

電磁波伝播特性を用いた木造大壁躯体の含水率の評価に関する基礎的研究

その2 大壁構成要素の違いによる電磁波伝播特性の検討

正会員
正会員

○宇都宮 佑太*¹
馬場 祐*³

正会員
正会員

森 拓郎*²
高橋 一聡*⁴

木材
含水率

大壁

電磁波レーダ

1. はじめに

近年、木造住宅の長寿命化が求められている。木造住宅における劣化には雨漏りや漏水、結露などがあり、これらにより木材が水分を多く含み、腐朽や強度低下につながる。不具合を診断する方法として、主に散水調査や壁などの一部破壊を伴う調査などが挙げられるが、これらの診断方法は時間や費用がかかる。そこで、木造住宅の大壁躯体に対する非破壊検査手法の確立が求められる。

前報¹⁾では、電磁波レーダ（以下、計測器）を用いて、含水率を操作した木材を実大壁モデル越しに計測し、含水率と電磁波の反射強度（以下、計測値）との関係について検討した。そこでは、含水率と計測値に正の相関がみられること、比重が大きいほど計測値も大きいことを報告した。また、含水率と柱からの計測値の相関を調べると樹種ごとで偏りがみられることから、非破壊診断時は、事前情報として壁内部材の樹種を把握しておくことが有効であることも示唆された²⁾。しかし、計測値のばらつきが大きく、実際の診断にそのまま適用するには、精度の向上が求められる。

本報では、陶版外壁、空気層、合板、柱といった複数の要素で構成された構造における電磁波伝播特性を明らかにするため、これらの要素を組み合わせ、計測対象物の前後にあるものが計測値に及ぼす影響を検討したので報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図1に試験体概要を示す。試験体は、スプルーース（W）の集成材（ $b=120\text{mm}$, $h=240\text{mm}$, $l=120\text{mm}$ ）を用い、積層面に直交するように厚さ 9mm の構造用合板を釘打ち（CN50）している。試験体を切り出す際に、初期含水率測定用の木材を採材し、全乾法により各試験体の初期含水率を求めた。今回は、含水率の高い木材の非破壊検知を目的とするため、水中養生により試験体の含水率を調整した。前報と同様に、試験前に試験体の重量を計測し、初期重量との差から試験時の推定含水率を算出した。

