

床版模擬供試体の比誘電率計測および滞水層の伝播速度差計測

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○松本 直士，野田 翼，石田 雅博，金澤 文彦

1. はじめに

近年，我が国の道路橋における RC 床版は，コンクリート表面が劣化し，深く抉られた状態となる損傷（砂利化・土砂化）が多く確認されている．この砂利化が進行すると，最終的には床版が抜け落ちるなどし，危険な状態となるが，その発生や進展のメカニズムは未だに解明されていない．

近年，こうした砂利化は，電磁波レーダによる検知が主流となっている．この電磁波レーダで取得したデータは，検査対象の比誘電率を設定して内部モデルを解析する．この比誘電率の多くは，一般値やコンクリート供試体内部の鉄筋から実測した値を用いることが多い．しかし，供用されている既設橋梁は，床版の上層に防水層や2層の舗装が積層している．このため本来，既設橋梁床版の解析には，舗装を含めた供試体で検証した値を設定するのが適当であるが検証した事例は少ない．

このため，本研究では，直轄橋梁の標準的な舗装構成を有する供試体を作製し，多積層構造による比誘電率と滞水層が介在する場合のデータへの影響を検証した．

2. 供試体の概要

本研究では，2.0m×2.0m，主鉄筋かぶり 40mm の床版供試体を作製した（図-1，写真-1）．また仕様について表-1 に示す．この供試体は，舗装・防水層・床版の各層間に対して滞水層を表現するためコンクリート上面と防水層上面で各 1 箇所 50cm×50cm の範囲を 1mm のゴム板で囲い施工した．また，同箇所には注水孔と排水孔を設けた．注水は，ポリエステルのチューブを孔内に設置して行う（写真-2）．本稿は，防水層と床版の間に注水したケースで検証を行ったものである．

3. 検証方法

本研究では，表-2 に示す各乾湿状態にある供試体で電磁波レーダ計測を行い，既往の上部鉄筋のかぶり厚を利用する手法¹⁾で比誘電率を計測した．なお，Case-

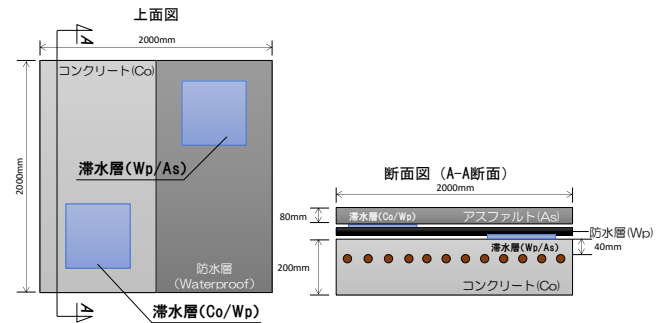


図-1 供試体概要図

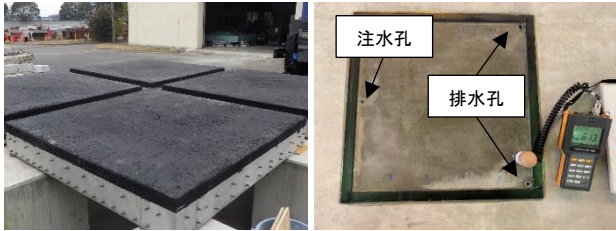


写真-1 供試体外観 写真-2 滞水層の仕様

表-1 供試体諸元

材料諸元	使用材料
舗装	改質Ⅱ型 As 2層 80mm (40mm+40mm)
防水層	塗膜防水
コンクリート	JIS A 5308 レディミクストコンクリート
コンクリート強度	24N/mm ²
水セメント比	53%
空気量	4.2%
鋼材規格	SD295 D13

表-2 検証ケースおよび供試体の構成と乾湿状態

呼称	構成	状態
Case-1	床版のみ	乾燥
Case-2	床版+防水層+舗装	乾燥
Case-3	床版+防水層+舗装	滞水

表-3 機材諸元

	仕様	外観
型式	SIR-EZ XT	
周波数	2.7GHz	
探査深度	約 60cm	
計測幅	10cm	

1 は養生 28 日経過後のコンクリートで，Case-2，Case-3 はさらに 10 日以内に舗装と防水層が施工された状態のものである．この Case-3 は，供試体へ注水し，滞水層が介在する場合の走時差の検証に用いた．また，これらの検証には表-3 に示す RC レーダを使用した．

キーワード RC 床版，土砂化，砂利化，位相，比誘電率，伝播速度，電磁波レーダ

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 土木研究所 橋梁構造研究グループ TEL029-879-6773

4. 検証結果

図-2 に Case-1 と Case-2 の比誘電率の検証結果を示す。図-2 は鉄筋かぶりを 40mm (±1mm) となる場合の画像と同位置の深度方向の電磁波形を示している。

