

非破壊法 電磁波レーダ法 豆板
鉄筋コンクリート 比誘電率

1. はじめに

電磁波レーダ法による鉄筋のかぶり厚さの探査に関する報告は多いが、豆板等に関するものは少ない。また、同法による探査は、コンクリート打込み後、長い期間を経た構造物を対象とした例が多く、打込み直後からの経時変化を検討した報告はない。以上から、コンクリートの材齢や豆板の寸法・位置をパラメータとして、電磁波レーダ法による壁試験体の豆板探査実験を行い、探査特性を検討した。本報ではその結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 探査の原理と手順

電磁波レーダ法による計測は、電磁波の反射を利用する。そして、その計測結果を処理した画像を基に、空洞や埋設物の有無、位置、深さなどを判定する。

同法では、送信アンテナから放射された電磁波が探査対象で反射し、受信アンテナに戻るまでの伝搬時間 t と電磁波の強度を計測する (図 1 参照)。この場合 ϵ_{r1} がわかれば、 $t (=2t_1=2t_2)$ を基に、探査対象物の深度 h を次式で算出することができる (C: 真空中の電磁波速度)。

$$\frac{1}{\epsilon_{r1}} \left(\frac{Ct}{2} \right)^2 = (h_0 + h)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \dots (1)$$

2.2 試験体仕様

本実験で用いた壁試験体を図 2 に示す。壁立上がり部は、幅 1,840mm、高さ 500mm、厚さ 180mm である。計測では、図 2 に示すように A 面と B 面を定めた。

壁試験体には、6 本の鉄筋 ($S_1 \sim S_6$) と 6 個の豆板 ($M_1 \sim M_6$) を設置した。鉄筋径は $S_1 \sim S_4$ が D10、 S_5, S_6 が D13 である。 $M_1 \sim M_6$ の寸法と深度 h_m を表 1 に示す。豆板は、空隙率 20% のポーラスコンクリート (W/C 26.1%) とし、普通コンクリート (W/C 56.6%) による健全部より 11 日早く製作した。以下では、健全部の材齢で考察する。

2.3 計測の装置と方法

計測は、専門の技術者がアンテナ周波数 2.3GHz の市販装置を用いて、材齢 1 週、2 週、4 週の計 3 回実施した。材齢 1, 2 週では A 面のみ、4 週では A, B 両面を計測した。計測結果は、機器専用のソフトウェアを利用し画像処理した。以下では、図 2(b) に示した上段と下段の断面について結果を考察する。

表 1 豆板寸法と埋設深さ

豆板	幅	奥行	h_m ※
M1	50	100	0
M2	100	100	40
M3	150	100	0
M4	100	30	0
M5	100	50	0
M6	100	50	130

※A面からの距離

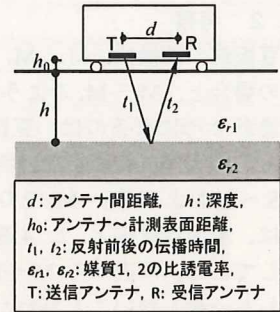


図 1 探査原理の概要

3. 試験体の断面画像および考察

3.1 試験体の断面画像

A 面側からの断面について、材齢 1 週の輝度 (B モード) 画像を図 3 に示す。図中、(a)が下段、(b)が上段に対応する。図の縦軸と横軸はそれぞれ、伝搬時間 t 、壁表面の水平位置 x_i に対応し、受信した電磁波強度が濃淡で表示されている。 $t \approx 4.2ns$ に観察される帯状の白線は、探査面の反対面 (この場合 B 面) に対応する。

図 3(a)では、頂部で $t \approx 2.0$ である山型画像が $x_i = 330, 690, 1,100, 1,460mm$ 辺りに観察される。これらは $S_1 \sim S_4$ に対応する。また、頂部で $t \approx 1.3$ である山型が $x_i = 1,280mm$ 辺りに観察される。これは S_5 に対応する。

