

# 稚内港北防波堤ドームの現況調査結果 —全面改修後40年が経過した土木遺産—

佐々木 剛<sup>1</sup>・千葉 俊夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道開発局 稚内開発建設部 稚内港湾事務所 (〒097-0001北海道稚内市末広4-5-33)

<sup>2</sup>北海道開発局 稚内開発建設部 築港課 (〒097-8527北海道稚内市末広5-6-1) .

稚内港北防波堤ドームは、北海道土木遺産、土木学会選奨土木遺産に選定され、昭和11年に築造された歴史的構造物である。昭和53年に全面改修されてから約40年が経過し、老朽化が顕在化してきたことから、平成26、27年の2カ年をかけて詳細な老朽化調査を行い、劣化現況の評価と効果的な補修及び維持管理の検討を行うこととした。本報では、平成26年度に行った床版部外面の劣化調査結果及び平成27年度に行った施設内面の劣化調査結果について、調査内容と併せて報告する。

キーワード 健全度, 維持管理, 土木遺産, 北海道遺産

## 1. はじめに

稚内港北防波堤ドーム(延長427.6m)は1936(昭和11)年に竣工し、1978~1981(昭和53~56)年に地中梁から上部をすべて建替える全面改修が行われている。その後、柱部、高欄部、張出し部等に経年劣化や耐震性確保に対する懸念が確認されたことから、1998~2002(平成11~14)年には大部分の区間の補修および柱部の耐震補強が実施されている。しかし、昭和53年の全面改修から約40年が経過する中、港外側の床版部などの劣化がより顕在化するとともに、平成24年5月27日には、銘板が落下し第3者被害に繋がりがかねない事態も発生した。このことから、構造物の劣化現況の詳細調査と評価、補修優先度を考慮した、適切な補修及び維持管理計画の策定が喫緊の課題となった。北防波堤ドームはその特殊な意匠及び構造を有する歴史的構造物であることに加え、様々な材料や工法による改良履歴を有することから、技術的な検討にあたっては「稚内港北防波堤ドーム技術検討委員会」を設置し、平成25、26年度は港外側、平成27年度は港内側の現況調査と評価を行うこととした。