検証の結果、コンクリートの比誘電率は、Case-1 が $\epsilon_1 = 11.5$ 、Case-2 が $\epsilon_2 = 7.9$ となった。また、Case-2 の舗装の比誘電率は $\epsilon_{as} = 6.9$ であった。

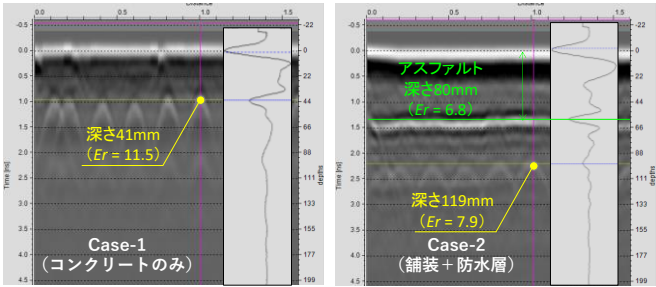


図-2 コンクリートの比誘電率比較

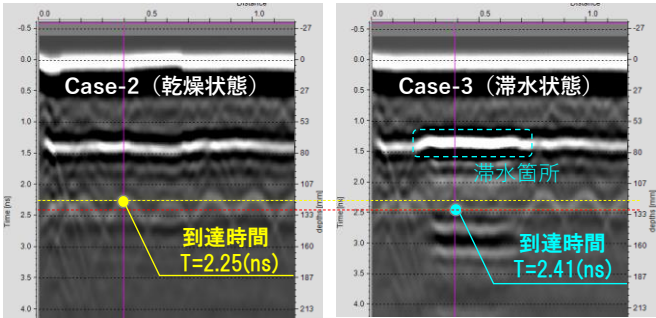


図-3 電磁波の鉄筋到達時間

次に、Case-1とCase-3を用いて滞水箇所と乾燥箇所の鉄筋までの到達時間を確認したところ、乾燥状態では 2.25(ns)、滞水状態は 2.41(ns)であった。これは、床版上面に屈折率の高い水が存在するために、位相のずれが生じたものと考えられる。

この位相のずれについて、それが生じた箇所の伝播速度差を式-1から算出した。レーダ法で測定する深度 $D(m)$ は、送信アンテナから輻射された電磁波が、誘電率の異なる媒質の界面で反射されて受信アンテナで受信されるまでの時間差 $T(s)$ と、透過した媒質の速度 $v(m/s)$ との関係から式-1のように推定できる²⁾。

$$D = 1/2 \times T \times v$$

式-1

式-1から、滞水層は、乾燥状態に比べて 7.0×10^6 (m/s)の遅い速度で伝播する。

また、電磁波の空気中での速度は $3 \times 10^8(m/s)$ であるが、コンクリート等の空気以外の物質を進む場合は、個別

の比誘電率 ϵ_r に影響される。比誘電率を考慮した電磁波の速度は以下の式-2で表される²⁾。

$$v = (3 \times 10^8) / \sqrt{\epsilon_r}$$

式-2

式-2によりCase-2およびCase-3の比誘電率を算出すると、それぞれ $\epsilon_{r2} = 7.9$ 、 $\epsilon_3 = 9.0$ となる。この ϵ_{r3} の値について、当計測データは、供試体に注水し、排水孔からの排水が確認された段階ですぐに計測したものであるため、床版上面に滞水層を形成している状態に近いと考えられる。このため ϵ_3 は、厚さ 8cm の舗装を有する床版を解析する上での比誘電率の上限値にかなり近いと考えられる。

以上より、直轄橋梁のレーダデータを解析する際の比誘電率は、誤差を考慮しても、概ね $\epsilon_r = 7.5 \sim 9.5$ の範囲で設定するのが適切であると考ええる。

表-4 一般値³⁾と本研究の比誘電率の比較

	一般値	本研究	検討ケース
舗装	乾燥状態：2～4 湿潤状態：6～12	6.8	Case-3
コンクリートのみ	乾燥状態：2～4 湿潤状態：10～20	11.5	Case-1
舗装+防水層+コンクリート	—	7.9 7.9	Case-2 Case-3

5. おわりに

本研究における検証の結果、実橋梁で適用すべき標準的な比誘電率は $\epsilon_r = 7.5 \sim 9.5$ 程度であると推測される。また、防水層と床版の境界面に滞水層が介在する場合に生じる伝播速度差は、 7.0×10^6 (m/s)である。

本研究は、平成 30 年度より実施している「AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」及び、「官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)」「革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術」の成果の一部である。

参考文献

1) 野田一弘，河野広隆，森濱和正，田中秀治：実構造物コンクリートの比誘電率の非破壊推定方法，土木学会，年次学術講演会，第 58 回，V-421,2003

2) 安倍隆二，木村孝司，上野千草：電磁波レーダによる空港舗装体の評価方法に関する研究，寒地土木研究所月報，No.749，pp.29-44，2015.

3) 物理探査学会：物理探査ハンドブック，手法編，第 7 章，pp.403-404，1998.