

研磨法による凍害劣化深さの診断手法の検討

松江工業高等専門学校 生産・建設システム工学専攻 学生会員○周藤 将司
松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 高田 龍一
松江工業高等専門学校 生産・建設システム工学専攻 学生会員 垣田 真志
松江工業高等専門学校 生産・建設システム工学専攻 学生会員 橋本 和幸
鳥取大学 農学部 正会員 緒方 英彦
鳥取大学 農学部 正会員 服部 九二雄

1. はじめに

凍害によって劣化したコンクリート構造物の診断，補修時には，劣化部の除去と残存部の健全度の評価を適切に行う必要がある。その際に重要な指標となるのが，凍害劣化深さである。現在，凍害劣化深さを超音波法で調査する方法としてコア法が提案されている。しかし，コア法は安全性の面などで様々な問題を伴う。そこで，コア法の課題を解決するため，研磨法による凍害劣化深さの診断方法について検討を行った。研磨法は，コアを採取することなく，コンクリート用のグラインダーを用いて表面を研磨し，研磨後の表面を利用し，超音波による表面法を利用して凍害劣化深さの診断を行う方法である。

ここでは超音波法を用いた研磨法による凍害劣化深さの具体的な診断方法を室内実験で検討し，さらに，得られた傾向を基に凍害を受けている実構造物において研磨法の実用性の検討を行った結果について示す。

2. 実験概要

本研究で使用するコンクリートの示方配合とフレッシュ性状を表-1，材料の物理的性質を表-2 にそれぞれ示す。

凍結融解試験は，JIS A 1148-2001 の水中凍結融解試験方法(A法)に準じて行った。試験は材齢 14 日より開始し，測定項目は気中質量，長さ，超音波伝播時間(超音波伝播速度)，一次共鳴周波数(動弾性係数)である。

本実験では，深さ方向での劣化の診断を目的としているため，通常の凍結融解試験に用いる供試体とは異なり 10×20×40cm の角柱供試体を作製した。また，劣化の進行状況を確認するために通常の 10×10×40cm の角柱供試体をコントロール用として作製した。

超音波伝播速度の測定は表面法で行い，

供試体中央を中心として，探子間距離を 5, 15, 25, 35cm と変えて測定を行った。測定の詳細を図-1 に示す。凍結融解試験開始前の劣化が生じていない段階での初期値は，左図の状態 で測定した。凍結融解回数が増進し供試体が劣化した後では，コンクリート用のグラインダーを用いてコンクリートを表面から深さ方向に徐々に研磨していき，右図のように測定した。研磨法による測定は凍結融解試験開始前の 0 サイクル時(供試体番号:D1～D3)と，凍結融解試験の 230 サイクル(M1～M3)，330 サイクル(M4～M6)の終了時の 3 水準で行った。なお，測定に用いる供試体数は各測定とも 3 体である。

3. 結果・考察

今回使用したコンクリートの圧縮強度試験の結果を表-3 に示す。図-2 にコントロール用供試体で測定した相対動弾性係数を示す。測定時における相対動弾性係数は，230 サイクル終了時で 70%，330 サイクル終了時で 48%

表-1 コンクリートの示方配合とフレッシュ性状

目標 スランプ (cm)	W/C (%)	目標 空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE剤 (g/m ³)	フレッシュ性状	
				W	C	S	G		スランプ (cm)	空気量 (%)
8±2	55	3±0.5	49	165	300	850	953	30	7.3	2.9

表-2 材料の物理的性質

	表乾密度(g/cm ³)	吸水率(%)	F.M.
セメント(普通ポルトランドセメント)	3.15		
細骨材	2.55	1.50	2.80
粗骨材	2.74	0.98	6.64

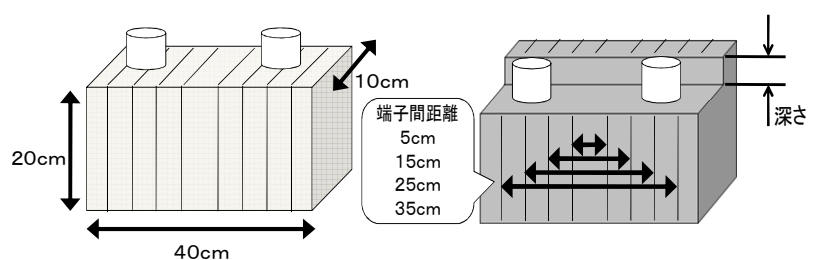


図-1 表面法による超音波伝播速度の測定

であった。また、330 サイクル終了時の質量減少率は 4.8%であった。

図-3 に 10×20×40cm の供試体を深さ方向に削った際の各深さにおける超音波伝播速度を初期値と併せて示す。230 サイクルでは、供試体が破損したために 2 本の供試体で測定を行った。劣化が生じていない初期値では、表面部と内部では超音波伝播速度に大きな差は生じないものと考えられたが、深さ 5mm の位置で急激に値が低下し、それ以下は若干変動するもののほぼ同程度の値を示した。深さ 0mm における表面部の超音波伝播速度が他よりも大きいのは、コンクリートの表面をグラインダーで研磨していく過程で生じる微細なひび割れが影響していると考えられる。また、超音波伝播速度の変動については、測定箇所の局所的な状態の影響を受けやすい表面法の測定上の特徴が影響していると考えられる。

