

速度解析型電磁波レーダ装置の開発

鹿島建設(株)	正会員	名兎耶 薫
鹿島建設(株)	正会員	森 孝之
鹿島建設(株)	正会員	岩野 圭太
鹿島建設(株)	正会員	金山 哲也

1. はじめに

近年、供用トンネルの健全性調査および変状の補修案件が急増している。特に在来工法によって施工されたトンネルでは、二次覆工コンクリートの巻厚不足や背面空洞などを起因とする変状も少なくなく、トンネルの健全性を評価する上で巻厚および背面空洞の調査が必衰であり、また計測精度の更なる高度化も要求されてきている。電磁波レーダ法は、非破壊で連続的に検査ができるメリットがあり、汎用的に使用されている調査手法の一つであるが、物質を透過する電磁波速度を任意に仮定していたため、このことに起因して推定誤差が生じ、十分な計測精度が得られていなかった。そこで筆者らは、受信アンテナを任意のオフ



写真1 開発レーダー

セット間隔で複数備えることで物質を透過する電磁波速度を都度算出し、精度よく巻厚推定を可能とする、速度解析型の電磁波レーダ（以下、開発レーダ）を製作し、現場実験を通じてその適用性を検証したので報告する。

2. 電磁波レーダーの概要

開発レーダを写真1に示す。従来の電磁波レーダ法は、一定間隔に保たれた1対の送受信アンテナを走査させるプロファイル法によるものが多く、反射波の伝播時間と電磁波速度から巻厚情報へ変換していた。電磁波速度については、物質の電気的性質である比誘電率を任意に仮定するか、或いは現地から採取される数箇所のコアを用いて室内比誘電率計測によって得られた値を用いていた。前者の方法によれば、推定精度に誤差を生じ、後者の方法によればポイントでの計測値となるため、計測線上の覆工の電磁波速度（比誘電率）の変化に対応できない問題がある。これらの問題を解決するため、図1に示すように受信アンテナを2台設置し、これによって得られた伝播時間を下記の関係式を用い連立させ、電磁波速度と巻厚を同時に算出可能としたことを特徴としている。

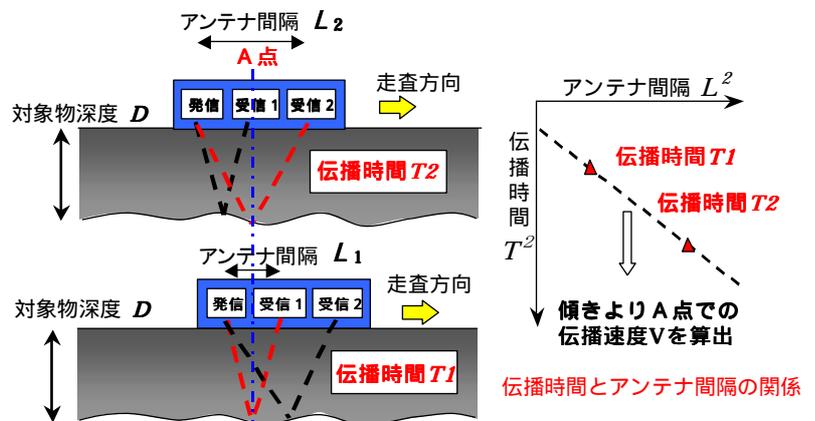


図1 電磁波速度の算出法

また、2つの受信アンテナの伝播時間の同期性を確保するため、基準波を設けパルス波の初期発信時間の補正と伝播時間の高精度化を図っていると共に、重量は約5kgと軽量で、長時間にわたる人力計測も可能である。

$$T^2 = \frac{1}{V^2} (L^2 + 4D^2) \dots \text{式}$$

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots \text{式}$$

（ T ：伝播時間 V ：伝播速度 D ：深度 L ：アンテナ間隔 c ：真空中の電磁波速度 ϵ_r ：比誘電率）

また、2つの受信アンテナの伝播時間の同期性を確保するため、基準波を設けパルス波の初期発信時間の補正と伝播時間の高精度化を図っていると共に、重量は約5kgと軽量で、長時間にわたる人力計測も可能である。

