

稚内港北防波堤ドームの老朽化対策における柱部の試験施工について

稚内開発建設部 稚内港湾事務所 第1工務課

川口 拓也

河合 淳

日本データサービス株式会社

天野 誠

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ている歴史的構造物であるが、老朽化により各部位に種々の変状が確認され、補修が進められている。特に柱部では平成14年に耐震補強されたが、滲みを伴うひび割れが確認されたことから、美観の復元および耐久性の向上を目的とし、平成28年度から試験施工を実施してきた。本稿は、これまでの試験施工の結果及び今後の補修方針についてとりまとめたものである。

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

北防波堤ドーム（写真-1）柱部（写真-2）は、平成7年の兵庫県南部地震の発生を受け、平成11～14年に耐震補強（断面増厚、鉄筋補強）を行っている。近年、その増厚部において亀甲状のひび割れとそれに沿って色が濃い部分（滲み）が確認されたことから、平成28年度から30年度にかけて表面被覆工による試験的な補修を実施した。しかし、表面被覆工に微細なひび割れ、色むらなどの変状が確認されたことから補修工法を再検討し、令和3年度の試験施工に反映させた。本稿は、これまでの試験施工の結果及び今後の補修方針を取りまとめたものである。



写真-1 北防波堤ドーム全景



写真-2 柱部 全景

2. 平成28年度～平成30年度の試験施工の概要

(1) 試験施工の工程(平成28年度から30年度)

試験施工位置を図-1に示す。平成28年度から30年度の試験施工は、以下の工程により実施している。

a) 下処理（平成28年度未実施）

表面塗布工の付着力や施工の安定性の向上を目的として、既設コンクリート柱表面に対し以下の下処理を行った。

- ・作業 表面洗浄
- ・作業 ひび割れ擦り込み
ひび割れに微粒子セメントを擦り込み、表面被覆工の仕上りを向上。
- ・作業 ケイ酸塩系含浸材(亜硝酸リチウム含有)塗布
既設コンクリート柱表面を緻密化、表面被覆工の付着力向上。

b) 表面塗布工

ポリマーセメントモルタルを既設コンクリート表面に薄塗りし、劣化因子の浸入抑制、付着力向上、美観向上を図る。

- ・作業 刷毛塗り（薄塗り）
刷毛で塗布できる程度まで薄めたポリマーセメントモルタルを塗布。
- ・作業 コテ塗り（本塗り）
コテにより厚さ2mm程度のポリマーセメントモルタル被覆層を形成。
- ・作業 刷毛塗り（表面仕上げ）
薄めたポリマーセメントモルタルを刷毛により塗布。

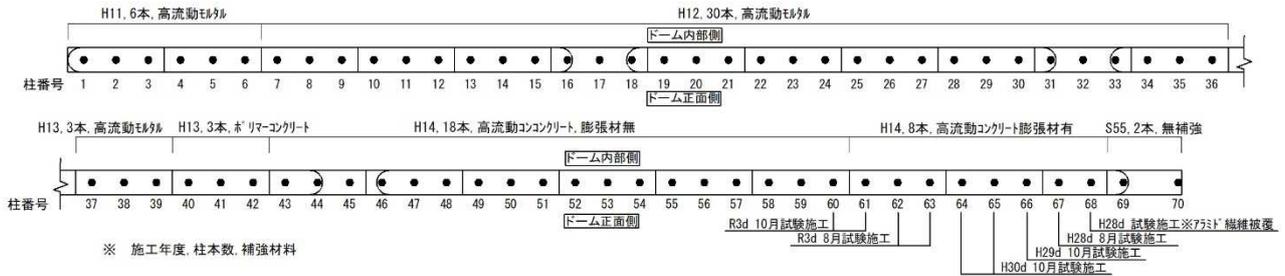


図-1 試験施工位置図

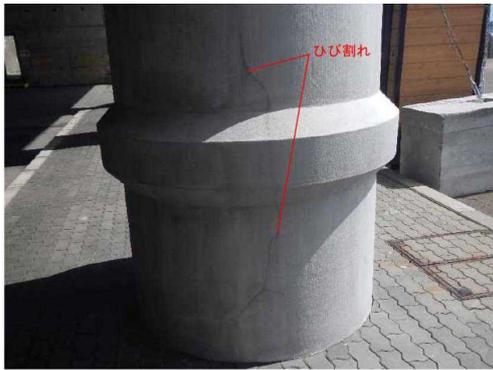


写真-3 柱部のひび割れ

c) 含浸材塗布工

表面被覆工の緻密化や耐候性の向上を図るために、表面被覆工表面にケイ酸塩系含浸材およびシラン系含浸材を塗布する。

- ・作業 ケイ酸塩系含浸材（ケイ酸カリウム系）
ポリマーセメントモルタル被覆層の緻密化。
- ・作業 シラン系含浸材（シラン・シロキサン化合物）
撥水性を向上させ表面被覆工への水分の浸透を抑制。

