

## 事例 1

### ASR 及び塩害により劣化した新川河口排水機場 コンクリート構造物の補修について ～国営かんがい排水事業「新川流域地区」～

瀬田 文治  
小島 幸三  
垣内 誠豪  
渡辺 孝志

北陸農政局新川流域農業水利事業所

#### 1. はじめに

国営かんがい排水事業新川流域地区は、新潟平野のほぼ中央に位置し、弥彦山、角田山とそれに連なる新潟砂丘を隔てて日本海に接し、一級河川信濃川とその支流中ノ口川及び大河津分水路等に囲まれた農地面積 19,800ha の地域で、海拔 0m 以下の土地が約 2 割を占めた低平な水田地帯が広がる全国でも有数の優良農業地帯である。

本技術レポートでは、アルカリシリカ反応（以下「ASR」という。）と塩害との複合劣化が進行している新川河口排水機場のコンクリート構造物の劣化状況、補修工法について紹介する。



図-1 事業位置

なお、鉄筋が著しく腐食又は破断しているなど、想定していた以上に劣化が著しい吐出工部については、現在、劣化原因の究明並びに対策工法を検討しているため、次の機会に紹介したい。

#### 2. 新川河口排水機場の概要

新川河口排水機場は供用開始後 40 年程経過しており、河口から僅か 300m 上流に位置する地理的条件から、ポンプ施設については塩害による腐食が著しく、コンクリート構造物についても経年変化による劣化が著しいなど、維持管理費の増加等により施設機能の維持が困難な状況となっている。

このため、機械施設については平成 19 年度からポンプ、電動機、ゲート等の更新を行っており、コンクリート構造物についても、ポンプ類の更新と併せて順次、補修・補強を行う計画としている。現在は、平成 20 年度に契約した「新川河口排水機場建設工事」により、6 号機導水路部に係るコンクリート構造物の補修・補強を行っているところである。



写真-1 新川河口排水機場

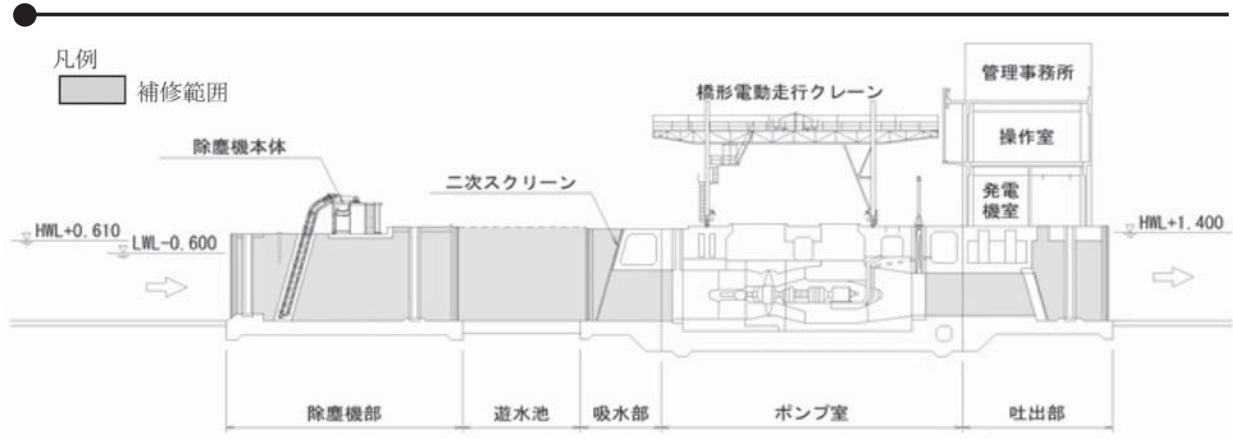


図-2 新川河口排水機場コンクリート躯体 縦断面図

### 3. コンクリート構造物の劣化状況

6号機導水路部に係るコンクリート構造物のうち、除塵機部及び吸水工部の機能診断調査結果を以下に示す。

#### (1) 目視調査及びコア観察

目視調査において、壁面に細かいひび割れや開口ひび割れが多く見られ、気中部表面のひび割れは白色析出物により閉塞されている（写真-2）。また、隔壁天端部には開口したひび割れが縦断方向に見られ（写真-3）、採取コアを観察したところ、上部のひび割れが下部まで延びており、壁面と平行したひび割れが発生していることが確認された（図-3）。

