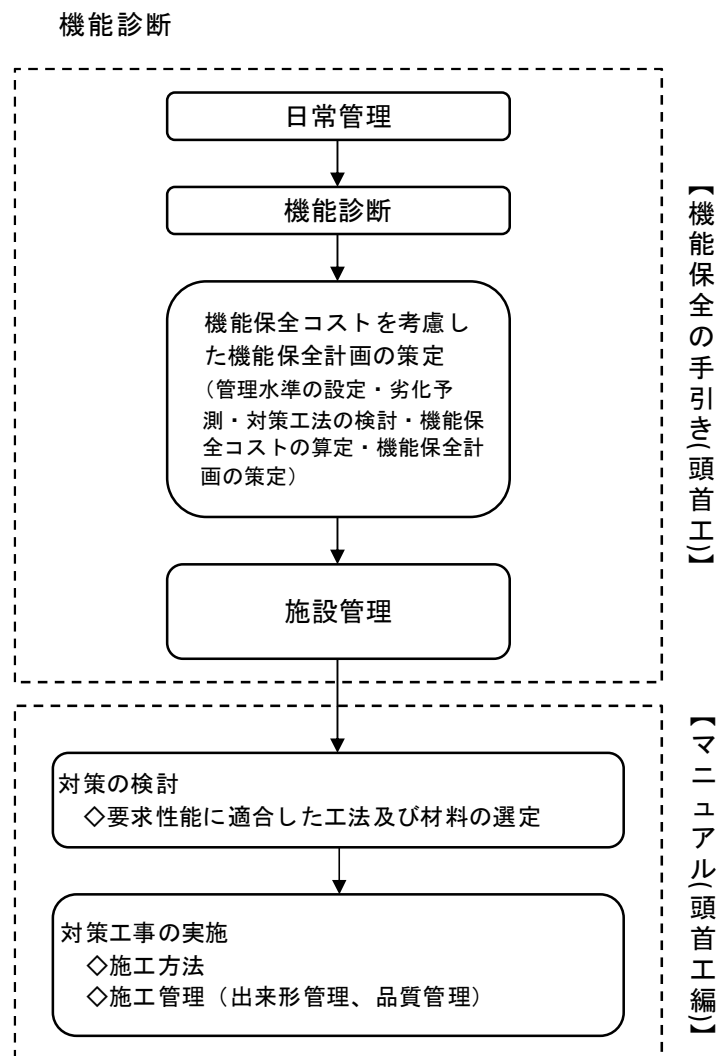
第1 補修・補強工法の検討手順

1 補修工法の検討手順

頭首工コンクリート施設の補修は、主に頭首工の耐久性を回復又は向上させることを目的として行い、機能診断結果や機能保全コストを考慮した機能保全計画を踏まえて、対策工法を選定する。

【解説】

補修工法の検討手順を図 2.1-1 に示す。

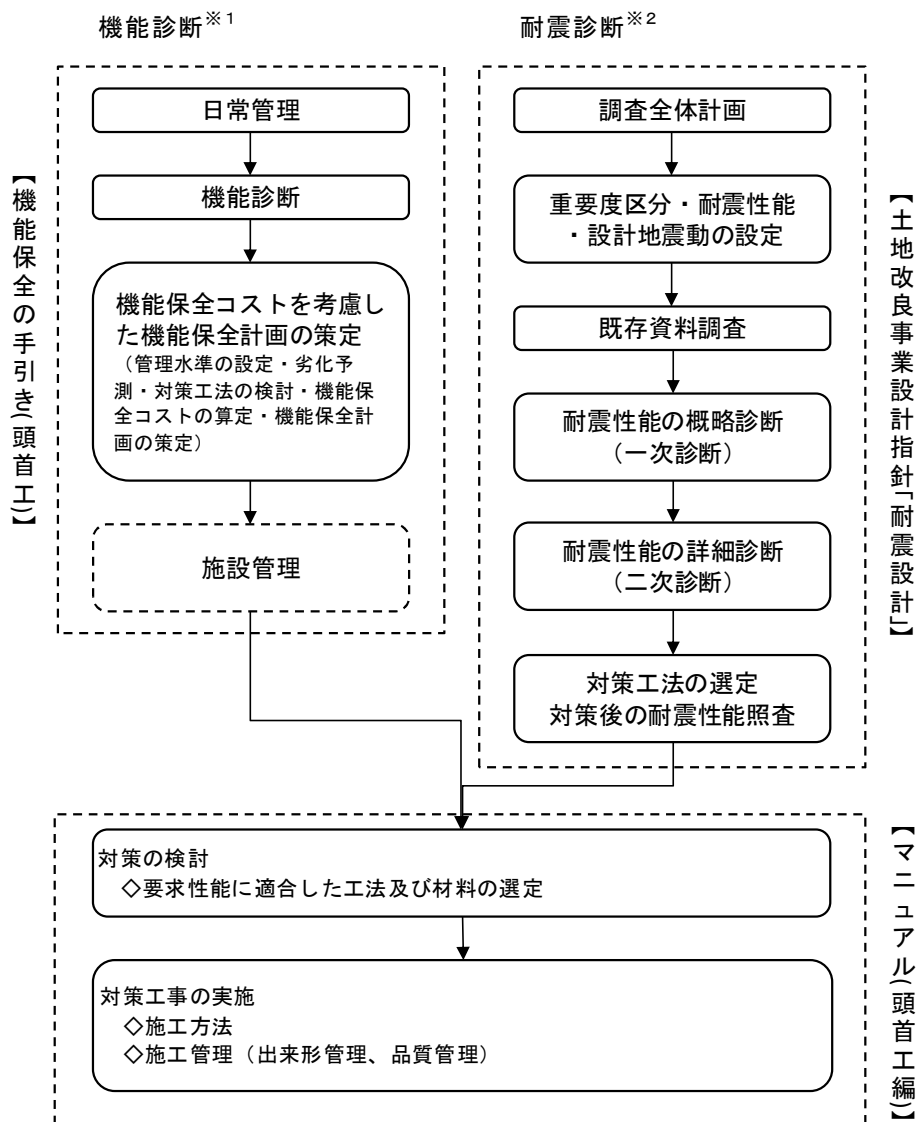


2 補強工法の検討手順

頭首工コンクリート施設の補強は、主に頭首工の構造的耐力を回復又は向上させることを目的として、耐震診断による耐震性能の有無、機能診断結果や機能保全コストを考慮した機能保全計画を踏まえて、対策工法を選定する。

【解説】

補強工法の検討手順を図 2.1-2 に示す。



※ 1 : 農業水利施設機能保全の手引き「頭首工」

※ 2 : 土地改良事業設計指針「耐震設計」

図 2.1-2 補強工法の検討手順

第2 補修・補強工法の種類

1 補修・補強の目的

- (1) 頭首工コンクリート施設の補修・補強は、それ自体に求められる役割、性能だけでなく、補修・補強後の頭首工が有する機能を十分考慮した上で実施しなければならない。
- (2) 頭首工コンクリート施設の補修は、主に頭首工の耐久性を回復又は向上させることを目的として行う。
- (3) 頭首工コンクリート施設の補強は、主に頭首工の構造的耐力を回復又は向上させることを目的として行う。

【解説】

(1)、(2) 及び (3) について

ア 頭首工コンクリート施設の定義

頭首工コンクリート施設とは、頭首工を構成する施設のうち、堰体、堰柱、エプロン等の無筋又は鉄筋コンクリートで築造された施設である。なお、頭首工は、「コンクリート施設」と、ゲート設備、電気設備、水管理制御設備等の「施設機械設備」から構成される「複合施設」であり、これらの構成施設が有機的に結合して、施設全体の機能を発揮している。

イ 頭首工の機能

頭首工は、河川から必要な農業用水を取水する機能を有し、これらの機能は水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。頭首工の性能は、これらの機能を発揮する能力であり、頭首工を構成する施設・設備ごとに複数の性能指標で表すことができる。

頭首工の機能と性能の種類の例を表 2.2-1 に示す。

また、構造機能を確保するためには、浸透路長の確保のため、止水矢板、上下流エプロンの継ぎ目による止水性を確保することが重要である。

例えば、エプロン継ぎ目に止水板が入っていないなど、最新の設計基準と整合が取れない場合には、改修工事等を行う必要がある。

表 2.2-1 頭首工の機能・性能の種類例

機 能		性能の例		指標の例
本来的機能	水利用機能	水利用に対する性能 (水利用性能)	取水性 取水管理制御性 (操作性) 保守管理・保全性 排砂性	取水量(位)、漏水量(水密性)、取水位の管理制御状況、ゲート設備の操作状況、保守管理頻度(費用)、保守の容易性、堆積土砂の位置、量及び排除量
	水理機能	水理に対する性能(水理性能)	通水性・遮断性 流水(洪水) 流下性	取水後の通水量、漏水量、取水口ゲートによる流水の遮断状況、流水(洪水)の流下量、堆積土砂の量
	構造機能	構造に対する性能(構造性能)	力学的安全性 (耐荷性) 耐久性 安定性 設備信頼性 修復性	ひび割れ幅、たわみ量(変形)、ゲート扉体の変形・板厚減少・摩耗量、鉄筋腐食量、ゲート扉体等の腐食・錆・塗膜厚、堰体下流の洗掘、河床材の吸出し、パイピング(湧水の有無)、不同沈下、護岸・高水敷の洗掘、ゲート扉体の振動、ゲート設備の耐用年数・使用時間、ゲート設備の修復部品調達・予備品等の状況
社会的機能			安全性・信頼性 維持管理性 経済性 環境性	故障等履歴(率・件数)、補修履歴、耐震性、安全施設の状況、管理体制の状況、建設費、維持管理経費、騒音、振動、自然環境、景観、歴史的価値、魚類等の遡上・降下

出典：土地改良事業計画設計基準 設計「頭首工」付録 技術書第28章 参考

ウ 補修及び補強の定義

「農業水利施設の機能保全の手引き」における補修及び補強の定義を以下に示す。

<補修及び補強の定義>

補修	：	主に施設の耐久性を回復又は向上させること
補強	：	主に施設の構造的耐力を回復又は向上させること

出典：農業水利施設の機能保全の手引き 用語の解説

補修・補強は、施設の機能を発揮するため必要な性能を回復又は向上させるために行う。

本書では、頭首工のコンクリート施設における補修は、頭首工の構造機能のみならず、水理機能を補修目的の対象とし、頭首工の耐久性や通水性を回復又は向上させることを目的として行うものとする（後述「第3章第1 1 要求性能の特徴」参照）。

補修に求められる性能を列挙すれば以下の通りである。

<本書に定める『補修工法に求められる性能』>

- ◇頭首工の構造機能の耐久性を回復又は向上させる性能
- ◇頭首工の水理機能の通水性を回復又は向上させる性能

エ 補修材料・工法の品質規格

品質規格は補修後の要求性能を確保するため補修に関する材料・工法が備えておくべき性能である。

また、品質規格値は、品質規格の許容できる範囲、限界値を示す。本書に定める品質規格は、頭首工や補修材料の劣化に関する研究論文や他分野の鉄筋コンクリート構造物における規定及び技術図書を参考に規定している（後述「第3章第1 2 要求性能毎の品質規格」及び「第3章第3 エプロン系施設及び魚道の補修工法別の品質規格と照査」参照）。

<本書に定める『補修に用いる材料・工法が備えておくべき性能』>

- ◇頭首工の耐久性を回復又は向上させる性能（中性化抑止性、耐候性、耐摩耗性、耐衝撃性など）に関する照査試験項目と規格値

【対象施設：取入口、魚道、放流施設、沈砂池、堰柱、堰体、床版、エプロン 他】

- ◇頭首工の通水性を回復又は向上させる性能に関する照査試験項目と規格値

【対象施設：取入口、魚道、放流施設、沈砂池】

参考資料

【 コラム ～補修と補強～ 】

「補修」は、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である。

「耐久性」とは、構造物の性能低下の経時変化に対する抵抗性である。

「劣化」とは、時間の経過とともに施設の性能低下をもたらす部材や構造の変化である。

「耐久性の回復又は向上」とは、構造物の時間的な性能低下に対する抵抗性を回復又は向上させることを意味する。

「耐久性の回復又は向上」つまり「補修」は、劣化の進行に対する抵抗性を回復又は向上させる、すなわち劣化の進行を遅らせることと言い換えることができる。

また、摩耗等による通水性の低下や目地部からの漏水などによる水密性の低下の回復についても、「補修」として扱うことができる。

一方、「補強」は主に施設の構造的耐力を回復又は向上させることであり、必ずしも耐久性の回復又は向上を伴うものではない。

しかし実際は、耐久性と構造的耐力はお互いに密接に関係しており、一方を向上させれば他方もある程度向上する。よって補修と補強は、「耐久性」と「構造的耐力」のどちらを主に回復又は向上させるか、その目的によって区別される。

つまり、主たる目的が耐久性の回復又は向上であれば「補修」、構造的耐力の回復又は向上であれば「補強」に分類される。補修・補強の概念を図 2.2-1 に示す。

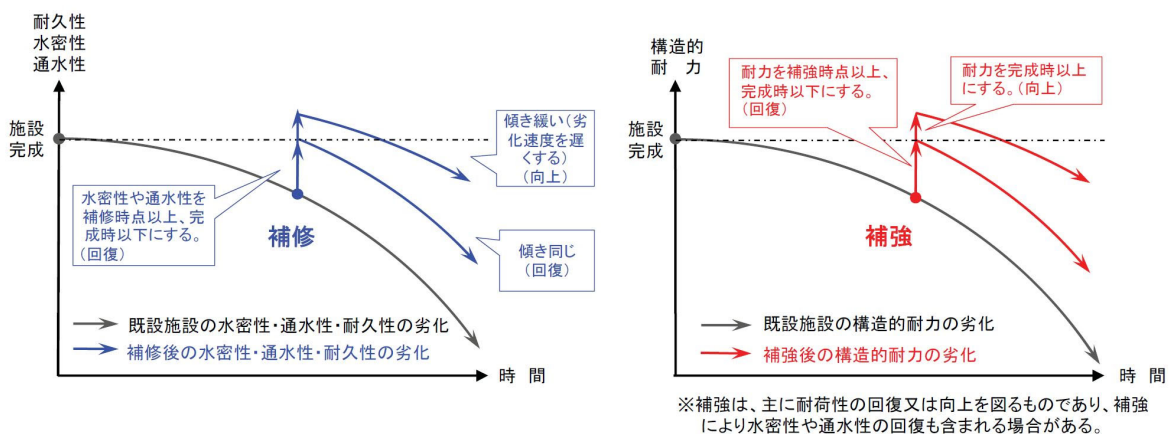


図 2.2-1 補修・補強の概念

●補修の例

- ・鉄筋かぶり不足に対する無機系被覆工法による中性化抑止性や耐摩耗性の向上（耐久性の向上）
- ・摩耗による粗度悪化に対するパネル工法による粗度の改善（通水性の回復）
- ・目地部からの漏水に対する目地補修工法による漏水の遮断（水密性の回復）

●補強の例

- ・鉄筋腐食及び断面減少による部材の耐力低下に対する鋼板接着工法による部材曲げ耐力の付加（耐力の回復）
- ・荷重条件の変更に伴う耐力不足に対する増厚工法による変形構造の改善（耐力の向上）

農業水利施設の長寿命化のための手引き P. 2-13 より

【補足 ～他分野における補修・補強のイメージ～】

コンクリート標準示方書（維持管理編）では、供用開始時の性能を上限とした回復を行うことを補修、供用開始時の性能以上に向上させる行為を補強と定義している。すなわち、補修は耐力の回復も含む概念として整理されている。

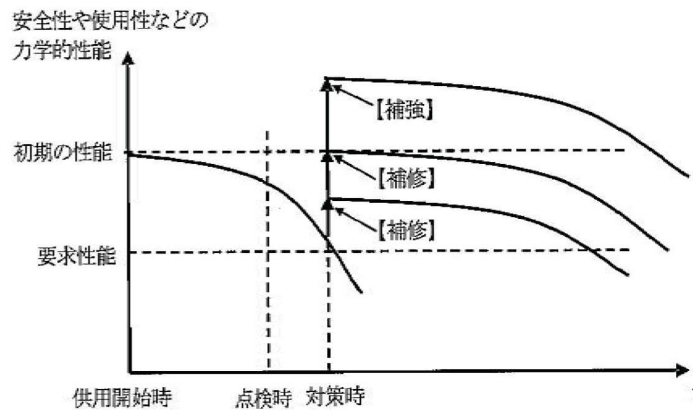


図 2.2-2 補修と補強の概念（コンクリート標準示方書（維持管理編））

【補足 ～補修・補強の定義と農業水利施設の特性～】

国営事業で扱う農業水利施設は比較的規模が大きく、地域の水利システムにおいて社会的に大きな役割を果たすものも多い。

しかし、農業水利施設には規模の小さなものも多く存在し、橋梁、道路トンネルなどの土木構造物と比較して事故等に対する安全性や信頼性などの社会的機能が強く求められない施設も多い。

このことは、耐力が低下した構造物に対して改築工事を実施することが比較的容易なため、補強による対策事例が少ないことにも現れている。これが、農業水利施設のひとつの特性ともいえる。農業水利施設のストックマネジメントにおける補修と補強の定義は、農業水利施設のこのような特性に合致していると言える。

農業水利施設の長寿命化のための手引き P.2-14 より

2 補修工法の種類

- (1) 頭首工コンクリート施設における補修工法を表面処理工法、ひび割れ補修工法、断面修復工法、打換え工法及び目地補修工法に大別する。
- (2) 表面処理工法を表面被覆工法及び表面含浸工法に分類する。
- (3) 表面被覆(保護)工法を無機系被覆工法、パネル工法、有機系被覆工法及び石張工法に区分する。
- (4) 表面含浸工法については、概要のみを示す。

【解説】

(1)、(2)、(3) 及び (4) について

頭首工のコンクリート施設における補修工法を図 2.2-3 のとおり区分する。

既設頭首工の補修工事では、ひび割れ補修、断面修復及び目地補修作業と表面被覆を施す作業が単独あるいは併用で行われていることから、これらを補修工法として取り扱う。

堰体、エプロン等の土砂流による摩耗、洗掘対策として施工する弾性板工法はパネル工法に、高強度コンクリート工法は打換え工法に含める。また、エプロン系施設の補修工法は、水衝部の摩耗等により減少したコンクリート断面・部材の回復、耐摩耗性・耐衝撃性の確保を目的として、図 2.2-3 に示す工法を単独あるいは併用して施工する。

石張工法は、近年、良質石材の入手困難、熟練石工の不足などから石張工法の採用は極めて少なく、国営の頭首工での採用実績も少ないことから、工法概要の記述にとどめる。

また、表面含浸工法は、現段階では農業水利施設への適用実績が十分とは言えないことから、工法概要の記述に留める。

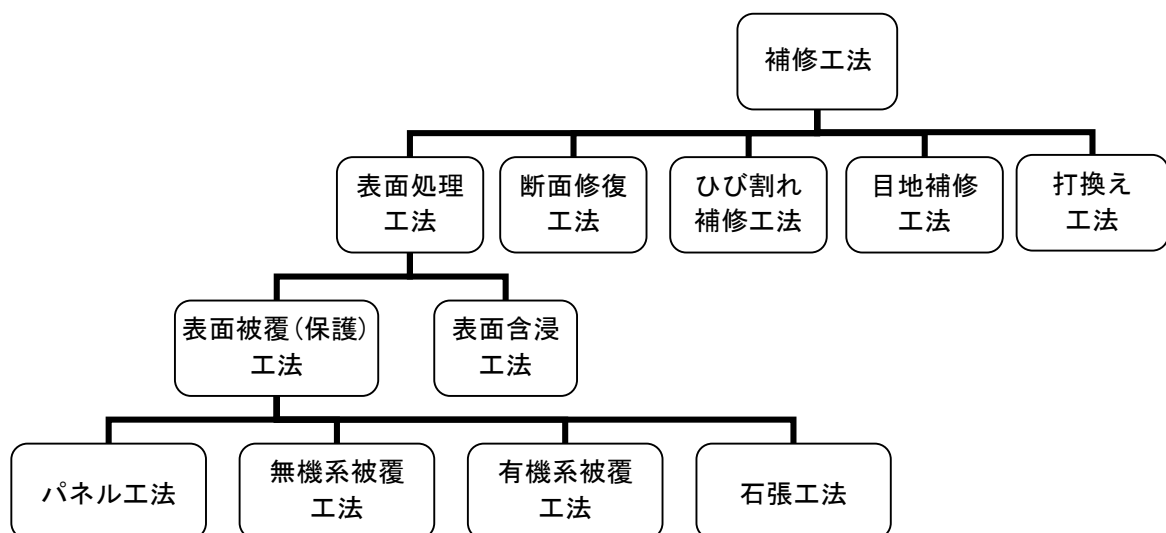


図 2.2-3 補修工法の分類

補修工法を単独で適用する例を図 2.2-4 に示す。

	概念図	施工状況写真（例）	
① 表面被覆工法		<p>無機系被覆工法（取水工）</p>	<p>パネル工法（土砂吐エプロン）</p>
② 断面修復工法		<p>鉄筋防錆材塗布（取水工）</p>	<p>断面修復材打設（取水工）</p>
③ ひび割れ補修工法		<p>ひび割れ充填工法（導流壁）</p>	<p>ひび割れ注入工法（魚道）</p>
④ 打換え工法		<p>既設コンクリートはつり（洪水吐エプロン）</p>	<p>新設コンクリート打設（洪水吐エプロン）</p>

図 2.2-4 各種補修工法の概念図及び施工状況写真（単独での適用例）1/2

	概念図	施工状況写真(例)
⑤ 目地補修工法		

図 2.2-4 各種補修工法の概念図及び施工状況写真(単独での適用例) 2/2

補修工法を併用して適用する例を図 2.2-5 に示す。

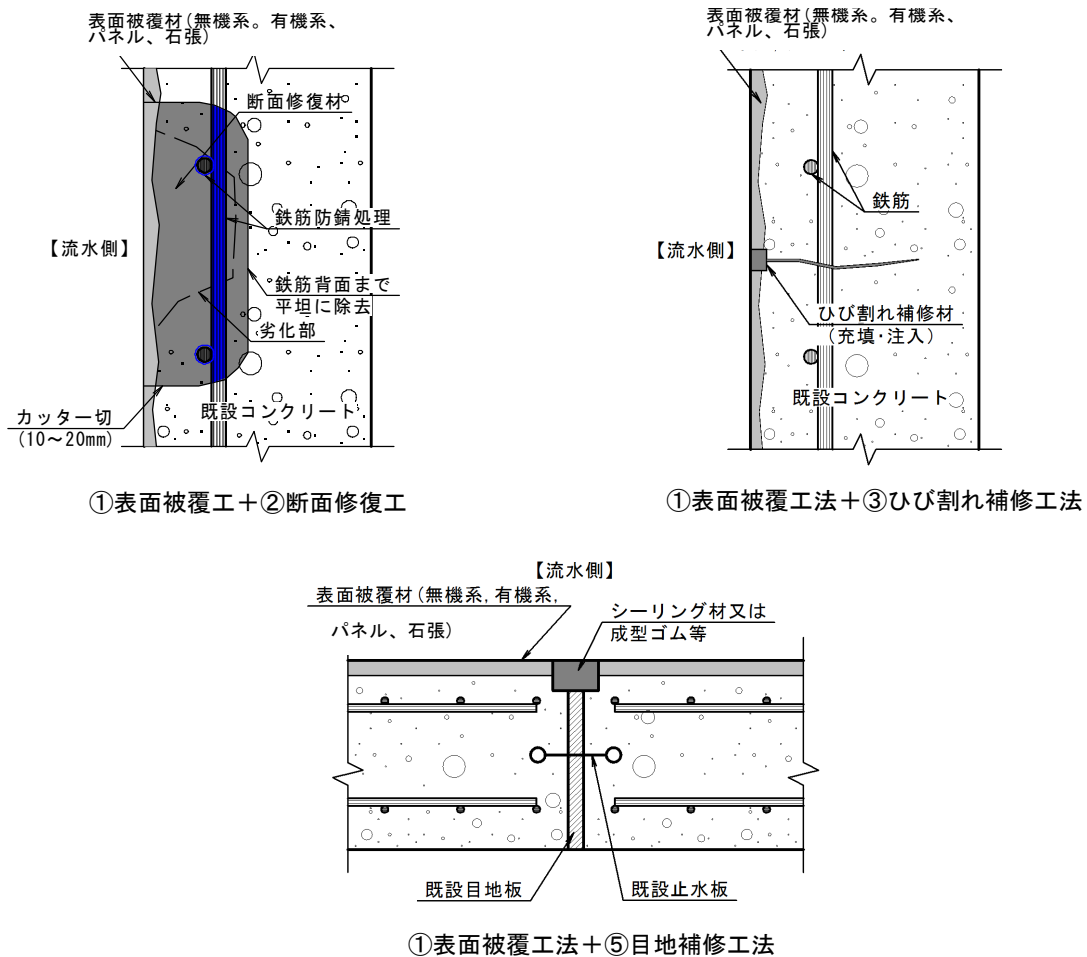


図 2.2-5 各種補修工法の概念図(組合せでの適用例)

3 補強工法の種類

頭首工コンクリート施設における補強工法を接着工法、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+下面鉄筋補強工法及び増杭工法に区分する。

【解説】

頭首工の補強工法を図 2.2-6 のように接着工法、打換え工法、増厚工法、あと施工せん断補強工法及び鋼板巻立て工法、上面増厚+下面鉄筋補強工法及び増杭工法に区分する。

構造的耐力を回復又は向上させる頭首工の補強は、一律に適用できるものではなく、頭首工を構成する各施設においてそれぞれ異なる構造的耐力の低下状況に応じて工法の内容を決めなければならない。

接着工法は、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（炭素繊維シート等）を貼り、耐力の増加・向上を目的として施工するものである。

打換え工法は、エプロン系施設の土砂流による摩耗、洗掘対策による断面修復を目的として施工するものである。補強工法による打換え工法は、構造耐力の不足又は低下した部材に対して構造照査を行い、鉄筋の追加等を含めた構造耐力の強化・向上を目的として施工するものである。

増厚工法は、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、鉄筋コンクリートによる増厚を行い、耐力の増加・向上を目的として施工するものである。

あと施工せん断補強工法は、耐震性能照査によりせん断耐力が不足する堰柱等の施設に削孔してせん断補強鉄筋を打ち込み、一体化させ、せん断耐力の向上を図る工法である。

鋼板巻立て工法は、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、耐力の増加・向上を目的として施工するものである。

頭首工の補強は、不足する構造的耐力に対して、耐力の増加・向上を図ることのできる適切な工法を選定することが重要である。

基礎の変位を抑制する方法として、床版を増設し、必要な場合は増杭する法がある。

また、国営頭首工では実績がないが、床版の曲げ耐力が不足した場合、上面増厚+下面鉄筋挿入工法を採用した橋脚基礎の事例がある。

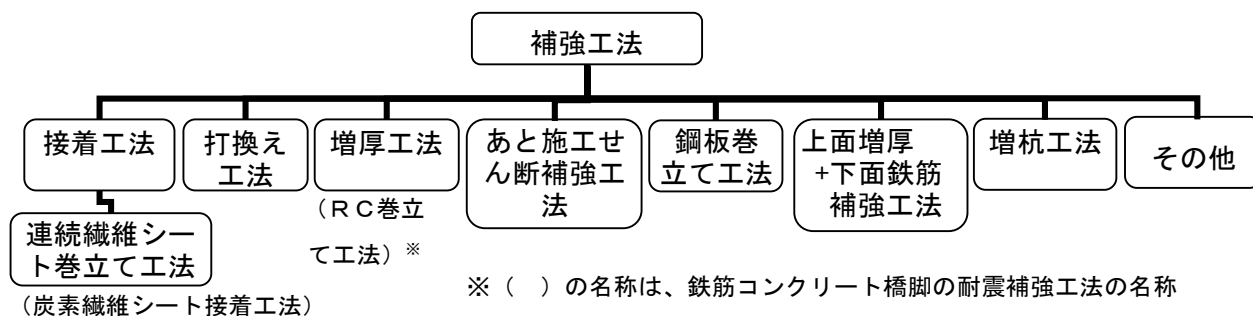


図 2.2-6 補強工法の分類

第3 補修工法の特徴

1 表面被覆(保護)工法

表面被覆工法は、劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分等の侵入の抑制、漏水の遮断、通水性の改善(向上)を目的とし、無機系材料、パネル材料、有機系材料等により被覆する工法である。

表面被覆工法には、無機系被覆工法、パネル工法、有機系被覆工法、石張工法があり、頭首工によって劣化の状況や進行、環境条件、施工条件が大きく異なることから、各補修工法の特徴を踏まえ、要求性能、施工性及び経済性に留意して工法を選定する必要がある。

また、表面被覆工法は、水衝部の摩耗等により減少したコンクリート断面を被覆し、耐摩耗性及び耐衝撃性を確保することを目的として単独あるいは断面修復工法と併用して施工する。なお、気中部の経年劣化の補修にも用いられる。

【解説】

エプロン系施設の表面被覆工法は、前述の通り高い耐摩耗性、耐衝撃性が要求されており、「コンクリート表面に耐摩耗層を造る方法」、「コンクリートに耐摩耗材を混入する方法」、「コンクリート品質を向上させる方法」として、表 2.3-1 に示す工法がある。

表 2.3-1 コンクリート表面被覆工法の種類^{※1}

コンクリート表面に耐摩耗層を造る方法	コンクリートに耐摩耗材を混入する方法	コンクリート品質を向上させる方法
石張工法 鋼板張工法 エポキシ樹脂モルタル工法 弾性板工法 鋳鋼板工法 超高強度繊維補強コンクリート	鉄粉コンクリート工法 スチールグリッド工法	真空コンクリート工法 グラノリシックコンクリート工法 高強度コンクリート工法

上記の表面被覆工法は、これまでに施工実績があった工法であり、施工性や経済性の問題等により、近年の施工実績がない工法も存在する。また、無機系被覆工法と有機系被覆工法については、開水路を対象とした補修工法を適用している事例もあり、エプロン系施設に用いる場合は、期待される耐用期間内に表 3.1-2 (P.3-8) の品質規格を満たすことを確認し採用するものとする。

国営頭首工における補修工事の施工実績がある工法について、その特徴を表 2.3-2 に示す。

表 2.3-2 エプロン系施設の補修工法の特徴(参考)

工法名	無機系被覆工法	パネル工法		有機系被覆工法	石張工法	打換え工法 (高強度コンクリート工法)
	耐摩耗ポリマーセメントモルタル工法	超高強度繊維補強コンクリートパネル工法	弾性板工法	耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法		
耐摩耗性	△	○	○	○	◎	○
耐衝撃性	△	○	◎	△	◎	○
施工性	◎	○	◎	○	△	△
経済性	◎	○	△	○	○	◎
特記	施工性、経済性にすぐれている。	耐摩耗性、耐衝撃性及び施工性は良好なため、実施例が多い。	耐衝撃性に優れており、砂防ダム等実績は多い。	耐摩耗性は良好であるが、母材との付着に注意を要する。	耐摩耗性、耐衝撃性に優れているが最近の実施例は少ない。	経済性に優れ、実施例が多い。

(凡例) ◎ 最適 ○ 適 △ 現場条件を踏まえ可

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

次に、国営頭首工における表面被覆工法の事例を示す。

① 超速硬性セメントモルタル工法（無機系被覆工法）

超速硬性セメントモルタル工法は、洗掘部又は脆弱部を高压洗浄等で処理した後、断面修復工法により欠損部を充填し、表面をセメント系又はポリマーセメント系の無機系被覆材により被覆する工法である。

なお、松田等の鋼球落下試験^{※1}では、ポリマーセメントモルタルの厚さが 10 mm の場合は、長期耐久性が期待できず、30 mm 以上にした場合は母材への保護効果が期待できるという結果が報告されている。よって、超速硬性セメントモルタル工法をエプロン系施設に用いる場合は、被覆厚さを 30 mm 以上確保した上で、期待される耐用期間内に表 3.1-2 の品質規格を満たすことを確認し採用するものとする。

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)(以下、「高度化事業」という。)及び更新事業において施工された超速硬性セメントモルタル工法の施工実績の概要を表 2.3-3 に示す。

表 2.3-3 国営頭首工における超速硬性セメントモルタル工法の実例

頭首工名	施工位置	被覆厚さ	材 料
MA頭首工	エプロン	22 mm	セメント系
ST頭首工	エプロン	10 mm	ポリマーセメント系

② 耐摩耗ポリマーセメントモルタル工法（無機系被覆工法）

耐摩耗ポリマーセメントモルタル工法は、既設コンクリート表面に耐摩耗性のポリマーセメントモルタルと吸水調整材を用いるもので、耐摩耗性に優れる。

なお、はつり作業を行っていない場合、下地コンクリートから剥離しやすいため、採用にあたっては、下地処理の詳細な検討が必要である。また、エプロン系施設に用いる場合は、期待される耐用期間内に表 3.1-2 の品質規格を満たすことを確認し採用するものとする。

高度化事業及び更新事業において施工され、その効果があったことが報告された耐摩耗ポリマーセメントモルタル工法の施工実績の概要を表 2.3-4 に示す。

表 2.3-4 国営頭首工における耐摩耗性ポリマーセメントモルタル工法の実例

頭首工名	施工位置	被覆厚さ
MA頭首工	エプロン	15 mm

※1 出典：松田展也等：農業農村工学会論文集 衝撃摩耗に対するモルタル系水路補修材の耐久性評価

③ 高強度コンクリートパネル工法（パネル工法）

高強度コンクリートパネル工法は、はつり作業や高圧洗浄を行い、脆弱部を除去した後、高強度コンクリート（圧縮強度 100 N/mm² 以上）や高耐久性レジンコンクリート（圧縮強度 80 N/mm² 以上）製のパネルにより被覆する工法である。

高度化事業及び更新事業において施工され高強度コンクリートパネルの施工実績の概要を表 2.3-5 に示す。

表 2.3-5 国営頭首工における高強度コンクリートパネル工法の事例

頭首工名	施工位置	被覆厚さ	材 料
SM頭首工 MY頭首工	エプロン	20 mm	高強度レジン コンクリート
I 頭首工	エプロン	80 mm	高強度プレキャスト コンクリート

④ 超高強度繊維補強コンクリートパネル工法（パネル工法）

超高強度繊維補強コンクリートパネルは、圧縮強度 150 N/mm² 以上、ひび割れ発生強度の特性値が 4 N/mm² 以上、引張強度特性値が 5 N/mm² 以上の繊維補強を行ったセメント質複合材による二次製品パネルである。このパネル工法は、はつり作業や高圧洗浄を行い、脆弱部を処理した後、超高強度繊維補強コンクリートパネルで被覆する工法である。

高度化事業及び更新事業において施工された超高強度繊維補強コンクリートパネル工法の施工実績の概要を表 2.3-6 に示す。

表 2.3-6 国営頭首工における超高強度繊維補強コンクリートパネル工法の事例

頭首工名	施工位置	パネル厚さ	材 料
G 頭首工	エプロン	30 mm	超高強度繊維補強 コンクリート
OB 頭首工	エプロン	30 mm	超高強度繊維補強 コンクリート
	越流堰	50 mm	超高強度繊維補強 コンクリート
OK 頭首工	エプロン	50 mm	超高強度繊維補強 コンクリート

⑤ 弾性板工法（パネル工法）

弾性板工法はゴムと鋼板の一体成型構造で、転石や玉石の流下による衝撃力の分散・緩和効果を発揮するため、耐摩耗性、耐衝撃性に優れる工法である。鋼板をゴム内部に封入して加硫接着された密着構造で、空気、水等の腐食要因から遮断された耐腐食構造である。

このパネル工法は、はつり作業や高圧洗浄を行い、脆弱部を処理した後、弾性板で被覆する工法である。

高度化事業及び更新事業において施工された弾性板工法の施工実績の概要を表 2.3-7 に示す。

表 2.3-7 国営頭首工における弾性板工法の事例

頭首工名	施工位置	パネル厚さ	材 料
MZ 頭首工	エプロン上流	25 mm	ゴム及び SS400

⑥ その他のパネル工法

FRP パネル及び FRPM パネル工法は、洗掘部又は脆弱部を高圧洗浄等で処理した後、緩衝材を取り付け、その後、パネルで被覆する工法である。なお、FRP パネルは現在、生産中止となっている。

FRPM パネルは軽量であるため、工事を行いやすいが、高強度コンクリートパネルや弾性板に比べて、耐衝撃性、耐摩耗性に劣ることから、既設コンクリートの摩耗速度、河床砂礫の流下の有無などの状況を踏まえ、採用には注意を要する。

高度化事業及び更新事業において施工されたその他のパネル工法の施工実績の概要を表 2.3-8 に示す。

表 2.3-8 国営頭首工におけるその他のパネルの事例

頭首工名	施工位置	パネル厚さ	材 料
SM 頭首工	エプロン	20 mm	FRP (現在生産中止)
MY 頭首工			FRPM

⑦ 耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法（有機系被覆工法）

耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法は、既設コンクリート表面に耐摩耗性のエポキシ樹脂コンクリート、樹脂及び珪砂を練り合わせたエポキシ樹脂モルタルを打設するもので、耐摩耗性に優れる。

なお、下地コンクリートからの剥離が難点であり、また、モルタル層が薄いと効果が少ない^{※1}ため、採用に当たっては注意を要する。

高度化事業及び更新事業において施工された耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法の施工実績及び被覆厚さを表 2.3-9 に示す。

表 2.3-9 国営頭首工における耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法の事例

頭首工名	施工位置	被覆厚さ	材料
I 頭首工	エプロン	50 mm	耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル

⑧ ポリウレタン樹脂ライニング工法（有機系被覆工法）

有機系被覆工法は、洗掘部又は脆弱部を高圧洗浄等で処理した後、断面修復工法により欠損部を充填し、表面を有機樹脂系被覆材で被覆する工法である。

地下水が母材から浸入すると、剥離することがあるため、地下水位の高い現場では採用に当たり注意を要する。

高度化事業及び更新事業において施工された有機系被覆工法の施工実績及び被覆厚さを表 2.3-10 に示す。

表 2.3-10 国営頭首工におけるその他の有機系被覆工法の事例

頭首工名	施工位置	被覆厚さ	材 料
MA 頭首工	エプロン	2 mm	ポリウレタン樹脂
		9.6 mm	ポリウレタン樹脂

⑨ 石張工法

石張工法は、流砂、転石等による摩耗の著しい固定堰、護岸工等において採用される表面被覆工法であり、景観への配慮が必要な場合の補修工法としても用いられる。

※1 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 25.1.1 コンクリート表面に耐摩耗層を造る方法参照。

(1) 無機系被覆工法

無機系被覆工法は、劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分等の侵入の抑制、漏水の遮断、通水性の改善（向上）を目的とし、主としてポリマーセメントモルタルを用いて被覆する工法である。主な対象施設は、取入口、附帯施設（放流施設、沈砂池等）等のその他施設や魚道である。

ア 材料

表面被覆材として使用されるポリマーセメントモルタルは、セメント、細骨材、セメント混和用ポリマー、混和材、補強用繊維等から構成される。材料・工法によって構成材料の種類や配合が異なる。

イ 工法

無機系被覆工法の施工方法は、左官工法と吹付け工法の 2 種類があり、いずれも下地処理工、表面被覆工（プライマー工、モルタル被覆工等）及び養生工を行う。なお、材料・工法によりプライマー工を必要としないものもある。

無機系被覆工法については、開水路を対象とした補修工法として開発されている材料・工法が大半を占めるため、エプロン系施設に用いる場合は、期待される耐用期間内に表 3.1-2 の品質規格を満たすことを確認し採用するものとする。

【解説】

ア 材料について

無機系被覆工法の材料は、主にポリマーセメントモルタルなどが使用される。ポリマーセメントモルタルは、流動性や接着強さなどモルタルの性質を改質する目的で、様々なセメント混和用ポリマーが配合されており、その配合は各製品により異なる。

セメント混和用ポリマーは、水性ポリマーディスパーション及び再乳化系粉末樹脂の 2 種類に大別され、ポリアクリル酸エステル系樹脂エマルジョンやエポキシ樹脂系エマルジョン等が使用されている。

表面被覆材として使用するポリマーセメントモルタルの主な構成材料の例を次頁の表 2.3-11 に示す。

なお、令和 3 年度時点において、無機系被覆工のエプロン系施設に対する実績は少ないため、エプロン系施設に無機系被覆工を適用する場合は、期待される耐用期間内に表 3.1-2 の品質規格を満たすことを確認の上、適用について総合的に検討する必要がある。

表 2.3-11 ポリマーセメントモルタルの構成材料の例

主な構成材料	構成材料に関する特記事項
セメント	早強セメントなどが用いられる。セメントの種類や量により、各種強度及び硬化特性（強度発現、寸法安定性等）が異なる。
細骨材	乾燥珪砂などが用いられる。細骨材の粒径、粒度分布及び量により、作業性、耐摩耗性及び流水摩耗後の表面粗度が異なる。
セメント混和用ポリマー	ポリマーの種類や配合により、強度、耐水性等の性能が異なる。 P/C（セメント質量に対するポリマー成分の配合割合。ポリマーセメント比。）は、一般的に5～30%程度である。 セメント材料にセメント混和用ポリマーがプレミックスされている一材型、配合時にセメント材料とセメント混和用ポリマーを混ぜて使用する二材型がある。
混和材	膨張材、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカヒュームなどが用いられる。混和材の種類や量により、作業性、寸法安定性、密実性などが異なる。
補強用繊維	短繊維の種類や添加量により、①作業性、②初期ひび割れ抑止性、③厚付け性、④ひび割れ抵抗性などが異なる。 短繊維をコンクリート体積率で0.1～0.3%添加し、上記①～③を改質しているものが多いが、2%程度まで増やした高靱性繊維補強セメント複合材料や、繊維メッシュの併用により、ひび割れ抵抗性を向上させる工法も開発されている。

イ 工法について

（ア）施工の概要

無機系被覆工法は、モルタル被覆の施工方法により、左官工法と吹き付け工法に分類される。左官工法は、被覆モルタルの塗り付けから仕上げまでの全ての工程を左官工がコテを用いて施工する。

