

## 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。

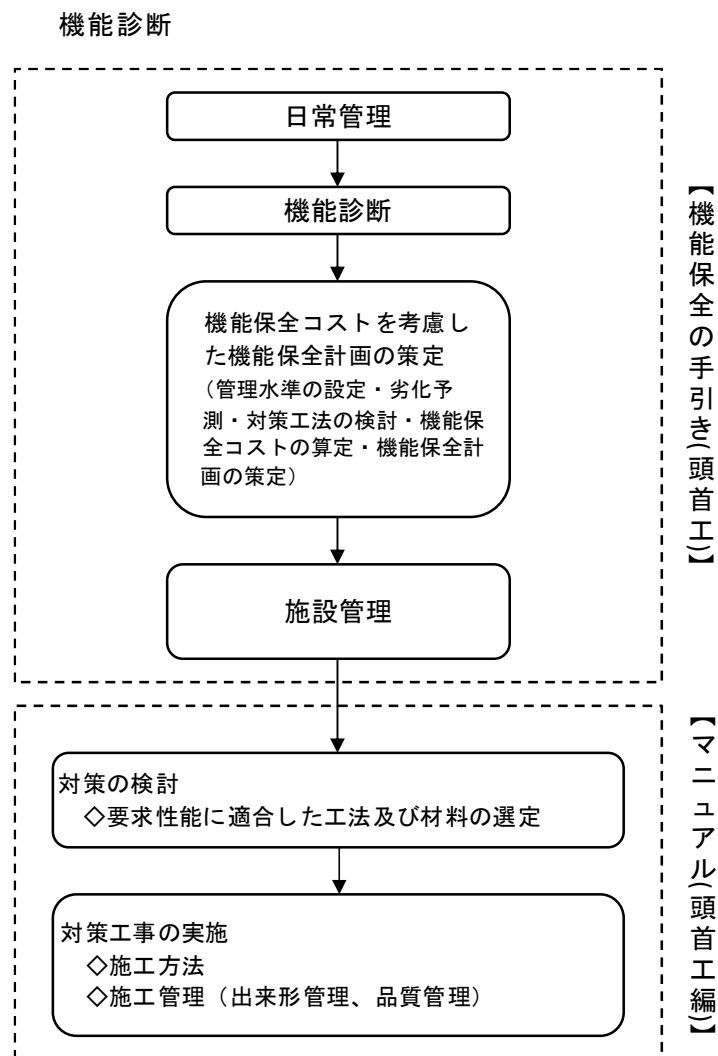


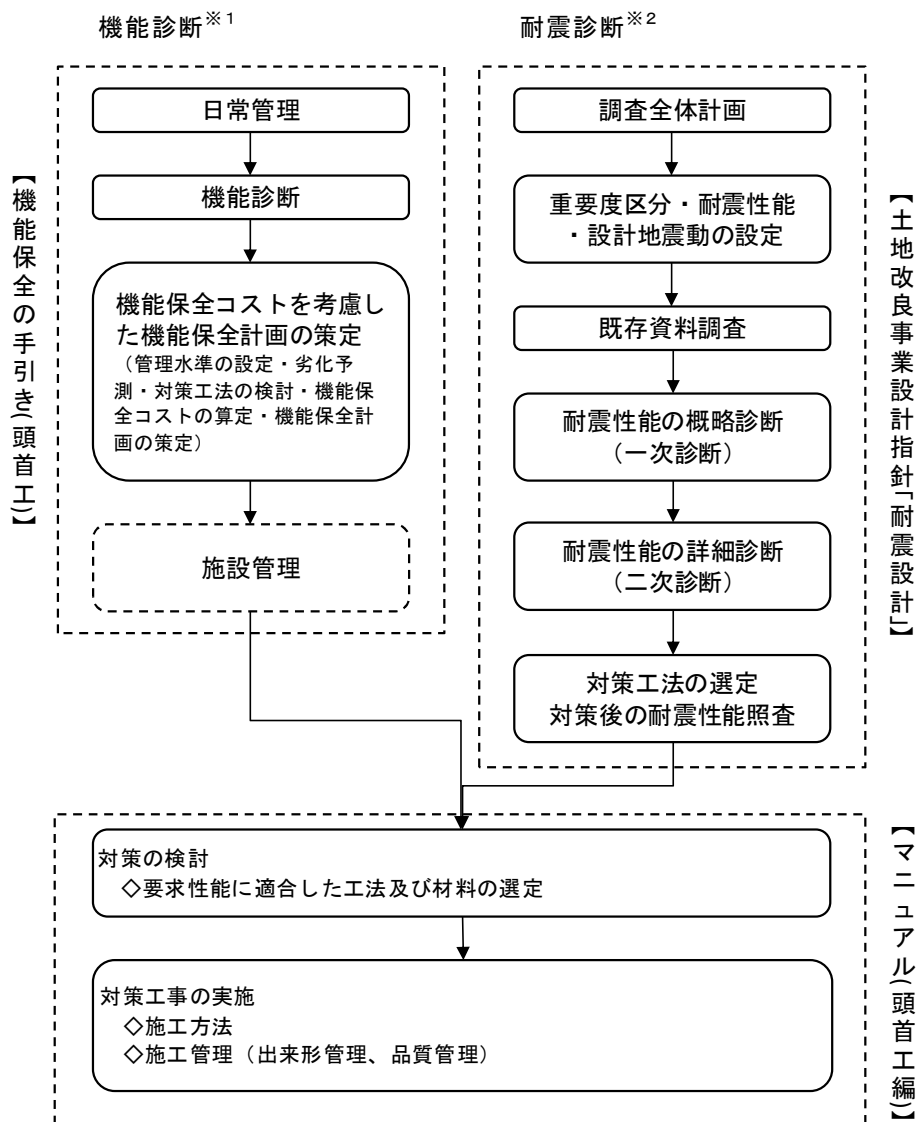
図 2.1-1 補修工法の検討手順

## 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。

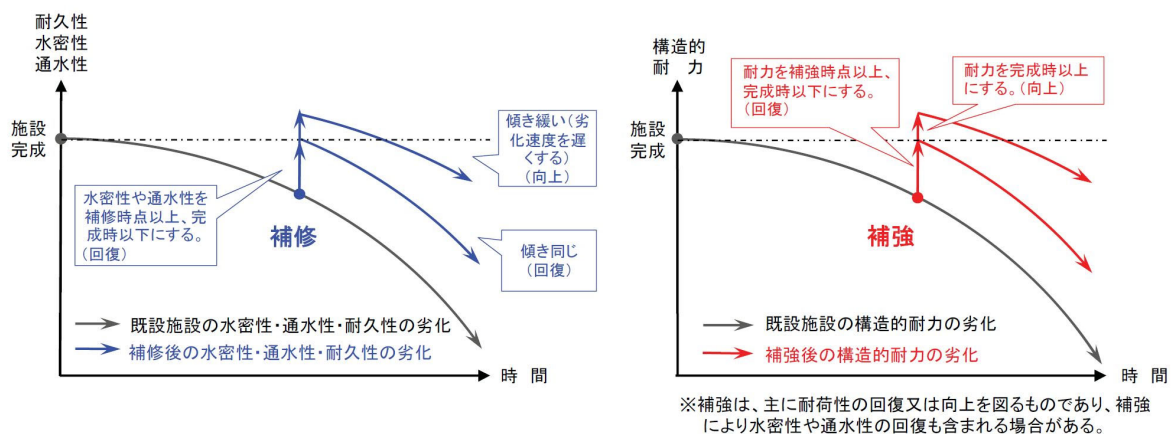


図 2.2-1 補修・補強の概念

●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。

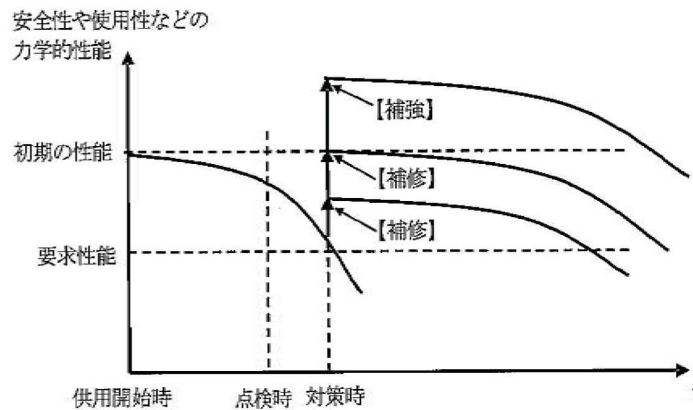


図 2.2-2 補修と補強の概念（コンクリート標準示方書（維持管理編））

