

滞水防止策による樋門操作台の 凍害劣化対策の検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 ○安田 裕一
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 窪田 康一
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 内藤 勲

厳しい環境条件にある積雪寒冷地の樋門コンクリートは、凍害劣化による損傷が多く見られる。特に樋門の操作台は、部材厚が薄く、上部に滞雪し易い形状であるため、融雪水の凍結融解作用による凍害劣化が著しい。しかしながら、樋門操作台への凍害劣化対策を検討した事例は少ない。本報告は、樋門コンクリートの長寿命化に資するため、模型による滞水実験を行い、操作台の形状や水切り処置等による滞水防止策の有効性を検討したものである。さらに、実験で試案した滞水防止策を実構造物に試験適用した事例も報告する。

キーワード：樋門操作台、凍害劣化、長寿命化、滞水防止策

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道の樋門は、凍害の影響を常に受ける厳しい環境条件下にある。

堤内地の排水等を目的とした樋門は、河川堤防の機能も有する重要な河川管理施設であり、これまでに数多く建設されている。今後、これらの樋門の多くは補修や改築などの対策が必要となる更新時期を迎えることから、その費用の増大が懸念されており、既設樋門の長寿命化を図ることは緊急かつ重要な課題となっている。

コンクリートの凍害劣化は、コンクリート中の水分の凍結と融解の繰り返しにより生じる現象である。このため、水の影響を受けやすい部位は凍害劣化が生じ易い。

これまでの調査研究により、樋門コンクリートの中でも特に操作台は写真-1 に示すように、上部に滞雪し易い形状で、かつ、部材厚が薄いため、融雪水の凍結融解による凍害劣化が著しいことを確認している¹⁾²⁾。写真-2 に、樋門操作台（以下、操作台）が凍害劣化により大きく損傷している事例を示す。

また、操作台底部や門柱への水分供給を防止する目的で、操作台底部等に切欠きによる水切りが施工されている場合もあるが、写真-3 に示すように、切欠き部において凍害劣化等による損傷が生じている事例もある。

本報告は、樋門コンクリートの長寿命化に資するため、操作台に着目し、模型による実験を行い、凍害劣化対策として操作台への水分供給を抑制するための滞水防止策を検討したものである。

さらに、この対策方法を実構造物に試験的に適用した事例も併せて報告する。



写真-1 操作台の滞雪状況の例 (12月)



写真-2 操作台の凍害劣化損傷事例



写真-3 底部水切り部の劣化状況の例

2. 樋門操作台に対する凍害劣化対策の検討

積雪寒冷地における操作台の現状を踏まえ、操作台における凍害劣化対策として、滞水対策、吸水対策、水切り対策の3つの滞水防止策について検討を行った。

(1) 滞水対策

操作台上面の滞雪による融雪水の滞水を抑制させる方法として、操作台上面に勾配をつけることを検討した。なお、勾配が大きいほど、滞水抑制効果は大きいと考えられるが、施工性や樋門の操作性及び操作人の安全性について考慮した勾配とすることが望ましい。

(2) 吸水対策

融雪水のコンクリート中への吸水抑制対策として、表面含浸材の適用を検討した。

表面含浸材は、コンクリートの表面に撥水効果を付与するシラン系と、コンクリートを緻密化させるケイ酸塩系に大別される³⁾⁴⁾⁵⁾。なお、北海道開発局道路設計要領の橋梁編では、水が常時滞水する部位にはケイ酸塩系含浸材、側面等の水が流下するような部位にはシラン系含浸材を使用することとなっている⁶⁾。

(3) 水切り対策

操作台底部の水切り対策として、これまで、操作台底部に切欠きが施工されている事例がある。しかしながら、切欠きによる水切りは、操作台のような断面の薄い部材においては、コンクリートの断面厚が部分的にさらなる薄くなるため、凍害劣化の影響を受け易くなると推測される。このため、水切り材の設置を検討した。

