

# 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

(独) 土木研究所寒地土木研究所 道央支所 畠 秀樹  
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 内藤 勲  
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 田口 史雄

樋門コンクリート構造物のライフサイクルコストの低減や長寿命化を図るため、補修等による対策が行われているが、厳しい環境条件である北海道では、補修後、早期に再劣化している事例がある。このため、補修後も適宜点検等を行い、補修後の状態変化や再劣化状況などを把握し、適切な対策を行うことが重要である。本報告は、補修した樋門コンクリート構造物及び模擬補修供試体において、超音波調査等による再劣化診断を行い、樋門コンクリート構造物の補修後の点検手法への適用性について検討したものである。

キーワード：樋門コンクリート構造物、長寿命化、再劣化、超音波調査、点検手法

## 1. はじめに

積雪寒冷地である北海道においては、冬期間の凍結融解作用等の気象条件による影響が大きく、老朽化に加えて凍害等により、劣化が進んでいる樋門コンクリート構造物が多く見られる。これらの樋門を長期間使用するため、断面補修や表面被覆等の補修を行っているが、補修後、再劣化している状況が確認されている。しかし、補修後の樋門コンクリート構造物の状態を定量的に診断する手法や再劣化の対処方法が明確でないこと、また、補修後の点検に明確な基準等がないことから、再劣化に対する適切な診断や処置等が求められている。このため、再劣化を防止することはもちろんであるが、再劣化が生じた場合、適切に対処するための、補修後の定期的な点検等の実施による現状や再劣化進行度合いの把握が重要である。さらに、再劣化度合い等を簡易に把握する手法の開発が望まれる。筆者らはこれまで、再劣化が生じている補修樋門コンクリート構造物の内部状態を、超音波調査によって把握できることを報告している<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。本報告は、これまでの研究で得た知見をもとに、比較的簡易に測定可能である超音波調査によって、再劣化度合いなどを把握し、補修樋門コンクリート構造物の補修後点検等への超音波調査の適用性を検討したものである。

## 2. 試験・調査概要

模擬補修供試体における凍結融解促進試験による室内試験と補修樋門コンクリート構造物による現地調査を行った。なお、現地調査は、補修箇所の再劣化度合いを簡

易に把握するため、超音波透過法と超音波トモグラフィ法を主に行った。また、超音波調査との比較のため小径コアでの強度試験も実施した。

### (1) 室内試験

図-1に模擬補修供試体の模式図、表-1にコンクリートの配合、表-2に使用した補修材の物性等を示す。10×10×40の角柱供試体側面に切り欠き部(10×3×20)を設けて、断面欠損に見立てた供試体を作製した。その後、28日水中養生を行い、切り欠き部を表-2のポリマーセメントモルタルで補修し、7日間の湿潤養生を経て模擬補修供試体とした。なお、補修を施す面には、レイタンス除去等の表面清掃処理を行ったが、チッピング等の粗面仕上げは行っていない。また、調査面裏側からの影響を極力抑制させるため、供試体裏面にエポキシ樹脂のコーティングを施した。

試験は、模擬補修供試体をJIS A 1148 (A法)に準じて凍結融解試験を行い、約30サイクル毎に質量減少率と相対動弾性係数を測定し、同時にトモグラフィ法によ

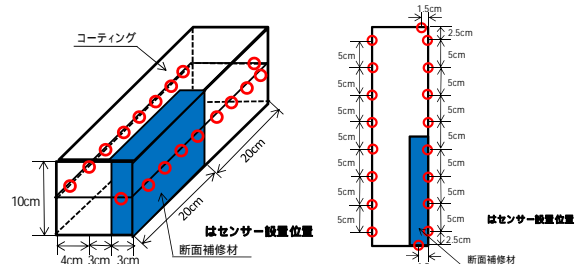


図-1 模擬補修供試体の模式図 図-2 模擬補修供試体の超音波(トモグラフィ)測定位置図

る超音波伝播速度測定を行った<sup>5)</sup>。図-2に模擬補修供試体の超音波（トモグラフィー）測定位置図を示す。超音波の測点は、補修面と裏面で各8点、側面の2点とし、測線数は97測線とした。

