

目次

巻頭言	会誌第400号の発行について	1
	(一社)電力土木技術協会 服部 邦男	
特別寄稿	「電力土木」400号に寄せてー電力システム改革時代における電土協への期待	3
	(一社)電力土木技術協会 佐々木宜彦	
	ブラックアウトを越えて	5
	(一社)電力土木技術協会 藤野 浩一	
	「あってあたりまえ」	7
	中日本高速道路㈱ 宮池 克人	
座談会	会誌「電力土木」400号記念座談会	
	「電力システム改革が進展する中での電力土木技術者の役割」	9
	松浦 正典・小笠原義浩・実広 拓史・岡田 博和 梅澤 孝行・林 淳一・中廣 政之・能見 正昭 高島 正治・岡田 哲実・大西 徳治・田林 聖志	
総説	ダム湖の水質保全対策	23
	中部大学 松尾 直規	
論文	ダム下流における水理特性と洗掘現象に関する実験的研究	29
	電源開発㈱/㈱開発設計コンサルタント 喜多村雄一・松本 知士・高木 慎悟	
	既設 POF ケーブル用鋼管の耐震照査のための曲げ変形特性の評価	39
	東京電力ホールディングス㈱/東京電力パワーグリッド㈱ 竹中 聡・斉藤 仁・吉本 正浩	
報告	新姫川第六発電所の新設計画概要	49
水力	黒部川電力㈱ 野原 幸嗣・久保田翔平・西田 圭佑	
	奈半利川におけるアユの生息数回復のための取り組み	54
	電源開発㈱/たかはし河川生物調査事務所 伊藤 優希・香西 篤・高橋 勇夫	
	扉高の高いローラゲートの大規模地震時損傷想定	59
	東京発電㈱/東電設計㈱ 相沢 成樹・北村 順一・松本 陽介	
火力	火力発電所取水路薬注配管更新工事における中深度暗きょ潜水施工	64
	北海道電力㈱/ジオテック㈱ 岡部 陽介・林 透・伏見 和恭	
	火力発電所取水管橋台の塩害対策工の施工	69
	東北電力㈱ 菅生 俊樹・佐藤 秀之・川又 伸幸	
	新仙台 LNG 出荷設備新設工事の設計・施工	74
	㈱東北開発コンサルタント/東北電力㈱ 高木 猛志・中村 貴光	
	武豊火力発電所5号機建設工事のうち地盤強化工事の設計・施工	78
	中部電力㈱ 藤井 嵩大・谷口 匠・野村 直之	

報告	港湾鋼構造物における電気防食陽極の更新計画に関する検討	82
火力	関西電力㈱/㈱環境総合テクノス/㈱ナカボーテック 森 建二・福田 浩之・幸脇 悠人	
研究	非接触音響探査法による地下空洞天井部吹付けコンクリート欠陥検出技術の開発	87
	東京電力ホールディングス㈱/東電設計㈱/佐藤工業㈱/桐蔭横浜大学 森岡 宏之・本田 中・歌川 紀之・杉本 恒美	
	四国西部における高精度火山灰データを用いた火山灰層厚に関する確率論的評価	92
	四国電力㈱/㈱四国総合研究所/岡山大学 大西 耕造・西坂 直樹・辻 智大・隈元 崇	
その他	港北変電所法面耐震対策工事の設計・施工	97
	東京電力パワーグリッド㈱ 青木 亮介・前島 重弥・岡部 豊二	
見学記	竹原火力新1号機設備更新工事 見学記	102
	東北電力㈱ 佐々木 光	
講座	津波の影響評価	104
	(一財)電力中央研究所 木原 直人	
でんたん	第28回 ハツ沢発電所(東京電力ホールディングス株式会社)	
	ー日本最大規模の重要文化財に指定された水力発電所建設黎明期の発電所ー	108
発見!きらり☆エンジニア	第23回 石川 学さん(電源開発株式会社)	109
技術情報委員会 だより	技術情報委員会現場見学記 ～小石原川ダム本体建設工事の紹介～	110
	技術情報委員会	
技術情報	コンクリートの練上がり温度を自動制御するパッチャープラント	113
	飛鳥建設㈱ 平間 昭信・筒井 隆規・熊谷 幸樹	
	環境 DNA を活用した海藻場モニタリング技術	117
	大成建設㈱ 高山百合子・赤塚真依子・伊藤 一教	
保守だより	『北海道開発150年の中心地』札幌からの保守だより	121
	北海道電力㈱札幌水力センター土木課	
電力土木回想	焦らず、気負わず、前向きに	123
	(一財)北海道電気保安協会 富樫 泰治	
海外情報	ミャンマー連邦共和国 ヤンゴン都市圏上水道整備プロジェクトバゴー川横断配管工事の概要	126
	戸田建設㈱ 小野寺友樹	
海外調査事業報告	アメリカにおけるダムの補修・補強と再生可能エネルギーへの先進的な取組状況に関する実態調査	
	ー第41回電力土木技術海外調査事業報告(その1)ー	128
	中部電力㈱ 金原 俊也	
文献紹介	〔文献抄録〕	134
	ヒマラヤ山脈の攻略/ウェールズにおける小規模水力発電所開発計画の促進方策	