3. 実験概要

検討した滞水防止策の効果を検証するため、操作台を模擬した模型供試体に各対策案を施して比較する室内実験を行った。以下に概要を記す。

(1) 模型供試体

図-1に模型の模式図を示す。模型供試体（以下、供試体）は、操作台端部を模倣した形状とした。表-1に使用したコンクリートの配合を示す。

供試体の上面は、勾配なし（0%）と側面方向に2%、5%の下り勾配を設けた計3パターンとした。

表面含浸材は、一般的に使用されているシラン系含浸材とケイ酸塩系含浸材（ナトリウム系）を使用し、塗布量はそれぞれ400g/m²、200ml/m²とした。

水切り材は、市販されている軟質PVCを材質とした幅2.5cm、高さ1.5cmのものを使用し、接着には速乾性のあるエポキシ樹脂系の接着剤を用いた。

(2) 実験方法

実験ケースは、上面勾配の有無、上面・側面に表面含浸材の有無、水切り材の設置の有無を条件として設定した。表-2に実験ケースを示す。

実験は、操作台上面の滞雪からの融雪水が自然流下する状態を想定し、模型供試体の上面から融雪水を模擬した想定融雪水量を流下させ、各実験ケースにおける流下後のコンクリートの表面水分量を比較する方法とした。

想定融雪水量は、2006年～2010年の2～4月のアメダスデータ⁷⁾を用いて、道内4地域（道央、道北、道南、道東）の主要地点での時間最大積雪深から最も積雪深の減少が大きい値（8cm/h）から算出し、使用した水量は1,300cc/1ケースとした。

実験手法は、30分間で1,300ccの水を徐々に流下させ、その後30分放置した後、コンクリート表面の水分量（以下、表面水分量）を測定した。なお、滞雪と融雪水の流下を模擬するため、模型供試体上面に分析用ティッシュを敷き、その上に水を流下させた。写真-4に実験状況の例を示す。

測定は、分析用ティッシュに含まれる水分を上面残存量として計測した後、高周波容量式水分計を用いて、図-1に示す天端、側面、底面の計12カ所（①～⑫）で、表面水分量を測定した。なお、実験1ケース終了毎に、模型供試体を1日以上乾燥させ、表面水分量をほぼ同一にしてから次ケースの実験を行った。

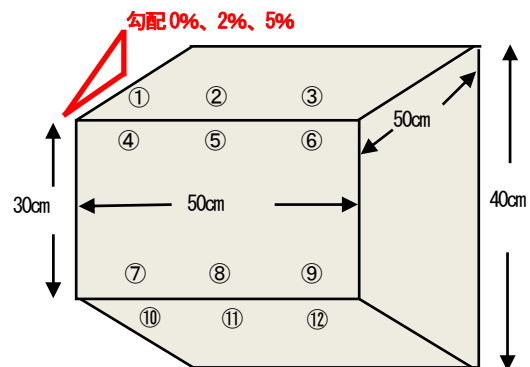


図-1 模型の模式図及び表面水分量測定箇所

表-1 供試体のコンクリートの配合表

セメントの種類	Gmax(mm)	スランプ(cm)	空気量(%)				
普通ポルトランドセメント	20	8±2.5	4.5±1.5				
W/C(%)	s/a(%)	単位数(kg/m ³)					
		W	C	S	G		
45	43	160	356	838	1102		