表-1 コンクリート配合表

セメント	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)
高炉B種	20	8 ± 2.5	4.5
W/C (%)	s/a (%)	単位置 (kg/m <sup>3</sup> )	
55	45	154	280 855 1025

表-2 ポリマーセメントモルタルの物性値

材齢 28日	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	30.0
	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	6.8
	付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	2.0
	長さ変化	-4.5 × 10 <sup>-4</sup>

(2) 現地調査

現地調査は、図-3に示すように、北海道内の直轄3河川（後志利別川、湧別川、天塩川）の3樋門で行った。これらの樋門の補修状況等を表-3に示す。A、B樋門はポリマーセメント系補修材と一液型アクリル系樹脂塗料が施されており、C樋門は、アクリル系樹脂の補修材と被覆材で補修されている。なお、A、B樋門の補修材は同一種である。A、C樋門は補修後8年、B樋門は補修後3年が経過している。



図-3 現地調査箇所

表-3 補修状況

樋門名	改修年次	補修年度	補修材等
A樋門	昭和48年度 (1973年)	平成15年度 (2003年度)	断面補修 (ポリマーセメント系補修材)、表面被覆材 (一液型アクリル系樹脂塗料)
B樋門	昭和47年度 (1972年)	平成18年度 (2006年度)	断面補修 (ポリマーセメント系補修材)、表面被覆材 (一液型アクリル系樹脂塗料)
C樋門	昭和47年度 (1972年)	平成15年度 (2003年度)	断面補修 (アクリル系樹脂補修材)、表面被覆材 (アクリル系樹脂被膜材)

表-4に樋門の調査内容の一覧を示す。また、図-4～図-6の調査模式図にそれぞれの樋門における調査位置を示す。調査位置は、凍害等により角部が欠損しやすい操作台（管理橋台）端部とした。調査方法は、超音波の透過法<sup>6)</sup>、超音波のトモグラフィー法を用いた非破壊による内部状態の詳細調査を行った。さらに、小径コアを削孔し、内部状態の目視確認及び圧縮強度試験を行い、非破

壊試験の結果との比較を行った。なお、超音波測定は、周波数は28kHzで行い、超音波伝播速度とコンクリートの品質判定は、表-5<sup>7)</sup>を利用した。

表-4 調査内容 (方法・数量)

	A 樋門	B 樋門	C 樋門・操作台	C 樋門・管理橋台
小径コア	3個 ( 25 )	1個 ( 25 )	1個 ( 30 )	1個 ( 30 )
透過法 (測線数)	7測線 × 3断面 = 21 測線	4測線 × 3断面 = 12 測線	7測線 × 2断面 = 14 測線	7測線 × 1断面 = 7 測線
トモグラフィー (測線数)	133測線 × 3断面 = 399測線	105測線 × 3断面 = 315測線	147測線 × 2断面 = 294測線	147測線 × 1断面 = 147測線
備考		水濡れ箇所あり (断面3付近)	劣化ひび割れあり	劣化ひび割れあり

表-5 超音波速度とコンクリートの品質

超音波伝播速度 $v_p$ × 10 <sup>3</sup> m/s	状態
4.57 ~	優
3.66 ~ 4.57	良
3.05 ~ 3.66	やや良
2.13 ~ 3.05	不良
~ 2.13	不可

a) 超音波透過法

透過法は、図-4～図-6の調査模式図に示す。透過法は、各樋門操作台（管理橋台）の上下面を挟むように測定を行った。測定断面は各樋門3断面とし、測点間隔は5cmとした。なお、測定断面のイメージを図-7に示す。A、C樋門の測点は、各断面で上下面各7点、測線数は7測線/断面とした。B樋門の測点は、各断面で上下面各4点、測線数は4測線/断面とした。

b) 超音波トモグラフィー法

トモグラフィー法は透過法と同位置で行い、各断面の上部、側面、下部を5cm間隔で測定した。A樋門の測点は、各断面で上下面各7点、側面6点とし、測線数は133測線/断面とした。B樋門の測点は、各断面で上面4点、下面7点、側面7点とし、測線数は105測線/断面とした。C樋門の測点は、各断面で上面7点、下面7点、側面7点とし、測線数は147測線/断面とした。