**【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。

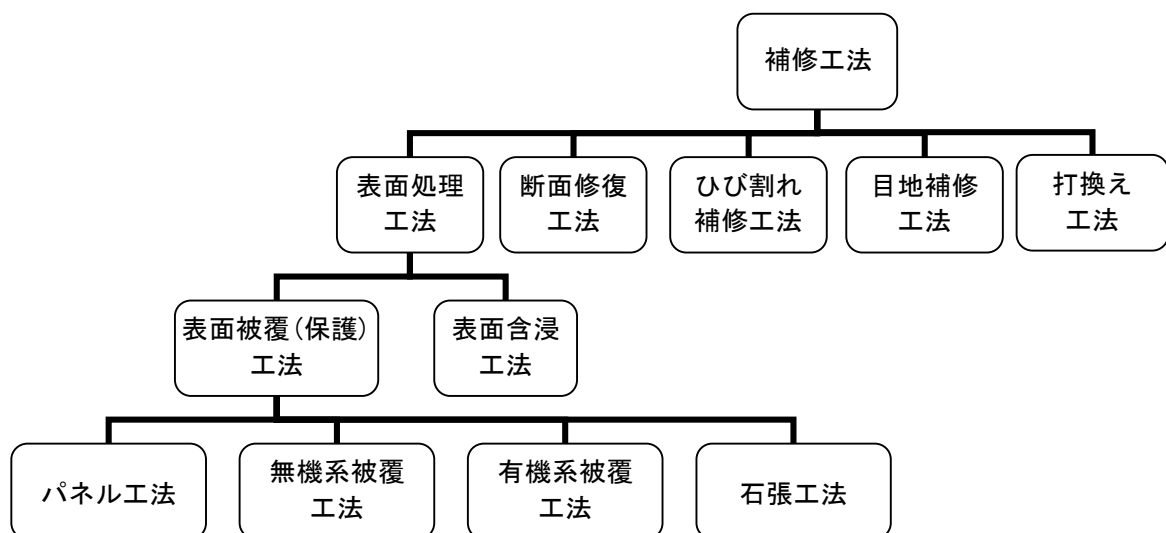


図 2.2-3 補修工法の分類

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。

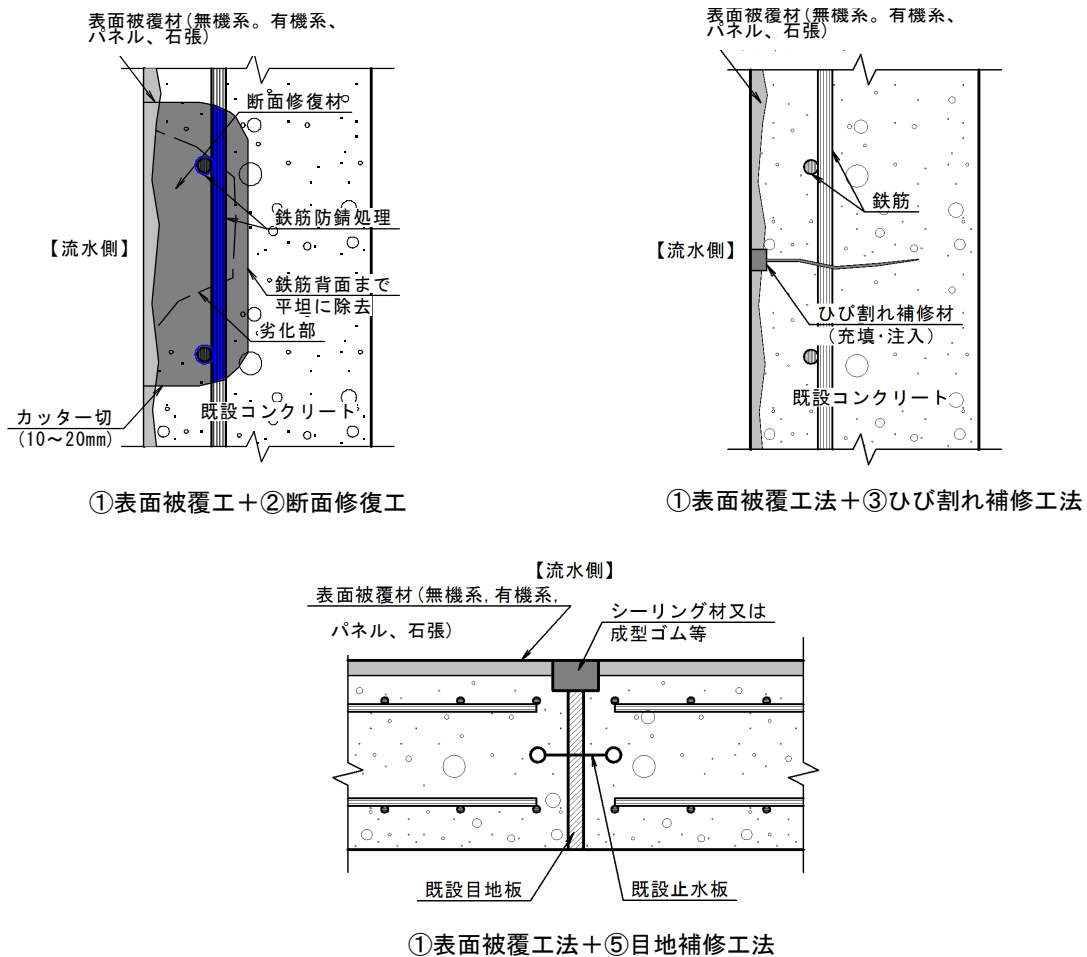


図 2.2-5 各種補修工法の概念図（組合せでの適用例）

### 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。

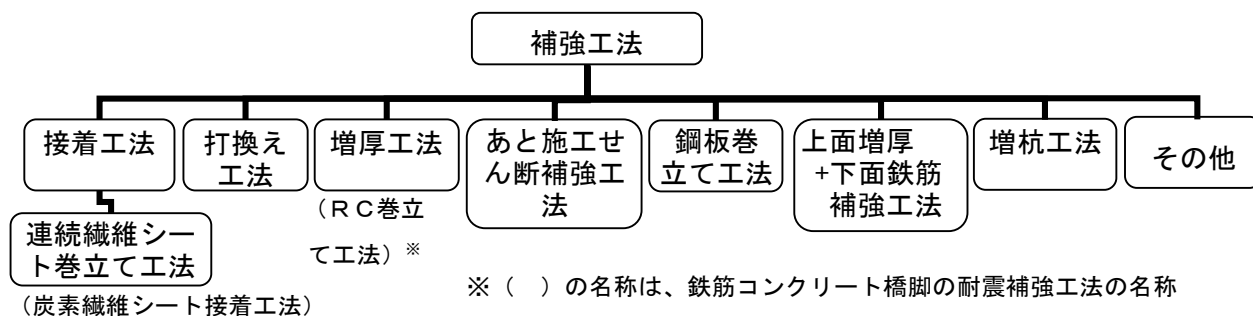


図 2.2-6 補強工法の分類

