

海水環境にある排水機場の劣化調査と リニューアル工事

瀬田文治¹・垣内誠豪²・渡辺孝志³・
上垣義明⁴・新村亮⁴・家門邦彦⁵・渡辺雄一⁶

¹農林水産省 北陸農政局 土地改良技術事務所（〒921-8507 石川県金沢市新神田四丁目3-10）

²農林水産省 北陸農政局 庄川左岸農地防災事業所（〒939-1386 富山県砺波市幸町8-20）

³農林水産省 東北農政局 整備部（〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町三丁目3-1）

⁴正会員 工修 株式会社大林組 本社 基盤技術部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）

⁵正会員 工修 株式会社大林組 北陸支店 土木工事部（〒950-8528 新潟市中央区東大通2-3-28）

⁶正会員 株式会社大林組 北陸支店 土木工事部（〒950-8528 新潟市中央区東大通2-3-28）

新潟県を流れる二級河川新川の河口に位置する新川河口排水機場は、供用開始から約40年が経過しており、躯体コンクリートには、アルカリ骨材反応および塩害が原因と考えられる劣化が発生している。コンクリートの一部に損傷が生じていることから、排水ポンプの全面改修に併せて、躯体コンクリートのリニューアル工事を同時に進めている。

本報告では、コンクリートの劣化調査および診断結果、これに基づいて劣化レベル毎に実施した断面修復方法の検討結果を示す。また、施工時の状況や、品質および施工効率の向上の取組みについて報告する。

キーワード：リニューアル, アルカリ骨材反応, 塩害, ウォータージェット, 埋設型枠

1. はじめに

新潟平野の中央に位置する西蒲原地区は、一級河川信濃川とその支流中ノ口川および大河津分水路に囲まれた農地面積約19,800haの地区で、新潟県内でも有数の優良農業地帯である。この地区の約2割は海拔0m以下の低平な水田地帯で、その地形条件の制約から排水を自然に流すことが不可能なため、内水排除の多くを排水機に依存している状況である。



写真-1 新川河口排水機場全景

写真-1に示す新川河口排水機場は、河口から約200m上流に位置する排水機場(所在地：新潟市西区)で、昭和45年の供用開始から約40年が経過している。本排水機場の躯体コンクリートには、表面に多数のひび割れが発生し、白色のゲルが析出しており(写真-2)、鉄筋の腐食も確認された。そこで、排水ポンプ設備の老朽化による全面改修に併せて、躯体コンクリートの耐久性確保のための補修工事を実施することとした¹⁾。



写真-2 躯体コンクリートの現況

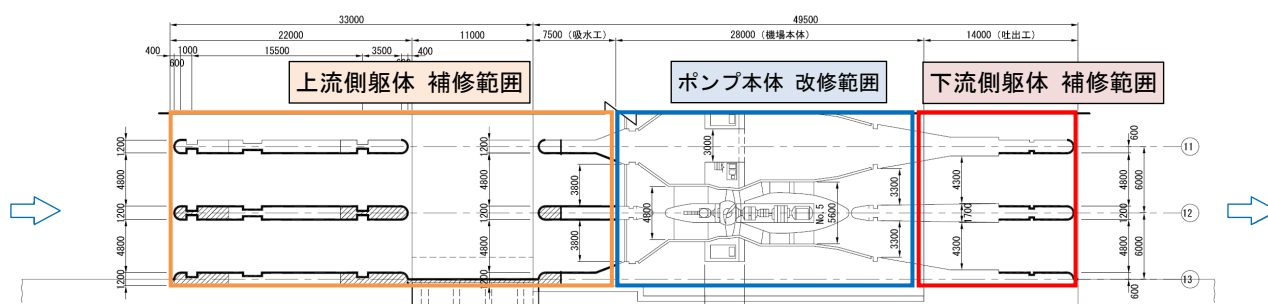


図-1 排水機場 工事平面図(一期分)



写真-3 仮締切り設置状況(上下流中央部)