2.2 計測方法

図2に電磁波送受信時の経路を示す。図2のように、試

験体より手前から少し通り過ぎたところまで、計測器を壁表面上で走査し、計測値を得る。

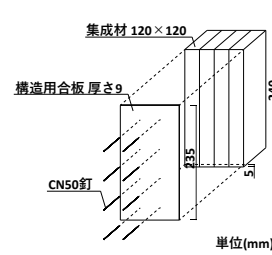


図1 試験体概要

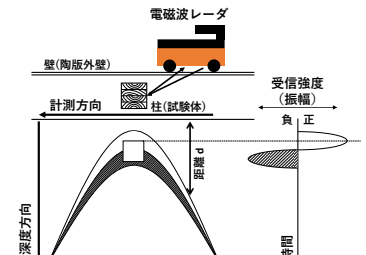


図2 電磁波送受信時の経路

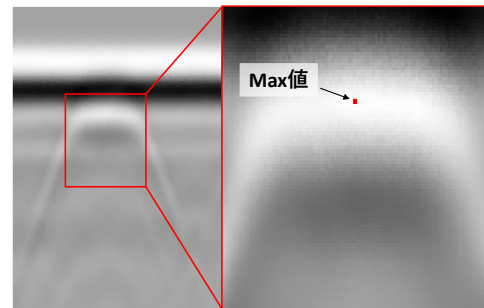


図3 Max値の取り出し

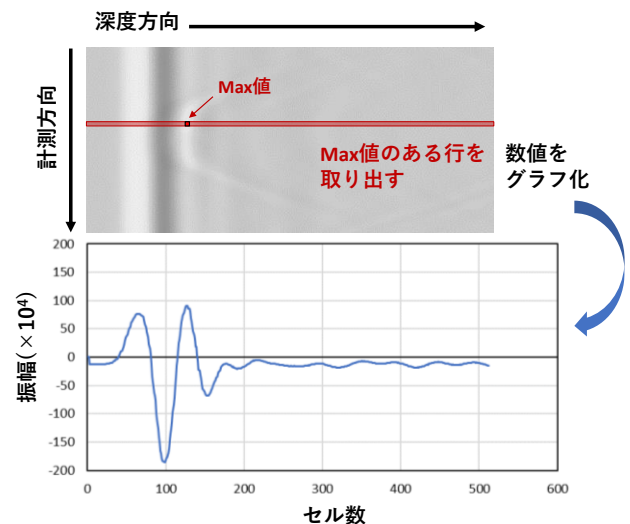


図4 深度方向の反射波の取り出し

2.3 解析方法

計測により得られたデータを数値として取得し、試験体の山形波形の頂部付近における、電磁波の反射量の最

大値（以下、Max 値）を図 3 のように白色部分から取り出し、比較した。また、計測により得られたデータから Max 値のある深度方向の行の数値を取り出し、図 4 のようにグラフ化する（以下、深度方向の反射波）。数値は Excel から取り出しており、横軸は深度を表すセル数、縦軸は計測値を表す振幅となっている。

3. 計測場所が計測値に与える影響

3.1 計測方法

計測対象物の後ろにあるものが、計測値に与える影響について、コンクリートの床で縦置き（写真 1、2）・平置き（写真 3、4）、木材（スギ集成材の上に厚さ 30mm の CLT を 1 枚積み重ねたもの）（写真 5、6）、机（支柱や引き出しが金属製）（写真 7、8）の 4 条件について、陶版外壁を用いて検討した。また、それぞれの条件において試験体を挿入する場合と挿入しない場合を比較した。試験体を挿入する場合についてはいずれも、空気層（陶版外壁裏面から試験体表面までの距離）は 16mm とした。試験体には、W 試験体 1 体（推定含水率 39%）を用いた。

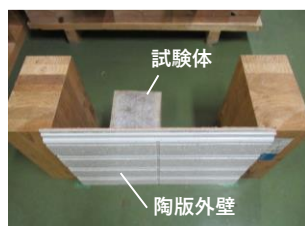


写真 1 コンクリート縦置き（試験体あり）



写真 2 コンクリート縦置き（試験体なし）



写真 3 コンクリート平置き（試験体あり）



写真 4 コンクリート平置き（試験体なし）



写真 5 木材（試験体あり）



写真 6 木材（試験体なし）



写真 7 机（試験体あり）



写真 8 机（試験体なし）

3.2 実験結果

図 5～8 に条件ごとの計測値について、深度方向の反射波を用いて試験体の有無を比較した結果を示す。縦置きを除いて、初めは波形が重なっており、途中でずれるところがある。ここが試験体位置（図 9）であり、試験体によって計測値が大きくなったためずれが生じたと考える。縦置きが最初の正反射の最大振幅辺りからずれた原因は不明であるため、検討を進めたい。また、一度試験体位置で波形がずれると、その後もある程度ずれが続きながら徐々に振幅が収束していくことがわかった。