一方、吹き付け工法は、専用の吹き付け機械を用いて被覆モルタルを吹き付けた後、表面をコテで平滑に仕上げる（写真2.3-1～2参照）。



写真 2.3-1
無機系被覆工法（左官工法）
沈砂池側壁の施工状況



写真 2.3-2
無機系被覆工法（吹き付け工法）
導流壁の施工状況

頭首工の取入口、附帯施設（魚道、沈砂池等）のコンクリート表面は、長期の水流摩耗等により粗骨材が露出し、凹凸や断面欠損を生じていることが多い。無機系被覆工法では、一般的に 5～15 mm 程度の厚さで施工が可能なポリマーセメントモルタルを使用する。このため不陸調整工と表面被覆工を同一材料で同時に施工することができ、工期の短縮が可能である。

施工後は、コンクリートと同様の養生が必要であり、施工箇所への立ち入りや通水の開始は、所定の強度が発現した後に行わなければならない。冬季に施工する場合は、初期凍害に対する注意が必要であり、コンクリートと同様に加温養生等の寒中施工の対策が必要である。

また、乾燥により、ポリマーセメントモルタルにひび割れが発生することを抑制するため、直射日光や強風に対する養生についても考慮する必要がある。

(イ) 施工手順

無機系被覆工法の施工は、下地処理工の後に表面被覆工（プライマー工、モルタル被覆工）と養生工を行う。

プライマー工に用いられる主な材料を以下に示す。プライマーは製品によって標準使用量や施工方法が異なるため、十分な注意が必要である。なお、プライマー工を必要とせず、下地コンクリートの乾燥状態に応じて水湿しのみを行う工法もある。

【無機系被覆工法に使用されている主なプライマーの例】

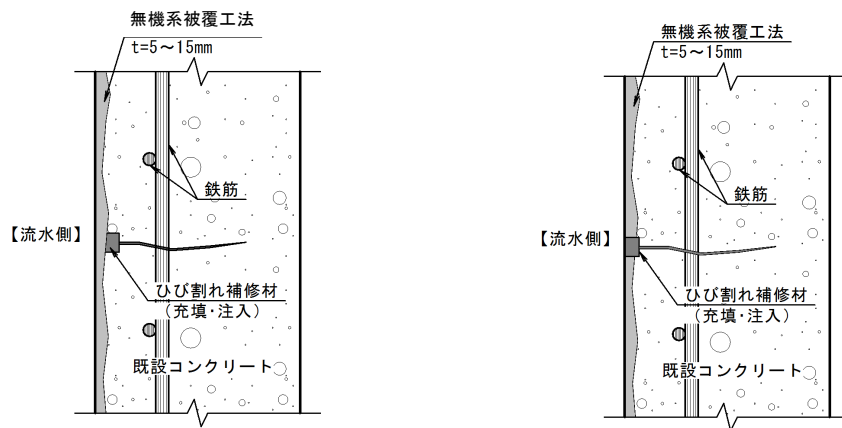
- ・ポリマーエマルジョン（アクリル系など）
- ・水性の樹脂系接着材（水性エポキシ樹脂など）
- ・無溶剤型の樹脂系接着材（打継用エポキシ樹脂系接着材など）

(ウ) その他の特徴

無機系被覆工法には、被覆断面の構成が無機系材料単層のものや、無機系材料の仕上げ材（上塗り）として有機系被覆材を使用し保護する複層によるもののほか、無機系材料の中に短繊維あるいは繊維のメッシュ材料を入れることによりひび割れへの抵抗効果を持たせるものなど多くの種類が開発されているが、本書では、被覆断面が単層のものを対象とする。

また、既設構造物の躯体に幅が変動するひび割れが存在する場合の留意事項として、無機系表面被覆材は十分なひび割れ追従性を有していないため、施工後にひび割れが生じる可能性が挙げられる。施工後の被覆表面にひび割れの発生を許容しない場合は、既設構造物のひび割れの発生要因、幅の変動及び今後の挙動を検討し、状況に応じたひび割れ対策（詳細は第 2 章第 3 2 ひび割れ補修工法参照）を併用する。

なお、表面被覆工とひび割れ補修工を併用する場合には、図 2.3-1 に示すように (a) 表面被覆を行う前にひび割れ補修を行い、その上に被覆を行う方法と、(b) ひび割れ部を除き表面被覆を行った後、ひび割れ補修を行う方法がある。



(a) ひび割れ補修後に表面被覆を行う方法 (b) 表面被覆後にひび割れ補修を行う方法

図 2.3-1 無機系被覆工法(ひび割れ補修工併用)の概要図

無機系被覆工に用いられるポリマーセメントモルタルは、ポリマー成分の含有量が少ないため、セメントモルタルに近い物性を有している。その耐候性はセメントモルタルと同等と考えられ、有機系被覆材に比べ耐候性が優れている。

また、同様に、セメントモルタルに近い難燃性と表面硬度を有している。

無機系被覆工法は、魚道やその他施設の劣化因子の侵入の抑制や通水性の改善を目的とした補修工法であるが、河床砂礫が少ない頭首工のエプロンにおいて試験的に採用された事例がある^{※1}。ただし、無機系被覆工法は被覆厚が薄く、耐衝撃性も低いことから、エプロン系施設の耐摩耗層として採用する場合には注意を要する。

※1 積雪寒冷地のMA頭首工及びST頭首工の固定堰及び下流エプロン部分に対して、無機系被覆工法による試験施工及びモニタリング調査が実施されている。

(2) パネル工法

パネル工法は、劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分等の侵入の抑制、漏水の遮断、通水性の改善（向上）、摩耗・衝撃対策として、パネルを設置することにより既設構造物の表面を被覆する工法である。

ア 材料

パネル工法には、超高強度繊維補強コンクリートパネル、ポリマー含浸 SUS 繊維補強コンクリートパネル、高強度コンクリートパネル、レジンコンクリートパネル、弾性板、強化プラスチック複合パネル等があり、パネルの厚さやアンカーの固定部が異なる。

イ 工法

パネル工法は、土砂流による損耗が著しいエプロン系施設の補修からその他施設の表面補修まで広範に適用できる。

パネル工法については、エプロン系施設とその他施設のどちらの施設を対象にするかによって、品質規格及び期待される耐用年数が異なる点に注意が必要である。エプロン系施設については、表 3.1-2 の品質規格を満足するものを原則とする。また、その他系施設については、表 3.1-3 を満足するものとする。

【解説】

ア 材料について

パネル工法における主な使用材料（例）を表 2.3-12 に示す。

パネル材料としては、超高強度繊維補強コンクリートパネル、ポリマー含浸 SUS 繊維補強コンクリートパネル、高強度コンクリートパネル、レジンコンクリートパネル、弾性板等があるが、いずれも工場生産であるため品質は安定しており、各種の強度特性に優れている。

表 2.3-12 パネル工法の主な使用材料（例）

材 料	アンカー固定方式
パネル材料	超高強度繊維補強コンクリートパネル ポリマー含浸 SUS 繊維補強コンクリートパネル 高強度コンクリートパネル レジンコンクリートパネル※1 弾性板 強化プラスチック複合パネル
固定材料	金属拡張式アンカーボルト 二液注入型接着系アンカーボルト
パネル目地材	樹脂系目地材等※2 成型目地材
グラウト	無収縮モルタル系注入材 緩衝材（発砲ポリエチレン等）
アンカー頭部 孔埋処理材	弾性シーリング材 エポキシ樹脂 ゴム

※1 コンクリートは骨材等の結合材としてセメントを用いるが、レジンコンクリートは結合材としてセメントの代わりに樹脂（不飽和ポリエステル樹脂等）で骨材を固めた材料である。

※2 パネル目地材は耐水性、耐摩耗性に優れたシーリング材を使用すること。

(ア) 超高強度繊維補強コンクリートパネル

超高強度繊維補強コンクリートパネルは、圧縮強度 150 N/mm² 以上、ひび割れ発生強度の特性値が 4 N/mm² 以上、引張強度特性値が 5 N/mm² 以上の繊維補強を行ったセメント質複合材による二次製品パネルである。施工例を写真 2.3-3、写真 2.3-4 に示し、次に主な特徴を示す。

- ①頭首工や砂防ダムといった、摩耗による劣化が著しい構造物の対策工法として有効である。
- ②塩害や凍害などの経年劣化にさらされる構造物に高い抵抗性を付与できる。
- ③粗度係数が 0.012 以下と従来コンクリートよりも小さく、補修後の水理性能を改善できる。
- ④流線型構造物に対応可能で、また、景観向上目的とした着色対応が可能である。
- ⑤施工荷重に耐える十分な曲げ強度剛性を有する。



写真 2.3-3 超高強度繊維補強
コンクリートパネル工法の施工例
(OK頭首工エプロン)



写真 2.3-4 超高強度繊維補強
コンクリートパネル工法の施工例
(G頭首工エプロン)

(イ) 弾性板

弾性板は、ゴムと鋼板の一体成型構造で、転石や玉石の流下による衝撃力の分散・緩和効果を発揮するため、耐摩耗性、耐衝撃性に優れる。鋼板を、ゴム内部に封入し、加硫接着された密着構造で、空気、水等の腐食要因から遮断された耐腐食構造である。主な特徴は以下のとおりである。

- ①優れた耐摩耗性を有する。
- ②ゴムと鋼板の一体成型構造で、衝撃力の分散・緩和効果を発揮する。
- ③埋設した鋼板はゴムで完全に被覆され、空気・水等の腐食要因から遮断された構造であるため、耐腐食耐酸性構造である。

次頁の図 2.3-2 に弾性板工法の断面例、写真 2.3-5 に施工例を示す。

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

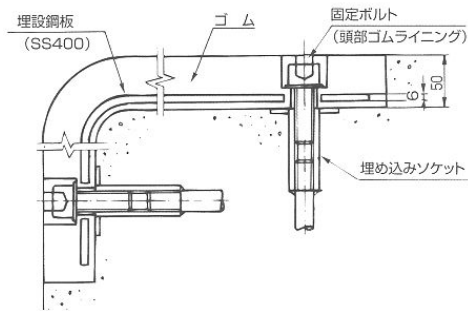


図 2.3-2 弾性板工法の断面例



写真 2.3-5 弾性板工法の施工例
(MZ頭首エプロン)

イ 工法について

(ア) 施工の概要

アンカー固定方式は、既設構造物の表面にパネル板を金属系アンカー又は接着系アンカーにより設置し、グラウト材等により間隙を充填する方式である。

アンカー固定方式は、適正なアンカーの仕様・長さ・本数を選択する。

アンカー固定方式の標準的な平面図及び断面図を図 2.3-3、図 2.3-4 に示す。

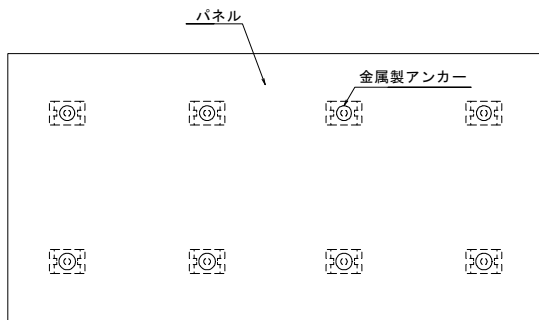


図 2.3-3 アンカー固定方式パネル工法の
平面図

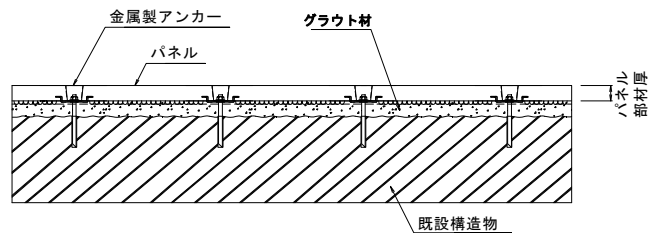


図 2.3-4 アンカー固定方式パネル工法の
断面図

(イ) 施工手順

アンカー固定方式の施工手順は、グラウト材の材料により異なる。

グラウト材に無収縮モルタル系注入材を用いる場合は、下地処理工後にレベル調整を行い、パネルをアンカーで固定する。その後、設置したパネルと既設構造物の間隙に無収縮モルタル系注入材を充填し、養生工を行う。

エプロンのパネル設置状況とエプロンのグラウト材注入状況を次頁の写真 2.3-6、写真 2.3-7 に示す。



写真 2.3-6

パネル工法（超高強度繊維補強コンクリート）
エプロンのパネル設置状況

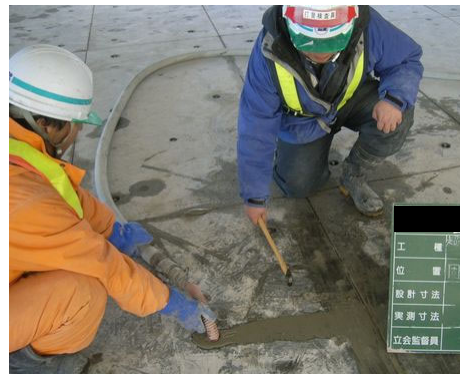


写真 2.3-7

パネル工法（超高強度繊維補強コンクリート）
エプロンのグラウト材注入状況

既設構造物の表面に接着させる場合の施工手順は、下地処理工、プライマー工の後、モルタル敷均しパネル設置と養生工を行う。あるいは、パネル工設置後に樹脂注入工と養生工を行う場合もある。

プライマーは、既設構造物の表面及びパネル工裏面に均一に塗布する。また、モルタル敷均し工及び樹脂注入工は、パネルと既設構造物の接着を確保するものであり、間に空気溜りなど空洞が発生しないように施工し、注入後は打診検査等で確実に充填されていることを確認する。

モルタルの敷均し状況とグラウト材の締め固め状況を写真 2.3-8、写真 2.3-9 に示す。



写真 2.3-8

パネル工法（レジンコンクリート）
エプロンの不陸調整用モルタル敷均し状況

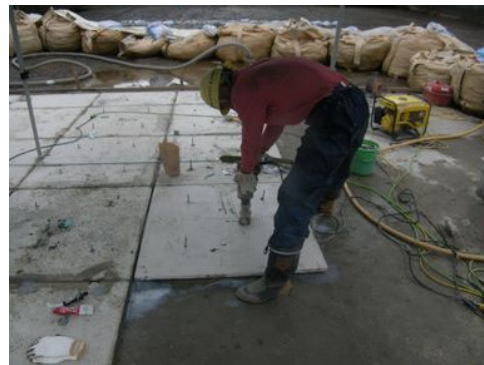


写真 2.3-9

パネル工法（レジンコンクリート）
エプロンのグラウト材締め固め状況

(ウ) その他の特徴

パネル材は、中性化の原因となる二酸化炭素の侵入量が少ない材料で製造されており、また、材料厚もあるため、パネル背面の空隙が適切に充填されることにより既設構造物のコンクリートの中性化の進行に対して高い抑制効果が期待できる。

なお、土砂流による損耗が著しいエプロン系施設の耐摩耗層としてパネル工法を採用する場合、既設構造物のコンクリートの摩耗速度、パネル材料の強度・耐摩耗性から、材料選定及びパネル厚の決定を行う必要がある。頭首工のエプロンにおいて、強化プラスチック複合板、レジンコンクリート板が採用された実績がある^{※1}が、超高強度繊維補強コンクリート板及び弾性板に比べて耐摩耗性に劣ることから、エプロン系施設の耐摩耗層として採用するには、既設構造物のコンクリートの摩耗速度、河床砂礫の流下の有無等に注意する必要がある。

^{※1} 技術高度化事業において、SM頭首工のエプロン及びMY頭首工の土砂吐き下流エプロンに対して、レジンコンクリートパネル、FRPMパネル、FRPパネルによる試験施工及びモニタリング調査が実施されている。同様にI頭首工の制水門6号エプロンに対してレジンコンクリートパネルによる試験施工及びモニタリング調査が実施されている。

(3) 有機系被覆工法

有機系被覆工法は、劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分等の侵入の抑制、漏水の遮断、通水性の改善（向上）を目的とし、主としてエポキシ樹脂やウレタン樹脂等の熱硬化性樹脂（常温硬化型）を用いて被覆する工法である。主な対象施設は、取入口、附属施設（放流施設、沈砂池等）等のその他施設や魚道である。

なお、エプロン系施設の耐摩耗性及び耐衝撃性試験の規格値を満足する製品は、エプロン系施設に使用することができる。

ア 材料

有機系被覆材として使用される熱硬化性樹脂には、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、ポリウレア樹脂、アクリルウレタン樹脂等がある。有機系被覆材料は、使用する材料の相違によって適用効果が異なる。

イ 工法

有機系被覆工法の施工方法は、塗り付け型と吹付け型の 2 種類があり、いずれも下地処理工と表面被覆工（プライマー工、中塗り工、上塗り工）及び養生工を行う。必要に応じて不陸調整工を行う。

有機系被覆工法については、開水路を対象として開発されている材料・工法が大半を占める。

これまでに、エプロン系施設に使用されている事例はあるが、耐摩耗性や期待される耐用年数については不明な点も多い。エプロン系施設に用いる場合は、期待される耐用期間内に表 3. 1-2 の品質規格を満たすことを確認し、採用するものとする。

【解説】

ア 材料について

頭首工コンクリート施設における有機系被覆工法の材料には、主にエポキシ樹脂やポリウレタン樹脂、ポリウレア樹脂などの常温硬化型の熱硬化性樹脂が使用されている（表 2. 3-13 参照）。

通常、数種類の被覆材を塗り重ねて被覆層を形成し、総合的に機能を発揮させる（図 2. 3-5 参照）樹脂の層を複数組み合わせる場合及び樹脂に若干量の珪砂等を配合した層、シート等を組み合わせる場合がある。製品により層の材質や組み合わせが異なる。

表 2. 3-13 表面被覆工法に使用される主な有機系樹脂の特徴（例）

項目	一般的な特徴
エポキシ樹脂	エポキシ樹脂は、分子中にエポキシ基を 2 個以上もった化合物（主剤）と分子中に活性水素を 2 個以上持った硬化剤とが付加反応重合して硬化し、塗膜は硬質のものが多く、耐水性・耐アルカリ性、コンクリートに対する接着性に優れている。
ポリウレタン樹脂	ポリウレタン樹脂は、イソシアネート基を 2 個以上もつ化合物と水酸基を 2 個以上持つポリオール樹脂からなる無溶剤形ポリウレタン樹脂で、塗膜は柔軟なものが多く、速硬化性・ひび割れ追従性に優れる。
ポリウレア樹脂	ポリウレア樹脂は、イソシアネート基を 2 個以上もつ化合物とアミン樹脂からなる無溶剤形ポリウレア樹脂で、塗膜は柔軟なものが多く、速硬化性・ひび割れ追従性に優れる。
アクリルウレタン樹脂	アクリルウレタン樹脂は、アクリルポリオールと芳香族環を含まないイソシアネートからなる溶剤型アクリルウレタン樹脂で、耐候性に優れることから、トップコートに用いられる。
エポキシ樹脂モルタル	エポキシ樹脂モルタルは、エポキシ樹脂と耐摩耗性骨材を用途別に配合したモルタルで、耐摩耗性・耐衝撃性に優れる。

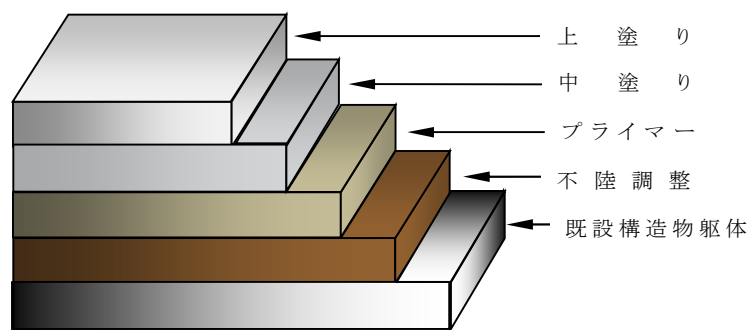


図 2.3-5 有機系被覆工法の被覆断面例

イ 工法について

(ア) 施工の概要

頭首工のコンクリート施設における補修には、主に被覆材料を現場で塗布する塗布型被覆工法が用いられている。施工方法は、刷毛・ローラー等を用いる塗り付け型、吹付け機を用いる吹付け型に分類される（表 2.3-14 参照）。

表 2.3-14 塗布型被覆工法の分類

工 法		概 要	特 徴
塗り付け型	樹脂被覆工法	補強材を含まない樹脂だけの工法	比較的施工が容易
	積層被覆工法	ガラスクロス等の補強材を併用する工法	補強効果が得られる
	樹脂モルタル被覆工法	珪砂等の骨材を配合した樹脂を用いる工法	耐摩耗性に優れる
吹付け型		材料に応じた専用吹付け機を用いて吹付け作業を行う工法	可使時間の短い樹脂にも適用が可能。専用吹付け機の管理が必要

① 塗り付け型

刷毛やローラー等を用いて、施工面に被覆材を塗り付けて塗膜を形成する工法である。樹脂だけの「樹脂被覆工法」、ガラス繊維等の補強材を用いた「積層被覆工法」、珪砂等の骨材を用いた「樹脂モルタル被覆工法」に区分される（写真 2.3-10 参照）。主として樹脂被覆工法及び積層被覆工法は、頭首工コンクリート施設のうち、土砂流による損耗を受けにくいその他施設を被覆する工法であり、樹脂モルタル被覆工法は、土砂流による損耗が著しいエプロン系施設を被覆する工法である。

なお、樹脂モルタル被覆工法において、被覆厚が厚い場合は、無機系被覆工法と同様に左官工法で施工する（写真 2.3-11 参照）。

② 吹付け型

専用の吹付け機を使用して施工面に被覆材を吹付けて塗膜を形成する工法で、塗り付け型に比較して、塗装回数が少なく施工速度が速い場合が多い。

なお、専用吹付け機は、各製品に応じた仕様を遵守する必要がある（写真 2.3-12 参照）。



写真 2.3-10
有機系被覆工法（塗り付け型）
堰柱の施工状況



写真 2.3-11
有機系被覆工法（塗り付け型）
エプロンの施工状況



写真 2.3-12
有機系被覆工法（吹付け型）
エプロンの施工状況

（イ） 施工手順

有機系被覆工法の基本的な施工手順は、下地処理の後に表面被覆工（プライマー工、中塗り工、上塗り工）と養生工を行う。また、現場条件によっては、下地処理の後に不陸調整工を行う場合や、製品によっては、表面被覆工において仕上げ材の塗布を必要とする場合がある。

プライマー工に用いられる材料の例を以下に示す。プライマーの製品によって標準使用量や施工方法が異なるため、十分な注意が必要である。

【有機系被覆工法のプライマーに用いられる材料の例】

- ・ エポキシ樹脂
- ・ ポリウレタン樹脂
- ・ ビニルエステル樹脂

（ウ） その他の特徴

有機系被覆工法では、何層かの材料を塗り重ねて被覆全体として必要な機能を確保する被覆システムが一般的である。複数層の塗り重ねでは、上層被覆材の溶剤による下層被覆材の膨潤軟化、相互の付着性や乾燥・硬化に関する相性があるため、これらに影響する組合せは避けなければならない（表 2.3-15 参照）。

表 2.3-15 主な有機系被覆材料の重ね塗りの適否

塗重ね材 (上) 塗装材 (下)	エポキシ樹脂	ポリウレタン樹脂	ポリウレア樹脂
エポキシ樹脂	○	○	○
ポリウレタン樹脂	○	○	×
ポリウレア樹脂	×	○	○

多くの有機系被覆材は、劣化因子に対して優れた遮断性能を有しており、モルタル等の無機系材料に比較して材料自体は中性化の原因となる二酸化炭素の侵入抵抗性が高い。

また、上塗り工としてフッ素樹脂などの高耐候性の樹脂からなる着色上塗りを塗布し、景観に配慮した仕上げとすることができる。

他に、直接火に晒すと燃焼し、変色や変形が生じるため、施工箇所付近で火気を使用する場合は、被覆材に直接火が接しないよう注意が必要である。

また、補修後の表面が滑らかになるため、作業の際の転倒防止等、養生に注意する必要があるほか、清掃作業の際、鋭利な道具等で傷を付けないように配慮が必要である。

エポキシ樹脂やウレタン樹脂による有機系被覆工法は、その他施設の劣化因子の侵入の抑制、漏水の遮断、通水性の改善を目的とした補修工法であるが、河床砂礫の少ない頭首工のエプロンにおいて試験的に採用された事例がある^{※1}。ただし、一般的な有機系被覆工法は被覆厚が非常に薄く、耐衝撃性も低いことから、エプロン系施設の耐摩耗層として採用するには注意を要する。

また、エプロン系施設の耐摩耗層としてエポキシ樹脂モルタル被覆工法を採用する場合、エポキシ樹脂と珪砂を練り合わせたもので、耐摩耗性はあるが下地コンクリートからの剥離が難点であり、またモルタル層が薄いこともあって効果は少ない^{※2}ため、採用にあたっては注意を要する。

※1 積雪寒冷地のMA頭首工の固定堰下流のエプロン部分に対して、2種類の有機系被覆工法による試験施工及びモニタリング調査が実施されている。

※2 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 参照

(4) 石張工法

石張工法は、急流河川などで土砂の流下や転石等の落下・衝突による摩耗の著しい固定堰等の修復を目的とし、石材を既設コンクリートの斜面や水平面に敷き詰め、耐摩耗層を構築する工法である。

ア 材料

石張工法で使用する材料は、切石、間知石、野面石などであり、コンクリートよりも耐摩耗性、耐衝撃性に優れている。

イ 工法

石張工法は、流砂や転石等による摩耗の著しい固定堰や護岸工等の表面被覆工法であり、景観への配慮が必要な場合の補修工法としても用いられる。

石張工法は、エプロン系施設にも適用可能な工法である。ただし、石材については、地域性が強く、同じ種類の石材であっても産地によって石の特性や形状が異なり、品質及び施工に支障がでる場合もある。地域で使用されている石材及びその工法の実績を十分調査し、使用環境に適合した材料を選択することが必要となる。石張工法に関する品質については第3章第3-3 (PP. 3-25~26)を参照されたい。

【解説】

ア 材料について

石張工法では、従来から切石、間知石、野面石等の石材（花崗岩や安山岩など）が用いられ、石材の隙間をコンクリートで固める練積みで施工する。石の積み方は、水平方向の横目地を通して積む布積み、水平方向の横目地が一直線にならず、谷状をなしている谷積みなどがある^{※1}。

近年、良質石材の入手困難、熟練石工の不足などから石張工法の採用は極めて少ない。

なお、国営頭首工では、平成26~27年度に施工した事例がある。

石張工法で使用された材料の事例を表2.3-16に示す。また、石材の寸法等を図2.3-6に示す。

表 2.3-16 石張工法で使用された材料の事例

頭首工名	施工箇所	材料	岩石の種類	物理的性質	備考
H頭首工	固定堰 H=4.6 m	間知石 400×250 mm 控え 300 mm 間知石 350×200~350 mm 控え 300 mm 切石 400×400×400 mm 切石 400×400×700 mm	花崗岩	単位重量 2.65 t/m ³ 圧縮強度 180 N/mm ² (硬石 50 N/mm ² 以上)	布積み 石張(練石) t=400 mm (石材 t=300 mm, 胴込コンクリート t=100 mm)

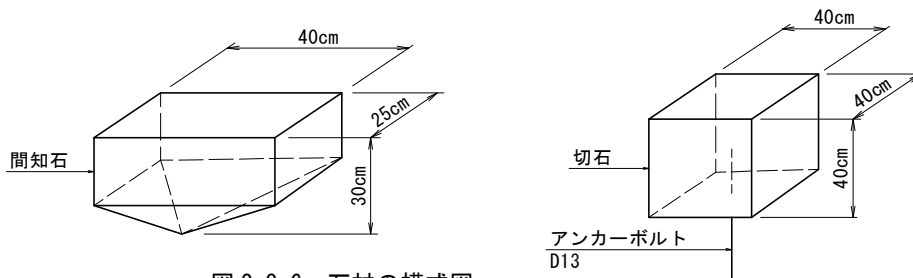


図 2.3-6 石材の模式図

※1 改訂6版 農業農村工学標準用語事典 29. 施工 石積み工 参照

イ 工法について

(ア) 施工の概要

施工は、既設石張の撤去、固定堰表面のチップングを行い、接着系アンカーを設置し、エポキシ樹脂系プライマーを塗布した後、調整コンクリート及び胴込コンクリートを同時に打設する。石張工は、割付図に基づき、布積方式により施工する。石材はラフタークレーン等で吊り上げ、人力で据え付けを行う。石の抜け落ち防止の観点から切石により 5 m 程度の方眼を形成し、その方眼内に間知石を配置する。切石はアンカーボルト (D16、L=400 mm) で固定する。石張工事が複数年にわたる場合は、施工範囲の端部に小口止めコンクリートを施工する。固定堰を対象とした石張の配置例を図 2.3-7 に、石張工法の断面側を図 2.3-8 に示す。

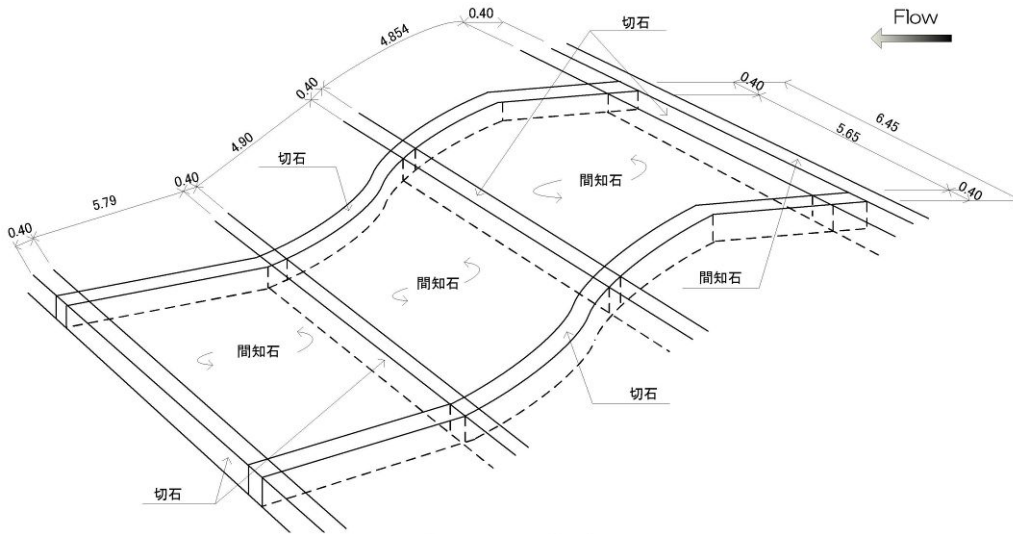


図 2.3-7 石張配置例 (固定堰)

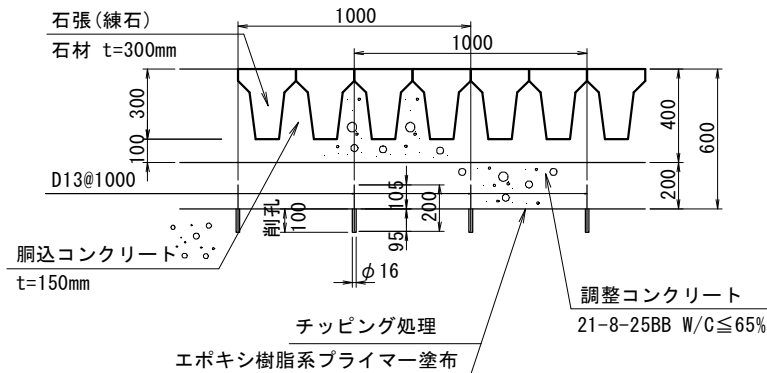


図 2.3-8 石張工法の断面例 (固定堰)

(イ) 施工手順

石張工法は、既設石積の取り壊し・撤去、固定堰表面のチップング、接着系アンカーの設置、チップング面の清掃、エポキシ樹脂系プライマーの塗布、調整コンクリート及び胴込コンクリートの打設、切石及び間知石の据付、打継ぎ目処理、養生の施工手順で行われている。

既設固定堰において石材剥離の補修跡が多数確認されたことを踏まえ、石張を施工する際は、石のかみ合わせに留意しつつ、背面に空隙が生じないように胴込コンクリートを充填する必要がある。一連の施工手順を写真 2.3-13～17 に示す。



写真 2.3-13 石材剥離の補修跡（既設固定堰）



写真 2.3-14 補修前（既設固定堰）



写真 2.3-15 補修後（固定堰）

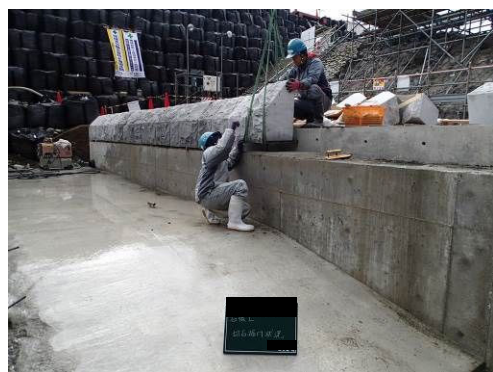


写真 2.3-16 切石の据付



写真 2.3-17 間知石の据付

2 ひび割れ補修工法

ひび割れ補修工法は、劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分等の侵入の抑制を目的とし、ひび割れを修復する工法である。

既設構造物のひび割れ補修工法は、ひび割れの発生原因と発生状況等を考慮して、適切な工法を選択する必要がある。

(1) 材料

ひび割れ補修工法には、補修目的や既設構造物の設置環境により異なるが、表面処理工法と同様に無機系（ポリマーセメント系材料等）及び有機系（エポキシ樹脂系材料等）の材料が用いられる。その選択に当たっては、各種材料の特徴を十分に考慮しなければならない。

(2) 工法

ひび割れ補修工法の施工方法は、ひび割れ被覆工法、ひび割れ注入工法、ひび割れ充填工法の3種類があり、ひび割れ幅や補修目的により単独あるいは組み合わせて適用する。

ひび割れ補修工法は、その他施設を中心に適用される工法である。多くの種類の工法が提案されているので、対象とするひび割れの性状を十分考慮し、適用性の検討を行うものとする。

【解説】

(1) 材料について

ひび割れ補修工法における材料には、無機系（セメント系・ポリマーセメント系）、有機系（エポキシ樹脂系・アクリル樹脂系）が用いられる。各材料の特徴を表 2.3-17 に示す。

表 2.3-17 ひび割れ補修工法の主な使用材料の特徴

	無機系材料	有機系材料
	セメント系、ポリマーセメント系	エポキシ樹脂系、アクリル樹脂系
特徴	<ul style="list-style-type: none"> エポキシ樹脂系材料と比較して安価である。 熱膨張率がコンクリートに近い。 湿潤箇所に適用できる。 硬化がエポキシ樹脂系材料より遅い。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工性に優れる。 熱膨張係数が大きい（コンクリートの約 5～10 倍）。 揺変性が付与されたものや伸び率 50%以上の性能を有するもの（可とう性エポキシ樹脂）などの性状が豊富である。 可燃性がある。 紫外線、熱によって劣化する。

ア 無機系材料

セメント系材料は、超微粒子セメントをベースにした材料であり、これまで注入が困難とされてきた 0.2 mm 程度の微細なひび割れへの注入が可能である。

ポリマーセメント系材料は、水性ポリマーディスパージョン、セメント及び細骨材を配合した材料である。

無機系材料は、躯体（既設コンクリート）に近い物性が期待できることから、有機系材料に比べなじみが良く、湿潤面に対する付着性が期待できる。一方、乾燥面において既設コンクリートとの境界でドライアウトが生じ、剥離する場合があるほか、材料の乾燥収縮等に配慮が必要である。

イ 有機系材料

エポキシ樹脂系材料は施工事例が多く、硬質型のものから柔軟型のものまで開発されており、ひび割れの状態（進行の程度）に応じて使い分けられている。接着力が強く、硬化収縮が小さい等の特徴がある。低温時の施工性や伸び特性の低下に注意する必要がある。

アクリル樹脂系材料は、比較的新しい材料である。特徴はエポキシ樹脂系材料と似ているが、粘性が低く、低温時の硬化性に優れている。

(2) 工法について

ひび割れ補修工法には、ひび割れ被覆工法、注入工法、充填工法があり、ひび割れ幅等の発生状況や補修目的を考慮して適切な工法を選定する必要がある。

ア 施工の概要

(ア) ひび割れ被覆工法

ひび割れ被覆工法は、ひび割れ部分のコンクリート表面に被覆を施す工法である。ひび割れ幅が小さい場合（一般に 0.2 mm 未満）及びひび割れ内部が遊離石灰等で塞がっている場合に用いられる。一般に、塗膜弾性防水材、ポリマーセメントペースト、セメントフィラメントファイラー等が用いられるが、ひび割れ幅の変動の有無により、使用する被覆材料とその施工方法が異なる。

ひび割れ被覆工法の一般的な施工例を図 2.3-9 に示す。



ひび割れ幅の変動が小さい場合

ひび割れ幅の変動が大きい場合

図 2.3-9 ひび割れ被覆工法の施工例

(イ) ひび割れ注入工法

ひび割れ注入工法は、ひび割れに樹脂系あるいはセメント系注入材を注入し、ひび割れからの劣化因子の侵入を防止する工法である。微細なひび割れから大きなひび割れまで対応できる。注入量が管理しやすい自動式低圧注入工法が一般的であり、その施工例を図 2.3-10 に示す。

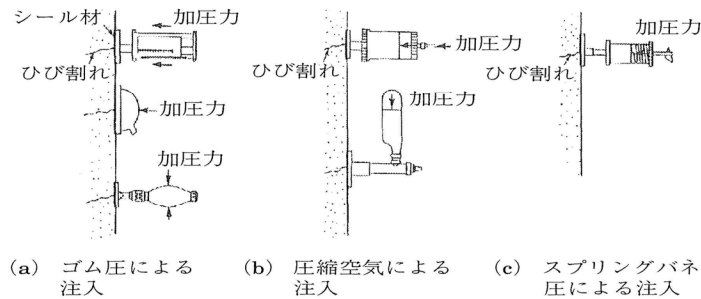


図 2.3-10 ひび割れ注入工法の施工例（低圧注入）

ひび割れ注入工法は、加圧注入された樹脂等がひび割れ部から漏出しないよう、あらかじめひび割れに沿ってシーリングする必要がある。シーリング材は、次の条件を考慮して選定する必要がある。

- ・加圧注入された注入材が漏出しないこと：コンクリートとの接着強さ
 - ・シーリング作業が能率的に行えること：材料の取扱い性、作業性
 - ・注入後の撤去が能率的に行えること：撤去の容易性（コンクリート面の非汚損性も含む）
- 参考にシーリング材の種類と特徴を表 2.3-18 に示す。

表 2.3-18 注入材施工前のひび割れ部へのシーリング材の種類と特徴

種類	特徴等
弾性シーリング材	<p>◎溶剤型（カートリッジタイプ） 溶剤が揮発して硬化する1成分系で、作業性が良く扱い易い材料であるが、下地に対する高い接着力は期待出来ず、圧入時の注入材の漏れに十分注意する必要がある。撤去は容易である。</p> <p>◎湿気硬化型（カートリッジタイプ） 湿気硬化型1成分系ウレタン樹脂で硬化時間が多少長い、溶剤型と異なり肉やせがないので、器機の取り付けにも使用できる。硬化後はゴム状になり、撤去は容易である。</p>
二成分系速硬化性エポキシ樹脂	<p>可使時間が非常に短いので、少量ずつしか練り混ぜできず作業性に劣るが、下地に対する接着力もあり、次の注入作業工程に早期に取りかけられる利点がある。シーリング材撤去に伴う下地の損傷に注意する必要がある。</p>

(ウ) ひび割れ充填工法

ひび割れ充填工法は、ひび割れに沿ってコンクリートをU字形にカットし、弾性シーリング材、可とう性エポキシ樹脂、あるいはポリマーセメントモルタル等を充填する工法である。

ひび割れ幅が比較的大きい場合及びひび割れ内部が遊離石灰等で塞がっている場合に用いられる。

コンクリートの温度変化等によるひび割れ幅の変動が大きい場合は、ポリウレタン樹脂や変成シリコン樹脂などの弾性シーリング材を充填する。また、ひび割れ幅の変動が小さい場合は、可とう性エポキシ樹脂などを充填する。

一方、ひび割れ幅が変動しない場合は、ポリマーセメントモルタル等の硬質材料を充填する。

ひび割れから漏水がある場合には、急結セメント等による止水処理又は半割管やメッシュホース等の設置により漏水を外部へ安全に導水する対策を先行して行う必要がある。

無機系被覆工法とひび割れ充填工法を併用する場合の施工例を図 2.3-11 に示す。ひび割れ幅が変動する場合には、ひび割れ充填工法を施工する箇所で、表面被覆材を縁切りして施工する。

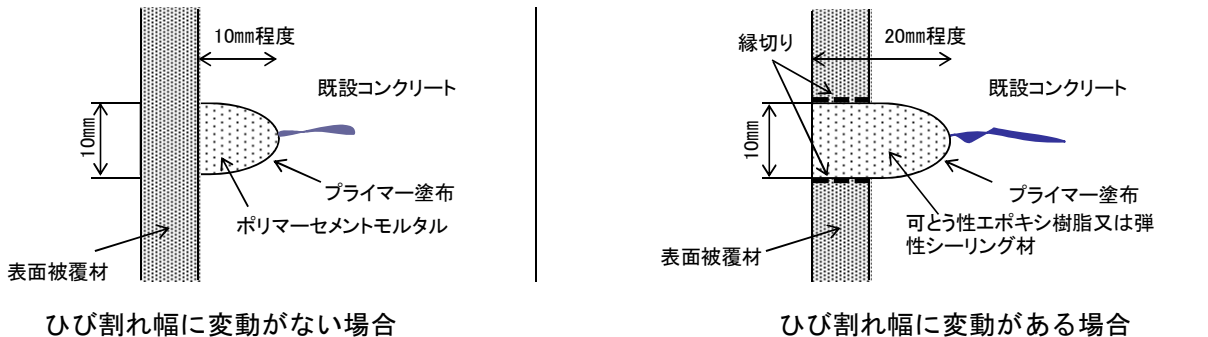


図 2.3-11 無機系被覆工法とひび割れ充填工法を併用する場合の施工事例

イ 施工手順

(ア) ひび割れ被覆工法

ひび割れ被覆工法の施工手順は、ひび割れ部の清掃後にコンクリート表面の気孔やひび割れをポリマーセメントペースト等で被覆を行う。

(イ) ひび割れ注入工法

ひび割れ注入工法の施工手順は、ひび割れ部の清掃後に、ひび割れ表面へのシーリングを行い、注入器を設置し、ひび割れ注入を行う。

(ウ) ひび割れ充填工法

ひび割れ充填工法の施工手順は、ひび割れに沿って電動カッターによりUカットを行った後、ひび割れ部の清掃を行い、プライマーを塗布し、コーキングガンによりシーリング材の充填を行う。