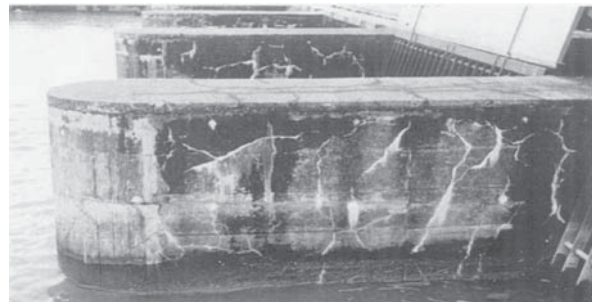


写真-2 隔壁表面のひび割れ

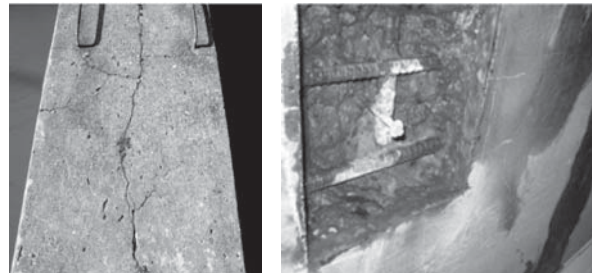


写真-3 隔壁天端のひび割れ



写真-4 鉄筋の状況

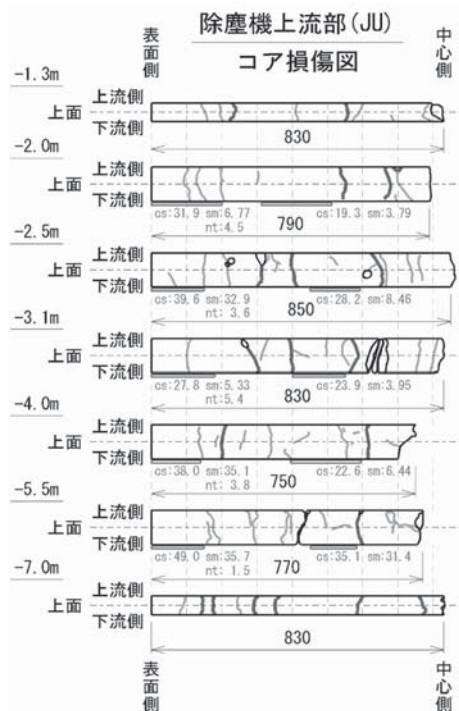


図-3 深度方向別コアによる損傷図

#### (2) はつり試験

はつり試験の結果、鉄筋は錆が浮いている程度でほぼ健全な状態であることが確認された（写真-4）。なお、はつり作業においては、コンクリートが密実なため作業が非常に困難であった。

#### (3) 圧縮強度試験

一軸圧縮強度は気中部で 17.7 ~ 48N/mm<sup>2</sup> で、18 試験体のうち設計強度 (20.6N/mm<sup>2</sup>) を下回るものは 5 試験体あり、水中部では 20 試験体で、設計強度を下回るものはなく、強度は 22.6 ~ 52.1N/mm<sup>2</sup> であった。いずれも設計基準強度の 80% を満足しており、構造的には問題ないと判断された。

(4) 静弾性係数試験

静弾性係数は、気中部で 3.95 ~ 33.4kN/mm<sup>2</sup> であり、18 試験体のうち標準値以下が 9 試験体、水中部では 6.44 ~ 35.7kN/mm<sup>2</sup> で、20 試験体のうち標準値以下が 1 試験体であった。

(5) 中性化試験

採取したコアを用いた中性化試験の結果は、コンクリートの表面から最大でも 11mm 程度であり鉄筋のかぶり厚が 100mm 確保されていることから、鉄筋への影響はないと判断された。

