

樋門コンクリートの凍害劣化と 点検手法に関する検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 ○渡邊 尚宏
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 内藤 勲

樋門コンクリートの長寿命化に向けて、点検や維持管理の重要性が非常に高まってきている。しかしながら、樋門コンクリートの凍害劣化に対する点検手法等は未だ確立されていない。本報告は、積雪寒冷地の樋門コンクリートに対応した点検手法の確立を目的に、超音波法とアンカー定着強度の確認調査を併用した凍害劣化調査を実構造物において試験的に実施し、点検手法としての適用性を検討した。

キーワード：点検手法、樋門コンクリート、凍害劣化、維持管理

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道の樋門コンクリートは、凍害の影響を常に受ける厳しい環境条件下にあり、適切な点検や維持管理を行うことにより、既存樋門の長寿命化を図ることは重要な課題となっている。これまでの点検の多くは、目視による外観調査や打音による調査の他、必要に応じて樋門コンクリートのコア採取による詳細な調査が行われていた。樋門操作台には、防護柵や上屋、ソーラー支柱などの多くの付属物がアンカーやコンクリート建て込みにより固定された構造となっており、その付属物周辺において凍害劣化によるコンクリートの損傷事例が多い。写真-1に損傷事例を示す。

樋門コンクリートの長寿命化のためには、凍害劣化による損傷の現状や、樋門構造の特性を踏まえた適切な点検や維持管理が重要であるが、凍害劣化に対する点検手法は未だ確立されていない。写真-1の③のように、樋門操作台を鋼板で拡張した事例では、鋼板下のコンクリートの劣化状況が点検しづらい構造もあり、適切な点検手法の確立が急務である。

本報告は、積雪寒冷地の樋門コンクリートに対応した点検手法の確立を目的に、樋門コンクリートの凍害劣化の程度を評価する調査手法として、樋門操作台において、超音波法と付属物を固定しているアンカーの定着強度確認調査を併用した凍害劣化調査を実構造物において試験的に実施し、点検手法としての適用性について検討した。



①アンカー固定部周辺の 損傷状況



②防護柵周辺の 損傷状況



③操作台拡張部周辺の 損傷状況

写真-1 損傷事例

表-1 対象樋門の諸元及び外観調査による対象樋門の状況

	完成年度	諸元 (操作台の厚さ)	劣化状況
A樋門	S42	B1.5m×H1.2m×L29.42～2連 (0.45m)	操作台側面一部鉄筋露出、経年劣化による黒ずみ
B樋門	S44	B1.5m×H1.5m×L32.1～2連 (0.40m)	経年劣化による黒ずみ
C樋門	S46	B2.5m×H2.5m×L75.66～2連 (0.30m)	経年劣化による黒ずみが多少あり
D樋門	S56	B1.5m×H1.5m×L23.0～1連 (0.30m)	操作台のはく離



写真-2 C樋門の状況



写真-3 D樋門の状況

2. 調査概要

樋門コンクリートの凍害劣化に対する点検については、これまで多くが、一次点検として目視による外観調査による変状状況の把握や、打診用ハンマーによるコンクリート表面の浮き等の調査結果等から、経過観察が必要な箇所と、詳細な二次点検が必要な箇所を選定し、二次点検が必要な箇所についてはコア採取により凍害劣化深さの計測などが点検手法として行われていた。樋門操作台には、その構造上、防護柵や、ソーラー支柱、巻き上げ機などが、あと施工によるアンカーボルトにより固定されている。また、補修工事などで樋門操作台に鋼板で、全体的又は部分的に拡幅している事例もある。しかし、あと施工によるアンカーボルトについては、施工直後は設計定着荷重を満足していると思われるが、施工後に凍害劣化が生じて、経年進行した場合、設計定着荷重を下回る可能性がある。しかしながら、施工後のアンカー一定着強度の変化を把握する調査は行われていないのが現状である。このことから、完成後数十年経過した樋門操作台のあと施工アンカー固定部において、超音波法による調査とアンカー一定着強度確認調査を併用した凍害劣化調査を行い、点検手法としての適用性について検討した。以下に調査概要を示す。