ウ その他の特徴

(ア) ひび割れ被覆工法

ひび割れ被覆工法は、ひび割れ表面に施工する被覆材の厚さが薄いため早期の劣化に対する注意が必要である。また、貫通したひび割れでは裏面の防水処理を行う必要がある。

(イ) ひび割れ注入工法

一般的に用いられる自動式低圧注入工法の動作原理別の工法を表 2.3-19 に示す。

表 2.3-19 自動式低圧注入工法の種類

動作原理	工法名
ゴ ム	スクイズ工法
	シリンダー工法
	DG インジェクター工法
	ビックス工法
空気圧	SK グラウト工法
	エアロ工法
バ ネ	マイクロカプセル工法

樹脂系ひび割れ注入材料・工法の代表的な材質の種類と性能特性を表 2.3-20 に示す。

表 2.3-20 樹脂系ひび割れ注入材料・工法の代表的な材質の種類と性能特性

項目	エポキシ樹脂	ポリエステル樹脂	アクリル樹脂
接着性	◎	△	○
耐久性	◎	○	◎
耐水性	◎	△	◎
寸法安定性	◎	×	○
経済性	○	◎	○

スクイズ工法の事例を写真 2.3-18、2.3-19 に、シリンダー工法の事例を写真 2.3-20、2.3-21 に示す。



写真 2.3-18 スクイズ工法
堰柱のリーク防止シール・注入治具設置状況

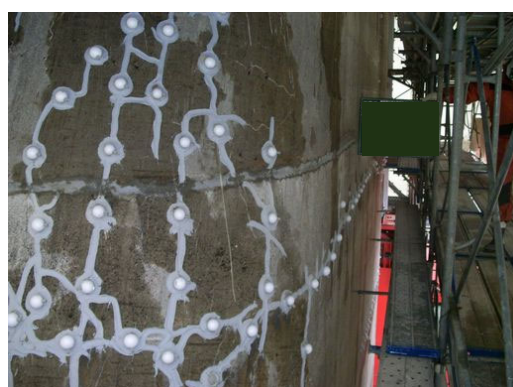


写真 2.3-19 スクイズ工法
堰柱の自動式低圧注入状況



写真 2.3-20 シリンダー工法
魚道のリーク防止シール・注入治具設置状況



写真 2.3-21 シリンダー工法
魚道の自動式低圧注入状況

(ウ) ひび割れ充填工法

ひび割れに沿って行うコンクリートの切削には、U字形の他にV字形にカットする工法がある。V字形は、カットは容易で施工性に優れるが、U字形は充填材の定着に優れるためU字形でカットすることが望ましい。

ひび割れ充填材料・工法の代表的な材質の種類と性能特性を表 2.3-21 に示す。

表 2.3-21 ひび割れ充填材料・工法の代表的な材質の種類と性能特性

項目	弾性シーリング材		可とう性 エポキシ樹脂	ポリマーセメント モルタル
	ポリウレタン 樹脂	シリコーン樹脂		
変形追従性	◎	◎	△～○	×
乾燥面への接着性	○	○	◎	△
湿潤面への接着性	△	△	○	◎
耐候性	○	◎	△～○	◎
耐水性	△～○	○	○	○

凡例 ◎：優 ○：良 △：可 ×：不可

V字形カットの施工事例を写真 2.3-22 に、シーリング材の充填事例を写真 2.3-23 に示す。

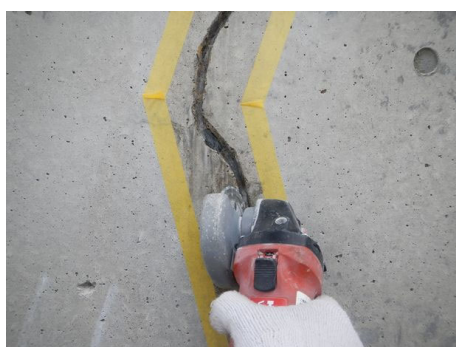


写真 2.3-22
魚道のV字カット施工状況



写真 2.3-23
魚道のシーリング材充填状況

(エ) ひび割れ注入及び充填材料・工法の材質と止水性等

ひび割れ注入及び充填材料・工法に用いられる主な材質及びその止水材としての性能を表 2.3-22 に示す。

表 2.3-22 ひび割れ注入及び充填材料・工法に用いられる主な材質とその止水性等

項目	注入工法			充填工法	
	アクリル系	ウレタン系	エポキシ系	エポキシ系	セメント系
止水性	○	△気泡あり	○	○	△
滲透性	○	△	△	—	—
変形に対する追従性	◎	×	△	△	×

凡例 ◎：優 ○：良 △：可 ×：不可

3 断面修復工法

断面修復工法は、内部鉄筋の腐食膨張や凍害、アルカリシリカ反応によるひび割れ等により欠損したコンクリートの修復、豆板等により劣化因子の遮断性能が著しく低下したコンクリートを除去した箇所の修復及び塩化物イオン等の劣化因子を含むコンクリートを除去した箇所の修復を目的とし、修復材を欠損、撤去部に充填する工法である。

(1) 材料

断面修復工法には、補修目的や対象施設の設置環境により異なるが、無機系（ポリマーセメント系材料等）及び有機系（ポリマーモルタル等）の材料が用いられる。その選択にあたっては、各種断面修復材の特徴を十分に考慮しなければならない。

(2) 工法

断面修復工法の施工方法は、左官工法、吹付け工法、充填工法の3種類がある。

断面修復工法は、主にその他系施設の補修に使用されてきたが、エプロン系施設の補修及び緊急対策にも、今後適用が想定される材料である。エプロン系施設の摩耗が作用する部材に適用する場合は、表 3.1-2 の品質規格値の耐摩耗性及び耐衝撃性を十分考慮し、適用性を検討することとする。

また、裏込め材として使用する場合は、参考資料の参考①の記述を参考に適用性の検討を行うことが望ましい。

【解説】

(1) 材料について

断面修復工法における無機系材料には、セメントモルタル、ポリマーセメントモルタル、セメントコンクリート、有機系材料にはポリマーモルタルが使用される。これらの断面修復材の特徴を表 2.3-23 に示す。

表 2.3-23 主な断面修復材の特徴

	断面修復材料	特 徴
無 機 系	セメントモルタル	<ul style="list-style-type: none"> ・普通コンクリートと同程度の強度、弾性係数、熱膨張係数が得られる ・練混ぜ、施工が容易で中小断面の施工に適している ・安価であるが、乾燥ひび割れが生じやすい
	ポリマーセメントモルタル	<ul style="list-style-type: none"> ・練混ぜ、施工が比較的容易であり、中小断面の施工にも適している ・曲げ及び引張強度が高い ・劣化因子の遮断性に優れる ・セメントモルタルより多少高価である
	セメントコンクリート	<ul style="list-style-type: none"> ・普通コンクリートと同程度の強度、弾性係数、熱膨張係数が得られる ・安価である ・比較的長い養生期間が必要である ・付着力の確保を別途検討する必要がある
有 機 系	ポリマーモルタル (結合材：エポキシ樹脂等)	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ及び引張強度が高い ・水密性に優れる ・耐摩耗性、耐衝撃性、耐薬品性に優れる ・高価である ・紫外線及び熱により劣化する可能性がある

断面修復材の選定に当たっては、断面修復工法の要求性能を満足するものを選ぶこととなるが、断面修復工の適用後に鋼材に生じる腐食の可能性についても留意する必要がある。

断面修復部と既設コンクリートの電位差が小さい断面修復材を選定する必要があり、修復対象のコンクリートに含まれる塩化物イオン濃度が高い場合、特に注意が必要である。

(2) 工法について

断面修復工法の施工方法は、左官工法、吹付け工法、充填工法に分類される。これらの3工法の特徴を表2.3-24に示す。

頭首工の断面修復は、魚道やその他施設を対象^{※1}とし、1カ所当たりの施工面積が小規模な場合が大半であるため、左官工法を基本とする。近年、国営の頭首工における断面修復の施工実績は、断面修復工単独、もしくは表面被覆工法との併用工事であり、全て左官工法で施工されている。

表 2.3-24 断面修復工法の特徴

施工法	左官工法	吹付け工法	充填工法
型枠設置	不 要	不 要	必 要
施工規模と施工面	1カ所の施工面積が0.5～1.0 m ² 程度の小規模な場合や深さが比較的小さい場合又は複雑な断面形状の場合	1カ所の施工面積が数10 m ² 程度以上の中から大規模な場合や深さが比較的深度の場合又は型枠設置が難しい場合	断面欠損部の容積が数10 m ³ と比較的大規模な場合や深さが比較的深度の場合及び型枠設置が容易な場合
施工範囲	作業員の行動範囲	圧送距離 乾式：水平150～200 m、鉛直100～150 m程度 湿式：水平100 m、鉛直30～50 m程度	ポンプ圧送及び運搬距離による
締固め	人力による	圧縮空気の圧力による	圧送能力及び運搬距離による
充填性の確保	作業員の熟練度及び配筋の狭隘程度が重要	吹付けモルタル量、圧縮空気の圧力及び流量、作業員の熟練度、配筋の狭隘程度が重要	空気抜き装置の配置、配筋の狭隘程度、圧入方法等が重要
材料の特徴	材料の流動性が低く、粘稠性がある 薄塗りは軽量モルタルが多い	材料の流動性は低い 湿式は粘稠性があり、乾式は速硬性がある	材料は流動性がある
最小施工厚み	5 mm 以上	10 mm 以上	10 mm 以上

※1 エプロン系施設の断面修復は、2.3.4 打換え工法を参照する。

ア 施工の概要

(ア) 左官工法

左官工法は、型枠設置が不要であり、金ゴテや木ゴテ、ゴムヘラなどを用いて、あらかじめ練り混ぜた断面修復材を人力によって施工する。修復部が比較的小さい場合や、それらの施工場所が点在している場合に採用される。上向き、横向き、下向きの施工が可能であるが、上向き施工の場合には、施工不良が発生しやすいため注意が必要である。

一般的に、横向き、上向きの場合、一層 10 mm 程度の施工厚であるが、厚塗りタイプで一層 30 mm 程度まで施工できる材料もあるので、品質規格を勘案して適切な材料を選択する必要がある。

魚道における脆弱部のはつりと断面修復の事例を写真 2.3-24、2.3-25 に示す。



写真 2.3-24
魚道の脆弱部のはつり状況



写真 2.3-25
魚道の断面修復状況

(イ) 吹付け工法

吹付け工法は、型枠設置が不要であり、圧縮空気や遠心力を利用して、断面修復材を施工面に吹付ける工法である。上向き、横向きの施工も可能であり、既設躯体との間に高い付着性が期待できる。

乾式工法と湿式工法があり、それぞれ専用の吹付け機を使用する。

乾式工法は、粉体と水又は混和液を別々に圧送して吹付ける工法で、鉄筋裏への充填など比較的厚い部位の施工に適している。

湿式工法は、あらかじめ練り混ぜた断面修復材を吹付ける工法で、50 mm 以下の施工に適している。

(ウ) 充填工法

充填工法は、魚道やその他施設の断面修復部に型枠を設置して断面修復材を打設する。

下向き、横向きの施工が可能であり、施工部が比較的大きな場合に採用される。

充填工法には、モルタル注入工法、打継ぎコンクリート工法、プレパックド工法があり、主な施工手順は、はつりの後、下地処理を行い、防錆処理、断面修復及び養生を行う。

4 打換え工法

打換え工法は、土砂流などによる摩耗、洗掘の著しいエプロン、堰体など耐力の低下した部材を除去した後、高強度コンクリート等の打設により必要な耐力を有する部材を再構築する工法である。

(1) 材料

打換え工法に使用される高強度コンクリートは、水セメント比を小さくした富配合コンクリートで、普通コンクリートより耐摩耗性、耐衝撃性に優れている。

(2) 工法

打換え工法は、頭首工での採用実績が多く、一般に施工性に優れ、経済的に有利な工法である。施工は、劣化部材の除去、下地処理、型枠組立、止水板設置、伸縮目地設置、コンクリート打設及び養生という作業工程で行われている。

【解説】

(1) 材料について

打換え工法は、土砂流による摩耗、洗掘が著しいエプロン、堰体等において、高強度のコンクリート等の打設により必要な耐力を有する部材を再構築する工法である。打換え工法に使用される材料は、水セメント比を小さくした設計基準強度 50 N/mm^2 以上の高強度コンクリートを用いることが望ましい。

施工は、普通コンクリートと同様であるが、表面仕上げは特に入念に行う必要があり、また、富配合のためクラックが発生する場合もあるため打設後の養生は十分注意して行う必要がある。

同一のエプロン内において、洪水吐きから下流スロープ水叩き区間とその下流エプロンで摩耗量に大きな差がある場合は、摩耗量が大きい区間を弾性板、摩耗量が小さい下流側を打換えて施工した実績がある。このように摩耗量が異なる場合は、工法の組み合わせによる対策の検討が必要となる場合もある。

国営頭首工のエプロンにおける打換え工法のコンクリート呼び強度と打設厚さの事例を表 2.3-25 に示す。

表 2.3-25 国営頭首工のエプロンにおける打換え工法の呼び強度と打設厚さの事例

頭首工名	呼び強度	打設厚さ
Z頭首工	50 N/mm^2	200 mm
F頭首工	50 N/mm^2	200 mm
K頭首工	50 N/mm^2	300 mm
I頭首工	50 N/mm^2	300 mm
MZ頭首工	21 N/mm^2	300 mm

打換え工法には、主に高強度コンクリートが使用されている。高強度コンクリートは水セメント比を小さくした設計基準強度 50 N/mm² 以上のコンクリートであり、普通コンクリート ($\sigma_{ck} = 21$ N/mm² など) より密実であるため、耐摩耗性・耐衝撃性が向上する。補修対象施設のうち比較的摩耗量の小さい範囲には普通コンクリートを使用するなど、摩耗状況に応じた工法を選択することにより、耐久性と経済性を両立した対策が実現できる場合もある。打換え工法で使用された材料の事例を表 2.3-26 に示す。

表 2.3-26 国営頭首工における打換え工法の事例

頭首工名	施工箇所	材料	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	セメントの種類による記号	備考
Z 頭首工	エプロン	高強度コンクリート	50	20		25	65 以下	BB	
F 頭首工	エプロン	高強度コンクリート	50		65	25	31 以下	BB	
K 頭首工	エプロン	高強度コンクリート	50		50	20	40 以下	N	
I 頭首工	エプロン	高強度コンクリート	50	18		25	60 以下	N 又は BB	
MZ 頭首工	エプロン	普通コンクリート	21	8		40	60 以下	N 又は BB	摩耗が著しいゲート直下流部以外の摩耗が少ない範囲を対象に施工

(2) 工法について

ア 施工の概要

コンクリート打設にあたっては、取水堰の床版、エプロン等の修復面積や厚さにより、日打設量に応じて、コンクリートポンプ車打設が行われる場合もある。施工は、エプロンの劣化している部分を所定の深さまでコンクリートブレーカ等ではつた後、ポンプ圧送によりコンクリートを打設する(写真 2.3-26、2.3-27 参照)。

高強度コンクリートの施工は、普通コンクリートと同様であるが、表面仕上げは特に入念に行う。

また、富配合のため温度収縮に起因するひび割れが発生しやすいことから、適切に目地を配置するとともに打設後の養生に注意する必要がある。なお、コンクリート厚は薄いと効果が少ないため、一般には 50 cm 以上とするのがよいとされている^{※1}。

表 2.3-25 の頭首工 (5カ所) の事例では、摩耗深さ、鉄筋露出の状況、劣化した部分の厚さ等を考慮し、エプロン表層部を 20~30 cm 程度の厚さで施工している。

※1 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 25.1.3 コンクリート品質を向上させる方法 (3)高強度コンクリート工法参照。



写真 2.3-26 既設コンクリートはつり状況
(エプロン)



写真 2.3-27 コンクリートポンプ車打設状況
(エプロン)

イ 施工手順

打換え工法は、コンクリート施設劣化部材の取り壊し撤去、施工面の下地処理として高圧・超高圧洗浄もしくはサンドブラストによる研磨清掃、型枠組立、止水板設置、伸縮目地設置、コンクリート打設及び養生という施工手順で行われている。

5 目地補修工法

目地補修工法は、目地材の劣化、脱落等により漏水等を生じている目地に対し、既設の目地部をカットし新規の目地材を充填（挿入）、又は、既設目地材の表面を被覆材で被覆する工法である。

(1) 材料

目地補修工法には、工法により異なるが、弾性シーリング材（シリコーン系、変成シリコーン系及びポリウレタン系）、フィルム系材料（アルミフィルム、ふっ素フィルム等）、有機系材料（エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂等）、ゴム系材料（エチレンプロピレンゴム等）の材料が用いられる。

(2) 工法

目地補修工法には、目地充填工法、目地被覆工法、目地成型ゴム挿入工法等があり、そのうち目地被覆工法には、塗装方式、テープ（シート）貼付方式及びシート固定方式がある。

目地補修工法は、主に開水路の環境を対象に開発されてきたものが多いため、エプロン系施設に適用する場合は、設置環境を十分考慮し、適用可能な工法を選定するものとする。

【解説】

(1) 材料について

ア 目地充填工法

目地充填工法には、弾性シーリング材が用いられる。弾性シーリング材としては、シリコーン系、変成シリコーン系及びポリウレタン系が主に使用されており、1液型（カートリッジ式）と2液混合型の2種類がある。いずれの材料も付着力を確保するため、各製品所定のプライマーを使用することが望ましい。

イ 目地被覆工法

目地被覆工法には、工法により塩ビ系シート、シリコーン樹脂、ラミネートフィルム等様々な材料が用いられている。いずれの材料も施工性、速硬化性及び既設構造物への追従性に優れている。

ウ 目地成型ゴム挿入工法

目地成型ゴム材料としては、主にエチレンプロピレンゴムが使用されているほか、クロロブレンゴムを用いているものがある。

(2) 工法について

ア 施工の概要

目地補修工法の施工方法は、以下の2種類がある。

一つは目地補修材を充填又は挿入する部分をコンクリートカッター等により溝を切るなどしてはつり、既設目地材を除去した後に弾性シーリング材を充填、又は成型ゴムを挿入する方

法である。目地充填工法及び目地成型ゴム挿入工法が該当する。

もう一つは既設目地材の上部にテープ（シート）をプライマー工により接着、又はコンクリートアンカーで固定する方法であり、目地被覆工法が該当する。本工法の場合、既設目地材は存置される。

イ 施工手順

目地充填工法及び目地成型ゴム挿入工法は、既設目地材の除去（充填又は挿入部の切断及びはつり、既設目地材の除去）と目地材の充填又は成型ゴムの挿入（新規の目地材・成型ゴムにプライマー塗布、目地材充填・成型ゴム挿入）と仕上げ工（目地端部の処理等）の施工手順で行う。

目地被覆工法の施工手順は、塗装方式又はテープ貼付方式の場合、下地処理工の後にプライマー塗布、防水材塗布又はテープ（シート）貼付けの施工手順で行う。

シート固定方式の場合は、下地処理工の後にプライマーと止水のためのシーリング材を塗布し、シート固定（シート設置、コンクリートアンカーで固定）、仕上げ工（目地端部の処理等）の手順で行う。

ウ その他の特徴

（ア）目地充填工法

目地充填工法は、他工法と比較して安価でかつ、施工性に優れ、施工実績が多い。

現在使用されている弾性シーリング材は気中部での使用を前提とした建築用シーリングが多いため、水中環境にさらされる構造物の補修事例では、比較的短期間のうちに、はがれ、脱落及び膨れが発生している事例も見受けられる。最近では、建築用シーリング材と比較して、多少硬く（中モジュラスタイプ）、止水性や耐水性が改善された土木用シーリング材が開発されている。

目地充填工法の断面の例を図 2.3-12 に示す。

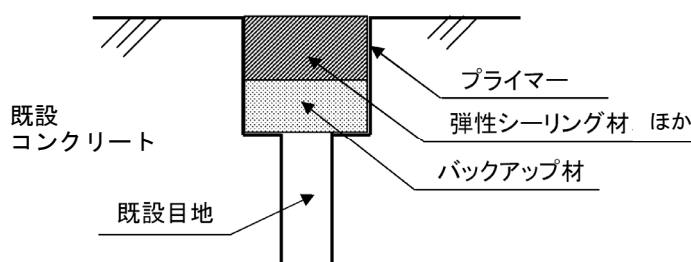


図 2.3-12 目地充填工法の断面例

（イ）目地成型ゴム挿入工法

目地成型ゴム挿入工法は、既設目地を一定の幅でカットし、成型ゴムの側面に接着材を塗布して圧縮した状態で挿入し、既設目地に接着する工法である。

本工法に求める性能を確保するためには、既設目地のコンクリートを各製品に定められた溝幅で切削し、成型ゴムを圧縮した状態で正確に溝へ挿入、接着することが重要である。

比較的新しい工法であり、製品毎に成型ゴムの材質や形状、性能が異なる。

成型ゴムは、外気にさらされる表面に引張応力が生じるとオゾンによる劣化が促進される可能性がある。既設コンクリートが一年間を通じ膨張・収縮することにより目地成型ゴムも膨張・収縮する。本工法は、成型ゴムの大気に露出する面の引張応力を小さくする、あるいは常に圧縮しているように工夫を施すことにより、オゾン劣化に対する耐久性を確保している。

なお、製品毎に成型ゴムの材質や形状などが異なり、その性能が異なるほか、既設目地の開き、ズレ、直線性など、現場条件によっては目地補修に求める性能が発揮されない場合があるため、各製品が示す適用条件を比較、検討のうえ、各現場に適したものを採用する必要がある。

目地成型ゴム挿入工法の断面の例を図 2.3-13 に示す。

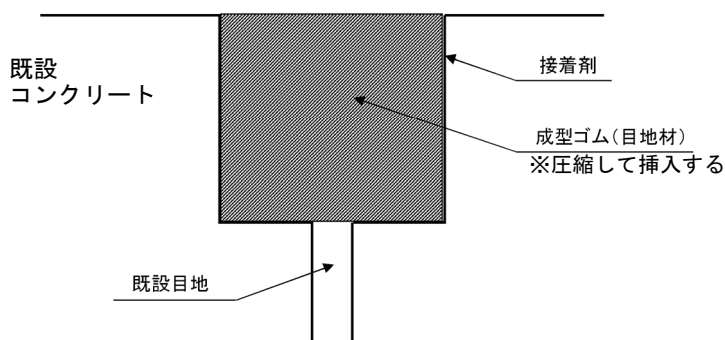


図 2.3-13 目地成型ゴム挿入工法の断面例

6 表面含浸工法

表面含浸工法は、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機能を付与することでコンクリートの耐久性を回復又は向上させることを目的とし、表面含浸材をコンクリート表面から含浸させる工法である。

表面含浸工法は、新設コンクリート構造物や接水しない環境へ予防保全的な適用に当たっては所定の効果を発揮可能であるが、流水環境や経年劣化したコンクリート表層へ適用する場合は表面含浸工法の性能、効果の持続について検証が十分に出来ておらず、断面修復工等の他の補修工法と併用する等の工夫が必要であるため、現段階においては「補助工法」として用いることとする。

(1) 材料

表面含浸工法に使用する材料は補修目的により異なるが、シラン系、けい酸塩系、その他の表面含浸材が用いられる。

(2) 工法

表面含浸材を含浸させる方法は、表面含浸材の種類や施工環境などによって、刷毛塗り、ローラー塗り、吹付けや噴霧などがある。

表面含浸工法については、比較的新しい工法であり、「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】」において品質規格値等が記載されているため、頭首工への適用に際しては、最新のマニュアル等を参考に適切な工法を選定することが望ましい。

【解説】

(1) 材料について

表面含浸工法を表面含浸材の主成分から図 2.3-14 に示すように分類する。

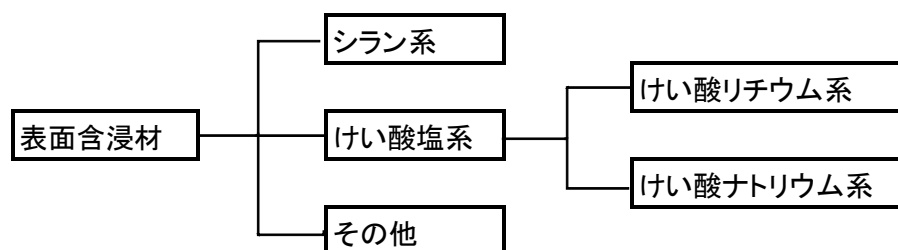


図 2.3-14 表面含浸材による工法の分類

表面含浸工法は、新設コンクリート構造物や接水しない環境へ予防保全的に適用する場合は所定の効果を発揮することができるが、コンクリート表層部が大量の水分を含む場合や、コンクリート組織が相当に緻密である場合及びコンクリート表層部が相当に脆弱である場合等、下地となる既設構造物の躯体の状態により、表面含浸工法の性能を十分に発揮できない場合がある。

その場合、断面修復工事等の他補修工法との併用や下地処理材としてカルシウムを事前に塗布するなどの個別対応が必要である。

本書の対象とする表面含浸材の概要を表 2.3-27 に示す。

表 2.3-27 表面含浸材の概要

表面含浸材		表面含浸材の概要と特記事項
シラン系含浸材		浸透性吸水防止材とも称され、主成分はシランモノマー、シランオリゴマー又はこれらの混合物を主体とするもので、水系と溶剤系、無溶剤系がある。
けい酸塩系	けい酸リチウム系 (Li) 含浸材	浸透性固化材や浸透性アルカリ付与材とも称され、主成分はけい酸リチウムである。 けい酸リチウムを主成分とする水溶液の粘度は、その固形分濃度により変化するため、コンクリート表層部の細孔や微細なひび割れに含浸しやすい粘度に調整されている。
	けい酸ナトリウム系 (Na) 含浸材	浸透性固化材や浸透性防水材、あるいは、コンクリート改質材料とも称され、主成分はけい酸ナトリウムである。 材料によっては、含浸性を向上させるための界面活性剤、コンクリート中の水酸化カルシウムとの反応を改善するための反応促進剤、けい酸ナトリウム自体の硬化剤が配合されたものもある。 含浸後においても、コンクリートに水分が供給されると、未反応のけい酸ナトリウムがゲル状になり、水分移動に伴い、コンクリート内部に浸透する。

現段階における、表面含浸材の種類別及び既設構造物の躯体における要求性能別の適用性の一例を表 2.3-28 に示す。下表は、一般的な傾向を整理したもので、製品の成分によって異なる場合がある。

表 2.3-28 表面含浸材の適用性の一例（要求性能別）

要求性能項目	シラン系	けい酸塩系	
		リチウム系 (Li)	ナトリウム系 (Na)
中性化抑止性	△	△	○
耐凍害性	○	—	○

凡例 ○は、適用の可能性有
△は、適用する場合検討が必要
—は、適用対象外

(2) 工法について

ア 施工の概要

表面含浸工法の施工方法は、表面含浸材の含浸方法により刷毛塗り、ローラー塗り、あるいは吹付けに分類されるが、溶剤系を使用する場合には材料飛散が多くなるため、ローラー塗りが望ましい(写真 3. 2-28、3. 2-29 参照)。

表面含浸工法は、表面被覆工と比較すると少ない工程で、かつ短期間で施工できるという特徴を有している。

また、表面被覆工のような被膜形成による保護工法ではないため、経年後に再施工する場合、表面含浸材を再度含浸させるだけで効果を発揮できる。

イ 施工手順

下地処理工の後に含浸工と養生工を行う。含浸工は、表面含浸材を十分に攪拌し均質にした上で所定量を含浸させることが重要である。

ウ その他の特徴

(ア) 表面含浸材別の特徴

表面含浸工法は、表面含浸材を数回程度含浸させるため、表面被覆工のような複数の被覆層の重ね塗りが不要である。また、施工後の品質が技能者の熟練度に左右されにくく、比較的に行工が容易である。

しかし、施工後のコンクリート表面の外観変化や膜厚がないため、含浸箇所がわからなくなる場合がある。施工管理においては表面含浸材を所定量、所定回数で確実に含浸させることが重要である。

表面含浸材別のその他の特徴を表 2. 3-29 に示す。

表 2. 3-29 表面含浸工法のその他の特徴 (例)

材料区分	特 徴
シラン系	<ul style="list-style-type: none">含浸したコンクリート表層部を疎水性に改質する。疎水層により、水が移動媒体となる劣化因子の侵入が抑制される。含浸後の乾燥によって固化するが、含浸層に存在する細孔を完全に閉塞することはない。
けい酸リチウム系	<ul style="list-style-type: none">含浸した部分の中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与する。含浸後の乾燥によって固化するが、含浸層に存在する細孔を完全に閉塞することはない。表面被覆工や断面修復工を実施する前の補助工法として使用できる。
けい酸ナトリウム系	<ul style="list-style-type: none">含浸したコンクリート表層部の細孔を充填して、組織を緻密化するため、各種劣化因子の侵入が抑制される。含浸した部分の中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与する。乾燥によってけい酸ナトリウム系含浸材自体がガラス状を呈して硬化するため、躯体コンクリート脆弱部全体が強化される。表面被覆工や断面修復工を実施する前の補助工法として使用できる。

(イ) 頭首工の施工事例

アルカリシリカ反応による劣化が確認されたコンクリートの劣化抑制を目的として、頭首工の堰柱や門柱の施工実績^{※1}がある。表面含浸工法は、外部からの水分供給を遮断し、劣化部のコンクリートの含水状態を低下させることにより、アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張を抑制する効果が期待できる。

水流の摩耗・洗掘による劣化を受けない堰柱や門柱では、表面被覆工に比べて、補修後のひび割れの進行が目視で確認できること、経済的であること等の利点がある。



写真 2.3-28 シラン系表面含浸材
堰柱の施工状況(ローラー塗り)



写真 2.3-29 けい酸塩系表面含浸材
堰柱の施工状況(吹付け)

※1 K頭首工ではシラン系含浸材、A頭首工ではけい酸塩系含浸材による表面含浸工法で補修が実施されている。

第4 補強工法の概要

頭首工コンクリート施設の補強工法は、対象とする部材の耐力、施工上の制約条件、施工環境等を考慮して、設計・施工を行う必要がある。

(1) 接着工法（連続繊維シート巻立て工法）

接着工法（連続繊維シート巻立て工法）は、コンクリート部材の主として引張応力作用面に連続繊維を一方向あるいは二方向に配置してシート状にした補強材を既設部材と接着、一体化させることにより、主に曲げ耐力の向上を図る工法である。

(2) 打換え工法

耐力の低下した部材を除去して、必要な耐力を有する部材を再構築する工法である。

部材を除去することで、構造物の安全性が低下する恐れがあるので、その間、仮設部材等で安全性を確保する必要がある。

(3) 増厚工法

既設コンクリートの表面にモルタル、コンクリート又は鉄筋コンクリートを接着一体化することにより、部材の断面や鉄筋量を増加させて補強する工法である。

通水断面を縮小させる場合は、水理的な検討を十分行う必要がある。

(4) あと施工せん断補強工法

既設コンクリートの表面から小口径の削孔を行って、補強筋を設置することにより、部材のせん断耐力の向上を図る工法である。

(5) 鋼板巻立て工法

コンクリート部材の主として引張応力作用面に鋼板を巻立て、曲げ耐力とせん断耐力の向上を図る工法である。

(6) 上面増厚+下面鉄筋補強工法

床版上面の増厚によりフーチング下面の応力に対して有効高を確保するとともに、下面に鉄筋を挿入して曲げ耐力を増加させる工法である。

(7) 増杭工法

増杭工法は、堰柱の床版に隣接する箇所で増し杭を打ち、その杭を剛結する増し床版を行う工法である。

【解説】

構造物の補強工法は数多くあるが、本書では、種々の補強工法から、頭首工の補強工法として、接着工法、打換え工法、増厚工法、あと施工せん断補強工法及び鋼板巻立て工法についてその概要を述べる。

(1) 接着工法（連続繊維シート巻立て工法）

連続繊維シートによる接着工法は、部材の曲げ破壊の防止や柱の変形耐力の増大を目的に、部材に繊維シートを接着する補強工法である（図 2.4-1）。曲げ補強では、荷重を受けたと

きに引っ張りが働く部分に部材の長手方向へシートを貼り付ける。連続繊維シートには、炭素繊維、アラミド繊維等がある。

連続繊維シート接着工法の特徴は以下のとおりである。

- ・連続繊維シートは、軽量で現場成形がしやすいため、作業空間が限定される場所での作業が可能である
- ・ひび割れ拘束効果や耐荷性能の向上効果が期待でき、積層数により補強量を調整できる
- ・格子状に貼り付けることにより、既設コンクリートの表面のひび割れ進展等の観察ができる
- ・断面剛性の増加が小さく、剛性の向上対策の効果は期待できない

なお、下地処理やシートの貼り付け作業の良否が補強効果に大きく影響を及ぼすため、特に入念な施工が必要である。また、仕上げ工で使用する接着材料の機能が補強効果を左右するため、エポキシ樹脂材料の場合、施工時の気温(5℃以上)に十分配慮する必要がある。

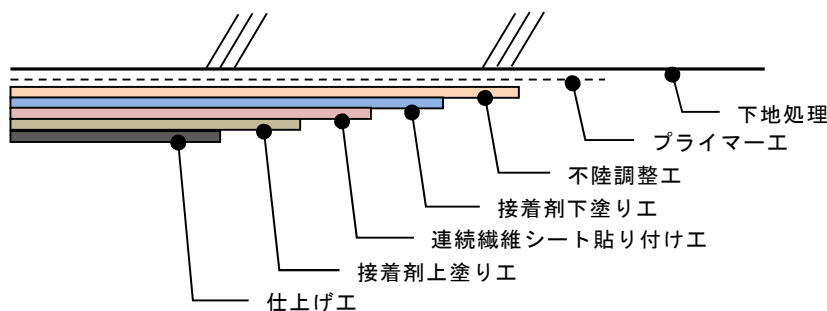


図 2.4-1 連続繊維シート巻立て工法の施工断面例

(2) 打換え工法

打換え工法は、主に土圧、水圧等の増加、沈下などに起因して変形し、耐力が不足又は低下している部材の全体や一部分を除去した後、必要な耐力を有する部材厚、配筋で再構築するものである。工期や施工条件の制約等がある場合、プレキャスト部材を利用することもある。

部材の再構築に当たっては、既設部材との一体性を確実にするため、接合部の処理が重要である。

部材の取り壊しに当たっては、既設部材にひび割れを発生させない方法を採用する必要がある。

なお、本工法は、耐力が低下した部材を撤去するため、その際の施設の構造安全性の照査が必要である。一時的な部材の撤去により、隣接する部材や構造物の安全性が低下する場合は、その間、仮設部材等によって補強し、安全性を確保する。

(3) 増厚工法

増厚工法は、既設コンクリート部材に無機系被覆材もしくはコンクリート、鉄筋等の補強材を用いて、部材断面や鉄筋を増加させることにより補強を行う。補強の目的に応じて、既設コンクリートと補強コンクリートの接合部で適切に応力伝達が行われること、一体性が確保されていること及び補強材が十分な強度を有していることが必要である。

増厚工法は、既存コンクリート部材との一体性の確保が重要であり、既設コンクリート表面の脆弱部分や表面に付着した藻や汚れ等を除去し、打ち継ぎ、配筋に注意して施工する必要がある。既設コンクリートの損傷が著しい場合は、表面はつり、ひび割れ処理や断面修復等を行って、増厚部との付着を確保する（写真 2.4-1 参照）。

水門や道路橋の橋脚の耐震補強工法としての実績が多く、近年、国営頭首工においても、補強鉄筋と特殊ポリマーセメントモルタルによる増厚工法で堰柱の耐震補強工事を実施した実績がある※¹。



写真 2.4-1 増厚工法
堰柱の耐震補強工事の施工例

(4) あと施工せん断補強工法

あと施工せん断補強工法は、主として耐震診断においてせん断耐力が不足する部材に対して、既設コンクリートの表面から削孔を行って、内部に補強筋を設置することにより、構造物の従来の形状を変化させることなく、部材のせん断耐力の向上を図る工法である。

挿入する補強筋は、一般的な異形棒鋼に加え、端部にプレートや特殊ナット、セラミック等による定着体を取り付けて定着性を増大させた製品、工法がある（図 2.4-2 参照）。

また、補強筋は、無機系モルタル、可塑性モルタルの充填材、モルタルカプセル等により、既設コンクリートと確実に定着させる必要がある。

あと施工せん断補強の特徴は以下のとおり（写真 2.4-2～3 参照）。

- ・部材の増厚を行わず、せん断耐力の向上が図られる
- ・曲げ耐力を一定にしたまま、せん断耐力を向上させることにより、曲げせん断耐力比の改善による耐震性の向上が図られる
- ・小型ドリル等の小型機械による施工であり、狭隘部での施工が可能である
- ・事前に既設鉄筋の位置を確認し、施工時に鉄筋の損傷を防止することが求められる

水門や道路橋の橋脚の耐震補強工法としての実績が多く、近年、国営頭首工において、堰柱の耐震補強工事を実施した実績がある※²。

※¹ 補強帯鉄筋+ポリマーセメントモルタルによる鉄筋埋設工法により補強工事を実施したK頭首工

※² 地震時の慣性力が端部の堰柱に集中して耐震補強が必要になったOK頭首工

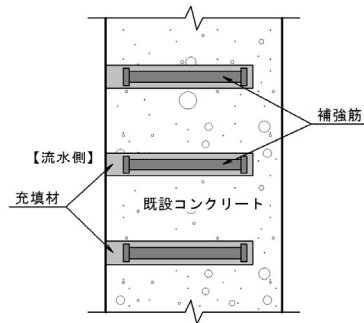


図 2.4-2 あと施工せん断補強工法の例



写真 2.4-2 あと施工せん断補強工法
堰柱の挿入孔の削孔状況



写真 2.4-3 あと施工せん断補強工法
堰柱の補強筋挿入状況

(5) 鋼板巻立て工法

鋼板巻立て工法は、躯体コンクリートを鋼板で巻立ててアンカーボルト等で固定し、コンクリート面と鋼板との隙間に注入用接着材を圧入するものである。注入用接着材としては、エポキシ樹脂接着材等が用いられている。

既設コンクリートの劣化、強度不足が著しい場合及びひび割れが極端に進行している場合は、鋼板又はパネルと既設コンクリートの一体化が不十分になりやすく、補強効果が得られない場合があるため、事前に適切な補修を行うよう、検討する必要がある。

なお、長期的には腐食等の問題が懸念されるため、防錆には十分配慮する必要がある。

(6) 上面増厚+下面鉄筋補強工法

床版下面の曲げ耐力が不足した場合、床版上面の増厚により床版下面の応力に対して有効高を確保するとともに、下面に鉄筋を挿入して曲げ耐力を増加させる工法である。

床版側面に水平削孔し、鉄筋挿入後、グラウト材を充填する。

なお、既設鉄筋を切断しないように慎重に施工する必要がある。

(7) 増杭工法

増杭工法は、床版に作用する引張応力が許容値を超える場合、基礎の変位を抑制することを目的に採用する工法である。具体的には、頭首工の堰柱の床版（フーチング）に隣接する箇所では杭を打ち、その杭を剛結する増し床版（フーチングを新たに打設）を行う工法である。

(8) その他

参考として、頭首工の堰柱、門柱等に類似した柱状構造物である鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強工法の特徴を表 2.4-1 に示す。

なお、下表の RC 巻立て工法は増厚工法と同等の工法である。

また、頭首工堰柱に加えて堰柱基礎部の補強対策として、固結工法（地盤改良）、置換工法、せん断抑制工法（連続地中壁）等も併用して補強対策を講じる場合がある。

表 2.4-1 耐震補強工法の比較

工法	RC 巻立て工法	鋼板巻立て工法	連続繊維シート巻立て工法
概略図			
概要	<p>厚さ 25 cm を標準として既設橋脚を鉄筋コンクリートで巻立てる工法で①段落し部の補強と②じん性の向上を主目的としており、③フーチングへのアンカー定着をした場合は橋脚躯体の曲げ耐力の向上を図ることができる。</p>	<p>橋脚躯体全周に鋼板を巻立て、既設橋脚との間の充填材により補強部材との一体化を図る工法で①段落し部の補強と②じん性の向上を主目的としており、③フーチングへのアンカー定着をした場合は曲げ耐力の向上を図ることができる。</p>	<p>シート状に加工された炭素繊維又はアラミド繊維を、接着剤を含浸させながら橋脚に貼り付ける工法で①段落し部の補強と②変形能を向上させることができる。</p>
補強厚	25 cm	4 cm 前後	1～2 cm

出典：設計要領 第二集 橋梁保全編(令和2年7月) 6-1-3 耐震補強工法の選定 P8-39 (東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社)

第5 構成施設の変状要因に応じた工法選定

頭首工の現場条件、施設の変状要因によって、その施設に要求される性能は異なり、対策工法には様々な変状に対応した性能が求められる。施設毎の要求性能を踏まえて、所要の性能を有する工法を複数選択し、それらの比較検討により最適な工法を選定する。

(1) 補修工法の選定

ア 変状要因に対する工法選定フロー

頭首工では、摩耗劣化（流水、流砂、転石等）、ASR、凍害、中性化、塩害等の変状要因に応じた対策を講じる必要がある。摩耗の範囲・深さ・速度やひび割れの進行性等を考慮し、変状要因と変状進行に応じた適切な対策工法を選定する。

