コンクリート構造物補修分野
－コンクリート構造物に関する補修技術－

農研機構農村工学研究部門
浅野　勇

Ⅰ．はじめに

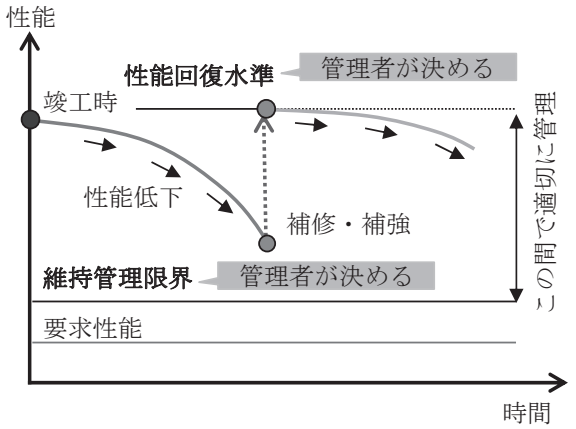
農業水利施設のストックマネジメントに関する技術図書は，維持管理計画全般にわたる基本理念をまとめた「農業水利施設の機能保全の手引き（以下手引きと呼ぶ）」[1)]と工種毎の補修･補強工法をまとめた「農業水利施設の補修･補強工事に関するマニュアル」に分類される。2020（令和２）年２月現在，農水省の HP には 10 工種の手引きと開水路，パイプライン，鋼矢板の３工種の補修・補強工事に関するマニュアルが掲載されている[2)]。これらの技術図書についてはその内容について今後見直しが検討されているが、本報では、現状でのコンクリート施設の補修を考える上での基本理念及び今後必要な技術開発の方向について述べる。

Ⅱ．補修と補強の定義

１．施設の性能管理

農業水利施設のストックマネジメントの基本は施設を性能管理することにある。ストックマネジメントの実務は計画論的な施設群のマネジメントと補修・補強対策（メンテナンス）に分かれる[3)]。ここでは，はじめに，補修・補強の考え方の基本となる性能管理の概念について述べる。

車は走行という機能を有する。機能は上位概念であり，たとえば走行機能は速度，乗り心地（加速度変化），燃費などの具体的な下位概念である性能により説明される。農業水利施設も車と同様に施設毎に異なる機能を有する。性能管理とは時間的に変化する施設の性能を適切な範囲に保ち管理する方法である（図－１）。図－１の縦軸は，通水性，構造安全性，使用性能などの農業水利施設の性能を統合した性能であ



図－１　性能管理の概念

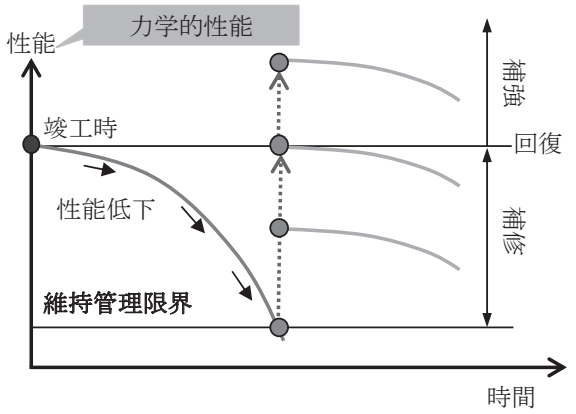


図 -2　RC 示方書の補修・補強の概念*

*文献 4）を参考に作成

る。図－１の縦軸の意味は施設を造成あるいは管理する組織毎に異なる場合もある（後ほど述べる）。図－１に横線で示した３つの水準，要求性能，維持管理限界，性能回復水準は管理上の目安である。これらの水準は，管理者すなわち人間が施設の目的と重要度に応じて決定する。要求性能は施設に求められる最低限の性能である。維持管理限界は維持管理上の性能下限値であり通常は要求性能より高めに設定される[4)]。性能回復水準は補修・補強対策後の性能目標レベルである。施設の機能，重要度，リスク，供用予定期間などを踏まえて管理者がこれらの管理水準を適切に定めることが重要である。

Ⅲ．補修・補強の定義

「農業水利施設の機能保全の手引き」[1)]と「土木学会のRC示方書（維持管理編）」[4)]では補修・補強の定義が異なるため注意が必要である。

①「機能保全の手引き」

補修：主に施設の耐久性を回復または向上させること

補強：主に施設の構造耐力を回復または向上させること

②「RC示方書（維持管理編）」

補修：第三者への影響の除去あるいは，外観や耐久性の向上を目的とした対策。ただし，供用開始時に構造物が保有していた程度まで，安全性あるいは，使用性のうち力学的な性能を回復させるための対策も含む

