

### 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	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 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。	鉄筋等が存在し、中性化の抑制が必要な場合のみ照査する。
	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 <sup>2</sup> 以上
				多湿条件	
				低温条件	1.0 N/mm <sup>2</sup> 以上
水中条件*2	1.0 N/mm <sup>2</sup> 以上				
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 <sup>2</sup> 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。

$\beta_e$  : 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)

$\alpha_1$  : 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/m<sup>3</sup>)

$B$  : 単位結合材量 (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  : 単位体積当たりのポルトランドセメントの質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$A_d$  : 単位体積当たりの混和材の質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$k$  : 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。

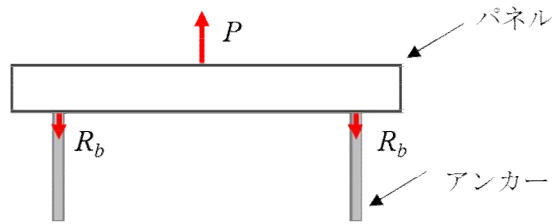


図 3.2-1 パネルのアンカー引抜強度の計算概念図

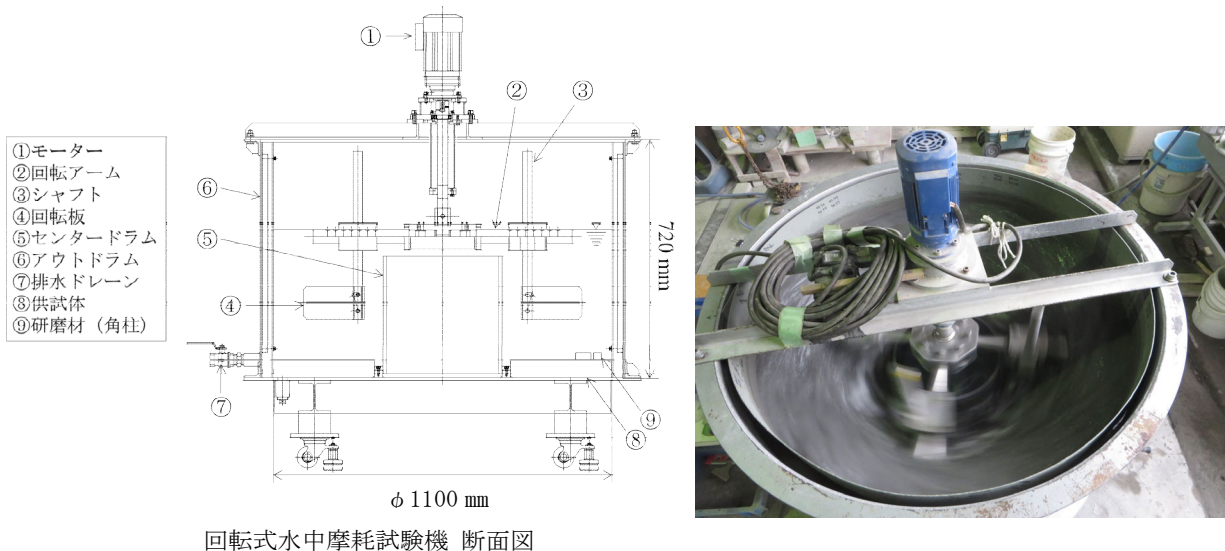
#### 4 耐摩耗性

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 <sup>*1</sup>

<sup>\*1</sup> 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。

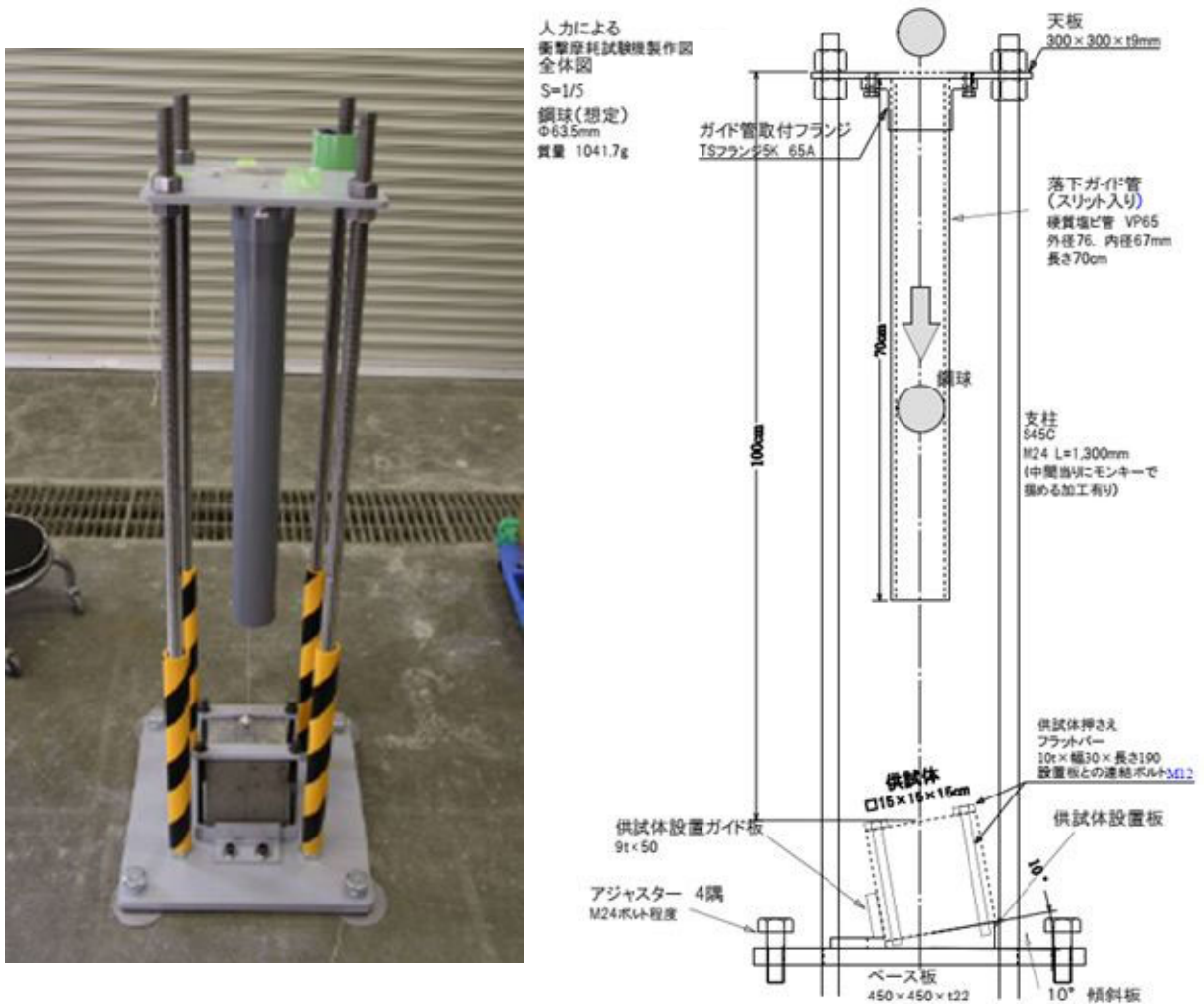


図 3.2-3 鋼球落下式衝撃摩耗式試験法（案）の概要

## 【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 ( $60 \text{ N/mm}^2$ ) 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 4.5mm以下 <sup>※1</sup>
	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 1.0kg 落下高さ 1.0m 落下回数 500回 供試体角度 10度	最大摩耗深さ 11mm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 <sup>2</sup> 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） <sup>*1</sup>	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/mm<sup>2</sup>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 <sup>2</sup> 以上