(1) 凍害劣化調査の対象樋門

凍害劣化調査を実施した箇所については、既往の目視による外観調査結果や、樋門完成年度、凍害劣化の進行度合いの違いを考慮し、天塩川の4樋門を選定した。現地調査については、平成25年10月23日、24日に行った。表-1に対象樋門の諸元及び外観調査による対象樋門の状況、写真-2,3に対象樋門の代表例を示す。

(2) 超音波法（表面走査法）

既往研究¹⁾において、北海道内の道路橋コンクリート部材を対象に、表面走査法による凍害劣化診断への適用性について報告している。ここでは、樋門操作台コンクリートの表面に超音波の発・受振子をあててコンクリート内部の超音波伝播速度の分布を調査し、その結果を基に、劣化層の厚さを推定する表面走査法による調査を行った。

図-1に、表面走査法のイメージ図を示す。劣化層が表面に存在する場合に図-1に示す折れ線グラフとなる。

原点からの変曲点までの距離を X_0 、劣化層と健全層における伝播速度をそれぞれ、 V_d 、 V_s とすると、劣化層の厚さ t は、次式(1)で表される。

$$t = \frac{X_0}{2} \sqrt{\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d}} \quad (1)$$

表-2 凍害劣化調査箇所

	超音波法(表面走査法)による測定箇所	アンカー定着強度の確認調査	
		測定箇所	アンカー径
A樋門	ソーラー電源部アンカー固定部付近	ソーラー電源部アンカー固定部	M12
B樋門	操作台拡幅部アンカー固定部付近	操作台拡幅部アンカー固定部	M16
C樋門	防護柵アンカー固定部付近①	防護柵アンカー固定部①	M12
	防護柵アンカー固定部付近②	防護柵アンカー固定部②	
D樋門	ソーラー電源部アンカー固定部付近	ソーラー電源部アンカー固定部	M16

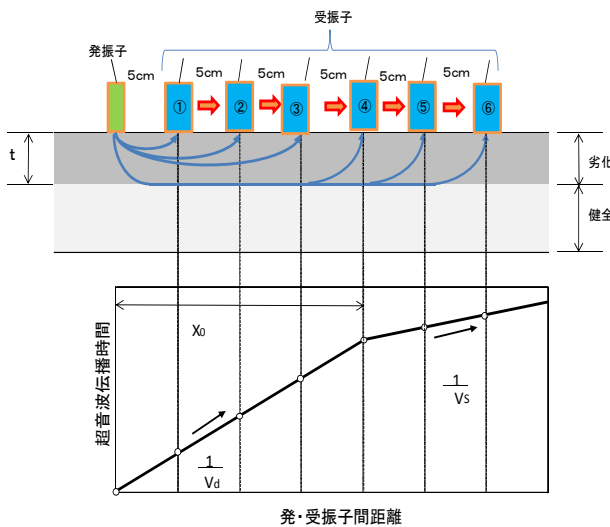


図-1 表面走査法のイメージ図

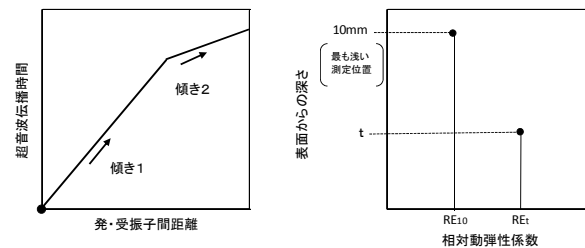
次に、 V_d 、 V_s の逆数に相当する表面走査法のグラフから求まる直線の傾きと、コンクリート内部の超音波伝播速度の分布の測定結果が整理すると、図-2となる。