相対動弾性係数 70%および 48%の劣化後の測定では、供試体ごとのばらつきは見られるものの、表面部は劣化が激しく、初期値と比べ大きく超音波伝播速度が小さくなっていることがわかる。さらに、内部へ研磨を進めるにしたがって表面部よりも伝播速度が大きくなる傾向が見られ、そしてある程度の深さになると、伝播速度が一定に落ち着く傾向にあることがわかる。しかし、この一定の値は初期値より小さくなっており、初期値で述べたようにグラインダーで研磨していく過程で生じる微細なひび割れが影響を与えていると推測される。

また、多くの供試体に、急激に超音波伝播速度が小さくなる位置が存在した。この位置が凍結融解作用による影響を最も受ける最深部の境界面であると考えられる。凍結融解作用が一様ではなく、表面から内部へと進行していくならば、劣化の先端部では内部の凍結時の膨張圧を繰り返し受け、コンクリート組織の緩みが特に生じるためにこのような現象が起こるものと考えられる。研磨深さの測定結果から超音波伝播速度の小さくなる位置を特定することができれば、凍害劣化深さの推定を行うことも可能であると考えられる。

また、今回測定に用いた供試体は奥行きが 10cm と薄いために、測定結果には横方向からの劣化の影響も含まれているものと思われる。実験室レベルでの検討を進めていく上では、測定方法、特に供試体のサイズについて今後十分な検討を要すると考えられる。

これらの結果より、今後更なる検討を要するものの、表面法を用いた研磨法は、凍害劣化深さを診断するための一つの方法として挙げることができると考えられる。

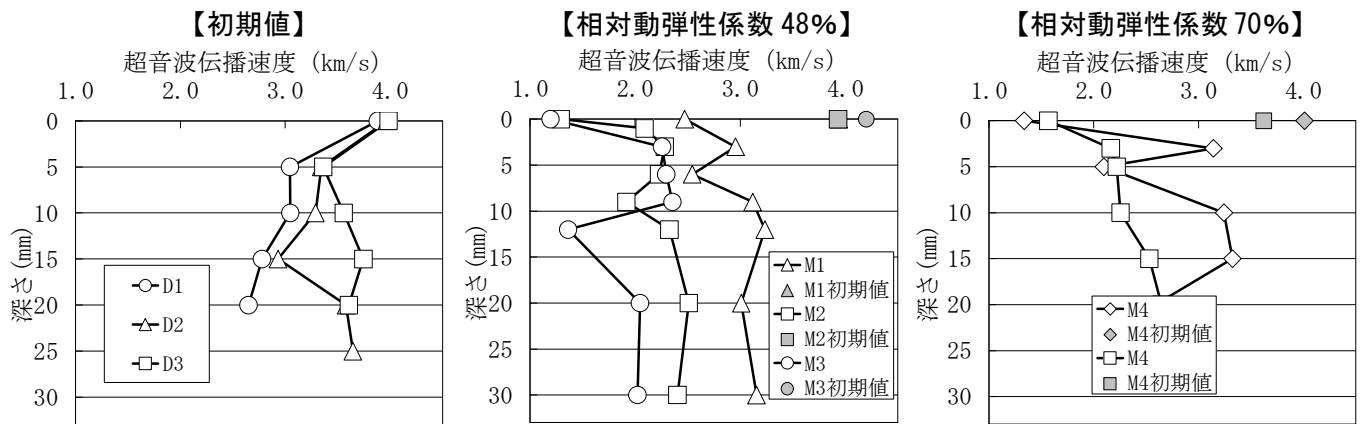


図-3 表面から深さ方向の超音波伝播速度

4. 現場適用試験

ここでは、3 章までに検討した超音波法を用いた研磨法による凍害劣化深さの診断手法を、供用中の凍害劣化が

表-3 圧縮強度

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)
7	9.5
28	15.8
56	23.5
91	26.0