(2) 試験施工結果(平成 28 年度から 30 年度)

平成 28 年度から 30 年度の試験施工において確認された変状について以下に示す。

a) ひび割れ

ひび割れ（写真-3）は幅 0.1mm 未満の微細なものが多く、各柱のひび割れ数は柱 No.67（平成 28 年度施工）で確認された 7 か所が最大で、柱 No.66（平成 29 年度施工）で 3 か所、その他の柱 No.60～65（H30～R3）では確認されていない。発生原因としては、既設コンクリートのひび割れが気温の変動などでひび割れ幅が変化し、表面被覆工にもその影響が及んだ可能性が考えられる。

b) 横縞、色むら

柱 No.67（平成 28 年度施工）、柱 No.64、No.65（平成 30 年度施工）では、3 段におよぶ白色の横縞（写真-4）が確認された。また、柱 No.67 には縦方向に色むら（写真-5）が確認された。表面塗布工は仮設足場を 3 段設置し足場 1 段ごとに施工したが、横縞や色むらは各工程を足場 1 段ごとに施工したことにより、作業の中断の影響を受けた可能性や材料の水分量や湿度などのわずかな違いが影響している可能性が考えられるが、原因の特定には至っていない。

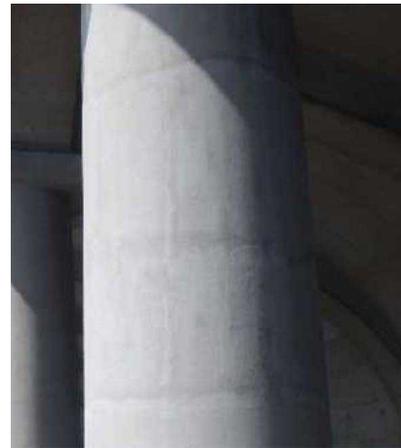


写真-4 柱部の横縞

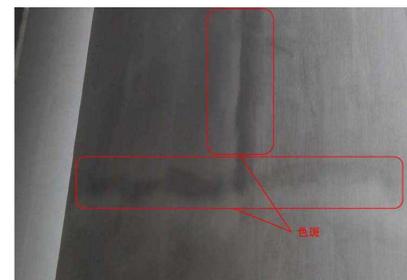


写真-5 柱部の色むら

(3) 平成 28 年度から 30 年度試験施工の整理と今後の試験施工（令和 3 年度試験施工の課題と実施方針）

令和元年 8 月にこれまでの柱部の試験施工の状況及び表面被覆工における変状の発生状況についてとりまとめ、今後の試験施工の実施方針についての検討を行った。抽出した課題以下に示す。

課題 1) 令和 3 年度の試験施工は、これまでの試験施工のうち変状が最も軽微な年度を選定し、当該年度と他年度の工法や工程の違いを明確にした上で、試験施工の工法や工程を選定する。

課題 2) 表面被覆工のひび割れと既設コンクリート柱のひび割れの関係性を明確にする必要がある。

課題 3) これまでの試験施工は 8～10 月に実施されており、気温が異なる時期に施工している。そのため、施工時期の気温の影響（変状発生や施工性等）を確認する必要がある。

課題 4) 表面被覆工のひび割れと既設コンクリート柱のひび割れに関係性がある場合は、既設のひび割れ幅の変

化（増減）に影響されている可能性があるため、ひび割れ幅の変化の影響を低減する対策を行う必要がある。

上記課題に対する対応方針を以下に示す。

方針1) 令和3年度の試験施工は、表面被覆工の外観状況が最も良好な平成29年度施工の仕様、作業工程で実施することを基本とする。また、平成29年度工法と他年度の工法の違いは「下処理の作業 含浸材塗布工：ケイ酸塩系含浸材（亜硝酸リチウム含有）塗布」の有無であり、下処理のケイ酸塩系含浸材（亜硝酸リチウム含有）の効果を確認するため、ケイ酸塩系含浸材の施工の有無による比較検討を行う。