補強：供用開始時に構造物が保有していたよりも高い性能まで，安全性あるいは，使用性のうち力学的な性能を向上させるための対策

RC示方書の補修・補強の概念を図－２に示す。縦軸は構造物の力学的な性能を表す。力学的性能を供用開始時の性能レベルまで回復する場合を補修，供用開始時の性能レベルより向上させる場合を補強と定義する。供用開始時より高い力学的な性能が要求される場合とは，設計地震作用の改訂などにより施設が要求性能を満足しなくなり，耐震補強が必要な場合などが含まれる。一方，手引きにおける補修の定義は耐久性の回復または向上（図－１の性能曲線の傾きを小さくする対策）を主な目的とする。力学的な性能の向上を含まない点に注意が必要である。補強の定義は土木とほぼ同様であるが，施設の性能を供用開始時の性能レベルまで回復する行為も補強と定義される。すなわち，手引きで補強と定義される行為は土木分野では補修となる場合がある。したがって、今のところ、実務ではこの定義の違いに注意して，メンバー間で意思疎通する必要がある。

Ⅳ．補修に関する留意点

農業水利施設の補修・補強対策の現状を，医療で例えれば，つぎのようになる。「目の前に患者さんはいるが，患者さんの病気の原因および病気の程度ははっきりわからず，薬はあるがその効果は十分把握できていない，そして患者さんをどこまでの状態に戻せばよいかもわからない中で患者さんを治療しなければならない」。すなわち病名と治療法がはっきりしない中で患者さんを治療しなければならない場合が多い。今後の技術基準の改定や技術開発により，この状況は徐々に改善されると思われるが，当分の間は，個別施設の補修・補強はこのような手探りの状態の中で進めていくことになろう。このような現状を少しでも改善する留意点について，補修対策を中心に以下に述べる。なお，補修・補強の定義は「機能保全の手引き」に準じる。

１．初期性能の向上

新設時あるいは補修・補強対策後の供用開始時の施設の性能をできるだけ高く，ばらつきの少ないものにすることが施設の長寿命化に必要不可欠である。このためには，供用開始時の施設の性能を確保するための施工，養生，検査を組み合わせた品質確保システムの開発が今後重要である。

２．対象施設を良く観察

補修・補強の対象施設の諸元，変状，変状要因および保有性能は全て異なる。よって，施設の補修を行う際は，対象施設を良く観察することが重要になる。施設毎に変状要因と性能低下の程度を何回も検討･推定することが望ましい。これは，医療にたとえれば，患者さんの病名と病気の程度を十分把握してから治療することに相当する。病名とその程度がわからないと治療（補修・補強）を行うことは困難といえる。

さて，手引きの「補修」の定義に基づけば，補修が必要な施設は「力学的性能に関して健全性が大きく損なわれていない施設」となる。しかし，施設の保有性能を正確に把握することは技術的，コスト面で現状では困難な場合が多い。膨大なストックの中には保有性能が極めて低い施設も稀ではあるが存在することを認識し補修の実務を行うことが極めて重要になる。つまり，補修対象施設の中にも補強が必要な施設が混在する可能性は少なからずある。調査の課程でこのような事態が生じた場合は，補修から補強への方針転換が必要となるため，施設の保有性能を十分意識して実際のメンテナンスを進めるべきである。特に，施設の耐震性については保有性能以外にも施設の重要度とリスクという評価基準があるため，補修対策を実施する際も補修対策だけで本当に十分かという問いかけを常に行い実務を進めることが必要になる。

３．施設の全体を見て性能評価

補修・補強マニュアル（開水路編案）[5]などでは，主に材料の品質規格値のみが規定されており，補修後の施設の性能照査方法および補修対策の設計法に関する記載は少ない。医療に例えれば，薬単体の使用基準はあるが，それぞれの患者さんに対しての効き目については十分評価されておらず，薬を用いた治療方法についても体系化は進んでいないため試行錯誤的に治療が行われている状態といえる。

図－１に示した施設の性能管理は施設全体の性能を管理することが目的である。よって，補修対策後の施設の部材の耐久性がどの程度向上するかの予測とともに，施設全体の耐久性がどの程度向上するかを照査，確認，予測することが重要となる。すなわち，補修した部分のみに着目するのではく，施設全体を対象とした補修効果の評価を行うことが望ましい。

４．劣化部分の除去

補修を行う前に既存施設の劣化した部分（悪い部分）を十分除去してから補修を行うことが基本である。補修・補強マニュアル（開水路編案）[5]ではこのことはあまり明確に記述されていない。これは，補修の対象となる施設はそもそも構造性能の低下が小さく旧く体部分の劣化の程度も小さいという前提にたち各種工法が紹介されているためと推察する。すなわち，補修部分の劣化因子遮断効果が持続されれば（材料・工法の耐用期間），施設全体の時間的な耐久性の低下は小さいとの仮定があるのだろう。このような考えは，摩耗劣化や中性化などに対しては妥当と思われるが，コンクリート構造物の比較的広い範囲にかつ深部まで劣化が及ぶ可能性がある ASR，凍害等では劣化部分を十分除去しないと補修後の再劣化の原因となる。つまり，ASR，凍害等の劣化では劣化部分の除去が極めて重要になる。しかし，現状ではこれらの劣化範囲の分布，すなわち悪い部分がどの程度まで分布しているか判断が難しく，このことが ASR と凍害の工法選択を困難にしている。

