

河川コンクリート構造物の凍害劣化補修に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 24

担当チーム：耐寒材料チーム

研究担当者：田口史雄、内藤 勲

【要旨】

河川コンクリート構造物の劣化・損傷の補修対策として、断面修復や表面被覆等が実施されているが、積雪寒冷地においては、補修後、凍害によって再劣化が生じている事例が見受けられる。その背景として、河川コンクリート構造物の凍害劣化に対して適切に補修がされていないことがあげられる。今後、多くの樋門が老朽化を迎え、維持・更新費が増大することが懸念されるため、出来るだけ再劣化が生じない適切な凍害劣化対策を実施する必要がある。本研究では、樋門コンクリート構造物の調査により、環境条件と凍害劣化の関係を把握するとともに、再劣化原因等を調査・分析して、樋門コンクリート構造物の凍害劣化事例集を作成し、樋門コンクリート構造物の形状検討等を含めた凍害に対する劣化防止策を提案した。

キーワード：樋門コンクリート構造物、老朽化、再劣化、凍害劣化、劣化防止

1. はじめに

積雪寒冷地の樋門コンクリート構造物（以下、樋門）は、凍害の影響を受ける厳しい環境にある。凍害等によって劣化したコンクリート部分は、多くの場合、断面修復による復旧や表面被覆を実施しているが、再度、早期に凍害による劣化が生じている事例も現場から多く報告されている。その背景として、樋門に対する凍害劣化対策が十分に検討されていないこともある。凍害劣化部の補修範囲を簡単、明確に診断できる手法がまだ十分に確立されていないことや積雪寒冷環境における補修後の耐久性が不明確であることも一因としてあげられる。

水害防止等の重要な構造物である樋門は、河川改修などにより数多く建設されているが、近年、老朽化を迎える樋門が年々増加しており、今後更に、補修や改築などの対策費用等の増大が懸念される。このことから本研究では、ライフサイクルコスト縮減に資する樋門の適切な凍害劣化防止対策を提案することを目的として、現地調査や室内実験によって、樋門における環境条件と凍害劣化との関係の把握、補修後の再劣化に関する検討、補修材料の適用性や持続性などに関する検討を行った¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。これらの調査・試験結果から、樋門特有の凍害劣化形態や再劣化事例を整理した事例集を作成し、これに対応した樋門操作台の形状検討も含めた凍害に対する劣化防止策の提案を行った。さらに、提案した劣化防止策を実際の樋門補修工事に試験適用している⁶⁾⁷⁾。

2. 環境条件と凍害劣化

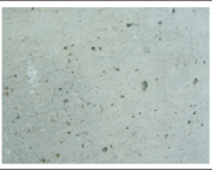

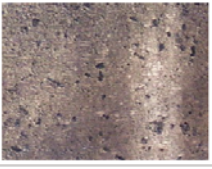
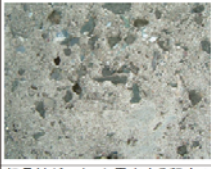


2.1 樋門の凍害劣化評価

積雪寒冷地の樋門の凍害劣化状況を把握するため、北海道のほぼ全域において、直轄河川の約 3 分の 1 に当たる 594 樋門で凍害劣化調査を実施した。調査部位は、写真-2.1 に示すように、凍害劣化が多く見られる樋門の地上部にある部位とし、操作台、門柱、擁壁上部、擁壁喫水部の 4 部位とした。調査方法は、表-2.1 に示すように、外観評点による評価方法を用いて凍害劣化評価を行った。外観評点は、スケーリング劣化をマクロ的に把握するため外観目視調査により半定量的にランク付けしたものであり、点数が高いほど劣化が進んでいることを示す。なお、外観評点は ASTM C 672 の室内試験における目視判定に準拠した。図-2.1



写真-2.1 樋門の調査部位

表-2.1 外観評点 (ASTM C 672 準拠)

点	劣化事例写真	点	劣化事例写真
0	 なし	1	 粗骨材の露出なし、深さ3mm以下の剥離
2	 評価1と評価3の中間程度の剥離	3	 粗骨材がいくつか露出する程度の剥離
4	 評価3と評価5の中間程度の剥離	5	 粗骨材が全面露出する程の激しい剥離

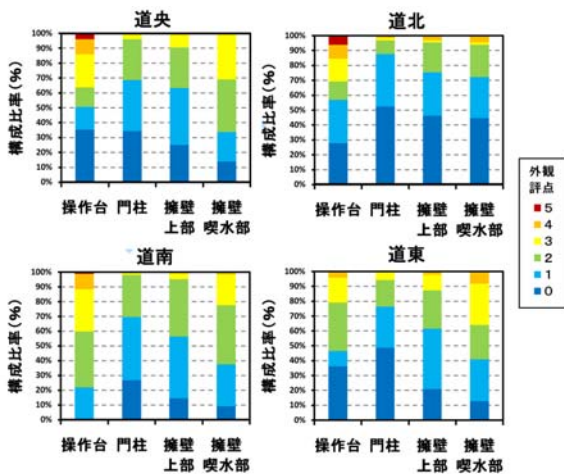


図-2.1 地域圏における各部位毎の外観評点

に、各地域圏における部位毎の外観評点の構成比率を示す。地域圏にかかわらず、全体的に操作台の評点が一番高く、次いで擁壁噴水部の順となった。操作台は、写真-2.2 および図-2.2 に示すように、上面が水平で滞雪し易い形状のため、融雪水が多く供給される状態にあり、さらに、部材厚が薄いことからコンクリート内部に水分が浸透し飽水し易い。さらに、温度変化の影響を受け易い。図-2.3 に同一樋門の操作台（端部）と門柱のコンクリート内部（表面から深さ 2cm の位置）の一年間の温度変化を比較したグラフの一例を示す。操作台は門柱よりも温度の日変動が非常に大きいことから、凍結融解作用を多く受け易いことが確認できる。特に操作台端部はその影響を一番受け易いことから、



写真-2.2 樋門操作台の滞雪状況

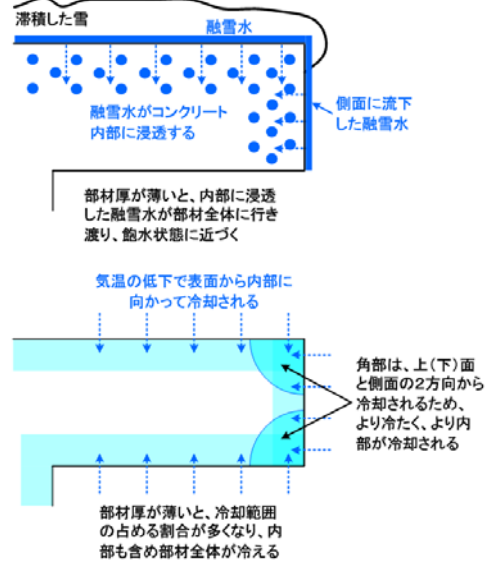


図-2.2 樋門操作台の凍害劣化メカニズム

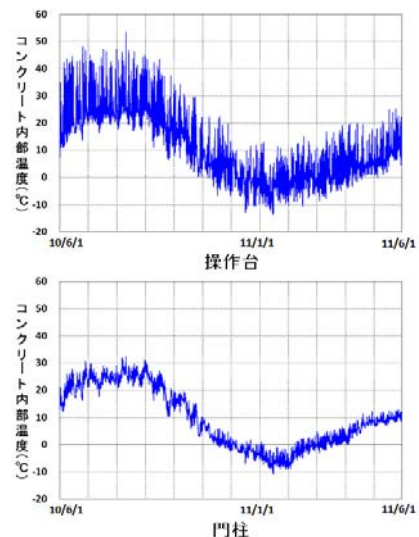


図-2.3 コンクリート内部の温度変化の一例

凍害劣化による D 型形状となった欠損事例が多いのもこのためと考えられる。このように、樋門の凍害劣化を受ける度合いは、部位によって異なり、その原因は、部位の置かれている環境条件の違いや形状の影響であることが明らかとなった。