表-2 実験ケース

	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	—

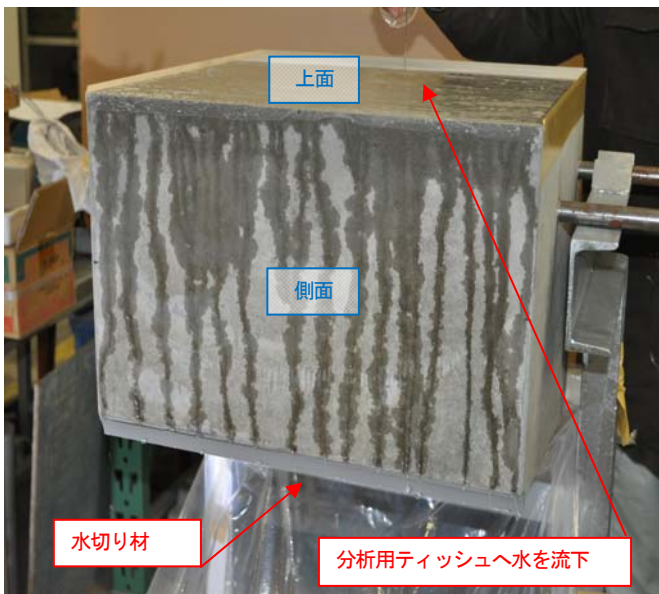


写真-4 実験状況の例 (水切り材設置ケース)

4. 実験結果

写真-5にケース1 (対策なし)、写真-6にケース4 (水切り材設置)、写真-7にケース10 (上面側面に含浸材塗布) の実験後の写真を示す。写真による外観から、対策なしのケース1に比べて、水切り材を設置したケース4は底面へ水が回り込まない状況が伺える。また、上面側面に含浸材の塗布を行ったケース10は、撥水効果により、コンクリート表面に水分の吸水跡が見られない。

図-2に各ケース毎の上面残存水量を示す。

全体的に上面勾配が急になるほど、上面残存水量が減少する傾向が見られ、勾配による滞水防止効果が確認できた。

また、表面含浸材を塗布したケースの方が上面残存水量は大きくなる傾向が見られた。表面含浸材の撥水や緻密化の効果により、上面残存水量は減少すると思われたが逆の結果となった。これは、上面に敷いた分析用ティッシュの影響によると考えられるが、これについては、今後検討を要する。



写真-5 対策なし (ケース1)



写真-6 水切り材設置 (ケース4)



写真-7 上面側面に含浸材塗布 (ケース10)

図-3に高周波容量式水分計による各ケース毎の上面・側面・底面における水分増加量を示す。ここで、水分増加量は、実験後の水分量から実験前の水分量を減じたものである。

水分増加量も、上面残存水量と同様に、全体的に上面勾配が急になるほど、上面の水分増加量が減少する傾向が見られた。しかしながら、底面の水分増加量は、上面勾配が大きくなるにしたがって増加する傾向が見られる。これは、上面の勾配によって流下速度が増加し、底面に水が多く巻き込みやすくなることが原因である。

次に、ケース4~6では、水切り材を設置すると、底面の水分増加量を大きく減少できる結果となった。

さらに、ケース7~12では、シラン系含浸材の塗布を行うと、水分増加量を大きく減少できる結果となった。この場合、上面・側面の両方に塗布したケースが最も効果が大きかった。なお、上面にケイ酸塩系含浸材を塗布したケース13は、上面の水分増加量が多い結果となった。これは、ケイ酸塩系含浸材は水分を吸着してゲル化し緻密化することから、コンクリート表面の吸着水を測定したためと考えられる。

5. 実構造物への試験適用

前述した模型実験結果により、操作台の滞水防止策として、操作台上面の勾配、底面への水切り材、表面含浸材の塗布による効果を確認できたことから、対策の有効性及び耐久性の検証を目的として、今年度（平成23年度）に実構造物において試験適用した事例を紹介する。

(1) 試験施工の対象樋門

試験施工の対象樋門は、平成23年度に補修を実施した3樋門とした。表-3に対象樋門の諸元、写真-8, 9, 10に対象樋門の操作台劣化状況を示す。

A樋門は建設から28年、B樋門は30年、C樋門は33年経過している。A樋門とB樋門では凍害劣化の特徴の1つである隅角部の欠損が生じており、C樋門ではさらに劣化が進行し、鉄筋が大きく露出している状況が見られる。