火力発電所取水管橋台の塩害対策工の施工

菅 生 俊 樹*
佐 藤 又 秀 之**
川 伸 幸 ***

概要 新潟火力発電所取水管橋台は、経年による設備の劣化が進行している状態であることから、機能維持のための補修工事が必要となった。劣化原因が塩害と推測されたが、施工に際して詳細な検討を行ったところ、隣接する民家等により騒音や作業範囲に制約を受けることから、亜硝酸リチウム圧入工法を採用した。亜硝酸リチウム圧入工法はコンクリートを削孔し、亜硝酸リチウムを加圧注入してコンクリート内の鉄筋周辺に浸透させる工法であり、塩害と中性化の抑止効果が期待できる。本稿では、当該工事における工法選定や施工概要、施工後の追跡調査について報告する。

キーワード：塩害対策、亜硝酸リチウム、圧入工法

1. はじめに

東北電力(株)新潟火力発電所は、新潟県新潟市に位置しており(図-1)、当社における水主火従から火主水従への転換期の中心電源となった発電所である。1~3号機は既に廃止しており、4号機は平成30年9月に廃止した。現在は平成23年度に運開した5号系列(出力10.9万kW)のみが運転している状況であるが、当該設備は廃止した1~4号機の一部を流用しており、主要土木設備は50年以上経過し、劣化が著しく進行している状況にある。

本発電所の特徴として、都市部に位置し、住宅に囲まれていることが挙げられ、設備の周辺には民家や病院が近接していることから、各種工事の施工に制約を受ける場所であるため(写真-1)、周辺環境への影響を勘案した保守管理を実施している。

今回機能維持のために補修を実施した復水器冷却用取水管橋台も、3号機運転開始時からの設備であり、コンクリート躯体のひび割れや鉄筋の発錆の進行が確認されている。

これら劣化状況を調査した結果、コンクリート自体の強度に問題はなく、鉄筋の腐食状態は顕著とまで言えず、進行を抑制することで橋台の機能が維持できる状況であったため、周辺環境に配慮し、亜硝酸リチウム圧入工法による施工を実施した。当該工法は、劣化したコンクリート中に亜硝酸リチウムを圧入し、鉄筋の腐食を抑制することを目

的としており、2011年頃に開発されたが、まだ国内では施工例が少ない工法でもあり、工事完了後に追跡調査として亜硝酸リチウムの浸透状況調査を行い、対策工の効果を定量的に把握した。



図-1 新潟火力発電所位置図

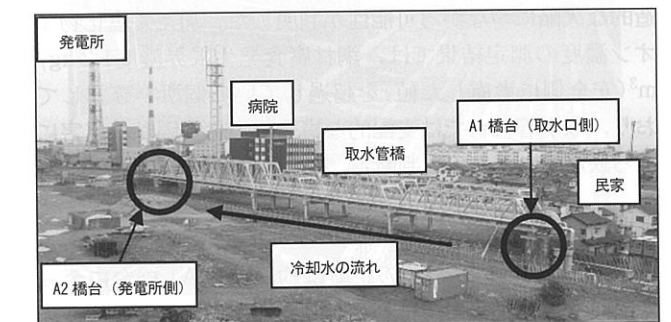


写真-1 取水管橋全体写真

2. 取水管橋台の劣化状況

(1) 外観状況

取水管橋台の劣化状況を写真-2に示す。以前から社内の設備点検において、取水管橋台の劣化が著しいことを確認しており、エフロレッセンスを伴うひび割れ、欠損、鉄筋露出等多岐にわたる劣化を確認していた。そのため、劣化状態の把握と原因究明を目的として、調査を実施した。



