

稚内港北防波堤ドームの劣化度評価および補修計画の立案

Structural assessment and repair strategy of Wakkanai Port North Breakwater Dome

北海道開発局港湾空港部 正 員 上田裕章 (Hiroaki Ueda)
 北海道開発局稚内開発建設部 ○正 員 吉田勝則 (Katsunori Yoshida)
 北海道大学大学院工学研究院 フェロー 横田 弘 (Hiroshi Yokota)
 北海道大学大学院工学研究院 正 員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)

1. まえがき

稚内港北防波堤ドーム（図-1，延長 427.6m）は，昭和 11 年に竣工し，昭和 53～56 年に地中梁から上部をすべて更新する全面改修が行われた．その後，阪神淡路大震災を受けて耐震性の見直しがなされ，平成 11～14 年には柱部の耐震補強を中心とした改修が実施されている．

しかし，全面改修から既に 34 年が経過して劣化が進み，平成 24 年には銘板が落下するなど第三者被害にもつながりかねない事態が発生した．また，本施設は土木学会選奨土木遺産および北海道遺産に選定され，稚内市の重要な観光拠点にもなっていることから，美観にも配慮した補修が必要である．これらのことから，構造物の劣化状況の詳細調査と評価，優先度を考慮した適切な補修計画の立案が喫緊の課題となった．本報文では，構造物の劣化状況の詳細調査の結果とそれに基づく補修計画の検討結果を報告する．

2. 調査内容と結果

2.1 調査項目と方法

北防波堤ドームの床版外面，胸壁外面とこれらの内面では劣化状況が異なることから，現況評価と補修検討は外面と内面（図-2 の赤字部材）に分けて，防波堤法線方向のブロックごと（Nos.1～24）に実施した．調査内容を表-1 に示す．鉄筋かぶりと鉄筋の腐食程度を推定する自然電位の測定は，波浪を受けている状況や塩分の飛散状況を勘案して，図-3 に示すように，標高毎に外面では 7 側線，内面では 13 測線において行った．

2.2 外面調査の結果

調査の結果，重度の豆板をはじめ全 13 種類の変状が確認され，これらは横測線 4～6 の斜面部において頻発している傾向が見られた．これは，曲線形状のため施工が困難であったことと，波浪の影響を受けやすい高さにあるためであると考えられる．また，鉄筋露出の発生原因は，かぶり不足と豆板等に起因することが確認された．図-4 に示すように，鉄筋かぶりの設計値 8.5cm を下回るブロックは No.15 が最も多く，標高別では横測線 5 において多く見られた．

鉄筋腐食調査の結果，全 1475 測点箇所のうち，ASTM 規準に基づいて鉄筋が腐食している可能性が高いと判定されたのは，全ブロックの 5%程度であった．また，その箇所にかぶりコンクリートをはつり目視確認を行ったところ，腐食が確認できたため，自然電位測定値と鉄筋腐食の整合性は確認できた．

表-1 調査内容

調査項目	調査方法
詳細目視調査	変状の形状や発生状況を詳細に把握．
鉄筋かぶり	電磁波レーダーにより，全ブロックで実施．
鉄筋腐食	自然電位法により，全ブロックで実施．
塩化物イオン濃度	コア採取及びドリル法により，環境や部材の状況を考慮して実施．