方針2) 表面被覆工のひび割れと既設コンクリートのひび割れの関係性を確認するために詳細調査を実施し、既設コンクリートのひび割れの発生状況を正確に把握する。

方針3) 気温が異なる時期におけるひび割れの発生状況や施工性についての検証するため、令和3年度の試験施工は8月、10月に実施し比較検討を行う。

方針4) 表面被覆工のひび割れ防止を目的に、既設コンクリートに発生している幅0.2mm以上のひび割れに対しひび割れ注入を実施する。

3. 令和3年度の試験施工の内容と結果

(1) 試験施工の工程（方針1および方針4）

令和3年度試験施工は、柱No.60から柱No.63の4本とし、平成29年度と同様の「2.(1)試験施工の工程」に示す内容とした。また、既設コンクリート柱のひび割れの影響による表面被覆工のひび割れの発生を防止するため、下処理の作業と作業の間に、幅0.2mm以上のひび割れに対し、超微粒子無機系注入材による注入を行った。さらに、下処理の含浸材塗布の効果の検証を行うため、令和3年度試験施工の対象柱全4本のうち2本（柱No.61、No.62）には下処理の作業（ケイ酸塩系含浸材塗布）を実施せず、表面被覆工の変状の発生状況について作業を実施した柱との比較を行った。各年度の試験施工の内容を表-1に示す。

表-1 柱部補修 試験施工の内容

| 施工年度 | | 実施作業 | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|----|-----|----|----|----|
| | | H28d | H29d | H30d | | R3d | | | |
| 柱No. | | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 |
| 下処理 | 表面洗浄 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ひび割れ 擦り込み | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ひび割れ 注入 | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 含浸材塗布 | | ○ | | | ○ | | | ○ |
| 塗布面工 | 刷毛塗り | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | コテ塗り | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 刷毛塗り | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 塗布含浸材 | ケイ酸塩系 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | シラン系 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

(2) 柱部既設コンクリートのひび割れの把握（柱部ひび割れの詳細目視調査）（方針2）

表面被覆工でのひび割れと既設コンクリート柱ひび割れの関係性を把握するため、試験施工前に既設コンクリート柱のひび割れ発生状況を正確に把握する詳細目視調査を実施した。

a) 調査方法

作業1) ひび割れの高画質撮影

ひび割れの高画質撮影は、撮影距離を1.5m程度に維持して撮影を行った。高さ方向の撮影間隔を約0.25mとし柱高さ4.7mで20ショットに設定した。円周方向の撮影は6方向（60度間隔）とした（図-2）。

作業2) 高画質展開写真の作成

柱全体の写真をつなぎ合わせた3Dモデル写真を作成
3Dモデル写真を180°の位置で切開し展開写真を作成

作業3) 高画質展開写真からひび割れを抽出

ひび割れの抽出は高画質展開写真をCADソフト上に取り込み、目視にてひび割れをなぞり実施した。

なお、2種類の自動ひび割れ読み取りソフトにより自動ひび割れ抽出を試行したが、ひび割れの抽出及びひび割れ幅の読み取りのいずれも精度が低く採用できなかった。この原因としては、ひび割れに沿って発生している滲みであることが考えられる。

作業4) ひび割れ詳細図の作成

抽出したひび割れについてCADソフトを使用してひび割れ詳細図を作成した。

b) 調査結果

ひび割れ詳細図を基にひび割れ幅0.2mm以上と未滿に区分しそれぞれの長さを集計した。調査結果を以下に示す。

- 1) ひび割れは柱部全体に認められ網状に発生していた。
- 2) ひび割れ幅は最大0.35mm 最小0.1mm 未滿であった。
- 3) ひび割れ長さの内訳は、ひび割れ幅0.2mm以上が11.7%、0.2mm未滿が88.29%であった。
- 4) ひび割れの周囲には滲みがあり、黒く濃い色になっていた。

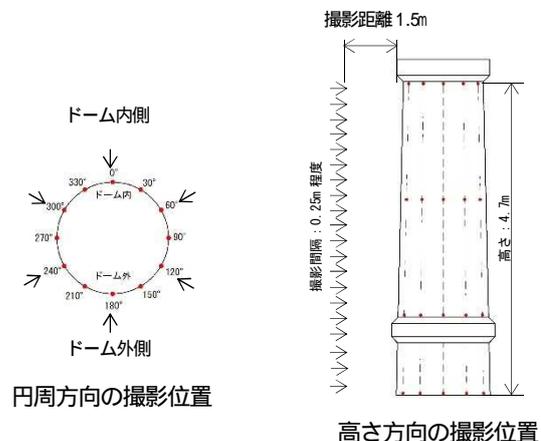


図-2 柱部 詳細目視調査 撮影方向

5)建設後（柱部耐震補強後）19年経過しているが、ひび割れ以外の変状（錆汁、浮き、欠損、剥落）は発生していない。

(3)令和3年度試験施工の実施時期の気象条件（方針3）

令和3年度の試験施工は、施工時の気象条件により表面被覆工に変状が生じる可能性が考えられることから、施工時期を夏季（8月）と秋季（10月）に分けて実施し、変状の発生状況を経過観察するものとした。各施工時期の気象データ（気温、相対湿度、降水量：アメダスデータ〔稚内〕より）をグラフ化し各工程を記載したものを図-4、図-5に、気象データを取りまとめものを表-2に示す。