菅生 俊樹 佐藤 秀之 川又 伸幸

* 東北電力(株) 新潟発電技術センター土木課 会員 sugo.toshiki.vk@tohoku-epco.co.jp
** 東北電力(株) 新潟発電技術センター土木課 課長 会員 sato.hideyuki.cw@tohoku-epco.co.jp
*** 東北電力(株) 新潟発電技術センター土木課 副長 会員 kawamata.nobuyuki.wy@tohoku-epco.co.jp

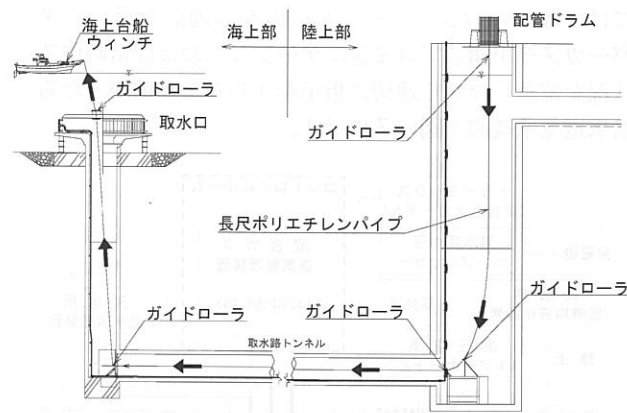


図-8 配管敷設要領図

停泊した台船のウィンチにより牽引ロープを毎分12mの速度で巻取り、陸上部と海上部の無線連絡で同調し多少のたわみを保持するよう慎重に行なった。(図-8)

取水路配管は、水路内の乱流による配管外装の摩擦および移動等を防止するため、重さ160kgのコンクリートウェイトにより10m間隔で水路底部に固定した。(図-9)

取水路立坑では、側壁に犠牲陽極付きの取付金物により固定し、既設端部の接続管の延長を実寸計測し、伸縮管付き調整管を製作し水平部配管と接続した。

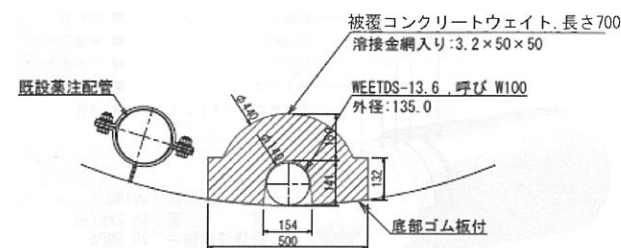


図-9 コンクリートウェイト断面図

5. おわりに

本工事で適用したトライミックスによる商業潜水は、国内では希であり、安全管理には細心の注意を払ったが、施工会社の尽力もあり当初計画のとおりに進捗し無事故、無災害で完了することができた。

本報告が今後、中深度潜水作業の減圧表を評価する際の一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 加藤信義, 下田哲二, 伏見和恭: 火力発電所海水電解装置設置工事におけるナイトロック潜水の適用, 電力土木, No.339, 2009.1, P48-52



写真-2 取水橋台劣化状態

(2) 調査結果

調査工事では、はつり調査、コア採取調査を行い、コンクリートの圧縮強度や、鉄筋の腐食状況、中性化深さ、塩化物イオン濃度等について評価した。

コンクリートの圧縮強度は、平均22.5 N/mm²で建設当時の設計基準強度18 N/mm²を満たしており、中性化は最も進行している個所でも鉄筋からのひび割れが5 mmであることを確認した。

また、コンクリート表面のひび割れ状況や、採取したコアの骨材周辺の反応リムより、コンクリートひび割れはASRが主要因であることも考えられたが、建設後50年以上経過していることや、並行して同時期に建設された同発電所の他設備の促進膨張試験結果から、反応は収束していると判断した。

一方、鉄筋の腐食状況としては腐食グレードⅢ～Ⅳ(加速期～劣化期)に該当しており、橋台建設時から現在までの腐食量と現状の塩化物イオン濃度から腐食進行速度を求めると、今後対策をせずに腐食が進行した場合、数年で構造的な欠陥につながる可能性が判明した。加えて塩化物イオン濃度の測定結果では、鋼材腐食発生限界濃度1.2 kg/m³(安全側に考慮した値)を超過している個所を確認しており、取水橋台では支配的な構造物劣化要因が、塩害による鉄筋腐食であると判断し、対策を立案することとした。