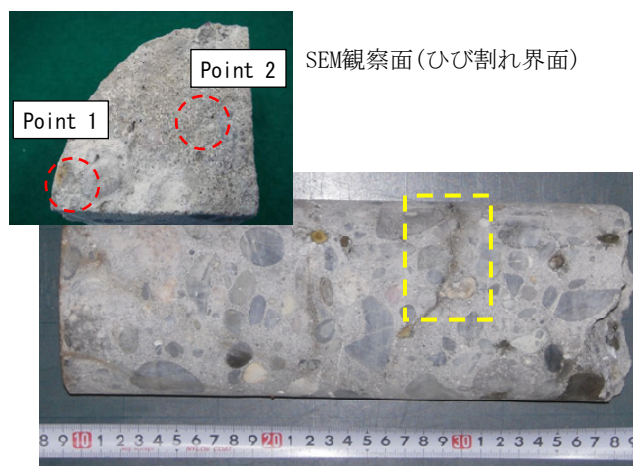


写真-4 採取コア外観(黄色破線部分をカット・割裂)

2. 工事概要

総排水能力 $240\text{m}^3/\text{s}$ を有する本排水機場には、口径 4200mm の排水ポンプが6台設置されている。排水ポンプは、他の排水ポンプを供用しながら、10月から5月の非出水期毎に1台ずつ交換する計画であり、隔壁2スパンの範囲を仮締切りして工事を行う。

図-1に工事平面図を示す。中央の排水ポンプ設備改修は機械工事、その上下流の躯体コンクリートの補修は土木工事として行う。両工事は、隔壁を利用して周囲を仮締切りし、ドライアップした状態で行う。写真-3に仮締切り設置状況を示す。

過去の躯体コンクリートに関する調査により、コンクリート中の塩化物イオン濃度および残存膨張量が比較的高いことを認識していたが、鉄筋の著しい腐食は判明されていなかった。当初設計における補修方法は、ウォータージェットによる表面部の研り後に劣化因子を遮断する目的で埋設型枠を全面設置するものであった。

工事着工後、排水ポンプ下流側の吐出部の研り調査により、鉄筋の断面欠損を伴う腐食が確認された。

3. 劣化調査方法および結果

劣化調査は、数年度にわたり複数の隔壁で実施している。本報告では、平成20年度の仮締切りにより詳細に調査を行うことができた右岸エリア(排水ポンプNo. 6)の調査結果について述べることにする。

(1) 走査電子顕微鏡による観察

採取したコアに発生していたひび割れの界面について走査電子顕微鏡(SEM)による観察を実施し、付属X線分析装置(EDS)により定性分析を行った。

写真-4に採取したコア外観とコアに発生したひび割れ面(SEM観察面)を示す。

写真-5に示すように、ひび割れ表面にはアルカリ骨材反応により生成したと考えられるゼリー状のゲルが確認された。図-2に示すEDS分析により、この組成タイプは「アルカリ-カルシウム-シリカ型」とあると考えられる。Caを多く含むが、ゲルの生成からの時間経過が長いために、ゲル表面に見られる炭酸カルシウム粒子の影響と考えられる。

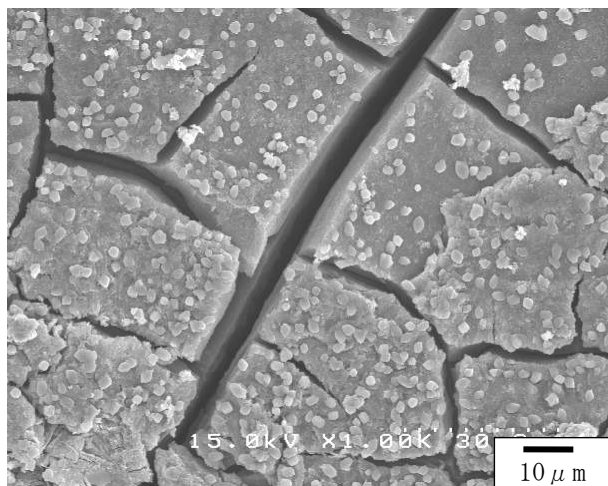


写真-5 電子顕微鏡観察結果(Point1 生成ゲル)