表-2 令和3年度試験施工時の気温・相対湿度・降水量

| 施工実施時期 | 実施工程 | 気温 (°C) | | | 相対湿度 (%) | | 降水量 (mm) |
|-----------|--------------------|---------|------|-----|----------|----|----------|
| | | 最高 | 最低 | 気温差 | 最高 | 最低 | |
| 8月 夏季 | 8/23~8/24 下処理 | 23.7 | 17.5 | 6.2 | 100 | 71 | 0 |
| | 8/25~8/27 表面被覆工 | 23.7 | 18.3 | 5.4 | 95 | 71 | 0.5 |
| | 9/6~9/8 含浸材塗布工 | 22.9 | 16.3 | 6.6 | 95 | 53 | 0 |
| 10月 秋季 | 10/18~10/19 下処理 | 8.8 | 5 | 3.8 | 89 | 39 | 3 |
| | 10/19~10/21 表面被覆工 | 9.3 | 4.6 | 4.7 | 93 | 79 | 3 |
| | 10/29~10/30 含浸材塗布工 | 11.8 | 4.2 | 7.6 | 90 | 51 | 0 |

a)気温

8月の試験施工では最高23.7、最低16.3と7.4の気温差が生じている。一方10月では最高11.8、最低4.2 気温差7.6となり、夏季と秋季では気温は12程度の違いがあるが、各時期の昼夜の気温差にはほとんど違いがない。また過去10年の平均気温は、8月が最高26.4 最低13.7 気温差12.7 10月が最高16.7 最低3.6 気温差13.1 であることから、本試験施工期間の気温は例年より変化が小さかった。施工性においても変状の発生においても気温変化が小さいほうが優位であるため、例年より優位な施工条件であったと言える。

b)相対湿度

8月の試験施工では最高100%、最低53%と47ポイントが高いのは降雨の影響である。一方10月では最高93%、最低39%と54ポイントの差となった。夏季の相対湿度が高いことは既知であるが、10月の試験施工時期の相対湿度が高いのは降雨の影響である。

c)降水量

8月の試験施工では8/26に0.5mmの降水量があった程度である。一方10月では10/19から10/22まで最大3mm程度の降雨が継続した。

なお、上記の気象条件の違いによる施工性への影響に関しては、特筆する違いは確認されなかった。

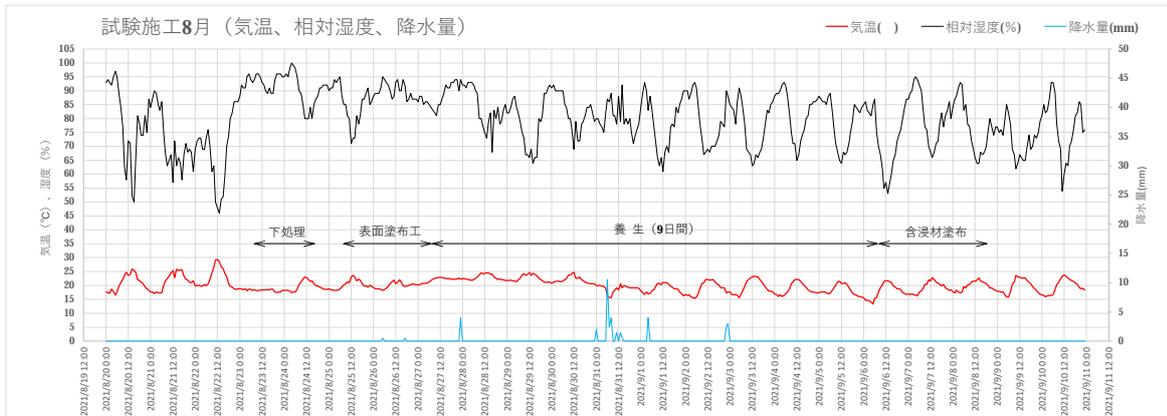


図-4 令和3年度試験施工時の気温・相対湿度・降水量の推移：8月度



図-5 令和3年度試験施工時の気温・相対湿度・降水量の推移：10月度

(4)令和3年度試験施工結果

a)表面被覆工の外観状況

令和3年12月においては、ひび割れ、横縞、色むら、気泡跡は発生しておらず、8月施工の柱No.62、No.63にのみ白色の垂れ跡（写真-6）が確認されている。このため、現時点において施工時期の違いによる明確な変状の発生状況の違いは確認されなかった。

