【CO44】

樋管函体の貫通クラックから析出する錆汁とその発生要因について

川崎地質株式会社　　○奥山　貴未，佐々木　政和

1. はじめに

河川管理施設はその多くが高度経済成長期以降集中的に建設され，今後 20 年で加速度的に寿命を迎える施設の割合が増加するといわれている．現在は維持管理の重要性が唱えられており，予防保全段階で補修することで可能な限り施設の供用年数を伸ばすとともに，限られた予算を平準化して計画的な更新を行う必要がある．

予防保全段階で効果的な補修を行うためには，発生した変状を診断する必要があり，限られた情報で正確に診断する技術が求められる．なかでも膨大なストックを抱える樋門樋管の診断を助けるべく，東北地方整備局では管内の実績を基に，点検・診断や補修に関する実施要領[1)]，手引き（案）[2)]をまとめ，目視点検で得られる情報をもとに点検・診断・評価し，補修設計するまでの技術指針を体系的に整理されている．

一方，既設構造物であるが故に型にはまらない変状も発生する．本報告では，樋管の函体に発生した貫通クラックから発生した錆汁の発生原因を調査し，その劣化原因に対応した補修設計を実施した事例を報告する．

2. 対象樋管の概要

調査対象の樋管は，函体の内空断面1.5m×1.5m の RC ボックス構造で，1978年竣工であるが，平成10年頃に川表側に函体を継足し，ゲートを前出しする改築が行われている．目視点検により函体中央部に漏水を伴う貫通クラックが複数確認され，大量の錆汁を伴う析出物が確認された（図-1）．

図-1 目視点検時状況写真

既往の資料を収集したところ，平成10年度の補修設計報告書では，漏水を伴うクラックは確認していたが，構造物への影響は少ないと判断されていた．当時の写真を見る限り，析出物はなく，漏水はあくまで清水であった(図-2)．また，改築・補修後の状況としては，平成30年度，令和2年度に樋管直上を除いて，川裏側に拡幅盛土が実施されている状況である．

図-2 平成10年頃のクラックと漏水状況

3. 調査結果

(1) 目視点検

樋管詳細点検は目視点検を原則として劣化を確認し，診断した上で補修設計に反映する．東北地整では7段階の健全度評価が設けられており，C1以上は補修するという管理水準を設定している（表-1）．本施設では函体内のクラックから錆汁を伴う析出物が大量に析出しており，目視による健全度評価では判定のランクアップを考慮してC4となった．もし内部鉄筋が腐食して構造耐力への影響が懸念されるような場合はＤとなるような状況である．

表-1 健全度評価及び対策内容[1)]

健全度		対策区分	対策内容
A	変状・劣化が無く健全である	－	－
B	軽微な変状が発生している	経過観察	軽微な変状が発生しているが、進行する可能性が低いため日常巡視等で観察する。
C1	変状が進行しているが機能低下まで至らない	補修	樋門樋管の変状・劣化に対して予防保全措置を実施する。必要に応じて応急対策を実施する。
C2	機能低下へと進行する恐れがある	補修	樋門樋管の変状・劣化に対して予防保全措置を実施する。必要に応じて応急対策を実施する。
C3	機能低下が生じる懸念がある	補修	樋門樋管の変状・劣化に対して予防保全措置を実施する。必要に応じて応急対策を実施する。
C4	今後、劣化や変状の進行により機能損失の恐れがある	補修	樋門樋管の変状・劣化に対して予防保全措置を実施する。必要に応じて応急対策を実施する。
D	各部材が本来の機能を失っている	更新	補修で対応できない変状がある場合、または破壊している場合に、既設を撤去して新設する。必要に応じて応急対策を実施する。

管理水準

(2) 詳細調査

クラックからの漏水および錆汁によって懸念される項目としては，①堤体土砂の流出による堤防の空洞化，②鉄筋の腐食による断面欠損や破断，等が挙げられ，治水安全性並びにコンクリート構造物としての信頼性が損なわれる恐れがある．そこで背面空洞化の確認，クラックおよび鉄筋腐食状態の確認のため，地中レーダ探査並びにはつり調査を提案して実施した．

地中レーダ探査の結果，樋管函体内，堤防天端で空洞化の可能性がある異常信号は確認されなかったため，空洞化の発生はないと判断した．

はつり調査では，図-3のようにクラックに沿って細砂のような黒色の充填物が確認された．常時漏水も確認され，直接確認はできないものの，クラックは背面側まで貫通していると考えられる．鉄筋は腐食が進行していることが想定されていたが，はつり調査で確認した鉄筋の

状態は，破断や断面欠損は見られず，点錆程度と比較的健全なものであった．

図-3　はつり調査によるクラック部の状態確認

（クラックに黒色の充填物があり，鋼材の腐食程度は軽微）

4. 錆汁の発生要因特定

詳細調査から，発生している錆汁は鉄筋腐食が直接的な原因である可能性は低いことが明らかになったため，大量の錆汁および析出物の発生原因について別のアプローチから分析した．