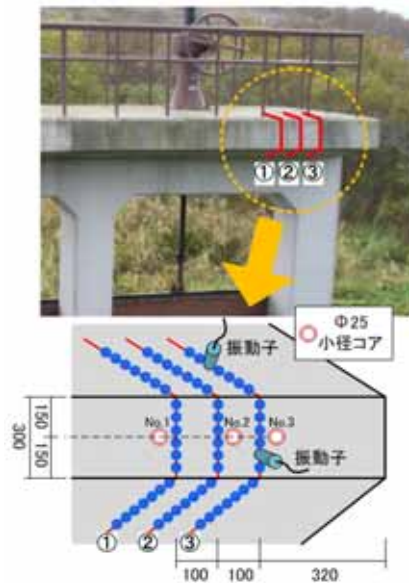


図-4 調査模式図 (A樋門)

c) 圧縮強度試験

超音波調査を行った箇所から小径コア（25mm～30mm）を採取し、コア及び削孔内部の目視確認後、圧縮強度試験を実施した。圧縮強度試験方法は、JIS A 1007、JIS A 1108及び土研法<sup>3)</sup>に準拠して実施した。

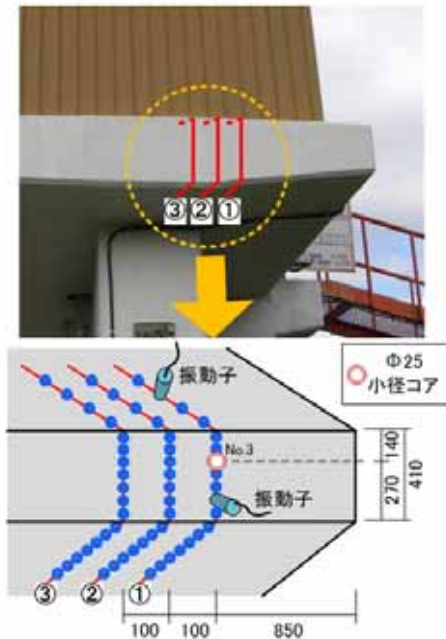


図-5 調査模式図（B 樋門）

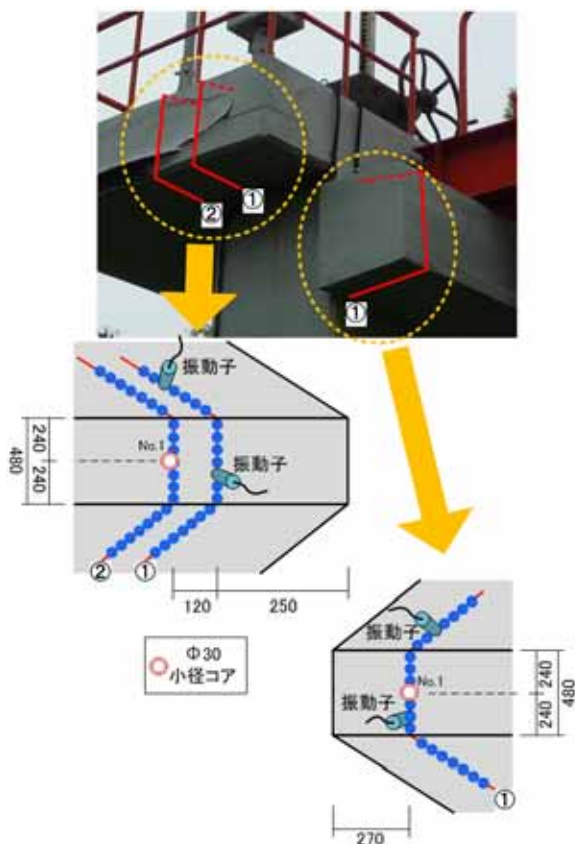


図-6 調査模式図（C 樋門操作台）

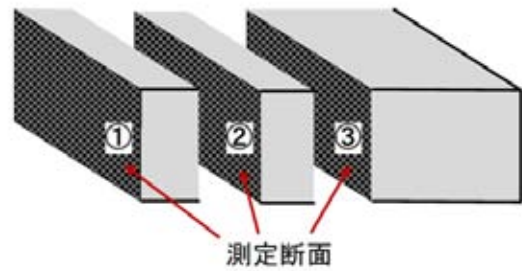


図-7 測定断面のイメージ

3. 試験・調査結果

(1) 模擬補修供試体の実験結果

図-8に、トモグラフィー法による超音波伝播速度分布を示す。0サイクルにおいて母材部と補修部に若干の速度差が見られるが、これは、母材と補修材の界面に僅かな空隙が発生したためと思われる。凍結融解サイクル数が増えるにしたがって、母材と補修材との接着面付近の速度が遅くなり、範囲も徐々に大きくなっていることがわかる。300サイクルでは、接着面付近の速度が広範囲にわたって低下していた。これは母材と補修材との接着面に進入した水分の凍結融解作用により、母材や補修材が劣化もしくは補修材の剥離が徐々に広がっていると推定される。