イ 変状に対する工法選定フロー

頭首工では、ひび割れや断面欠損等の変状に対応する必要がある。ひび割れ幅や断面修復面積・深さ等の程度に応じた適切な対策工法を選定する。

ウ その他施設の補修工法の選定

その他施設（取水工、沈砂池等）では、エプロン系施設（堰体、エプロン等）と比べ流水中の土砂による摩耗作用が小さいことから、開水路と同程度の性能を有する施設に回復又は向上させることができる適切な対策工法を選定する。

(2) 補強工法の選定

ア 補強工法の選定フロー

耐震性能照査により曲げ耐力、せん断耐力等が不足していると認められる堰柱・床版等の部位で構成される柱状構造物では、構造的耐力を回復又は向上させることができる適切な対策工法を選定する。

【解説】

(1) 補修工法の選定

対象施設を流水作用や河床砂礫による摩耗作用の大きいエプロン、固定堰等の「エプロン系施設」、摩耗作用がそれほど大きくない取水工、沈砂池等の「その他施設」、現場条件によりそのどちらかに分類される「魚道」に区分し、それぞれの変状要因、摩耗速度等の現場条件並びに要求性能を踏まえ、補修工法を選定することにした。

頭首工の補修・補強後の施設に要求される性能には、耐摩耗性、耐衝撃性、耐候性、景観性等がある。工法選定にあたっては、これらの要求性能を踏まえて、補修材料や工法の品質規格や特性等を考慮のうえ、要求性能を満足する対策工法を複数選択し、それらについて耐久性、施工性、経済性、頭首工での施工実績、維持管理、現場への適用性等の面から総合的に比較検討を行い、最も有利な工法を選定する。

参考として、国営事業における頭首工補修・補強工事の工法選定事例を基に作成した頭首工補修・補強工事の工法選定のプロセス（例）を図 2.5-1 に示す。

なお、この図 2.5-1 の工法選定に関する考え方については、参考資料 参考①エプロン系施設の補修設計に関する取扱いについてを参照されたい。

現場条件	変 状	変状要因
<ul style="list-style-type: none"> ・ 寒冷な気象条件 ・ 上流からの土砂供給 ・ 河床勾配 ・ 接水時間 ・ 計画高水流量 ・ 放流量・放流回数 ・ 年間摩耗速度 ・ 景観に配慮が必要な地域 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 曲げ及びせん断耐力不足 ・ その他（不同沈下、豆板、空隙、流出、部分破壊） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 経年劣化 ・ 凍害 ・ 転石 ・ A S R※1 ・ 乾燥収縮 ・ 中性化※2 ・ 河床低下 ・ 塩害※2



要 求 性 能		
現場条件、変状要因によって、補修・補強後の施設に要求される性能（耐摩耗性、耐衝撃性、耐候性、景観性等）は異なる。		
エプロン系施設	魚 道	その他施設
堰体、エプロン、堰柱（下部）、導流壁等のエプロン系施設は、高い耐摩耗性と耐衝撃性が求められる。	エプロン系施設もしくはその他施設に分類され、それぞれに適合する性能が求められる。	取水工、沈砂池、堰柱（上部）等のその他施設は、開水路と同程度の性能が求められる。



対 策 工 法	
各施設の要求性能に応じた対策工法を材料・工法の品質規格や特性を考慮し、複数選択する。	
工法名	内 容
・ 表面被覆工法	無機系被覆工法、有機系被覆工法
・ パネル工法	アンカー固定方式（超高強度繊維補強コンクリートパネル、高強度プレキャストコンクリートパネル、弾性板、高性能レジンコンクリートパネル、強化プラスチック複合パネル）、接着方式（レジンコンクリートパネル）
・ 石張工法	間知石、切石等による石張工法（練積み）
・ ひび割れ補修工法	ひび割れ被覆工法、ひび割れ注入工法、ひび割れ充填工法
・ 断面修復工法	ポリマーセメントモルタル塗布工法（左官、充填、吹付工法）
・ 打換え工法	高強度コンクリート（ $\sigma_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ 等）、普通コンクリート（ $\sigma_{ck}=21 \text{ N/mm}^2$ 等）で打ち換える工法
・ 目地補修工法	目地充填工法、目地被覆工法、目地成型ゴム挿入工法
・ 表面含浸工法	表面含浸材（シラン系、けい酸塩系等）塗布工法（刷毛塗り、ローラー塗り、吹付、噴霧）
・ 弾性板工法	耐酸性に優れるゴムで鋼材を被覆した製品（ラバースチール）を貼り付ける工法（パネル工法）
・ 補強工法	増厚工法、あと施工せん断補強工法、鋼板巻立て工法等



工 法 選 定
選択した複数の工法について、施工性、経済性、施工実績、維持管理、現場適用性等の面から比較検討し、総合評価により工法を選定する。

※1 アルカリシリカ反応（Alkali Silica Reaction）。

※2 無筋コンクリートの場合は劣化要因としない。

図 2.5-1 頭首工補修・補強工事の工法選定プロセス（例）

変状要因に関する工法選定フローは、**参考資料 参考③エプロン系施設の補修に関する工法選定フロー**に掲載した。補修技術の進展に応じて工法選定フローも適宜見直しが必要と考え、改訂が容易な参考資料とした。

前にも述べたように頭首工の変状状況は築造年代や環境条件によって異なる。今回**参考③**に示す工法選定フローも唯一の正解というものでない。このため、**参考③**の工法選定フローについては、これらに基づき工法選定することを義務付けるものではなく、担当者が頭首工の補修工法を検討する際に適宜参照するような使い方を想定している。

ひび割れには、コンクリート構造物の耐力等への影響の程度が比較的小さいものと大きいものがある。前者は、セメントの水和熱、コンクリートの乾燥収縮による温度ひび割れや乾燥収縮ひび割れなど、施工中又は竣工後の早い時期に発生し、打込みから数年の間に収束すると考えられるものである。後者は、地震によるひび割れなど、構造上の検証が必要となるもの、**ASR**、凍害、中性化、塩害によるひび割れなど、コンクリート中の反応性骨材、水分、二酸化炭素、塩化物に起因して発生する進行性のひび割れで耐力低下の原因になる場合もある。

また、複数の劣化要因が関係する複合劣化によるひび割れなどは、専門技術者による詳細な調査や補修設計が必要となるものであり、対応に不安がある場合は専門家の意見を踏まえて総合的に判断する必要がある。

これらのフローは、工法選定に使用してよいが、このとおりにやればよいという訳ではなく、現場状況に適した補修工法の検討を行う際の参考として活用されたい。現場では、複数の要因が関係し同時に複数の変状が発生している場合もあることから、そうした場合は、専門技術者の意見等を踏まえて、これらのフローに類似する形で現場に合うフローを個別に検討されたい。

(2) 補強工法の選定

補強工法の選定は、工法の特徴及び現場の施工条件に大きく影響を受けるため、設計・施工上の制約条件を考慮するとともに、各工法の補強効果、経済性、施工性等について比較検討を行い、最も有利な工法を選定する。

補強工法の選定フローについては、**参考資料 参考③**のエプロン系施設の補修に関する工法選定フローの一部示したので参考とされたい。

第3章 補修の要求性能及び材料・工法の品質規格と選定

第1 補修に求められる性能

(1) 補修はその目的に応じて要求性能を明確にしなければならない。

主に摩耗、衝撃、中性化、凍害等による変状や目地の劣化等に対する耐久性及び通水性の回復又は向上を目的として補修を行う場合、補修には、主に以下に示す性能が求められる。特に、河床砂礫の流下による損耗が著しい頭首工エプロン系施設については、高い耐摩耗性、耐衝撃性が求められる。

ア 頭首工の構造機能に関する性能

- ① 中性化抑止性
- ② 耐候性
- ③ 付着性
- ④ 耐摩耗性
- ⑤ 一体化性
- ⑥ 寸法安定性
- ⑦ 耐凍害性
- ⑧ ひび割れ追従性
- ⑨ 耐衝撃性

イ 頭首工の水理機能に関する性能

- ① 通水性
- ② 止水性

(2) 要求性能は、標準的な工事に共通して求められる「基本的性能」と施工条件や環境条件などにより個々の工事に個別的に求められる「個別的性能」として示すものとする。

【解説】

(1) について

補修は、期待される耐用期間を通じて要求性能が満足することを確認した上で実施する必要がある。しかし、要求性能を直接照査する技術は確立されておらず、現状の実務レベルで直接照査を用いることは困難である。よって、本書では要求性能に対していくつかの品質項目を設定し、それらが品質規格に適合するかを確認することで要求性能の照査を代替することにした。つまり、品質規格を満足すれば、期待される耐用期間にわたり環境作用による材料劣化が生じたとしても、要求性能の低下は軽微な範囲にとどまると仮定し、補修材料・工法の選定を行うこととした。

頭首工の補修工事における実績を踏まえ、頭首工の構造機能と水理機能に関する補修の要求性能を定めた。各要求性能を第3章第1 1 要求性能の特徴に示す。

なお、本書に示す要求性能は、頭首工における摩耗、衝撃、中性化、凍害等による変状、目地の劣化等に対して補修を行う場合に求められる性能である。塩害、化学的腐食、ASR は対象としていない。ただし、これら対象外の劣化に対しても劣化要因や劣化の程度、補修の目的等を勘案の上検討し、適切に準用することは妨げない。

(2) について

補修の要求性能のうち、材料・工法に関する照査方法（品質規格）を一覧表に整理し、「基本的性能」と「個別的性能」に分類した（表 3.1-1 参照）。

基本的性能は、頭首工のその他施設の補修に共通して求められる性能である。一方、個別的性能は、工法や地区の特性、頭首工エプロン系施設における著しい摩耗・洗掘などに応じて個々の工事毎に求められる性能である。

個別的性能の例としては、寒冷地における耐凍害性、河床砂礫等の流下による損耗が著しいエプロン系施設における耐摩耗性・耐衝撃性などがあり、個々の工事に必要な個別的性能を検討しなければならない。

また、魚道は、現場条件によってエプロン系施設に近い摩耗を生じる。このため、魚道の摩耗速度を確認し、個別的性能を検討しなければならない。

表 3.1-1 本書に定める補修の要求性能の基本的性能と個別的性能

基本的性能（○）：標準的な工事に共通して求められる性能。
 個別的性能（□）：施工条件や環境条件などにより個々の工事に個別的に求められる性能。
 個別的性能（△）：エプロン系施設において、施工条件や環境条件などにより個々の工事に個別的に求められる性能。

要求性能項目	表面被覆工法			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
	無機系	有機系	パネル	無機系	有機系			
			固定方式 アンカー					
構造機能	中性化抑止性	○					□	
	耐 候 性		○					○
	付 着 性	○	○	○	○	○	○	○
	耐 摩 耗 性	○	○	○			□	△
	一 体 化 性	○					○	△
	寸法安定性	○					○	
	耐 凍 害 性	□		△			□	□
	ひび割れ追従性		○			○		
	耐 衝 撃 性			○				△
機能水理	通 水 性	□	□	□				□
	止 水 性							○

※空欄について：照査を省略できる性能、当該工法には期待できない性能、及び照査方法が未確立な性能が含まれており、現時点においてこれらを明確に整理することができないため空欄としている。

1 要求性能の特徴

(1) 構造機能

ア 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。

【解説】

コンクリートは二酸化炭素の影響により pH が低下し中性化する。鉄筋コンクリートでは、中性化のフロントがコンクリート中の鉄筋位置付近に達すると鋼材腐食が発生する可能性がある。鉄筋腐食が進行すると鉄筋コンクリート躯体にひび割れやはく離が発生し、構造的な耐力の低下などを引き起こす原因となる。

よって補修には、補修の効果が期待される期間中、中性化の原因となる二酸化炭素の侵入を遮断又は抑制することにより部材の中性化の進行を抑制することが求められる。

イ 耐候性

紫外線、温度等に起因する劣化に対する抵抗性。

【解説】

屋外に設置される補修材料には紫外線や温度等に起因する劣化が生じる場合がある。

よって補修には、補修の効果が期待される期間中、紫外線や温度による品質変化が小さく、割れ、膨れ、剥がれ等が生じないことが求められる。

ウ 付着性

補修材が躯体コンクリートから剥離しない性能。

【解説】

表面被覆工法等によって形成される被覆層は、頭首工の躯体コンクリートに付着した状態ではじめてその性能を発揮することができる。頭首工、魚道は一般にかんがい期、非かんがい期及び河川流量が変動するため乾湿繰返しを受ける。さらに、どちらの施設も年間を通じた気候変動の中で温冷繰返しが作用する。

よって補修には、補修の効果が期待される期間中、設置された環境条件下で躯体コンクリートに付着し続けることが求められる。

エ 耐摩耗性

流水等による摩耗に対する抵抗性。

【解説】

頭首工エプロン系施設の摩耗は、流水中の砂礫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及び断面が欠損していく現象である。

その他施設の摩耗では、比較的脆弱なモルタル分がコンクリート表面から選択的に摩耗され、粗骨材が露出する。さらに摩耗が進行すると粗骨材の露出・脱落が発生し、かぶり厚の減少が生じる。

一方、エプロン系施設に生じる摩耗では、砂礫を含んだ流水による衝撃や摩耗作用、すり減り並びにキャビテーション等の作用により部材断面が大きく減少する。さらに、局所的な洗掘が発生し、所定の部材厚が確保できなくなる場合もある。

よって補修には、補修の効果が期待される期間中、過度の摩耗が発生しないことが求められる。

オ 一体化性

補修後に補修部分が単独で破壊しない性能。

【解説】

頭首工の補修に用いる材料には、補修後、単独で破壊しないための強度とその強度を維持する性能が求められる。

カ 寸法安定性

長さ変化率が小さく安定している性能。

【解説】

寸法安定性は、乾燥収縮、自己収縮及び温度変化に伴う寸法変化が小さく安定している性質を表わす。

補修に用いる材料の長さ変化が大きいと、ひび割れ、既存部材との界面にずれ方向の応力が発生するなど躯体コンクリートとの一体性に影響を与える。

よって補修には、補修の効果が期待される期間中、乾燥収縮、自己収縮等により有害なひび割れ等が発生しないよう、長さ変化率が小さく安定していることが求められる。

キ 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。

【解説】

凍害は、寒冷地等でコンクリート中の水分の凍結と融解が繰り返され、凍結膨張圧によりコンクリートにひび割れやスケーリング等が発生する現象である。

よって凍結融解の発生が懸念される寒冷地等における補修には、補修の効果が期待される期間中、補修によりコンクリート表面から躯体への水分の供給を抑制し、既設躯体の凍害の進行を停止あるいは緩和することが求められる。さらに、凍結融解作用の繰り返しで材料自体が劣化しないことが求められる。

なお、凍結融解作用による補修材料の劣化については、躯体背面からの水分の供給や施設の端部からの浸入水による被覆材料等のふくれ、はがれなどが考えられるが、本書では対象としていない。必要に応じて検討をする場合がある。

ク ひび割れ追従性

補修後に補修材がひび割れの変動に追従する性能。

【解説】

補修対象の躯体に幅が変動するひび割れがある場合、その影響を受け、補修後の表面被覆工等に微細なひび割れが発生する場合がある。

よって、施工後のひび割れの発生を抑制するために、補修材には、補修の効果が期待される期間中、これらのひび割れの幅の変動に対して追従する性能が求められる。

ケ 耐衝撃性

河床砂礫等の流下による衝撃に対する抵抗性。

【解説】

頭首工の可動堰の下流スロープや固定堰の下流スロープの水叩き部では、水勢が極めて強く、河床砂礫等の流下により損傷が発生する場合がある。

よって、河床砂礫等の流下による衝撃の可能性があるエプロン系施設の水衝部に対しては、補修の効果が期待される期間中、河床砂礫等の流下による衝撃に対して過度な損傷が発生しないことが求められる。

(2) 水理機能

ア 通水性

計画最大通水量を安全に流下できる性能。

【解説】

頭首工は、河川から必要な農業用水を取水する機能を有し、これらの機能は水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。また河川に設置される構造物であることから、河川流水を安全に流下させる必要があることや、ゲート等の故障時等におけるリスクなどに対して農業水利施設全般に要求される安全性・信頼性等といった社会的機能も求められる。

通水性としては、水利システム全体で水理機能及び水利用機能を確保することが重要であり、頭首工は補修実施後、その補修の効果が期待される期間中、河川の計画洪水流量や、その他施設の取水及び用水量を安全に流下させることが求められる。

その他施設において、表面被覆工が実施された場合、補修後の通水断面が縮小されるものの、一般的に既設のコンクリート表面を被覆することにより表面が平滑化され、粗度係数が改善される場合が多い。ただし、表面被覆工による表面粗度の改善を期待して、通水断面を縮小する場合や同一断面を利用して計画最大通水量を増加させる場合、また、エプロン系施設における環境配慮工法（石張による固定堰の補修等）を採用する場合などは、設計段階において、施設毎に対象区間の表面粗度のほか、水路の湾曲及び屈折、断面形状の変化、附帯施設（スクリーン等）の有無などの施設条件などを考慮する必要がある。

イ 止水性

水圧に対し目地からの漏水量を所定の量以下に抑制する性能。

また、その他施設背面の地下水等の外水圧に対する抵抗性。

【解説】

その他施設の目地には、通水による内水圧や背面の地下水等による外水圧が作用する。目地補修には、補修の効果が期待される期間中において、これらの水圧による目地材のはがれや押し出し、破断等による漏水を所定の量以下に抑制することが求められる。

なお、事前に、許容可能な漏水量を施設の環境条件や事故発生時の被害の程度等に応じ、適切に設定しておくことが望ましい。

2 要求性能毎の品質規格

- (1) 補修の性能を照査するため、要求性能項目毎に使用する材料・工法の品質規格を設定する。
- (2) 使用する材料・工法は、設定した品質規格に適合するものを用いるものとする。
- (3) 耐久性の照査等に用いる期待される耐用期間は、頭首工エプロン系施設では概ね 50 年を原則とする。また、その他施設では概ね 20 年を原則とする。

【解説】

(1) について

これまでの頭首工の補修実績、モニタリング調査及び研究成果に基づき定めた頭首工エプロン系施設の補修に求められる補修材料・工法の品質規格（照査方法及び品質規格値）を表 3.1-2 に例示する。

本書に示す品質規格は、主に、摩耗、衝撃、中性化、凍害等により劣化した頭首工のエプロン系施設、魚道及びその他施設の耐久性とその他施設の止水性*1の回復又は向上に関係するものである。これ以外の劣化要因による既設構造物の変状と劣化については、補修の目的等を検討の上、適切に準用されたい。

(2) について

補修に使用する材料・工法は、期待される耐用期間を通じて要求性能を満足することが求められる。そのため、材料・工法は、要求性能に対してあらかじめ設定した品質規格に適合するかを確認し使用しなければならない。エプロン系施設の工法毎の品質規格を第 3 章第 3.1~3.3 に、魚道に関しては第 3 章第 3.4 に、その他施設に対しては第 3 章第 4 に例示する。

(3) について

頭首工の補修等を実施する場合は、対象施設の期待される耐用期間をあらかじめ設定する必要がある。期待される耐用期間は、頭首工の各施設の用途・機能、環境条件、維持管理の方法及び要求性能等を配慮して定める。期待される耐用期間を長くすることは、一般に補修の性能の経時変化に対して抵抗性、すなわち高い耐久性を要求することになる。

エプロン系施設の期待される耐用期間は概ね 50 年を原則とする。これは、エプロン系施設の重要度が高いこと、補修を実施するために大規模工事が必要であり、短期間での補修の繰返しになじまない施設であることによる。魚道についても同様の考えとする。

その他系施設の期待される耐用期間は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】の記述に基づき概ね 20 年（工法により 10~40 年）を原則とする。

なお、補修材料・工法の品質規格や期待される耐用期間は、今後の研究成果や補修後のモニタリング結果を反映し適宜見直しを行っていくことが望ましい。

エプロン系施設及び魚道の補修に求められる品質規格値を表 3.1-2 に、その他系施設の補修に求められる品質規格値を表 3.1-3 に例示する。また、期待される耐用期間を表 3.1-4 に示す。

*1: 目地補修工法については、工法の主たる目的が止水性の回復であるため、止水性の品質規格を規定している。

表 3.1-2 頭首工エプロン系施設及び魚道の補修に求められる主な性能と材料・工法の品質規格

(例) *1

要求性能項目	品質項目	照査方法		品質規格値 (案)	備考	
基本的性能	中性化抑止性	中性化速度係数	JIS A 1153	4 週経過後*1 の中性化深さから算定する速度係数を基に照査	期待される耐用期間内において中性化深さの予測値が表面被覆の厚さ以内に収まること。又は、鉄筋までの中性化残り 10 mm 以上あることを照査する。	
	耐候性	紫外線・オゾン等による劣化	—	—	—	使用材料ごとに個別照査する
	附着性	アンカー抵抗力	パネルを固定するアンカーボルト 1 本当たりの引き抜き力 R_b を求め、ボルト 1 本当たりの許容引抜荷重 T_a と比較し、 $T_a > R_b$ であることを照査する。		1 本当たりのアンカーボルトに作用する荷重 (長期・短期) < ボルトの 1 本の許容引抜荷重	
	耐摩耗性 (エプロン系施設)	平均摩耗深さ	回転式水中摩耗試験法 (角柱研磨式) (案)	回転式水中摩耗試験 24 時間経過後の平均摩耗深さ	平均摩耗深さ 4.5 mm 以下*2	
	耐衝撃性	最大摩耗深さ	鋼球落下式衝撃摩耗試験法 (案)	鋼球 1.0 kg 落下高さ 1.0 m 落下回数 500 回 供試体角度 10°	最大摩耗深さ 11 mm 以下	
個別的性能	耐凍害性	相対動弾性係数	JIS A 1148 (A 法)	300 サイクル後の相対動弾性係数	90% 以上	

*1 補修の効果が期待される期間を 50 年とした場合の例を示す。右欄に示す規格値 (案) も同じ。「補修の効果が期待される期間」とは、既設構造物の補修後に補修の各性能による効果が発現し、持続することが期待される期間を指す。

*2 令和 2 年度時点の試験機の仕様による品質規格値。

表 3.1-3 頭首工のその他施設の補修に求められる主な性能と材料・工法の品質規格（例）*5

要求性能項目		品質項目	照査方法	品質規格値（案）	
基本的性能	中性化抑止性	中性化速度係数	JIS A 1153	4 週経過後*1 の中性化深さから算定する速度係数	中性化深さ 5 mm 以下 中性化速度係数 18 mm/√年 以下
	耐候性	紫外線による劣化	JSCE-K511	キセノン 2,000 時間*1 あるいはサンシャイン 1,200 時間*1 後の変状	臍れ、ひび割れ、剥がれがないこと
	付着性	付着強度	JSCE-K561 (乾湿・温冷繰返し回数は 10 サイクル*1)	標準条件	1.5 N/mm ² 以上
				多湿条件	
				低温条件	1.0 N/mm ² 以上
水中条件*2					
乾湿繰返し条件					
温冷繰返し条件					
耐摩耗性	平均摩耗深さ	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）	水砂噴流摩耗試験 10 時間*1 経過後の平均摩耗深さと標準供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢 28 日）	標準供試体に対する平均摩耗深さの比が PCM : 1.5 以下 HPFRCC : 2.5 以下 有機系 : 0.5 以下	
個別的性能	一体化性	圧縮強度	JSCE-K561	4 週経過後の圧縮強度	21.0 N/mm ² 以上
	寸法安定性	長さ変化率	JIS A 1129*3	成型 28 日後の長さ変化率	0.05% 以下
	耐凍害性	相対動弾性係数	JIS A 1148 (A 法)	300 サイクル後の相対動弾性係数	90% 以上
	ひび割れ追従性	伸び量	JSCE-K532*4	標準状態	中追従 0.4 mm 以上 高追従 1.0 mm 以上
		伸び量（繰返し条件下）	表面被覆材の繰返しひび割れ追従性試験方法（案）	初期変位 0.2 mm、伸縮±0.1 mm、変位速度 1.0 Hz、繰返し回数 7,300 回*2 以上	破断が無いこと

*1 補修の効果が期待される期間を 20 年とした場合の例を示す。右欄に示す規格値（案）も同じ。「補修の効果が期待される期間」とは、既設構造物の補修後に補修の各性能による効果が発現し、持続することが期待される期間を指す。

*2 JSCE-K 561（水中条件）における供試体作製後、水中養生を開始するまでの気中養生は、温度 20±2℃、相対湿度 60±10% の状態で 7 日間行うものとする。

*3 ゲージプラグ付き金型に所定の材料をコテで充填し、温度 23±2℃、湿度 50±5% の状態で 2 日間養生後、型枠を脱型したものを試験体とする。脱型後を基長として、温度 23±2℃、湿度 50±5% の状態で 28 日後の長さ変化率を測定する。

*4 試験の詳細は「表面被覆材の繰返しひび割れ追従性試験方法（案）」を参照。

*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】」に基づき、品質規格に基づいた照査を行うものとする。

表 3.1-4 工法・材料に期待される耐用期間*1

施設の種別	工法	期待される耐用期間（年）
エプロン系施設	パネル工法	概ね 50 年
	石張工法	
	打換え工法	
魚道	パネル工法	概ね 50 年
	打換え工法	
その他施設*3	無機系被覆工	概ね 20 年
	有機系被覆工	概ね 20 年
	断面補修工法	概ね 20 年
	接着パネル工法	概ね 40 年
	アンカー固定式パネル工法	概ね 40 年
	シート工法	概ね 20 年
	ひび割れ補修工法	—*2
	目地充填工法	概ね 10 年
	目地被覆工法	概ね 20 年
	目地成型ゴム挿入工法	概ね 40 年

*1 施設の種別に対して主に用いられる工法に対する期待される耐用期間を示している。第 3 章 1 2 の(3) (P. 3-7) に示したように期待される耐用期間は、頭首工の各施設の用途・機能、環境条件、維持管理の方法及び要求性能等を配慮して定めるものであり、この表の耐用期間はあくまでも標準的に想定される期間を示す。

*2 ひび割れ補修工法については、「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】」には現状では規定がないが、概ね 10 年程度と想定される。

*3 その他施設の期待される耐用期間は「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】」に基づき設定しているが、適宜、元文献を参照されたい。

第2 頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査

頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査に関する留意点を示す。

魚道については、現場条件によって摩耗速度が異なるため、対象施設の摩耗速度を調べ、エプロン系施設もしくはその他施設に分類し、品質規格の適用と照査を行うものとする。

【解説】

表 3.1-2 に示した頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格及びその照査に関する留意点について示す。

1 中性化抑止性

補修により対象施設の中性化を抑制する必要がある場合には中性化抑止性の照査を行う。

ただし、エプロン系施設では、構造鉄筋が配筋されることは一般には少なく、中性化の照査が必要になるケースは少ない。また、対象施設が無筋コンクリート構造の場合は中性化の照査は原則不要である。また、二酸化炭素遮断性が一般に高い材料である有機系材料、石材を用いる場合は、中性化の照査は原則省略可能である。このように、中性化抑止性の評価は、対象施設の状況に応じて照査を行うことが重要である。

パネル工法、打換え工法、石張工法では、使用材料の中性化抑止性能も重要であるが、それ以外の目地、グラウト部分など、物質透過性に影響する構造・材料に関する配慮も重要になる。これらの仕様を十分検討して決定することが望ましい。裏込めグラウトに対して中性化の照査が必要とされる場合は、**農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（鋼矢板水路腐食対策（補修）編）（案）**のパネル被覆工の中性化抑止性の項が参考となる。また、中性化に対する総合的な検討方法については、**参考資料の 3. 1. 4**を参照されたい。

以下の照査では、補修の効果が期待される期間中において、中性化深さがパネル工法、石張工法、打換え工法等に用いられる被覆層の中に収まれば、補修対象となる鉄筋コンクリートの中性化を抑制できるという仮定に基づき中性化抑止性の品質規格を設定する。

【試験方法】

中性化抑止性は、補修材料・工法の中性化速度係数に基づき照査する。中性化速度係数は **JIS A 1153 コンクリートの中性化促進試験**によって求める。

試験に用いるコンクリート基盤は型枠を取り外した後、材齢 4 週まで温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ の湿潤状態で養生を行う。供試体は、コンクリート基盤の測定面となる面（2 面）に被覆材を塗布し、また他の面（4 面）にシーリング材を塗布した後、28 日間の養生を行い、作成する。

以上の供試体を用いて促進試験 4 週経過後の中性化深さから中性化速度係数を算定する。

【照査方法】

材料の中性化速度係数予測値は **JIS A 1153 コンクリートの中性化促進試験**から求めて良い。

また、コンクリート材料の場合は後ほど示す予測式(式 3.4)を用いて良い。照査では、補修の効果が期待される耐用期間内において中性化深さの予測値 y_p が表面被覆の厚さ以内に収まることを確認する。

中性化深さの予測値 y_p (mm) は次式により求める。

$$y_p = a_p \sqrt{t} \quad (3.1)$$

a_p : 中性化速度係数の予測値 (mm/√年)

t : 期待される耐用年数 (年) (エプロン系施設では 50 年)

$$a_p = \beta_e a_k \quad (3.2)$$

a_k : 中性化速度係数の特性値、JIS A 1153 の試験から求める。コンクリート材料の場合
は後から示す予測式から求めてもよい。

β_e : 環境作用の程度を表す係数 (エプロン系施設では 1.6 を用いる)

① JIS A 1153 試験に基づき a_k を求める場合

$$a_k = \alpha_1 a_t \quad (3.3)$$

ここで、

a_t : JIS A 1153 の試験から求めた中性化速度係数 (mm/√年)

α_1 : 促進倍率 (通常は 10.0 を用いる)

である。

② 予測値から a_k を求める場合

コンクリート材料の中性化係数の特性値 a_k (mm/√年) については、コンクリートの有効水結合比 W/B と結合材の種類から予測して良い。

$$a_k = -3.57 + 9.0W / B \quad (3.4)$$

ここで、

W/B : 有効水結合比

$= W / (C_p + k \cdot A_d)$

W : 単位水量 (kg/m³)

B : 単位結合材量 (kg/m³)

C_p : 単位体積当たりのポルトランドセメントの質量 (kg/m³)

A_d : 単位体積当たりの混和材の質量 (kg/m³)

k : 混和材の種類によって決まる係数

フライアッシュの場合 $k = 0.0$ 、高炉スラグの場合 $k = 0.7$

2 耐候性

頭首工エプロン系施設及び魚道は、設置環境によって程度の差はあるが、太陽光による紫外線、オゾン、温度変化、乾湿などの影響を受ける。高分子材料を補修に用いる際には、これらの作用により高分子材料に劣化が生じる可能性がある。よって、補修に対しては、期待される耐用期間中、これらの作用による品質の変化が小さい材料を用いることが要求される。

高分子材料には、プラスチック、ゴムなど多くの種類があり、その組成も異なる。そのため、環境に対する抵抗性も様々である。高分子材料の種別および劣化抵抗性が多様であることから、

今回のマニュアルでは一律に高分子材料に対する品質規格値を示すことはできなかった。高分子材料をエプロン施設の補修に用いる場合は、これまでの使用実績、下水道及び河川等の品質規格を参考に期待される耐用期間に対して品質の変化が小さいことを個別照査するものとする。令和3年度までの使用実績からは、エプロン系施設の補修に高分子系材料を用いた製品は、レジンコンクリートパネル及び弾性板が存在する。この2つの材料に関する耐候性の照査の考え方については、第3章第3.1(3) レジンコンクリートパネル及び(4) 弾性板に示す。

紫外線、オゾン等の劣化に対する抵抗性が一般的に高いコンクリート材料、ポリマーセメントモルタル、石材等の無機系材料については、耐候性の照査については原則省略可能である。

ただし、使用実績のない材料を用いる場合は別途検討を行い適用性の判断を行うことが望ましい。

3 付着性

表面被覆工法等によって形成される被覆層及びパネルは、頭首工の躯体コンクリートに付着した状態で、はじめてその性能を発揮することができる。よって、補修には、補修の効果が期待される耐用期間中、設置環境条件下で躯体コンクリートに付着し続けることが求められる。

パネル工法の付着性については、後ほど述べるアンカーボルトの引抜き力とボルトの許容引抜き荷重に基づき照査する。

石張工法の付着性については、施工実績に基づき、期待される耐用期間中に付着性が大きく低下することがないように、目地及びグラウト等の詳細仕様を決定する。

打換え工法については、2023年制定コンクリート標準示方書【施工編】 9.7 打継目の記載を遵守し、打ち継ぎ面を一体化するように確実に施工するものとする。

【パネル工法の付着性に関する照査方法】

パネルを固定するアンカーボルト1本当当たりの引き抜き力 R_b を求め、ボルト1本当当たりの許容引抜き荷重 T_a と比較し、 $T_a > R_b$ であることを照査する。

【アンカーボルト1本当当たりの引抜き力の計算】

図3.2-1に示すように一枚のパネルに引抜き荷重 P が作用しているとき、パネルを固定するアンカーボルト1本当当たりの引抜き力 R_b の算定には式(3.5)を用いる。なお、パネルの自重は無視している。

$$R_b = \frac{P}{n} \quad (3.5)$$

ここで、

P : パネル1枚に作用する引抜き荷重 (kN)

R_b : 引抜き荷重 P に対してアンカーボルト1本に作用する引抜き力 (kN/本)

n : パネル1枚当たりのアンカーボルトの数

期待される耐用期間に作用する引抜き荷重 P については、短期荷重としては施工中のグラウト圧を考慮し安全性を照査する。グラウト圧等から引抜き力 R_b を推定する方法については、参考資料②の2.5に示す。

長期荷重としては、揚圧力、流体からの作用力等が作用する可能性があるが、その種類及び大きさについては現状では十分明らかにされていない。これまでに使用実績のあるパネルについては、概ねグラウト圧に基づき仕様が決定されている事例が多い。また、グラウト圧に基づく仕様のパネルが大規模に破壊した事例は、大規模な洪水時に損傷した事例を除けば、ごく稀である。よって、長期荷重については、頭首工の流況が激しく、摩耗作用が極めて大きな環境の頭首工等では、個別の設置環境を考慮し、必要に応じて行うことが望ましいとする。

また、このような摩耗作用が激しい頭首工では、定期点検、日常点検の中でパネルの変状（目地の損傷、パネル面のガタつき、段差の発生等）及びアンカー取付部の変状に関する点検を行い、変状が小さなうちに必要な対策を実施するなど検討を行うことが望ましい。

【アンカーボルト 1 本当たりの許容引抜荷重 T_a 】

あと施工アンカーの引抜荷重の限界は、アンカーの形式（金属拡張アンカー、接着系アンカーなど）、母材の条件（裏込め材料の有無、種類、既設コンクリート）、破壊形態などにより変化する。（社）日本建築学会 各種合成構造指針・同解説（2010年制定）によれば、

- ①アンカーボルトの降伏
- ②アンカーを埋め込んだ躯体のコーン状破壊

を限界状態に設定し、アンカーの許容引抜荷重を定めている。実際は、①及び②に低減係数を考慮して、小さい方の値をアンカーの許容引抜荷重とする。

あと施工アンカーのカタログ等には、上で説明した方法によって求めた許容引抜荷重が示されている。パネルに対する許容引抜荷重を決定する場合は、想定されるアンカーの破壊条件を十分検討し、現場で発生すると予想される破壊条件に対応した許容引抜荷重を選定することが必要である。

また、許容引抜荷重としては、カタログには短期又は長期の値が示されている場合がある。施工中のグラウト圧の照査に関しては原則として短期の許容引抜荷重を用いる。長期荷重の照査に関しては、現状では確定した照査方法はないため、長期荷重の特性を考慮して長期の許容引抜荷重あるいは短期の許容引抜荷重に必要な安全率等を設定し適切な値を設定することが望ましい。

アンカーを設置するグラウト材の仕様等がある程度定まっている場合は、社団法人 日本建築あと施工アンカー協会 あと施工アンカー標準試験法・同解説に基づき、試験を行い許容引抜荷重を推定しても良い。また、アンカーの現場引抜試験から許容引抜荷重を推定することも妨げないが、標準的な方法は現状では確立されていないため、値のばらつき等を十分考慮して適切な値を設定する必要がある。

頭首工エプロンに使用実績があるパネルに用いられるアンカーは直径M12～16の寸法のものが多い（参考資料 参考①1.7 取付部の構造細目）。現場条件によっては、グラウト材、躯体コンクリートの品質のばらつきが大きく、アンカーボルトの引抜抵抗力のばらつきが大きくなる可能性もある。さらに、洪水時などは流水、転石などにより式(3.5)で計算した引抜力を超える荷重が作用するケースも想定される。このような場合は、現場の状況に応じて、ボルトの径を大きくする、ボルトの数を増すなど現場条件に応じた検討及び対策を講じるが必要となる。

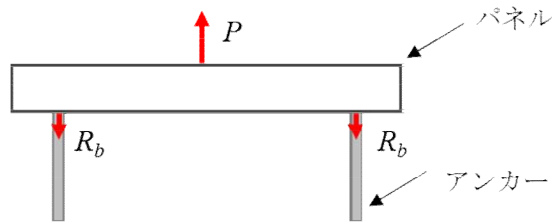


図 3.2-1 パネルのアンカー引抜強度の計算概念図

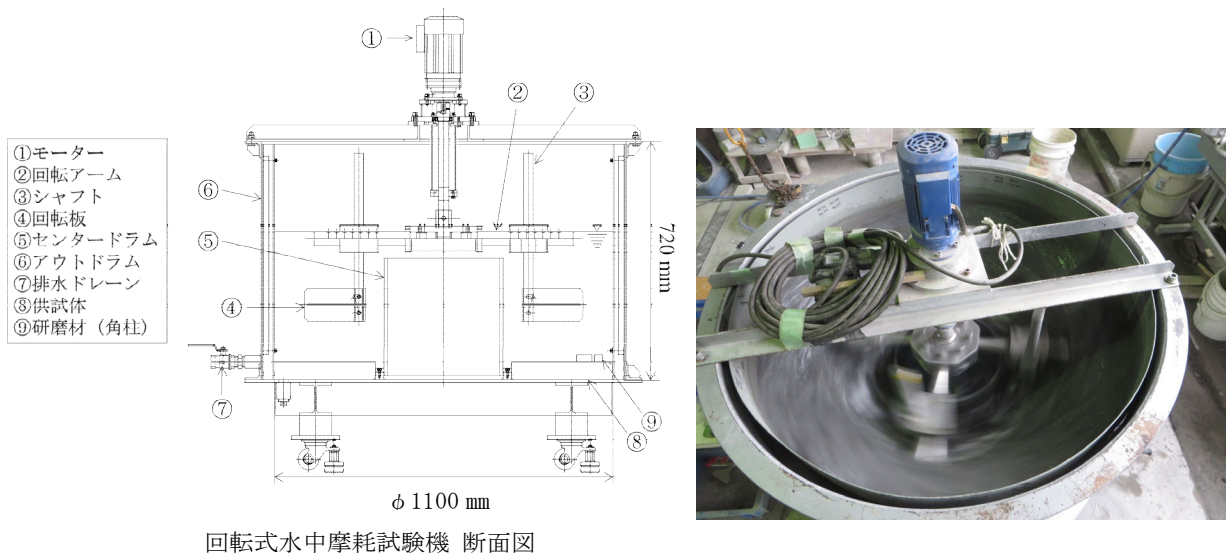
4 耐摩耗性

頭首工エプロンは、流水及び流砂による摩耗劣化が著しいことから、高耐摩耗性が必要となる。このため、エプロン系施設の耐摩耗性は、回転式水中摩耗試験法(角柱研磨式)(案)により照査する。

【照査方法】

回転式水中摩耗試験法(角柱研磨式)(案)は、水中試験法 (ASTM C1138) をベースとした改良試験方法である。厚さ 55 mm、上底 91 mm、下底 219 mm、高さ 300 mm の台形型供試体を 15 枚設置して試験を行い、供試体は原則として同一種類のものを 3 枚連続して配置する (図 3.2-2)。水中試験法 (ASTM C1138) の試験機より大型で、摩耗材として鋼球ではなく角短柱を使うことが特徴である。また、摩耗深さは質量ではなく直接レーザ距離計を用いて計測する。

なお、詳細については、巻末資料 1 試験方法(案) 回転式水中摩耗試験法(角柱研磨式)(案)を参照されたい。



回転式水中摩耗試験機 断面図

図 3.2-2 回転式水中摩耗試験法(角柱研磨式)(案)の概要

【品質規格値】

パネル材料の回転式水中摩耗試験 24 時間経過後の平均摩耗深さの試験値を参考に、次の値を品質規格値とした（表 3.2-1）。

表 3.2-1 回転式水中摩耗試験の品質規格値

材料の種類	品質規格値
パネル材料	平均摩耗深さ 4.5 mm以下 ^{*1}

^{*1} 令和 2 年度時点の試験機の仕様による品質規格値。

5 耐凍害性

凍害のおそれのある地域における耐凍害性の試験は、凍結融解の繰り返し作用による材料自体の劣化に対する性能を評価するものとし、JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験方法の A 法により評価を行うこととする。レジンパネル、石材については、原則として耐凍害性の照査を省略できるが、使用実績の無い材料については耐凍害性の検討を行うことが望ましい。打換え用コンクリートのについては、第 3 章第 3 2 打換え工法に示す耐凍害抵抗性を向上させる方法の適用を検討し、最も適切な配合・施工法を選択する。

6 耐衝撃性

洪水時の水勢が極めて強く、河床材料の礫等の流下が多い河川に築造された頭首工は、堰の下流にスロープがある場合、スロープの下流端が水衝部となり、高耐衝撃性が必要になる。このため、耐衝撃性を確認するため、所定の高さから鋼球を落下させる鋼球落下式衝撃摩耗試験法（案）を実施し、エプロン系施設の耐衝撃性を照査する。鋼球落下式衝撃摩耗試験法（案）の概要を図 3.2-3 に示す。