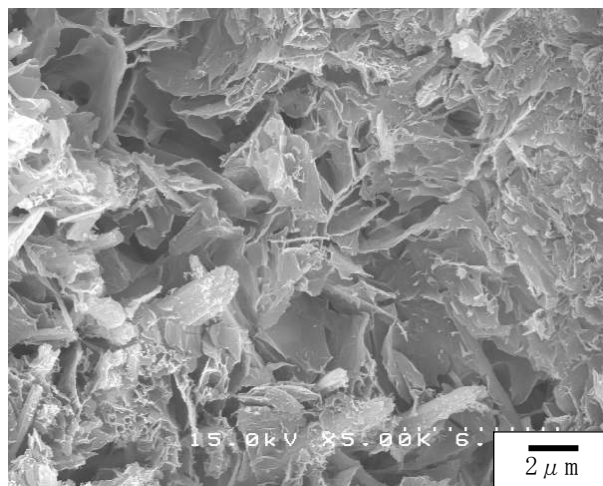


写真-6 電子顕微鏡観察結果(Point2 フリーデル氏塩)

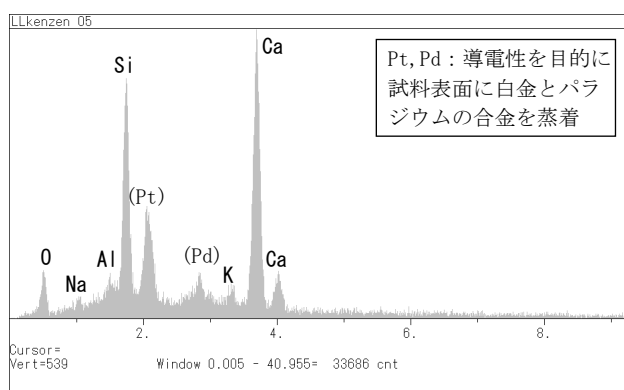


図-2 EDS測定チャート(Point1)

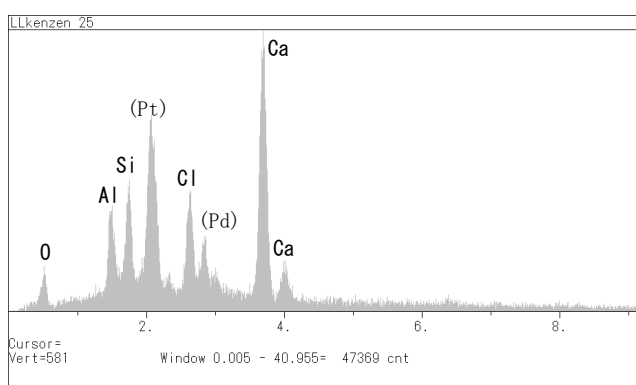


図-3 EDS測定チャート(Point2)

また、異なる観察箇所(Point2)では、写真-6に示すように、フリーデル氏塩が確認され、塩化物イオンの侵入と固定化が確認された。

(2) 残存膨張量

過去の調査では、隔壁のみでコア採取を行っていたため、底版部のコア採取を行い、残存膨張試験を実施した。試験方法は、ASTM C 1260(カナダ法)により行い、1NのNaOH溶液(80℃)にコアを浸漬し、長さ変化を2カ月間測定した。

ASTMの膨張率(材齢14日)判定基準は、以下である。

- 0.10%以下 : 無害
- 0.10～0.20% : 有害と無害な骨材が含まれる
- 0.20%以上 : 潜在的に有害な膨張率

図-4に残存膨張試験結果を示す。測定材齢14日における膨張率は0.07%であり、上記判定基準では「無害」と判定される。試験を2ヶ月間継続したが、材齢の経過に伴って増分が減少し、コンクリートの膨張はほぼ収束していると判断した。