また、図-9に示す、質量減少率と相対動弾性係数のグラフを見ると、質量減少率は300サイクルではほとんど変わらないが、300サイクルにおける相対動弾性係数は、コンクリート部で95%程度、補修部で75.7%となっており、補修部では180サイクル程度から相対動弾性係数が減少していることから、サイクル数の増加とともに補修材の接着面付近が徐々に凍害劣化を起こしていると考えられる。このことから、補修後の再劣化進行状態をトモグラフィー法によって確認することが可能であることがわかった。

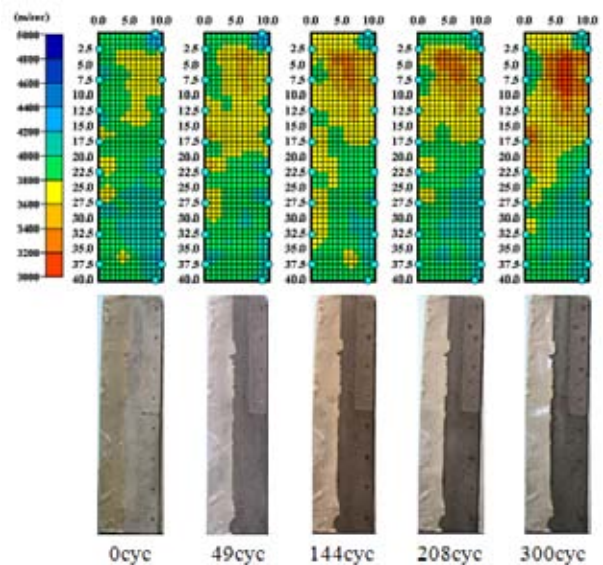


図-8 トモグラフィーによる超音波伝播速度分布

（上：超音波伝播速度分布図、下：模擬補修供試体写真）



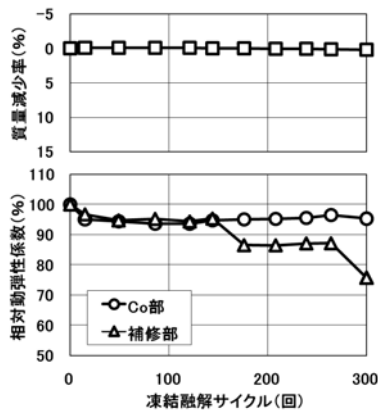


図-9 質量減少率と相対動弾性係数

(2) 現地調査結果

a) 超音波透過法

図-10～12に、各樋門における超音波透過法の結果を示す。A樋門は、全体的に速度に大きな変化がなく、速度も3,500m/s以上であった。外観上も大きな変状は見られなかったことから、比較的良好な状態であると思われる。B樋門は全体的に速度が若干低いが、測線3以外は3,000m/s以上で状態としてはやや良であり、外観上も特に目立った変状は見られない。しかし、測線3の速度が特に低下していることと、測線3付近の下面の一部から雨天時や雪解け時に断続的に水滴が出ていることを確認しており、測線3付近のコンクリート内部に何らかの異常があると推測できる。C樋門は、全体的に速度が低い。C樋門は外観から大きく変状していることがわかる状態であり、内部もかなり再劣化が進んでいると推測される。操作台は内部に行くにしたがって速度が若干早くなっているが、管理橋台は逆の傾向となっており、内部の補修材の剥離状況等によって測定値にバラツキが出ていると考えられる。