キーワード 電磁波レーダー、比誘電率、巻厚調査、トンネル覆工

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設技術研究所 TEL 0424-89-7849

3．室内検証試験

厚さ3種類（15cm・30cm・60cm）のコンクリート供試体を用い、開発レーダーの性能検証を行った。実験結果を表1に示す。本実験では、いずれのケースにおいても、計測精度は1～3%の誤差範囲に収まっていた。比誘電率は供試体が厚いほど大きい値を示しており、これは供試体が厚い程、供試体内部に水分を含んでいたためであると考えられる。また、厚さ15cmの供試体を約10日間浸水させ、比誘電率が変化した状態で実験を行ったが、この場合でも同様に高い計測精度が得られた。さらに、同一の試験体を用いて従来の電磁波レーダー（中心周波数400MHz,800MHz）でも計測を行ったが、一般的に用いられるコンクリートの比誘電率を用いて推定した場合には、数十%程度の誤差が生じた。



写真1 室内試験状況

表1 室内検証試験 結果

コンクリート厚 (cm)	乾湿	誘電率	推定深さ (cm)	精度 (%)
15	乾燥	5.87	14.91	99
15	湿潤	7.43	15.41	103
30	乾燥	9.18	28.97	97
60	乾燥	9.44	60.69	101

4．現場検証試験

電磁波レーダーの現場適用性および操作性を検証するため、現在、奈良生駒高速鉄道（株）が建設中のけいはんな線東生駒トンネルにおいて、覆工巻厚および背面空洞調査を実施した。計測範囲は、全長約1.6kmの天端1側線である。計測には高所作業車を用い、作業台上の専用アームにレーダーを設置した（写真2）。開発レーダーの精度検証は、各打設スパン毎に設置された検査ピン測定値と比較検証することによって行った。図2に、計測した北工区全線の結果を示す。計測結果は、概ね検査ピン測定値と合致していると共に、覆工コンクリートの打設時期や通風の影響などによって生ずる比誘電率の変化も上手く捉えている様子が伺える。また、計測した全線を通じて、問題となる背面空洞の存在は確認されなかった。



写真2 現場試験状況

5．まとめ

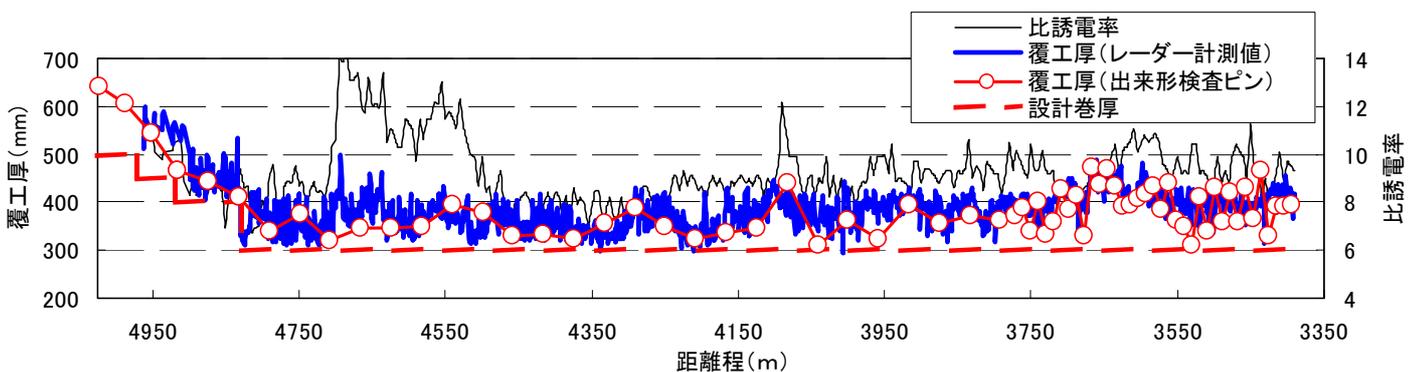


図2 計測結果と実測比較

覆工コンクリートの材齢や現場環境（湿度・温度）によって電磁波速度は変化するが、従来この電磁波速度変化が微小なものとして殆ど反映されることなく、任意に仮定した値を用いて覆工厚として変換されていた。しかし、この電磁波速度の不明確な仮定が測定精度を悪化させる要因の一つであることが確認され、室内および現場実験を通じて、開発レーダーの優位性を示すことが出来た。今後、更なる計測精度の向上と微小な背面空洞の調査技術について検討を進めていく所存である。