写真-1 北防波堤ドーム全景

図-1に、北防波堤ドームの主要構造図を示す。

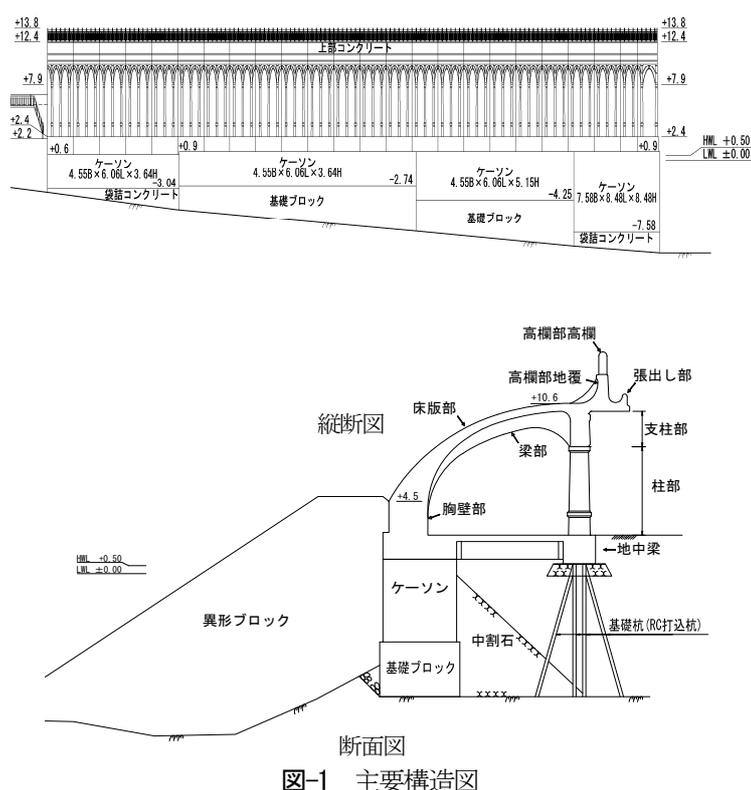


図-1 主要構造図

## 2. 平成25年~26年度調査内容と結果

### (1) 調査内容

北防波堤ドームは、港外側(床版部外面、胸壁部外面)と港内側(床版部内面、梁部内面、胸壁部内面)において劣化状況が異なるため、現況調査は港外側と港内

側に分けて実施することとした。

平成25年度と平成26年度は、港外側の調査を行っている。平成25年度には施設の両端と中央の3ブロックにおいて詳細な現況調査を行い、平成26年度には港外側の床版部全24ブロックを対象として現況調査を実施した。

平成25年度は調査対象箇所のコアを採取し、物理試験を行い一軸圧縮強度は最低で29.9N/mm<sup>2</sup>と設計基準強度(24N/mm<sup>2</sup>)を満たしていることを確認した。また、静弾性係数についても最低で26.9kN/mm<sup>2</sup>となり基準値(25.0 kN/mm<sup>2</sup>)を満足しているなど、平成25年度調査結果においては、構造上問題ないことが確認できた。

平成26年度の床版のブロック調査では、詳細目視調査のほか、電磁波レーダーによる鉄筋かぶり厚調査や、自然電位法による鉄筋腐食調査を行った。詳細目視調査では、大部分のブロックでスケーリング、豆板、コールドジョイントの発生が認められた。しかし、鉄筋かぶり厚調査では、一部のブロックで設計かぶり厚を下回る箇所が見られたものの、施設全体としては所定厚が概ね確保されていた。また、鉄筋腐食調査においても、鉄筋腐食箇所はごく一部に留まっていることがわかった。

以上から、現時点での鉄筋腐食は、コンクリートの変状によるものであり、効率的な施設の延命を図るため、鉄筋腐食に影響がある変状を抽出し補修することとした。

### 3. 平成27年度調査内容と結果

#### (1) 調査内容

港内側の高欄部高欄、高欄部地覆、支柱部、床版部、梁部、胸壁部の全24ブロックを対象として現況調査を実施した。その調査内容の概要を表-1に示す。

詳細目視調査並びに鉄筋かぶり深さ調査は全24ブロック、鉄筋腐食調査並びに塩化物イオン濃度試験は代表的な4ブロック(No. 1, 2, 15, 21)を対象とし、施設港内側の外観、鉄筋かぶり部分の塩化物イオンの状況、鉄筋の腐食程度について確認した。各調査の測線については、間隔を床版部外面と同様に約2mとし、断面方向の測線は9測線を設定した(図-2 赤文字の測線)。一方、延長方向の測線については、床版部外面の調査結果において、延長方向のかぶり深さのばらつきが評価に影響がない程度であることが確認されたことから、調査を効率的に進めるために1ブロックで3測線とし、代表ブロックでは9測線とした。

#### (2) 調査結果

##### a) 詳細目視調査(床版部内面、梁部、胸壁部内面)

詳細目視調査の結果、ドーム港内側で確認された主な変状は表-2に示す①~⑫である。

発生している変状の種類、発生量はスパン毎に大きな差は確認されなかった。変状スケッチを図-3,4に示す。鉄筋露出、錆汁、浮き、エフロレッセンス等は点在して

表-1 平成27年度調査内容と実施ブロック

調査内容	調査方法	実施ブロック
詳細目視調査	変状の形状や発生状況を詳細に把握。	全24ブロック
鉄筋かぶり深さ調査	電磁波レーダーで実施。	全24ブロック※
鉄筋腐食調査	自然電位法で実施。	代表4ブロック
塩化物イオン濃度試験	コア採取およびドリル法にて実施。	代表4ブロック