b) 超音波トモグラフィー法

図-13にA樋門、図-14にB樋門及び図-15にC樋門のトモグラフィー解析結果を示す。A樋門は、上部に速度の低い箇所があるが、操作台上面に融雪水が滞水することによる凍結融解によって若干の凍害劣化等が生じていると考えられるが、しかし、速度自体は3,800m/s以上で

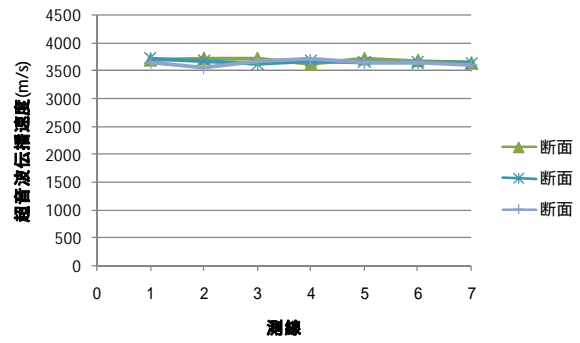


図-10 透過法による超音波速度 (A樋門)

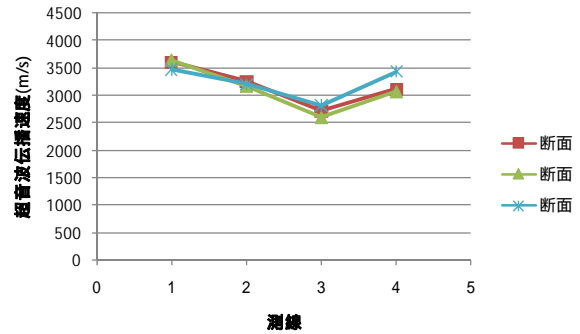


図-11 透過法による超音波速度 (B樋門)

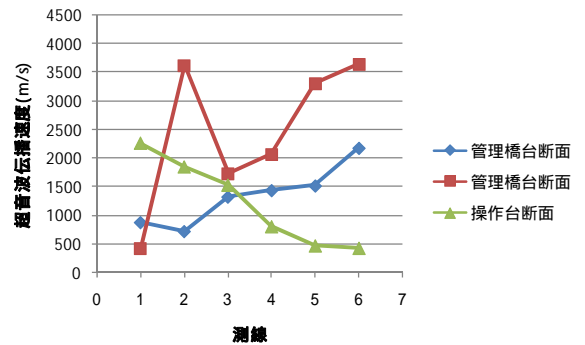


図-12 透過法による超音波速度 (C樋門)

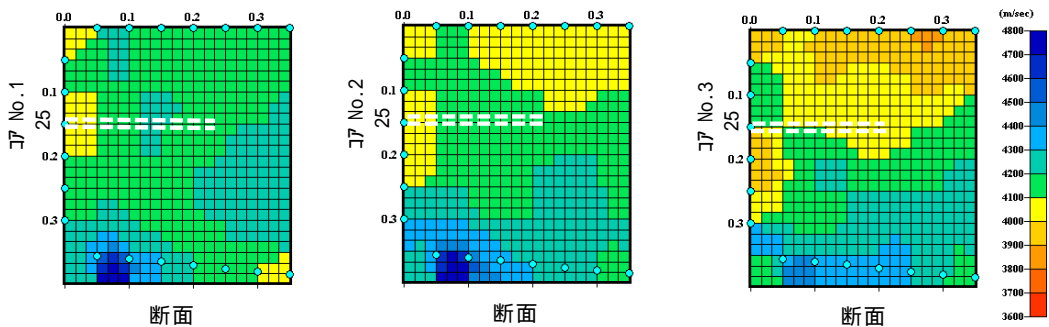


図-13 トモグラフィー解析結果 (A樋門)