3. 対策工法の検討

A2橋台から病院までの距離は約50 m、A1橋台に至っては最も近い民家まではわずか2 mであり、工事に伴う騒音・振動の影響が懸念された。施工箇所周辺状況を写真-3、4に示す。

調査結果および家屋との近接状況をふまえ、表-1のとおり工法の比較検討を行った。断面修復工法によりコンクリートの一部を取壊し、鉄筋を取替えることが最も安価で作業期間も短い、騒音や振動が発生すること、さらにA1橋台の民家側では、小型のピックハンマーであってもはつり作業に十分な空間の確保が困難であり、採用不可と判断した。

橋台は、これまでの調査結果から構造物内部の鉄筋には錆が見られるものの、現存の鉄筋量で安全性が確保されていることから、「劣化(鉄筋腐食)の進行を抑制すること」

を要求性能として、本工事では亜硝酸リチウム工法を採用した。

なお、電気防食工法については、イニシャルコストが高いことや、ランニングコストがかかるということから、今回の現場では亜硝酸リチウム工法に優位性があると判断した。

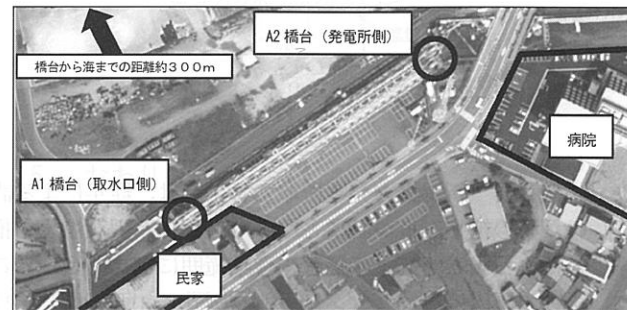


写真-3 施工箇所周辺状況図

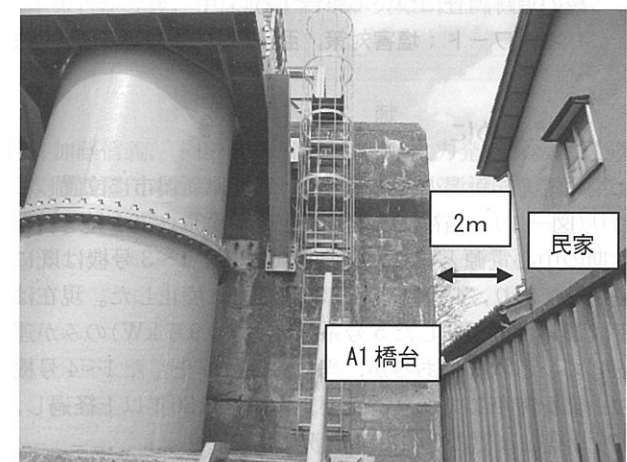


写真-4 民家との近接状況(A1橋台)

表-1 工法比較検討表

項目	工法	断面修復工法 (はつり)	電気防食工法	亜硝酸リチウム 注入工法
作業期間	◎	作業期間が短い	○	○
工事費	◎	最も安価	×	○
施工性	△	コンクリートポンプ車、ピック、掘削の作業で十分な作業範囲がとれない	◎	◎
騒音	×	最も大きい	○	○
評価	△	○	○	◎

4. 施工概要

(1) 工法概要

亜硝酸リチウム工法は、図-2、3に示す通り、亜硝酸イオン(NO²⁻)が鉄イオン(Fe²⁺)と反応し、塩害によって破壊された不動態被膜(Fe₂O₃)を鉄筋表面に再生することで、構造物内に塩化物イオンが存在している状況でも、鉄筋の腐食進行を抑制することを目的に開発されている。今回の工事では、この工法のうち、亜硝酸リチウムを加圧注入して、コンクリート内の鉄筋周辺まで浸透させ、鉄筋腐食を化学的に抑制することが可能である亜硝酸リチウム圧入工法を採用した。工法概要¹⁾²⁾を図-4に示す。