図-1 北防波堤ドーム全景

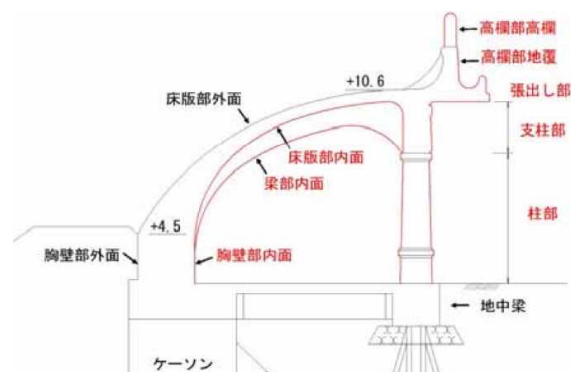


図-2 標準断面図

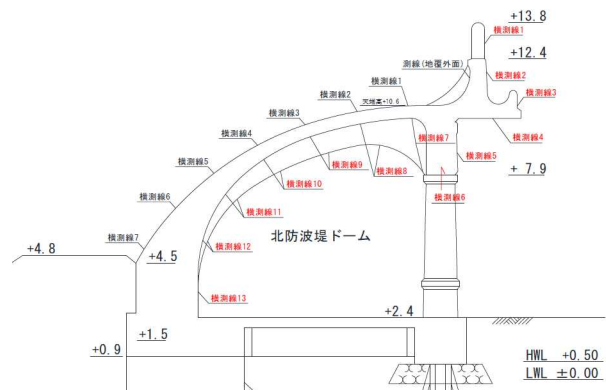


図-3 調査測線図

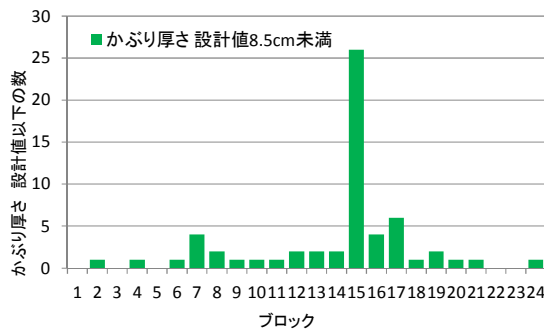


図-4 かぶりの調査結果

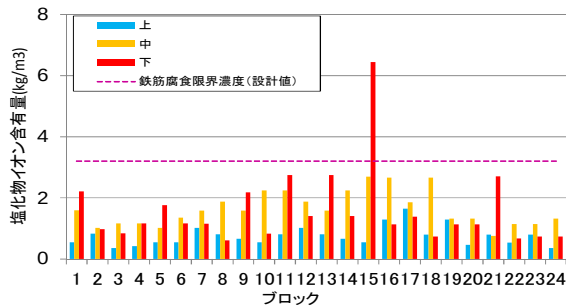


図-5 50年後の塩化物イオン量の予測結果

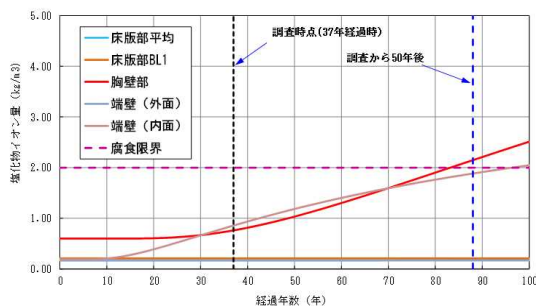


図-6 塩化物イオン量の予測結果

次に、鉄筋露出や錆汁が確認されたブロックを抽出し、全7ブロックで塩化物イオン濃度を測定した。その際、高さによる相違を把握するために、DL +10.6m, DL +9.1m, DL +5.1mで測定した。その結果、鉄筋位置（かぶり 8.5cm）では 3.2kg/m^3 を上回る値は測定されなかった。この 3.2kg/m^3 という値は、北ドーム防波堤外壁における鉄筋の腐食状況と塩化物イオン濃度との関係から、本施設独自の腐食発生限界塩化物イオン濃度として設定したものである。また、今回得られたデータに基づき、今後 50 年間の塩化物イオン量の変化を予測したところ、図-5 に示すように、ブロック No.15 で鉄筋が腐食し、老朽化対策が必要となることが分かった。

なお、コア採取を行って実施した一軸圧縮強度試験の結果コンクリート強度は設計基準強度を上回っていること、およびフェノールフタレイン法による中性化深さの測定から、中性化はほとんど進行していないことが確認された。