表面からの深さ10mmと深さt位置の相対動弾性係数は、次式(2)で表される。

$$RE = 21.7 x^{-0.81} \quad (2)$$

REは、相対動弾性係数、 M は表面走査法によるグラフの傾き1もしくは2である。

一般に相対動弾性係数が60%を下回ると凍結融解作用を受けた際の長さ変化率は急速に大きくなるとされ、土木学会コンクリート標準示方書²⁾ [設計編]では、凍害に関する性能を満足するための相対動弾性係数の最小限界値が60~85%に設定されている。算出にあたって、コンクリート表面水率については、既往の水分量調査結果を参考として、6%と仮定し算出した。



条件	整理する関係
tの算出不可(折れ線なし)	傾き1とRE10 (品質は全体的に均質)
t > 10mmの場合	傾き1とRE10、傾き2とREt
t ≤ 10mmの場合	傾き2とRE10

図-2 直線の傾きと相対動弾性係数の整理と考え方

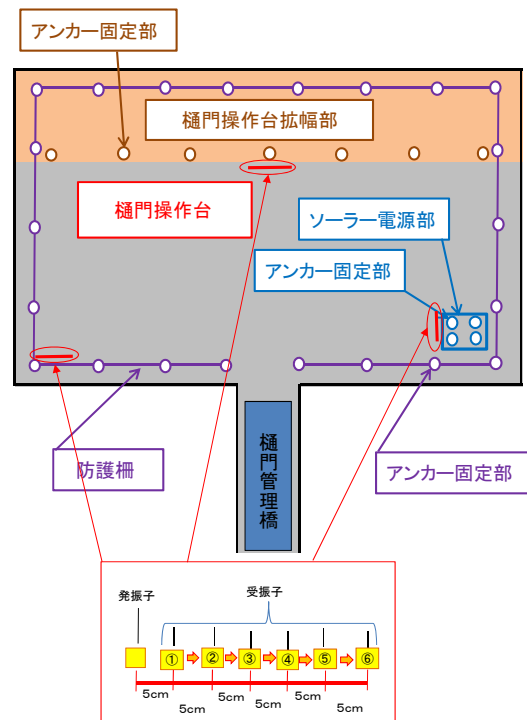


図-3 表面走査法測定箇所のイメージ図



写真-4 表面走査法による調査状況(B樋門)



写真-5 表面走査法による調査状況(C樋門)

測定箇所は、表-2に示すように樋門操作台の防護柵アンカー固定部付近や、ソーラー電源部のアンカー固定部付近等の5箇所を実施した。

測定方法は、図-1に示すとおり、最初に発振子から5cm離れた地点に受振子を設置し、5cm間隔で6点の測定を行った。平面的な測定箇所のイメージは図-3に、調査状況は、写真-4, 5に示す。

(3) アンカー定着強度の確認調査

調査箇所は、表-2に示すように樋門操作台の防護柵アンカー固定部や、ソーラー電源部のアンカー固定部付近等の5箇所を実施した。アンカー径については、M12及びM16の2種類である。

調査に使用した機器は、アンカーボルトを引き抜かず、ナットの締め付け反力で測定するアンカー引き抜き試験器（電気式非破壊試験器）を用いて実施した。

測定方法は、アンカー固定部にセンターホール型荷重計を設置し、スパナでナットを回転させながら測定を行った。各測定箇所において、人力で概ね90°回転させる速度を2秒程度とし、1回転させるのに8秒程度で回転させて測定を行った。荷重については、表示機に随時表示される。調査時の状況を写真-6に示す。図-4にアンカー定着強度確認調査のイメージ図を示す。



写真-6 アンカー定着強度確認調査の実施状況(C樋門)