本工法は、劣化コンクリートの躯体に小径の削孔を行

い、その後、亜硝酸リチウムを加圧注入して鉄筋周りに浸透させるものであり、注入の事前作業として注入材漏出防止のために、コンクリート表面に生じているひび割れをクラック注入工および表面修復工により閉塞を行うものである。注入は、圧入孔にカプセル式圧入装置を設置した後、設計注入量を加圧注入する。内部への圧入が完了したら、圧入孔を充填し、施工完了となる。

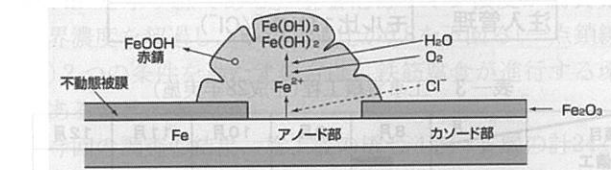


図-2 鉄の腐食メカニズム

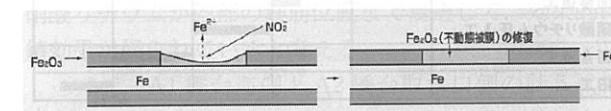


図-3 鉄の不動態被膜再生メカニズム

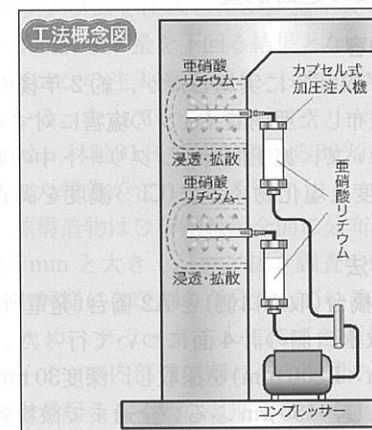


図-4 亜硝酸リチウム圧入工法概要

(2) 注入量の決定

本工法では注入量を算定するため現存の塩化物イオン濃度を詳細に調査する必要があることから、注入に先立ち橋台各面の塩化物イオン濃度の測定を行った。結果を図-5に示す。

注入量は、測定したコンクリート中の塩化物イオンと亜硝酸イオンのモル比(NO²⁻/Cl⁻)が1となるように技術資料²⁾に基づき決定した。モル比1とは物質質量で1対1であることを指し、図-2、3に示す通り、鉄の腐食に寄与するCl⁻の量に、不動態被膜再生に寄与するNO²⁻の量が対応する比となっている。なお、過去の研究では、十分な防錆効果が得られるモル比として0.8以上と報告されている³⁾。

(3) 施工状況

①クラック注入工

亜硝酸リチウム圧入工に先立ち、圧入時のクラックからの注入材漏出防止を目的として、クラック注入工を実施した。写真-5に注入状況を示す。本工事では、圧入に使用するものと同様の亜硝酸リチウムをクラックに注入し、その後超微粒子セメントを用いてクラックの充填を行った。これにより、鉄筋への影響度が高いと想定されるクラック位置に、亜硝酸イオンを保持することができる。

