第 28 章　保全管理

関連条項［基準 13、運用 13］

28.1　頭首工の保全管理

頭首工は、農業水利施設としての水利用機能のほか、水理機能や社会的機能を有しており、施設の劣化や自然災害等により、施設機能が低下して施設が損壊した場合、本来的機能の停止のほか、二次災害や第三者被害等が発生するなどのリスクが考えられる。そのため、適切な保全管理を行う上で、対策を要する場合は、早期に対応することが望まれる。一方、対策工の実施にあたっては、仮設規模が大きくなるため経済的な負担が大きくなること、対外協議などにより迅速な着工が難しいこと、頭首工規模によっては対策工事期間が長期化すること、工事により河川環境への負荷が生じること等の問題点がある。

このことから、頭首工の保全管理においては、ストックマネジメントの各プロセスにおいて頭首工自体のもつ特性を把握するとともに、機能保全計画においてこれら頭首工の有する機能、社会的影響、リスク等を適切に反映させることが重要である。

特に、パイピングによる浸透破壊は予見が難しく、事象が発生すると浸透破壊が加速的に進行する。このため、漏水、変状など、その時点で起きている現象だけで判断せず、変状要因の確認、進行予測、進行した場合の影響把握に努めるとともに、平時から施設管理者、利水関係者等と連携して業務継続計画（BCP）の作成、見直しを行い、漏水などの予兆が見られた場合に適切な対応を行うため、迅速に学識経験者へ相談できる体制をあらかじめ構築しておくことが重要である。

また、今後は、土地改良事業全体の効率化・高度化を図るため、BIM/CIM（Building/Construction Information Modeling,Management）モデルの利活用や最新の ICT（Information and Communication Technology）との連携を図ることが期待される。このため、測量・調査、設計、施工、維持管理・更新の各段階において、関係する情報を蓄積・充実させることが重要である。

頭首工の保全管理においては、以下の点に留意する。

⑴　頭首工は、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」である。そのため、頭首工では、各構成部位において機能、重要度、耐用年数、劣化傾向等が異なることを踏まえ、総合的に保全管理することに留意する。

⑵　頭首工の機能保全では、農業水利施設としての機能と併せて、水理機能及び社会的機能についても同等に保全管理することに留意する。

⑶　頭首工の機能保全は、その立地条件及び供用環境による劣化傾向を考慮するとともに、対策実施の実現性（施工条件、経済性及び対外協議に要する時間）を考慮する。

⑷　頭首工の保全計画は、地震、洪水等による災害によっては二次災害が発生することも想定されるため、健全性の確保に努めた計画とする。

複合施設である頭首工は、土木施設に加え、施設機械や電気設備なども含めた総合的な保全管理を要する。特に、施設機械や電気設備などにおいては、製造部品の保存期間終了によって代替品の入手が困難により部品交換ができないことによる機能不全や耐用年数超過による機能障害の発生リスクの増加などは避ける必要があるため、個々の構成要素において耐用年数や劣化傾向も異なることに留意した計画的な保全管理が必要となる。

なお､頭首工は常に水に接する施設であることから､水門扉等の保守点検や機能診断を行う場合、不測の損傷に対する補修を行う場合等に、水位維持、逆流防止のために主ゲートの代替措置が必要となる。このため、修理用ゲートの設置を想定して戸溝（戸当り）を設け、必要に応じて修理用ゲートの扉体の確保を行うことが望ましい。

28.2 機能と性能

28.2.1 頭首工の機能と性能

頭首工は、河川から必要な農業用水を取水する目的を果たす水利用機能に加え、水理機能、構造機能を有する。農業水利施設としての目的は、水利用機能の発揮であり、水理機能、構造機能は、水利用機能の発揮を支える関係にある。また、これらの機能のほかに、河川横断構造物であるという視点から、故障時等におけるリスクなどに対して農業用水利施設全般に求められる安全性・信頼性といった社会的機能がある。

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。

28.2.2 性能の管理

頭首工における性能管理の考え方は、以下の視点が重要となる。

⑴ 水利用機能における性能管理は、取水量（取水位）を確保するとともに取水量（取水位）を管理することである。

⑵ 水理機能における性能管理は、取水後の通水断面を確保するとともに、洪水時には計画洪水量を安全に流下させること、並びに取水口ゲートにより速やかに洪水が流入しないように遮断することである。

