

超音波法を用いたコンクリート開水路の凍害診断

Frost Damage Diagnosis of Concrete Canal by Ultrasonic Pulse Method

○佐藤智* 石神暁郎* 金田敏和* 蒔苗英孝** 会沢義徳*** 西田真弓** 中村和正*

SATO Satoshi, ISHIGAMI Akio, KANETA Toshikazu, MAKANAE Hidetaka, AIZAWA Yoshinori, NISHIDA Mayumi, NAKAMURA Kazumasa

1. はじめに

北海道のような寒冷地において、コンクリート開水路の劣化要因の1つとして凍害がある。長大な水路において凍害の診断を如何に効果的かつ効果的に行うかが解決すべき課題である。本報告では、非破壊試験法の一つである超音波法を用いて、実構造物における適用性の検証と実務上の課題について報告する。

2. 凍害診断の概要

2.1 調査対象の概要

調査は、北海幹線用水路の赤平市および美唄市に位置する区間(以下、赤平区間、美唄区間と呼ぶ)で行った。調査区間はともに、供用開始後40年以上が経過しているL型ブロック水路で、側壁は左右岸ともに土中に埋設されている。特に凍結融解作用を受けやすい、躯体表面が南側に面した右岸側側壁において表面の変状が著しい。調査対象区間の現況を図-1に示す。

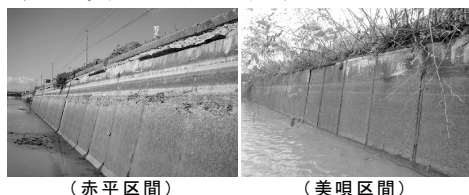


図-1 調査区間の現況
Present situation of investigation sections

2.2 調査方法の概要

本調査では、表面走査法による劣化深さの推定の試みと採取コアを用いた透過法による劣化深さの確認を行った。測定周波数は54kHzである。

表面走査法を概念を図-2に示す。受振子を発振子から遠ざけながら伝播時間を測定すると、図のような走時曲線が得られる。表層が劣化したコンクリートの場合に得られる破線(a)の傾斜が変わる位置を X_0 とすると、劣化層の厚さ t は式(1)により求めることができる¹⁾。本調査では測線を水平方向に設定し、発・受振子

の間隔は50mm刻みで最小50mm、最大500mmとした。

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

V_d : 劣化層の伝播速度, V_s : 劣化層の下にある健全層の伝播速度

採取コアを用いた透過法を概念を図-3に示す。本調査では、コアの直径方向に10mm間隔で深さ5~85mmの位置で測定した。また、得られた伝播速度 V より、既往の研究結果²⁾を参考に、式(2)および式(3)により相対動弾性係数を算出し、劣化の程度の定量化を試みた。

$$E_d = 4.0387V^2 - 14.438V + 20.708 \quad (2)$$

$$\text{相対動弾性係数(\%)} = E_{dn} / E_{d0} \times 100 \quad (3)$$

E_d : 動弾性係数, E_{dn} : 深さ n における動弾性係数, E_{d0} は、最奥部のコンクリートを健全層とみなし、深さ85mmにおける動弾性係数とした。

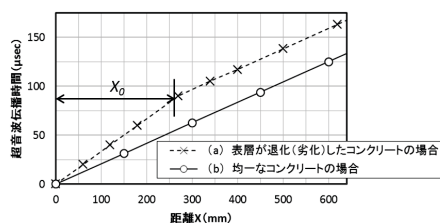
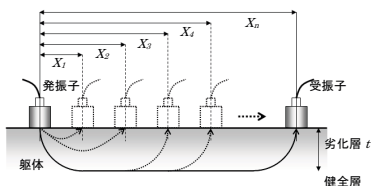


図-2 表面走査法を概念¹⁾
Concept of surface scanning method

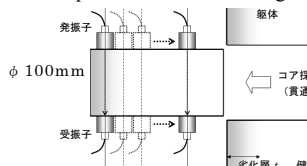


図-3 採取コアを用いた透過法の概念
Concept of transmission method using a drilled core of concrete