採取した析出物を顕微鏡で観察したところ，大量の鉄酸化細菌（鉄バクテリア）が生育していることが明らかになった(図-4)．鉄酸化細菌とは，二価鉄を三価鉄に酸化し，体内に沈積させる細菌の総称である．細菌はその時発生するエネルギーを利用して育成する[3)]．今回確認されたシデロコッカス（Siderococcus）は，地下水や湖沼の底泥に分布し，底泥表面に黄赤色の層をなして大量に繁殖し，管内や導水路の壁面に繁殖して赤水や鉄錆状のもろい沈殿物を作る性質がある．

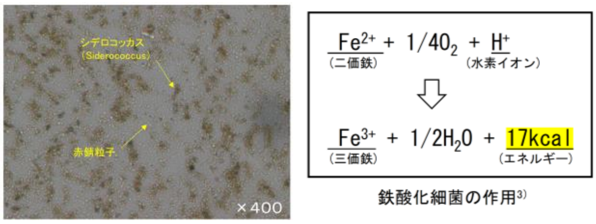

図-4　錆汁の顕微鏡写真（×400）と鉄酸化細菌の作用

錆汁は二価鉄（溶解性）を含んだ地下水がクラックから漏出し，空気に当たって酸化されて赤褐色の沈殿物を生成したものと考えられる．函体内の内部鉄筋の腐食グレードが低かったのは，鉄酸化細菌が鉄筋（Fe）を酸化するよりも，地下水に含まれる鉄イオン（Fe2+）を酸化させる（錆びさせる）方が効率的であったこと，クラック内部の充填物が黒色を呈していたことも，おそらく鉄酸化細菌の爆発的な繁殖により，クラック内部が還元的な環境になっており，鉄筋の腐食が抑制されていた可能性が考えられる（図-5）．

補修設計としては，鋼材の状態は悪くないものの，放置して環境の変化等によって腐食が進行する恐れもあることから，貫通クラックを補修する設計を実施した．漏水を伴うため手引き（案）[2)]に準拠して高圧注入工法（A）を採用し，補修設計を実施した．

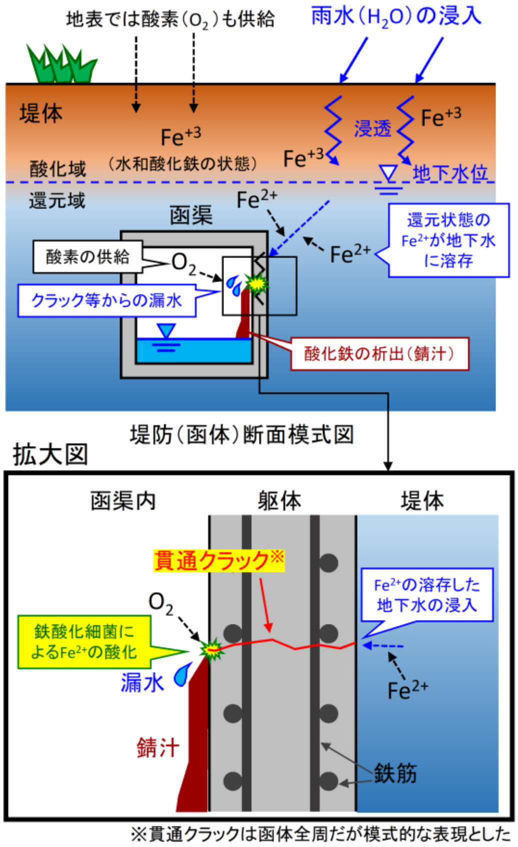

図-5　錆汁発生メカニズム

5. まとめ

本報告は，目視点検時に確認した多量の錆汁発生要因について，詳細な調査を行い発生要因の分析を行った事例である．錆汁はクラックから出る漏水に含まれていた鉄酸化細菌の爆発的な繁殖により発生したものであり，鉄筋等構造物への影響は軽微であった例である．

今回，基準書や論文等を確認したが，鉄筋コンクリート構造物の錆汁と鉄酸化細菌の関与を直接的に示す文献等は確認できなかった．本報告が診断の一助になれば幸いである．

《引用・参考文献》

1) 東北地方整備局河川部河川管理課（2016.3）：樋門樋管点検・診断・評価の実施要領（案），p.5-1.

2) 東北地方整備局河川部河川管理課東北技術事務所（2020.3）：樋門鉄筋コンクリート構造物補修の手引き(案)「ひび割れ補修編」試行版，p.3-4.

3) 国立研究開発法人土木研究所防災地質チーム(2019)：酸性水の自然自律型排水処理方法に関する研究，土木研究所成果報告書，No.9-3.