⑶ 構造機能における性能管理は、構造物としての力学安全性、耐久性、安定性、信頼性及び修復性が確保されていることである。

⑷ 社会的機能における性能管理のうち、安全性・信頼性の観点では、二次災害や第三者被害等が発生するなどのリスクに対し、リスクの評価を踏まえた管理水準の設定等により対応を図ることである。

⑸ 社会的機能における性能管理のうち、環境性の観点では、景観の保持、自然環境の維持及び魚類等の遡上・降下等の維持を図ることである。

性能管理では、構成する施設・設備を「コンクリート施設」、「施設機械設備」に分類し、着目した性能について要求が満たされるように管理することが求められる。この際、個々の施設に応じた重要度や許容しうるリスク等を勘案して、保持すべき性能水準を設定する必要がある。

頭首工の機能と性能の例を**表-28.2-1** に示す。

表-28.2-1　頭首工の機能と性能の例

機能		性能の例		指標の例
本来的機能	1)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
	2)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
	3)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
4)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

※農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」を参考

以下に、施設・設備ごとの性能管理の考え方を示す。

ア　コンクリート施設

コンクリート施設は、施設の構造性能の低下が致命的になる前に補修・補強等を実施する予防保全対策を行うことにより、経済的かつ効率的な長寿命化を図ることができる場合が多く、ひび割れ、変位等の外形的な構造状態に着目した性能管理を行うことを基本とする。

また、可動堰の構造安定性の評価など、施設・設備が組み合わさった施設構造として管理すべき性能指標についても、施設機能や構造形状から検討する必要がある。

イ　施設機械設備

ゲート設備などの施設機械設備は、多数の機器・部品から構成された集合体であり、日常管理における機器・部品の適正な点検・整備により設備の機能の維持、さらに設備の長寿命化を図ることが可能である。なお、経済的かつ効率的な設備の長寿命化を図るためには、施設造成者と施設管理者との連携及び点検と機能診断の合理化が重要である。

また、合理的な性能管理を行う上で、構成する部位の重要度や、腐食、損傷等の劣化が設備に与える影響度、主桁等の最大応力の発生箇所、水質等の周辺環境、使用頻度などを十分に理解し、管理する必要がある。

28.3 性能低下の特徴とその評価

28.3.1 性能低下の特徴

⑴ コンクリート施設の性能低下

頭首工を構成するコンクリート施設には、堰体、堰柱、エプロン及び護床工がある。これらの構成施設の性能低下には様々な要因があり、性能低下の種類及びその進行も構成施設ごとに異なるため、調査・評価、劣化予測、対策工法の検討においては、各構成施設の特性に着目することが重要であるとともに、ある変状が他の構成施設に影響を及ぼす場合もあることから、変状の要因を推定するにあたっては構成施設間の関連性に留意する。

また、頭首工は、出水時に、下流河床洗掘、土砂の吸い出し、パイピング、護岸の破損、転石等の衝突による破損といった､頭首工本体の安定性に影響を及ぼす変状が顕在化することが多く、これらの変状の要因を推定することが重要である。

特に、堰上下流の水位差が大きい場合や通年通水のため常に水位差が生じている頭首工の場合は、エプロンの性能低下がパイピングにつながるおそれがあるため、留意が必要である。

⑵ ゲート設備の性能低下

ゲート設備は、扉体、戸当り、開閉装置、機側操作盤及びこれらを構成する多数の機器・部品等の集合体であり、これらが相互に有機的に機能して設備全体が正常に機能する。このため、ゲート設備を構成する装置、部位等の重要度や、腐食、損傷等の劣化が設備に与える影響度等を考慮し、設備の性能レベルを把握する。また、頭首工を構成するゲート設備は、堰柱などのコンクリート施設と一体となって機能することから、ゲート設備の性能低下については、ゲート自体の劣化のほか、戸当りなどのコンクリート施設との関連性を考慮することが必要である。

28.3.2 診断調査・評価方法

⑴ 機能診断調査・評価における基本方針

機能診断調査は、対象となる頭首工の機能全般について把握するとともに、施設の劣化予測や劣化要因の特定及び対策工法の検討に必要な事項について調査を行うものである。

頭首工の機能診断で実施する調査手法や調査位置の選定に当たっては、構成する施設設備ごとの特性を踏まえ、調査の目的を明確にした上で、その目的に対応した最適な手段を選択する必要がある。