### 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<sup>※1</sup>

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<sup>※1</sup>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/mm<sup>2</sup> 以上）や高耐久性レジンコンクリート（圧縮強度 80 N/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> 以上、ひび割れ発生強度の特性値が 4 N/mm<sup>2</sup> 以上、引張強度特性値が 5 N/mm<sup>2</sup> 以上の繊維補強を行ったセメント質複合材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<sup>※1</sup>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】

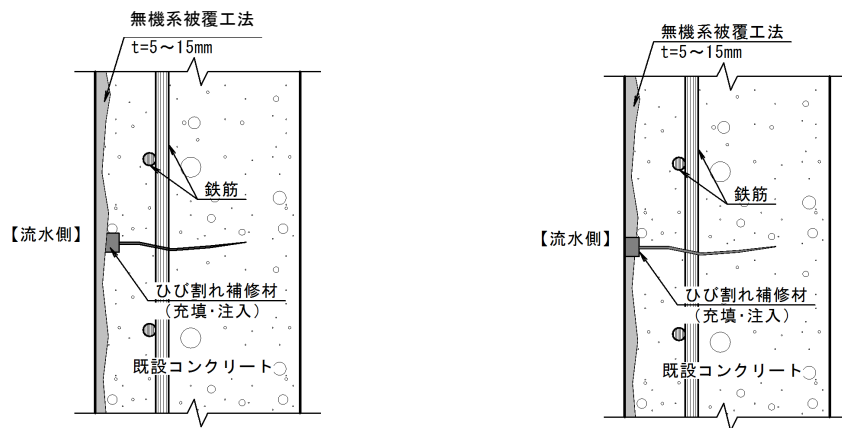
- ・ポリマーエマルジョン（アクリル系など）
- ・水性の樹脂系接着材（水性エポキシ樹脂など）
- ・無溶剤型の樹脂系接着材（打継用エポキシ樹脂系接着材など）

#### (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<sup>※1</sup>。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/mm<sup>2</sup> 以上、ひび割れ発生強度の特性値が 4 N/mm<sup>2</sup> 以上、引張強度特性値が 5 N/mm<sup>2</sup> 以上の繊維補強を行ったセメント質複合材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