2.2 凍害劣化が生じ易い樋門の事例

操作台の凍害劣化が一番顕著であることは前項で

述べたが、ここでは、さらに特筆しておきたい事例を紹介する。写真-2.3は、操作台上面に防護柵兼用の鋼製拡張板を設置したケースにおいて、凍害劣化が激しく生じた事例である。このケースは、鋼板によって操作台上面に、より滞雪・滞水し易い状態を作ってしまったことで劣化が非常に大きくなってしまった事例である。鋼板とコンクリートの繋ぎ目にはシーリング材で防水処理が施されているが、鋼板との段差分滞水し、さらに経年劣化により防水機能が損なわれ、鋼板とコンクリートの間に浸入した融雪水が凍結膨張し、コンクリートにひび割れが生じ、そこからさらに凍害劣化が進行したと思われる。また、写真-2.4は、上屋が後設置されたケースにおいて、操作台端部が部分的に大きく欠損した事例である。この欠損部分はひび割れ等の劣化が元々生じており、上屋建設時に適切な処置を行わなかったと推測される。そこに、屋根からの融雪水が壁を伝い、操作台端部に集中して供給されたため、部分的に凍害劣化が大きく進行し、欠損に至ったと考えられる。なお、上記の凍害劣化が生じ易い樋門の事例等については、樋門の凍害劣化事例集に取り纏めて整理を行っている。



写真-2.3 凍害劣化が生じ易い樋門の事例(1)



写真-2.4 凍害劣化が生じ易い樋門の事例(2)

3. 既存補修工法の凍害による再劣化に関する検討

3.1 再劣化樋門の実態調査

樋門の再劣化実態を把握するため、北海道の直轄河川の119箇所での樋門において、補修の有無と補修後の再劣化の有無についての現地調査を実施した。図-3.1に調査結果を示す。補修された樋門は全体の約2割であったが、その内の半数に再劣化が生じていた。特に、被覆された樋門は全て再劣化していた。

3.2 再劣化樋門の原因調査

写真-3.1は、補修後の再劣化の代表的な事例である。補修は操作台と門柱を樹脂系の断面補修材と同系の表面被覆材で行っており、補修後、数年でひび割れと部分欠損の再劣化が生じた。この樋門は、その後、全面改修が行われたため、本研究において解体し、操作台を詳細調査した。写真-3.2と図-3.2に詳細調査の一部である付着強度試験後の破断状況と付着強度試験結果を示す。この事例の場合、被覆材と断面補修材は健全であり、十分な付着強度を有していたが、内部のコンクリート（以下、母材）との付着強度試験では母材で破断した。付着強度も一般的な参考規定の1.5N/mm²値（例えば、NEXCOの断面補修材の品質規格 JHS-416等）を大きく下回っていることから、母材の劣化が原因と考えられる。

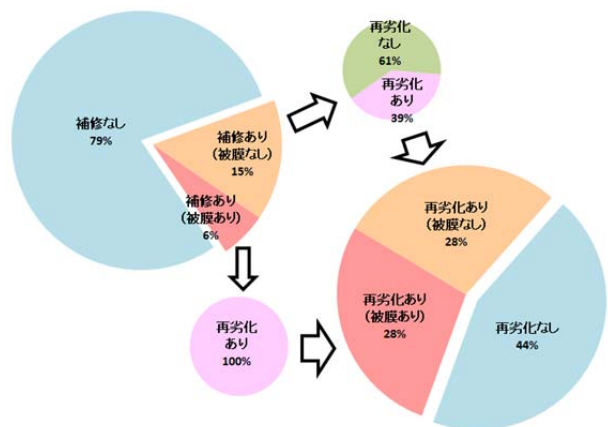


図-3.1 再劣化樋門調査結果



写真-3.1 操作台の再劣化状況

図-3.3 に操作台から採取した小径コアによる圧縮強度結果を示す。断面補修材の強度は 20~30N/mm² 程度であり、この断面補修材のカタログ試験値は 22N/mm² であったことから、断面補修材は健全であると言える。一方、母材は、表面から内部に行くにつれて強度が大きくなっているが、表層 (0~15cm) 付近に強度の低い劣化したコンクリートが残っていると見える。写真-3.3 に、操作台端部を切断した断面を示す。内部は、凍害劣化によると思われるD状に欠損した母材を断面補修材で修復し、その上に表面被覆材を塗布した状態となっていた。再劣化の症状は、凍害劣化によって、断面補修材と母材が剥離したことがこの

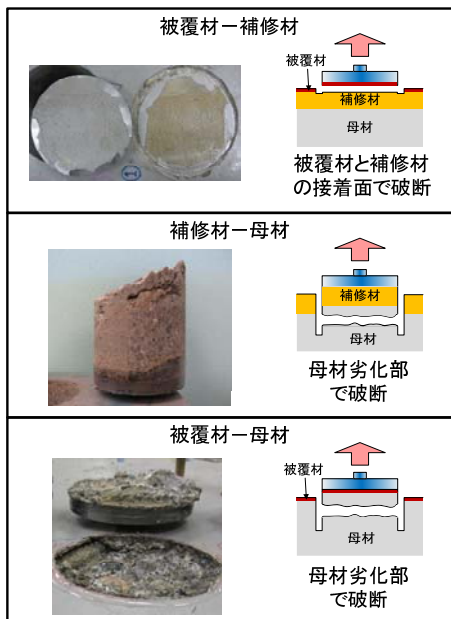


写真-3.2 付着強度試験状況と破断状況

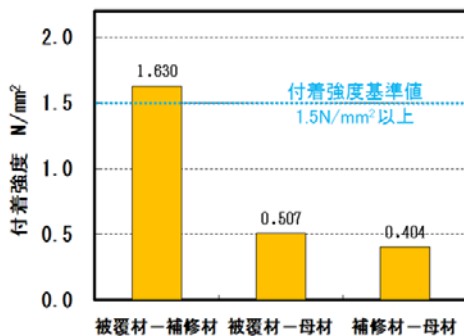


図-3.2 付着強度試験結果

断面から確認できるが、樹脂系の表面被覆材で全体が完全に覆われているため、外部から水分が供給されて凍害劣化が生じたとは考え難い。この樋門の補修は冬期に施工されており、比較的早期にこのような再劣化が生じていることから、低温の施工環境に加え、特に劣化部の除去不足が原因である可能性が高いと推測できる。写真-3.4 は施工当時の写真である。断面補修材を施工する直前にプライマーを塗布している状況写真であるが、コンクリートに無数のひび割れがまだ残っており、劣化部の除去不足であることが確認できる。この事例は極端な例であるが、補修において劣化部分の十分な除去は非常に重要であり、適切な補修設計と施工が行われない場合、このような再劣化を引き起こす原因となる。