※代表4ブロックは9測線、代表以外のブロックは3測線で実施

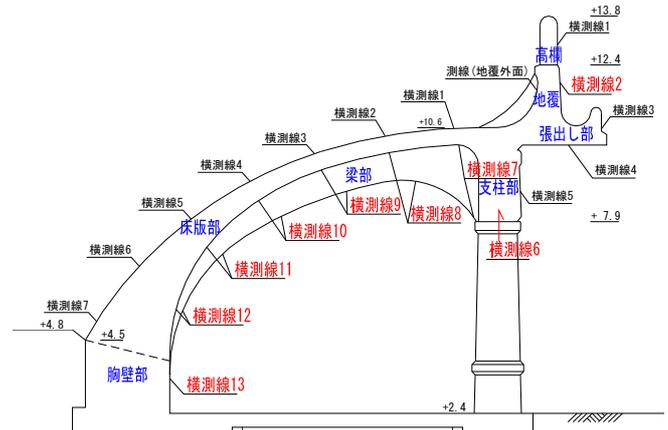
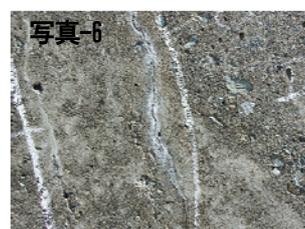


図-2 断面方向の調査測線図

表-2 変状一覧

変 状	
①スケーリング	⑦鉄筋露出 (写真-5)
②豆板B(中度の豆板)	⑧ひび割れ (写真-6)
③補修跡	⑨コールドジョイント (写真-7)
④欠損 (写真-2)	⑩エフロレッセンス (写真-6)
⑤浮き (写真-3)	⑪目地劣化 (写真-2)
⑥錆汁 (写真-4)	⑫漏水跡



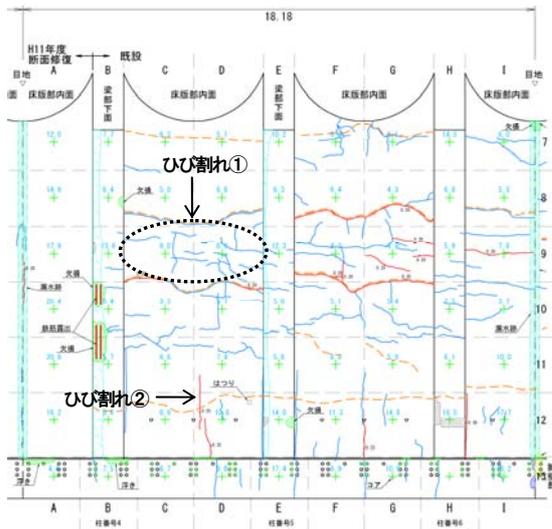


図-3 変状スケッチ(床版部内面, 梁部, 胸壁部内面)

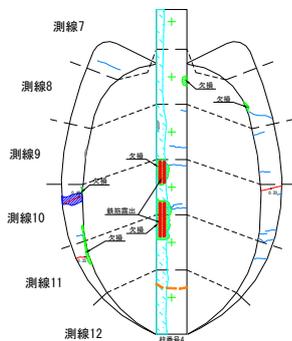


図-4 変状スケッチ(梁部下面, 梁部側面)

いる状況であったが、これらは鉄筋かぶり部分のコンクリートの剥落や鉄筋耐力の低下に直結するので、早急な対策が必要であると考えられる。なお、当該部位の変状のうち、発生量が多く代表的な変状といえるのは、ひび割れおよびコールドジョイントであった。そのうち、床版部内面のひび割れは、以下の2パターンに分類できる。ひび割れ①：床版全体に縦横方向に発生しているひび割れ。