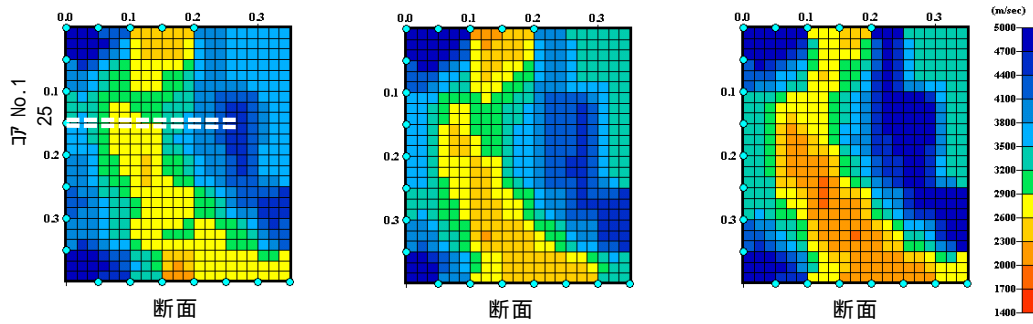
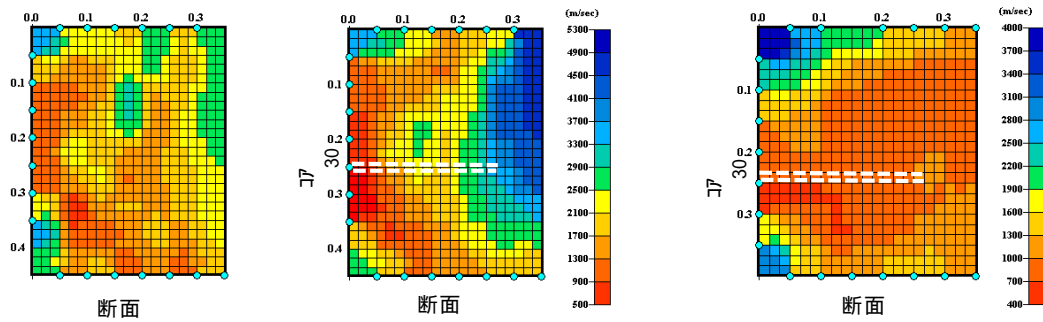


図-14 トモグラフィー解析結果 ( B 樋門 )



( 操作台 )

( 管理橋台 )

図-15 トモグラフィー解析結果 ( C 樋門 )

表-6 コア試験結果 ( 写真、トモグラフィー解析結果、圧縮用度 )

採取箇所	A樋門No.1 25 × 230	A樋門No.2 25 × 220	A樋門No.3 25 × 210
採取コア状況			
圧縮強度	21N/mm <sup>2</sup>   32N/mm <sup>2</sup>   28N/mm <sup>2</sup>	33N/mm <sup>2</sup>   23N/mm <sup>2</sup>	41N/mm <sup>2</sup>   22N/mm <sup>2</sup>   39N/mm <sup>2</sup>
トモグラフィー			
	トモグラフィーの速度の凡例は図-13参照		
採取箇所	B 樋門No.1 25 × 270	C樋門操作台 30 × 230	C樋門管理橋台 30 × 260
採取コア状況			
圧縮強度	46N/mm <sup>2</sup>	32N/mm <sup>2</sup>	
トモグラフィー			
	トモグラフィーの速度の凡例は図-14参照	トモグラフィーの速度の凡例は図-15参照	トモグラフィーの速度の凡例は図-15参照

良の状態であり、補修後8年経過しているが、ほぼ良好で特に問題がない状態であると言える。それに比べB樋門は、内部に速度が低下している箇所が明確にわかり、上部から下部に向けて水みちのように分布している。したがって、測線3付近下面からの断続的な水滴は、この水みちから通水していたことが確認できた。しかしながら、外観上に欠損等が見られないことから、これは、先に行った模擬補修供試体の室内実験結果と同