調査内容としては、①資料収集や施設管理者からの聴き取りによる事前調査、②巡回目視により概況の把握を行う現地踏査、③近接目視、計測、試験等により定量的な調査を行う現地調査、の３段階で実施することを基本とし、必要に応じて詳細調査を実施する。

堰体やエプロンの基底部を直接確認するためにはボーリング調査等が一般的であるが、空隙等をピンポイントで確認することは難しい。一方で、パイピングを起こさないためには、施設異常を早期に発見することが重要である。例えば、堰軸又は下流エプロンに圧力計等の計測機器を設置し、水位、水圧の変動を日常的に監視するとともに、取得したデータを分析することで施設の異常を早期に把握する方法も考えられる。

機能診断評価は、機能保全計画を策定するために必要となる施設・設備の性能低下について、その状態と要因を把握するために実施する。また、施設・設備の状態から、施設・設備が総合的

にどの程度の健全度を有するかについて評価を行うために実施する。

なお、頭首工の機能診断調査・評価は、構造機能にかかる診断・評価だけでなく、水利用機能、水理機能や社会的機能にかかる診断・評価も重要であることが特徴として挙げられ、それぞれの機能の詳細は、**表-28.2-1** に示すとおりである。

⑵　河道状況にかかる診断・評価

一般に、河床洗掘が生じた場合は、護床工などに変状が現れ、頭首工の構造機能に大きな影響を与えることが予測されるため、機能診断時の大きな評価要素となるが、一方土砂の堆積は評価が反映されにくい項目である。しかしながら、土砂の堆積はゲート操作に大きな影響を与えるため、運用上支障が生じるような土砂堆積となっている場合には、適切に評価し、機能保全計画に反映させる必要がある。

ア　診断調査

河床洗掘や土砂の堆積等の河道にかかる評価を行う場合、施設管理者への聞き取りに加え、目視調査のほか、河川横断測量やレーザースキャナ三次元測量、無人航空機等による空中撮影などにより状況を把握する調査方法が考えられる。なお、測定は、毎年、取水及び出水状況等を考慮して適当な時期を定めて行い、経年変化がわかるように調査結果を整理することが望ましい。

イ　評価手法

調査によって得られる結果を用いて、定量的な評価を行うに当たっては、以下のような点に留意する必要がある。

土砂堆積時期：継続的、一時的（出水期のみ）
土砂堆積位置：上流エプロン、下流エプロン、下流護床工、ゲート周辺
土砂堆積量　：計画河床よりも高い・現況河床よりも高い
河床洗掘位置：護床工直下流・護床工全体・エプロン直下流

調査により河床低下や護床ブロックの流出が確認されている場合、**図-28.3-1** で示すエプロン下流側の洗掘過程に関する研究結果[*1]を参考に、現状の評価、将来的な変状の進行予測を行い、対策の要否判断や継続監視計画の立案について評価する必要がある。

[*1] 常住直人，高木強治，島崎昌彦，吉永育生：農業取水堰下流の河床変動状況と洪水時護床変形に関する実験的検討，河川技術論文集，20，301-306，2014

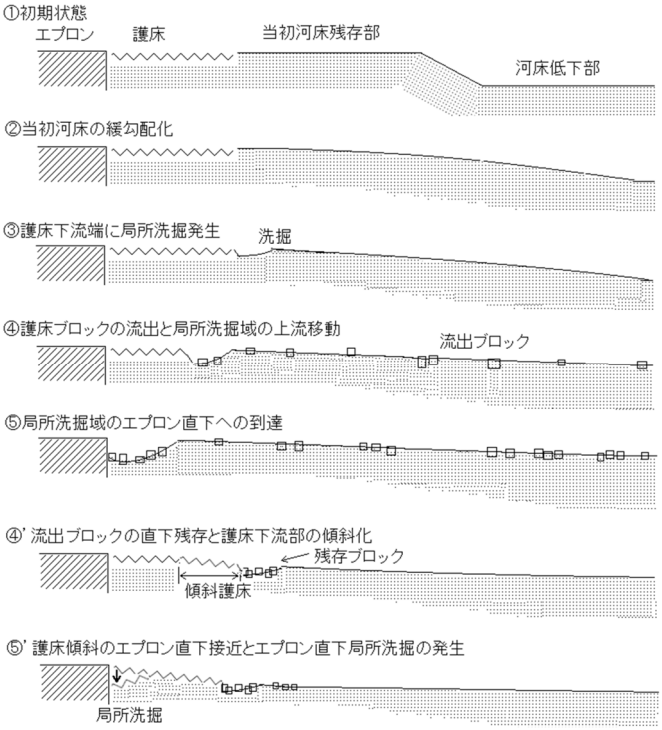

図-28.3-1 護床変形パターン模式図（①～⑤：局所洗掘進行型（大洪水時）、①～③④'⑤'、傾斜進行型（中小洪水時））

また、河床低下については、河床低下量の許容値は一概に設定できない。一方、河床低下による上下流水頭差の増大がエプロン下面のパイピング作用に影響を与えることから、「**11.1 パイピング**」で示すテルツァギー式や弾塑性有限要素法などによるパイピングに対する安全性の確認により評価する方法もある。