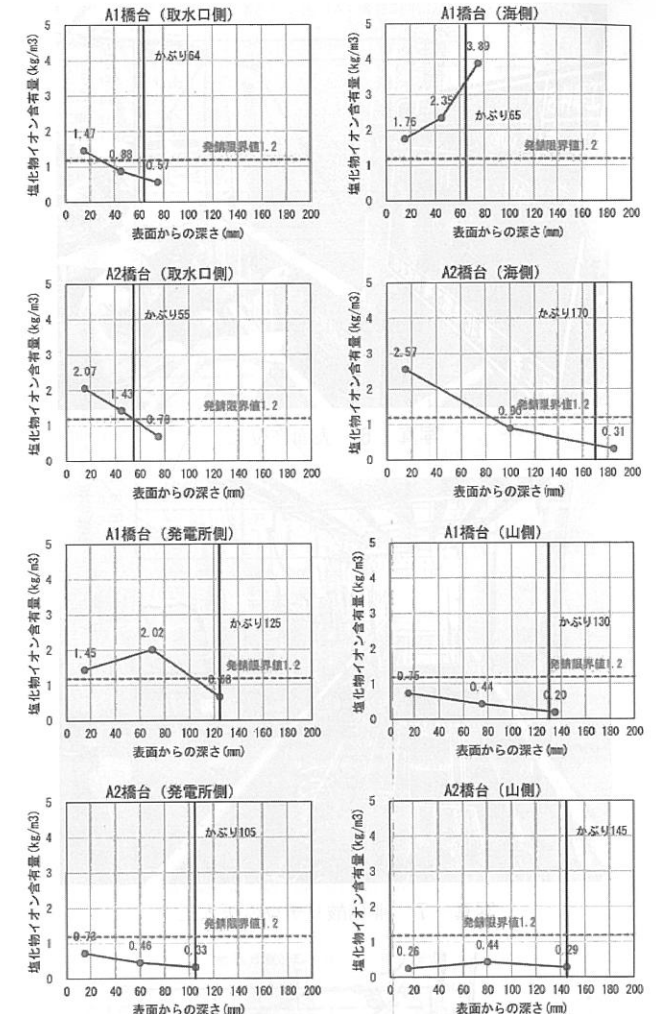


図-5 塩化物イオン測定結果

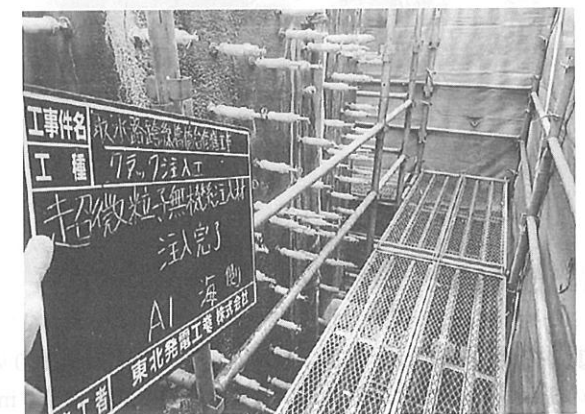


写真-5 クラック注入工

②表面修復工、削孔工

クラック注入後、欠損部や鉄筋露出部に対してモルタル補修を行い、その上からシール材で表面修復工を実施した(写真-6)。その後、鉄筋探索を行って削孔位置をマークし、150 mmの深度までコアドリルで削孔を行った。削孔深度は、施工前の調査によって求められた鉄筋かぶり(56 mm～170 mm)を基に決定した。また削孔時は、騒音対策として騒音計を設置し、確認しながら施工を行った。

③亜硝酸リチウム圧入工

削孔位置にカプセル式加圧注入機を設置し、コンプレッサーを用いて亜硝酸リチウムの圧入を行った。圧入状況を



写真-6 表面修復工

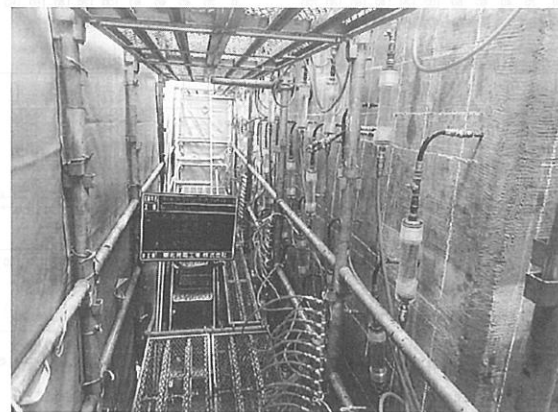


写真-7 亜硝酸リチウム圧入工



写真-8 表面含浸工

写真-7に示す。コンプレッサー1台につき同時に100ヶ所の圧入を行うことができる。1カプセルの容量は150 mlであり、カプセルを取替えながら所定の量を注入するまで圧入を行った。

④表面含浸工

亜硝酸リチウム注入後、コンクリート表面に亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布を行った。塗布状況を写真-8に示す。この表面含浸材は、圧入に用いた亜硝酸リチウム水溶液よりも高濃度のものであり、コンクリート中でイオン拡散することで、時間の経過とともに鉄筋位置まで浸透していき、加圧注入した亜硝酸リチウムの効果と相まって、鉄筋の腐食抑制に効果をもたらす。

(4) 実績工程

本工事における施工諸元を表-2に、実績工程を表-3に示す。

表-2 施工諸元

削孔径	10mm
削孔長	150mm
削孔間隔	500mm
削孔数	約900孔(橋台2箇所合計)
注入圧力	0.5MPa
施工面積	224m ² (橋台2箇所合計)
注入管理	モル比1(NO ₂ ⁻ /Cl ⁻)

表-3 工事実績工程(平成28年実施)