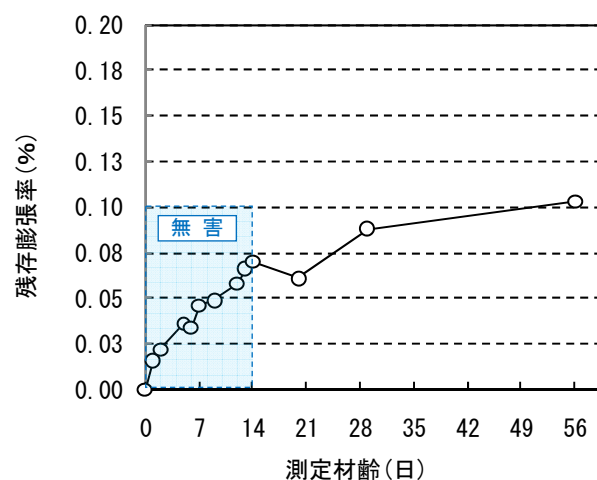


図-4 残存膨張試験結果

(3) 水質調査

表-1に仮締切りの上下流部および付近の海岸で採水した水質調査結果を示す。採水深さは、水面から50cmおよび河床から50cmの2通りとした。

排水機場の下流側または水深が深い部分では、海水に近い水質を示した。排水機场上流側では、排水ポンプやゲート等の排水施設により、海水が遮断さ

表-1 水質調査結果(採水時天候：晴)

区分	深浅	pH	DO (mg/l)	Cl ⁻ (g/l)	SO ₄ ²⁻ (g/l)
上流	浅	7.0	8.8	0.66	0.12
	深	8.0	8.3	13.0	2.10
下流	浅	7.1	8.2	0.76	0.13
	深	8.2	7.8	15.0	2.40
海岸	浅	8.2	7.3	16.6	2.60

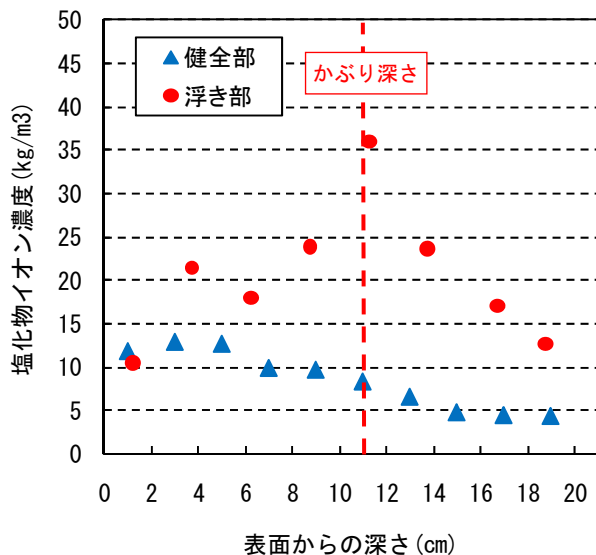


図-5 コンクリート内部の塩化物イオン濃度分布

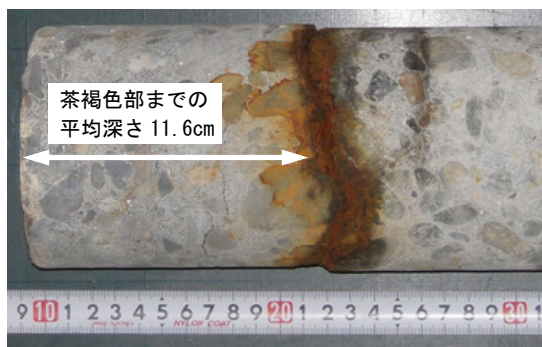


写真-7 浮き部 (No. 2) コア外観

れていることも予想されたが、河川が増水していない場合は、塩化物イオン濃度が高いことが判明した。

(4) 塩化物イオン濃度と鉄筋腐食状況

排水ポンプ下流側の隔壁コンクリートの打音検査を実施し、内部欠陥が無いと思われた箇所 (No. 1) と、濁音を発して「浮き」が生じていると判断した箇所 (No. 2) でコア採取を行った。