b)垂れ跡（白）

8月施工の柱No.62、柱No.63には、表面被覆工の全面において白色の垂れ跡が確認された（写真-6）。これは、表面含浸工が完了した9月上旬には認められなかったが、9月下旬に確認されたものである。発生原因は不明であるが、表面含浸材のケイ酸塩系含浸材の余剰分（ケイ酸カルシウム）が表面に析出し白華したものと仮定し、10月施工ではケイ酸塩系含浸材施工後に噴霧器により余剰分を洗い流したのちシラン系含浸材を塗布した。その結果、10月施工分については白い垂れ跡は認められないことから、一定の成果を得られたものと判断した。ただし8月施工と同様の施工を行った平成29年度施工には白い垂れ跡が発生していないことから、他に発生原因がある可能性も考えられる。

c)下処理のケイ酸塩系含浸材（亜硝酸リチウム含有）の試験施工

令和3年度試験施工対象の柱No.60～柱No.63の4本のうちケイ酸塩系含浸材の試験施工は、ひび割れ幅0.2mm以上のひび割れ長さが最長の柱No.60と、最短の柱No.63を選定し実施した。これはひび割れ幅が大きいものほど表面被覆工への影響が大きいと考え、この違いを明確にするために選定した。現時点では施工の有無による外観状況の違いは認められないことから、今後も変状の発生状況を観察していく必要がある。

(5)今後の対応

これまでの試験施工における変状は施工直後もしくは翌年の試験施工時には確認され、それ以上の進展は軽微である場合が多い。このため、経過観察期間を2年とすればその後に致命的な変状が発生する可能性が低いことから、試験施工に対する評価を行えるものと判断した。

以上のことから令和3年度試験施工の経過観察期間は2年間とし、令和5年度に試験施工の再評価を行う。



写真-6 柱部の垂れ跡（白）

再評価の結果、表面被覆工の変状が現状と変化がない場合は、令和3年度試験施工の工法、工程で本施工を行う。ただし、含浸材塗布工のケイ酸塩系は現設計の数量では余剰している可能性があるため、適正な塗布量を検討する。

本施工にあつては、詳細目視調査は、ひび割れ注入を行う必要がある幅0.2mm以上のひび割れを把握するために実施する。

また、下処理の含浸材塗布工は、外観への影響が認められないが、施工の目的が表面塗布工の付着力の向上であるため、今後も実施するものとする。

4. まとめ

- ・ひび割れについては、平成30年度以降の試験施工では確認されていないが、ひび割れの発生原因が特定できていないため、今後も経過観察を行う。
- ・横縞、色むらについては施工に起因する可能性が高いが発生原因の特定には至らなかった。しかし色むら等は景観への影響が大きいことから、これまでに確認した色むら低減に寄与する施工条件を整理し、色むら等の発生を低減させる必要がある。
- ・垂れ跡（白）は含浸材塗布工のケイ酸塩系含浸材の余剰が影響している可能性が高いため、適正な塗布量を検討する。
- ・既設コンクリート柱1本に発生したひび割れのうち、ひび割れ注入の対象となる幅0.2mm以上は平均11.7%であった。
- ・8月施工と10月施工では、気温差が13程度確認されたが、施工性への影響や外観の変状の違いは令和4年12月時点では認められないが、今後も経過観察が必要である。

謝辞：本稿の執筆にあたり、一般財団法人沿岸技術研究センター参与の横田弘氏には技術的助言を頂いた。この場を借りて謝意を表したい。

参考文献

- 1) 長谷一矢/横田 弘/佐藤 靖彦：劣化度マップを活用した稚内港北防波堤ドームの予防保全型維持管理：土木学会論文集E2（材料・コンクリート構造）Vol.76, No.4, 270-282, 2020
- 2) 吉田勝則/本間 薫/渥美洋一：稚内港北防波堤ドーム床版部の現況調査結果 全面改修後30年が経過した土木遺産：第56回北海道開発技術研究発表論文
- 3) 吉田勝則/佐伯研/天野誠：稚内港北防波堤ドームの現況調査結果（続報）—全面改修後約40年が経過した土木遺産—：第59回北海道開発技術研究発表論文