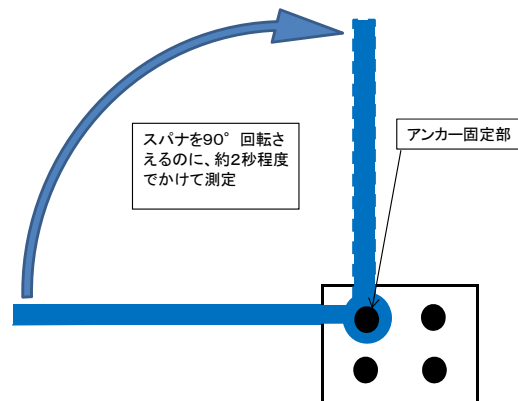


図-4 アンカー定着強度確認調査のイメージ図

3. 調査結果

図-5に表面走査法による調査結果を示す。表面から深さ方向の相対動弾性係数を算出し、グラフ化したものである。また、各樋門のアンカー埋込長さをグラフに示した。アンカー埋込長さは、標準的な芯棒打ち込み式アンカーボルトの規格値であるM12は60mm、M16は70mmと示した。

図-6にアンカー定着強度確認調査結果を示す。各アンカー径ごとの設計荷重（M12、17.9KN、M16、31.5KN）を点線で示す。

表面走査法による相対動弾性係数の算出結果から、4樋門5箇所の調査地点において、表面付近において凍害劣化の目安となる60%を下回っている結果となり、凍害劣化が進行していると推測されるが、箇所により37%～52%程度の違いが見られた。アンカー定着強度確認調査結果については、すべての調査箇所において設計荷重程度の定着強度が確認されており、異常な箇所は確認されなかった。アンカー埋込長さと同動弾性係数の関連性