発生原因：コンクリートが乾燥を受け、硬化体中の水分が逸散し、収縮する際に生じる引張応力により発生（乾燥収縮ひび割れ）。

評価：ひび割れは表層部のみで鉄筋位置に達していないため、鉄筋耐力低下への影響は小さい。

ひび割れ②：測線 11～12 付近に発生している縦方向のひび割れ。

発生原因：コンクリート打設直後の部材が温度低下する際に発生する収縮が胸壁部に拘束され、部材に生じる引張応力により発生（温度ひび割れ）。

評価：幅 0.2mm 以上が多く、部材を貫通している可能性が高いため、鉄筋耐力低下への影響が大きい。

当該部位では、ひび割れ及びコールドジョイントに沿った錆汁やエフロレッセンスは少なかった。これは、構造物内面であることが、海水の塩化物イオンの供給、直

射日光や雨水の影響を回避できるなど、他の部位と比較して環境条件が穏やかであることが要因であると推察される。この結果から、当該部位においては、ひび割れ及びコールドジョイントが鉄筋耐力の低下に関し、影響の程度が小さいといえる。

b) 詳細目視調査 (高欄部, 張出し部, 支柱部)

高欄部高欄で確認された主な変状は錆汁の発生であった。高欄は構造が複雑で鉄筋かぶりを確保できない部分があったことから、錆汁の発生は構造的な問題であり、現在錆汁が発生していない箇所についても、今後発生する可能性が高いといえる。

張出し部および支柱部で確認された変状は浮きであった。張出し部では No. 1 および No. 24 ブロックで特に発生面積が多く、支柱部に点在していた。張出し部下面は剥落防止工が設置されているため、浮き発生箇所が剥落する可能性は低いことから、対策は発生面積が多いブロックでのみ対策を行うこととした。

目地部はすべての目地材が劣化し防水性能を失っている状況であった。目地部からの漏水は、変状の原因となり対策箇所の再劣化を助長することから、すべての箇所において対策を行うこととした。

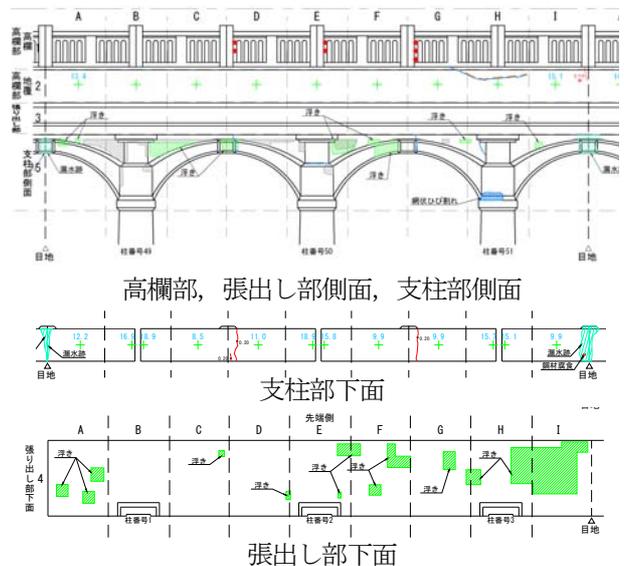


図-5 変状スケッチ(高欄部, 張出し部, 支柱部)

c) 鉄筋かぶり深さ調査

調査の結果、大部分の箇所では配筋図から読み取った鉄筋かぶり深さ(配筋図かぶり)を上回っていた(梁部は配筋図かぶりが不明)。各部位のかぶり深さの分布状況を図-6に示す。かぶり深さの分布は正規分布となる場合が多く、当該調査においても測定点数が多い床版部内面や支柱部下面がそれに近い。この傾向から、各部位のかぶり深さは配筋図で示されたかぶりを十分確保し施工されていると判断できる。