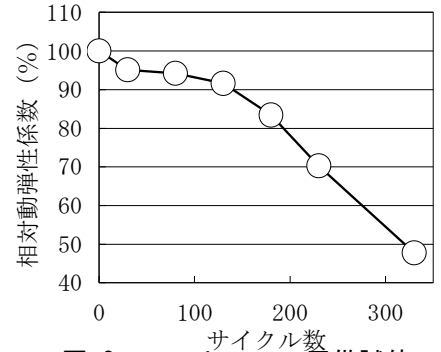


図-2 コントロール用供試体の
相対動弾性係数

進行している構造物に適用した結果について示す。現地試験は、北海道内を東西に流れる開水路で行った。対象とした開水路の側壁背面は、土中に埋もれている状態であった。測定の際は降雨後を避け、夏季の乾燥した状態で、凍害劣化の影響を受けやすい北側壁面で実施した。劣化度の異なる3箇所では灌漑時にそれぞれ気中部と水中部にあたる部分の計6箇所で行った。測定方法は3章と同じく、グラインダーで表面を研磨しながら表面法による測定を繰り返し行い、深さ20mmまで測定を行った。表面法の測定の端子間距離は10, 20, 30cmであり、測定箇所のそれぞれの状態は表-4に示す通りであった。

気中部と水中部のそれぞれの測定箇所における深さ方向の超音波伝播距離の変化を図-4に示す。気中部と水中部の両者とも目立った凍害劣化が見られないNo.1では、深くなるほど超音波伝播速度が小さくなり、かつ一定の値になる傾向が見られた。ただし、気中部では、室内試験でも見られたような急激に伝播速度の小さくなる位置が存在した。目視的に凍害劣化の発生が明らかなNo.2とNo.3の気中部では、それぞれ2.5mm, 5mm以降の深さでは超音波伝播速度の測定が不能であり、目立った凍害劣化が見られない水中部よりも格段に小さくなった。

No.1の気中部に見られるように、実際の構造物においても急激に超音波伝播速度の小さくなる位置が存在し、また研磨法でこの位置を特定することができたことから、凍害劣化深さを診断するための一つの方法として研磨法の実用性が示唆される。ただし、エフロレッセンスなど目視的に凍害劣化が明らかに確認されるような凍害劣化の加速期、劣化期に入った段階の構造物では、研磨法を用いての超音波伝播速度の測定は物理的に不可能であり、コア法など他の測定方法を用いて診断を行わざるを得ない。

5. まとめ

本文では、超音波法を用いた研磨法による凍害劣化深さの診断手法の検討を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 研磨法で凍害劣化深さの診断を行う場合、研磨する過程で微細なひび割れが生じるために、表面部の超音波伝播速度は研磨面で測定される内部よりも大きくなる。このことから、表面部の測定値を評価対象とするのではなく、各研磨深さで測定される値を対象として評価すべきである。
- (2) 表面から凍害劣化が進行したコンクリートでは、超音波伝播速度が急激に小さくなる位置が存在し、それより深い位置での超音波伝播速度はほぼ一定になる傾向がある。研磨法では、超音波伝播速度が急激に小さくなるこの位置を特定することが可能である。
- (3) 実際の構造物で研磨法による凍害劣化深さの診断を行う場合、凍害劣化の進展期までの段階であれば評価が可能であるが、加速期、劣化期の段階では評価が不可能である。

今回の結果から超音波法を用いた研磨法により、凍害劣化深さの診断が行える可能性が明らかとなった。今後は、室内試験における供試体のサイズ等についても再考し、信頼性を高めるための試験を積み重ねることが必要であると考えられる。

表-4 各測定部の状態

	気中部	水中部
No.1	目立った劣化なし	目立った劣化なし
No.2	削ると内部から水分が浮き出す 深度5mmでは骨材の欠損が発生	目立った劣化なし
No.3	エフロ、サビ汁の流出	目立った劣化なし

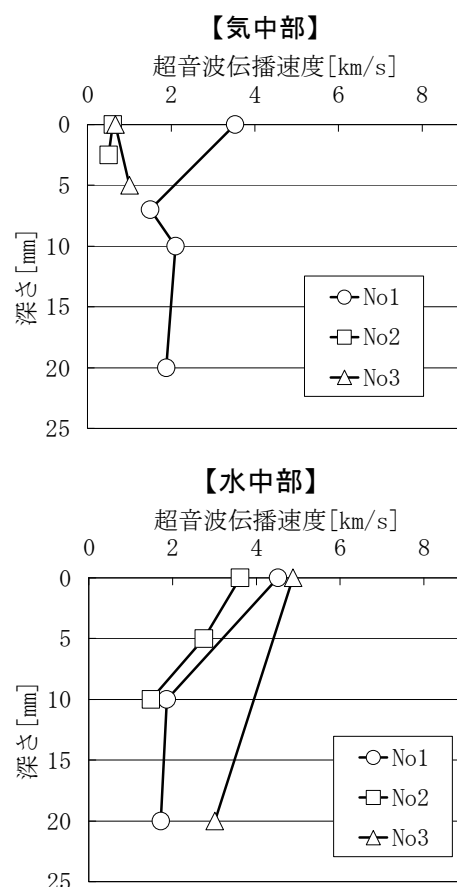


図-4 深さ方向における超音波伝播速度