

凍害が発生した RC 建造物の劣化程度による電磁波レーダ反射画像の違い

鳥取大学大学院	連合農学研究科	生物環境科学専攻	学生会員	○周藤	将司	
(独) 土木研究所	寒地土木研究所	寒地農業基盤研究グループ		石神	暁郎	
(独) 土木研究所	寒地土木研究所	寒地農業基盤研究グループ		佐藤	智	
	鳥取大学	農学部	生物資源環境学科	正会員	兵頭	正浩
	鳥取大学	農学部	生物資源環境学科	正会員	緒方	英彦
	松江工業高等専門学校	環境・建設工学科	正会員	高田	龍一	

1. はじめに

鉄筋コンクリート建造物の調査を行う場合には、建造物の配筋状態を確認しておく必要がある。配筋状態を確認する方法としては、電磁誘導法や電磁波レーダ法等が挙げられる。この中で電磁波レーダ法は、広範囲を迅速に測定することができる測定方法であり、鉄筋とコンクリートの誘電率が異なることを利用して電磁波の反射画像から鉄筋の位置やかぶり厚さを求める方法である。

寒冷地において建造物の調査を行う場合には、凍害劣化を考慮する必要がある。特に RC 開水路に代表される薄肉建造物では、凍害劣化による内部変状として側壁に層状ひび割れが発生している場合がある。電磁波レーダによる測定では、層状ひび割れの箇所は空隙として評価される。したがって建造物の内部には、コンクリート、鉄筋、空隙と誘電率の異なる 3 種類が存在することとなる。電磁波の反射は、誘電率の異なる媒質に接したときに生じる。著者らの既往の研究において、層状ひび割れが発生している RC 開水路側壁では、ひび割れの無い健全な状態のコンクリートとは異なる反射画像が得られることが確認されている¹⁾。しかし、この結果は一对の層状ひび割れの有無による水路側壁の反射画像を比較したものであり、複数のケースでの確認はなされていない。

そこで本研究では、凍害劣化が生じた複数の RC 開水路側壁を対象として、電磁波レーダによる走査を行った。電磁波レーダによる走査の際には層状ひび割れの程度の推察を同時に行い、得られた反射画像からは、かぶり厚さの変化について考察した。最後には、層状ひび割れの発生程度とかぶり厚さの関係性についての考察を加えた。

2. 試験概要

試験は、積雪寒冷地である北海道内の凍害が生じている RC 開水路側壁 8 地点で行った。試験を行った RC 開水路は供用後 40～50 年程度が経過したものであり、凍害劣化の確認は表面変状から目視によって判断した。本試験で対象とした水路では、いずれも気中部において水平方向に延びるひび割れが確認された。

測定項目は、電磁波レーダによる走査と超音波伝播時間である。電磁波レーダによる走査は、水路側壁の垂直方向に対して行った。測線は 20cm 間隔で 5 測線を設けた。測定は上端から 90cm の地点を始点とし、上端から 10cm の地点を終点として下方から上方へ向けて概ね 80cm の距離で行った。電磁波レーダの比誘電率の設定は、鉄筋からの反射波が鮮明に得られることを条件として 9.0 と設定した。

超音波伝播時間の測定は、層状ひび割れの程度を推察することを目的として表面走査法によって行った。測定は気中部で行い、測線は鉄筋の影響を受けない箇所を選択して決定した。超音波法の測定には、振動子周波数 54kHz、発・受振子の直径 5cm の超音波測定器を用いた。表面走査法の測定では、まず発振子を起点に設置し、受振子を起点から水平方向に 5～50cm まで 5cm ずつ移動させて設置し、計 10 点で超音波伝播速度の測定を行った。表面走査法の結果からは、式 (1) を用いて凍害劣化深さの推定を試みた。