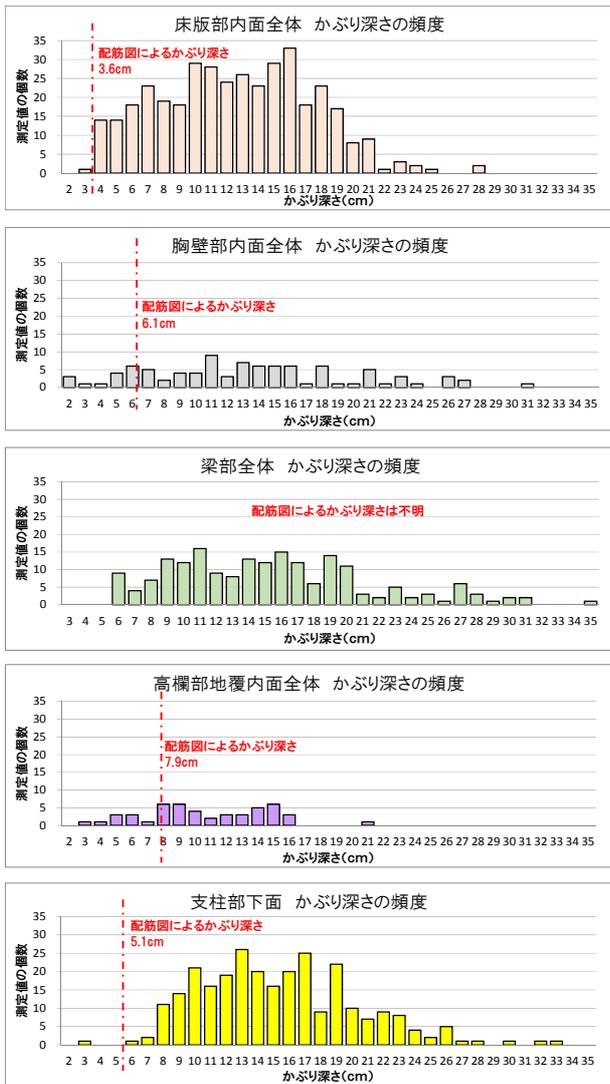


図-6 かぶり深さ調査結果

d) 鉄筋腐食調査

自然電位測定により、代表ブロックで調査した結果を以下の評価基準の3分類に整理した。

- ・「90%以上の確率で腐食あり(測定値  $E \leq -350\text{mV}$ )」<sup>1)</sup>
- ・「不確定 ( $-350\text{mV} < \text{測定値} E \leq -200\text{mV}$ )」<sup>1)</sup>
- ・「90%以上の確率で腐食なし(測定値  $E > -200\text{mV}$ )」<sup>1)</sup>

各部位の調査結果を図-7に、自然電位の評価基準毎の測点数の割合を図-8に示す。最も鉄筋腐食が発生していたのは高欄部地覆 (36測点) で「 $E \leq -350\text{mV}$ 」が6%、「 $-350\text{mV} < E \leq -200\text{mV}$ 」が61%であった。高欄部は施設上部に位置し、突起状の構造であるため、飛来塩分による塩化物イオンの供給が最も多いことが要因の一つと考えられる。一方、最も測点数が多い床版部内面 (216測点) では「 $E > -200\text{mV}$ 」が99%であり、鉄筋腐食の可能性はほとんどない。また胸壁部内面および支柱部下面は、「 $-350\text{mV} < E \leq -200\text{mV}$ 」が19%、13%と同程度であった。鉄筋腐食の発生分布は、高欄部地覆においては全面で、その他の部位ではブロックNo. 1が比較的鉄筋腐食の傾向が高いことが確認された。これはブロックNo. 1側 (陸側) が

ブロックNo. 24側 (沖側) の様に壁が設置されていないため、風により飛来塩分が供給されやすいためであることが推察される (写真-8)。



写真-8 北防波堤ドームの施設端部

コンクリート表面をはつり、内部鉄筋の目視確認を行った結果、「 $-350\text{mV} < E \leq -200\text{mV}$ 」では鉄筋の断面欠損が確認された。そのため鉄筋腐食の評価が不確定とされる「 $-350\text{mV} < E \leq -200\text{mV}$ 」においても、当該部位では鉄筋腐食が進んでいることを確認できた (写真-9)。