図 3(b)では、 $S_1 \sim S_5$ 以外の山型画像も観察されている。これらは $M_1 \sim M_5$ に対応する。山型画像の頂部は、健全部と豆板部の境界に対応する。 M_1, M_5 は 1 つの山型で表わされているのに対し、 $M_2 \sim M_4$ は x_i に沿って連なった 2 つの山型として表わされている。

材齢 4 週の A 面上段の画像を図 4 に示す。図 4 と図 3(b)を比較すると両者はほぼ同じであり、材齢 1 週から 4

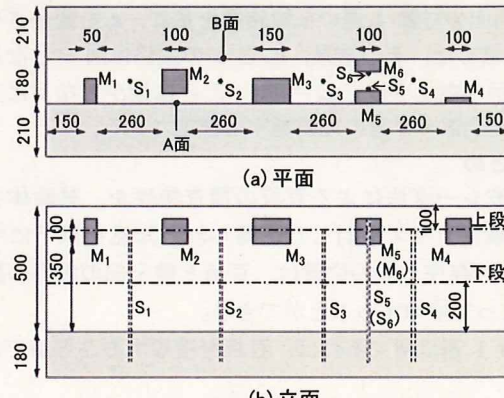


図 2 壁試験体

週にかけて、画像で判読できる変化はなかったと言える。

材齢 4 週の上段の画像を図 5 に示す。図 5 と A 面側の画像 (図 4) を比べると、壁厚のほぼ中央に配した $S_1 \sim S_4$ は伝搬時間が A 面側とほぼ同じであることがわかる。これに対し、A 面からは境界が深い箇所にあった M_1, M_3 では、伝搬時間が短くなっている。また、B 面からの h が約 150mm である M_5 は、その検知が困難となっている。

3.2 考察

豆板部の画像は、 M_1, M_5 (M_6) のように山型が 1 つのみの場合と、 $M_2 \sim M_4$ のように 2 つの場合があった。山型画像が 2 つになるのは、豆板の設計幅が 100mm 以上と広く、かつ近傍に鉄筋がない場合であった。

$S_1 \sim S_4$ および $M_1 \sim M_5$ での伝搬時間を表 3 に示す。同表には、A 面は材齢 1, 2, 4 週、B 面は材齢 4 週の結果を示してある。同表から $M_2 \sim M_4$ での伝搬時間は、左右で必ずしも一致しないことがわかる。特に M_2 の A 面では顕著な差が生じている。その理由として、壁試験体への打込み時に、豆板を模したポーラスコンクリート片の内部に健全部のコンクリートの一部およびその自由水が侵入し、境界面が平滑になっていないことも考えられる。

また同表から、 $S_1 \sim S_4$ では、材齢の経過とともに伝搬時間が短くなったことがわかる。その理由として、材齢とともに含水率が低下したことが考えられる。一方、豆板部では、こうした現象は必ずしも全箇所では生じていない。逆に M_2 では、材齢 1 週から 2 週にかけて伝搬時間が著しく増大している。その理由として、豆板部の材齢が健全部より 11 日長く含水率が安定傾向にあったことや、豆板を模したポーラスコンクリート内の水分が影響した可能性が考えられる。

表 3 の伝搬時間を基に、式(1)において ϵ_{r1} (この場合健全部の比誘電率) を設定すると、深度 h を算出できる。 $S_1 \sim S_4$ の ϵ_{r1} の推定のために、以下の評価関数 e を定義する。

$$e = \sum_{i=1}^4 (170 - h_{Si}^A - h_{Si}^B)^2 \dots (2)$$

ここに、 h_{Si}^A, h_{Si}^B は S_i の A 面、B 面からの推定深度であり、170(mm)は壁厚から S_i の鉄筋径を差し引いた値である。A、B 両面の材齢 4 週の伝搬時間を基に、 ϵ_r を変化させ深度 h を求めた。その結果、 ϵ_{r1} と e の関係は図 6 となる。同図に示したように、 $\epsilon_{r1} = 10.0$ で e は最小となった。同値は、健全部の 4 週の比誘電率と推定される。