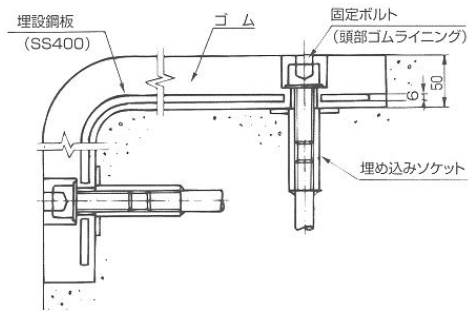


図 2.3-2 弾性板工法の断面例



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。

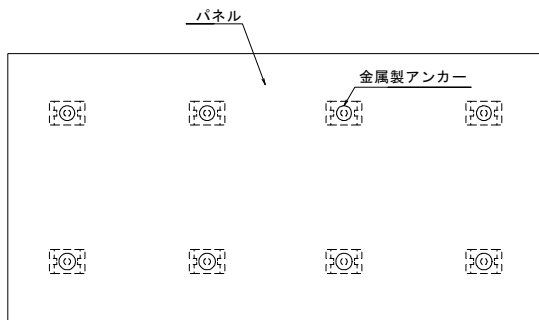


図 2.3-3 アンカー固定方式パネル工法の  
平面図

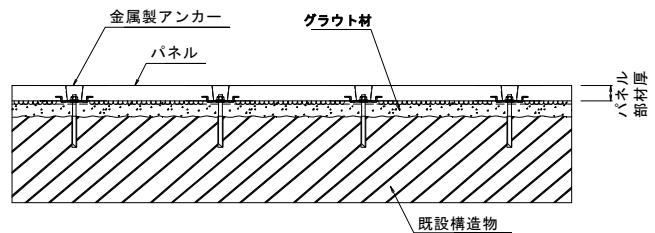


図 2.3-4 アンカー固定方式パネル工法の  
断面図

### (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

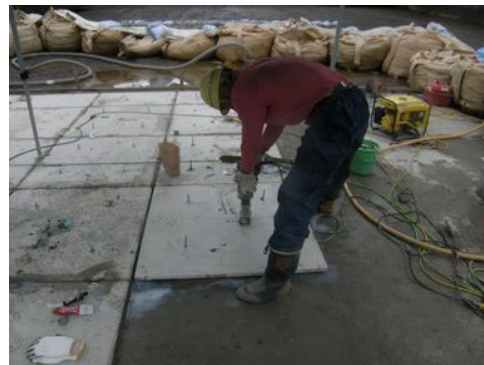


写真 2.3-9

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<sup>※1</sup>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。

---

<sup>※1</sup> 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。

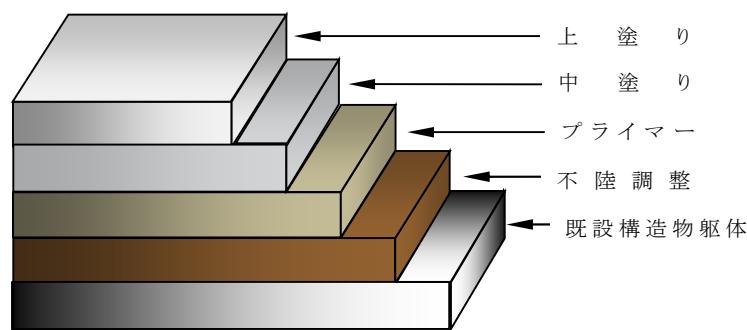


図 2.3-5 有機系被覆工法の被覆断面例

## 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<sup>※1</sup>。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、エポキシ樹脂と硅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<sup>※2</sup>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<sup>※1</sup>。

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 <sup>3</sup> 圧縮強度 180 N/mm <sup>2</sup> (硬石 50 N/mm <sup>2</sup> 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)

