

覆工コンクリートの鉄筋かぶり計測における精度検証

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 ○藤本 崇人
正会員 中野 清人
正会員 山崎 哲也

1. はじめに

我が国におけるトンネル構造物の詳細点検は、全面近接目視により 5 年に 1 度の点検の実施が基本となっている。NEXCO の詳細点検において、鉄筋コンクリートの区間では全面近接目視かつ打音点検を実施している。既往の研究において、鉄筋かぶり厚と変状の発生形態や鉄筋腐食の関係が明らかにされている¹⁾。一方、鉄筋かぶり計測における計測精度については定量的に明らかとは言えない。

本稿では、レーダー探査における計測精度の検証を行い、将来的に効率的な点検手法への利用を考えている。

2. レーダー探査手法について

2. 1 概要

覆工を傷つけずに鉄筋かぶり厚を計測する手法として、鉄筋レーダー探査と非接触レーダー探査（走行型レーダー探査）の 2 種類の方法がある。レーダー探査の解析手法には、反射波を絵として捉えるパターン認識解析と、電磁波の物理現象を元に解析する原理解析の 2 つに大別される。本検討では、検知確率（取得記録から鉄筋を把握できる確率）の点で優位な原理解析を用いることとした。また、鉄筋かぶり厚 3cm～10cm 程度を対象としていることから、周波数 1000MHz 以上の探査機を使用した（表-1）。

2. 2 計測結果に影響を与える要因の検討

最初に、コンクリートの比誘電率の影響について検討を行った。一般的な道路トンネルにおけるコンクリートの比誘電率は、過去の統計より 9～11 程度とされている（表-2）。かぶり厚 100mm 相当の範囲では、計測結果が 95mm～106mm と約 10mm の幅で変化が生じる。これは、比誘電率の変化によって電磁波伝達速度が変化することに起因している。これより、コンクリートの比誘電率による計測結果への影響は最大 10mm と推察される。

次に、非接触レーダー探査における、計測時のアンテナ離隔の違いによる鉄筋探査結果を図-2 に示す。アンテナと覆工表面までのアンテナ離隔が小さい場合、(a) に示すとおり波状の反射信号が得られ、鉄筋位置からかぶり厚を測定することができる。一方、アンテナ離隔が大きくなるにつれて反射波はフラットに近づく傾向となることから、(b) に示すように反射信号が帯状となり、鉄筋位置を把握することが不可能となる。



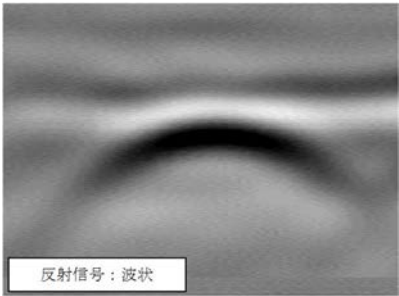
図-1 非接触レーダー探査

表-1 周波数と探査深度および分解能の関係

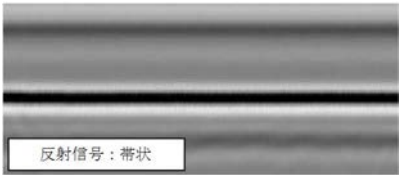
	低周波数帯	中周波数帯	高周波数帯
周波数	300MHz以下	300～1000MHz	1000MHz以上
探査深度	～1.8m程度	～1.0m程度	～0.3m程度
探査深度	深い		浅い
分解能	粗い		細かい

表-2 比誘電率とかぶり厚の計測結果

	比誘電率		
	9	10	11
かぶり厚 (mm)	53	50	48
	106	100	95
	211	200	191



(a) GPR 記録(アンテナ離隔小)



(b) GPR 記録(アンテナ離隔大)

図-2 鉄筋探査結果（非接触レーダー）

キーワード トンネル、鉄筋かぶり厚、レーダー探査、非接触レーダー探査、省力化、維持管理

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生一丁目 4 番地 1 (株)高速道路総合技術研究所 T E L 042-791-1629