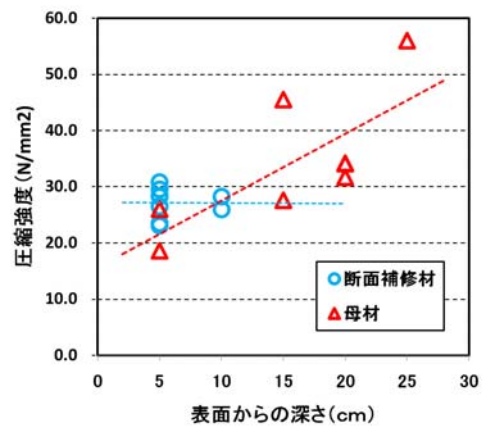


図-3.3 小径コアの圧縮強度結果

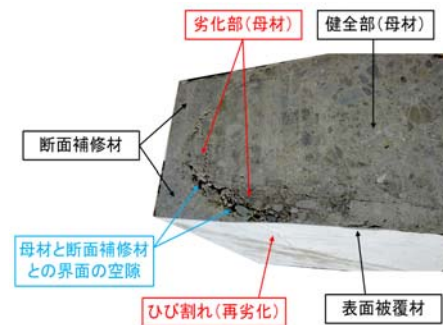


写真-3.3 再劣化した操作台隅角部の断面



写真-3.4 施工時状況 (除去不足)

3.3 補修後の点検手法の提案

補修樋門の補修内部の再劣化を調査するため、後述する室内試験で得られた結果をもとに、超音波による経年変化測定を実施した。超音波は透過法とトモグラフィ法による解析を用いた⁹⁾¹⁰⁾。調査を行った樋門は、ポリマーセメントモルタルで断面補修を行い、アクリル系の樹脂塗装で表面被覆を施した2樋門である。2樋門ともに同一材料で補修されている。表-3.1に調査樋門の概要と調査内容、図-3.4に測定位置と測定方

表-3.1 調査樋門の概要と調査内容

樋門名	改修年次	補修年次	補修材等
A樋門	S48年 (1973年)	H15年 (2003年)	断面補修:ポリマーセメントモルタル 表面被覆材:一液型アクリル系樹脂塗装
B樋門	S47年 (1972年)	H18年 (2006年)	

調査方法	A樋門	B樋門
透過法 (測線数)	7測線×2断面 =14測線	4測線×2断面 =8測線
トモグラフィ法 (測線数)	133測線×2断面 =266測線	105測線×2断面 =210測線

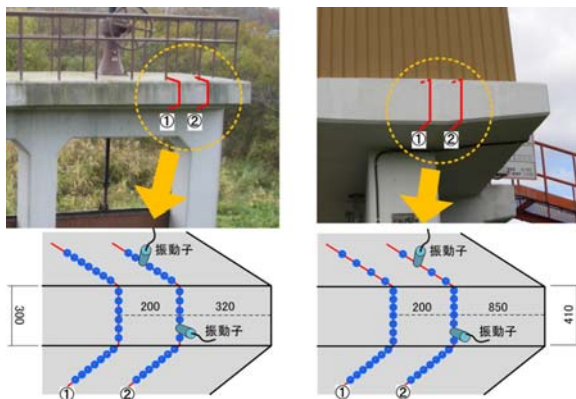


図-3.4 測定位置と測定方法

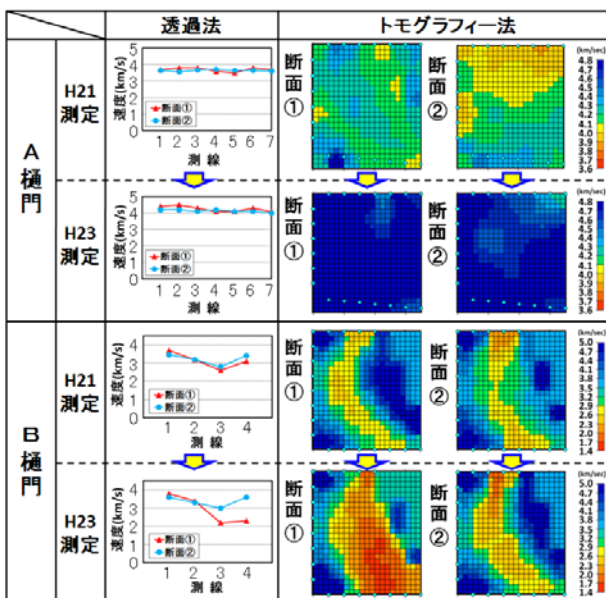


図-3.5 超音波測定結果

法、図-3.5に測定結果を示す。A樋門は、透過法の超音波伝播速度（以下、速度）もほぼ一定であり、健全な状態であると言える。2年後（H23）の速度ほうが若干大きくなっているが、これは、測定日付近の降雨等により含水状態が異なっていたためと考えられる。一方、B樋門は、透過法で測線3の速度が低い。トモグラフィ法でも内部に速度の低い箇所がD状にはつきり確認できる。このことから、断面補修材とコンクリートに界面剥離が発生していると判断できる。さらに2年後には速度の低い範囲が広がっていることから、凍害劣化が進行し拡大していることも確認できた。このように、補修箇所超音波の測定を行うことによって、再劣化の発見や位置の特定、および再劣化の進行も確認できることがわかった。以上のことから、樋門の補修後の品質管理と再劣化の早期発見を目的として、この手法を樋門の補修後の検査・点検に活用する方法を表-3.2のように提案する。

補修竣工時の初期値（補修後の健全な状態）は、再劣化進行状況を把握する上で重要である。B樋門のように早期に内部に変状が発生する場合もあることから、竣工検査後3年間は1年毎に定期的に外観調査を実施することが望ましい。また、その間、特に問題がなければ、その後は樋門の定期点検時（3～5年間隔）に透過法による点検が望ましい。何らかの異常を発見した場合、トモグラフィ法によって再劣化の進行状況を把握し、状況に応じて適切な処置を講じることが必要である。

表-3.2 樋門の補修後点検方法（例）

調査・点検時期	頻度	点検方法		
		外観目視	透過法	トモグラフィ法
補修工事竣工検査時	初期値	●	●	●
竣工検査後3年間点検	1年毎	●	—	—
定期点検	3～5年毎	●	●	—
各点検時に外観上もしくは透過法より何らかの異常を発見した場合	適宜	—	●	●