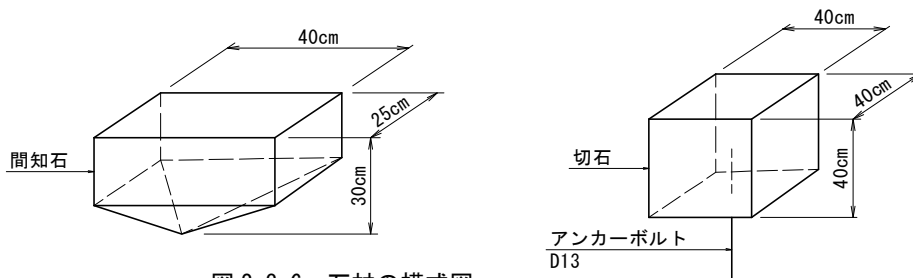


図 2.3-6 石材の模式図

※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。

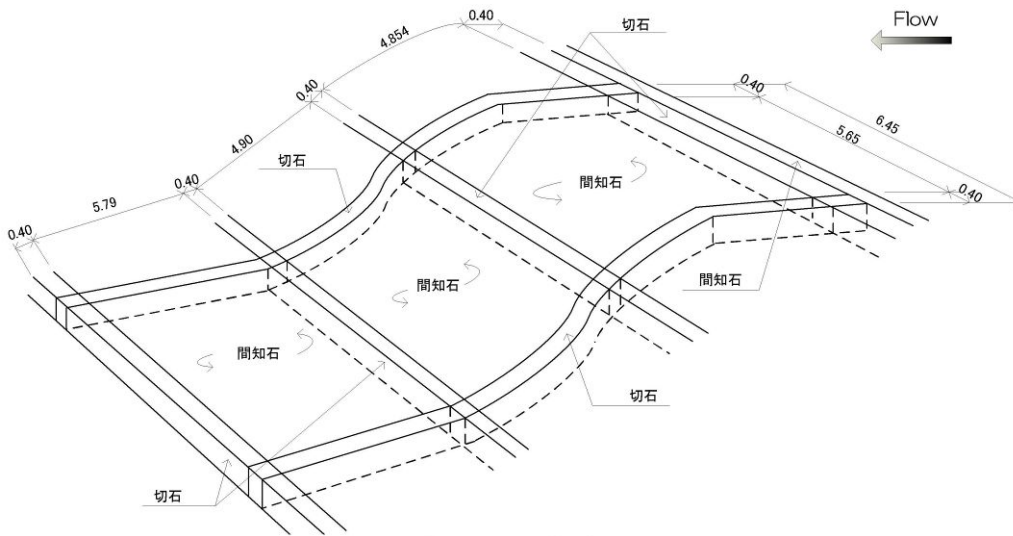


図 2.3-7 石張配置例 (固定堰)

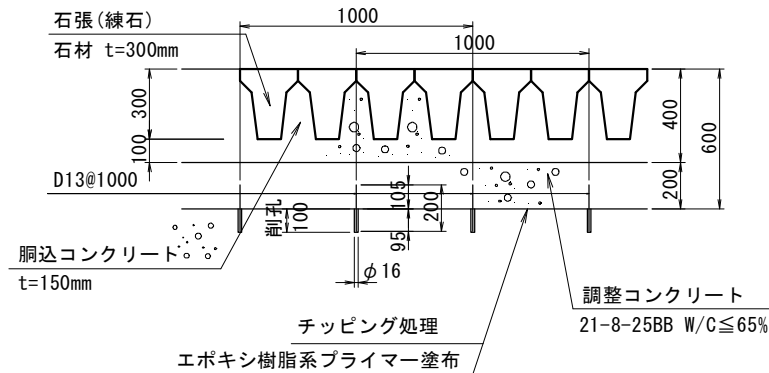


図 2.3-8 石張工法の断面例 (固定堰)

## (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"> <li>・エポキシ樹脂系材料と比較して安価である。</li> <li>・熱膨張率がコンクリートに近い。</li> <li>・湿潤箇所に適用できる。</li> <li>・硬化がエポキシ樹脂系材料より遅い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工性に優れる。</li> <li>・熱膨張係数が大きい（コンクリートの約 5～10 倍）。</li> <li>・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。</li> <li>・可燃性がある。</li> <li>・紫外線、熱によって劣化する。</li> </ul>