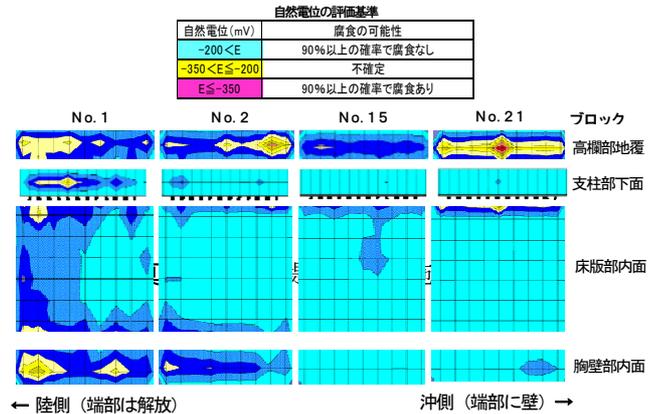


図-7 自然電位測定結果 (カウンター図)

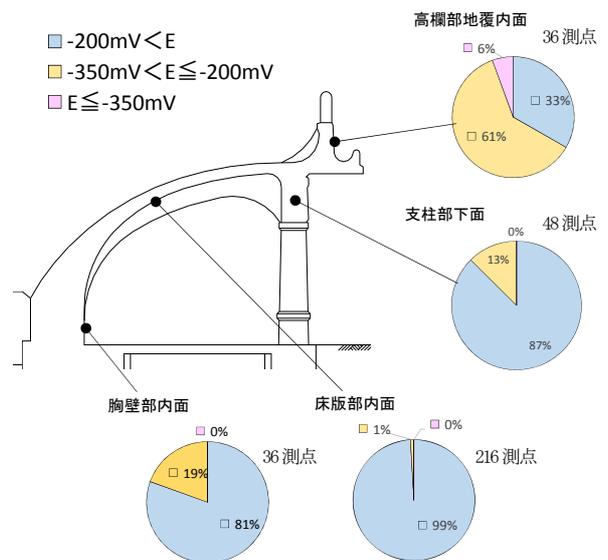


図-8 自然電位の評価基準毎の発生数の割合

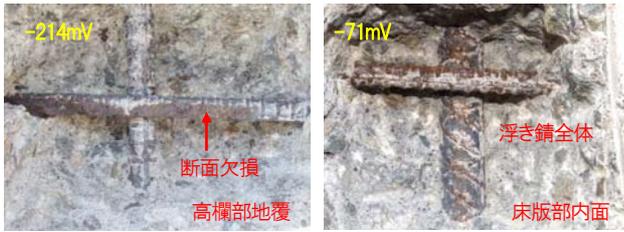


写真-9 はつり調査結果

e) 塩化物イオン濃度試験

塩化物イオン濃度試験は床版部内面、床版部内面(断面修復面)および胸壁部内面において実施した。試験の結果、胸壁部の1試料で鉄筋位置(かぶり深さ6.1mm)で鉄筋腐食限界濃度の基準値3.2kg/m<sup>3</sup>を上回った。試験結果を図-9に示す。試験結果を基に各部の塩化物イオンの見かけの拡散係数を算出したところ、胸壁部内面が最も大きく、次いで床版部内面、床版部内面(断面修復面)の順となった。なお、鉄筋腐食限界濃度の基準値3.2kg/m<sup>3</sup>は、本施設独自の基準値であり、床版部外面での調査結果から設定した。