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

t : 劣化部の厚さ (mm), V_d : 劣化部の超音波伝播

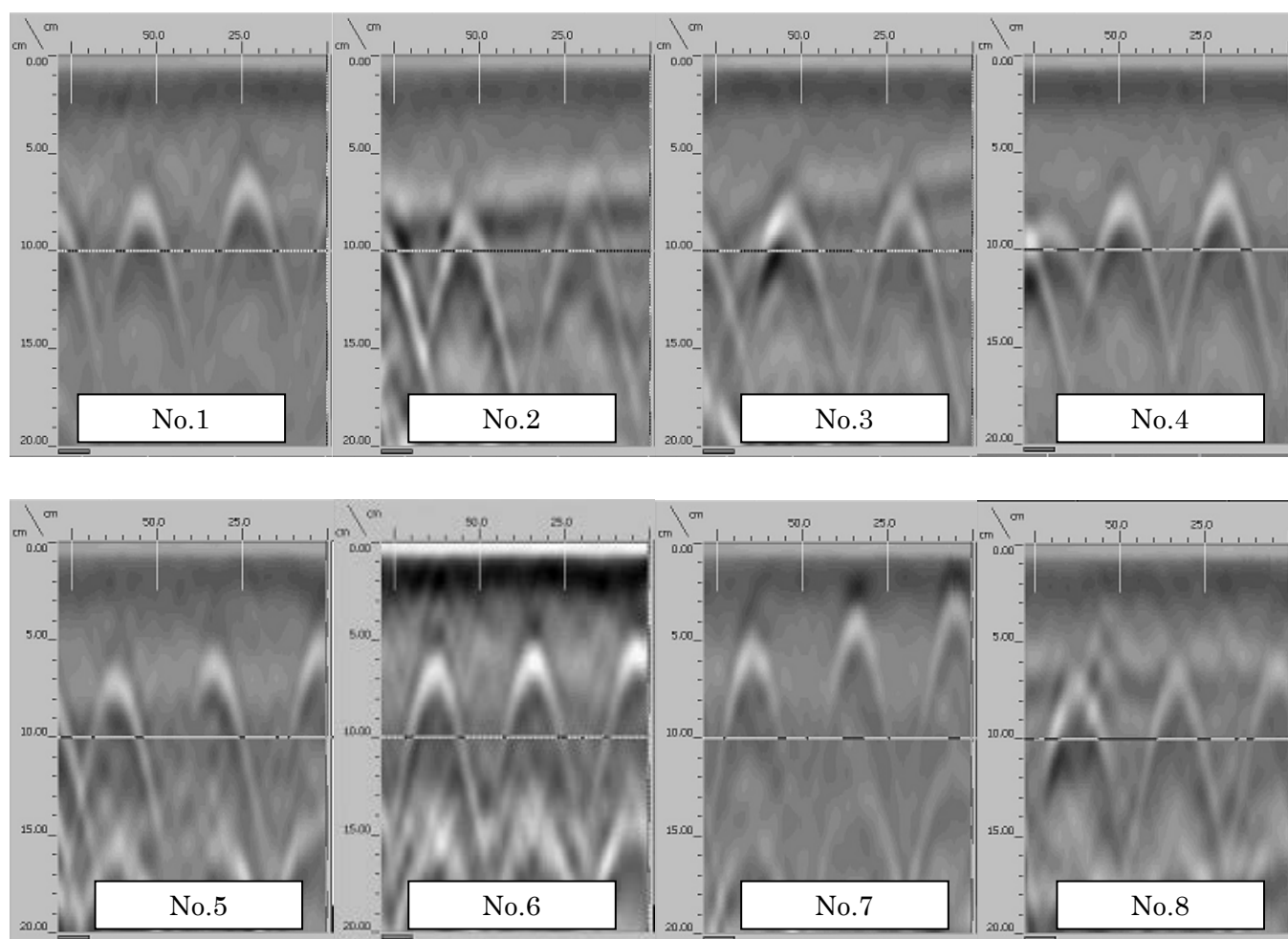


図 1 各測点における反射画像

速度 (km/s), V_s : 健全部の超音波伝播速度 (km/s), X_0 : 直線の傾きが変わる位置 (mm)

式 (1) によって t を求める際は, $V_d < V_s$ となることが条件に挙げられる。しかし, 近年の研究では $V_d > V_s$ となるケースも確認されており, これらの箇所では層状ひび割れが発生していることが確認されている²⁾。

3. 結果と考察

図 1 に 8 カ所の測点における電磁波レーダの反射画像を示す。画像は 5 測線の反射画像の内, その地点の傾向を最も表しているものを掲載した。反射画像の横軸は, 電磁波レーダの進行方向を示している。進行方向は, 画像の右側から左側の方向であり, 左側の方が上部側を示している。

画像からは, 下部の鉄筋に対して上部の鉄筋のかぶり厚さが大きく評価される傾向があることが確認された。表 1 に電磁波レーダの画像から求められた鉄筋のかぶり厚さと, 下部のかぶり厚さに