操作台の補修工事内容は、A樋門は上面・側面の断面補修工、B樋門は側面の断面補修工、C樋門は劣化が著しいため操作台の打換え工となっている。

表-3 対象樋門の諸元

樋門名	竣工年度	諸元
A樋門 (上屋無し)	昭和58年	直径0.6m×長さ7.0m ～1連
B樋門 (上屋有り)	昭和56年	高さ3.0m×幅3.0m×長さ23.0m ～2連
C樋門 (上屋無し)	昭和53年	高さ2.5m×幅2.0m×長さ31.0m ～3連



写真-8 操作台の劣化状況 (A 樋門)



写真-9 操作台の劣化状況 (B 樋門)

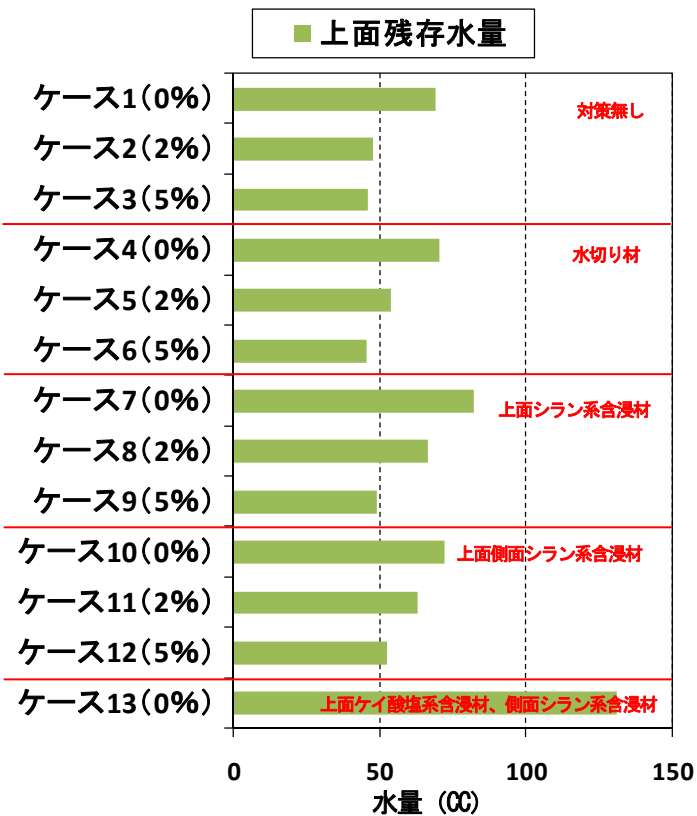


図-2 上面残存水量

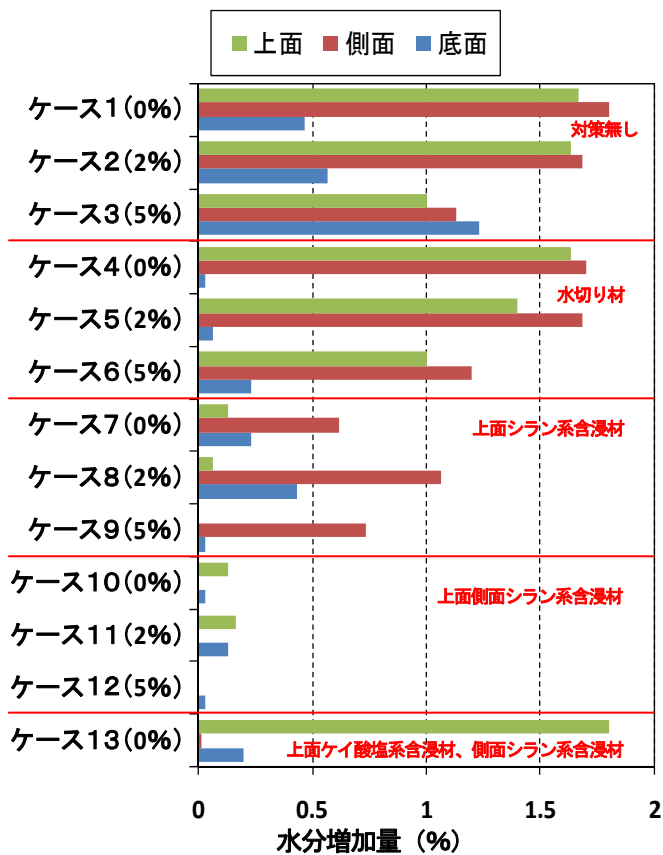


図-3 水分増加量 (高周波容量式水分計)