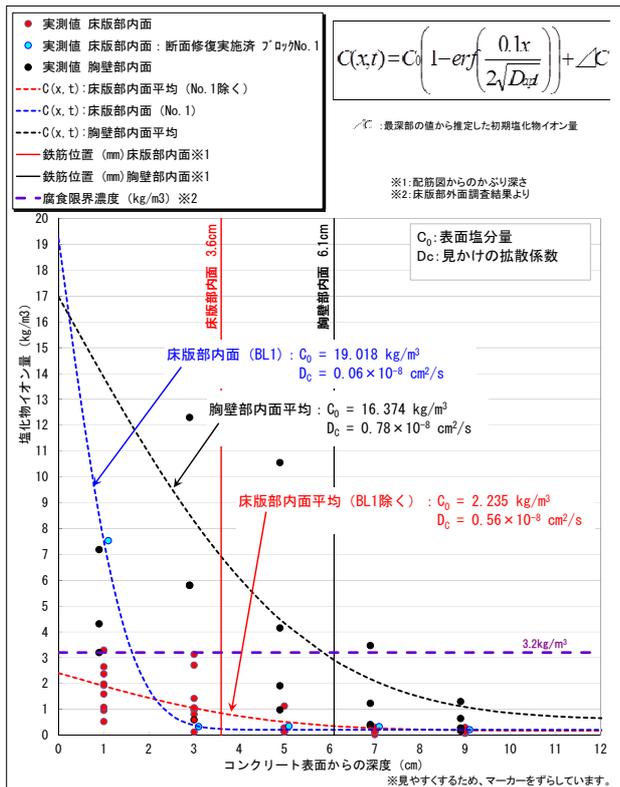


図-9 塩化物イオン濃度試験結果

f) 劣化進行予測

床版部内面および胸壁部内面を対象に、塩化物イオンの見かけの拡散係数および鉄筋かぶり深さによる劣化進行予測を実施した。本予測は調査実施後50年を経過するまで行った。予測結果を図-10、図-11に示す。図-10は鉄筋かぶり深さが9cmであるため、50年後の鉄筋位置におけるかぶり部分のコンクリートの塩化物イオン濃度が

鉄筋腐食限界3.2kg/m<sup>3</sup>を上回っている。他方、図-11はかぶり深さが10cmであることから、下回っている。この結果から、50年後鉄筋位置における塩化物イオン濃度が鉄筋腐食限界3.2kg/m<sup>3</sup>に到達することを防ぐためには、かぶり深さが10cm以上必要であることがいえる。

各ブロックの50年後の劣化進行予測結果をとりまとめたものを図-12に示す。現況のまま放置すると、50年後には胸壁部11ブロックの塩化物イオン濃度が腐食限界に達し、鉄筋が腐食環境にさらされるため、老朽化対策が必要となることを確認できた。

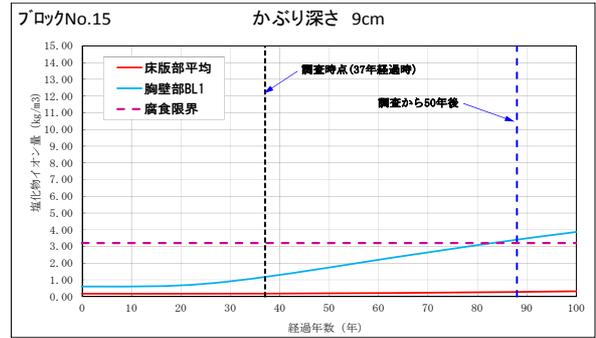


図-10 劣化進行予測 (50年後鉄筋腐食あり)

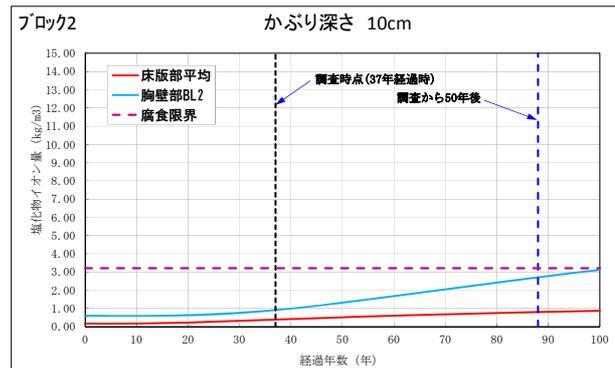


図-11 劣化進行予測 (50年後鉄筋腐食なし)