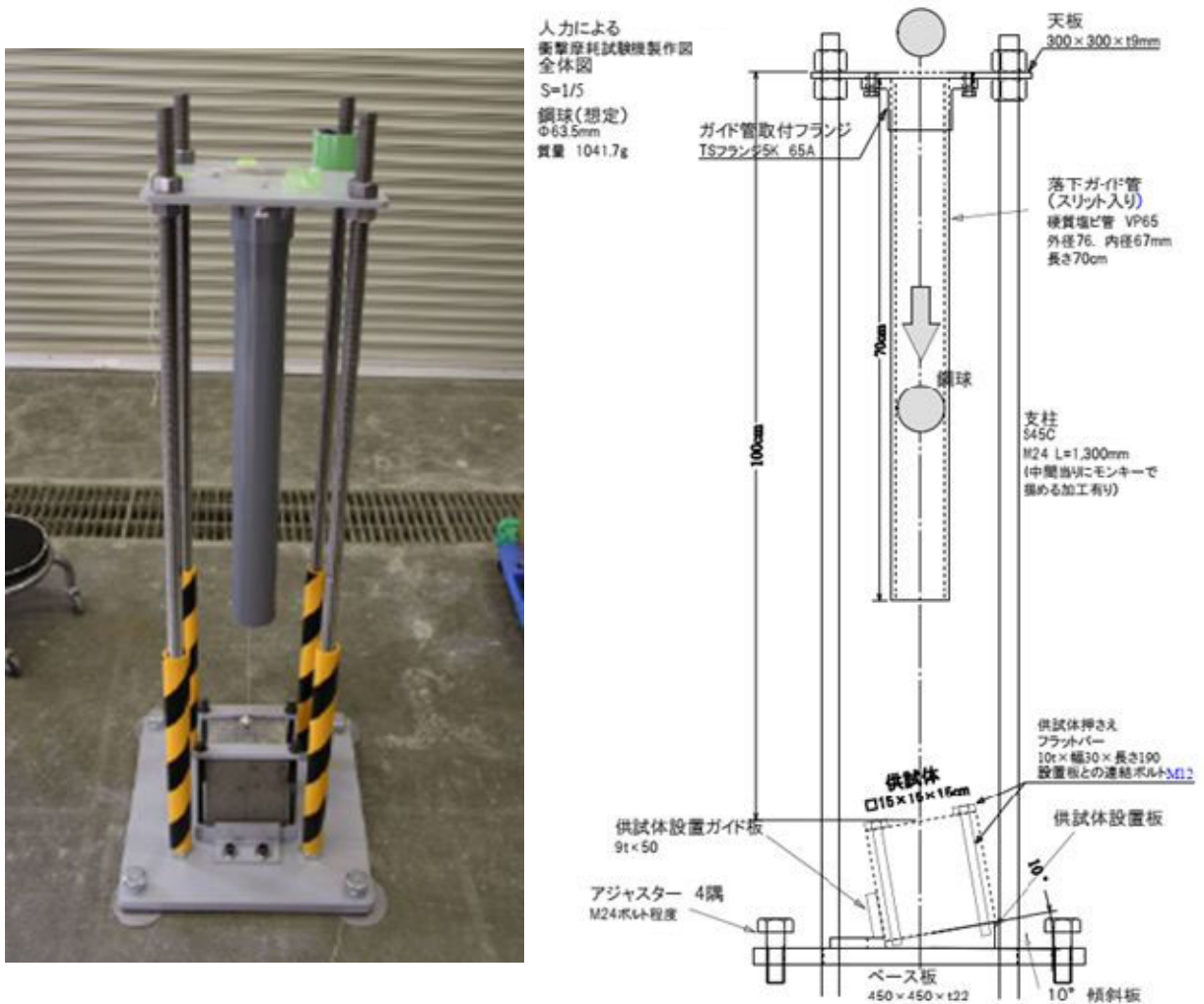


図 3.2-3 鋼球落下式衝撃摩耗式試験法（案）の概要

【照査方法】

鋼球落下式衝撃摩耗試験法(案)は、次の条件により照査する。

球の質量：1.042 kg（鋼球 材質 JIS G 4805 高炭素クロム軸受鋼材、呼び径 2-1/2 インチ、呼び直径 63.5 mm 60 等級）

落下高さ：1.0m

落下回数：500 回（計測は、計測開始前、50、100、300、500 回目の計 5 回）

供試体角度： $\alpha = 10^\circ$

供試体の乾湿等：湿潤状態

湿潤状態を確保するため、供試体はあらかじめ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中に 48 時間浸漬し、取り出してから 1 時間以内に試験を行う。翌日試験を継続する場合は、 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中に浸漬・保管し、試験を開始する。なお、試験中は、供試体表面を表面乾燥飽水状態に近い状態に保持するため、落下回数 10 回毎に水道水を霧吹きで散水し、たまり水をウエスで拭き取る。また、落下回数 10 回毎に欠けた破片をブラシで清掃する。大きな破片を生じた場合は、その都度清掃する。

供試体数：3 検体

許容値：落下回数 500 回にて、最大摩耗深さ 11 mm 以下

供試体寸法：150 (mm) × 150 (mm) × 150 (mm)

なお、事前試験の結果では複層供試体でも支障がなかったことから、厚さ 150 mm の単一材料での供試体作製が困難な場合は、高強度コンクリート (60 N/mm^2) を用いて厚さ 150 mm の複層供試体を作製してよい。

なお、詳細については、巻末資料 1 試験方法(案) 鋼球落下式衝撃摩耗試験法(案)を参照されたい。

【品質規格値】

パネル材料の鋼球落下式衝撃摩耗試験衝撃回数 500 回の試験値を参考に次の値を品質規格値とした（表 3.2-2 参照）。

表 3.2-2 鋼球落下式衝撃摩耗試験の品質規格値

材料の種類	品質規格値
パネル材料	最大摩耗深さ 11 mm以下

第3 エプロン系施設及び魚道の補修工法別の品質規格と照査

エプロン系施設及び魚道に対して主に用いられる補修工法について、工法毎に品質規格と照査方法の特徴と留意点を取りまとめた。

1 パネル工法

(1) アンカー固定方式パネル工法

エプロン系施設のアンカー固定方式パネル工法に使用する材料・工法は、補修の効果が期待される期間を原則 50 年とした場合、表 3.3-1 の品質規格を満足しなければならない。

なお、表 3.3-1 は無機系材料を用いたパネルを想定した例示である。

表 3.3-1 アンカー固定方式パネル工法の品質規格（例）

要求性能項目		品質項目	照査方法	品質規格値（案）
基本的性能	付着性	アンカー抵抗力	パネルを固定するアンカーボルト 1 本当たりの引き抜き力 R_b を求め、ボルト 1 本当たりの許容引抜荷重 T_a と比較し、 $T_a > R_b$ であることを照査する。	1 本当たりのアンカーボルトに作用する荷重（長期・短期） < ボルトの 1 本の許容引抜荷重
	耐摩耗性	摩耗深さ	回転式水中摩耗試験法（角柱研磨式）（案） 24 時間経過後の平均摩耗深さ	平均摩耗深さ 4.5 mm 以下 ^{※1}
	耐衝撃性	最大摩耗深さ	鋼球落下式衝撃摩耗試験法（案） 鋼球 1.0 kg 落下高さ 1.0 m 落下回数 500 回 供試体角度 10 度	最大摩耗深さ 11 mm 以下
個別的性能	耐凍害性	相対動弾性係数	JIS A 1148（A 法）に基づく 300 サイクル後の相対動弾性係数	90% 以上

※1 令和 2 年度時点の試験機の仕様による品質規格値。

【解説】

(1) アンカー固定方式パネル工法

ア 品質項目

無機系材料を用いたアンカー固定方式パネル工法の要求性能を満たすように材料・工法に対して付着性、耐摩耗性、耐衝撃性及び耐凍害性を設定する。本品質規格は、河床砂礫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エプロン系施設を対象としている。施設の環境条件や補修の目的が合致しない場合、別途、補修に求められる性能

を検討のうえ、使用する材料・工法の品質規格を設定する必要がある。

イ 品質規格

(ア) 付着性（アンカー引抜強度）

付着性については、第3章第2 頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査 3 付着性を参照されたい。

(イ) 耐摩耗性

耐摩耗性については、第3章第2 頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査 4 耐摩耗性を参照されたい。

(ウ) 耐衝撃性

耐衝撃性については、第3章第2 頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査 6 耐衝撃性を参照されたい。

(エ) 耐凍害性

耐凍害性については、第3章第2 頭首工エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査 5 耐凍害性を参照されたい。

(オ) その他

耐候性に関する留意点については、本項 (3)、(4) を参照されたい。

(2) アンカー固定方式パネル工法の裏込め材料（無収縮モルタル）

エプロン系施設のアンカー固定方式パネル工法に使用するグラウト材は、表 3.3-2 の品質規格を満足しなければならない。

表 3.3-2 アンカー固定方式パネル工法のグラウト材の品質規格

要求性能項目		品質項目	照査方法	品質規格値（案）
基本的性能	無収縮性	収縮度	JSCE-F533（材齢7日）	収縮しないこと
	耐圧縮性	圧縮強度	JSCE-G505（材齢28日）	21.0 N/mm ² 以上
個別的性能	水中分離性	分離度	JSCE-D104 圧縮強度の水中気中強度比 （材齢28日） ^{*1}	80%以上
	耐凍害性	相対動弾性係数	JIS A 1148(A法)に基づく 300サイクル後の相対動弾 性係数	90%以上

*1 気中作製供試体の圧縮強度に対する水中作製供試体の圧縮強度の比率。

【解説】

(2) アンカー固定方式パネル工法の裏込め材料（無収縮モルタル）

ア 品質項目

パネル工法の効果が期待される期間中、パネル工法の要求性能が保持されるよう、グラウト材が有すべき品質規格を設定する。グラウト材は、既設躯体コンクリートとパネルの隙間に確実に充填するため、無収縮性と耐圧縮性が要求される。

イ 品質規格

(ア) 無収縮性

【照査方法】

試験方法は、JSCE-F533 PCグラウトのブリーディング率及び膨張率試験方法（案）に準拠し、グラウト材の収縮の有無について照査を行う。

【品質規格値】

品質規格値として東・中・西日本高速道路株式会社の構造物施工管理要領を参考に、材齢7日で収縮しないこととする。

(イ) 耐圧縮性

【照査方法】

試験方法は、JSCE-G505 円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）に準拠し、グラウト材の圧縮強度の照査を行う。

【品質規格値】

品質規格値は材齢28日の圧縮強度を21.0 N/mm²以上とする。

(ウ) 水中分離性

固定堰、エプロン等充填する空間に水がある場合は、個別性能項目として水中分離性を照査する。

なお、一般的にモルタル充填性はセメント量が多くなると圧縮強度が向上する一方で、流動性が低下する傾向になる。パネルと既設躯体の離隔幅が狭い場合、圧縮強度（水中分離性）に併せて材料の流動性も照査する必要がある。

【照査方法】

試験方法は、JSCE-D104 コンクリート用水中不分離性混和剤品質規格に準拠し、グラウト材の圧縮強度の水中気中強度比を照査する。

【品質規格値】

品質規格は材齢28日で圧縮強度の水中気中強度比を80%以上とする。

なお、ドライワークでの施工が可能な場合はこの規定は除外することができる。

(エ) 耐凍害性

パネルが薄く、凍害が懸念される場合は、パネルの耐凍害性について照査が必要である。

なお、照査については、第3章第2 頭首エプロン系施設及び魚道に関する品質規格と照査

5 耐凍害性を参照されたい。

(3) レジンコンクリートパネル

レジンコンクリートパネルの耐候性及び耐凍害性については、製品の過去の実績を確認するとともに、既存の製品との性能について比較検討を行い、性能が確保されるか総合的に判断することが望ましい。

【解説】

(3) レジンコンクリートパネル

レジンコンクリートパネルに使用されるレジンコンクリートは、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂に代表される熱硬化性樹脂が一般に使用され、通常、耐薬品性・耐摩耗性・凍結融解性に優れる。製品を用いる場合は、過去の頭首工に対する実績を確認し、性能を確認するとともに、実績のない場合は、既存の製品との性能について比較検討を行い、耐候性及び耐凍害性に関する要求性能が確保されるか総合的に判断し適切な製品を選択することが望ましい。

品質規格に関して、付着性、耐摩耗性、耐衝撃性については、表3.1-2の品質規格に基づき照査する。耐候性については、必要があれば、**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】**のパネル工法の紫外線劣化に関する照査を行う。照査方法は、既存製品の照査を基に、**JSCE-K 511**に基づきキセノン4,000時間以上又はサンシャイン2,400時間以上を基本とする。耐凍害性については、通常のレジンコンクリートの場合はこれを省略できるが、通常物性と大きく異なる場合は、**JIS A 1148 (A法)**に基づく300サイクル後の相対動弾性係数等(90%以上)を用いて照査するなど製品に応じて照査を行い適用性を判断する。

参考に、これまでに使用実績があるレジンコンクリートパネルの物性を表3.3-3に示す。

表 3.3-3 レジンコンクリートパネルの物性 (例)

項目	特性値
圧縮強度	80 N/mm ² 以上
曲げ強度	20 MPa以上
静弾性係数	2.45 N/mm ²

(4) 弾性板

弾性板の品質については、製品の過去の実績を確認するとともに、既存の製品との性能を比較検討し、性能が確保されることを総合的に判断することが望ましい。

【解説】

(4) 弾性板

弾性板に使用されるゴム材料はゴム弾性を有する高分子材料である。頭首工のエプロン系施設に用いる場合の品質については、使用環境がよく似ている頭首工(ゴム堰)の要求仕様(農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工(ゴム堰)」)及び既存の製品の仕様を参考に、性能が確保されることを検討することが望ましい。

品質規格に関して、付着性、耐摩耗性、耐衝撃性については、表3.1-2の品質規格に基づき照査する。耐候性については、紫外線に対する照査は原則として省略可能である。耐オゾン性について

は、弾性板に引張応力や伸びが常時発生することは稀と考えられるため、原則として省略可能である。ただし、耐オゾン性は主にゴムの分子構造によって決まり、NR（天然ゴム）やSBR（スチレンブタジエンゴム）のように不飽和構造をしているゴムは、EPDM（エチレンプロピレンジエンゴム）と比較すると機械的強度が高いが、耐オゾン性はやや弱い。このため、新たな材料を使用する際にはゴムの機械的強度と耐オゾン性に関して総合的な検討を行い、適用性を判断することが望ましい。耐オゾン性は、**農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工（ゴム堰）」**の外層ゴムの耐オゾン性の照査が参考となるが、ゴム堰のように内圧によるゴムの伸びが常時発生した状態で曝露されることがないため、試験方法の引張ひずみの条件は緩和してもよく、機械的強度とのバランスを踏まえて検討する。耐凍害性についても原則はこれを省略できるが、極低温にさらされる可能性がある場合は、**農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工（ゴム堰）」**の耐寒性に対する照査を参考に検討を行う。このように、ゴム弾性板の設置条件を考慮して適用性の判断を行うものとする。

参考に、これまでに使用実績のある弾性板の主に耐久性に関する品質規格の例を**表3.3-4**に示す。

表 3.3-4 弾性板の品質規格（主に耐久性）の例

試験項目		規格値	試験方法		
物理試験	老化前	引張強さ	16 MPa以上	3号ダンベル	JIS K 6251
		伸び	350 %以上		
		硬度	72 以下	デュロメータ硬さ試験 (タイプA)	JIS K 6253-3
	老化後	引張強さ	老化前値の80%以上	<老化条件> 空気加熱老化試験機 老化温度：70±1℃ 老化時間：96 ⁺⁰ ₋₂ 時間	JIS K 6257
		伸び	老化前値の80%以上		
		硬度	老化前値の+8以内でかつ76以下		

2 打換え工法

(1) 材料

- ・打換え工法に用いるコンクリート材料は、期待される耐用期間中に付着性、耐摩耗性、耐凍害性、耐衝撃性等の要求性能を満足するものを用いるものとする。
- ・原則として、設計基準強度 50 N/mm² 以上の高強度コンクリートを使用する。

(2) 打ち継ぎ

- ・打換え工法は、旧コンクリート躯体と十分に付着した状態で、はじめてその性能を発揮することができる。材料以外にも総合的な検討を行い打換え工法の付着性能を十分確保するものとする。

(3) 施工

- ・打換え工法では、水替え、旧コンクリート躯体の脆弱部の除去、鋼材の処理、層厚が薄くなる場合の施工方法等留意すべき点が多い。現場環境に応じてこれらを十分考慮し確実に施工するものとする。

(4) 製造

- ・高強度コンクリートを製造する工場は(適)マークの使用が承認された工場あるいはこれと同等以上の製造設備と管理体制の工場で、現場までの運搬時間、コンクリートの出荷能力、品質管理能力等を考慮して選定しなければならない。

【解説】

(1) 材料について

付着性については、(2) 打ち継ぎの項で述べる。

耐摩耗性については、高強度コンクリートは参-16 に示すように中程度の耐摩耗性を有する。

また、打換え層厚は、施工上の制約等から 20 cm 以上の厚さとなる場合が多い。耐摩耗性の高さ及び層厚から高強度コンクリートを使用した打換え工法では耐摩耗性が問題となることは少ない。しかし、①耐摩耗性は層厚に依存する、②高強度コンクリートの耐摩耗性は強度以外の骨材寸法、品質等にも依存する、③摩耗作用が極めて大きい頭首工も存在する、等の材料及び環境条件が通常と異なる場合は耐摩耗性の検討が必要な場合もある。その場合は、表 3.1-2 に示す照査方法を用いて高強度コンクリートの耐摩耗性及び耐衝撃性の照査を行っても良い。

耐凍害性については、コンクリート材料の耐凍害性を向上させるためには混合セメントの使用および適切な空気量の確保が効果的とされている。耐凍害性の向上が必要な場合は、参考資料参考③3.1.3 凍害に対する工法選定フローの(4) 凍害対策に示した考え方を参考に適切に材料選定を行うことが望ましい。

コンクリート強度と耐摩耗性の関係は参考資料参-16 ページに示すようにコンクリートの強度が増加すれば耐摩耗性は向上する。よって、打換え工法の材料については原則として設計基準強度 50 N/mm² 以上の高強度コンクリートを使用するものとする。

コンクリートの品質については、現場状況に応じて、農林水産省土木工事施工管理基準 別表第 3 品質管理等を参考にし、要求性能を満足する品質を確保するものとする。

劣化要因については、打換への対象となる躯体の劣化進行又は環境作用の違いにより打換え工

法の材料選定及び構造は変化する。参考資料の参考③に示した工法選定フローを参考に材料選定および構造を総合的に検討することが望ましい。

(2) 打ち継ぎについて

打換え工法は、旧コンクリート躯体と十分に付着した状態で、はじめてその性能を発揮する。

打換え工法の付着性については、2023年制定コンクリート標準示方書【施工編】 9.7 打継目の記載を遵守し、打ち継ぎ面の付着性を確保するために確実な施工を行うものとする。

(3) 施工について

2023年制定コンクリート標準示方書【施工編】の記載を遵守し確実な施工を行うものとする。

(4) 製造について

高強度コンクリートの製造には、高度な管理が要求されることから、**適**マークの使用が承認された工場もしくはこれと同等以上の製造設備と管理体制の工場を選定する必要がある。しかし、**適**マークの使用が承認された工場であっても高強度コンクリートの製造実績を有しない場合があるため、使用できる材料の種類、品質、貯蔵設備の数量や貯蔵された材料の状態、ミキサの練混ぜ性能、現場までの運搬時間及び品質管理能力等を考慮して工場を選定を行う必要がある。高強度コンクリートの品質には骨材の粒度及び表面水率の変動が影響しやすいため、十分な排水機能を有し、骨材を粒度毎に分割して貯蔵できる設備や表面水率を自動的に計測できる装置等を有する工場を選定するのがよい。

3 石張工法

- (1) 石張工法に用いる石材については、期待される耐用期間中に耐久性等の要求性能を満足するものを用いるものとする。
- (2) 石張工法は、石材の耐久性の他にも目地の構造・耐久性、裏込め材料の構造・品質等を総合的に検討し、構造物全体として期待される耐用期間中に要求性能を満足することを確認することが望ましい。

【解説】

(1) 石張り工法に用いる石材について

石材については、硬質かつ安定し、耐久性が高い材料を用いるものとする。

ただし、石材については地域性が強く、同じ種類の石材であっても産地によって石の特性や形状が異なり、品質及び施工に問題が発生する場合もある。そこで、地域で使用されている石材の実績を十分調査し、使用環境に適合した材料を選択することが必要となる。その際は、河川の景観形成に資する石積み構造物の整備に関する資料 平成18年8月 国土交通省 河川局 河川環境課等が参考となる。

石材の品質の目安であるが、JIS A 5003に示された区分の硬岩を原則として用いることが望ましい(表3.3-5)。

表 3.3-5 石の圧縮強度による区分

種類	圧縮強さ N/cm ² {kgf/cm ² }	参考値	
		吸水率 %	見掛比重 g/cm ³
硬石	4,903 {500} 以上	5 未満	約 2.7 ~ 2.5
準硬石	4,903 {500} 未満	5 以上	約 2.5 ~2
	981 {100} 以上	15 未満	
軟石	981 {100} 未満	15 以上	約 2 未満

(2) 石材の性能について

石張工法の性能については、石材の耐久性の他にも目地の構造・耐久性、裏込め材料の構造・品質等が総合的に影響する。石張工法全体として、期待される耐用期間中に要求性能を満足することを検討することが望ましい。石張工法の基本的な考え方等については、**護岸・根固め工の設計ガイドライン 1994 国土開発技術研究センター**等が参考になる。

4 魚道の補修工法

魚道は、現場条件によって摩耗速度が異なるため、個々に摩耗速度を調べ、表 3.3-6 を参考にエプロン系施設もしくはその他施設に分類し、それぞれに適合する性能を有する施設に回復又は向上させることができる対策工法を選定する。

【解説】

(1) 年間平均摩耗速度

魚道については、その魚道における年間平均摩耗速度が分かれば、表 3.3-6 頭首工、開水路の年間平均摩耗速度から、その魚道がエプロン系施設、その他施設のどちらに相当するのか判断することができる。エプロン系施設に分類される場合は表 3.1-2 を、その他施設に分類される場合は表 3.1-3 の品質規格を参照されたい。

なお、年間平均摩耗速度とは、メッシュ測量等による摩耗深さの平均値を供用年数で除した値である。

表3.3-6 頭首工、開水路の年間平均摩耗速度

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) 魚道工事の実績

魚道における補修等の対策の実績は、次のとおりであり、表 3.3-7 国営頭首工における魚道工事実績 総括表にその詳細を示す。

- ①新設 2 カ所、補修 2 カ所、改築 4 カ所であった。
- ②ひび割れや摩耗による劣化に対して補修を行った魚道は、2 カ所である。補修工法は無機系被覆工法、ひび割れ注入工法等であった。
- ③魚類の遡上不良等の機能不全により改築した魚道は、4 カ所であった。
- ④魚類の遡上に対して機能不全となり改築した魚道についても、ひび割れや摩耗・骨材露出による劣化が確認された。
- ⑤既設魚道が無く、頭首工改修工事に合わせて魚道を新設した頭首工は、2 箇所であった。

(3) 近年の頭首工の魚道に関する設計と施工の動向

既設魚道の改修事例が増加している。その理由として、河床低下、老朽化等といった魚道の機能低下に対する対策が大半を占めている。また、魚道維持管理上の課題としてごみや流木等の流下物対策や堆砂対策が多くなっている。これらの状況を踏まえ、平成 26 年度によりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針が改定された。

この指針には、近年の魚道の新築及び改築実績を踏まえ、多魚種の遡上に配慮した魚道形式や集魚効果を向上させるための呼び水施設に関する留意事項等が記載されている。

表3.3-7 国営頭首工における魚道工事実績 総括表（令和2年3月現在）

河川区分	既設魚道の有無	施設状況	対策	対策工法の区分				魚道位置の区分			補修工法	
				新設数	補修数	改築数	※不明	河道外	河道内	合計		
溪流河川 >1/140	無し	—	—				2			2		
			新設	1						1		
	有り	健全 劣化 機能不全	—				1		1	1		
			補修									
			改築			1			1	1		
		小計	1	0	1	3	0	2	5			
急流河川 1/140 ~1/800	無し	—	—									
			新設	1						1		
	有り	健全 劣化 機能不全	—				2	1	1	2		
			補修		1				1	1	1	無機系被覆、 ひび割れ注入、 断面修復
			改築			3		2	1	3		
		小計	1	1	3	2	3	3	7			
緩流河川 <1/800	無し	—	—				1			1		
			新設									
	有り	健全 劣化 機能不全	—									
			補修		1			1		1	1	無機系被覆、 ひび割れ注入、 ひび割れ充填
			改築									
		小計	0	1	0	1	1	0	2			
河川勾配 不明	無し	—	—				5			5		
			新設									
	有り	健全 劣化 機能不全	—				1		1	1		
			補修									
			改築									
		小計	0	0	0	6	0	1	6			
		合計	2	2	4	12	4	6	20			

※不明：関係資料に記載がないため、無対策の可能性が高い施設

第4 その他施設の補修工法

摩耗条件、環境条件が開水路と同等の要求性能と想定される施設（その他施設）では、補修に関しては、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】の品質規格を満たす材料及び工法を適用することができる。その他施設としては、取水庭、放流施設、沈砂池、堰柱(上部)、導流壁(上部)がある。

その他施設の主な品質規格を表 3.1-3 に示す。また、期待される耐用期間を表 3.1-4 に示す。品質規格については、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】の最新版を参考に総合的な判断を行い、適用性を判定するものとする。本章では、主な工法である無機系被覆工及び有機系被覆工を例に品質規格を示す。

1 無機系被覆工法

その他施設の無機系被覆工法に使用する材料・工法は、補修の効果が期待される期間を 20 年とした場合、表 3.4-1 の品質規格を満足しなければならない。

表 3.4-1 無機系被覆工法に使用する材料・工法の品質規格（例）

要求性能項目		品質項目	照査方法		品質規格値（案）
基本的性能	中性化抑止性	中性化速度係数	JIS A 1153	4 週経過後*1 の中性化深さから算定する速度係数	中性化深さ 5 mm 以下 中性化速度係数 18 mm/√年 *1 以下
	付着性	付着強度	JSCE-K 561 (乾湿・温冷繰返し 回数は 10 サイクル* 1)	標準条件	1.5 N/mm ² 以上
				多湿条件	
				低温条件	
				水中条件*2	1.0 N/mm ² 以上
				乾湿繰返し条件	
	温冷繰返し条件				
一体化性	圧縮強度	JSCE-K 561	4 週経過後の圧縮強度	21.0 N/mm ² 以上	
寸法安定性	長さ変化率	JIS A 1129 *3	成形 28 日後の長さ変化率	0.05% 以下	
耐摩耗性	摩耗深さ	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）	水砂噴流摩耗試験 10 時間*1 経過後の平均摩耗深さと標準供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢 28 日）	標準供試体に対する平均摩耗深さの比が PCM : 1.5 以下 HPFRCC : 2.5 以下	
個別的性能	耐凍害性	相対動弾性係数	JIS A 1148 (A 法)	300 サイクル後の相対動弾係数	90% 以上

*1 補修の効果が期待される期間を 20 年とした場合の例を示す。右欄に示す品質規格値（案）も同じ。「補修の効果が期待される期間」とは、頭首工の補修後に、補修の各性能による効果が発現し持続することが期待される期間を指す。

*2 JSCE-K 561 の接着強度（水中条件）では、供試体作製後、水中養生を開始するまでの気中養生時間等が明記されていないので、本書では、温度 20±2℃、相対湿度 60±10% で 7 日間とする。

*3 ゲージプラグ付き金型に所定の材料をコテで充填し、温度 23±2℃、湿度 50±5% の状態で 2 日間養生後、型枠を脱型したものを試験体とする。脱型後を基長として温度 23±2℃、湿度 50±5% の状態で 28 日後の長さ変化率を測定する。

【解説】

(1) 無機系被覆工法

ア 品質項目

頭首工のその他施設は、堰柱と導流壁の上部（気中部）以外は河川外構造物であり、補修工事を実施するためには大規模な仮設等を必要としない。

また、堰柱と導流壁の上部（気中部）は、補修対象の堰柱もしくは導流壁の左右のゲートを閉め、他のゲートを開けることで足場を設置した補修が可能になる。このため、頭首工のその他施設は、開水路と同様の 20 年の耐久性を想定した試験時間や回数としている。

イ 品質規格

照査方法及び品質規格値は、開水路と同じ値とする。

(ア) 中性化抑止性

無機系の表面被覆材の中性化速度係数はコンクリートと比較して大幅に小さいが、被覆厚さを考慮した中性化抑止性が要求される。中性化抑止性は、施工後の環境条件に依存するが、表面被覆材の種類及び被覆厚さによっても異なる。したがって、施工後の環境条件及び使用する表面被覆材の性能を把握した上で、適切な被覆厚さを設定する必要がある。

なお、無筋コンクリート構造物では、中性化抑止性は不要である。

【照査方法】

中性化抑止性の試験方法は、一般的なコンクリート表面被覆工法で用いられている JIS A 1153 コンクリートの中性化促進試験方法に基づくものとする。

ただし、コンクリート基盤は型枠を取り外した後、材齢 4 週まで温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の湿潤状態で養生を行う。供試体は、基盤の測定面となる面（2 面）に被覆材を塗布し、また他の面（4 面）にシーリング材を塗布した後、28 日間の養生を行い、作成する。

【品質規格値】

品質規格値は、無機系被覆工法の効果が期待される期間内の中性化深さが表面被覆材の設計厚さ（ただし、不陸調整分の被覆厚さは含まない。）以内に収まる中性化速度係数とする。無機系被覆材の設計厚さを 5 mm として、効果が期待される期間を 20 年と仮定した場合、中性化速度係数の規格値は、 $18 \text{ mm}/\sqrt{\text{年}}$ となる。

無機系被覆工の設計厚さを 5 mm、効果が期待される耐用期間を 20 年と仮定する。20 年後に中性化深さが 5 mm となる中性化速度係数を逆算する。

中性化深さは次式で予測できるものとする。

$$y = a\sqrt{t} \quad (3.7)$$

ここで、

y : t 年経過後の中性化深さ (mm)

a : 中性化速度係数 ($\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$)

t : 経過年数 (年)

$t=20$ 年のとき $y=5$ mm なので、

$$5 = a \cdot \sqrt{20}$$
$$a = \frac{5}{\sqrt{20}} = 1.118 \approx 1.1$$

以上より、自然環境下における中性化速度係数は 1.1 mm/ $\sqrt{\text{年}}$ となる。促進試験から求めた中性化速度係数を a' とすると、 a' は次式から求めることができる。

$$a' = \alpha_1 \alpha_2 a \quad (3.8)$$

ここで、

α_1 : 二酸化炭素濃度の補正係数、一般には 10 を用いる。

α_2 : 環境条件の補正係数、頭首工は乾燥しやすい環境とし、1.6 を用いる。

自然環境下における中性化速度係数は 1.1 mm/ $\sqrt{\text{年}}$ の場合、促進試験から求めた中性化速度係数次式から 18 mm/ $\sqrt{\text{年}}$ となる。

$$\alpha' = 10 \times 1.6 \times 1.1 = 17.6 \approx 18 \text{ mm}/\sqrt{\text{年}}$$

(イ) 付着性

無機系被覆工法は、躯体と十分付着することにより中性化抑止性などその他の性能を発揮することができる。

無機系の表面被覆材は、多様な環境条件における付着性の確保が重要となる。特に頭首工の補修においては、その施工条件や環境条件を考慮すると、多湿や低温条件における施工性及び長期間に亘る水没条件や乾湿・温冷の繰り返しといった様々な条件での付着性が求められる。このため、付着性の照査は、これら想定される全ての条件で行う必要がある。

【照査方法】

試験方法は、土木学会基準 JSCE-K561 コンクリート構造物用断面修復材の試験方法（案）の付着強度試験方法に基づくものとし、表面被覆材料供試体の養生期間は製造業者が指定する期間、又は室温で 28 日間とする。また、水中条件での供試体の養生は、(財)下水道業務管理センター 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアルに規定する「防食被覆層に関する品質試験方法」の規定を準用し、供試体作成後、別途、水中状態開始までの気中養生を温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (相対湿度 $60 \pm 10\%$) で 7 日間行うものとしている。水中養生開始後の養生条件は、JSCE-K561 に基づいて行う。

【品質規格値】

施工の初期値に該当する標準条件、多湿条件及び低温条件での品質規格は、 1.5 N/mm² 以上とした。この品質規格値については、これまでのところ理論的には明確になっていないが、日本下水道事業団が標準条件で 1.5 N/mm² の規格値を採用しており、この品質規格を参考にして決定している。また、促進劣化後に該当する水中条件、温冷繰り返し後及び乾湿繰り返し後の品質規格値は、試験時の養生条件の厳しさを考慮して、 1.0 N/mm² 以上としている。なお、試験結果には、付着強度試験後の破断面の位置と状況を明記するものとする。

(ウ) 一体化性（圧縮強度）

無機系被覆工法は、既設躯体表面の不陸調整を兼ねて施工することが多いため、既設躯体コンクリート（下地コンクリート）と同等の圧縮強度などの物性を有し、温度変化が生じても躯体と一体的に挙動することが要求される。

無機系被覆工法で一般的に使用されているポリマーセメントモルタルは、既設の鉄筋コンクリートとほぼ同等の強度等の特性を有しているものが多い。

- ・圧縮強度 21.0 N/mm² 以上
- ・静弾性係数 2～2.8×10⁴ N/mm²（コンクリート 2～2.8×10⁴ N/mm²）
- ・熱膨張係数 15×10⁻⁶/℃前後（コンクリート 10×10⁻⁶/℃）

したがって、これらの性能を有する被覆材は、温度変化が生じても躯体コンクリートと一体的に挙動するものと推察されるが、使用するポリマーセメントモルタル被覆材の性能が上記の内容と異なっている場合もあるため、主に材料の圧縮強度について照査する。

【照査方法】

本書では、躯体との一体化性を圧縮強度で評価する。無機系表面被覆材の圧縮強度試験は、土木学会基準 JSCE-K561 コンクリート構造物用断面修復材の試験方法（案）の圧縮強度試験方法に基づくものとし、養生期間は室温で28日間とする。

【品質規格値】

既設躯体コンクリートの圧縮強度以上とし、標準的な現場打ち鉄筋コンクリートの設計強度である 21.0 N/mm² 以上を確保するものとする。

(エ) 寸法安定性（長さ変化率）

その他施設コンクリートの表面被覆工事では、無機系被覆材を薄厚で広範囲に施工するため、被覆材に乾燥収縮によるひび割れが生じやすいことから、乾燥収縮に対する寸法変化が小さいことが必要とされる。

【照査方法】

試験方法は、セメントコンクリートやポリマーセメントモルタル系断面修復材などの標準的な試験方法である JIS A1129 モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法に基づくものとする。

なお、この試験方法には、具体的な養生方法、基長の測定時期に関して詳細な規定がないため、東・中・西日本高速道路株式会社 試験法 432 断面修復用吹付けモルタルの試験方法の養生期間及び基長の測定時期を採用している。測定方法は、ダイヤルゲージ法による測定を標準とするが、これにより難い場合は、JIS A 1129 に規定するコンパレータ方法又はコンタクトゲージ方法での測定によっても良い。

【品質規格値】

品質規格値は、東・中・西日本高速道路会社の構造物施工管理要領を参考に、0.05%以下とする。

(オ) 耐摩耗性

その他施設の摩耗では、比較的脆弱なモルタル分がコンクリート表面から選択的に摩耗され、粗骨材が露出する。さらに摩耗が進行すると粗骨材の露出・脱落が発生し、かぶり厚の減少が生じるため、過度の摩耗が発生しないことが要求される。

【照査方法】

砂を含む水の噴流によるすり磨き及び衝撃による摩耗作用を疑似している水砂噴流摩耗試験により照査するものとし、詳細は**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】**を参照されたい。

【品質規格値】

開水路と同等の要求性能と想定される施設として、**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】**を参考に、水砂噴流摩耗試験装置における標準モルタル供試体の10時間平均摩耗深さの基準値と補修材の平均摩耗深さの比が、ポリマーセメントモルタル等で1.5以下、HPFRCC（複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料）で2.5以下とした。

(カ) 耐凍害性

凍害のおそれのある地域では、無機系の表面被覆材に耐凍害性が要求される。

【照査方法】

無機系の表面被覆材は有機系材料と比較して吸水しやすいため、凍害による劣化が生じやすい。したがって、**JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験方法（A法）**に基づき、凍結融解作用に関する照査を行う。

【品質規格値】

2022年制定 **コンクリート標準示方書【設計編】**の凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足するための凍結融解試験における相対動弾性係数の最小限界値を参考に、頭首工の設置環境として、①気象条件として、凍結融解がしばしば繰り返される場合、②構造物の露出状態として、連続してあるいは、しばしば水で飽和される場合、③断面が薄い場合に相当するとして、相対動弾性係数の特性値を90%以上とした。

ウ その他の個別的性能について

その他の個別的性能（例）としては、次のようなものが想定される。

(ア) 通水時の硬化状態

冬期通水がある頭首工のその他施設では、表面被覆工の施工期間中に通水と断水を繰り返す必要があるため、表面被覆工法の施工後、短期間の養生で通水を行わなければならない場合がある。無機系被覆工法は、一般的に有機系被覆工法より硬化時間が遅いため、通水可能となる養生期間を事前に試験データ等で確認しておく必要がある。

(イ) 水質適合性

一般的な頭首工における無機系被覆工法の水質適合性は、セメントコンクリートとほぼ同様の扱いとしても支障がないものとし、水質適合性に関する性能規定（水質試験とその基準値の設定）はとりわけ必要としない。

上水との供用区間に適用する場合は、水道管理者等との事前協議に基づくものとし、水質を規定する等の対応が必要となる場合がある。

第4章 補修工法の施工

第1 仮設工等共通工事の施工手順

- (1) 頭首工の補修は、種々の工法を適切な手順で施工しなければならない。
(2) 図4.1-1 にエプロン系施設の補修の手順例を示す。

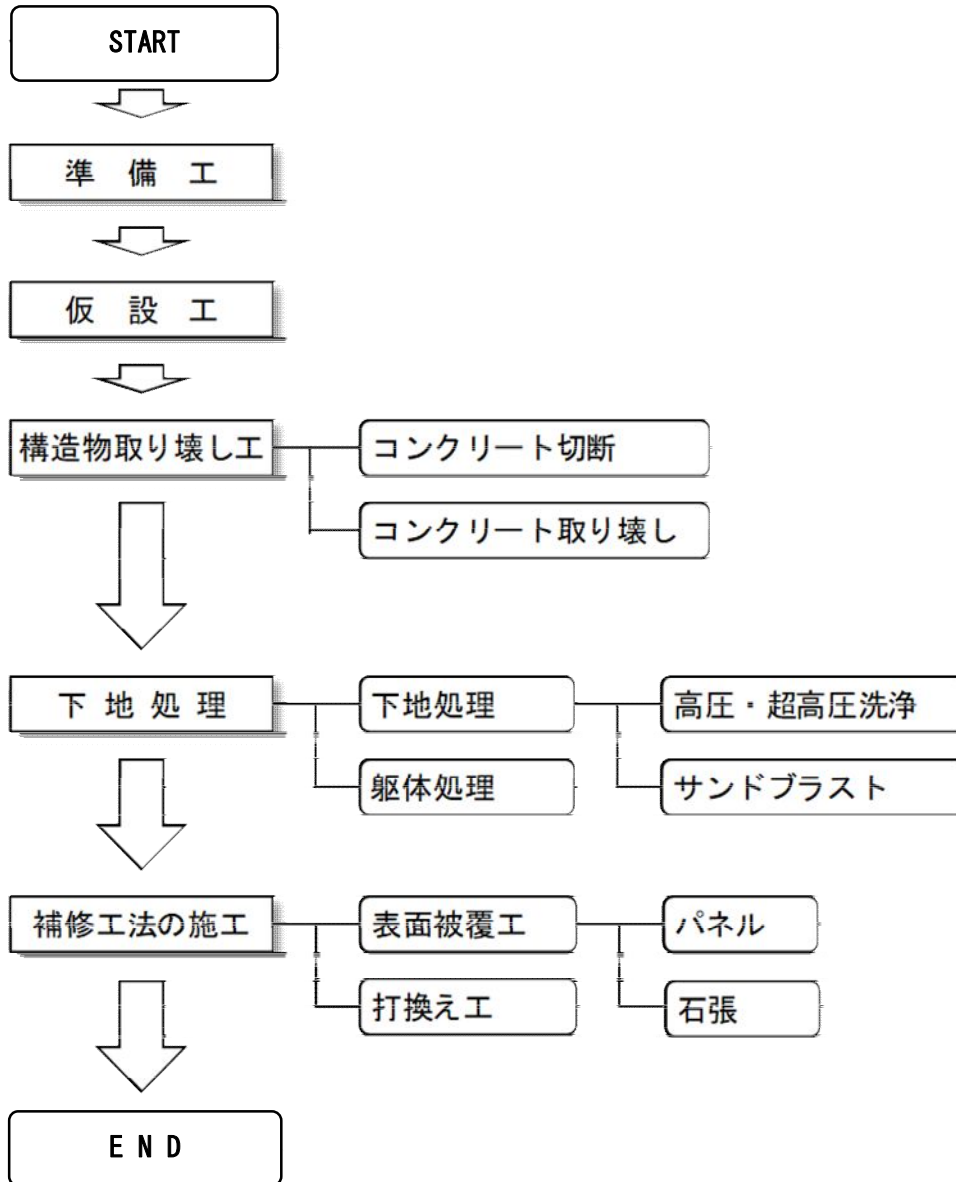


図 4.1-1 エプロン系施設補修の手順例

(3) 図 4.1-2 にその他施設の補修の手順例を示す。

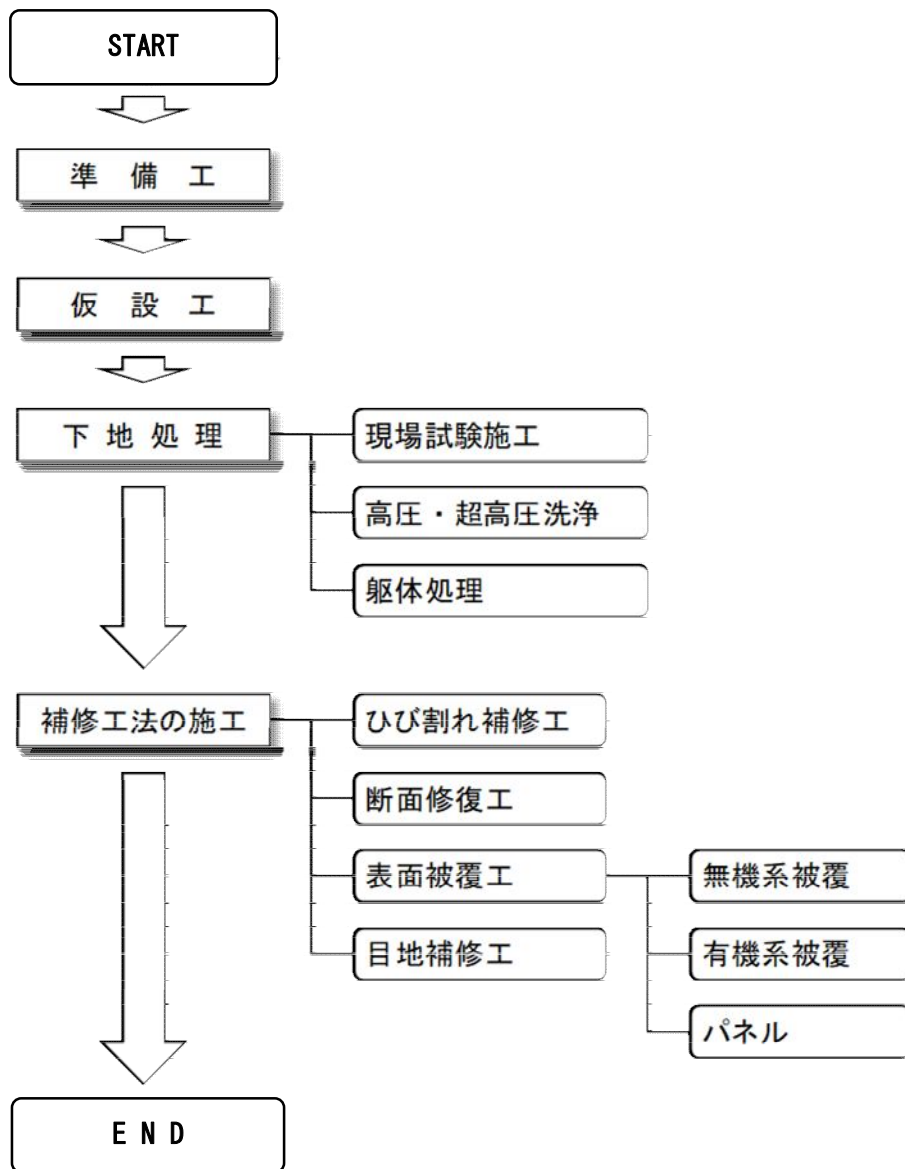


図 4.1-2 その他施設補修の手順例

【解説】

準備工において、摩耗深さ、ひび割れ及び断面損傷等の状況について調査を行い、施工する。

1 準備工

頭首工の補修工事に際して、適切な準備を行う。

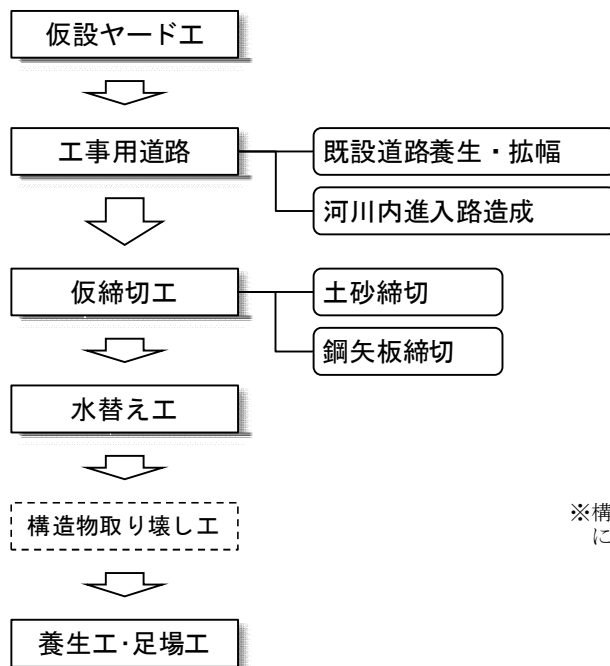
【解説】

頭首工の補修工事を行う際、準備工として、工事区域周辺の用地境界、基準点・水準点、用排水設備、道路舗装状態、地下埋設物、架空線等の調査・確認を行う。また、既存の基準点・水準点を使用して、現場内に基準点及び仮BMを設置する。