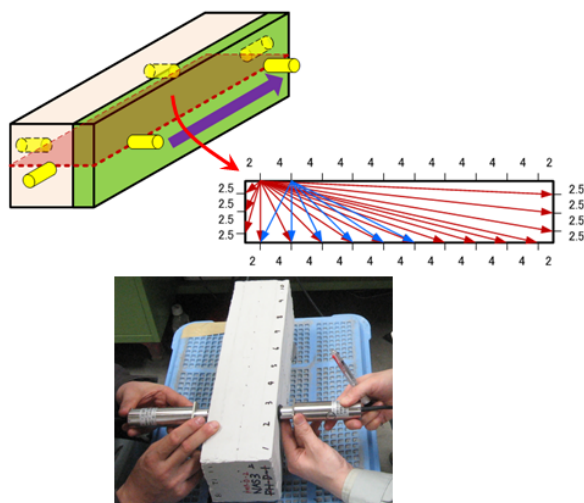
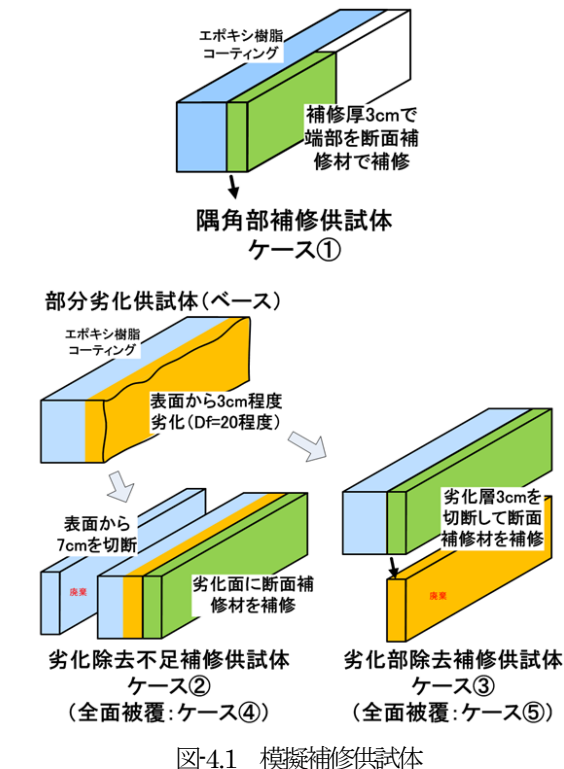
4. 補修材料の適用性や持続性や滞水を防止する形状等の劣化防止対策などに関する検討

4.1 補修の耐凍害性に関する検討

補修後のコンクリートの耐久性などの要求性能は、補修材料の適用性や持続性の影響を受ける。河川コンクリート構造物の補修後の耐凍害性を確保するためには、特に凍結融解作用下における付着性能の確保が重要である。このため、補修供試体の凍結融解試験、超音波測定による耐凍害性の評価を行った。

4.1.1 補修の付着性状と耐凍害性

補修供試体は、図-4.1 に示すように、 $10 \times 10 \times 40$ cm の供試体の一部を切断し、断面補修材（以下、補修材）を接着させて作製した。試験ケースは、隅角部の補修をイメージしたケース①、母材コンクリート（以下、母材）の劣化除去不足イメージしたケース②と劣化部を除去したケース③、ケース②③を被覆材で全面被覆したケース④⑤とした。母材は、ケース①がAE コンクリート、ケース②～⑤は劣化を促進させる目的で NonAE コンクリートとした。なお、補修材には一般的なポリマーセメントモルタルと無収縮モルタルを使用し、被覆材はアクリル樹脂系被覆材を使用し



た。凍結融解試験は、JIS A1148 (A 法) に準じて実施した。図-4.2 に示すように、超音波測定ではトモグラフィー法の解析を用いて、母材の劣化状況や補修材との剥離状態の評価を行った。図-4.3 および図-4.4 に、ケース①における質量減少率と相対動弾性係数 (Df)、および凍結融解サイクル毎のトモグラフィーによる超音波伝播速度分布を示す。300 サイクル（以下、cyc）後、補修材は剥離していないが、相対動弾性係数は補修部で徐々に下がっており、トモグラフィー法の結果においても補修材と母材の界面付近の超音波伝播速度（以下、速度）が下がっていることから、欠損までに至らないが界面に若干の剥離が生じていたと考えられる。図-4.5 に、ケース②～⑤における凍結融解サイクル毎のトモグラフィー法による速度分布を示す。母材界面が劣化しているケース②は、すぐに母材全体に劣

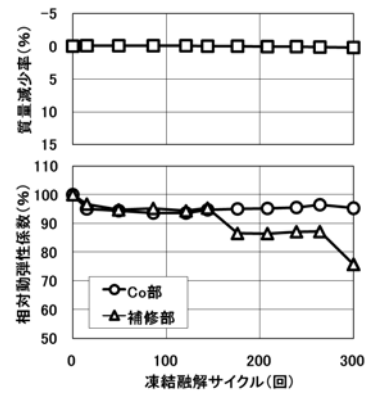
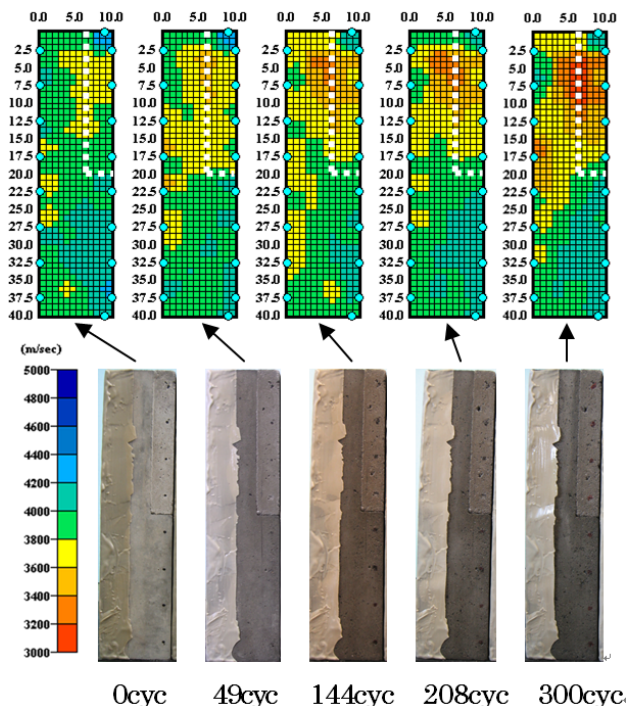