曲げ強度	20 MPa以上
静弾性係数	2.45 N/mm <sup>2</sup>

### (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 <sup>+0</sup> <sub>-2</sub> 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/mm<sup>2</sup> 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、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/mm<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> {kgf/cm <sup>2</sup> }	参考値	
		吸水率 %	見掛比重 g/cm <sup>3</sup>
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	—				1		1	1		
			劣化	補修								
			機能不全	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	—				2	1	1	2		
			劣化	補修		1				1	1	無機系被覆、 ひび割れ注入、 断面修復
			機能不全	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	補修		1			1		1	無機系被覆、 ひび割れ注入、 ひび割れ充填
			機能不全	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	—				1		1	1		
			劣化	補修								
			機能不全	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 <sup>2</sup> 以上
				多湿条件	
				低温条件	
				水中条件*2	1.0 N/mm <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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、

$\alpha_1$  : 二酸化炭素濃度の補正係数、一般には 10 を用いる。

$\alpha_2$  : 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/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> 以上
- ・静弾性係数 2～2.8×10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>（コンクリート 2～2.8×10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>）
- ・熱膨張係数 15×10<sup>-6</sup>/℃前後（コンクリート 10×10<sup>-6</sup>/℃）

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/mm<sup>2</sup> 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、これにより難しい場合は、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。