項目	月	8月	9月	10月	11月	12月
準備工						
塩化物イオン濃度調査工						
クラック注入工						
表面修復工						
亜硝酸リチウム圧入工						
表面含浸工						
復旧工						

5. 施工後の追跡調査

(1) 調査内容

本工事は平成28年に実施したが、約2年後の平成30年に、注入・塗布した亜硝酸イオンの塩害に対する鉄筋腐食抑制効果について、施工箇所コンクリート中の亜硝酸イオン(NO₂⁻)濃度と塩化物イオン(Cl⁻)濃度を調査し評価を行った。

(2) 調査方法

調査はA1橋台(取水口側)とA2橋台(発電所側)のそれぞれ海側と取水口側の計4面について行った。各面コア試料(φ50mm×L200mm)を採取し、深度30mm間隔で6層にスライスし、150μmふるい全通まで微粉碎したものを試料粉末(24試料)とした。

塩化物イオン量については、試料粉末を電位差滴定法により定量し、可溶性塩化物イオン濃度と全塩化物イオン濃度それぞれについて求めた。

亜硝酸イオンについては、試料粉末を50℃温水と混合して保温したまま振盪し、温水に抽出した亜硝酸イオン濃度をイオンクロマトグラフ法で定量した。

(3) 調査結果と対策工の妥当性評価

図-6に全塩化物イオン濃度の削孔深さによる分布を示す。調査を実施した4面のうち、3面から採取した試料では、表層(0-30mm)よりも中層(30-90mm)の全塩化物イオン濃度が高い結果が得られた。これは、中性化の影響により内部濃縮が起こり、塩化物イオンが中層に移動したこ

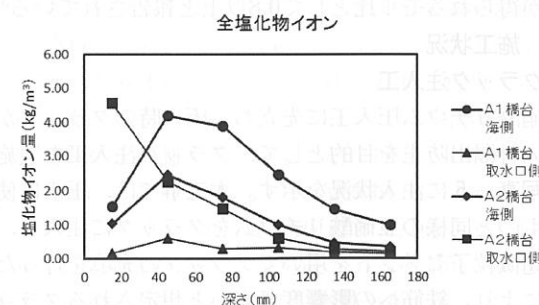


図-6 全塩化物イオン量の分布

とが1つの要因とも考えられるが、今回施工した表面含浸工で塗布した亜硝酸リチウムが、施工後、塩化物イオンの浸透を抑制したものと考えられる。

また、亜硝酸リチウム濃度と可溶性塩化物イオン濃度のモル比(NO₂⁻/Cl⁻)と、全塩化物イオン濃度の削孔深さによる分布を図-7に示す。図中の上側の一点鎖線はモル比0.8を示す線であり、下側の破線は腐食発生限界濃度1.2kg/m³を示す線である。全塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度を超過し、かつモル比が0.8を下回る(一点鎖線上側)2つの条件を満たす場合は、鉄筋腐食が進行する環境にあると言える。

今回の調査の結果、施工後の橋台4面×6層の計24点の試料のうち、19点が非腐食環境と確認された。特に鉄筋付近で腐食限界塩分量を超過していたA2橋台海側では、亜硝酸リチウムが内部の鉄筋位置まで浸透して、効果的に防錆効果が得られていると考える。

一方で、A1橋台海側とA2橋台取水口側の計5試料が未だ腐食環境にあった。今回の施工では、取水管橋台各面の塩化物イオン濃度の最大値に対して、モル比1となるように亜硝酸リチウムを注入したが、施工後の測定結果では、測定量が設計注入量を下回る結果となった。原因として、亜硝酸イオンの注入後にセメント水和物と固定化したと推測している。なおフレッシュコンクリートに添加した試験事例では、材齢91日で初期値から60%まで亜硝酸イオンが減少した報告がされている³⁾。

また、当該構造物はひび割れが全面に分布し、最大ひび割れ幅が2.5mmと大きく、コア抜き調査の結果から、構造物内部にも同様にひび割れが分布しているものと考えている。そのため、クラック注入工にて対策は行ったものの、亜硝酸イオンの内部ひび割れへの滞留や外部ひび割れを通じた流出が起こっていたと推測される。

(4) 今後の対応

今回の施工を通して、今後本工法を施工するにあたり、クラック注入を入念に行うことや、工期内でコンクリート中の亜硝酸イオン濃度を測定し、浸透量をモル比管理することが有効であると判断される。モル比管理の際は、固定化や流出の対策として、注入量をモル比1よりも多く設定する等の工夫が必要である。