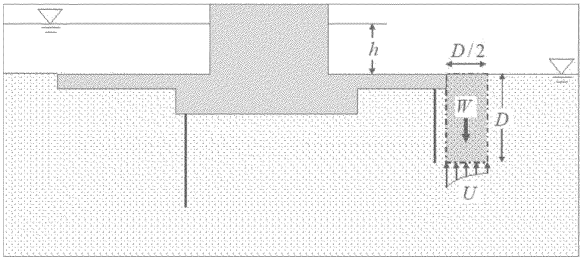

図-28.3-2 堰基礎地盤における Terzaghi の浸透土塊の概念図

28.4 補修・補強工法

28.4.1 補修・補強工法にかかる基本方針

対策工法の検討では、機能診断、劣化予測等の結果を踏まえ、水利用性能、水理性能、構造性能等における要求性能の確保の観点や、施工性の観点から妥当な対策工法を検討する。

頭首工の各構成要素における主な劣化と補修・補強工法について、**図-28.4-1** に示す。

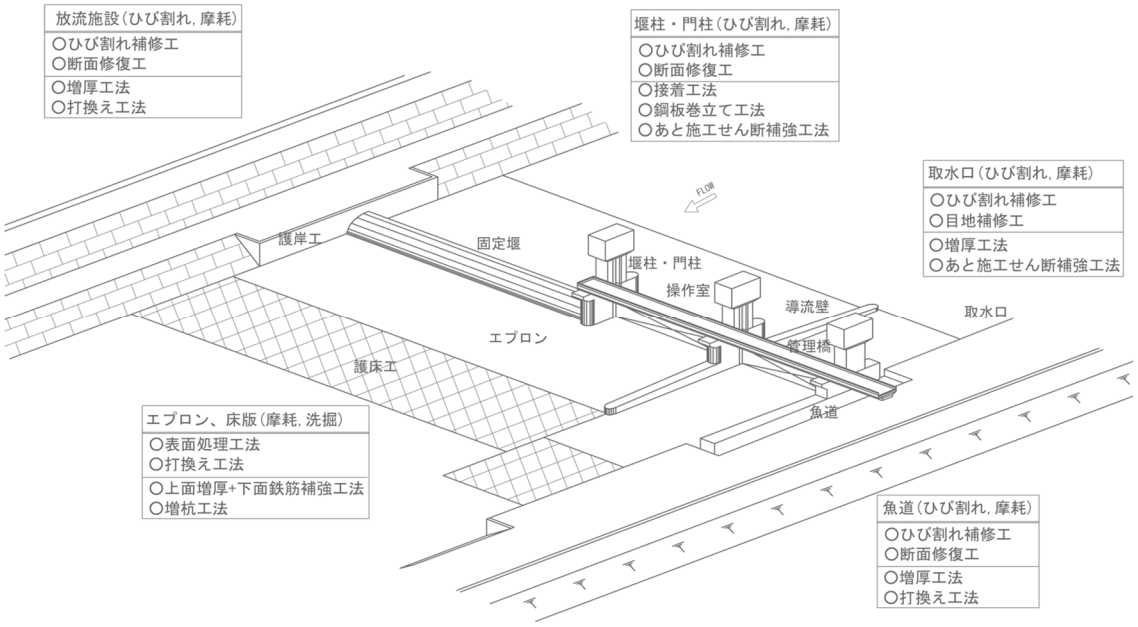

図-28.4-1　各構成要素の主な劣化と補修・補強工法

28.4.2　工法紹介・事例紹介

⑴　補修工法

頭首工の補修工法について、以下に補修工法例を示す。

表-28.4-1　補修工法の例

補修工法		工法	対象施設
表面処理工法	表面被覆工法	パネル工法	固定堰、エプロン、床版、堰柱（上下部）、導流壁（上下部）、魚道、取水口、放流施設等
		無機系被覆工法	
		有機系被覆工法	
		石張工法	
	表面含浸工法		
ひび割れ補修工法		被覆工法	魚道、取水口、放流施設、堰柱（上部）、導流壁（上部）等
		注入工法	
		充填工法	
断面修復工法		左官工法	魚道、取水口、放流施設、堰柱（上部）、導流壁（上部）等
		吹付け工法	
		充填工法	
打換え工法			堰体、エプロン、床版、堰柱（下部）、導流壁（下部）
目地補修工法		充填工法	取水口、放流施設、堰柱（上部）、導流壁（上部）等
		被覆工法	
		目地成型ゴム挿入工法	

表-28.4-2 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	高強度繊維補強コンクリート	弾性板工法	耐摩耗エポキシ系樹脂モルタル工法		