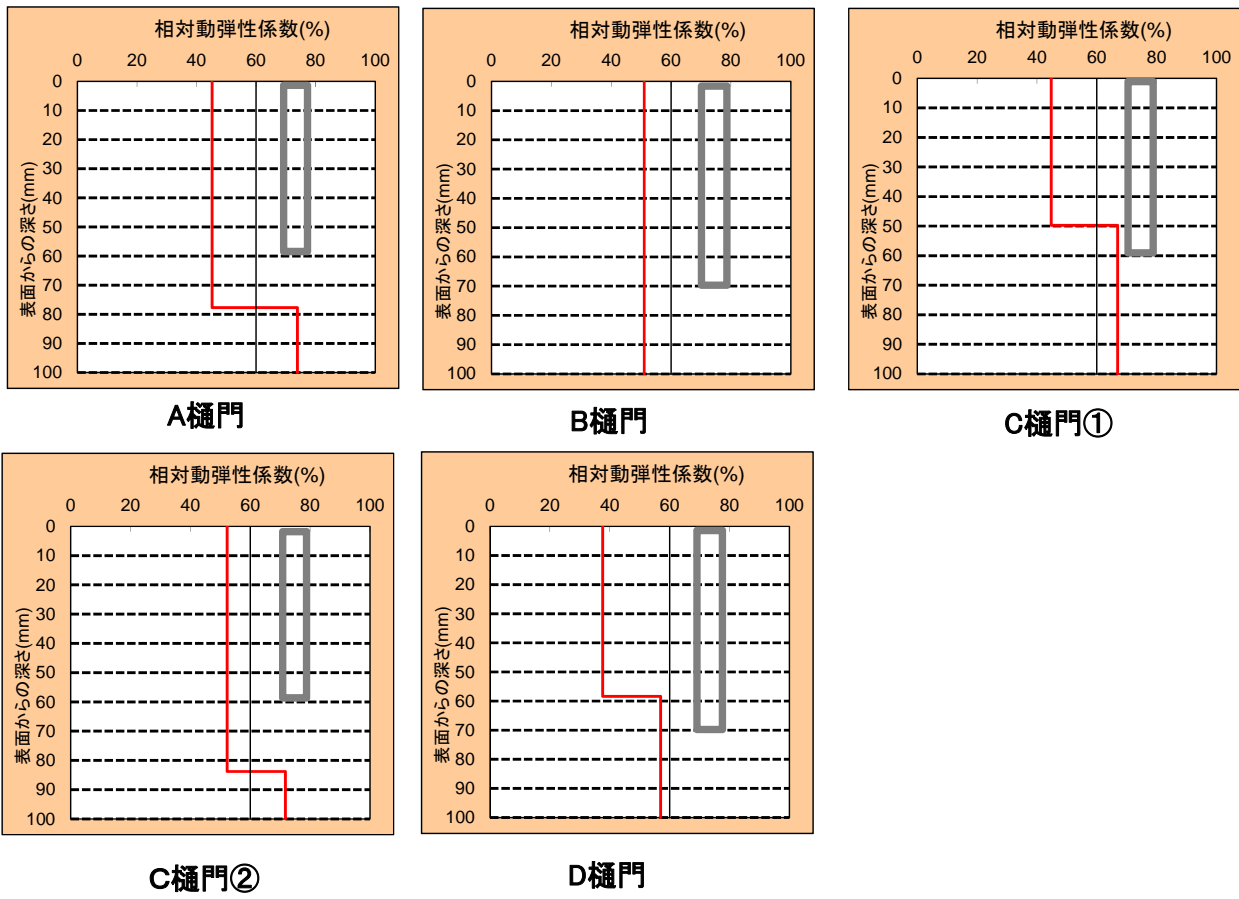


図-5 表面走査法による調査結果
(灰色はアンカー埋込長さを示す)

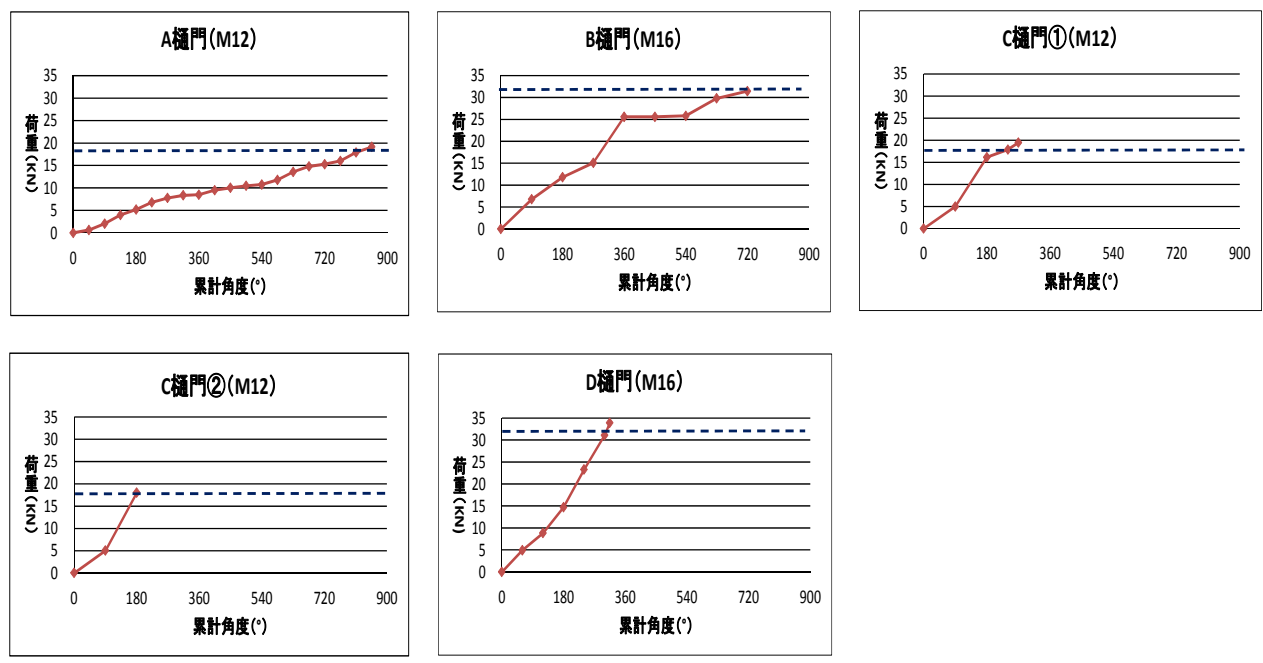


図-6 アンカー一定着強度確認調査結果
(点線は設計荷重を示す)