また、今回施工した橋台において、亜硝酸イオンが内部クラックで滞留した可能性がある。今回施工から約2年後に調査を行ったが、滞留した亜硝酸イオンが今後数年かけて内部で拡散していくことが考えられる。そのため、亜硝酸イオン濃度の定期的な調査を行う予定としている。

6. おわりに

本工事では、塩害により鉄筋の腐食が進行した構造物に対して、施工箇所の制約条件等を勘案し、作業範囲の縮小や騒音の低減のため亜硝酸リチウム圧入工法による対策工を実施した。費用は通常の修繕工法よりもやや高くなったが、騒音を抑え、狭小なスペースでも周囲の住民の方々と良好な関係を維持しながら施工を完了することができた。

また、施工後の追跡調査により、表面含浸工によって塩化物イオンの浸透抑制効果が得られていることや、内部に圧入された亜硝酸イオンによって鉄筋の防錆効果が得られ

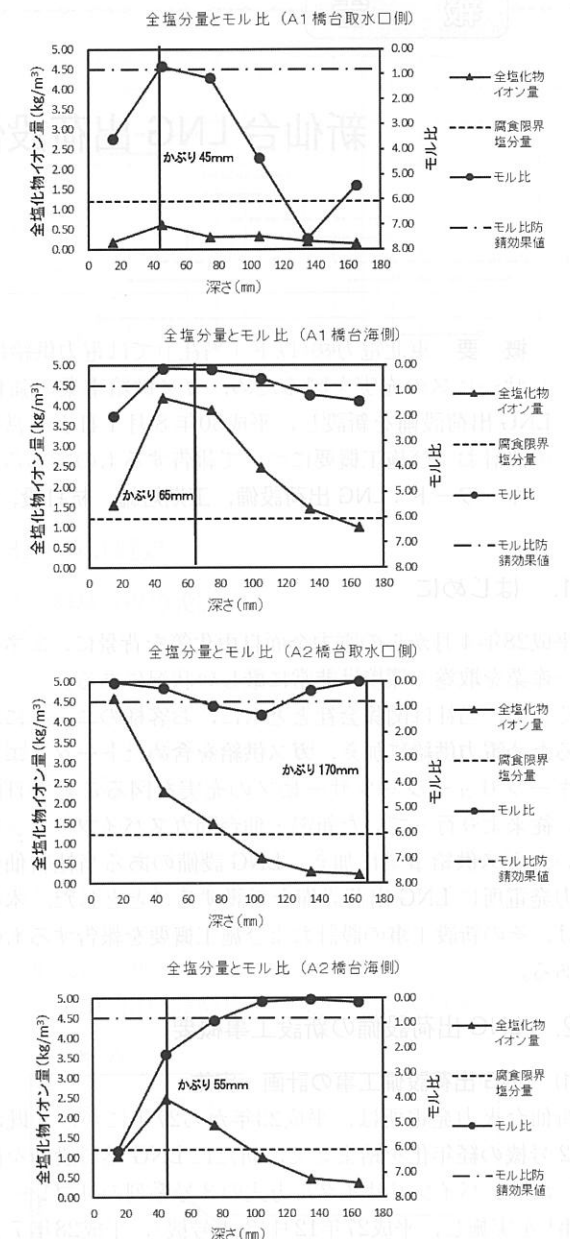


図-7 全塩化物イオン量とモル比の分布

ていることが確認できた。

一方で、亜硝酸リチウムの注入量は、ひび割れ等の構造物の状況や、コンクリートへの固定化を見込んで、モル比1よりも多く注入量を設定することや、工事の中で浸透量調査を実施して注入量を管理する必要があると考えられる。

現時点では盛んに行われている工法とは言えないが、近年施工実績も徐々に増えており、今回のような狭小で騒音等の制限のある場所での施工に対して有効であるといえる。

参考文献

- 国土交通省, NETIS 新技術情報提供システム, NO=CG-120005-VR, 2018.04
- 一般社団法人コンクリートメンテナンス協会: コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASRの効果的な補修技術～, 技術資料, Ver.4.0, 2015.04
- 浜幸雄, 千歩修, 秋田竜: コンクリート中の鋼材腐食に及ぼす亜硝酸イオンおよび塩化物イオン濃度の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 2, 2000