写真-10 操作台の劣化状況 (C 樋門)

(2) 試験施工の内容

表-4に試験施工の内容、図-4, 5, 6に試験施工のイメージ図を示す。

滞水対策として、A樋門は、操作台上面の全体に勾配を設けた。B樋門では、操作台上上屋がある場合の対策として、操作台上上屋の接合面に勾配を設けた。写真-11に、B樋門の試験施工後の状況を示す。

次に、吸水対策として、A樋門は、上面と側面に表面含浸材の塗布、B樋門は、操作台上上屋の接合部上面と側面に表面含浸材の塗布、C樋門は、新設操作台の半分に対して、上面と側面に表面含浸材の塗布を行った。なお、表面含浸材は、北海道開発局道路設計要領の橋梁編に準拠し、水が滞水し易い上面にはケイ酸塩系含浸材、水が流下し易い側面にはシラン系含浸材の使用を基本としたが、B樋門の接合部上面は面積が小さく、水の滞水も少ないと想定されるため、シラン系含浸材を用いたケースも行った。

さらに、水切り対策では、B樋門において、底面の前面と側面の片側に水切り材を設けた。

これらの試験施工の有効性については、今後、滞雪時、融雪水の流下時、乾燥時にコンクリートの水分量等を測定して効果を確認し、さらに追跡調査を行って、耐久性等の検証を行う予定である。

表-4 試験施工の内容

樋門名	滞水対策	吸水対策	水切り対策
A樋門	断面補修材による勾配 (上屋無しのため全面)	上面～ケイ酸塩系含浸材 側面～シラン系含浸材	
B樋門	断面補修材による勾配 (上屋有りのため端部のみ)	上面～ケイ酸塩系含浸材 シラン系含浸材 側面～シラン系含浸材	水切り材の設置
C樋門		上面～ケイ酸塩系含浸材 側面～シラン系含浸材	

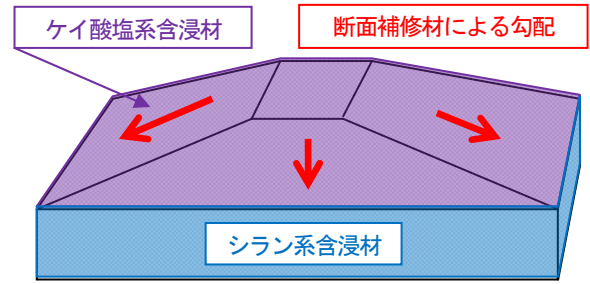


図-4 試験施工のイメージ図 (A 樋門)