じような結果であり、補修材と母材との界面付近に雨水や融雪水等が進入し、凍結融解作用によって再劣化が生じたと考えられる。今後、さらに継続してトモグラフィー法での測定を行うことによって、再劣化の進行度合いを確認することが可能であると思われる。C樋門は、ほとんどが速度の低い結果となった。このような劣化状態までなると、今後、さらに再劣化が進行してもトモグラフィー法により、進行度合いを評価す

ることは難しいと考える。

#### e) 圧縮強度試験とトモグラフィー法の比較

表-6に、A樋門、B樋門及びC樋門の小径コアの写真とそのトモグラフィー、圧縮強度試験結果を示す。

A樋門のコアは、比較的トモグラフィーの速度も高く強度も十分あることから、ほぼ健全な状態であることが確認できる。B樋門のコアは、表面から5cm～15cm間でコアが形成できない欠損部があった。これは、透過法での速度低下箇所、及びトモグラフィーで速度が低下している水みちと思われる部分に該当する。C樋門のコアは、一部を除いてほとんどコアが形成できない状態であり、コンクリートが砂利化していた。超音波の測定結果もコアの状態とほぼ一致している。以上の結果から、超音波により補修内部の変状位置をほぼ精度良く測定することが可能であり、B樋門、C樋門のように、内部に変状がある場合、コアを使った強度測定はできないが、超音波によって定量的に劣化度合いを把握することができることがわかった。

#### (3) 補修後の点検方法の提案

超音波の測定結果は、定量的なデータとて残ることから、経年的に調査した結果と比較でき、劣化の原因等を把握するための基礎データとなり得る。これらのデータを蓄積して計画的な維持管理へ活用することはライフサイクルコストの縮減にも繋がると考える。このことから、超音波を用いた樋門コンクリート構造物の定期的な補修後点検を以下の例のように提案する。

補修工事の竣工検査時（初期値）：外観目視、透過法、トモグラフィー法

竣工検査後3年間は1年毎に点検：外観目視

その後定期的（3～5年程度）に点検：透過法

外観上もしくは透過法により何らかの異常を発見した場合：透過法、トモグラフィー法

補修直後の初期値は、再劣化進行状況を把握するためには必要であり、竣工検査時に行うのが望ましい。竣工検査後は、B樋門のように補修後3年程度で早期に内部の再劣化が発生している事例もあることから、竣工後3年程度は1年毎の外観目視点検を提案したい。その後は透過法による定期的な点検が再劣化発見に有効であるため、樋門本体の定期点検時に併せて行うことが望ましい。なお、測定箇所と測定数などは、樋門の規模等によって決定することとしたいが、今後の検討としたい。

## 4. まとめ

今回の調査結果により得られた知見は以下の通りである。

- 1) 模擬補修供試体による凍結融解試験において、補修後の再劣化過程をトモグラフィー法によって確認することができた。
- 2) 現地調査において、透過法によって再劣化の有無が判断でき、トモグラフィー法によって再劣化の度合いを診断することが可能であることがわかった。
- 3) 補修後の点検として超音波調査は有効であり、通常は透過法、異常があった場合はトモグラフィー法による再劣化進行度合いの継続監視が有効である。

今後、さらに樋門コンクリート構造物の再劣化の事例を増やして検証し、超音波調査を補修後の点検手法として活用できるよう検討していきたい。

謝辞：樋門の現地調査にあたっては、北海道開発局の関係の方々にご協力をいただきました。ここに記して深甚な謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 林田宏、田口史雄、遠藤裕丈、草間祥吾：超音波伝播速度測定によるコンクリート構造物の凍害診断に関する基礎的研究、寒地土木研究所月報 No656、pp.10-15、2008.1
- 2) 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2009年11月、pp.17-26、2009.11
- 3) 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回年次学術講演会論文集、V-212、2009.9
- 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
- 5) 木村芳幹：超音波トモグラフィー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
- 6) 超音波試験(土研法)による新設の構造体コンクリート強度測定要領(案)、土木研究所、(社)日本非破壊検査協会、2006.5
- 7) 岡田清、六車熙編集：改訂新版コンクリート工学ハンドブック、pp525