耐摩耗性	△	○	○	○	◎	○
耐衝撃性	△	○	◎	△	◎	○
施工性	◎	○	◎	○	△	△
経済性	◎	○	△	○	○	◎

※）◎：最適、○：適、△：現場条件を踏まえ可

⑵ 補強工法

頭首工の補強工法については、**27.10 耐震補強**に補強工法例を示す。

⑶ 堆砂に対する対策方法

土砂の堆積が発生する頭首工については､河川の湾曲する区間の堆砂領域に設置される事例や、計画河床高に合わせて施設計画を行うことで現況河床よりゲート敷高が低い位置となっている事例が多くみられる。

堆砂による不具合が生じた場合の対策方法としては、以下のものが挙げられる。

① 臨時的導水路の掘削…上流のミオ筋に向かって臨時の導水路を掘削する。

② 可動堰ゲート直下堆砂の部分的除去…応急対策としてゲート直下周辺のみの堆砂除去を行う。

③ 堰上下流堆砂域の河床掘削…河川改修計画に合わせて河床掘削を行う。

④ 仮設上げ越し構造物の設置…暫定的な上げ越し構造を設置する。

河床掘削については、限定的な範囲の河床掘削では、掘削と堆砂を繰り返すこととなり、根本的な解決には至らないことに留意する。

仮設上げ越し構造によって、効果が得られている事例があるが、堰柱の安定構造上の安全性の照査、洪水時の流況の照査などを確認するとともに河川管理者との協議が必要になるため、適用に当たっては留意する必要がある。

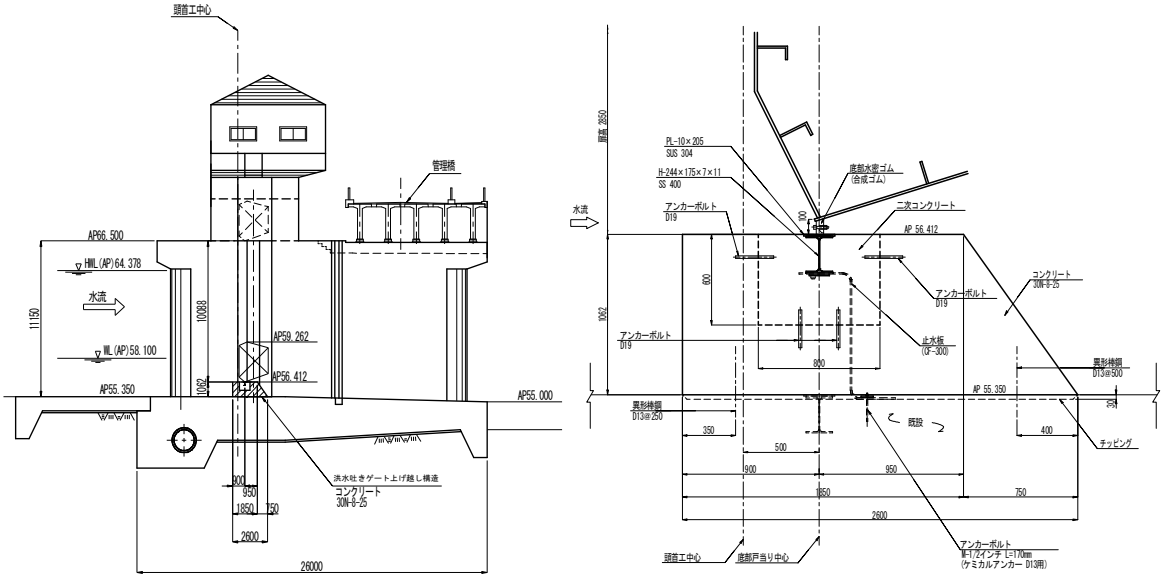

図-28.4-2　仮設上げ越し構造設置例

28.5　対策工法選定に当たっての留意事項

頭首工の機能保全対策は、河川流況や取水等により対策範囲や期間に制約を受けることが多いため、構成要素間の対策の施工性や仮設工事の範囲等を十分に考慮し、適切な対策工法の選定を行う。