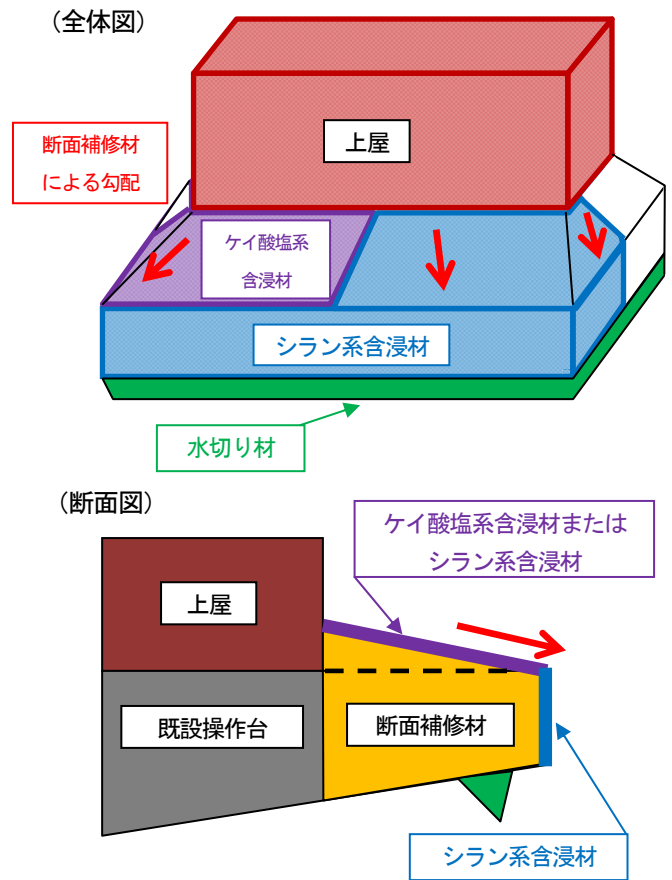


図-5 試験施工のイメージ図 (B 樋門)

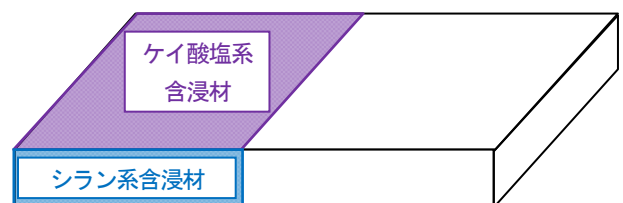


図-6 試験施工のイメージ図 (C 樋門)



写真-11 B 樋門の試験施工後の状況

6. まとめ

凍害劣化の生じやすい樋門の操作台について、凍害劣化対策として操作台への滞水防止策を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 操作台上面に勾配をつけることにより、上面の水分量及び上面残存水量を減少させることができる。
- (2) 操作台底部に水切り材を設置することで底面の水分量が減少する。
- (3) 表面含浸材を適用することで、操作台のコンクリートへの吸水を減少させることができる。この場合、上面・側面の両方に塗布した場合の効果が最も大きい。
- (4) 対策効果の有効性及び耐久性の検証を目的とし、実構造物に対して試験適用を行った。

今後更に、状況に合わせた試験施工事例を増やし、試験適用した樋門の追跡調査を行って行くことにより、対策効果や耐久性等を検証し、標準化に向けたとりまとめを行っていきたい。

最後に、試験施工や各種調査の実施に当たり、北海道開発局の関係の方々には、ご多忙の中、多大なご協力を頂いた。ここに記して深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 内藤勲、田口史雄、石谷隆始、畠秀樹、出合寿：河川樋門コンクリートの凍害劣化と再劣化に関する調査、寒地土木研究所月報第678号、pp. 17-26、2009. 11
- 2) 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度評価、第53回北海道開発局技術研究発表会、2010. 2
- 3) 樋原弘貴、武若耕司、松本淳一、前田聡：ケイ酸塩系表面含浸材の浸透深さと浸透域でのコンクリート品質改善に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 29、No. 2、pp. 547-552、2007. 7
- 4) 遠藤裕丈、田口史雄、吉田行：ケイ酸塩系含浸材によるコンクリートの品質向上効果の基礎的評価、寒地土木研究所月報第675号、pp. 2-7、2009. 8
- 5) 遠藤裕丈、田口史雄、林大介、坂田昇：浸透性吸水防止材を塗布したコンクリートのスケーリング特性、コンクリート工学年次論文集、Vol. 26、No. 1、pp. 987-992、2004
- 6) 北海道開発局道路設計要領第3集橋梁第2編コンクリート、参考資料3-コB-13～3-コB-15、2011. 4
- 7) 気象庁：アメダスデータ、2006. 2～2010. 4