(a) カルバートボックス模型



(b) 柱・縦梁模型

図-3 模型実験のモデルと探査結果

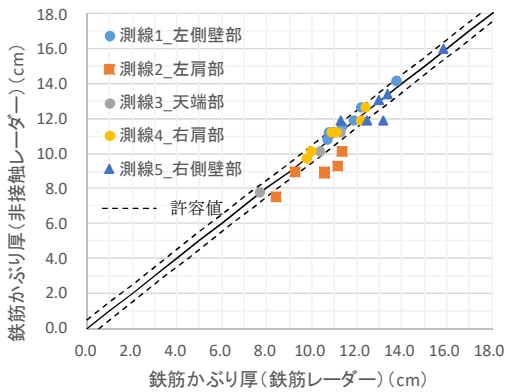


図-5 探査結果 (実証実験 A)

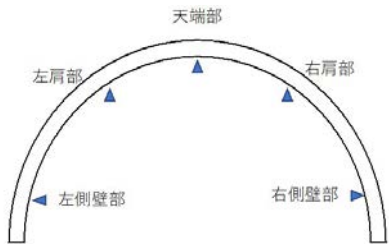


図-4 探査測線の位置 (実証実験 A)

表-3 探査結果 (実証実験 B)

調査	各計測方法による鉄筋かぶり厚			単位(mm)	
				実測値と鉄筋レーダーの差	実測値と非接触レーダーの差
	T.鉄筋レーダー	H.非接触レーダー	S.実測値	T - S	H - S
NO.1	16	19	15	1	4
NO.2	17	19	17	0	2
NO.3	26	19	26	0	-7
NO.4	59	60	60	-1	0
NO.5	27	30	26	1	4
NO.6	69	71	74	-5	-3

3. 模型実験および実証実験の結果

レーダー探査の精度を確認するための模型実験を行った。模型実験は、カルバートボックス模型と柱・縦梁模型を用いて行った。模型実験のモデルと探査結果を図-3 に示す。(a)カルバートボックス模型は上端と配力筋のかぶり厚、(b)柱・縦梁模型は側面のかぶり厚を測定した。(a)のモデルでは上側のかぶり厚は 63mm であったが、実模型を計測した結果 73mm であったため、正解値を 73mm とした。各模型の計測結果に着目すると、カルバートボックス模型では鉄筋レーダーで 7.2mm、非接触レーダーで 0.4mm、柱・縦梁模型では鉄筋レーダーで 0.2mm、非接触レーダーで 2.4mm と計測誤差 10mm 以内であることを確認した。

次に、鉄筋レーダー探査と非接触レーダー探査の適用性を確認するため、実トンネルにおいて実証実験 A、B を行った。実証実験 A では、天端部、両側肩部、両側側壁部の計 5 測線（図-4）において各々の探査を実施した。鉄筋かぶり厚の探査結果を図-5 に示す。横軸がレーダー探査、縦軸が非接触レーダー探査の測定結果で、双方の計測値の差 ±0.5cm を許容値とした場合、測線 2 および測線 5 の計測において許容値を超える傾向が見られた。鉄筋のかぶり厚による影響がないことから、鉄筋レーダー探査と非接触レーダー探査の計測位置のずれが原因と考えられた。

実証実験 B として、鉄筋レーダー探査および非接触レーダー探査を行った後、ドリル削孔によりかぶり厚を確認、実測値と比較を行った。実証実験 A の結果を踏まえ、非接触レーダー探査の計測位置と鉄筋レーダー探査の計測位置にずれが生じないように注意し計測を行った。探査結果を表-3 に示す。実測値と鉄筋レーダー探査結果の差で最大 5mm、非接触レーダー探査結果の差で最大 7mm の誤差で計測結果を得られ、比誘電率による計測誤差 10mm 以内であることが確認できた。

4. まとめ

覆工コンクリートにおける鉄筋かぶり厚の計測について、鉄筋レーダー探査および非接触レーダー探査の精度は、実際の鉄筋かぶり厚との誤差 10mm 以内で計測できることが確認された。今後、本探査技術を活用することにより、点検を効率的に行う手法について検討する予定である。

参考文献

1) 上谷明生, 中野清人, 海瀬忍, 松岡茂, 重田佳幸 : 高速道路トンネルの鉄筋コンクリートの覆工における点検の高度化に関する検討, トンネル工学報告集第 31 巻, I-20, 2021.11