採取したコアを表面から深さ200mmまでを20mmまたは25mm間隔でスライスし、JIS A 1154(電位差滴定法)により塩化物イオン濃度を測定した。



写真-8 茶褐色析出物



写真-9 浮き部 鉄筋腐食状況

図-5に表面からの深さと塩化物イオン濃度の関係を示す。写真-7に採取したコア外観を示す。かぶり11cmでの塩化物イオン濃度は、発錆限界値²⁾1.2kg/m³をはるかに超えている。さらに、塩化物イオンは、茶褐色の鉄錆部分で濃縮されており、最高で35.0kg/m³と非常に高い。なお、同試料を他の試験機関においても分析したが、クロスチェックの結果、ほぼ同値の結果となり、測定方法の信頼性を確認している。

また、隔壁側面には、写真-8に示すような茶褐色の析出物が点在しており、X線回折の結果、Fe₂O₃ 92%、SiO₂ 3%、Cl 2%であった。大部分が鉄で構成されており、鉄筋由来と考えられる。この茶褐色析出物が形成されている浮き部の内部では、断面欠損を伴う鉄筋の腐食が珣り調査により確認された(写真-9)。鉄筋が著しく腐食していることから、電食の可能性も考えられたが、排水機場内では直流を使用しておらず、原因となるような迷走電流の発生源を特定できなかった。

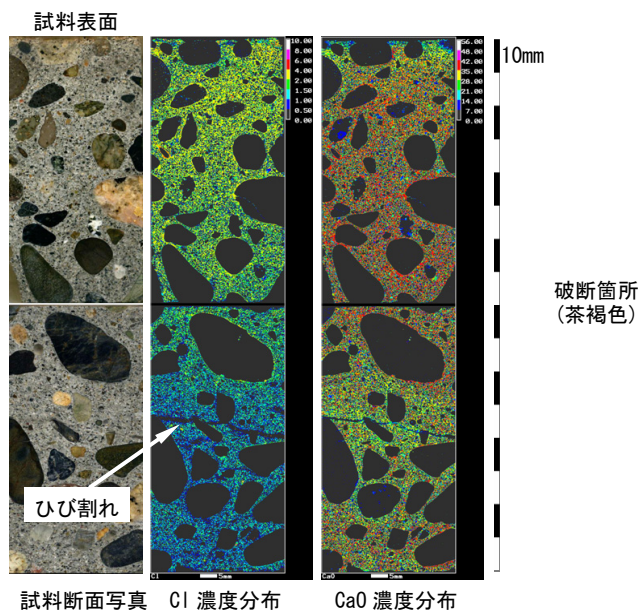


図-6 健全部 (No. 1) EPMA分析結果

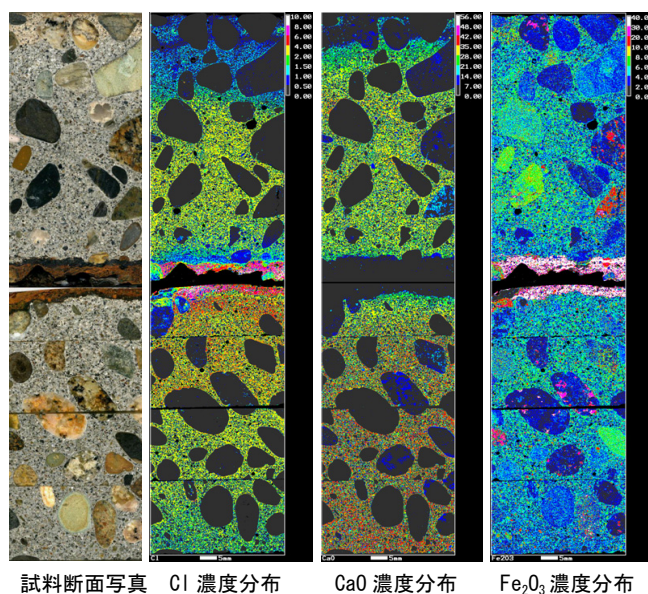


図-7 浮き部 (No. 2) EPMA分析結果

(5) 電子線マイクロアナライザー (EPMA) による観察

図-6に健全部 (No. 1) のEPMA分析結果を示す。打音検査では判明できなかったが、深さ12cmに面内方向のひび割れが発生していた。Clの侵入は、このひび割れ深さ程度まで観察される。また、CaOについては、表面から10mm程度まで溶出しているが、ひび割れからの溶出も認められる。