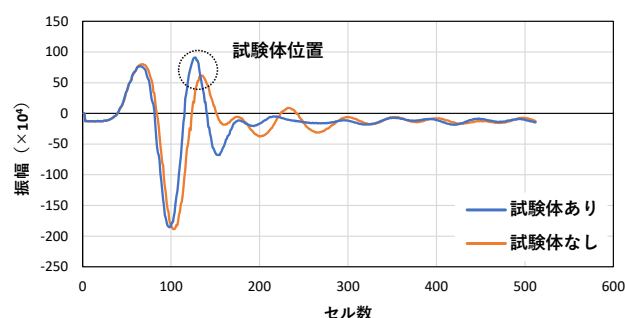


図 5 試験体有無による比較（コンクリート縦置き）

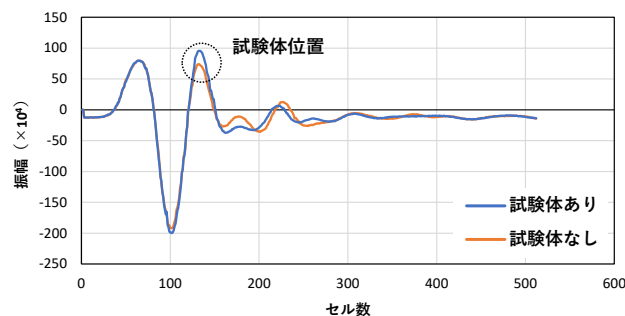


図 6 試験体有無による比較（コンクリート平置き）

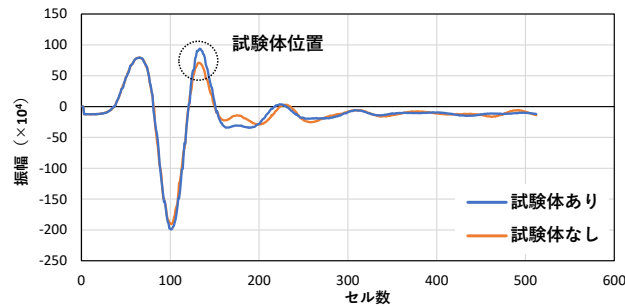


図 7 試験体有無による比較（木材）

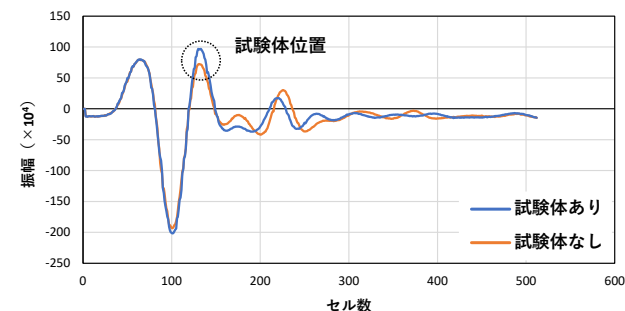


図 8 試験体有無による比較（机）

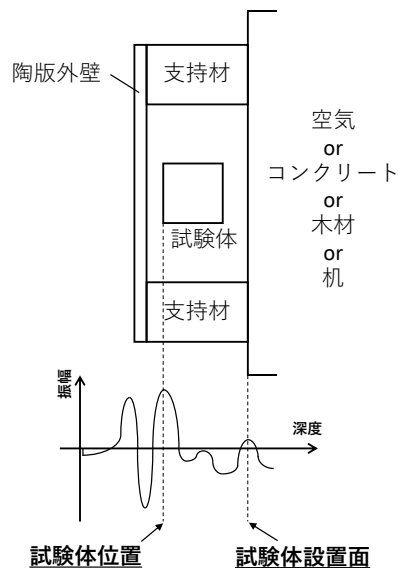


図9 試験体位置と試験体設置面

図10、11に試験体を挿入する場合としない場合のそれぞれにおいて、計測場所による比較をした。ここで、コンクリート表面や木材表面など試験体を置く面のことを試験体設置面とする(図9)。試験体ありにおいて、条件が変化しても試験体位置での振幅の差は小さいことから、計測場所の変化が計測値に与える影響は小さいと考えられる。また、条件によって試験体設置面での振幅が異なっており、大きい方から順に机、コンクリート、縦置き、木材となっている。これはそれぞれの物質の比誘電率(表1)の大小関係に比例していると考えられる。机には金属が使われているため、最も大きくなったと考えている。

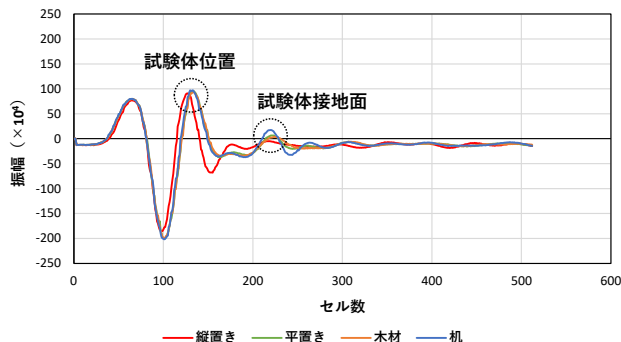


図10 計測場所による比較(試験体あり)