については、A樋門は相対動弾性係数が、40～50%の劣化層、B樋門、C樋門②、D樋門は、50～60%の劣化層、C樋門①は、60%を上回る健全な層にそれぞれアンカーが定着している。なお、C樋門①とD樋門は表面からの相対動弾性係数が40%前後であるが、アンカー先端が60%前後に定着している。これらのアンカー定着状態とアンカー定着強度確認調査結果との関連性を見ると、A樋門のみ累計角度と荷重上昇の勾配が他の樋門と比較すると緩い傾向が見られた。コンクリートの相対動弾性係数が60%を下回るとコンクリートの圧縮強度も低下するため、アンカー定着強度もそれに伴い低下すると考えられる。本試験のアンカー引き抜き試験器は、ナットの締め付け反力で測定するため、コンクリートが劣化して強度が低下した場合、締め付け反力も低下して、A樋門のように荷重上昇勾配が緩くなったと思われる。相対動弾性係数が50%以上の分析では、その傾向が見られなかったことから、相対動弾性係数が50%を下回ると、アンカー定着強度へ影響があることが、今回の結果からは推測される。

4. 点検手法としての適用性

今回の調査結果から、超音波法（表面走査法）及びアンカー定着強度の確認調査について、樋門コンクリートの点検手法への適用性について考察する。

今回行った超音波法（表面走査法）では、4樋門の5地点すべてにおいて、コンクリート表面の相対動弾性係数は60%を下回っていたが、深さには差があることが確認された。アンカー定着強度の確認調査では、相対動弾性係数が60%以下の劣化層でも、約50%を境として、40～50%の場合にはアンカー定着強度へ影響が見られるが、50～60%の場合には、その影響が少ないことを確認した。このことから、アンカー定着強度を調査することにより、コンクリートの劣化の程度をある程度評価することが可能であることが、確認できた。従って、一般的に行われている点検手法や超音波法での診断が難しいアンカー周りなどのコンクリート点検手法として、アンカー定着強度の確認調査は有効な一手法であると思われる。

5. まとめ

本報告では、積雪寒冷地の樋門コンクリートに対応した点検手法の確立を目指し、樋門コンクリートの凍害劣化の程度を評価する調査手法として、超音波法（表面走査法）とアンカー定着強度の確認調査を併用した凍害劣化調査を実施し、点検手法としての適用性を検討した。その結果得られた知見は、以下のとおりである。

- (1) 超音波法（表面走査法）及びアンカー定着強度の確認調査はある程度相関が見られたことから、併用することにより、樋門コンクリートの点検手法として有効である。
- (2) アンカー定着強度確認調査は、操作台の拡幅箇所のような、一般的な調査が困難な箇所において、凍害劣化の程度を判断する一手法として有効であると思われる。

今回の調査は、試験的に実施したものであり、調査事例数が現時点では、まだ少ない状況である。今後は、新設された健全な箇所や、凍害劣化の著しい箇所も含めて調査事例を増やし、調査方法の工夫も含めて検討を行い、点検手法の確立に向けて調査検討を行っていきたい。

最後に、各種調査の実施にあたり、北海道開発局の関係の方々には、ご多忙の中、多大なご協力を頂きました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 遠藤裕文、田口史雄、林田宏：コンクリート部材の凍害診断への表面走査法の適用に関する研究、第55回北海道開発技術研究発表会、2012.2
- 2) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕、p 158、2013.3