2.3 内面調査の結果

ひび割れをはじめ 10 種類の変状が確認され、ひび割れとコールドジョイントがそのほとんどを占めていた。また、発生数は少ないが、欠損や過年度補修箇所における浮きや錆汁を伴う変状が確認された。なお、外面での

結果とは異なり、標高による変状傾向の顕著な差異は認められなかった。鉄筋かぶりもブロック毎の顕著な違いはなく、すべてのブロックでかぶりはおおむね設計値を満足していた。

鉄筋腐食調査の結果、高欄および地覆のほとんどの測定箇所でも腐食の可能性を示す自然電位の値が得られた。これは、断面欠損が多く発生し、そこから塩分が供給され易くなっていること、図-2 に示したように、突起状の構造であることから、他方向から塩分が供給されたためであると考えられる。他の部材については、鉄筋露出箇所以外での腐食の可能性は小さいとする測定結果が得られ、打音調査でもコンクリートの浮きは確認されなかった。また、一部のはつり調査においても腐食は確認されなかったことから、現時点で不可視部分の鉄筋腐食は発生していないと判断できる。

今回得られたデータに基づき、今後 50 年間の塩化物イオン量の推移を予測したところ、胸壁部において 50 年後に鉄筋が腐食し、何らかの対策が必要となる可能性が高いことが分かった（図-6）。

表-2 劣化度評価の考え方

劣化度	耐力に対する影響度	対象となる変状	
		面的変状	線的変状
5	耐力が低下している状態	鉄筋露出	
4	耐力低下が始まる、もしくは、低下している状態	錆汁を伴う面的変状 浮き	錆汁を伴う線的変状
3	耐力を維持しているが、放置すると失われる可能性が高い状態	エフロを伴う面的変状 欠損 豆板C	エフロを伴う線的変状 ひび割れ(幅0.2mm超) コールドジョイント 肌別れ
2	耐力を維持しているが、劣化因子がコンクリート内部に侵入し易くなっている状態	骨材露出 豆板B 補修跡	ひび割れ(幅0.2mm未満)
1	変状があるが、十分な耐力を有している状態	スケーリング 豆板A	コールドジョイント 肌別れなし

注) 豆板A, B, Cの区分は文献(1)による

3. 劣化評価と補修範囲の設定

3.1 外面の評価と補修範囲

補修の方針として、予防保全の観点からの計画を行い、その際の耐用年数を 50 年間²⁾とすることとした。また、補修範囲を設定するうえで、現状で構造耐力に影響を及ぼすと考えられる変状と、補修をしない場合に今後 50 年間で構造耐力が低下する可能性が高い変状などの観点から、劣化度を 5 段階に分類した。その分類の考え方を表-2 に示す。この考え方をを用いることで、構造耐力低下の可能性のある箇所に限って補修することで、施設の延命化とライフサイクルコストの低減に寄与し、耐用年数 50 年にわたり構造耐力が保持できると言える。なお、ここで言う「構造耐力の低下」は、構造物が鉄筋コンクリート構造であることから、鉄筋の腐食が始まる時点から生じると考えている。このことから、外面では劣化度 3 以上を補修対象とすることとした。

この表-2 の考え方に従って、詳細調査で作成したスケッチ図（ブロック No.5, 図-7）を基に作成した劣化度マップを図-8 に示す。このスケッチは、 $2\text{m} \times 2\text{m}$ のメッシュで作成したため、劣化度マップも同様のメッシュで作成した。なお、劣化度 3 以上に該当する変状では、豆板などの面的に広がっている変状（面的変状）と、ひび割れなどの線的な変状（線的変状）があるのは前述のとおりである。