2 仮設工

頭首工の補修工事に際して、適切な仮施設・設備の設置を行う。

図 4.1-3 に仮設工の手順例を示す。



※構造物取り壊し工は、必要に応じて実施する。

図 4.1-3 仮設工の手順例

【解説】

頭首工の補修工事を行う際、仮設工として、主に次の作業を事前に行う。

(1) 仮設ヤード工

工事用資機材、埋戻土、盛土材等の一時仮置場を造成する。田畑を使用する場合は、土木シート、クッション砂、敷鉄板等による養生を行う。

(2) 工事用道路

頭首工周辺の主要道路からの資機材の搬入路、河川内への工事用進入路等を造成する。

既設道路を利用する区間は、工事用車両の通行、離合等の計画によっては、既設道路の拡幅や待機場所、隅切の設置を行う。

(3) 仮締切工

頭首工の補修工事は、主として河川内工事であり、河川規模や施工時の流量・堤防構造、工事期間中の出水状況等の現場条件が頭首工毎に大きく異なるため、現場毎に検討のうえ実施する。

また、事前に行った河川管理者との協議内容にも留意して実施する。

仮締切は、河川内でのドライ施工による品質確保と施工の安全性確保を目的とするため、重要な工種である。中小河川では半川締切、大河川では3～4期に区分した仮締切を設置するのが一般的であり、設計流量、河川の幅員、河川状況、工期などの施工計画と併せて総合的に検討する。

仮締切の型式、工法は現場条件により土砂や大型土のう（図4.1-4、写真4.1-1参照）、コンクリート、鋼矢板（図4.1-5、写真4.1-2参照）など種々の材料を用いる方式があり、これらを単一で使用したり、2種類以上を組み合わせる等の方式がある。

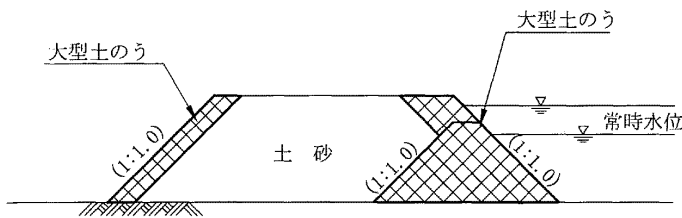


図 4.1-4 土砂締切設置例

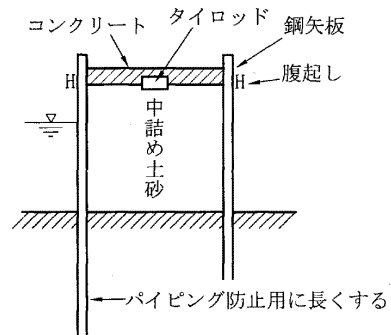


図 4.1-5 鋼矢板締切設置例

図 4.1-4, 図 4.1-5 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 29 章 29.2 仮設工事



写真 4.1-1 土砂締切（大型土のう）



写真 4.1-2 鋼矢板締切

(4) 水替え工

仮締切内の作業ヤードで想定される排水量に合わせて、釜場及び排水ポンプを設置する（写真 4.1-3 参照）。

また、既設構造物の取り壊し、高圧洗浄時の洗浄水、雨水による濁水が見込まれる場合は、濁水処理施設を設置し、作業状況に応じて濁水処理（水質イオン濃度(pH)、浮遊懸濁物質(ss)等）後、河川へ放流する（写真 4.1-4 参照）。



写真 4.1-3 ポンプ排水状況



写真 4.1-4 濁水処理施設設置状況

(5) 養生工・足場工

補修工事の施工時、降雨や降雪対策、洗浄水等の飛散防止、直射日光や強風による被覆表面の乾燥ひび割れの防止、養生温度の確保等のため、必要に応じ、ビニールシートなどによる養生工を設置する（写真 4.1-5、写真 4.1-7 参照）。

また、堰柱、沈砂池、取水工等の高さが 2 m 以上の構造物に対して、作業の安全と効率向上のために足場、作業床及び昇降設備を設置する（写真 4.1-6 参照）。

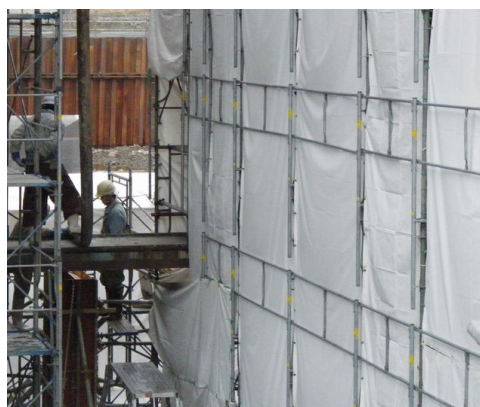


写真 4.1-5 シート養生（堰柱）



写真 4.1-6 足場の設置状況（堰柱）



写真 4.1-7 シート養生（エプロン）

3 構造物取り壊し工

エプロン系施設の補修工事において、表面被覆の所定の設計厚さを確保するために、削岩機等により既設躯体コンクリート表面をはつり取る。

図 4.1-6 に構造物取り壊し工の手順例を示す。

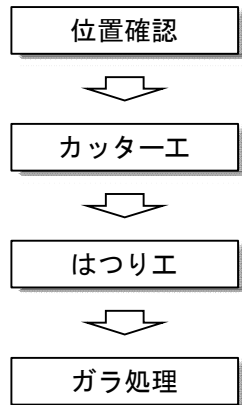


図 4.1-6 構造物取り壊し工の手順例

【解説】

(1) 位置確認

設計図面に基づき、補修範囲の位置確認及び墨出しを行う。なお、取り壊しが所定の深さ以上にならないように、仮BM等を設置して確認しながら作業を行う。

(2) カッター工

所定以外の構造物を破壊しないように縁切りを行うために、切断箇所をあらかじめマーキングし、コンクリートカッターの刃先をマーキングに合わせて切断する。

切断深さは、差し金等で確認しながら切りすぎないようにする（写真 4.1-8 参照）。



写真 4.1-8 コンクリート切断状況
(エプロン)

(3) はつり工

コンクリートの取り壊しは、大型ブレーカーや削岩機で計画面から所定の深さまで既設コンクリートをはつり取る。

既設コンクリートが無筋コンクリートで、取り壊し範囲が広いもしくは、取り壊し厚が厚い場合、大型ブレーカによりはつり後、掘りすぎないように人力で小はつりする（写真 4.1-9、4.1-10 参照）。

作業中は、防護メガネ、防塵マスク、防震手袋を必ず身につけ、必要に応じて破片等の飛散防止のため防護板（ベニア板等）を持たせた作業員を配置する。また、多量の粉塵発生が予想される場合は、適時散水しながら作業を行う。なお、散水した場合は、高アルカリの廃水への対応が必要となるので、河川環境への影響に十分配慮する必要がある。



写真 4.1-9 大型ブレーカーによるはつり状況



写真 4.1-10 削岩機によるはつり状況

(4) ガラ処理

コンクリート殻は、産業廃棄物として適正に処分する。

4 下地処理工

頭首工の補修は、下地処理後、既設コンクリート表面に補修材料を被覆接着することが主たる方法であり、補修の効果は下地処理の影響を強く受ける。このため、十分な下地処理を行い、付着性を確保しなければならない。

【解説】

(1) 現場試験施工

躯体の汚れや劣化状況は、個々の施設や部位においてそれぞれ異なるため、工事発注後の現場試験施工により詳細な下地処理の方法を決定する。

現場試験施工は、構造種別ごとに1カ所を目安とし、仕様書に定められた方法により行う。

<現場試験施工の例>

- ・水圧洗浄により下地処理を行う場合は、高圧（30～100 MPa）と超高压（150 MPa 以上）から3種類程度の圧力により試験を行う。試験時間は1分単位で時間設定を行うことが望ましい。
- ・エプロン系施設の試験部位は、堰柱間毎に1カ所とし、面積は1 m²程度を目安とする。そ

の他施設の試験部位は1カ所につき両側壁と底版とし、面積は各々1 m²程度を目安とする。

- ・試験における品質確認の方法は、処理後の既設躯体コンクリート表面の汚れや脆弱部の除去を目視で確認する。無機系被覆工法及び有機系被覆工法では、単軸引張試験により付着強度を測定し確認する。
- ・単軸引張試験による付着強度の確認は、1カ所につき、3点実施し、その平均値による。
- ・なお、付着強度の目安は、部位別にそれぞれ以下を目安とするが、満足な値が得られない場合、対応を協議する。

その他施設の底版及びエプロン系施設：1部位3点の付着試験の平均値は、1.0 N/mm²以上。

かつ、個々の値は0.85 N/mm²以上。

その他施設の側壁：1部位3点の付着試験値は、それぞれ1.0 N/mm²以上。

(2) 下地処理工

下地処理を水圧洗浄で行う場合、現場試験施工で決定した水圧により全面を処理する。水圧洗浄機は機種により水量や施工圧力等が異なる場合があるため、本施工において試験時と異なる機種を用いる場合、同等以上であることを確認する（写真4.1-11参照）。

また、エプロン系施設において、構造物取り壊し後の基面の下地処理として、研磨用硬度粒調珪砂によるサンドブラスト処理による下地処理を実施した事例がある。作業は施工場所をテント形状のシートで覆い、進行に合わせ移動し砂の飛散を防ぐ。処理後、使用した珪砂の回収を行い、バキュームクリーナーで清掃する（写真4.1-12参照）。

下地処理完了後は、単軸引張試験による付着試験を行い、施工品質を確認する。付着試験は、部位別の各面についてあらかじめ施工計画書に定められた面積毎に付着強度の確認を実施する。



写真 4.1-11 高圧洗浄処理状況
(エプロン)



写真 4.1-12 サンドブラスト処理状況
(エプロン)

(3) 躯体処理（必要に応じて実施）

型枠ズレなどによる段差、断面を侵す部分に関し、施工後に不要となる箇所は、必要に応じてクレーン、電動ピックなどを用いて撤去する。

第2 補修工法の施工手順

1 エプロン系施設の補修工法

(1) パネル工法

エプロン系施設におけるパネル工法の標準的な施工手順と施工方法を次に示す。

- ア 準備工
- イ 仮設工
- ウ 構造物取り壊し工
- エ 下地処理工
- オ パネル取付工
- カ パネル目地工
- キ グラウト注入工
- ク 仕上げ工

【解説】

エプロン系施設の代表的なパネル工法である**超高強度繊維補強コンクリート工法**と**弾性板工法**の施工手順を示す。

①超高強度繊維補強コンクリート工法

ア 準備工

準備工については、**第4章第1 1 準備工**を参照されたい。

また、パネル工法は、事前に現況測量とパネルの割り付け設計・製作及び養生の期間が必要になるため、他の工法より準備工の期間が長くなる。

なお、必要に応じて、事前にアンカーボルトの引抜強度を確認する。アンカー引抜強度試験において引抜強度が品質規格を下回った場合は、打設アンカーの数量を見直す。もしくは、アンカーの規格を変更する。

イ 仮設工

仮設工については、**第4章第1 2 仮設工**を参照されたい。

ウ 構造物取り壊し工

構造物取り壊し工については、**第4章第1 3 構造物取り壊し工**を参照されたい。

エ 下地処理工

下地処理工については、**第4章第1 4 下地処理工**を参照されたい。

オ パネル取付工

既設コンクリートにアンカーボルトでパネルを固定する工程であるが、材料・工法の違いにより取り付け方法が異なる。コンクリート削孔は、アンカー設置位置を墨出しした後、ハンマードリルを使用して、既存コンクリート上面から所定の深さまで垂直に削孔する。パネルの吊込、据

付は、アイボルト等をパネルのモルタル注入・排気孔のインサートに取り付けて行う。

吊り上げ中に落下しないようアイボルトは確実に取り付ける(写真4.2-1、写真4.2-2参照)。



写真 4.2-1 超高強度繊維補強コンクリート
パネル 削孔状況 (エプロン)



写真 4.2-2 超高強度繊維補強コンクリート
パネル据付状況 (エプロン)

金属系アンカーで躯体に直接取り付ける仕様の場合は、事前に、既設コンクリート面にドリル等で削孔のうえ内部を清掃し、パネルにはアンカー挿入孔とパネル背面に躯体コンクリートとの間隔を確保するスペーサーを取り付ける。その後、パネルと躯体のアンカー孔を合わせ、アンカーを打設してパネルを取り付ける。

接着系アンカーで躯体に取り付ける場合は、削孔した孔内を吸引やブロアー等で清掃した後カプセルを挿入し、アンカーボルトをハンマードリルにセットして接着系アンカーを攪拌して挿入する。ボルトを締め付ける前に水糸・水平器・レベル等を用いながらレベル調整ボルトを回転させてレベル調整を行い、レベル調整完了後、アンカーボルトにワッシャをはめてナットを締めパネルを固定する(写真4.2-3、写真4.2-4参照)。



写真 4.2-3 超高強度繊維補強コンクリートパネル
ボルト取付状況 (エプロン)



写真 4.2-4 超高強度繊維補強コンクリート
孔埋処理状況 (エプロン)

カ パネル目地工

パネルの継目部にプライマーを塗布し、乾燥後に目地材を充填する。充填後は、ヘラ等で平滑に仕上げ、養生を行う。

また、止水性シール材（ゴムパッキン等）による目地材の場合、体積が1/2以下になるまで圧縮させ、グラウト漏れを防止する（写真4.2-5、写真4.2-6参照）。



写真 4.2-5 超高強度繊維補強コンクリート
パネル目地材施工状況（エプロン）



写真 4.2-6 超高強度繊維補強コンクリートパネル
目地材ヘラ仕上げ状況（エプロン）

キ グラウト注入工

既設コンクリートとパネルの間にグラウト材を注入し、注入後は、所定の期間、養生を行う。

グラウトの注入は、所定面積を途中で中断することなく注入できるように、原則としてグラウトポンプを使用し、勾配の下方側（下流側）から行う。グラウト注入・排気孔からのグラウト流出を目視で確認するとともに、必要に応じて、充填検知センサー等により確認を行う（写真4.2-7、写真4.2-8参照）。

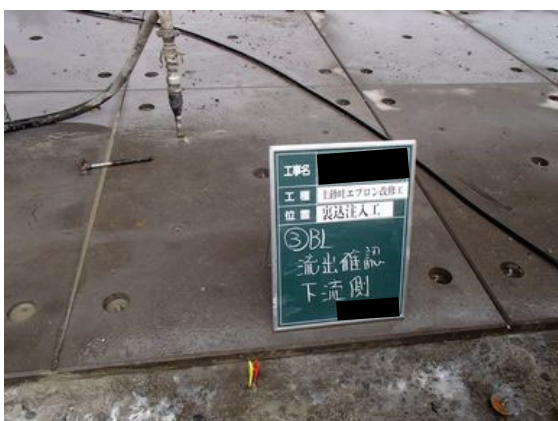


写真 4.2-7 グラウト注入状況（エプロン）



写真 4.2-8 グラウト流出確認状況（エプロン）

ク 仕上げ工

堰柱との接続部等をポリマーセメントモルタル材などにより仕上げる。

ケ 堰柱（下部）の施工例

堰柱や導流壁は、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部位（下部）と受けにくい部位（上部）に大別される。

摩耗が著しく、粗骨材が露出した堰柱の下部に施工された超高強度繊維補強コンクリート工法による補修の実施例を示す（図 4.2-1 参照）。

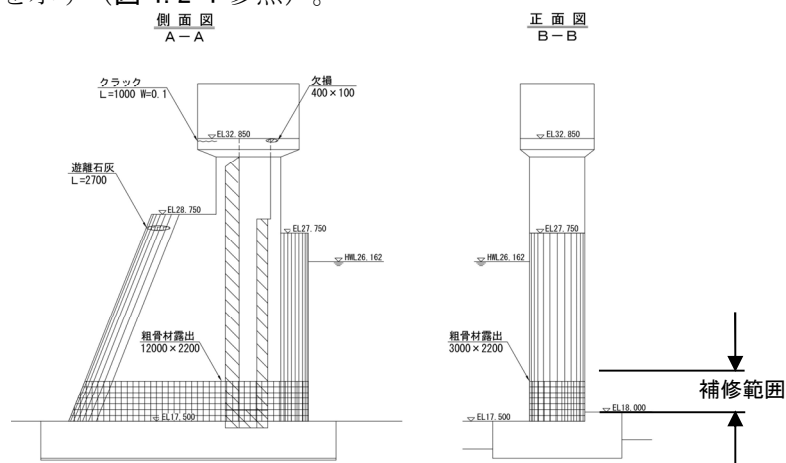


図 4.2-1 劣化位置図（堰柱）

(ア) 構造物取り壊し工

ウォータージェット工法により、コンクリート表面の脆弱部をはつり取る（写真 4.2-9、写真 4.2-10 参照）。



写真 4.2-9 コンクリートはつり作業状況
（堰柱下部）



写真 4.2-10 コンクリートはつり状況
（堰柱下部）

(イ) 断面修復工

洗掘が著しい堰柱端部は、鉄筋の防錆処理、プライマー塗布後にポリマーセメントモルタルにより断面修復を行う（写真 4.2-11、写真 4.2-12 参照）。

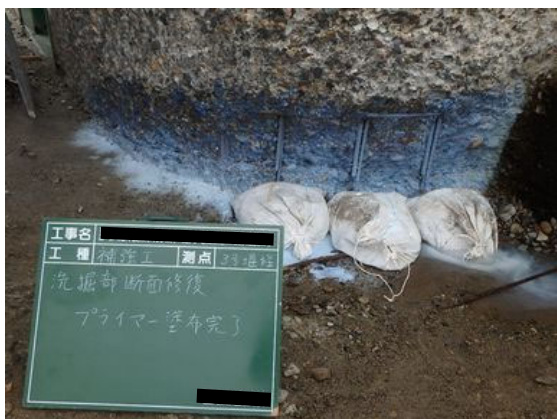


写真 4.2-11 プライマー塗布状況
（堰柱下部）



写真 4.2-12 断面修復状況
（堰柱下部）

(ウ) パネル取付工

チェーンブロック等を使用して、人力で所定の位置にパネルを据え付けた後、コンクリートを削孔し、アンカーボルトで固定する（写真 4.2-13 参照）。

コンクリート削孔は、ハンマードリルを使用して、所定の深さまでパネルに対して垂直に削孔する（写真 4.2-14 参照）。



写真 4.2-13 超高強度繊維補強コンクリート
パネル設置状況（堰柱下部）



写真 4.2-14 超高強度繊維補強コンクリート
パネル削孔状況（堰柱下部）

(エ) パネル目地工、グラウト注入工

パネルの継目部にプライマーを塗布し、乾燥後に目地材を充填する（写真 4.2-15 参照）。

既設コンクリートとパネルの間にグラウト材を注入し、注入後は、所定の期間、養生を行う。グラウトの注入は、所定面積を途中で中断することなく注入できるよう、原則としてグラウトポンプを使用し、パネルの上段からパイプを挿入して行う（写真 4.2-16 参照）。



写真 4.2-15 超高強度繊維補強コンクリート
パネル目地材施工（堰柱下部）



写真 4.2-16 グラウト注入状況
（堰柱下部）

②弾性板工法

ア 準備工

準備工については、第 4 章第 1 1 準備工を参照されたい。

なお、必要に応じて、事前にアンカーボルトの引抜強度を確認する。アンカー引抜強度試験において引抜強度が品質規格を下回った場合は、打設アンカーの数量を見直す。もしくは、アンカーの規格を変更する。

イ 仮設工

仮設工については、第4章第1-2 仮設工を参照されたい。

ウ 構造物取り壊し工

構造物取り壊し工については、第4章第1-3 構造物取り壊し工を参照されたい。

エ 下地処理工

下地処理工については、第4章第1-4 下地処理工を参照されたい。

既設コンクリート面の清掃後、プライマーを均一に塗布し、弾性板の設置高さに合わせて調整コンクリートを打設する。コンクリートの締固めは、高周波バイブレーター等を使用し、仕上げ面は木ゴテ金ゴテ仕上げとする。仕上げ面は弾性板布設精度に影響するため、特に注意して仕上げる必要がある（写真4.2-17、写真4.2-18参照）。



写真4.2-17 調整コンクリート
打設状況 (エプロン)



写真4.2-18 調整コンクリート
仕上げ状況 (エプロン)

オ パネル取付工

既設コンクリートにアンカーボルトでパネルを固定する工程であるが、材料・工法の違いにより取り付け方法が異なる。

弾性板は、防砂シートを敷設後、弾性板を小型移動式クレーン等で専用治具により吊り下ろし、所定の位置付近に人力で配置し、バール等を用いて微調整する（写真 4.2-19、写真 4.2-20 参照）。



写真 4.2-19 弾性板据付状況
(エプロン)



写真 4.2-20 弾性板据付状況
(エプロン)

弾性板を布設した状態で、所定の位置に墨出しを行った後、ハンマードリルにて削孔を行う。削孔後にブロアー、ブラシ等で孔を清掃し、エポキシ樹脂注入、ソケット埋め込み、ボルト固定を行う（写真 4.2-21、写真 4.2-22 参照）。埋め込みソケット打設後、所定時間の養生を行い、最後に固定ボルトの増し締めを行う。



写真 4.2-21 弾性板アンカー削孔状況
(エプロン)



写真 4.2-22 弾性板ボルト取付状況
(エプロン)

カ 仕上げ工

堰柱との接続部等をポリマーセメントモルタル材などにより仕上げる（写真 4.2-23 参照）。



写真 4.2-23 弾性板端部仕上げ状況
（エプロン堰柱接続部）

(2) 打換え工法

エプロン系施設の打換え工法の標準的な施工手順を次に示す。

- ア 準備工
- イ 仮設工
- ウ 構造物取り壊し工
- エ 下地処理工
- オ コンクリート打設工
 - (ア) 鉄筋組立（必要に応じて）
 - (イ) 型枠組立
 - (ウ) コンクリート打設
- カ 養生工

【解説】

ア 準備工

準備工については、第4章第1 1 準備工を参照されたい。

イ 仮設工

仮設工については、第4章第1 2 仮設工を参照されたい。

ウ 構造物取り壊し工

構造物取り壊し工については、第4章第1 3 構造物取り壊し工を参照されたい。

エ 下地処理工

下地処理工については、第4章第1 4 下地処理工を参照されたい。

オ コンクリート打設工

新規打換え部のジョイント（ブロック継目）は、既設コンクリート躯体のジョイントと一致させる必要がある。次に各作業の概要を示す。

(ア) 鉄筋組立（必要に応じて）

設計図書に示す所定の位置に鉄筋を配置し、コンクリート打設時に移動しないように組立用鉄筋を用いて堅固に組立てる（写真4.2-24参照）。

鉄筋のかぶりを保つよう、スペーサを設置し、鉄筋の交点の要所は、直径0.8 mm以上の焼なまし鉄線、又は適切なクリップで緊結する。また、スペーサは、コンクリート製あるいはモルタル製で、本体コンクリートと同等以上の品質を有するものを使用する。

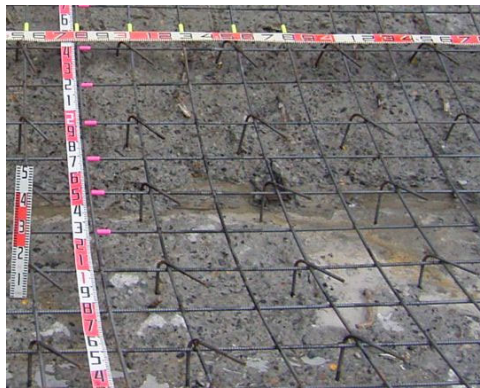


写真 4. 2-24 鉄筋組立状況
(エプロン)

(イ) 型枠組立

型枠は、耐水合板を使用し、設計図に基づき、コンクリートが所定の性能を有するよう堅固に加工、組立を行う。型枠は、容易に組立及び取り外しができ、せき板又はパネルの継目は、なるべく部材軸に直角又は平行とし、モルタルの漏れない構造とする（写真 4. 2-25 参照）。

また、型枠締め付けは、丸セパレータとフォームタイで堅固に行い、フォームタイは強く締めすぎないように注意する。



写真 4. 2-25 型枠設置状況
(エプロン)

(ウ) コンクリート打設

コンクリート打設作業に当たり、あらかじめ打設計画を作成し、これに基づき打設作業を行う。コンクリートは速やかに運搬し、品質管理試験を行って確認した後、直ちに打設し、高周波バイブレータ等によりコンクリートが隅々まで行き渡るように十分に締め固めを行う。練り混ぜから打ち終るまでの時間は、原則として外気温が 25℃を超える時で 1.5 時間、25℃以下の時で 2 時間以内とし、かつ、コンクリートの運搬時間（練り混ぜ開始から荷卸し地点に到着するまでの時間）は 1.5 時間以内とする。

コンクリートの練り混ぜから打ち終わるまでの時間中、コンクリートを日光、風雨等から保護する。日平均気温が 4℃以下になることが予想されるときは、寒中コンクリートの規定により施工する。

また、日平均気温が 25℃を超えることが予想されるときは、暑中コンクリートの規定により施工する。

コンクリートの打込み作業に当たり、鉄筋の位置や型枠を乱さないように行い、コンクリートを 2 層以上に分けて打込む場合、下層のコンクリートが固まり始める前に上層のコンクリートを打込

み、バイブレータで締め固める際は、バイブレータを下層に 10 cm程度挿入し、上層と下層が一体となるように施工する。写真 4. 2-26 にコンクリート打設配管、写真 4. 2-27 に打設状況を示す。



写真 4. 2-26 コンクリート打設配管状況
(エプロン)



写真 4. 2-27 コンクリート打設状況
(エプロン)

カ 養生工

コンクリートの打込み後、硬化に必要な温度及び湿度条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、養生する。

コンクリートの露出面を養生用マット、ぬらした布等で覆い、散水又は湛水を行い、必要な養生期間は常に湿潤状態を保つ (写真 4. 2-28、写真 4. 2-29 参照)。



写真 4. 2-28 コンクリート養生状況
(エプロン)



写真 4. 2-29 コンクリート散水養生状況
(エプロン)

(3) 無機系被覆工法

エプロン系施設の無機系被覆工法の標準的な施工手順を次に示す。

なお、材料・工法の相違によって、施工手順が多少異なる場合がある。

- ア 準備工
- イ 仮設工
- ウ 構造物取り壊し工
- エ 下地処理工
- オ 目地補修工（充填工法）
- カ ひび割れ補修工
- キ 表面被覆工（プライマー工、モルタル被覆工、仕上げ工を含む）
- ク 養生工

【解説】

ア 準備工

準備工については、第4章第1 1 準備工を参照されたい。

イ 仮設工

仮設工については、第4章第1 2 仮設工を参照されたい。

ウ 構造物取り壊し工

構造物取り壊し工については、第4章第1 3 構造物取り壊し工を参照されたい。

エ 下地処理工

下地処理工については、高圧洗浄（写真4.2-30、写真4.2-31参照）と脆弱部の人力はつり作業（写真4.2-32参照）、エアコンプレッサーによる清掃（写真4.2-33参照）を行った事例を示す。その他の詳細は第4章第1 4 下地処理工を参照されたい。



写真4.2-30 固定堰の高圧洗浄



写真4.2-31 エプロンの高圧洗浄



写真 4. 2-32 脆弱部の人力はつり



写真 4. 2-33 エアコンプレッサーによる清掃

オ 目地設置、防錆処理

目地が破損している場合は目地を設置する（写真 4. 2-34 参照）。

また、鉄筋に錆が発生している場合は錆を取り除き鉄筋の防錆処理を行う（写真 4. 2-35 参照）。



写真 4. 2-34 洪水吐きエプロン 目地設置



写真 4. 2-35 土砂吐き下流エプロン
鉄筋防錆処理

カ ひび割れ補修工

下地処理の際、ひび割れがある場合に適用する。

(ア) ひび割れ注入

低圧注入用の座金を取り付け、ひび割れ部にシール材を塗布して材料を注入する (写真 4.2-36、写真 4.2-37、写真 4.2-38 参照)。

(イ) 座金、シールを撤去、仕上げ

座金、シールを撤去し、グラインダで仕上げる (写真 4.2-39 参照)。



写真 4.2-36 座金取付



写真 4.2-37 シール塗布



写真 4.2-38 ひび割れ注入



写真 4.2-39 座金撤去

キ 表面被覆工

無機系被覆工法の場合、水流摩耗による既設コンクリート表面の凹凸の不陸調整は、表面被覆工の中で一体的に行う場合が多い。

(ア) プライマー工

既設コンクリートと表面被覆材の付着力を確保するため、専用のプライマーを使用する。

既設コンクリート表面が適度な乾燥状態になった後、プライマーを噴霧器等で塗布する。

プライマー塗布後、3時間以内に吹付作業が完了するように、プライマー塗布面積を調整する(写真 4.2-40、写真 4.2-41 参照)。



写真 4.2-40 土砂吐きエプロン
プライマー塗布状況



写真 4.2-41 洪水吐きエプロン
プライマー塗布状況

(イ) モルタル被覆工

事前に承諾を得た配合に従ってモルタルミキサーで混練りした後、金ゴテを用いて塗り付ける

(写真 4.2-42、写真 4.2-43 参照)。



写真 4.2-42 モルタルミキサーによる混練り



写真 4.2-43 固定堰 金ゴテによる下塗施工

(ウ) 仕上げ工

初期クラックの発生抑制、表面モルタルの強度発現のために、刷毛やローラー等で表面養生材を塗布し、その後、金ゴテで最終仕上げを行う（写真 4.2-44、写真 4.2-45 参照）。



写真 4.2-44 固定堰 仕上材塗布

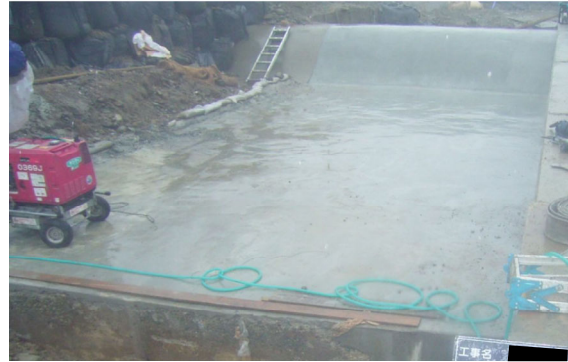


写真 4.2-45 固定堰 仕上材塗布完了

ク 養生工

直射日光や強風により、被覆表面に乾燥ひび割れ等が生じないように、必要に応じてシート養生などを行う。また、冬期施工では、養生時の温度管理を行うとともに、初期凍害を防止するための加温養生を必要に応じて行う（写真 4.2-46 参照）。

所定期間の養生後、表面被覆工の付着強度及び被覆厚さが品質管理上の規格値を満足していることを確認する。



写真 4.2-46 ジェットヒータによる加温養生

工事名		略 図
工 種	補修工	養生状況 (ジェットヒータ)
位 置	エフロン	
設計寸法		
実測寸法		
立 会 者		

(4) 有機系被覆工法

エプロン系施設の耐摩耗エポキシ樹脂モルタルによる有機系被覆工法の標準的な施工手順を次に示す。

なお、材料・工法の相違によって、施工手順は多少異なる場合がある。

- ア 準備工
- イ 仮設工
- ウ 構造物取り壊し工
- エ 下地処理工
- オ 基層工（樹脂コンクリート）
- カ サンドブラスト（基層面）
- キ 表層工（樹脂モルタル）
- ク 養生工

【解説】

ア 準備工

準備工については、第4章第1 1 準備工を参照されたい。

表面被覆材の計量、練り混ぜ及び打設作業を行う施工現場では、あらかじめ準備工によるシート等の養生を行う。

イ 仮設工

仮設工については、第4章第1 2 仮設工を参照されたい。

ウ 構造物取り壊し工

構造物取り壊し工については、第4章第1 3 構造物取り壊し工を参照されたい。

エ 下地処理工

下地処理工については、第4章第1 4 下地処理工を参照されたい。

オ 基層工（樹脂コンクリート）

下地処理後、既設コンクリート（下地コンクリート）表面に不陸がある場合など、躯体断面を復旧し表面を平滑にするため、樹脂コンクリートを打設する。

既設コンクリート面の清掃後、エアスプレーでプライマーを塗布する。

樹脂コンクリートは、モルタルミキサーに樹脂、骨材、玉砂利の順に投入し骨材が全て覆われるまで練り混ぜる。打設は、下端から流し込みにて行う。打設箇所は、テント又はシートで覆い、風が入らないようにし、5℃以上で温度管理を行いながら保温養生を行う（写真 4.2-47、写真 4.2-48 参照）。



写真 4.2-47 プライマー塗布状況
(エプロン)

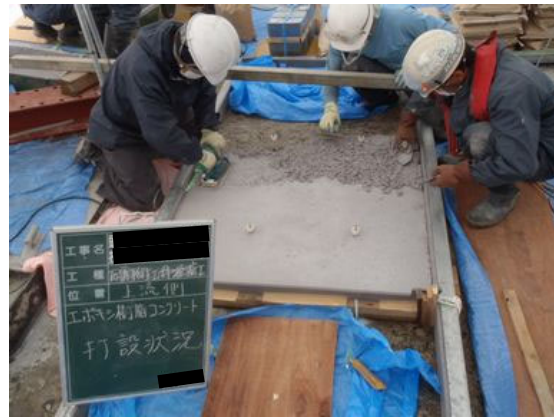


写真 4.2-48 樹脂コンクリート打設状況
(エプロン)

カ サンドブラスト（基層面）

樹脂コンクリートの硬化養生期間終了後、表層の樹脂モルタルの付着力向上のためサンドブラスト（オープンブラスト）にて表面を粗面にする（写真 4.2-49 参照）。

サンドブラストは、テント形状のシートで覆い、進行に合わせて移動し砂の飛散を防ぐ。ブラスト処理後、使用した研磨材の回収を行いバキュームクリーナーで清掃する。



写真 4.2-49 サンドブラスト（基層面）
(エプロン)

キ 表層工（樹脂モルタル）

サンドブラスト後、基層面（樹脂コンクリート）にエアスプレーでプライマーを塗布する。

樹脂モルタルの打設は、型枠を 1 段組で流し込み、1 段目の充填が完了した後、2 段目の型枠を組立て、樹脂モルタルを流し込む。以降型枠の組立と打設を繰り返す（写真 4.2-50 参照）。

コンクリートカッターにて樹脂モルタル及びコンクリートを切断（幅 10 mm 深さ 50 mm）し、シリコン系目地材を注入する（写真 4.2-51 参照）。



写真 4.2-50 樹脂モルタル打設状況
(エプロン)



写真 4.2-51 目地材注入状況
(エプロン)

ク 養生工

硬化養生は、指触乾燥まではテント養生を行い、後に表面をシートで覆い養生を継続する。

2 魚道

魚道の補修工法における施工事例を次に示す。

なお、材料・工法の相違によって、施工手順が多少異なる場合がある。

- (1) 準備工
- (2) 仮設工
- (3) 下地処理工
- (4) ひび割れ補修工（注入工法）
- (5) 断面修復工
- (6) 表面被覆工（プライマー工、モルタル被覆工、仕上げ工を含む）
- (7) 養生工

【解説】

その他施設は、一般的な用排水路と同程度の要求性能であり、施工方法も同様であることから、個別の補修工法の施工手順等は、**付属資料編 その他施設の補修工法の施工**もしくは**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】**を参照のこと。

(1) 準備工

準備工については、**第4章第1 1 準備工**を参照されたい。

(2) 仮設工

仮設工については、**第4章第1 2 仮設工**を参照されたい。

(3) 下地処理工

下地処理工については、**第4章第1 4 下地処理工**を参照されたい。

(4) ひび割れ補修工（注入工法）

ア 清掃

既設コンクリートとひび割れシーリング材及び注入用器具の付着を確保するため、ひび割れ部のコンクリート表面はワイヤーブラシ等を用い、ひび割れに沿って幅 50 mm 程度を清掃する。

イ 注入用器具（座金等）の設置

注入用器具（座金等）をひび割れ上に接着材（シーリング材）で取り付ける。取付間隔はひび割れ幅によって異なるが、ひび割れ幅が 0.2～1.0 mm の場合は、250～300 mm 程度を目安とする。

ウ ひび割れ表面のシーリング

ひび割れ部表面をシーリング材により注入材が流出しないようにシーリングする（**写真 4.2-52**参照）。特に、自動式注入工法の場合は、微細なひび割れからも注入材が漏れることがあるので、幅広くシーリングすることが必要である。シーリング材は、エポキシ樹脂パテや合成ゴム系の剥

離性シーラー等がある。

コンクリート表面が濡れていたり湿っている場合は、ひび割れシーリング材の接着性に悪影響を及ぼしたり、塗膜の膨れを生じることがあるため、コンクリート表面の含水率は高周波水分計で8%以下であることを確認する。

エ 注入

シーリング材が硬化した後、注入用器具（シリンダー等）を取付け、注入圧 0.4 N/mm² 以下で注入材を注入する。必要に応じて、注入材の補充（追加注入）を行う（写真 4.2-53 参照）。

なお、貫通ひび割れを伝って躯体背面から注入材が漏れる恐れのある場合は協議の上、背面にシーリングを行うか又は背面より流出しない粘度の注入材を使用する。

エポキシ樹脂注入の施工に当たっては、ひび割れ毎に注入された樹脂の量を記録する。設計注入量と比較し、大幅に注入された場合は、内部に豆板等があるか背面に流出している可能性があるため、原因を調査する。



写真 4.2-52 リーク防止シールと
注入治具設置状況



写真 4.2-53 注入用器具による注入状況

オ 養生

注入完了後は、注入器具を取り付けたまま硬化養生をする。

カ 注入用器具撤去

注入材の硬化後、注入器具を撤去する。

キ 表面仕上げ

ディスクサンダー等でシーリング材を除去し、平滑な面に仕上げる。パテは、ディスクサンダーを用いて削り取るか、ポットガンを用いて加熱し柔らかくなったところを皮すき等で削り取る。