## 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。

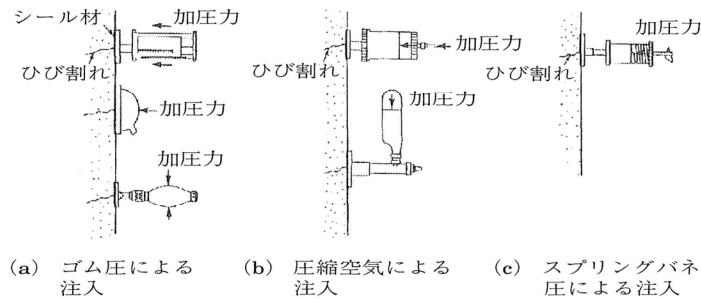


図 2.3-10 ひび割れ注入工法の施工例（低圧注入）

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。

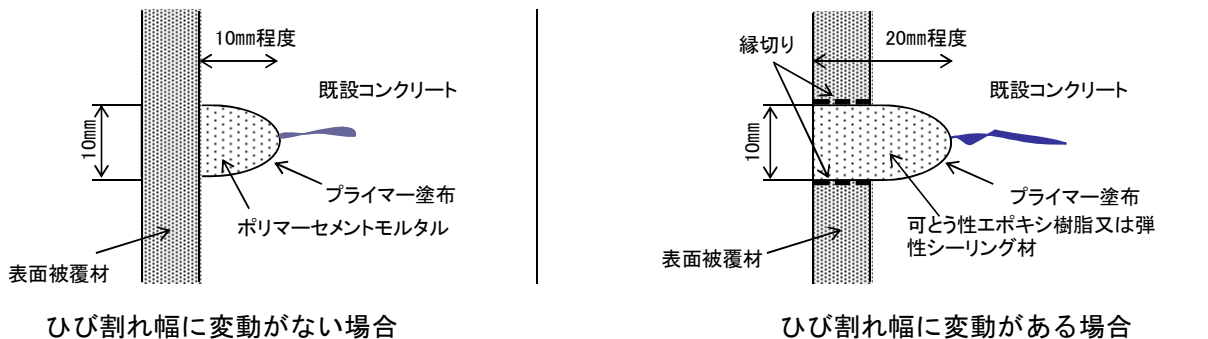


図 2.3-11 無機系被覆工法とひび割れ充填工法を併用する場合の施工事例

## 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。

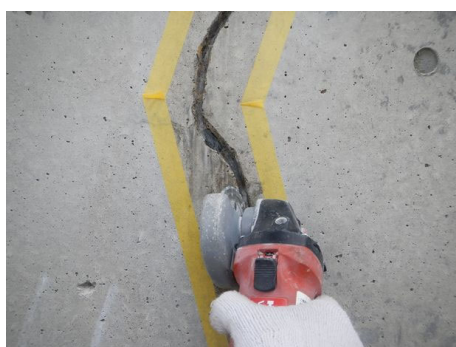


写真 2.3-22  
魚道のV字カット施工状況



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"> <li>・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</li> <li>・練混ぜ、施工が容易で中小断面の施工に適している</li> <li>・安価であるが、乾燥ひび割れが生じやすい</li> </ul>
	ポリマーセメントモルタル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・曲げ及び引張強度が高い</li> <li>・劣化因子の遮断性に優れる</li> <li>・セメントモルタルより多少高価である</li> </ul>
	セメントコンクリート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・安価である</li> <li>・比較的長い養生期間が必要である</li> <li>・付着力の確保を別途検討する必要がある</li> </ul>
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"> <li>・曲げ及び引張強度が高い</li> <li>・水密性に優れる</li> <li>・耐摩耗性、耐衝撃性、耐薬品性に優れる</li> <li>・高価である</li> <li>・紫外線及び熱により劣化する可能性がある</li> </ul>

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<sup>※1</sup>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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> 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<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>	200 mm
F頭首工	50 N/mm <sup>2</sup>	200 mm
K頭首工	50 N/mm <sup>2</sup>	300 mm
I頭首工	50 N/mm <sup>2</sup>	300 mm
MZ頭首工	21 N/mm <sup>2</sup>	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/mm<sup>2</sup> 以上のコンクリートであり、普通コンクリート ( $\sigma_{ck} = 21$  N/mm<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> )	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<sup>※1</sup>。