(6) 塩分濃度試験

塵機部及び吸水工部の水中部の隔壁からコアを各々 2 本採取してコンクリート表面からの深度別塩化物イオン量を測定した。

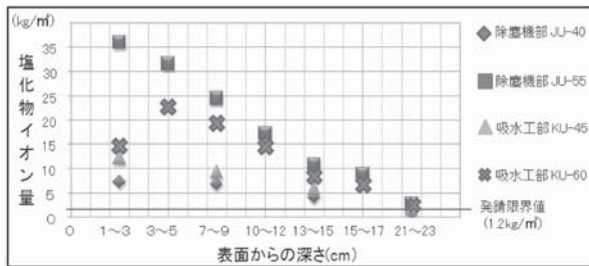


図-4 塩化物イオン量の分布

塩化物イオン量は 36.0kg/m<sup>3</sup> ~ 1.65kg/m<sup>3</sup> であり、表面より深くなるにつれ塩化物イオン量は下がっていく傾向にあることが確認されたが、濃度は非常に高くコンクリート標準示方書に示される鋼材腐食の発錆限界濃度 1.2kg/m<sup>3</sup> を大幅に超えていることが確認された (図-4)。

(7) ASR 膨張試験

残存膨張量試験 (カナダ法) の結果、隔壁表面、底版表面及び底版中心部において、残存膨張量が有害判定域値 (0.1%) を上回っており、有害と無害の骨材が含まれていると判定された。なお、底版部は鉄筋の間隔が狭く正規のコア (φ 100mm × L = 250mm) を採取することができなかったため、φ 31mm のコアで試験を実施した。

(8) SEM-EDS 試験

走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察による析出物の形態は、4 試料のうち JU-55, JB-1, KU-45 の 3 試料では ASR 反応生成物の典型例の「アルカリ-カルシウム-シリカ型」と酷似しており、エネルギー分散型 X 線装置 (EDS) の元素分析による析出物の組成においても同じ型に類似していることが確認された (表-1)。

表-1 エネルギー分散型 X 線分析結果

試料名	定量結果 (%) 及び成分名				
	二酸化けい素	酸化ナトリウム	酸化カリウム	酸化カルシウム	
	(SiO <sub>2</sub> )	(Na <sub>2</sub> O)	(K <sub>2</sub> O)	(CaO)	
JU - 55 (除塵機部上流)	65.1	7.3	6.7	19.5	
JB - 1 (除塵機部下流)	65.5	7.5	9.7	14.7	
KU - 45 (吸水部上流)	65.2	9.5	6.0	19.3	
KB - 1 (吸水部底版)	4.1	-	-	48.5	
反応生成物の典型例	アルカリ-シリカ型	60 ~ 90	5 ~ 30	5 ~ 30	5 以下
	アルカリ-カルシウム-シリカ型	35 ~ 75	3 ~ 15	3 ~ 15	10 ~ 55

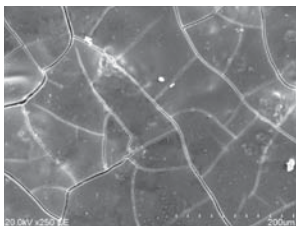


写真-5 SEM 観察結果 JU-55 (250倍)

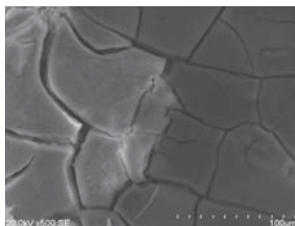


写真-6 SEM 観察結果 JB-1 (500倍)

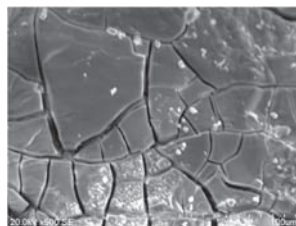


写真-7 SEM 観察結果 KU-45 (500倍)

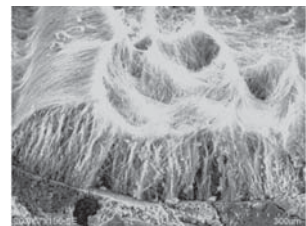


写真-8 SEM 観察結果 KB-1 (150倍)