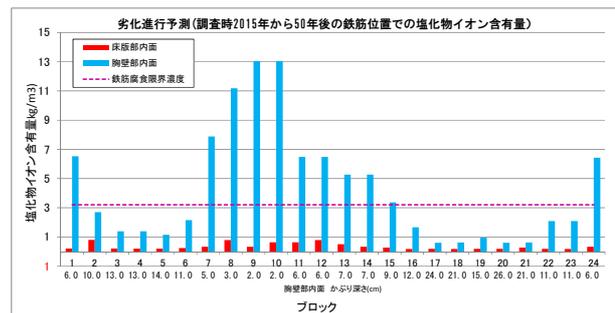


図-12 劣化進行予測 (全ブロック)

3. 調査結果のまとめ

(1) 詳細目視調査

外観から把握できる各ブロックの変状に大きな違いはない。鉄筋腐食など安全性や鉄筋耐力に影響がある変状については早急な対策が必要である。床版部内面や梁部

の主要な変状であるひび割れ等については、鉄筋耐力への影響が小さいと考えられるため、当面は対策を行う必要はないものと推察する。一方、目地部は防水性能を失っているため、変状の進展および再劣化を予防する観点から対策を行う必要がある。

#### (2) 鉄筋かぶり深さ調査

配筋図の鉄筋かぶりを下回る箇所は局部的であり、概ね鉄筋かぶり深さが確保されている。

#### (3) 鉄筋腐食調査

はつり調査により、自然電位測定の評価基準における「不確定：(-350mV < 測定値E ≤ -200mV)」と評価された箇所は、鉄筋が腐食している可能性が高いことが確認された。これより、高欄部地覆では鉄筋腐食の可能性が高い箇所は67%に及ぶ。また、施設端部が解放されているブロックNo. 1側（陸側）がより鉄筋腐食の傾向が高いことが確認された。

#### (4) 塩化物イオン濃度試験

鉄筋位置において鉄筋腐食限界濃度3.2kg/m<sup>3</sup>を超えるものは、胸壁部内面の1カ所であった。

#### (5) 劣化進行予測

塩化物イオンの見かけの拡散係数およびかぶり深さにより劣化進行予測が可能な部位のうち、50年後に対策が必要となる箇所は、胸壁部内面の11ブロックであった。

## 4. 考察

床版部外面の詳細調査では、鉄筋腐食の主な要因は鉄筋かぶり部のコンクリートの変状であった。一方、複数の部材で構成される内面では、部材毎に鉄筋腐食状況や鉄筋かぶり部のコンクリートの変状程度が異なった。これは高欄部地覆や支柱部のように気象条件等の影響を受けやすい箇所か、床版部内面のように影響をほとんど受けない箇所か等の、常時置かれている環境の違いが影響しているものと推察される。港湾の施設の維持管理計画策定ガイドラインでは、港湾施設の維持管理計画の策定に際し、部材毎に自然条件や利用状況等の諸条件を踏まえ、維持管理レベルを設定することとされている。本施設のような特殊な構造でかつ、市民や観光客に日常利用される様な安全性や美観への配慮が特に必要な施設であっても、これら詳細調査等を考慮することで適切な維持管理を行うことが可能であるものとする。

**謝辞：**本論文を作成するにあたり、「稚内港北防波堤ドーム技術検討委員会」の委員長である北海道大学大学院工学研究院の横田弘教授をはじめとする各委員には技術的助言を頂いた。また、一般社団法人 寒地港湾技術研究センター及び日本データサービス株式会社にはデータ作成でご協力を頂いた。ご協力を頂いた皆様に、この場を借りて謝意を表したい。

#### 参考文献

1) ASTM C876 : Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing in Concrete