対する上部のかぶり厚さの比を示す。また, 表 1 には表面走査法の結果から求めた V_d と V_s を合わせて示す。 V_d と V_s の大小関係は, $V_d > V_s$ となるケースが 4 ケース, $V_d = V_s$ となるケースが 3 ケース, $V_d < V_s$ となるケースが 1 ケースであった。しかし, $V_d < V_s$ となる No.7 については, V_s の値が極めて大きく一般的なコンクリートの超音波伝播速度とは大きく異なるために異常値と捉えることができる。 V_s の値が異常値となった要因としては, 内部変状として層状ひび割れが生じていた可能性が示唆される。したがって, 測定した 8 カ所については, 式 (1) による劣化深さの推定はいずれの箇所でも行うことができなかった。これらの結果より, 測定した 8 カ所のうち特に No.3, 4, 6 を除く 5 カ所については, 内部の劣化が進行し, 層状ひび割れを有している可能性が高いと評価することができる。既往の研究において層状ひび割れは, 開水路側壁の上端から発生し, 上端に近い箇所ほど多く発生することが明らかになっている³⁾。した

表 1 電磁波レーダの画像から求められた鉄筋の深さと下側の鉄筋深さに対する上側の鉄筋深さの比

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
(a) 上部の鉄筋のかぶり厚さ (cm)	6.26	7.10	6.42	6.71	6.31	5.52	4.83	6.29
(b) 下部の鉄筋のかぶり厚さ (cm)	5.09	6.57	6.31	5.92	5.55	4.85	3.21	5.70
かぶり厚さの比 (a) / (b)	1.23	1.08	1.02	1.13	1.14	1.14	1.50	1.10
V_d (km/s)	2.67	2.37	3.23	4.19	2.24	2.41	2.34	2.40
V_s (km/s)	1.51	1.41	-	-	1.61	-	29.41	0.77
V_d / V_s	1.77	1.68			1.39		0.08	3.12

がって、電磁波レーダの反射画像は、層状ひび割れが多く発生している箇所において鉄筋のかぶり厚さを大きく評価する傾向にあることが明らかとなった。これより、層状ひび割れの生じている箇所において電磁波レーダによる鉄筋探査を行う場合には、反射画像に示されるかぶり厚さが本来のかぶり厚さとは異なる可能性がある点に留意する必要がある。

ここで、供試体を用いた既往の研究では、ひび割れの生じた供試体はひび割れの生じていない健全供試体と比較して供試体厚さが小さく評価される傾向を示している¹⁾。既往の研究では供試体の厚さを評価対象としているために、かぶり厚さを評価した本試験とは異なる点もあるが、結果としては逆の傾向を示していると言える。この理由は以下のように考えられる。供試体を用いた研究では、供試体内部におけるひび割れは1本のみであり、それが直線的に連続している。したがって得られる反射波に乱れが生じる現象は、生じ難いと言える。一方、本試験では、実構造物を対象としている。水路側壁内部におけるひび割れは複数生じていると予測され、連続・不連続のもの、ひび割れ幅の異なるものが混在していると考えられる。そのため、得られる反射波には乱れが生じ、均一なものを得ることはできない。また、鉄筋からの反射波は、多くのひび割れによって減衰した電磁波の透過によって表示されることとなる。これらの得られる反射波の違いによって、既往の研究と異なる傾向が得られたと考えられる。

表 1 の最下段には、 V_s に対する V_d の比 V_d / V_s を示している。ここでは、 V_d / V_s を層状ひび割れ

の発生程度を示す指標として用いる。 $V_d / V_s > 1$ となる 4 データについてかぶり厚さの比との相関係数を求めたところ、相関係数は 0.09 であった。本試験で得られたデータからは、両者の相関性を確認することができなかった。

4. まとめ

本研究から得られた結果を以下に示す。

- (1) 電磁波レーダの反射画像は、層状ひび割れの生じている箇所においてかぶり厚さを大きく示す傾向がある。
- (2) 本試験結果の範疇からは、層状ひび割れの発生程度とかぶり厚さの比との間に相関性は確認されない。

参考文献

- 1) 周藤将司, 緒方英彦, 佐藤智, 石神暁郎: コンクリート内部のひび割れが電磁波レーダ法による鉄筋探査の精度に及ぼす影響, 第 61 回農業農村工学会北海道支部研究発表会概要集, pp.10-13, 2012
- 2) 緒方英彦, 金田敏和, 石神暁郎, 周藤将司: 凍結融解作用による開水路側壁の内部変状に対する目視調査および超音波試験の考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, pp. 892-897, 2012
- 3) 周藤将司, 緒方英彦, 石神暁郎, 金田敏和: 凍害劣化の生じた RC 開水路側壁のひび割れに対する注入工法の適用性と超音波法による充填部の評価, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.296-302, 2013