#### 4. 補修工法

##### (1) コンクリート構造物の劣化度評価

当該排水機場のコンクリート構造物は、機能診断調査結果により壁面に微細又は開口ひび割れが多く見られ、コアの観察からは壁面と平行したひび割れが発生しており、また、躯体内には有害と判定される骨材が含まれ、さらに、鋼材腐食発錆限界濃度以上の塩化物イオンが浸入していること等が確認された。

これらの結果を踏まえ、コンクリート構造物の劣化機構は ASR 及び塩害とし、劣化の進行過程は、ASR については部材表面から 200mm までを加速期～劣化期、それ以深を潜伏期として、塩害については進展期と評価した。

##### (2) コンクリート構造物の要求性能及び対策工法

コンクリート構造物の要求性能は劣化因子の遮断とし、対策工法は表面被覆、ひび割れ補修を選定した。なお、対策工法等の選定にあたっては、「コンクリート診断技術 '08 [基礎編]」を参考にした。詳細は、表-2 のとおりである。

##### (3) 補修計画

コンクリート構造物の補修は、図-5 に示すとおりコンクリート劣化部分（部材表面～200mm）のうち、部材表面から連なるひび割れが顕著

で部材の一体性が損なわれている範囲（表面～50mm）をウォータージェットにより除去し、また、50mm～200mm の範囲については劣化因子の遮断と構造物の剛性の回復を目的としたひび割れ注入を行いコンクリートの一体化を図り、その後、表面に遮水性、遮塩性に優れた耐久性の高い埋設型枠を設置し、背面に無収縮モルタルを充填する表面被覆工を計画した（図-6）。

なお、表面被覆工の材料としては、浸透性吸水防止材、厚膜塗料、塗膜防水材、成型品（パネル

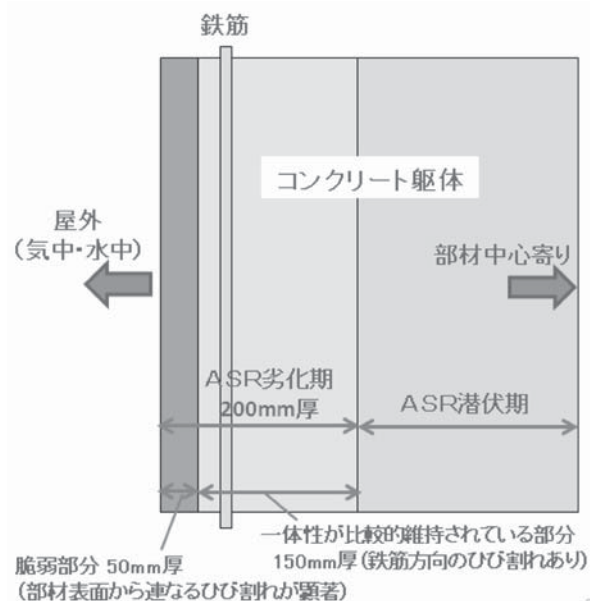


図-5 ASR 劣化期部材の細区分図

表-2 対策工法の検討

要求性能	対策工の種類	塩害	アル骨	当該施設の状況と工法選定の根拠	判定
劣化因子の遮断	表面被覆	△	◎	劣化因子の進入により塩害、ASR による劣化が進展する可能性があるため、劣化因子を次の更新時期まで侵入させない遮水性、非透過性、耐久性の有る材料で表面を被覆する必要がある。	○採用
	ひび割れ補修	△	◎	表面からのひび割れ、鉄筋背面の壁面に平行したひび割れがあり、劣化因子の侵入の可能性があることから、開口しているひび割れに対して注入を行う。	○採用
劣化速度の抑制	電気防食	◎	-	ASR 劣化を促進させる可能性がある。	×不採用
劣化因子の除去	電気化学的脱塩	○	-	ASR 劣化を促進させる可能性がある。	×不採用
	断面修復	○	○	限界値を超えた塩化物イオンは、鉄筋内部にまで浸透しており除去は不可能。ASR によるひび割れはコンクリートが密実であることから開口しておらず、構造物として一体化している。	×不採用
	含浸材塗布	-	◎	気中に接する表面部がない。	×不採用
耐荷力、変形性能の改善	補強	-	◎	ASR によるひび割れはコンクリートが密実であることから開口しておらず、構造物として一体化している。	×不採用
	打換え	-	○	必要なし	×不採用