図-7に浮き部 (No. 2) のEPMA分析結果を示す。試料は深さ8cmで破断しており、微細なひび割れが多数観察される。破断面には茶褐色の固着物があり、ClとFe₂O₃濃度が高く、多量のClとFeが供給されたと考えられる。また、表面と同様に破断面からのCaOの溶出が生じていることから、この破断面 (ひび割れ) に海水の侵入があったことが推定される。

4. 劣化発生原因および補修方法

(1) 劣化原因の推定

調査結果から、躯体コンクリートにアルカリ骨材反応が生じており、コンクリートにひび割れが発生している。また、塩化物イオンが、多量に侵入および濃縮し、断面欠損を伴って腐食している鉄筋も多数確認された。

本排水機場は河口に近く、河川水には海水が含まれ、深さおよび位置によっては、海水とほぼ同じ塩化物イオン濃度であり、常時海水中であっても、鋼材腐食することから、塩害の発生リスクが非常に高い。さらに、アルカリ骨材反応により、躯体コン

リートには多数のひび割れが発生し、鉄筋に沿ってひび割れが発生した場合には、海水が侵入することにより、鉄筋の腐食が加速されることとなる。

ただし、かぶり位置での塩化物イオン濃度が、14～30kg/m³と発錆限界を超えている排水ポンプ上流側については、研り調査結果からは鉄筋の腐食が確認されていない。

(2) 躯体コンクリートの補修方法

供用開始から約40年が経過したことを踏まえ、アルカリ骨材反応が今後大きく進行するとは考えにくく、コンクリートの膨張は収束していると判断した。

a) 排水ポンプ上流側

鉄筋が健全であることから、劣化因子の侵入を抑制できる高耐久性を有する高強度繊維補強コンクリート製の埋設型枠を設置することとした。また、コンクリート表層で劣化が確認されていること、補修部分と既存コンクリートの境界で電位差により腐食が進行する可能性があることから、コンクリートの研りは表層に限ることとした。研り方法は、躯体に損傷を与えず、断面修復材との付着が良好なウォータージェット工法を採用した。

b) 排水ポンプ下流側

隔壁および中床版下面の大部分の鉄筋が腐食しているため、鉄筋追加と断面修復による補強を行うこととした。海水環境にあり、アルカリ骨材反応が完全に収束していない可能性があること、断面修復材の劣化因子遮断効果が完全でないことから、追加する補強鉄筋にはエポキシ樹脂塗装鉄筋を採用した。

鉄筋追加のためには、既存鉄筋の背面以上の深さまで研り取る必要がある。また、鉄筋が密に配置され、断面修復に使用するコンクリートは締固めが困難であることから、自己充てん性を有する高流動コンクリート(骨材の最大寸法：15mm)を使用することとした。図-8に下流側の断面修復方法の施工フローを示す。断面修復工の範囲は、鉄筋腐食が発生していない底版以外の隔壁側面および中床版下面とした。

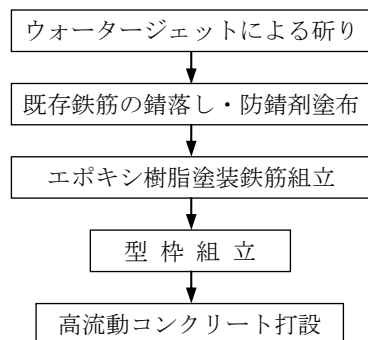


図-8 下流側断面修復工法 施工フロー

5. 品質および施工効率向上の取組み

(1) ウォータージェット工法の精度および施工効率

本排水機場の躯体コンクリートの粗骨材の最大寸法は推定40mmである。写真-10に示すような機械式では、コンクリート表面の確認ができないことから、研り面の凹凸が大きくなったり、部分的に深く研られ、既存鉄筋が露出した。そこで、人力方式に変更した結果、写真-11に示すように、コンクリート研りの出来形精度を±10mmに向上することができた。

また、既存鉄筋の背面まで研る(設計厚150mm)必要がある下流側については、写真-12に示す固定治具の使用により、吐出量を大幅に増加することが可能になり、施工効率を40%向上することができた。