図-4.3 ケース①の質量減少率と相対動弾性係数



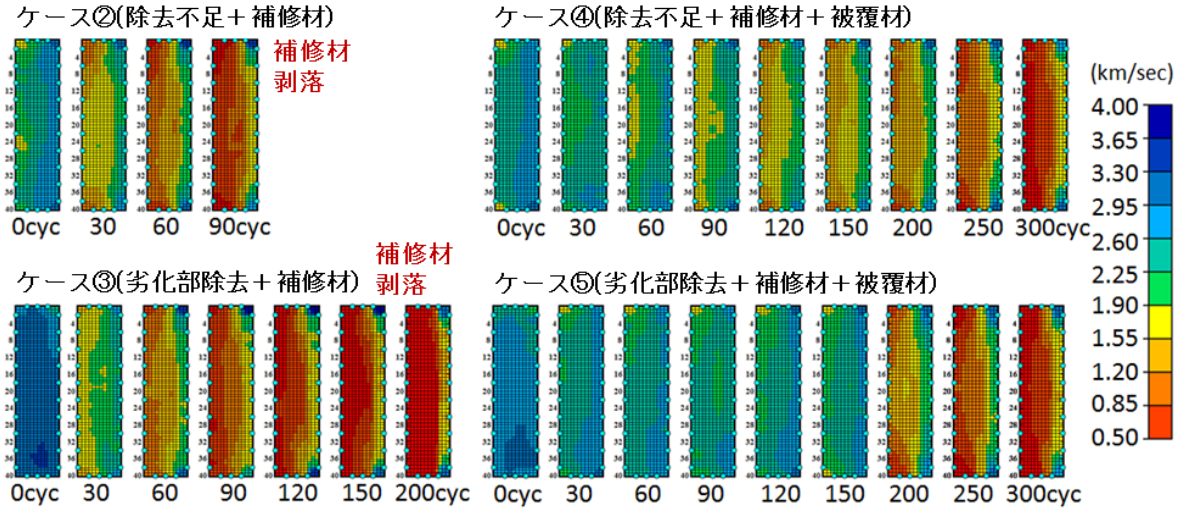


図-4.5 ケース②～⑤の超音波伝播速度分布

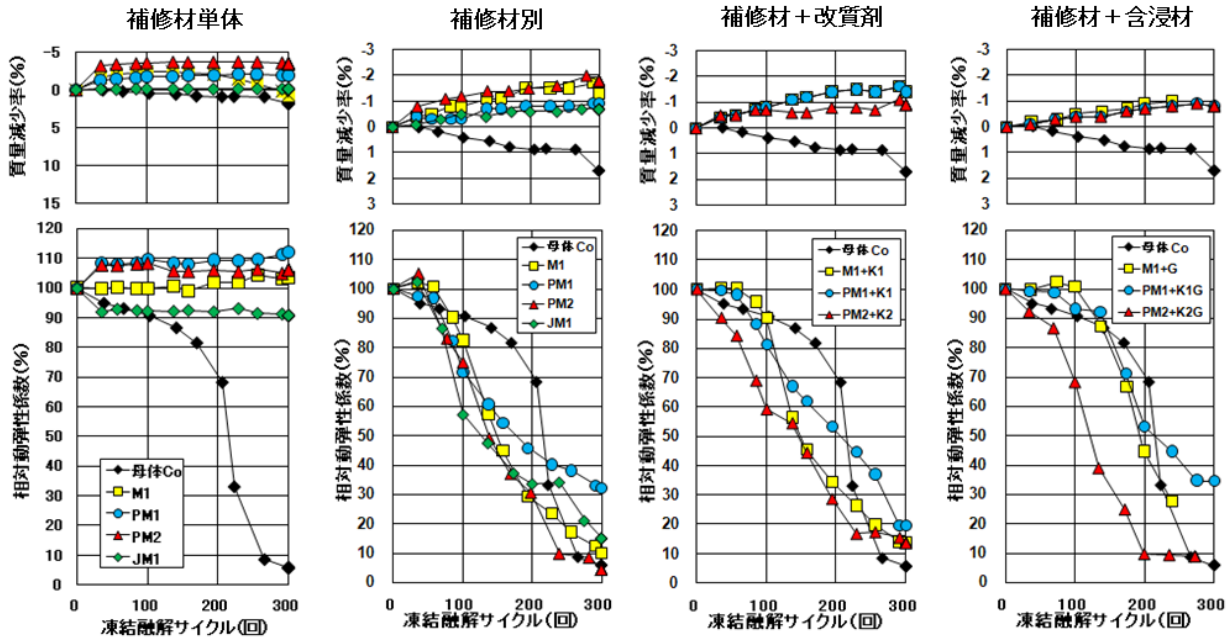


図-4.6 改質剤および表面含浸材と適用したケースの質量減少率と相対動弾性係数

表-4.1 試験ケース

供試体名	補修材の種類	はつり面改質剤	表面含浸材	試験内容 凍結融解
M1	無収縮モルタル(M1)	—	—	300cyc
M1+K1		K1	G	
M1+G			—	
PM1	ポリマーセメントモルタル1 (PM1)	—	—	
PM1+K1		K1	G	
PM1+K1G			—	
PM2	ポリマーセメントモルタル2 (PM2)	—	—	
PM2+K2		K2	G	
PM2+K2G			—	
JM1	樹脂モルタル	—	—	

化が広がり 90cyc 以後に補修材が剥落した。劣化していないケース③もすぐに母材全体に劣化が広がったが、200cyc まで補修材が剥落しなかった。補修材施工後、被覆材で覆ったケース④⑤は、途中被覆材が破れたが、補修材は剥落しなかった。しかし、劣化部除去不足で界面が劣化しているケース④のほうが早くに被覆材が大きく剥がれ始め、母材全体に劣化が広がるサイクルも早かった。以上の結果から、補修材と母材との附着性状は、母材の劣化部除去状況に大きく左右されることがわかった。このことは、劣化部の除去不足があった状態で補修等を行った場合、早期に再劣化が生じる可能性が高いことを示唆している。

4.1.2 耐凍害性の評価及び向上対策の検討

前述の実験結果も含め、母材が劣化しない対策を講じることにより、補修後の耐凍害性は向上することが判明した。

凍害が生じる最も重大な影響因子は水分であり、一般的に凍害対策には水分を遮断できる被覆材が用いられることが多い。しかしながら、樋門操作台のように凍害劣化を非常に受け易い構造物では、先の事例のように再劣化も多く見受けられる。このことから、表面含浸材と改質剤に注目した検討を行った。補修供試体を前述のケース③と同じ形とし、表-4.1 に示す試験ケースで凍結融解試験を行った。図-4.6 に試験結果を示す。補修材単体は 300cyc でも相対動弾性係数が 90% 以上となり、耐凍害性がある材料であることがわかる。各ケースとも母材単独以外は質量の減少は見られない。補修材別では、50cyc 程度から相対動弾性係数が急激に低下している。一方、補修材の種類にもよるが、はつり面に改質剤を塗布したケースでは約 100cyc、表面含浸材を塗布したケースでは約 150cyc 付近まで相対動弾性係数の低下が抑えられており、改質剤および表面含浸材の遮水・撥水効果等による劣化抑制がある程度期待出来る結果となった。

5. 凍害劣化を受けた河川コンクリート構造物に対する既存補修対策の適切な適用方法や滞水を防止する形状等の劣化防止対策

凍害劣化が顕著な樋門操作台の劣化や再劣化を防止する対策検討として、超音波測定による適切な劣化除去範囲を調査する方法の検討と、模型による滞水防止対策の実験を行った。なお、これらの実験結果をもとに、超音波で得られた測定値は実際の樋門補修設計に反映し、また、模型実験結果をもとに提案した劣化防止対策を樋門補修工事に試験適用した。試験施工は、国土交通省北海道開発局が管理する直轄河川の樋門で行った。

5.1 超音波による樋門操作台の劣化調査方法

樋門操作台の補修設計は、コンクリートの表面状態（外観）や中性化、鉄筋腐食調査によって、劣化除去範囲や深さを決定するのが一般的であり、凍害劣化の範囲は定量的に診断されていない。そのため、前述のとおり、凍害劣化による再劣化が生じているケースも多く見られている。そこで、補修設計の精度向上を検討するため、図-5.1 に示すように、実際に補修設計が行われた樋門操作台の端部を、超音波の表面走査法¹⁾、透過法、トモグラフィ法でそれぞれ測定し、これら