機能診断調査・評価により対策の必要があると診断された施設・設備については、劣化の要因、程度を十分把握し、耐荷性等の構造機能、通水性等の水理機能、取水性等の水利用機能に応じた対策として適合し、採用可能な工法・材料を選定する。

既往の補修工事実績を踏まえた上で、頭首工に適用される補修工法の選定に当たっての主な留意点を以下に示す。

⑴　河川内構造物であることから、母材と同等以上の耐久性を発揮できる材料・工法を選定する。また、優れた付着性を有するものとする。

⑵　河川条件、河床勾配、立地条件等を適切に把握することが重要である。

⑶　流水部については、耐摩耗性に優れる材料・工法を選定する。

⑷　河川水と直接接することを踏まえ、施工中及び施工後ともに生態系などの河川環境に影響を与えないものとする。

⑸　頭首工の補修・補強は河川内工事となるため、エプロンや護床工など低位部の構成要素に対する対策では、水中施工となることも想定する。

⑹　耐摩耗対策工法では、はつり工事が施工性、経済性、工期、環境配慮等に大きく影響するため、工法検討の段階で十分検討する。

⑺　耐摩耗対策工法では、高強度コンクリート打設計画やパネルの配置計画などのほか、目地配置や目地構造にも留意した耐久性を有する構造とする。

⑻　石張工法は、耐摩耗性、耐衝撃性等に対する要求性能が高い場合に採用されるため、その固定方法についても十分留意する。

⑼　アルカリシリカ反応への対策では、劣化状態に応じた工法選定が重要であるとともに、対策後に再劣化する事例も見られるため、施工後のモニタリングも重要になる。なお、専門の学識経験者に相談のうえ、対策の決定を行うことが望ましい。

⑽ 管理橋を一般供用している場合の道路橋工事では、対策工事内容に加え、現場交通量などの条件を把握した上で関係機関との協議・調整を踏まえ検討する必要があることに留意する。

28.6 対策工法施工後のモニタリング

対策工法施工後のモニタリングは、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。

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、構成施設及び使用材料によって生じやすい変状に留意する。

⑴ 基本調査

基本調査は、対策工法の効果の発現性や持続性、施設の再劣化の進行性を把握することを目的とした定期的に実施する調査であり、目視、打音、簡易計測等を基本として実施する。

⑵ 詳細調査

対策後に顕著な変状や再劣化が認められた場合、変状の発生要因の究明や母材変状の進展状況等、再対策の要否を判断するための技術情報の収集を目的として実施する。また、近接目視による調査に加え、部材の品質の低下の度合いを詳細に確認することが必要な場合も詳細調査を行う。

⑶ モニタリング記録・管理

モニタリング結果は、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ことを目的に所定の記録様式に整理し管理する。

28.7 浸透破壊につながる変状発見時の対応

頭首工における深刻な被災形態の１つとしてパイピングによる浸透破壊がある。このため、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。併せて、漏水がパイピングによるものか、学識経験者等へ相談する。

パイピングが確認された場合は、速やかに施設管理者、利水関係者等と調整し、上流水位を低下させ、原因の把握や対策の検討に必要な調査を行う。また、可能な限りの取水量を確保するため、必要に応じてポンプの設置、代替水源の確保等の緊急対策を実施する。その後、被害拡大防止、取水量確保等の応急対策を実施するとともに、パイピングを再発させないよう、徹底した復旧対策を実施する必要がある。

なお、応急対策としては、流入口周辺を囲む矢板等の打設、堰体下の空洞充填等の被害拡大防止、土のう等による暫定的な堰上げによる必要取水位の確保、復旧対策としては、堰軸線方向に不透水層まで打設した止水矢板の設置、堰体（堰柱含む）及びエプロンの改築等が考えられる。

いずれにしても、漏水発生時の社会的影響を含め被害を最小限に抑えるために考えられる複数の対策について、あらかじめ検討を行っておくことが重要である。