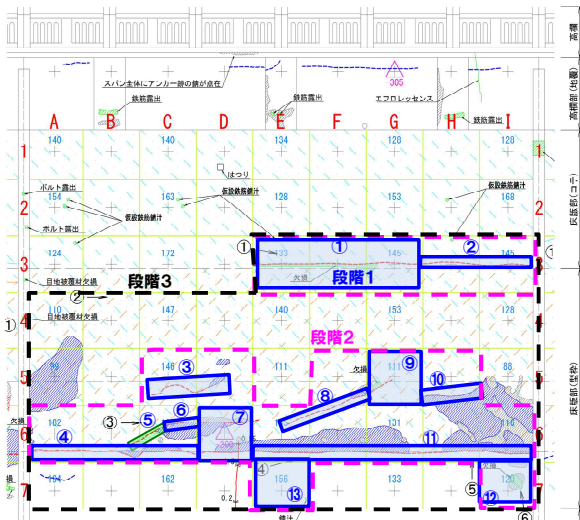


図-7 変状スケッチの一例 (ブロック No.5)

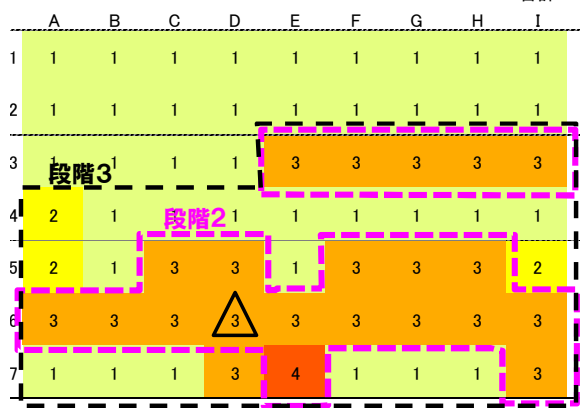


図-8 劣化度マップの一例 (ブロック No.5)

発生した変状に基づいて補修範囲を設定すると、図-7の段階1として示すとおり、補修箇所と補修を施さない箇所との境界が多くなり、施工性が悪いだけでなく、逆に構造的な弱点を作ってしまう懸念がある。また、前述のとおり、本施設は観光拠点でもあるため、パッチワーク的な補修で色彩の不統一が生じると、観光資源としての機能を損ねることになる。さらに、土木遺産・北海道遺産としての美観も保持することが重要であり、本施設は前述の構造耐力に対する評価に加えて、美観を考慮した評価、およびそれに基づいた補修範囲の設定が必要であると言える。

このことを踏まえ、補修の検討を行う単位領域を 2m×2m の面的な範囲とする(段階2)ことで、補修範囲を連続した面とすることを試みた。しかし、段階2でも補修箇所が点在するケースが認められたことから、補修箇所を全てつなげられるようにさらに範囲を広くした段階3を設定し、検討した。これら補修範囲を施設の写真にプロットし、美観に支障があるかを確認した。結果として、北防波堤ドームの外立面は、沖合を航行するフェリーや近隣の海岸線からの遠望となること、および、段階3では健全な場所も補修することになり、基本方針から外れた過大な補修となることから、段階2を補修範囲として決定した。決定に際しては、港湾管理者(稚内市)の意見を十分に反映するように努めた。

3.2 内面の評価と補修範囲

内面の基本的な補修方針は、外面と同じである。しかし、本施設は日常的に市民に利用され、内面は目に触れる機会が多いとともに、観光シーズンには観光客が頻繁に出入りしている。このような利用実態を踏まえ、外面よりも第三者被害と美観に対する評価をより厳格に行うこととした。

まず、外面と内面での置かれている環境条件を比較して、変状が今後の劣化進行や鉄筋腐食など構造耐力を支配する要因にどう影響するのかを整理し、劣化評価に反映させた。特に主要部材である床版部は、外面と比較して、水分や塩分、温度変化や波浪の影響を受けにくく、外的要因による鉄筋腐食への影響は外面よりも小さいといえる。よって、劣化度分類の考え方は外面と同じ(表-2)としたが、環境条件を考慮すると、劣化度3に該当する線の変状が構造耐力の低下に大きく影響する可能性は低いと言える。