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。

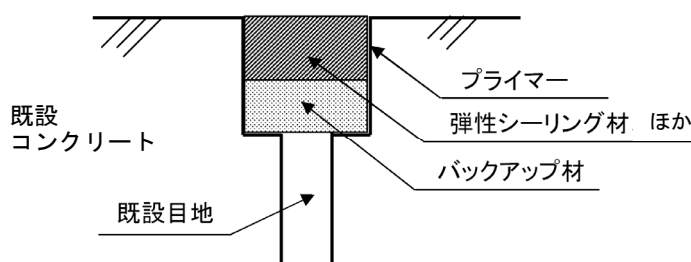


図 2.3-12 目地充填工法の断面例

### （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。

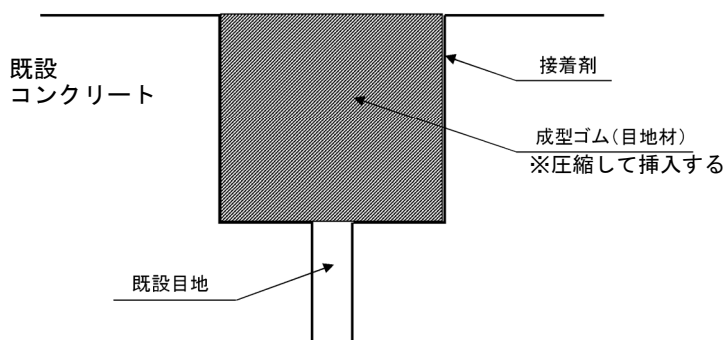


図 2.3-13 目地成型ゴム挿入工法の断面例

## 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。

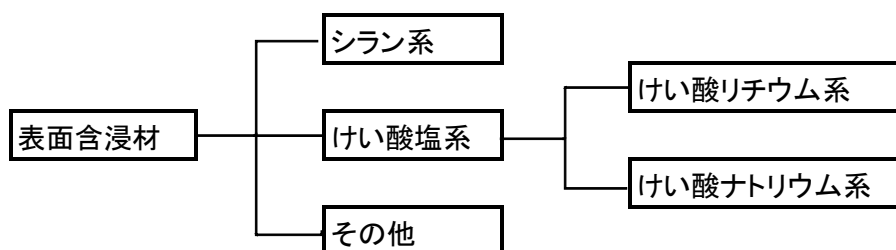


図 2.3-14 表面含浸材による工法の分類

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"><li>含浸したコンクリート表層部を疎水性に改質する。</li><li>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。</li><li>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。</li></ul>
けい酸リチウム系	<ul style="list-style-type: none"><li>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。</li><li>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。</li><li>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。</li></ul>
けい酸ナトリウム系	<ul style="list-style-type: none"><li>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。</li><li>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。</li><li>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。</li><li>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。</li></ul>

### (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<sup>※1</sup>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。

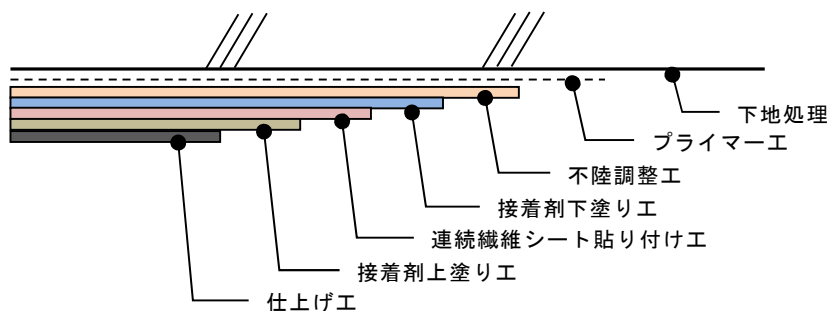


図 2.4-1 連続繊維シート巻立て工法の施工断面例

## (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※<sup>1</sup>。



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※<sup>2</sup>。

※<sup>1</sup> 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

※<sup>2</sup> 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

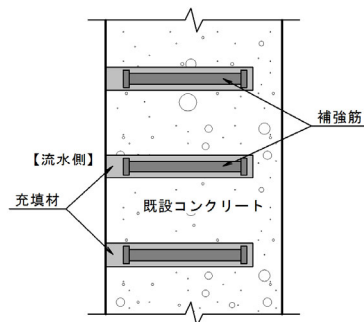


図 2.4-2 あと施工せん断補強工法の例



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"> <li>・ 寒冷な気象条件</li> <li>・ 上流からの土砂供給</li> <li>・ 河床勾配</li> <li>・ 接水時間</li> <li>・ 計画高水流量</li> <li>・ 放流量・放流回数</li> <li>・ 年間摩耗速度</li> <li>・ 景観に配慮が必要な地域</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 摩耗・骨材露出</li> <li>・ ひび割れ</li> <li>・ 剥離</li> <li>・ 鉄筋露出</li> <li>・ 遊離石灰</li> <li>・ 浮き</li> <li>・ 目地損傷</li> <li>・ 曲げ及びせん断耐力不足</li> <li>・ その他（不同沈下、豆板、空隙、流出、部分破壊）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経年劣化</li> <li>・ 凍害</li> <li>・ 転石</li> <li>・ A S R※1</li> <li>・ 乾燥収縮</li> <li>・ 中性化※2</li> <li>・ 河床低下</li> <li>・ 塩害※2</li> </ul>



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に一部示したので参考とされたい。