(5) 断面修復工

ア 脆弱部除去

補修箇所が確定したら、補修範囲をチョーク等で明示しハンドカッターで深さ 10 mm のカット一目地を入れる。その後、ピック、コンクリートブレイカー等を用い、既設構造物に影響を与えないように脆弱部を除去する。

イ プライマー塗布

はつり箇所の油分・ほこり等を清掃した後、プライマーの塗り残しが無いよう刷毛により均一に塗布する。コーナー等隅角部は特に入念に塗布する。

ウ 断面修復工

プライマー塗布後の断面修復箇所を、ポリマーセメントモルタルにて左官仕上げする。

修復厚が3 cm以上ある場合には、1層を3 cm以内とし複数層に分けて施工する（写真4.2-54～写真4.2-57参照）。



写真 4.2-54 プライマー塗布状況



写真 4.2-55 断面修復（左官）状況



写真 4.2-56 魚道側壁天端の断面修復



写真 4.2-57 越流部横の断面修復

(6) 表面被覆工

無機系被覆工法の場合、水流摩耗による既設コンクリート表面の凹凸の不陸調整は、表面被覆工の中で一体的に行う場合が多い。

ア プライマー工

既設コンクリートと表面被覆材の付着力を確保するため、専用のプライマーを使用する。既設構造物のコンクリート表面が適度な乾燥状態になった後、プライマーを噴霧器等で塗布する（写真4.2-58参照）。プライマー塗布後、3時間以内にモルタル被覆作業が完了するように、プライマー塗布面積を調整する。



写真 4.2-58 プライマー塗布状況

イ モルタル被覆工

事前に承諾を得た配合に従って混練りした後、吹付け機械等により、空気が混入しないよう注意しながら、設計厚を塗布する（写真 4.2-59 参照）。吹付け作業の完了した箇所より金ゴテを使用しムラのないよう平坦に表面を仕上げる。



写真 4.2-59 吹付機による施工

ウ 仕上げ工

ポリマーセメントモルタルの表面に仕上げ養生材を塗布し、表面を平滑に仕上げる（写真 4.2-60、写真 4.2-61 参照）。



写真 4.2-60 仕上げ養生材塗布



写真 4.2-61 左官コテによる仕上げ

(7) 養生工

直射日光や強風により、被覆表面に乾燥ひび割れ等が生じないように、必要に応じてシート養生などを行う。

また、冬期施工では、養生時の温度管理を行うとともに、初期凍害を防止するための加温養生を必要に応じて行う。所定期間の養生後、表面被覆工の付着強度及び被覆厚さが品質管理上の規格値を満足していることを確認する（写真 4.2-62～写真 4.2-65 参照）。



写真 4.2-62
P頭首工 魚道外側仕上げ状況



写真 4.2-63
P頭首工 魚道内側仕上げ状況



写真 4.2-64 G頭首工 仕上げ状況
(上流側からの写真)



写真 4.2-65 G頭首工 仕上げ状況
(下流側からの写真)

3 その他施設の補修工法

土砂や玉石等が混入しない流水にさらされるその他施設は、一般的な用排水路と同程度の性能を要求される施設である取水工、放流施設、沈砂池等である。

その他施設の補修は、既設コンクリートの劣化状況に応じて、表面処理工法、ひび割れ補修工法及び断面修復工法等を併用して施工する。

(1) 沈砂池

沈砂池の補修工法における施工事例を次に示す。

なお、材料・工法の相違によって、施工手順が多少異なる場合がある。

- ア 準備工
- イ 仮設工
- ウ 下地処理工
- エ ひび割れ補修工（充填工法）
- オ 目地補修工（充填工法）
- カ 表面被覆工（プライマー工、モルタル被覆工、仕上げ工を含む）
- キ 養生工

【解説】

沈砂池は、一般的な用排水路と同程度の要求性能であり、施工方法も同様であることから、個別の補修工法の施工手順等は、**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】**を参照のこと。

ア 準備工

準備工については、**第4章第1 1 準備工**を参照されたい。

イ 仮設工

仮設工については、**第4章第1 2 仮設工**を参照されたい。

ウ 下地処理工

下地処理工については、**第4章第1 4 下地処理工**を参照されたい。

エ ひび割れ補修工（充填工法）

（ア）ひび割れ表面のUカット

Uカット専用の幅 10 mm のブレードを用いて、クラックを挟むように幅 10 mm、深さ 20 mm のU字形の溝を電動カッターで設ける（**写真 4.2-66** 参照）。特に、ひび割れが曲がりくねっている場合は、できるだけ小さいブレードを用いる。



写真 4.2-66 カッター切断状況

(イ) 清掃

Uカット後は、切粉の清掃を入念に行わないと充填材の接着不良を起こす原因となるので、溝内部の切粉等をワイヤーブラシ、刷毛等で除去し、清掃する。

(ウ) プライマー塗布

表面被覆工を施工後、刷毛等でプライマーを溝内部に塗り残しのないように均一に塗布する（写真 4.2-67 参照）。プライマーは、充填材製造業者の指定するプライマーを使用する。



写真 4.2-67 プライマー塗布状況

(エ) バックアップ材取り付け

Uカット後の溝部に、バックアップ材を設置する（写真 4.2-68、写真 4.2-69 参照）。



写真 4.2-68 バックアップ材の
取り付け状況



写真 4.2-69 バックアップ材の
取り付け状況

(オ) 充填

2液性の充填材の場合は、製造業者が指定する配合比で混合し、色が均一になるまで十分練り混ぜてから、コーキングガンで気泡を巻き込まないように充填する（写真 4.2-70、写真 4.2-71 参照）。溝内へ充填材をコーキングガンで空隙や打残しのないよう加圧しながら充填し、へらで押しさえ既設コンクリートと密着させて表面を平滑に仕上げる。



写真 4.2-70 コーキングガンによる
充填状況



写真 4.2-71 コーキングガンによる
充填状況（拡大）

オ 目地補修工（充填工法）

目地部を挟むようにひび割れ補修工（充填工法）と同様に幅 10 mm、深さ 20 mm の U 字形の溝を電動カッターで設け、表面被覆工を施工後、プライマーを塗布し、バックアップ材と弾性シーリング材で仕上げる（写真 4.2-72、写真 4.2-73 参照）。漏水部は急結セメントを充填する。



写真 4.2-72 カッター切断状況



写真 4.2-73 コーキングガンによる
充填状況

カ 表面被覆工

無機系被覆工法の場合、水流摩耗による既設コンクリート表面の凹凸の不陸調整は、表面被覆工の中で一体的に行う場合が多い。

(ア) プライマー工

既設コンクリートと表面被覆材の付着力を確保するため、専用のプライマーを使用する。

既設コンクリート表面が必要な乾燥状態になった後、プライマーを噴霧器やローラー等で塗布する（写真 4.2-74、写真 4.2-75 参照）。プライマー塗布後、3 時間以内にモルタル被覆作業が完了するように、プライマー塗布面積を調整する。



写真 4.2-74 プライマー塗布状況



写真 4.2-75 プライマー塗布状況

(イ) モルタル被覆工

事前に承諾を得た配合に従ってモルタルミキサーで混練りした後、金ゴテを用いて塗り付ける (写真 4.2-76 参照)。



写真 4.2-76 金ゴテによる施工

(ウ) 仕上げ工

初期クラックの発生抑制、表面モルタルの強度発現のために、刷毛やローラー等で表面養生材を塗布する (写真 4.2-77 参照)。



写真 4.2-77 仕上げ養生材塗布

キ 養生工

直射日光や強風により、被覆表面に乾燥ひび割れ等が生じないように、必要に応じてシート養生などを行う。

また、冬期施工では、養生時の温度管理を行うとともに、初期凍害を防止するための加温養生を必要に応じて行う。

所定期間の養生後、表面被覆工の付着強度及び被覆厚さが品質管理上の規格値を満足していることを確認する（写真 4.2-78、写真 4.2-79 参照）。



写真 4.2-78 仕上がり状況
(沈砂池全景)



写真 4.2-79 仕上がり状況
(目地補修・表面被覆)

第5章 補修工事の施工管理と完成検査

第1 施工管理

- (1) 補修工事の施工は、対策工法に求められる要求性能を満足する品質及び出来形を確保するよう、各工法の特徴を踏まえ、適切に行わなければならない。また、そのため、各施工段階において適切な施工管理を実施しなければならない。
- (2) 施工後の維持管理及び将来の保全管理のために、施工管理の記録を保管しなければならない。

【解説】

(1) について

頭首工の補修工事における補修材料・工法は多種多様であり、それぞれ期待される効果や使用材料、前処理方法、施工方法などが異なる。対策工法に求められる要求性能を満足する施工品質及び出来形を確保するため、材料及び工法の特徴や施工における留意事項を理解し、適切に施工しなければならない。

施工管理の基本構成は、図 5.1-1 に示すとおりである。

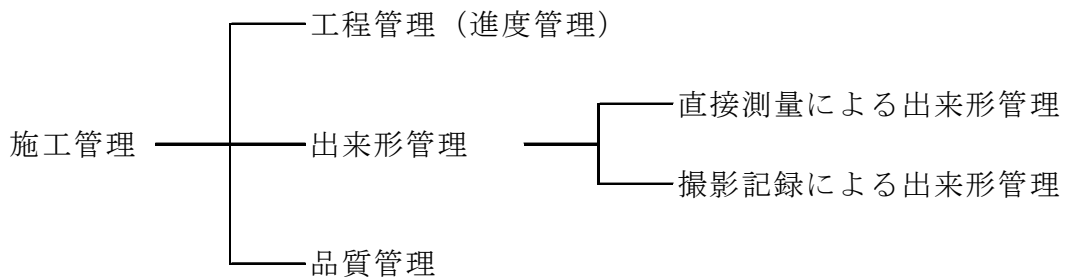


図 5.1-1 施工管理の基本構成

その際、表 5.1-1 に示す基準等のほか、発注契約における特別仕様書等に基づき、適切な施工管理を行う必要がある。

表 5.1-1 補修工事の施工管理において準拠すべき基準等

基準等	備考
土木工事共通仕様書	農林水産省農村振興局整備部設計課 制定
土木工事施工管理基準	農林水産省農村振興局整備部設計課 制定

(2) について

補修工事の施工の際、適宜、施工管理の記録を残すものとする。補修後の施設の維持管理のほか、後述のモニタリングにより得られた情報と併せて蓄積し、将来の保全管理に役立てるため、適切に記録し、必要なタイミングで活用できるように保管しておくことが重要である。

1 施工計画

対策工法に求められる要求性能を満足する品質及び出来形を確保するため、施工過程の各段階において、各々の品質を確保することが重要である。施工計画時には、施工計画書、材料承諾、品質管理、対策範囲の確認を行う。

【解説】

施工計画時に施工計画書、材料の承諾、材料の保管管理、対策範囲について、良質な工事目的物を完成させるために必要な事項を確認する。対策工事の施工前に必要となる事項を図 5.1-2 に示す。また、各施工段階における施工管理の例を図 5.1-3～5.1-7 に示す。

項目	内容	根拠規定等
施工計画書	(1) 工事概要 (2) 計画工程表 (3) 現場組織表 (4) 主要機械 (5) 主要資材 (6) 施工方法 (7) 施工管理計画 (8) 緊急時の体制及び対応 (9) 交通管理 (10) 安全管理 (11) 仮設備計画 (12) 環境対策 (13) 再生資源の利用の促進と 建設副産物適正処理方法 (14) 法定休日・所定休日 (週休二日の導入) (15) その他	土木工事共通仕様書第 1-1-6 条に規定
材料の承諾	材料の見本又は資料の提出	土木工事共通仕様書第 2-1-2 条に規定 特別仕様書に規定
	材料の試験及び検査	土木工事共通仕様書第 2-1-3 条に規定 特別仕様書に規定
材料の保管管理	工事に使用する材料を、受入検査確認後現地で貯蔵保管する際は、品質規格を満足する性能を維持できるように保管しなければならない。	土木工事共通仕様書第 2-1-4 条に規定
補修範囲の確認 (設計図書の照査等)	設計図書等により、表面被覆工、ひび割れ補修工、断面修復工等の補修位置及び範囲を確認する。 設計図書に記載のない、ひび割れ、剥落等の変状が確認された場合には、図面・写真等に整理し、その対応について協議する。	土木工事共通仕様書第 1-1-3 条に規定

図 5.1-2 施工前に必要となる主な事項

施工工程	作業内容	施工管理の内容
準備工	材料の搬入	搬入数量：搬入毎、ロット毎に記録する。 外観・形状：搬入毎に承認図と照合して、寸法、規格、外観を確認する。 品質管理：材料の品質を試験成績書で確認する。
	施工範囲の確認	施工範囲の確認：設計図書に基づき施工面積と位置を確認する。
仮設工	仮施設・設備配置の確認	仮施設・設備設置の確認：仮設ヤード・工事用道路の設置、仮締切工・水替え用ポンプ・濁水処理施設の設置、構造物取り壊し後の養生工・足場工の設置・撤去
構造物取り壊し工	既設コンクリートはつり	コンクリートはつり：所定の深さまで既設コンクリートをはつり取り、施工箇所・部位毎に点検及び記録する。
下地処理工	劣化部の除去	劣化部除去：劣化部を取り除き、施工箇所・部位毎に点検及び記録する。
パネル取付工	パネル据付	出来形管理：施工範囲（幅×延長）、施工厚を測定し、記録する。厚さ測定は、天端基準高-下地処理天端基準高とする。
	アンカー打設	品質管理：アンカー引抜試験を行い、引抜強度を記録する。全本数の0.5%又は3本以上。 出来形管理：打設本数をブロック毎及び全数を目視点検し、結果を記録する。
	裏込グラウト注入工	材料の配合：規定の配合比を点検し、記録する。 練り混ぜ：規定の時間を点検し、記録する。 出来形管理：注入量がわかるもの（空缶等）を確認し、記録する。 品質管理：供試体を作成し、圧縮強度（材齢28日）を測定し、記録する。1m ³ に1回。
仕上げ		
養生工	養生	養生：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。この際、気温5℃以上とし、凍結融解を受ける場合は、必要な圧縮強度が得られてから、その後、さらに2日間は養生気温を0℃以上に保つ。また、湿度85%以下とする。養生期間を測定し、材料毎の指定期間以上であることを点検し、記録する。
完成		

図 5.1-3 施工段階毎の施工管理の例（エプロン系施設：表面被覆工法 パネル）

施工工程	作業内容	施工管理の内容
準備工	材料の搬入	搬入数量：搬入毎、ロット毎に記録する。 材料運搬：コンクリートを均一に保持し、材料分離を起こさずに、容易且つ完全に排出できるアジテータトラックを使用する。 品質管理：材料の品質を配合報告書及び試験成績書で確認する。 品質管理：荷卸し時に、スランプ、空気量及び圧縮強度を測定し、記録する。
	施工範囲の確認	施工範囲の確認：設計図書に基づき施工面積と位置を確認する。
仮設工	仮施設・設備配置の確認	仮施設・設備の確認：仮設ヤード・工事用道路の設置、仮締切工・水替え用ポンプ・濁水処理施設の設置、構造物取り壊し後の養生工・足場工の設置・撤去
構造物取り壊し工	既設コンクリートはつり	コンクリートはつり：所定の深さまで既設コンクリートをはつり取り、施工箇所・部位毎に点検及び記録する。
下地処理工	高圧洗浄	処理水圧・水量、作業時間：施工箇所・部位毎に点検し、記録する。
	劣化部の除去	劣化部除去：劣化部を取り除き、施工箇所・部位毎に点検及び記録する。 出来形管理：施工範囲（幅×延長）、施工厚を測定し、記録する。
打換え工	コンクリート打設	最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。 練混ぜから打設完了までの時間は、外気温25℃超で1.5時間、25℃以下で2時間を超えないようにすみやかに打設する。 出来形管理：施工範囲（幅×延長）、施工厚を測定し、記録する。厚さ測定は、天端基準高ー下地処理天端基準高とする。 品質管理：供試体を作成し、スランプ、空気量及び圧縮強度、曲げ強度を測定し、記録する。打設日1回以上。海砂を使用する場合は塩化物含有量を測定する。
仕上げ		
養生工	養生	養生：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。この際、気温5℃以上とし、凍結融解を受ける場合は、必要な圧縮強度が得られてから、その後、さらに2日間は養生気温を0℃以上に保つ。また、湿度85%以下とする。養生期間を測定し、材料毎の指定期間以上であることを点検し、記録する。
完成		

図 5.1-4 施工段階毎の施工管理の例（エプロン系施設：打換え工法）

施工工程	作業内容	施工管理の内容
準備工	材料の搬入	搬入数量：搬入毎、ロット毎に記録する。 品質管理：材料の品質を試験成績書で確認する。
	施工範囲の確認	施工範囲の確認：設計図書に基づき施工面積と位置を確認する。
仮設工	仮施設・設備配置の確認	仮施設・設備の確認：仮設ヤード・工事用道路の設置、仮締切工・水替え用ポンプ・濁水処理施設の設置、構造物取り壊し後の養生工・足場工の設置・撤去
下地処理工	高圧洗浄	処理水圧・水量、作業時間：施工箇所・部位毎に点検し、記録する。
	施工範囲の表面状態確認	表面状態確認：設計図書に基づき、凹凸、断面欠損等の有無を点検し、記録する。 品質管理：付着強度を測定し、記録する。80～160㎡に1回。 出来形管理：施工延長、施工厚、水路断面を測定し、記録する。
不陸又は素地調整工	材料の配合・練り混ぜ	材料の配合：規定の配合比を点検し、記録する。
	不陸又は素地調整工	練り混ぜ：規定の時間を点検し、記録する。 施工環境：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。 品質管理：供試体を作成し、圧縮強度（材齢28日）、表面含水率を測定し、記録する。80～160㎡に1回。 出来形管理：仕上がり状態を施工箇所・部位毎に測定又は目視点検し、記録する。
プライマー工	プライマー塗布	プライマー塗布：施工箇所・部位毎に点検し、記録する。 出来形管理：塗布量や使用数量を材料搬入報告書で確認する。
表面被覆工	既設駆体の表面状態確認	下地コンクリート表面の乾燥状態：表面含水率を測定し、記録する（無機系の場合）。
	材料の配合・練り混ぜ 表面被覆工	材料の配合：規定の配合比を点検・記録する。 練り混ぜ：規定の時間を点検し、記録する。 施工環境：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。気温5～40℃、湿度85%以下。 表面被覆工：作業時間を計測し、材料毎の可使時間以内であることを点検し、記録する。 品質管理：供試体を作成し、圧縮強度（材齢28日）を測定し、記録する。80～160㎡に1回。 出来形管理：仕上がり状況を施工箇所・部位毎に測定又は目視点検し、記録する。 塗布量や使用数量を材料搬入報告書で確認し、記録する。施工厚さを測定し、記録する。
仕上げ		
養生工	養生	養生：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。この際、気温5℃以上とし、凍結融解を受ける場合は、必要な圧縮強度が得られてから、その後、さらに2日間は養生気温を0℃以上に保つ。また、湿度85%以下とする。養生期間を測定し、材料毎の指定期間以上であることを点検し、記録する。 品質管理：付着強度を測定し、記録する。80～160㎡に1回。
完成		

図 5.1-5 施工段階毎の施工管理の例（その他施設：表面被覆工法 無機系被覆材）

施工工程	作業内容	施工管理の内容
準備工	材料の搬入	搬入数量：搬入毎、ロット毎に記録する。 品質管理：材料の品質を試験成績書で確認する。
	施工範囲の確認	施工範囲の確認：設計図書に基づき施工面積と位置を確認する。
仮設工	仮施設・設備配置の確認	仮施設・設備の確認：仮設ヤード・工事用道路の設置、 仮締切工・水替え用ポンプ・濁水処理施設の設置、 構造物取り壊し後の養生工・足場工の設置・撤去
構造物取り壊し工	既設コンクリートはつり	コンクリートはつり：所定の深さまで既設コンクリートをはつり 取り、施工箇所・部位毎に点検及び記録する。
下地処理工	高圧洗浄	処理水圧・水量、作業時間：施工箇所・部位毎に点検し、記録する。
	施工範囲の表面状態確認	表面状態確認：設計図書に基づき、凹凸、断面欠損等の有無を点 検し、記録する。 品質管理：付着強度を測定し、記録する。80～160㎡に1回。 出来形管理：施工延長、施工厚、水路断面を測定し、記録する。
基層工 (樹脂コンクリート)	材料の配合・練り混ぜ	材料の配合：規定の配合比を点検し、記録する。
	不陸又は素地調整工	練り混ぜ：規定の時間を点検し、記録する。 施工環境：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。 品質管理：供試体を作成し、圧縮強度(材齢28日)を測定し、記 録する。80～160㎡に1回。 出来形管理：仕上がり状態を施工箇所・部位毎に測定又は目視点 検し、記録する。
プライマー工	プライマー塗布	プライマー塗布：施工箇所・部位毎に点検し、記録する。 出来形管理：塗布量や使用数量を材料搬入報告書で確認する。
表面被覆工	既設躯体の表面状態確認	下地コンクリート表面の乾燥状態：表面含水率を測定し、記録す る(有機系の場合)。
	材料の配合・練り混ぜ 表面被覆工	材料の配合：規定の配合比を点検・記録する。 練り混ぜ：規定の時間を点検し、記録する。 施工環境：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。気温 5～40℃、湿度85%以下。 表面被覆工：作業時間を計測し、材料毎の可使時間以内であるこ とを点検し、記録する。 品質管理：供試体を作成し、圧縮強度(材齢28日)を測定し、記録 する。80～160㎡に1回。 出来形管理：仕上がり状況を施工箇所・部位毎に測定又は目視点 検し、記録する。 塗布量や使用数量を材料搬入報告書で確認し、記録する。施工厚 さを測定し、記録する。
仕上げ		
養生工	養生	養生：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。この際、 気温5℃以上とし、凍結融解を受ける場合は、必要な圧縮強度が 得られてから、その後、さらに2日間は養生気温を0℃以上に保 つ。また、湿度85%以下とする。養生期間を測定し、材料毎の指 定期間以上であることを点検し、記録する。 品質管理：付着強度、表面含水率を測定し、記録する。 80～160㎡に1回。
完成		

図 5.1-6 施工段階毎の施工管理の例（その他施設：表面被覆工 有機系被覆材）

施工工程	作業内容	施工管理の内容
準備工	材料の搬入	搬入数量：搬入毎、ロット毎に記録する。 品質管理：材料の品質を試験成績書で確認する。
	施工範囲の確認	施工範囲の確認：設計図書に基づき施工面積と位置を確認する。
仮設工	仮施設・設備配置の確認	仮施設・設備の確認：仮設ヤード・工事用道路の設置、仮締切工・水替え用ポンプ・濁水処理施設の設置、構造物取り壊し後の養生工・足場工の設置・撤去
下地処理工	劣化部の除去	劣化部除去：劣化部を取り除き、施工箇所・部位毎に点検及び記録する。
防せい処理工	錆等の取り除き・防せい処理	錆等の取り除き：錆を取り除き、点検及び記録する。 防せい処理：塗布状況と鉄筋の節部が残っていることを点検し、記録する。
プライマー工	プライマー塗布	プライマー塗布：施工箇所・部位毎に点検し、記録する。
断面修復工	材料の配合・練り混ぜ 断面修復工	材料の配合：規定の配合比を点検し、記録する。
		練り混ぜ：規定の時間を点検し、記録する。
		最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。
		品質管理：供試体を作成し、圧縮強度(材齢28日)を測定し、記録する。80～160㎡に1回。
仕上げ		出来形管理：仕上がり方を施工箇所・部位毎に測定(塗布量、面積、厚さ等)又は目視点検し、結果を記録する。
養生工	養生	養生：最低気温、最高気温、湿度を測定し、記録する。この際、気温5℃以上とし、凍結融解を受ける場合は、必要な圧縮強度が得られてから、その後、さらに2日間は養生気温を0℃以上に保つ。また、湿度85%以下とする。養生期間を測定し、材料毎の指定期間以上であることを点検し、記録する。 品質管理：付着強度を測定し、記録する。80～160㎡に1回。
完成		

図 5.1-7 施工段階毎の施工管理の例（その他施設：断面修復工法）

2 施工計画書

補修工事着手前に、工事目的物を完成させるために必要な手順や工法について施工計画書により、確認しなければならない。また、施工中においては、記載内容を遵守する。

【解説】

施工計画とは、図面・仕様書などに定められた工事目的物を工期内に適正な費用で安全に完成させるための施工方法・段取り等を定めるものである。

補修工事においても、施工計画は工事施工全般の基本となるものであり、計画に当たっては工事の内容、契約条件、現場の状況などを十分調査又は把握し、工事目的物の品質の確保（出来形管理・品質管理）、工期の厳守（工程管理）、費用の軽減（原価管理）、安全の確保（安全管理）などについて工事目標を達成させることを念頭において立案しなければならない。

土木工事共通仕様書 第 1-1-6 条に、施工計画書の提出義務と記載内容について、次のように規定されている。

1-1-6 施工計画書

1. 受注者は、工事着手前又は施工方法が確定した時期に工事目的物を完成するために必要な手順や工法等についての施工計画書を監督職員に提出しなければならない。

受注者は、施工計画書を遵守し、工事の施工に当たらなければならない。この場合、受注者は、施工計画書に次の事項について記載しなければならない。また、監督職員がその他の項目について補足を求めた場合には、追記するものとする。ただし、簡易な工事においては、監督職員の承諾を得て記載内容の一部を省略することができる。

- | | |
|------------|-----------------------------|
| (1) 工事概要 | (8) 緊急時の体制及び対応 |
| (2) 計画工程表 | (9) 交通管理 |
| (3) 現場組織表 | (10) 安全管理 |
| (4) 主要機械 | (11) 仮設備計画 |
| (5) 主要資材 | (12) 環境対策 |
| (6) 施工方法 | (13) 再生資源の利用の促進と建設副産物適正処理方法 |
| (7) 施工管理計画 | (14) 法定休日・所定休日（週休二日の導入） |
| | (15) その他 |

2. 受注者は、施工計画書の内容に重要な変更が生じた場合、変更に関する事項について、その都度当該工事に着手する前に変更施工計画書を提出しなければならない。

3. 受注者は、監督職員が指示した事項について、さらに詳細な施工計画書を提出しなければならない。

出典：土木工事共通仕様書 第 1 編共通編 第 1 章総則 1-1-6 施工計画書

3 材料の承諾

(1) 見本・資料の提出

補修工事に使用する材料・工法は、見本、カタログ、試験成績書等により、使用前に要求性能、品質規格を満足していることを確認した後、監督職員の承諾を得る。また、原則として写真撮影等の自主検査を行うものとする。

(2) 材料・工法の品質試験

補修工事に使用する材料・工法の品質規格は、適正に実施された試験の結果により確認しなければならない。

【解説】

(1) 見本・資料の提出

補修工事に使用する材料・工法は、設計図書（図面、特別仕様書、土木工事共通仕様書、現場説明書及び現場説明に対する質問回答書）に示す品質規格を満足するものでなければならない。設計図書及び監督職員が指示するものについては、**土木工事共通仕様書 2-1-2 材料の見本又は資料の提出**に基づき、使用前に、見本、カタログ、試験成績書等を提出し、監督職員の承諾を得るものとする。また、現場搬入時、受注者において検査を実施し、記録に残すものとする。

なお、設計図書及び監督職員の指示するものについては、**土木工事共通仕様書 2-1-3 材料の試験及び検査**に基づき、使用前に監督職員立ち会いのもと、検査又は試験を行い、その結果を記録、報告しなければならない（写真 5.1-1～2）。

表 5.1-2 に材料の見本資料の例を示す。

表 5.1-2 材料見本資料の例

材料名	提出物	備考
表面被覆用モルタル	カタログ、試験報告書	無機系工法
パネル	カタログ、試験報告書、品質証明書	パネル工法
塗装用樹脂	カタログ、試験報告書	有機系工法
生コンクリート	配合報告書、試験報告書	打換え工法

表 5.1-3 に材料検査の例を示す。

表 5.1-3 材料検査の例

材料名	検査項目	時期	備考
表面被覆用モルタル	外観・数量	現場搬入時	無機系工法
パネル	外観・形状・寸法	現場搬入時	パネル工法
塗装用樹脂	外観・数量	現場搬入時	有機系工法
生コンクリート	空気量、スランプ、塩分含有量	現場搬入時	打換え工法



写真 5.1-1 材料検査状況例
(超高強度繊維補強コンクリートパネル)



写真 5.1-2 材料検査状況例
(超高強度繊維補強コンクリートパネル)

(2) 材料の品質試験

適正な試験結果を得るためには、適切に管理された試験体制と試験機器により、日本産業規格（JIS）や公益社団法人土木学会（JSCE）等の規格書や本書 **第 3 章 補修の要求性能及び材料・工法の品質規格と選定** に示す試験方法（案）に基づき、正しい手順で試験を行う必要がある。

頭首工の補修工事に使用する材料・工法の品質規格は、公的機関などの第三者機関において実施される試験、もしくは、立会試験により照査された結果で確認するものとする。

公的機関などの第三者機関とは、ISO/IEC17025 の要求事項を満たす JNLA^{※1} 登録試験所、大学、公的研究機関などを示す。

材料・工法の品質試験のうち、JIS や JSCE 等に規格化されている試験を引用もしくは準用しているものについては、ISO/IEC 等に基づき試験機関としての一定の水準を満たした機関で実施するものとする。

立会試験とは、試験開発機関又は工事発注機関の立ち会いのもとに行う試験とし、適正に校正された計測器機により行われなければならない。

立会試験は、補修材料の品質試験のうち JIS 及び JSCE 等に規格化されていない試験を想定しており、例えば、水砂噴流摩耗試験など当該試験の開発機関の監修のもと整理した試験方法（案）により実施するものや、試験条件が未整備なもの、その他、監督職員が必要に応じて行う確認を想定している。

^{※1} JNLA とは、Japan National Laboratory Accreditation system の略称であり、国際標準化機構及び国際電気標準会議が定めた試験所に関する基準（ISO/IEC 17025）の要求事項に適合しているかどうか審査を行い試験事業者を登録する制度。

4 材料の保管及び搬送・搬入

- (1) 受注者は、補修工事に使用する材料を受入検査確認後、現地で貯蔵保管する際は、補修の要求性能を満足する品質規格を維持できるように適正に管理を行わなければならない。
- (2) 受注者は、補修工事に使用する材料を使用箇所に搬送・搬入する際、補修の要求性能を満足する品質規格を維持できるように行わなければならない。

【解説】

(1) について

補修工事に使用する材料は、雨水や湿気による吸湿及び温度変化や直射日光の照射により品質が劣化する恐れがある。このため、**土木工事共通仕様書 2-1-4 材料の保管管理**に基づき、材料の特性に留意して保管しなければならない。

(2) について

補修工事に使用する材料を工事現場内において使用箇所に搬送・搬入する際は、上記(1)と同様に、吸湿や温度変化及び衝撃による損傷等が生じないように留意して行わなければならない。

5 補修範囲の確認

受注者は、補修位置図等の設計図書により、補修位置及び範囲を確認する。

【解説】

土木工事共通仕様書 1-1-3 設計図書の照査等に基づき、設計図書と現地の照査を行うものとする。設計図書に記載のない、ひび割れ、剥落等の劣化が確認された場合には、図面・写真等に整理し、その対応について監督職員と協議するものとする。

頭首工の補修工事は、非かんがい期、もしくは非出水期に実施する 경우가多く、施工期間に制約のある場合が多いため、工事の全容を早期に把握することにより、工程管理に反映させる必要がある。

第2 品質管理

工事の品質を確保するため、使用する材料の品質及び施工段階での品質について、物理的、化学的試験を行い、その都度、結果を管理方法に定められた方式により記録し、常に適正な管理を行うものとする。

【解説】

品質管理は、施工管理の一環として、工程管理、出来形管理と併せて行い、統計的手法を応用して問題点や改善の方法を見だし、初期の目的である工事の品質及び適切な出来形を確保することを目的とする。

頭首工の補修工事における品質管理は、施工後、補修に求められる性能を確保するために行う。

具体的には、材料品質や現場における施工段階ごとの施工品質について、各々の試験（測定）の項目、方法、基準、規格値、測定値の管理手法などを定め、それに従って管理を行うことや、これらの基準等を守るために、施工における作業方法や手順、注意事項等に関する規定を定めることである。

以上から、**土木工事施工管理基準、共通仕様書及び特別仕様書**に基づき、あらかじめ施工計画書に、材料品質及び各施工段階における施工品質の管理基準値及び規格値、品質を確保する上での作業上の注意事項などを定め、これに従って管理しなければならない。

なお、品質管理における試験及び測定値は全て、土木工事施工管理基準等により定めた規格値の範囲内になければならない。

第3 出来形管理

1 直接測定による出来形管理

工事の出来形を確保するため、工作物の寸法、基準高等の測定項目を施工順序に従い直接測定し、その都度、結果を管理方法に定められた方式により記録を行い、常に適正な管理を行うものとする。

【解説】

出来形管理は、工事で施工された目的物が、発注者の意図する契約条件に対して、どのように施工されているかを調べ、条件に不満足なものを早期に発見し、原因を追求して改善を図ることを目的とする。

頭首工の補修工事における直接測定による出来形管理は、工作物の形状寸法等を施工の順序に従い直接測定して設計値と実測値を対比・記録を行い、測定の都度、管理図表、結果一覧表又は構造図に朱記及び併記等を行う。管理基準値に対するバラツキの度合いを管理し、適切な是正措置を講ずるものとする。

以上から、**土木工事施工管理基準及び特別仕様書**に基づき、あらかじめ施工計画書に、各施工段階における測定基準、管理基準値、及び規格値を定め、これに従って管理しなければならない。

(1) 管理を行う測点の選定

管理を行う測点は、施工計画書に定めた測定基準に基づき機械的に選定するのではなく、現場条件を考慮した上で選定するものとする。

(2) 管理基準値

管理基準値は、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値とするものである。

(3) 規格値

規格値は、設計値と出来形の差の限界値であり、測定値は全て規格値の範囲内になければならない。

(4) 管理方式

出来形管理は、規格値に対する“ゆとり”と出来形数量確認の2つの目的で実施され、工事完成後において目的物を発注者に引き渡すためのデータとして不可欠なものである。管理方式は、以下のように分類される。

管理方式 { 管理図表によるもの・・・管理値が20点（測定数）以上の場合
結果一覧表によるもの・・・管理値が20点（測定数）未満の場合
構造図に朱記するもの・・・管理値が箇所単位の場合
記録を要しないもの・・・管理基準の測定項目になっていない場合

2 撮影記録による出来形管理

出来形測定、品質管理を実施した場合又は施工段階（区切り）及び施工進行過程が確認できるよう、撮影基準等に基づいて撮影記録し、常に適正な管理を行うものとする。

【解説】

補修工事の撮影記録による出来形管理は、施工完了後、確認できない箇所の出来形・出来形数量及び施工の状態等、施工段階ごとの進行過程を写真により確認するために行う。

よって、撮影記録による出来形管理箇所は、原則として直接測定による出来形管理の場合と同一箇所を選定するものとする。

土木工事施工管理基準及び特別仕様書に基づき、あらかじめ施工計画書に、各施工段階における撮影基準、撮影箇所等を定め、これに従って管理しなければならない。

その他、管理にあたって、以下の点に留意して行うものとし、工事写真の保管と管理を適切に行い、必要に応じて提示するとともに、検査時に提出する。

(1) 撮影内容の表示

撮影に当たっては、形状・寸法及び位置が判明できるよう黒板と箱尺、ノギス等を目的物に添えるものとする。黒板には、撮影日、測点、設計寸法、実測寸法及び略図を記入する。

(2) 拡大写真

ある箇所の一部分を拡大して撮影する必要がある場合は、その箇所の全景を撮影した後、拡大撮影する部分の位置が確認できるように撮影する。

第4 完成検査

工事後、関係書類に基づき、工事の実施状況、出来形及び品質について検査を実施するものとする。

【解説】

補修工事の出来形及び品質の検査は、位置、出来形寸法、品質及び出来ばえについて、仕様書、図面、その他関係図書と対比して行うものとする。

第5 安全管理

労働災害はもとより、物件損害等の未然防止に努めるため、関連仕様書の定めるところに従い、その防止に必要な措置を行うものとする。

豪雨、出水及びその他の天災に対し、気象予報等に十分な注意を払い、常に災害を最小限に食い止めるための防災体制を確立しておかなければならない。

【解説】

土木工事等施工技術安全指針（20農振第2236号平成21年3月30日付け農林水産省農村振興局整備部長通知）を参考に常に工事の安全に留意して工事関係者及び公衆の生命、身体、財産に関する危害及び迷惑の防止に努めるとともに、建設工事公衆災害防止対策要綱（平成5年2月1日付け5地第72号農林水産大臣官房地方課長通知）を遵守して災害の防止を図らなければならない。

大雨、出水、強風、台風等の異常気象で災害発生の恐れがある場合、及び緊急事態が発生した場合には工事を中止し、現場事務所を本部とした緊急体制組織を組み、現場内のパトロールを実施して警戒に当たる。河川の出水等に対する警戒・待避体制は、周辺の気象状況や河川流量、上流にダムがある場合はダムの放流量等の情報に応じた警戒レベル及び警戒基準をあらかじめ設定し、迅速かつ適切な対処を行う。表5.5-1に警戒レベル及び警戒基準の例を示す。

表 5.5-1 警戒レベル及び警戒基準の例

警戒レベル	警戒基準（基準の内1つでも達した場合）				警戒伝達方法	現場対処方法
	頭首工下部流量	河川水位	注意報 警報	降雨量		
I：警戒態勢	1,000m ³ /s	WL. 21.5m	大雨・洪水 注意報発令	1時間 5mm以上 3時間 10mm以上 累加量 30mm以上 24時間 70mm以上	携帯電話 黄色パトライト 場内放送	現場の点検 待避準備
II：待避態勢	1,350m ³ /s	WL. 22.5m	大雨・洪水 警報発令	1時間 15mm以上 3時間 25mm以上 累加量 50mm以上 24時間 100mm以上	携帯電話 赤色パトライト 場内放送	機材、人員 とも待避

第6章 対策後の施設監視

第1 基本的事項

対策工法の施設監視は、当該工法により期待される性能を施設・設備が有しているか確認することを目的とし、対策工法に応じた施設監視計画を立案し、それに基づき実施する。

対策後の施設監視は、施設管理者が実施する目視を主体とした日常管理と、施設造成者が実施するモニタリングを対象とする。

【解説】

(1) 頭首工の補修・補強工事の現状

平成18年度～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、更新事業22カ所）である。

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（堰柱(下部)6、エプロン16、固定堰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）であるが、これらの工事による対策工法の持続的効果は、明らかにされていない。

また、早期変状に対する調査、評価方法も十分に確立されておらず、再劣化した補修・補強工法に対する対策方法も開発途上の段階にある。

(2) 施設監視の目的

施設監視は、対策工法の施工後に、供用開始後の状況変化、当初品質の維持状況を継続的に把握し、対策後の施設状態を把握することを目的として実施する。

対策工法の施設監視は、技術的かつ経済的に可能な範囲において調査項目を設定し、継続的に実施することが重要である。今後、対策工法を実施した範囲は、下記3項目について、施設監視のデータを蓄積し、日常点検とモニタリング結果の記録を踏まえて内容の充実と精度の向上を図る。

- ・対策工法の効果検証のためのモニタリング調査手法へのフィードバック
- ・性能照査方法や工種選定などの設計手法へのフィードバック
- ・個別施設の再対策の要否検討（要否判定基準の整理）のための情報収集

(3) 施設監視の内容と実施者

施設監視には、施設管理者が日常業務の範囲内で実施する「日常点検」と施設造成者が工法の評価や変状の進行を評価することを目的に実施する「モニタリング」がある。

日常管理については、農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」第3章 日常管理、施設管理者の施設監視計画については、農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」9 施設監視と対策の実施を参照されたい。

(4) 施設監視計画

施設監視計画は、対策工法を適切に評価するため、対象となる対策工法の摩耗機構を把握し、耐摩耗効果を発現するために必要となる性能、又は外観上の変状の程度等を対象に策定する。

施設監視結果は、対象施設の基本情報（施設基本情報・補修工法情報）や周辺状況写真・河川状況写真と併せて記録様式に整理を行い、農業水利ストック情報データベース等に蓄積し、施設造成者や施設管理者等の関係者がこれらの情報を共有することでリスク管理を行う。

また、モニタリング調査の施設監視計画は、対策工法の頻度、定点調査位置、モニタリング調査方法、記録・分析の方法を決め、実施する。

(5) モニタリング調査の施設監視の実施段階と流れ

施設監視の実施段階は、「対策工法の施工時」と「供用時」の2段階に区分することができる。

「対策工法の施工時」の施設監視は、今後継続して実施する施設監視データの初期値を把握するために実施する。なお、初期値は、対策工法施工時の性能発揮状況を把握するとともに、今後の性能低下傾向を把握するための基準値となる。

「供用時」の施設監視は、対策工法の変状の程度や進行性を把握し、対策工法の効果を適切に評価することを目的として実施する。

ア 施設監視のための事前調査

施設監視のための事前調査では、既存資料（表 6.1-1）の収集整理により、対策を実施した施設について、施設基本情報、施設状態情報、対策工法情報を把握する。

既存資料が十分に収集できない場合は、施設管理者等への聴き取り調査を実施し内容を把握し、その内容を基に、施設監視計画を立案する。

表 6.1-1 施設監視のために必要な収集資料(例)

情報区分	収集資料	把握内容	
施設基本 情報	工事誌、土地改良区パンフレット	基本情報	造成年度（供用年数）、施設構造 等
	設計書、出来形図面、施設管理台帳	諸元	河川諸元、施設諸元（施設構造、施設規模等）
施設状態 情報	既往調査資料、対策工事施工記録、聞き取り	変状情報	対策実施前の変状種別、変状要因、変状程度、施設の補修履歴、下地調整の程度、対策実施後の施設状態（不具合の有無等）
対策工法 情報		基本情報	対策工法種別（有機系被覆工法、無機系被覆工法、パネル工法） 対策工法名称、工法選定理由、対策工法の要求性能
	製造証明書等	材料情報	品質試験結果

表 6.1-2 施設監視計画記載項目(例)