５．補修工法の選定

補修工法の選定とは，対象施設に応じた工法を選定し施工方法を決定することである。医療に例えれば，病状の薬を選定し治療方針を決定するに相当する。

前に述べたように現状では劣化要因，要因に対する補修工法そして補修効果を正確に決定することは難しい。そのため，補修工法の選定については，しばらくは仮説検証的な試みが必要

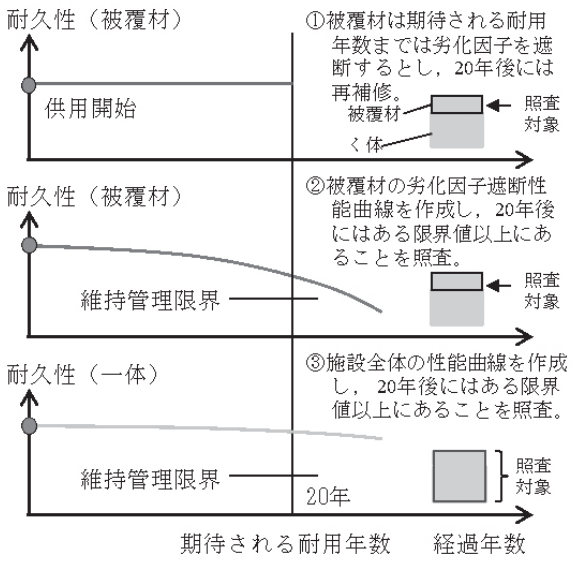


図 -3　被覆工の性能評価（補修効果）の考え方

となろう。すなわち，ある仮説（計画）に基づき補修を実施し，その結果を検証しながら，標準的な補修工法（標準治療）を確立していくことになると考える。これは，むやみやたらに薬を投薬するのでなく，その効果を検証しながら治療することに相当する。そのためには組織的な仮説検証作業が必要である。補修工事の施工および結果をデータベースに整備しながら，継続的なモニタリングを行い，標準工法を確立する必要がある。また，各機関で実施されているような数十社単位の一斉工法試験も有効である。最後に，補修対策では，補修を先延ばし継続監視することも時には有効である。すなわち，投薬せずに様子を見るという対策である。

6．補修設計

補修対策により施設の耐久性が期待耐用年数の間に保持されているかを照査し，対策を具体化する作業が補修設計である。現状の開水路の補修を例にとれば，材料・工法に期待される耐用年数を概ね 20 年と設定し，室内試験等によりそれらが品質規格値を満足すれば使用する[6)]。つまり使用可能な材料と工法は提示されているが，具体的な工法の中味，被覆工の被覆厚や各要求性能を現場の環境作用に対応させてどのように決めるかは標準化されていない。将来的にはこのような品質規格値に基づく方法を補修後の性能照査に置き換える方向に設計法が進化することが望ましい。

図－３は無機系表面被覆工の対策実施後の性能評価（補修効果）の考え方を示したものである[7)]。現状の補修・補強マニュアル（開水路編案）の考え方は，図－３の①に近く被覆工のみに着目し 20 年間性能を保持するような材料を使用する。この方法は明確であるが，20 年後に本当に再補修を実施するのか，再補修の判断をどのように行うのかが問題として残る。①の改良版が②である。被覆材は性能低下すると考え限界値を設ける。このようにすれば，20 年後の再補修が必要な際の判断も明確になる。③は理想的な性能評価であるがまだハードルは高い。なお，図－３は中性化や塩害などの劣化因子の遮断に対する補修を前提し，ASR や凍害などについては適切とはいえず，図－３とは別の耐久性の照査の考え方が必要と考える。

引用文献

1）農林水産省：農業水利施設の長寿命化のための手引き（2015）
2）農林水産省（参照 2020. 2. 1）：農業水利施設のストックマネジメント，入手先，<https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/index.html>
3）宮川豊章：「コンクリート構造物の耐久性を巡る課題と今後の方向」，JSCE REPORT，10，pp.15-23（2009）
4）土木学会：2018 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】（2018）
5）浅野勇，森充広，川上昭彦，川邉翔平：農業水利施設の品質確保と耐久性設計，水土の知，83（10），pp815-818（2016）
6）農林水産省：農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】（案）（2015）
7）北海道土木技術コンクリート研究委員会：北海道におけるコンクリート構造物維持管理の手引き（案）（2006）