* 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI

** 北海道開発局 札幌開発建設部 Sapporo Development and Construction Department, Hokkaido Regional Development Bureau

*** 北海道開発局 帯広開発建設部 Obihiro Development and Construction Department, Hokkaido Regional Development Bureau

キーワード: コンクリート開水路, 凍害, 超音波法

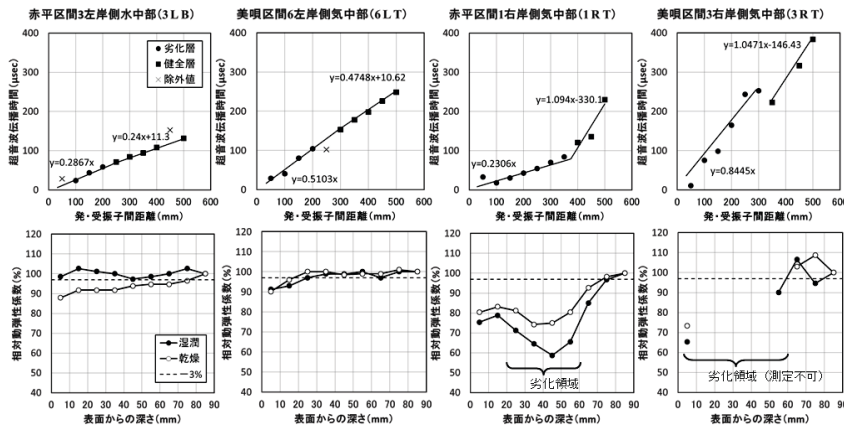


図-4 表面走査法および透過法の測定結果 (上: 表面走査法, 下: 透過法)
Results of measurement of surfaces scanning method and transmission method (top: surfaces scanning method, bottom: transmission method)

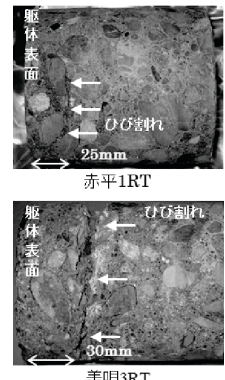


図-5 採取コアの外観
Appearance of drilled cores of concrete

3. 結果の概要

表面走査法および採取コアを用いた透過法の測定結果の一例を図-4に示す。

左側の2つのパターンでは、式(1)が適用できる前提条件である $V_d < V_s$ の関係が成立し、劣化深さを推定できた。一方、右側の2つのパターンでは、 $V_d > V_s$ もしくは近似直線間に交点が存在せず、劣化深さが推定できなかった。このような走時曲線が得られた理由は、躯体内部に超音波が伝播できないひび割れが存在したためと考えられる(図-5)。こうした走時曲線は躯体内部におけるひび割れなどの存在を示唆するものとして、定性的診断における判断材料になるものと考えられる。

透過法の測定結果では、コア採取直後の湿润状態での測定結果と、40℃で7日間乾燥させた状態での測定結果を併記している。乾燥後の相対動弾性係数は、内部にひび割れが存在しない場合に表面に近づくほど低下する傾向が見られ、ひび割れが存在する場合はその箇所において著しく低下する傾向が見られた。また、測定結果は含水状態で大きく影響を受けることが確認された。

全測定箇所の表面走査法による推定結果を表-1に示す。表中の「-」は $V_d > V_s$ となるため、「(-)」は近似直線間に交点が存在しないため推定できないことを表す。また、乾燥後のコアの透過法の測定結果において、相対動弾性係数が10%ならびに3%低下した最大深さを示す。本調査では、表面走査法を適用した全18箇所の内、10箇所推定値が得られ、各推定値は、透過法において相対動弾性係数が3%低下した最大深さに近い値であった。

表-1 全測定箇所の表面走査法による推定結果
Estimated results by surfaces scanning method in all measurement spots

箇所	表面走査法			透過法		
	V_d (km/s)	V_s (km/s)	t (mm)	10%低下 深さ (mm)	3%低下 深さ (mm)	
	赤平区間	1 R T	4.337	0.914	-	55
	1 R B	1.957	3.795	49.4	35	45
	2 R T	3.902	5.263	87.8	35	75
	2 R B	4.693	4.119	-	5	15
	3 L T	4.655	4.149	-	5	55
	3 L B	3.488	4.167	6	5	75
美明区間	1 R T	5.426	3.719	-	55	65
	1 R B	2.006	4.085	65.5	15	75
	2 L T	1.609	1.941	2.9	5	25
	2 L B	3.044	1.907	-	35	45
	3 R T	1.184	0.955	-	55	55
	3 R B	1.666	2.137	7.0	35	55
	4 L T	2.66	3.356	64.6	25	75
	4 L B	1.878	2.211	(-)	25	75
	5 R T	2.472	4.029	65.0	45	65
	5 R B	2.687	2.778	(-)	15	35
	6 L T	1.96	2.106	28.4	5	15
	6 L B	1.984	3.647	67.1	5	75

(記号) 右岸側: Right, 左岸側: Left,
気中部: Top, 水中部: Bottom

4. おわりに

躯体内部に超音波が伝播できないひび割れが存在しない場合は、表面走査法で、コンクリート開水路表層部の凍害劣化深さを推定できる可能性は高い。一方、超音波伝播速度はコンクリートの含水状態に影響を受けやすく、伝播速度から算出される相対動弾性係数の評価においては留意が必要である。さらに、開水路には骨材露出や炭酸化、カルシウム成分の溶脱といった劣化要因が存在し、これらが複合的に作用していることが考えられる。今後はこれらの要因が伝播速度にどのように影響を及ぼしているかを解明したい。

参考文献

- 1) 柏忠二編, 明石外世樹, 小阪義夫監修: コンクリートの非破壊試験法-日欧米の論文・規格・文献-, p.42 (1981)
- 2) 緒方英彦, 野中資博, 藤原貴史, 高田龍一, 服部九二雄: 超音波法によるコンクリート製水路の凍害診断, コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関するシンポジウム論文集, pp.63~70 (2006)