4. まとめ

電磁波レーダ法による豆板の探査特性を、試験体を用いた実験によって検討した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 豆板の存在とその位置は、豆板と健全部の境界の探査によって検知することができる。
- 2) 材齢 1 週以降であれば、豆板を検知することができる。

3) 材齢の経過とともに、健全部では伝搬時間は短くなったが、豆板では各部で異なる傾向を示した。

4) 豆板部の画像は、豆板の幅が広くかつ鉄筋が存在しない場合に、山型が 2 つ連なって表れる。

謝辞 本検討の実施にあたり、(株)計測技術サービスの後藤健二氏に協力を得た。ここに記して、謝意を表する。

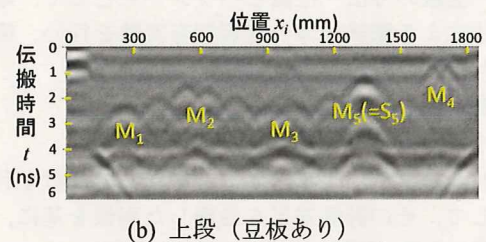
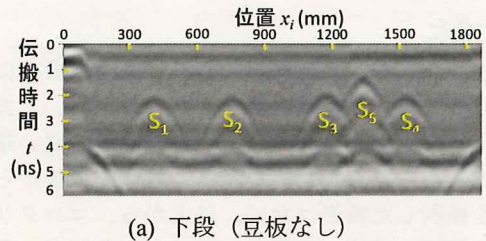


図 3 材齢 1 週・A 面の画像

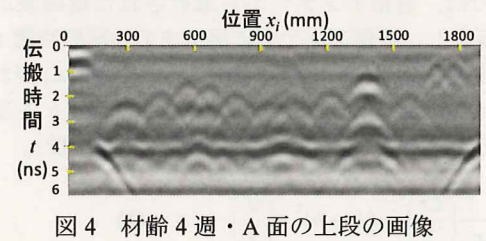


図 4 材齢 4 週・A 面上段の画像

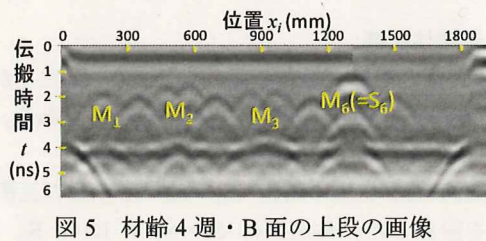


図 5 材齢 4 週・B 面上段の画像

表 3 伝搬時間 t (単位:ns)

面	A		B	
	1週	2週	4週	4週
S_1	2.00	1.97	1.95	2.04
S_2	2.01	1.97	1.96	2.04
S_3	1.92	1.89	1.89	2.11
S_4	2.07	2.00	1.99	2.00
$S_5, M_5(S_5, M_5)$	1.26	1.27	1.25	1.22
M_1	2.34	2.27	2.31	1.90
M_2	左	1.50	1.64	1.63
	右	1.66	1.97	1.96
M_3	左	2.32	2.21	2.30
	右	2.21	2.15	2.17
M_4	左	0.75	0.81	0.78
	右	0.75	0.78	0.80

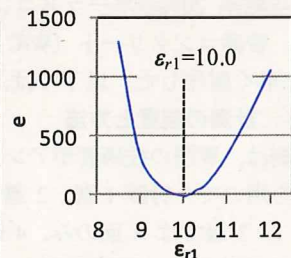


図 6 健全部での比誘電率と評価関数の関係

* 清水建設 技術戦略室

** 清水建設 技術研究所

* Shimizu Corporation, Technology Planning Office

** Shimizu Corporation, Institute of Technology