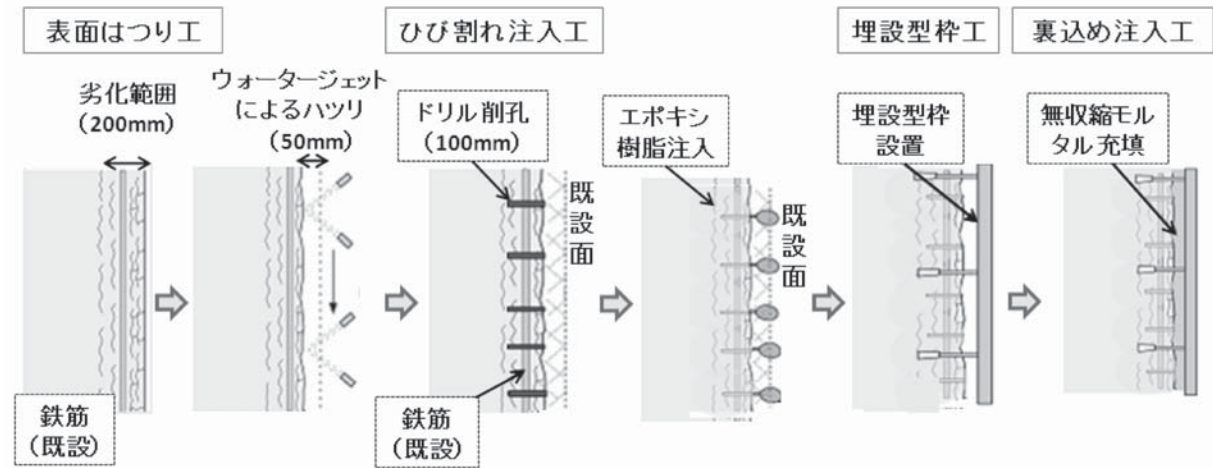


図-6 補修計画イメージ図



写真-9 ウォータージェットによるハツリ面

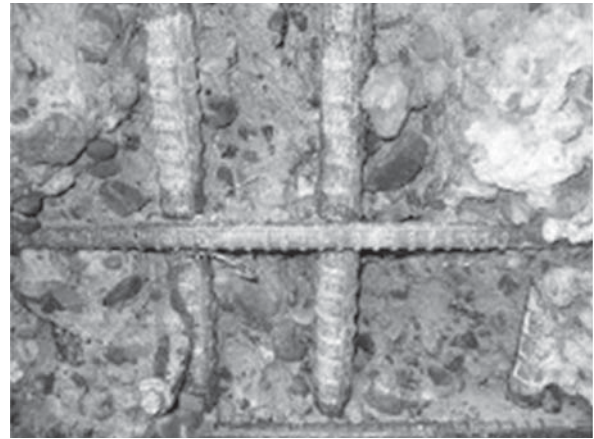


写真-10 ウォータージェットによるハツリ面（鉄筋露出）

被覆、防食型枠）等があり、構造物の種類、目的、環境などに応じて使用されている。当該コンクリート構造物の補修において使用可能と思われる薄板パネル工法やポリマーセメントモルタルで断面を修復する薄板シート工法についても比較検討したが、薄型パネル工法は既設コンクリートとの接着性等から埋設型枠より劣ると判断され、また、高靱性モルタル吹付けについては、再劣化が生じる事例が確認されていることもあり、施工性及び耐久性等から埋設型枠（超高強度繊維補強コンクリート： $t = 20\text{mm}$ ）を採用することとした。

また、埋設型枠工法は、コンクリート内部に残存する膨張力に対して抵抗する強度を有しており、目地部で応力解放できる構造であることから当該機場のコンクリート構造物においては最も適していると判断したところである。