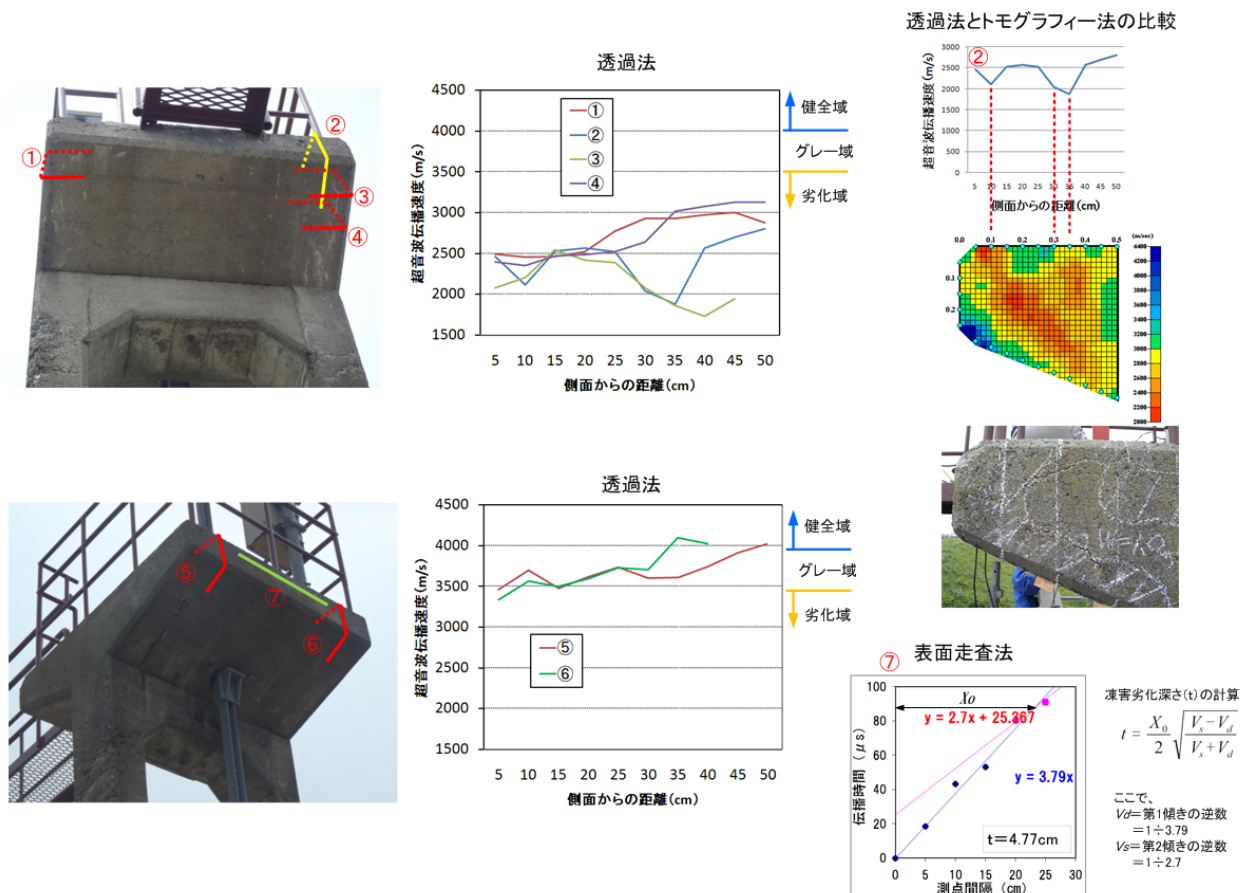


図-5.1 超音波測定による樋門補修検討の例

の測定値と補修設計値との比較を行った。補修設計当初のはつり深さは3cmであったが、超音波測定で得られた凍害劣化深さは、4.77cmであったことから、深さ5cmまで除去する必要があることがわかった。この結果を補修設計に反映させ、はつり深さを5cmに変更した。このように、超音波測定による凍害劣化に伴う除去範囲の決定は、補修設計にあたっての精度向上を可能として、除去不足による再劣化防止に役立つことがわかる。なお、今後は樋門操作台の規模や状態に応じた測定方法の確立など、標準化に向けた更なる検討を進める必要がある。

5.2 模型実験による滞水防止対策

樋門操作台は、滞雪による融雪水が滞水したり、浸透したりする影響によって凍害劣化が生じやすい。このため、操作台の上面に勾配を設ける滞水抑制対策と前述の表面含浸材を塗布する浸透抑制対策等を検討した。図-5.2および写真-5.2のように、樋門操作台を模擬した大型供試体を作製して、表-5.1に示すケースにおいて、一定量の水を上面から流し、上面、側面、底面の表面水分量を測定することで対策効果を検証した。表面水分量の測定には高周波容量式水分計を用いた。図-5.3に傾斜毎の各測定位置における水分増加量を示す。なお、水分増加量は、流水前と流水後の表面水分量の差であり、水分増加量が多いほどコンクリートに

水分が浸透している。上面と側面の水分増加量は、上面勾配が急になるほど減少する傾向が見られ、シラン系表面含浸材を塗布するとさらに大きく減少できる。底面の水分増加量は、上面勾配により流下速度が増加し側面を伝わった水が底面に巻き込まれるため、増加傾向にあった。これは、水切り材設置と側面のシラン系表面含浸材塗布で大幅に改善できた。なお、勾配0%の上面にケイ酸塩系表面含浸材を塗布したケース（ケース13）では、上面の水分増加量が多い結果となったが、これは、塗布後初期において、ケイ酸塩系含浸材がコンクリート表面で水分を吸着してゲル化し緻密化することから、その吸着水を測定したためと思われる。

表-5.1 試験ケース

	上面勾配	上面条件	側面条件	底面条件
ケース1	0%	—	—	—
ケース2	2%	—	—	—
ケース3	5%	—	—	—
ケース4	0%	—	—	水切り材
ケース5	2%	—	—	水切り材
ケース6	5%	—	—	水切り材
ケース7	0%	シラン系含浸材	—	—
ケース8	2%	シラン系含浸材	—	—
ケース9	5%	シラン系含浸材	—	—
ケース10	0%	シラン系含浸材	シラン系含浸材	—
ケース11	2%	シラン系含浸材	シラン系含浸材	—
ケース12	5%	シラン系含浸材	シラン系含浸材	—
ケース13	0%	ケイ酸塩系含浸材	シラン系含浸材	—

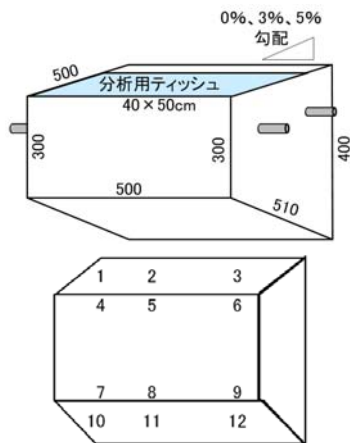


図-5.2 模型流水試験概要



写真-5.2 模型流水試験状況

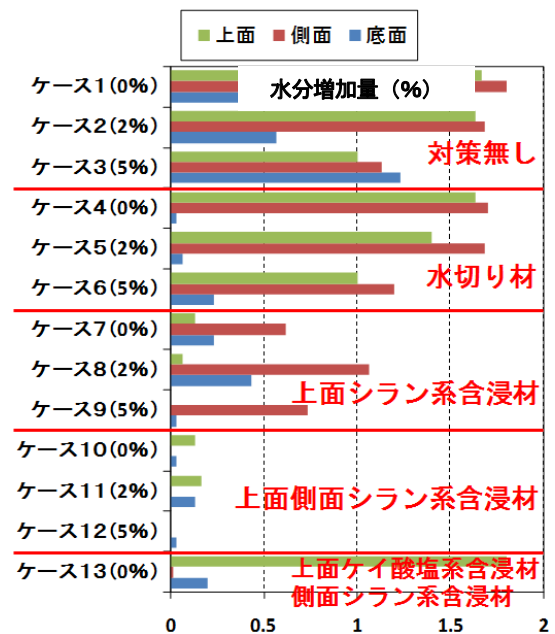


図-5.3 水分増加量

5.3 操作台の凍害劣化防止対策の提案と実構造物への試験適用

前述の模型実験の結果により、操作台の滞水防止策として、操作台の上面勾配、表面含浸材の塗布、底面の水切り材による効果を確認できたことから、図-5.4に示すような操作台の凍害劣化防止対策を提案した。本対策の有効性および耐久性の検証を目的として、実構造物への試験適用を実施した。表-5.2に試験施工の内容、写真-5.3に試験施工後の一例を示す。C 樋門とD 樋門は操作台の補修工、E 樋門は上屋有りの操作台端部の補修工、F 樋門は操作台の打換工であり、それぞれの補修状況に応じて提案の対策を実施した。現在、試験施工の効果検証は、表面水分量の測定や状態モニ