次に、ひび割れの発生要因を分析することで、外的要因によらない理由でひび割れが進行する可能性があるかを確認した。まず、横方向のひび割れは、そのほとんどが 0.2mm 以下の微細なものであり、錆汁を伴ったものではない。また、過年度調査で得たひび割れ幅の測定値と比べても変化がない。大改修から 34 年経過した現在でも変化がないということは、コンクリートの収縮によるものと考えられ、ひび割れが今後も進行する可能性は低いと言える。一方、縦方向のひび割れは幅 0.2mm 以上のものが多く、床版とその下端で隣接している胸壁の接合部から発生していることを考えると、外部拘束による温度応力でひび割れが発生した可能性が高いと考えられる。このようなひび割れは、ひび割れ深さが深く、塩分等の劣化因子が侵入しやすい。しかし、このひび割れからも錆汁は確認されておらず、環境条件を考慮しても緊急を要するものではないが、横方向のひび割れよりは鉄筋腐食への影響は大きい。

また、土木の専門知識を有しない方の協力を得て、ひび割れ等の変状に対する印象を確認した。図-9に、確認箇所の変状の状況を示す。同図で、緑色の線で示す枠内が特にひび割れの美観等への影響を確認した範囲である。

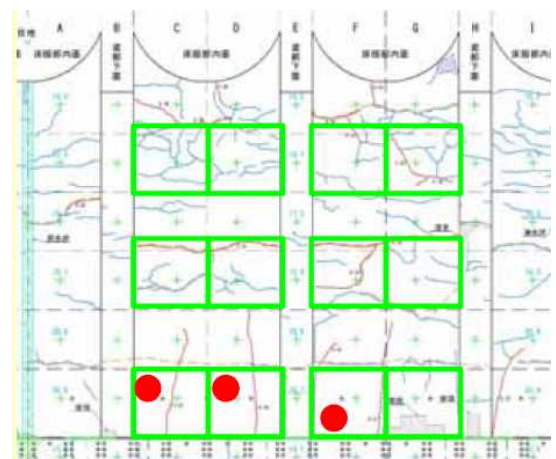


図-9 現地確認箇所の変状スケッチ (ブロック No.4)

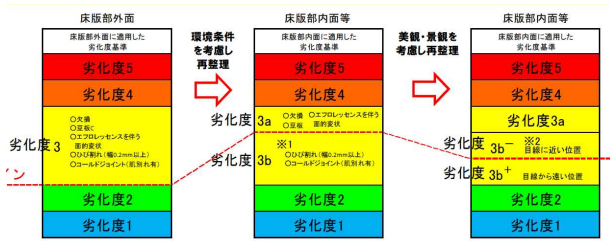


図-10 床版内面の劣化評価分類と補修実施基準

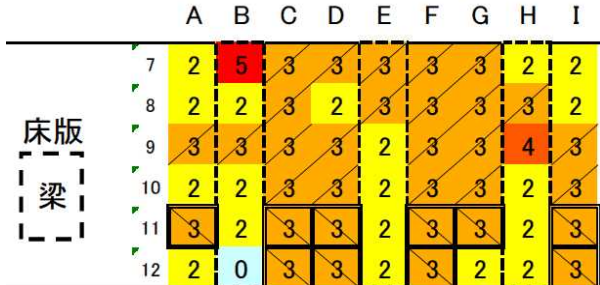


図-11 床版内面の劣化度マップ（ブロック No.4）

図-9 中の赤丸は、ひび割れが美観に影響していると感じた箇所を示している。このことから、普通の姿勢で目に入る高さに発生した縦方向のひび割れは、美観上何らかの対策が必要となると判断した。もちろん、縦方向のひび割れは、美観上のみならず構造性能への影響が存在する可能性もある。以上の検討結果と現地確認結果から、床版内面の劣化評価と補修実施の基準を図-10 に示すように整理する。