#### (4) 補修時の対応

##### 1) ウォータージェットによる表面はつり

本施工に先立ち、はつり試験を実施したところ、はつり面は骨材とモルタルが十分に密着した密実なコンクリートであり、骨材により凹凸で平坦性が保てない状態となった(写真-9)。さらに、設計はつり深さを確保するため、水圧を上げて再度のはつりを行ったところ著しく鉄筋が露出(写真-10)する状態となり、露出した鉄筋に防錆処理を施しても既存コンクリート部分と補修部分において腐食電池回路(マクロセル)が形成され、補修部近傍で鉄筋腐食が促進されることにより補修後早期に劣化が生じることが懸念された。

このため、はつり深さは部材表面にみられる脆弱部の除去並びに、部材と埋設型枠の定着を高める観点から30mm程度に変更した。この結果、

劣化が著しい箇所はウォータージェットの水圧により鉄筋の近傍まで一気に剥がれ落ちる部分もみられたが、概ね鉄筋が露出することはなかった。

なお、はつり深さが浅くなることにより、既設のコンクリート面より前面に出た位置で埋設型枠を設置することになるため、補修後の断面寸法が変わることによる水理上の変化について確認したところ、粗度係数が向上することから排水機場の運転管理に支障が生じない結果となった。

## 2) ひび割れ注入

はつり後において表面から 100mm 削孔し、低粘性度型の注入材による低圧低速注入方式によるひび割れ注入を実施したが、注入材が十分に充填されない状況であった。また、はつり前において表面にみられる 0.4mm 以上のひび割れを対象に注入を試みたが同様な状況であった。

このため、各部位の壁面（気中部、飛沫・干満帯部、水中部）で事前にひび割れ注入試験を実施し、充填が不可能な場合は施工を取りやめることとした。

なお、注入材が充填できない理由としては、表面からのひび割れは鉄筋前で閉塞しており鉄筋まで達していないこと、鉄筋背面のひび割れも壁内で閉塞していること、削孔による粉塵でひび割れが閉じてしまうこと等が考えられる。

## 7. おわりに

本技術レポートでは、河口付近に位置し、供用開始後 40 年程経過した排水機場コンクリート構造物が、ASR と塩害との複合により劣化した状況と補修工法について紹介した。しかし、機能診断調査において、隔壁と底版コンクリートの劣化に相違が見られることや、躯体内に発錆限界濃度以上の塩化物イオンが浸入しているにもかかわらず鋼材が腐食していない等、劣化メカニズムが全て解明されたとは言えない状況である。

また、コンクリート構造物の補修は多種多様な工法が開発されており、これらの工法における耐久性、施工性、経済性等の定性的な評価や構造物の要求性能をどの程度満たすのか等について判定することは非常に難しいと感じたところである。

今後は、農業水利分野におけるコンクリート構造物の要求性能に応じた補修技術の評価方法、選定方法等が確立されていくことが重要であると考えている。おわりに、今後、同様なコンクリート構造物の補修に本技術レポートがいささかでも貢献できれば幸いと考えている。また、コンクリート構造物の機能診断調査等に多大な協力をいただいた独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構、社団法人農業土木事業協会、株式会社大林組、日本工営株式会社に謝意を表すとともに、現地指導を賜った長岡技術科学大学の丸山先生並びに新潟大学の佐伯先生に感謝申し上げます。

(編集者：注)

### 1) アルカリシリカ反応

アルカリシリカ反応 (ASR)

コンクリートに含まれるアルカリ性の水溶液が骨材（砂利や砂）の特定成分と反応して、異常膨張し、それに伴って方向性のないひび割れやそこからの白色のゲル状物質（アルカリシリカゲル）の滲出などを引き起こし、強度低下や弾性低下を生じる現象をアルカリ骨材反応といい、これには、①アルカリシリカ反応 (ASR)、②アルカリ炭酸塩反応、③アルカリシリケート反応の三つがあるが、日本でもっとも多く発生しているのが ASR で、アルカリイオン・水酸基イオンと骨材中に含まれる準安定なシリカとの間に生じる化学反応である。

### 2) 塩害

コンクリートの塩害

通常、鋼材とコンクリートとの界面には不動態皮膜が形成され錆が生じにくくなっているが、コンクリート中に浸入した塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ ) によって鉄筋が腐食し、その錆による体積変化に伴う体積膨張圧で表面のコンクリートにひび割れ、剥落がおり、部材体力に問題を生じさせる現象を総称したもの。