検討項目	備考
施設監視対象施設の概要	・事前調査で把握した基本情報（施設基本情報・対策工法情報）、施設状況写真（対策施工完了時の写真）を示す。
施設監視対象範囲（位置）	・原則として対策工法が実施された範囲を調査対象とし、位置図と測点等の位置情報を添付する。 ・施工範囲が広い場合は、定点を設けて調査を行う。 ・定点は対策前の施設の状態、河川工作物、橋梁当の近接箇所や調査しやすい箇所等を考慮し設定する。
施設監視項目	・施設監視対象の対策工法に応じて適宜設定する。
施設監視頻度	・日常点検は1年に1回程度、モニタリングは計画的に実施するが、モニタリングで確認された変状の程度に応じて適宜再設定する。
施設監視実施者	・施設管理者、施設造成者、専門技術者等、実施者を明記する。
留意事項	・施設の条件や施設変状の有無、運用状況等について施設管理者に確認し、工法や材料の特性、施工状況などを施工業者や製造業者に確認し、施設監視時に留意すべき事項があれば記載する。

イ 施設監視結果の記録

実施した施設監視結果は、所定の記録様式に整理し、対策工法の効果検証や施設監視計画にフィードバックする。

ウ 業務継続計画の整備（Business Continuity Plan : BCP）

施設管理者は、施設監視計画のほか、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直面し、人員、情報等に制約のある状況下において、人的被害の防止及び施設の機能回復のために優先すべき業務を特定し、業務を継続させるために必要な措置を定めた業務継続計画を整備しておくものとする。

業務継続計画の整備及び見直しにあたっては、土地改良施設管理基準「頭首工」を参照されたい。

エ 異常が確認された場合の対応

施設管理者は、日常点検により異常が確認された場合、速やかに施設造成者に連絡する。連絡を受けた施設造成者は、情報収集に努め、施設管理者等関係機関と連携して、新たに該当箇所の施設監視計画を定め、補修対策の検討を行うなどの必要な対応を行う。

点検の結果、頭首工の保全管理上、早期の対応が必要と認められた場合は、河川管理者等と協議の上、速やかに応急措置を行い、頭首工の安全性の確保に努めるものとする。また、応急措置を行った場合には、施設造成者、河川管理者等に報告しなければならない。

頭首工における深刻な変状形態の一つとしてパイピングによる浸透破壊がある。このため、上流側での吸込み、下流側での湧水・噴砂やコンクリート継ぎ目（目地）の開きといったパイピングにつながるおそれのある施設の変状が発見された場合は、施設管理者、利水関係者等と調整し、業務継続計画等に基づき上流水位の低下を検討するとともに、速やかに状況及び原因

の把握、対策の検討に必要な調査を行う。

なお、漏水がパイピングによるものか学識経験者等へ相談し、パイピングであった場合は必要な調査及び対策方法も相談する。

【 コラム ～ M頭首工での漏水事故 ～ 】

令和4年5月15日に、昭和31年度に建設されたM頭首工において大規模な漏水事故が発生した。

漏水発生後のM頭首工の現地調査では、左岸上流地山付近の止水矢板の不存在、エプロン施工継目の止水板の未設置、堰体及び上下流エプロン下の空洞、魚道フーチングと張コンクリート接合部の継目開き等が確認され、漏水事故の発生メカニズムは、浸透路長が短くなることでパイピングが起これ、浸透破壊に至ったものと推定されている。



写真 6.1-1 堰下流側（変状初期）



写真 6.1-2 堰下流側（変状拡大）



写真 6.1-3 堰上流側（変状拡大時）



写真 6.1-4 漏水事故による水位低下

パイピングによる浸透破壊の危険性を把握するためには、巡視、計測等の点検を計画的に実施し、変状及びその要因を平時より把握しておくとともに、関係者と必要な情報を共有し、漏水発生時のための準備を行っておくことが肝要である。また、パイピング確認後は、速やかに対策を講じ、被害を最小限に抑えることが重要である。

第2 着目すべき変状

頭首工を構成する施設によって、外力が異なるため、発生しやすい変状が異なる。

また、補修後に生じる変状の形態や想定される変状の発生要因は、使用する材料の特性によって異なることが考えられる。このため、施設監視では構成施設によって生じやすい変状と材料によって生じやすい変状に留意する。

【解説】

頭首工の構成施設別に発生しやすい変状と材料の特性から生じやすい変状について表 6.2-2、表 6.2-3 に整理した。モニタリング調査や変状の発生要因の検討の際、参考にする。

なお、調査やデータ蓄積の精度を高めるため、補修工法の主材料に現れる変状の種類、既設国営頭首工のコンクリートの変状調査結果から、補修工法に発生する主な変状を表 6.2-1 に示した。

調査に当たっては、母材の変状と関連した変状の発生のほかに、外的要因により発生する変状も想定されることから周辺状況の変化にも注意を払う必要がある。表面被覆工法においては、断面修復材と表面被覆材の境界に異種材料の境界に浮きが発生しやすい。また、既設コンクリートのはつり、下地処理や養生時の温度管理などが十分に実施されていない施設において変状が顕著に発生していることがこれまでの調査結果から確認されていることに留意して調査及び変状発生要因の検討を行う。

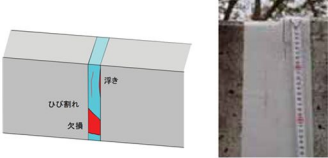
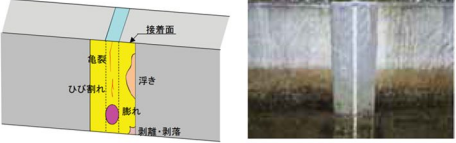

表6.2-1 補修工法に発生する主な変状

変状	変状の状態	変状が発生しやすい施設	変状が発生しやすいと想定される補修材料	補修工法の性能に及ぼす変状の影響
摩耗・骨材露出	流水中の土砂や河床砂礫等による摩耗により、材料が削り取られる現象。	エプロン、堰体、堰柱、導流壁、魚道、護床工	有機系材料、無機系材料、パネル、コンクリート(打換え)	耐摩耗性、耐衝撃性が低下する。
ひび割れ 亀裂	材料表面に生じた割れ目材料の裂け目、貫通ひび割れ。	エプロン、堰体、堰柱、導流壁、魚道、取水口、沈砂池、護岸工	有機系材料、無機系材料、パネル、目地材	割れ目に劣化因子が侵入し、付着や耐久性が低下する。
剥離	ひび割れ等の変状の発生に伴い、浮き・膨れの状態にあった材料が剥がれる現象。	エプロン、堰体、堰柱、取水口	有機系材料、無機系材料、パネル、目地材	母材への劣化因子の侵入。
鉄筋露出	鉄筋の被りが摩耗や衝撃によって剥がれ、鉄筋が露出する状態。	エプロン、堰柱	無機系材料、コンクリート(打換え)	鉄筋の発錆で、膨張してひび割れを生じる。
エフロッセンス	ひび割れから雨水などが侵入してコンクリート内の炭酸カルシウムが流出して、白い結晶状の物質が付着し、白く跡になる現象。	堰柱	有機系材料、無機系材料、コンクリート(打換え)	ひび割れの進行。
浮き	材料と母材との付着性が損なわれている状態。	エプロン、堰体、堰柱、取水口	有機系材料、無機系材料、パネル、目地材	付着性の低下。剥離への進行。

表6.2-2 表面被覆工法と断面修復工法に想定される変状形態と発生要因

工法	主な変状	想定される要因	変状発生イメージ図・変状写真	
表面被覆工法・断面修復工法	無機系被覆工法	ひび割れ	母材コンクリートの挙動、凍害、乾燥収縮	<p>【左：剥離・剥落、右：浮き】</p>
		浮き	接着不良、母材と補修材料の熱膨張率の差、乾燥収縮	
		摩耗	流水・流砂、表面からのCa成分溶脱	
		劣化因子の侵入	表面被覆効果の低下	
	有機系被覆工法	膨れ	接着不良、施工時の空気の巻き込み、地下水浸透、湿潤状態での施工による水分の気化	<p>【剥離・剥落】</p>
		ひび割れ	紫外線等による劣化、母材コンクリートの挙動	
		変色	紫外線等による劣化、苔や微生物の付着	
		劣化因子の侵入	表面被覆効果の低下	
	パネル工法	浮き	パネルのそり・たわみ、裏込め材の未充填・収縮・隙間からの流出	<p>【左：剥離・剥落、右：浮き】</p>
		ひび割れ	母材コンクリートの挙動	
		劣化因子の侵入	表面被覆効果の低下	

表6.2-3 目地補修工法に想定される変状形態と発生要因

工法	主な変状	想定される要因	変状発生イメージ図・変状写真
目地補修工法	充填工法 充填材の離脱、母材との付着切れ（剥離）、ひび割れ	充填材の劣化による離脱、背面からの水圧による母材コンクリートとの付着切れ、目地の伸縮によるひび割れなど	 <p>【亀裂】</p>
	被覆工法 シート・テープの浮き、剥離、ひび割れ	目地の伸縮や接着材劣化、シート強度不足によるシート・テープ材の浮きや剥離、ひび割れ	 <p>【浮き】</p>
	成形ゴム挿入工法 成形ゴムの離脱、母材との付着切れ（剥離）	ゴムの経年劣化や背面からの水圧、目地の伸縮等による成形ゴムの離脱、母材コンクリートとの付着切れ	 <p>【ひび割れ】</p>

第3 基本情報の記録・収集・整理

頭首工の補修・補強を検討する段階においては、対策前の施設状態に関する情報、対策工法の要求性能の設定や選定に関する設計情報、対策工法の特徴や性能などの工法情報、施工時の状況や施工管理結果の施工情報を記録・保存することを基本とする。これらの情報がない場合は、担当者や施設管理者への聞き取り調査を行い、資料を収集・整理する。

また、対策実施後の維持管理情報についても、同様に収集・整理する。

【解説】

モニタリング調査実施前には、施設管理者に現況施設の取水、通水条件、施設変状の有無及び維持管理上の課題について聞き取り調査を行い、整理する。

これらの基本情報をモニタリング調査の計画立案や対策後の施設の変状の要因評価の際に活用する。

収集すべき基本情報とその収集・整理目的について表 6.3-1 に示す。

表6.3-1 モニタリング調査に係る基本情報の収集・整理事項

情報項目		整理目的
施設情報	基本情報	都道府県名、河川名称・諸元(高水流量、高水水位、河川勾配等)、頭首工の形式、施設名、施設の供用年数、取水期間、メンテナンス期間等
	モニタリング対象施設の基本情報	補修後の供用開始年、構造形式、地域劣化特性、周辺外部環境の状況
	モニタリング対象施設の既設構造物の劣化状況	<p>主な劣化変状、主な劣化要因</p> <p>磨耗、ひび割れ、剥離等の状況、鉄筋露出や錆汁、エフロレンス等の有無状況</p> <p>コンクリートの圧縮強度、中性化深さ、鉄筋被り深さ、目地の劣化</p>
工法情報	基本情報	<p>対策工法名、工法に求める性能、工法選定の理由(補修目的)</p> <p>対策工法の特徴や使用材料、品質試験結果(品質管理項目、試験方法)</p>
施工情報	基本情報	施工期間(工期)、施工範囲、施工期間中の主な気候(気温、湿度等)若しくは、養生内の温度・湿度
	下地処理	洗浄方法、母材の付着強度
	仮設	仮囲いや水替えの有無
	他の補修工法の併用	止水・導水処理工、ひび割れ補修工、断面修復工の有無
	各工程の実施状況	使用材料、施工時の環境条件、施工者、施工量(被覆厚)、養生方法等
施工管理	被覆材の付着強度、被覆厚、外観、表面含水率(有機系)等	
維持管理情報	維持管理情報	施設を管理している際に発見した施設及びその周辺の異常・変状等。
		調査時に留意すべき箇所等、施設管理者に聞き取り調査を実施し、現況施設の状態や維持管理状況を把握する。

第4 モニタリング調査

モニタリング調査には、変状の発生状況とその進行性などを把握するために継続的に調査・計測する基本調査と変状の要因究明や母材の変状の進展への影響を確認する際に実施する詳細調査がある。

モニタリング調査における調査頻度や調査方法については、対策工法の完成度・信頼度・施設の重要度を踏まえて施設監視計画により設定する。基本調査では、目視と打音調査を実施し、必要に応じて定量調査を行う。

また、基本調査において、顕著な変状や再劣化が認められた場合は、詳細調査を行う。

【解説】

詳細調査は、基本調査の結果を踏まえて調査の必要性、項目を検討したうえで実施する。調査内容については、対策工法や発生変状の種類、程度に応じて、モニタリング調査計画を個別に検討する。なお、詳細調査の実施の判断や具体的な調査方法の検討に当たっては、必要に応じて学識経験者に意見を求めることが望ましい。モニタリング調査の流れを図6.4-1に示す。

基本調査の調査方法については、農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」第4章 機能診断 3 現地踏査(巡回監視)、5 現地調査(近接目視と計測)を参照されたい。

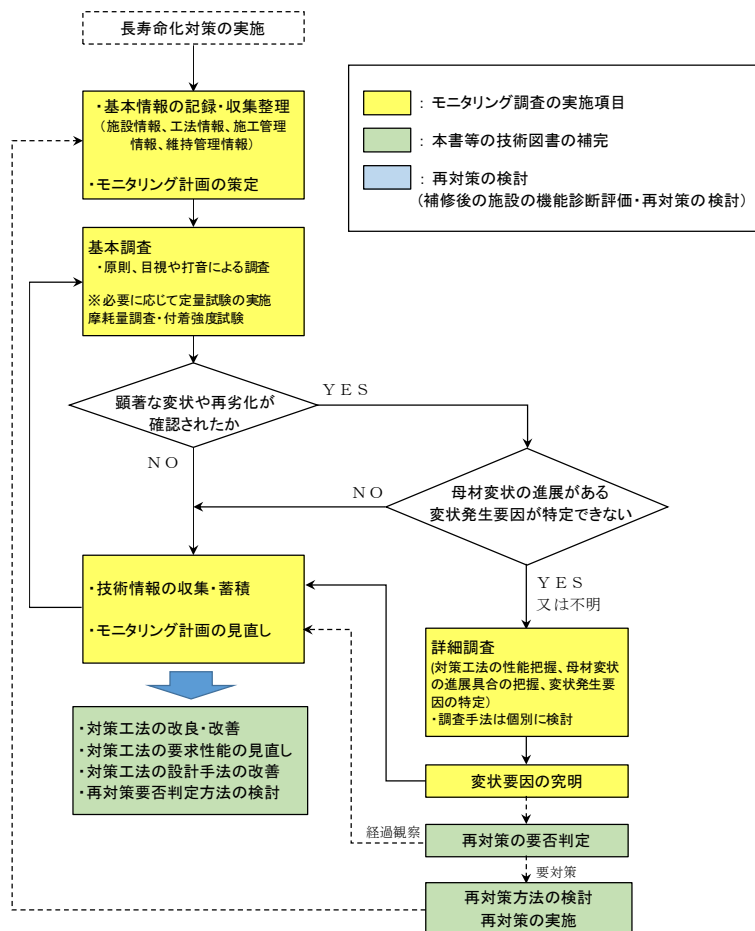


図6.4-1 モニタリング調査フロー図

(1) 対象範囲

補修・補強の頭首工を対象とし、定点を設定しモニタリング調査を実施する。

定点を設ける際は、対象施設を現地踏査し、エプロン系施設、魚道、その他施設の区分毎に対策工法の要求性能、設計条件、施工状況、施工業者、対策工法の種類及び補修施設の変状の程度に着目し、標準的な変状範囲と変状が著しい範囲を確認の上、定点を選定する。エプロンについては、最大摩耗深さと平均摩耗深さを確認するため、エプロン全体のメッシュ測量を行う。

なお、定点の設定理由や施設全体の状態等が分かるように、現地踏査で確認した変状の位置や特記事項、定点調査箇所等を平面図、縦断図、展開図等に記録する。

(2) 調査時期

モニタリング調査項目の内容に適した時期を選定する。

- ・取水施設～沈砂池区間の通水性・止水性：かんがい期間(最大通水時等)
- ・取水施設～沈砂池区間の上記以外の性能：非かんがい期
- ・エプロン系施設の摩耗量及び上記以外のその他施設の性能：河川の渇水期

コンクリート構造物は、寒暖差により膨張・収縮するため、前回実施した調査月日・調査時の気温にも留意する必要がある。

特に、ひび割れが発生している場合、温度変化による伸縮の影響は拘束条件の緩やかなひび割れ部分に集まり、ひび割れ幅が変動し、かつその変動幅は施設の使用環境条件に応じて異なる。そのため、ひび割れの進行性を確認するためには、前回測定時と同じ気象条件・通水条件の下で継続的に測定することが望ましい。また、当該施設の温度変化によるひび割れ幅の変動量を測定することにより、調査時の温度条件を踏まえたひび割れ幅の補正が可能になり、より効率的な調査が可能となる。

積雪寒冷地では冬期と夏期の温度変化の影響で、無機系被覆材は乾燥収縮ひび割れが発生しやすい。どちらの影響が大きいかを判断するためには、例えば、冬期の影響を受けた後の春期、夏期の影響を受けた後の秋期の2回のひび割れ計測を行うことで、どちらの時期にひび割れが進行するのかを判断できる。

第5 基本調査

基本調査は、対策工法の効果の発現性や持続性、対策工法の再劣化の進行性を把握することを目的に、定期的実施する調査であり、目視及び打音調査を実施する。また、必要に応じて対策工法の経年的な変化を定量的に評価することを目的に、定量調査として摩耗量調査及び付着強度試験を実施する。

【解説】

基本調査は点検技術者が特殊な装置や技能によらず、変状の進行を監視できる範囲で実施する。その際、安価で多大な労力を必要としない手法を用いて、補修工法の変状や性能低下を早期に検出することが重要である。

基本調査における調査手法の例を次に示す。

(1) 目視

変状は、外的要因により発生することもあることから周辺状況の変化にも注意を払う。

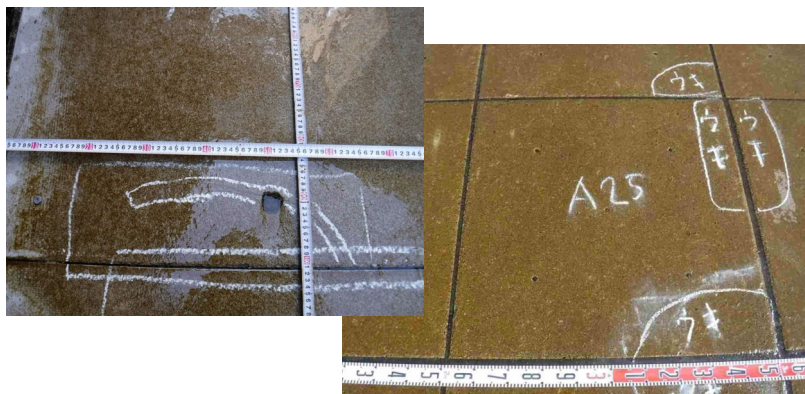
また、コンクリートの継ぎ目、下流側での湧水・噴砂といったパイピングにつながる恐れのある変状についても確認すること。

なお、変状の位置や範囲が分かるようにスケッチを作成し、ひび割れ位置やその他の表面変状は、調査対象施設の表面に直接チョークで書き込み、写真により記録する。

変状箇所については、原則可能な限り同じ箇所の変状を拡大して撮影する。

変状の発生要因や進行性を検討する際は、変状の発生位置と形状、母材の変状の発生状況、対策時の施工管理結果、施設周辺の環境条件等を十分踏まえた上で評価する。

変状が発生している箇所としていない箇所での条件の違い等にも着目することが重要である（写真 6.5-1 参照）。



アンカー固定部周辺やパネル
隅部でひび割れや浮きが発生
しやすい。



流況が変化する箇所（堰直下流や勾配
変化点等）にひび割れや剥離が発生し
やすい。



水流や上流からの土砂等の流下物が常時流れ
る部分で摩耗や剥離が発生しやすい。常時の
通水、ゲート操作状況を確認しておく。

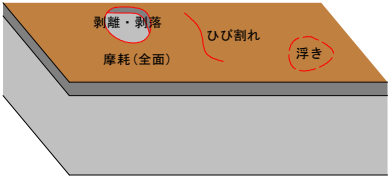
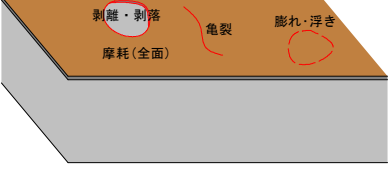

写真6.5-1 目視調査における留意点

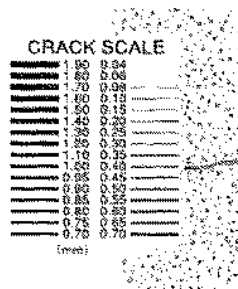
(2) 打音調査

施工を行った範囲は、全量調査を行い、表面被覆工を小ハンマー（200 g 程度）や打診棒を用いて、打音（反射音）を確認する。打撃間隔は、10～20 cmとし、異音があった箇所は細かく打撃して範囲を確定し、チョークで範囲を示して写真やスケッチで記録する。

全体目視や打音調査では、表 6. 5-1 に示す変状に留意して、写真やスケッチブックに記録する。打音調査と併せて表 6. 5-2 に示す内容に留意した目地等の調査を行えば効率的である。

表6. 5-1 表面被覆・断面修復工法調査時において着目する変状・留意点

対策工法	着目する変状・留意点	
無機系被覆工法 (断面修復工法含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・流水部、水位変動部、勾配変化部の摩耗を確認する。 ・施工端部、目地周辺、打ち継ぎ部におけるひび割れや剥離を確認する。 ・躯体ひび割れに連動したひび割れや剥離を確認する。 ・炭酸カルシウム等の被覆材成分の溶脱、析出を確認する。 ※無機系被覆材の浮きは目視では確認しにくいいため、打音調査により、「既往躯体コンクリートと被覆材」もしくは「断面修復等の重ね塗り境界」で剥離していないか確認する。 	
有機系被覆工法	<ul style="list-style-type: none"> ・流水部、水位変動部、勾配変化部の摩耗を確認する。 ・施工端部、目地周辺、打ち継ぎ部におけるひび割れや剥離を確認する。 ・躯体ひび割れに連動したひび割れや剥離を確認する。 ・被覆材表面の微細なひび割れを確認する。 ※有機系被覆材の変状は表面の微細な事象から生じることが多いため、注意深く観察する。 	
パネル工法	<ul style="list-style-type: none"> ・流水部、水位変動部、勾配変化部の摩耗を確認する。 ・パネルのひび割れの確認する。 ・接合部の隙間や剥がれを確認する。 ・劣化因子の侵入の可能性はあるか否かを確認する。 ※パネルの浮きは、目視では確認しにくいいため、打音調査により確認する。 	



クラックスケール



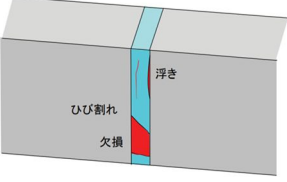
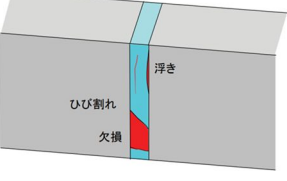
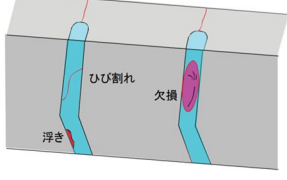
テストハンマー・打診棒



コンベックス

写真6. 5-2 使用する主な調査器具

表6.5-2 目地補修工法・ひび割れ補修工法の調査時において着目する変状・留意点

対策工法	着目する変状・留意点	
成型ゴム工法	<ul style="list-style-type: none"> 成型ゴムの離脱や目地切れについて確認する。 ハンチ部等、成型ゴムの端部からの剥離に特に留意する。 	
充填工法（シーリング・パテ） ※有機系ひび割れ補修含む	<ul style="list-style-type: none"> 紫外線等の経年的な材料劣化に特に留意する。 表面の細かいひび割れや材料の浮き、変形収縮剥離の有無を確認する。 	
充填工法（止水セメント・モルタル） ※無機系ひび割れ補修材含む	<ul style="list-style-type: none"> 目地の伸縮に対する追従性が低い材料なので、特に目地切れの有無を確認する。 ひび割れの拡大や施工後の乾燥収縮の影響によるひび割れや材料の浮きの有無を確認する。 	

(3) 定量調査

定量調査においては、対策工法の経年的な変化を定量的に評価する目的で、以下の計測調査を実施する。

調査したデータについては、対策工法の再劣化の過程や、その要因を究明するために用いるものである。

ア 摩耗量調査

摩耗量調査は、施工時に測定しているメッシュ水準測量による摩耗量計測や 3D スキャナによる 3 次元画像のデータと基本調査データを比較することで、施設全体の摩耗量を把握する(図 6.5-1~2)。

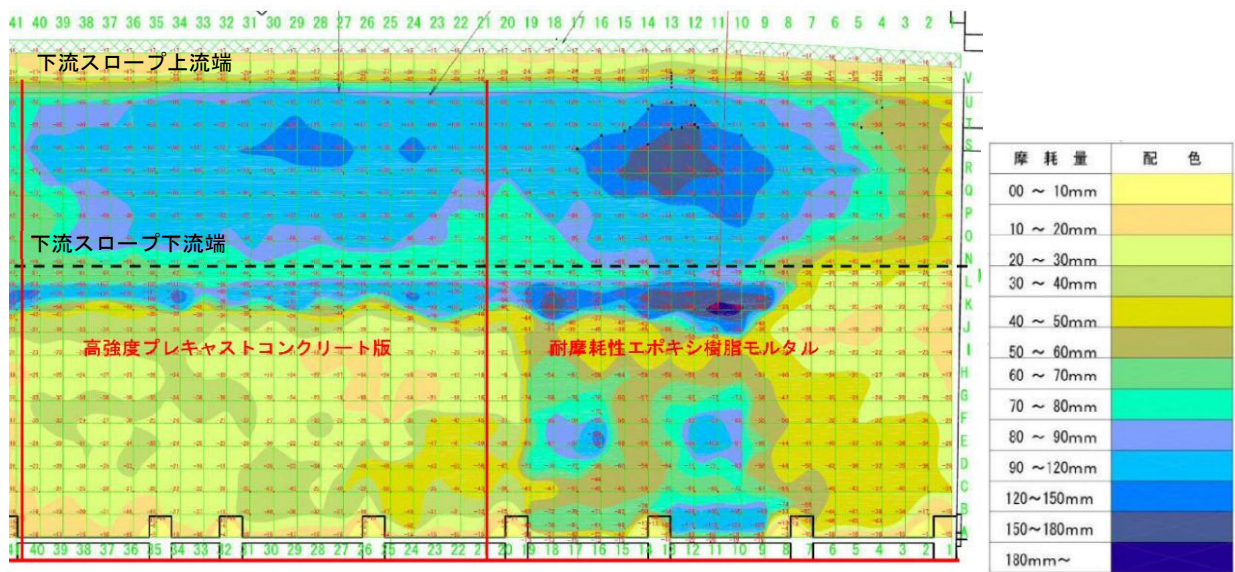


図6.5-1 C頭首工 施工前摩耗状況図(50 cmメッシュ)

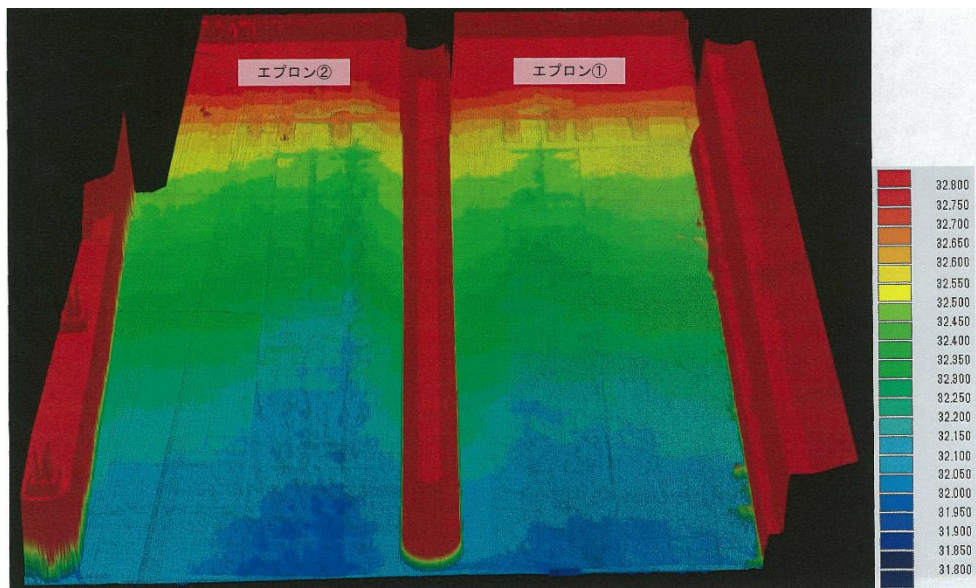


図6.5-2 C頭首工 UAVレーザ計測点群データ 段彩表示図

なお、UAV のレーザ計測は、現在、その精度を確認している状況であり、用いる際には留意する必要がある。

次に施工時と基本調査のメッシュ水準測量結果から年間最大摩耗速度と年間平均摩耗速度を導く方法を示す。

\max (施工時の標高－基本調査時の標高) = 最大摩耗深さ

$\Sigma_{メッシュ}$ (施工時の標高－基本調査時の標高) / メッシュの箇所数 = 平均摩耗深さ

年間最大摩耗速度 = 最大摩耗深さ / 対策後経過した年数

年間平均摩耗速度 = 平均摩耗深さ / 対策後経過した年数

イ 付着強度試験（建研式引張試験）

付着性は、表面被覆工法の無機系又は有機系の補修材料と母材との一体性を確保する重要な性能であり、試験方法としては建研式引張試験が一般的である。付着強度試験は被覆工の一部を破壊する調査であるため、計測頻度は、5年に1度を目安としている。しかし、被覆材に変状が生じた場合や施工当時の付着強度が許容値未満の場合は、必要に応じて調査を実施する。また、付着強度試験は、施工時の試験箇所に近い所で行うことが望ましい。

表面被覆材の付着強度試験は、建研式引張試験により実施する。

引張用鋼製ジグ（一般に40mm×40mm、他にφ45コアビットにより円形にする方法）を補修材料の表面にエポキシ樹脂で接着する。接着材が硬化後、引張用鋼製治具の周辺にモルタル基板に達するようにカッター等で切り込みを入れ、引張用鋼製治具を補修材料に対し垂直方向に引っ張り、荷重を計測する。（写真6.5-3を参照）

付着強度試験では、破断の状況が写真6.5-4、6.5-5に示すように、多様であり、破断箇所と破断面の状況観察が重要である。特に、対策前のコンクリート自体の付着強度が低下している可能性もあることから、これに留意する。



写真6.5-3 付着強度試験(40mm)



写真6.5-4 付着強度試験結果



写真6.5-5 付着強度試験(円形)

ウ 簡易な中性化試験

表面被覆工法や断面修復工法の中性化の進行を測定するための簡易な調査として、小口径コア測定法とコアビット法がある。

これらの詳細は、**農業水利施設の長寿命化の手引き H27.11**のPP.6-18～19を参照されたい。

第6 詳細調査

対策後に顕著な変状や再劣化が認められ、かつ、母材変状の進展がある場合及び変状発生要因が特定できない場合又は不明な場合は、再対策の可否を判断するため、変状の発生要因や進展状況等について非破壊試験等で確認することを目的とした詳細調査を実施する。

【解説】

詳細調査の種類については、農業水利施設の長寿命化のための手引き 4.7 変状発生要因調査を参照されたい。次に材料の表面劣化の調査事例を示す。

(1) 表面走査法による表面劣化の確認試験

劣化部を微細ひび割れが発生した範囲とみなすことで、劣化深さを非破壊で測定する手法である。コンクリートの表層に劣化した部分が存在する場合、超音波は劣化部をなるべく迂回し、健全部を伝播経路に選びながら、最も短い時間で受振子に到達しようとする性質がある。発・受振子間の距離がある値以上になると、超音波の伝播経路は健全部の縁端位置に全て一本化される。その結果、発・受振子間の距離の増加に対する超音波の伝播距離の増加の割合は小さくなり、これに連動して伝播時間が早まりグラフの直線の傾斜が変わる。この傾斜（勾配）をもとに劣化深さを評価する。

この試験は、「表面走査法によるコンクリートの凍害点検・診断マニュアル(案)H28.10 寒地土木研究所 寒地保全技術研究グループ 耐寒材料チーム」で農業用施設での実績があり、表面被覆工法に劣化や浮きが生じる場合、図 6.6-1 のケース1やケース3のように測定値の傾きに変化を生じることが示されている。また、この計算プログラムも寒地土木研究所で公開されている。

http://zairyo.ceri.go.jp/ceri_zairyo/topics5/sousa-dr.html

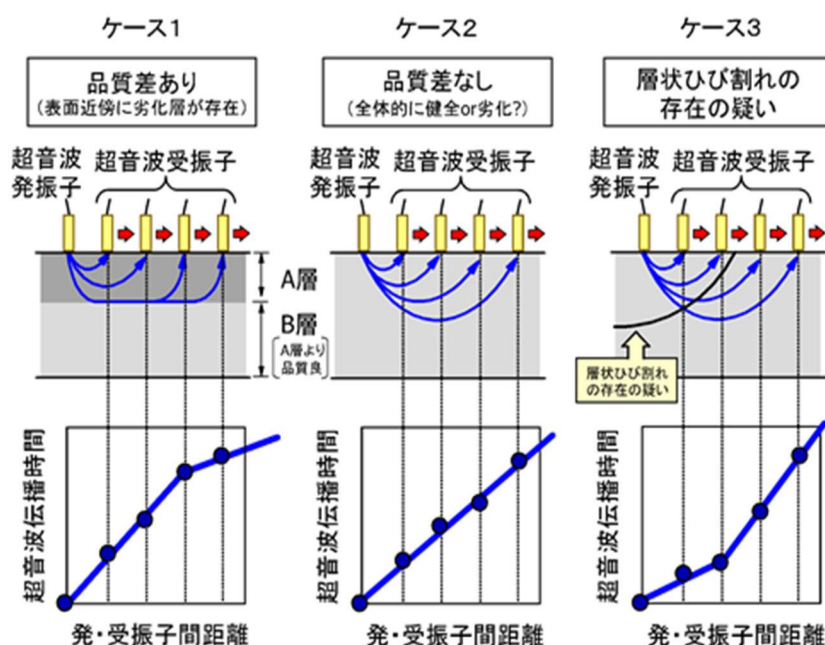


図 6.6-1 発・受振子間の距離と補正後の超音波伝播時間の関係のグラフ

表 6.6-1 に伝播速度とコンクリートの品質に関する評価例を示す。

表 6.6-1 伝播速度と品質に関する評価例

超音波伝播速度 (m/sec)	品質
4 570 以上	優
3 660 ~ 4 570	良
3 050 ~ 3 660	やや良
2 130 ~ 3 050	不良
2 130 以下	不可

出典：積雪寒冷地の既存コンクリート構造物に適用する非破壊・微破壊試験方法研究委員会 報告書 2015.6 公益社団法人 日本コンクリート工学会北海道支部



写真 6.6-1 表面走査法の現地試験

劣化が進行していない場合、2本のグラフは重なり合う。調査事例の図 6.6-2 の端子間距離と超音波伝播時間の関係グラフでは、端子間距離が小さいところで多少品質の違いを生じていることが分かる。

図 6.6-3 の端子間距離と伝播速度の関係グラフでは、端子間距離が小さい区間でより鮮明に品質の違いがあることが分かる。また、端子間距離 5 cm のところで、伝播速度が 3,060 m/s となっている。

この値は、表 6.6-1 の値でみると、施工直後が 3,650 m/s で「やや良」の上限値であったが、2年間で下限値まで低下したことが分かる。

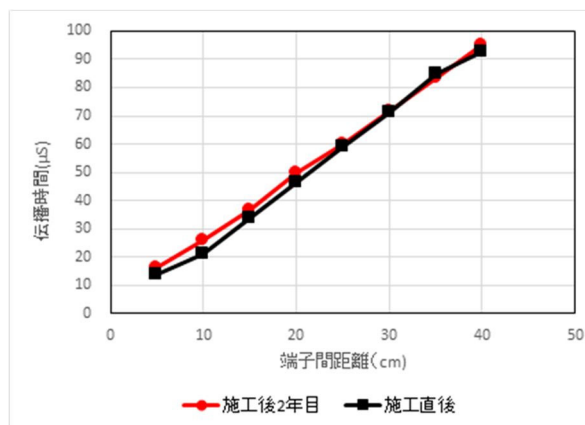


図 6.6-2 端子間距離と超音波伝播時間の関係

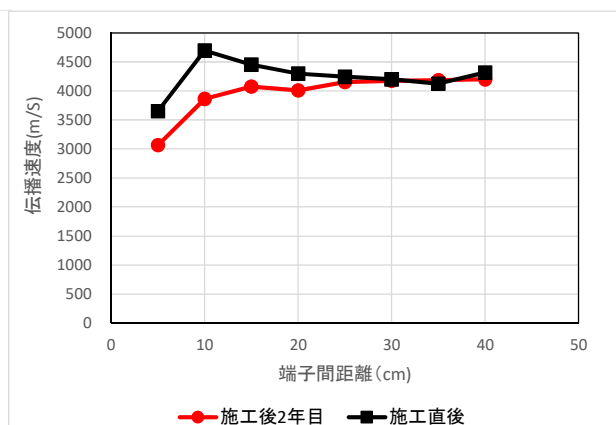


図 6.6-3 端子間距離と超音波伝播速度の関係

(2) 超音波伝播速度試験（透過法）

凍害によって組織が変化することにより超音波伝播速度が低下することを利用して、実コンクリート構造物から採取したコアや、コア採取時にできるボーリング孔間の超音波伝播速度を深さ方向に測定を行い、凍害深さを判定するものである。

土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕(2022年制定)によると、凍害の気象条件が激しい環境においてコンクリートに要求される相対動弾性係数の最小限界値(E_{min})は、普通の露出状態にあり、連続してあるいはしばしば水で飽和される場合ではない部材断面が薄い(20 cm以下)場合には70%としている。

表 6.6-2 凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足するための凍結融解試験における相対動弾性係数の最小限界値, E_{min} (%)

断面 気象条件	凍結融解がしばしば繰り返される場合		氷点下の気温となることがまれな場合	
	薄い場合 ²⁾	一般の場合	薄い場合 ²⁾	一般の場合
構造物の露出状態				
(1) 連続してあるいはしばしば水で飽和される場合 ¹⁾	85	70	85	60
(2) 普通の露出状態にあり(1)に属さない場合	70	60	70	60

1) 水路、水槽、橋台、橋脚、擁壁、トンネル覆工等で水面に近く水で飽和される部分、およびこれらの構造物の他、桁、床版等で水面から離れてはいるが融雪、流水、水しぶき等のため、水で飽和される部分等。

2) 断面の厚さが20cm程度以下の部分等。

健全部の動弾性係数を求める式は以下のとおり

$$E_d = 4.0837 \cdot V^2 - 14.438 \cdot V + 20.708$$

ここで、 E_d : 動弾性係数 (N/mm²)、 V : 超音波伝播速度 (km/s) である。

相対動弾性係数は軸方向の超音波伝播速度から求めた動弾性係数を健全部の動弾性係数で除すことで求められる。

超音波伝播速度試験では、上表の赤枠の条件下にあった部材を用いて、相対動弾性係数を求めた。

その結果、この事例では、図 6.6-4 に示すように、全てのデータが70%を超えているため、劣化が最小限界値に達していないことがわかる。次頁の写真 6.6-2、6.6-3 に試験の写真を示す。

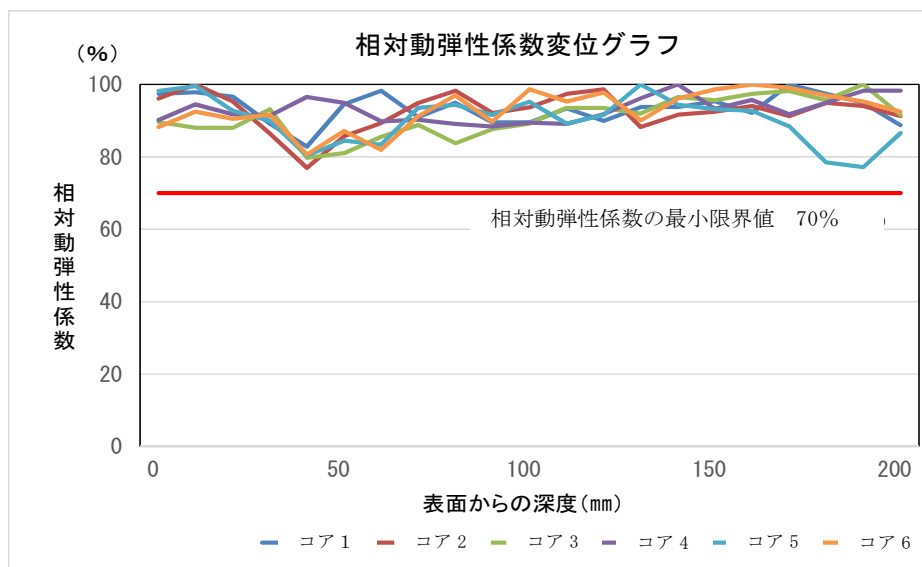


図 6.6-4 表面からの深度別の相対動弾性係数の関係(例)



写真 6. 6-2 透過法の試験状況

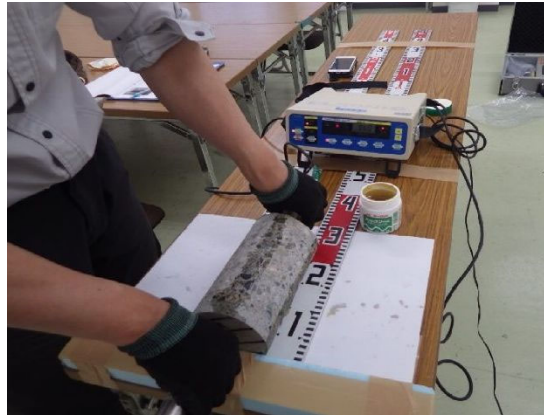


写真 6. 6-3 軸方向の超音波伝播速度測定