図-10 で、赤色の破線で示すのが補修要否の境界とした劣化度を示し、この線より上の劣化度と評価されれば、補修が必要であるとした。環境条件を考慮して構造耐力の観点から補修が必要である劣化度は 3b であるが、これに美観を考慮して再整理すると、変状発生位置と目線と関係によって、劣化度 3b をさらに仕分けすることとした。

図-10 の劣化評価に基づいた床版内面の劣化度マップを図-11 に示す。同図の劣化度 3 のうち二重線の部分が補修対象である。それ以外の劣化度 3 は、図-10 の劣化度 3b+に該当するため、経過観察でよいと判断した。なお、劣化度 4 と 5 の箇所は面的変状であるため、面的な補修が必要であると判断した。

胸壁では、前述のとおり、劣化予測により 50 年後に塩化物イオン量が鉄筋腐食発生限界値を超えることが予想されたため、予防保全の観点から、全延長にわたり補修を行うものと判断した。また、高欄地覆については、現時点で錆汁を伴う欠損が多く確認されており、外面と同様の環境下にあるため、胸壁と同様に全延長で補修が必要であると判断した。高欄は平成 11～14 年にプレキャスト部材に交換されていることや、現状で高欄の一部分のみで錆汁が発生していることから、錆汁発生箇所のみを補修対象とした。

支柱部では、浮きや欠損、鉄筋露出などの面的変状が多く占めており、外面と同様に連続した補修範囲となる

ように設定した。張出し部は、平成 11～14 年に剥落防止膜が設置されており、詳細調査の結果、本構造物両端のブロックで浮きが確認されたので、この 2 ブロックのみを補修対象とした。また、張出し部の上面は排水機能を有しているが、この機能が損なわれて溜水しており、目地も劣化していることから、冬季には目地部分でつららが発生し第三者への被害が危惧される。このため、張出し部上面においては全延長で排水勾配確保と目地処理を行う補修を対象とした。

北防波堤ドーム内部には柱が設けられているが、全ての柱でひび割れが発生している。このひび割れは、鉄筋に達するような深さには到達していないが、床版等を支えている重要な部材であるとともに、ひび割れが内面で重要な美観を損ねている。特に柱の外側に向けた範囲は、降雨等環境の影響を受けやすく、今後ひび割れの進行も危惧されるため、補修の必要があると判断している。具体的な補修方法については現在検討を進めているところである。

4. あとがき

本稿では、稚内港北防波堤ドームの予防保全の考えに基づく補修の考え方について述べた。北防波堤ドームのように、日常的な利用頻度が高く、観光資源ともなっており、歴史的にも価値が高いような構造物の補修にあたっては、特段の配慮が必要である。そのため、ガイドライン等³⁾で提供される一般的な劣化判定規準ではなく、構造物の特徴や性格、環境条件等を十分に考慮し、独自の判断規準が必要である。また、昨今の公共事業費の状況が厳しいなか、耐用年数を迎える社会資本が多くなってくる今後を考えると、一般的な構造物においても、本構造物で行ったような検討を行っていくことが望ましい。限られた予算の中で数多くの施設に対応すること考えると、構造物の適切な性能評価、将来予測、対策手法の選定を行っていなければならない。これらについては、まだ十分な知見の蓄積がなされているわけではないので、今後の技術開発が必要である。

本検討内容が今後、全国の港湾施設の劣化対策の検討に際して参考となれば幸いである。

本稿は、北海道開発局が設置した「稚内港北防波堤ドーム技術検討委員会（委員長：横田弘）」において検討した成果をとりまとめたものである。検討に際して、委員各位のご協力をいただいた。また、現地調査に際しては、北海道開発局稚内港湾事務所および稚内市のご協力をいただいた。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術、2015 年
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、2007 年
- 3) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン、2014 年