(2) 埋設型枠の設置精度

当工事で使用する埋設型枠は、躯体コンクリートに設置した金物をガイドにして据付を行うため、取付金物の設置精度が埋設型枠の出来形精度を左右する。取付金物は、幅200mmの平鋼を計画していたが、幅100mmの角形鋼管に変更した(写真-13)。研り面の凹凸の影響を低減させ、取付金物の剛性を高めた結果、写真-14に示すように埋設型枠を精度良く設置でき、埋設型枠間の目地開きを抑制することで、躯体コンクリートの耐久性を確保することができた。



写真-10 機械式ウォータージェット工法による研り状況



写真-11 人力式ウォータージェット工法による研り状況



写真-12 固定治具付きガンによる研り状況

(3) 断面修復材の品質

排水ポンプ下流側の設計修復厚が150mmのため、断面修復材の種類としてコンクリートを選定した。

狭間で鉄筋が密に配筋されていることと締固めが困難であるので、自己充てん性に優れたランク1の高流動コンクリートを使用することとした。

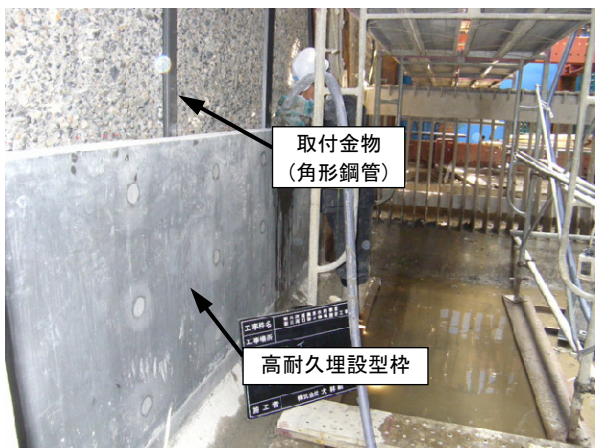


写真-13 高耐久埋設型枠および取付金物



写真-14 高耐久埋設型枠設置完了全景

表-2 高流動コンクリートの配合

セメントの種類	スランプフロー (cm)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
			水	セメント	膨張材
高炉B種	65±5	36.0	175	486	20

設計時の留意事項や施工管理の工夫を以下に示す。

- ・セメントの種類は、遮塩性およびアルカリ骨材反応抑制に優れた高炉セメントとする。
- ・アルカリシリカ反応性試験で「無害」と判定された骨材を使用する。
- ・コンクリートの収縮補償を目的に膨張材を使用する。
- ・天井部においては、コンクリートの充てんをセンサーにより確認する(写真-15)。

6. まとめ

アルカリ骨材反応と塩害により劣化した排水機場の劣化調査結果と断面修復工法について報告した。本報告が、今後のリニューアル工事の参考になれば、幸いである。

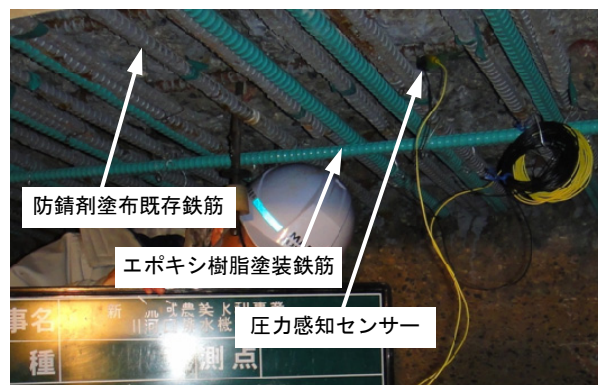


写真-15 圧力感知センサー



写真-16 高流動コンクリート打設状況 (隔壁第1リフト)



写真-17 断面修復完了全景 (下流吐出部, 3リフト打設)

最後に、劣化原因や補修方法の検討に際し、「設計検討委員会」委員長として御指導賜りました長岡技術科学大学丸山教授、新潟大学佐伯准教授をはじめとする委員ならびに関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) <http://www.maff.go.jp/hokuriku/shinkawa/gaiyo.html>
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2007