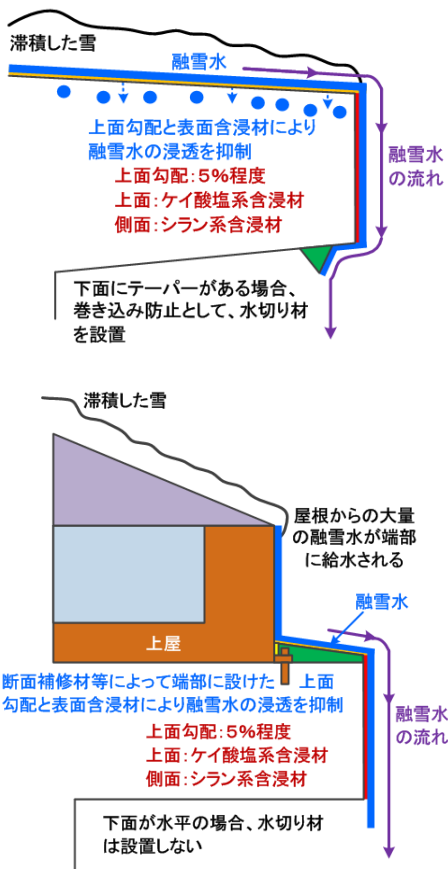


図-5.4 凍害劣化防止対策イメージ図

表-5.2 試験施工の内容

	滞水防止	浸透防止	水切り
C樋門	上面→5%勾配 (断面補修材)	上面→ケイ酸塩系含浸材(全面) 側面→シラン系含浸材(全面)	
D樋門	上面→5%勾配 (断面補修材)	上面→ケイ酸塩系含浸材(全面) 側面→シラン系含浸材(全面)	
E樋門 (上屋端部)	上面→5%勾配 (断面補修材)	上面→ケイ酸塩系含浸材(1/4面) →シラン系含浸材(1/4面) 側面→シラン系含浸材(半面)	底面に設置 (半面)
F樋門		上面→ケイ酸塩系含浸材(半面) 側面→シラン系含浸材(半面)	

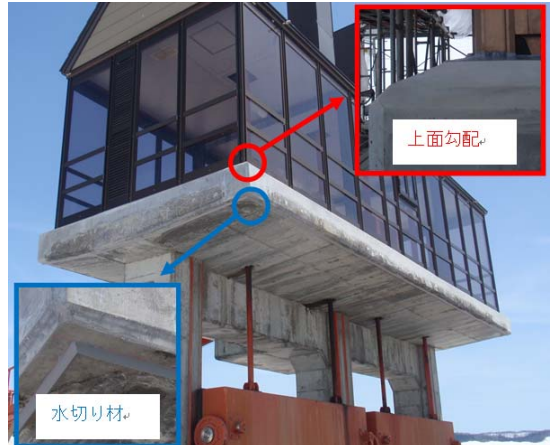
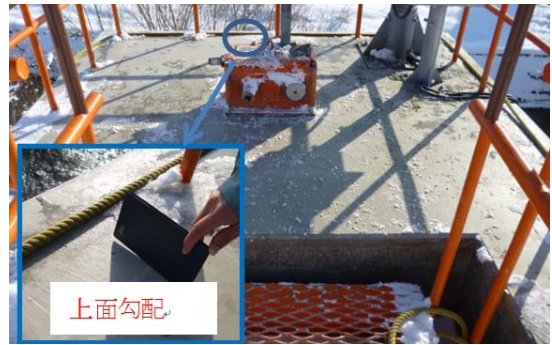


写真-5.3 試験施工後の一例 (上D樋門、下E樋門)

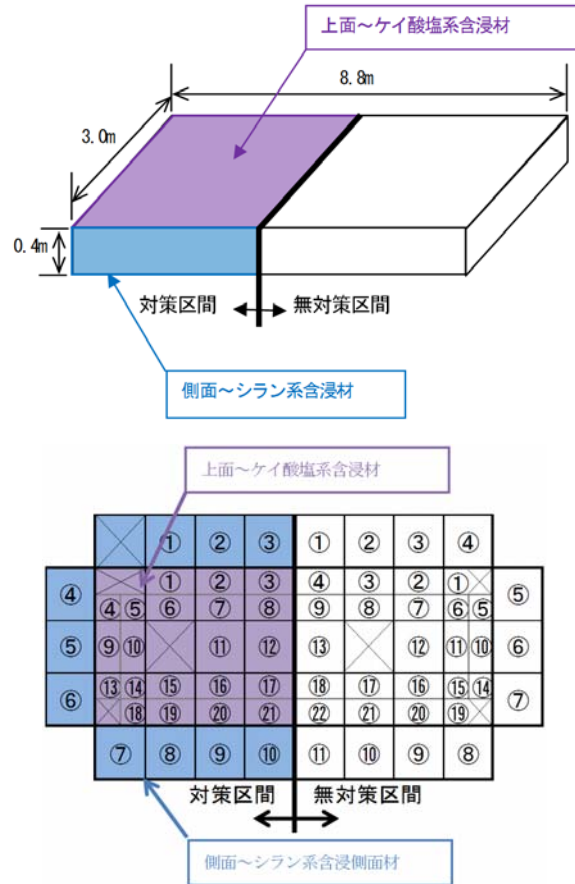
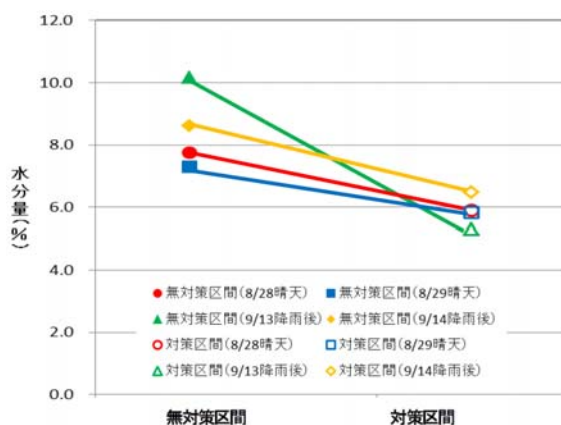
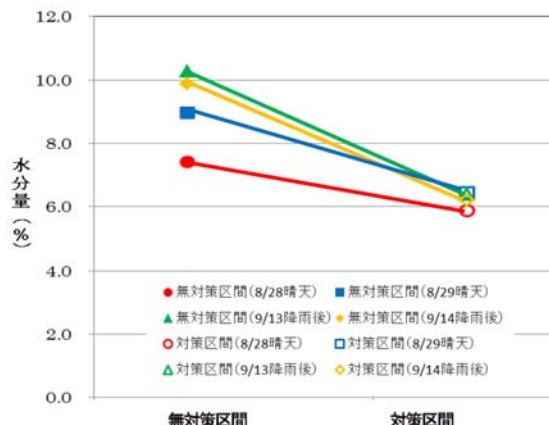


図-5.5 F 樋門 (展開図) の表面水分量測定



上面 (深さ 1cm)



側面 (深さ 1cm)

図-5.6 F 樋門の表面水分量結果

タリング等を継続実施中であるが、F 樋門における施工半年後の表面水分量を測定した途中結果を報告する。F 樋門の上面と側面を図-5.5 に示す位置で表面水分量を測定した。なお、測定前日から晴天が続いた 2 日間と前日に降雨があり測定時は晴天であった 2 日間の表面水分量を高周波容量式水分計を用いて測定した。図-5.6 に表面水分量の測定結果を示す。無体策区間は、降雨後の表面水分量が非常に多くなった。対策区間は、表面水分量も少なく、晴天時も降雨時も大きな変動がない結果となった。なお、今回の測定結果は施工後に冬期間を越えた後であることから、対策区間は、冬期間の融雪水に対しても水分浸透抑制効果を発揮していたと考えられる。このことから、途中ではあるが、凍害劣化防止対策として期待できる検証結果となった。

6. まとめ

本研究課題は、凍害劣化を受けた河川コンクリート構造物に対する既存補修対策の適切な適用方法や滞水を防止する形状等の劣化防止対策の提案を目的に、実構造物調査による環境条件（水分供給等）と凍害劣化の関係の把握、樋門の凍害劣化評価、既存補修工法の凍害による再劣化に関する検討、補修材料の耐凍害性に関する検討、および操作台の劣化防止対策の検討を行った結果、以下の知見を得ることができた。

- (1) 樋門コンクリート構造物の内、操作台の劣化・損傷が多い原因は、操作台が滞雪しやすい形状で水分供給や滞水が多い環境条件にあり、部材厚も薄いことから、凍結融解作用を非常に受け易いためである。
- (2) 補修後の耐久性に大きく影響するコンクリートと補修材の付着性状は、コンクリートの凍害劣化状

態に左右され、劣化部の除去不足等があると早期に再劣化が発生し易い。

- (3) 樋門コンクリートの劣化深さや補修後の内部の再劣化進行状態を超音波で確認することが可能であり、補修設計時の詳細調査や定期的な補修後点検に超音波測定を実施することが望ましい。
- (4) 樋門操作台の凍害劣化防止対策として、上面勾配による滞水防止、表面含浸材塗布による水分浸透防止の対策を提案した。試験施工における施工半年後の途中結果では効果を検証出来たことから、凍害劣化防止対策として期待できる。

7. 成果の普及と今後の課題

国土交通省北海道開発局において、樋門の補修と劣化事例について、本研究で得られた成果の普及を含めた勉強会を平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 年間に毎年実施している。この勉強会では、座学講習のほか、現地樋門における超音波測定などの調査手法の実演講習も行っており、樋門コンクリート構造物の凍害劣化診断技術や補修対策技術の普及に努めている。また、本研究の成果として、樋門の凍害劣化事例を取り纏めた事例集を作製した。平成 25 年度の勉強会において、この事例集の現場への普及と超音波測定による補修設計の適用事例などを紹介する予定である。

今後の課題として、樋門の凍害劣化点検手法や補修後点検手法などを定めた点検マニュアルの策定が必要であり、これらを策定するための基礎資料として、樋門の調査事例や補修事例などの更なる整理、樋門のゲート開閉に対する凍害劣化の影響などの研究を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 内藤勲, 田口史雄; 表面被覆補修コンクリート構造物の超音波伝播速度測定による凍害再劣化調査, 土木学会第 64 回年次学術講演会, V-212, pp.421-422, 2009.9
- 2) 内藤勲, 田口史雄, 石谷隆始, 畠秀樹, 出合寿勇; 河川樋門コンクリート構造物の凍害劣化と再劣化に関する調査, 寒地土木研究所月報 No678, pp.17-26, 2009.11
- 3) 内藤勲, 田口史雄, 畠秀樹; 北海道における樋門コンクリート構造物の外観目視調査による凍害劣化評価, 第 53 回北海道開発技術研究発表会, 安全 8 (治), 2010.2
- 4) NAITOH Isao, TAGUCHI Fumio ; A study on Re-deterioration of Surface-coated Sluice Structures due to Frost Damage, 7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures & Post-Conference Workshops, 2010.5
- 5) 内藤勲, 田口史雄, 畠秀樹; 北海道の樋門コンクリートにおける外観目視による凍害劣化調査, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-439, pp.877-878, 2010.9
- 6) 安田裕一, 窪田康一, 内藤勲; 滞水防止策による樋門操作台の凍害劣化対策の検討, 第 55 回北海道開発技術研究発表会, 戦略的維持管理技術 IK-3 (治), 2012.3
- 7) 渡邊尚宏, 安田裕一, 内藤勲; 樋門操作台に対する凍害劣化対策の試験適用, 第 56 回北海道開発技術研究発表会, 戦略的維持管理技術 IK-3 (治), 2013.3
- 8) 魚本健人, 加藤潔, 広野進; コンクリート構造物の非破壊検査, 森本出版, 1990
- 9) 畠秀樹, 内藤勲, 田口史雄; 北海道における樋門コンクリート構造物の超音波調査による再劣化診断, 第 54 回北海道開発技術研究発表会, 積雪寒冷地維持管理技術 15 (治)
- 10) 木村芳幹; 超音波トモグラフィ法によるコンクリート構造物品質の推定, (財)日本建築総合試験所機関誌 GBRC, Vol.33, No.2, pp.13-21, 2008.4
- 11) 遠藤裕丈, 田口史雄, 林田宏, 草間祥吾; 非破壊による凍害深さの評価, 「コンクリートの凍結融解抵抗性評価方法」委員会報告会・シンポジウム, 社団法人日本コンクリート工学協会, pp.293-298, 2008.8

A STUDY ON THE REPAIR OF CONCRETE RIVER STRUCTURES AFFECTED BY FROST DAMAGE

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2008-2012

Research Team : Materials Research Team
Cold-Region Technology Promotion Division

Author : TAGUCHI Fumio and NAITOH Isao

Abstract : For river concrete structures that have been damaged through deterioration, there are several ways of repairing the deterioration, one of which is patching or surface coating. However, some of those repaired structures suffer from re-deterioration by frost. Effective measures to prevent frost damage to river concrete structures have not been thoroughly discussed. There are also concerns today about the increasing costs of maintaining and replacing aging sluices. Toward minimizing such cost increases, it is necessary to take appropriate measures for maintaining those sluices such that they are free from frost re-deterioration. In light of this, this study has examined to clarify the relationship between environment conditions and frost damage and analyzed the re-deterioration of sluice structures, prepared case studies that illustrate how sluice structures are damaged by frost, and proposed possible shapes/configurations of sluice structures and measures that may be effective in preventing deterioration of the structures.

Key words : sluice structures, aging, re-deterioration, frost damage, prevent deterioration