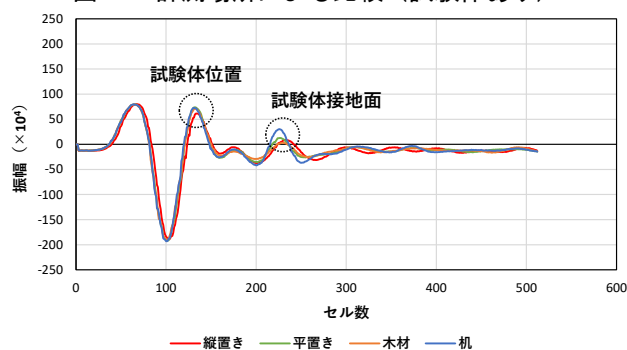


図11 計測場所による比較(試験体なし)

表1 各物質の比誘電率

物質名	比誘電率
空気	1
木材	2~6
水	80
コンクリート	6~8
鉄	∞

※電磁波は金属表面で全反射する

4. 試験体の手前にある水が計測値に与える影響

4.1 計測方法

計測対象物の手前にあるものが、計測値に与える影響について、写真9に示すアクリル製の生き物観察用水槽(75×15×100mm)に水道水を満たしたもの(以下、水)を用いて検討した。水が試験体の手前にある場合とない場合(写真10、11)のMax値及び深度方向の反射波を比較した。試験体は、W試験体6体を用いた(表2)。

表2 試験体の推定含水率

試験体名	推定含水率(%)
W-7	45
W-8	48
W-9	49
W-7'	45
W-8'	50
W-9'	47



写真9 観察用水槽



写真10 水なし



写真11 水あり

4.2 実験結果

図12にW試験体6体の水あり・なしにおけるMax値による比較を示す。すべての試験体において水なしの方が、Max値が5.3~6.0倍ほど大きい結果となった。図13にW-7試験体の水あり・なしにおける深度方向の反射波による比較を示す。水ありは水なしに比べて試験体位置の深度が浅くなっており、波長が短いことがわかる。計測器で計測した際の深度(図2)は、(1)~(3)式のように求められる。(3)式より、電磁波が透過する媒質の比誘電率が大きいほど深度は浅くなる。今回の検討では、試験体の手前にある層が空気(比誘電率1)から水(比誘電率80)に変わったため、Max値が5.3~6.0倍ほど大きくなったと考えられる。

電率 80) になったことにより波長が短くなったと考える。また、水ありの試験体位置での振幅は、水なしの振幅に比べて小さい。これは、計測器から放射された電磁波に対し、比誘電率の高い水での反射が大きく、水を透過する電磁波の量が減ったことにより、試験体からの反射強度が小さくなったためであると考ええる。

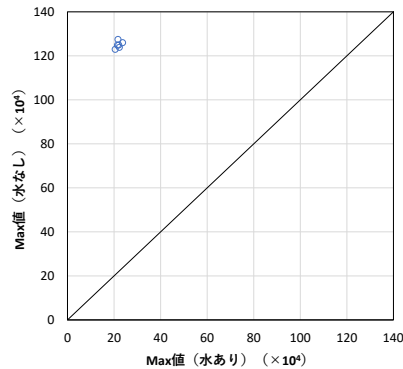


図 12 水有無による Max 値の比較

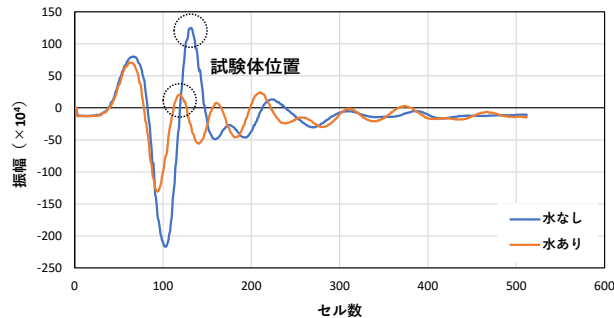


図 13 深度方向の反射波による水有無の比較
(W-7 試験体)

$$d = \frac{1}{2} VT \quad \dots (1)$$

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \dots (2)$$

(1)、(2)より

$$d = \frac{1}{2} \cdot \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot T \quad \dots (3)$$

d : レーダから試験体までの距離

V : 壁内の伝播速度*

T : 往復の伝播時間

c : 真空中における電磁波の速度
(3×10^8 m/s)

ϵ_r : 壁内の比誘電率*

*壁内は一樣であると仮定する

5. まとめ

本報では、電磁波レーダを用いて、複数の要素によって構成された木造大壁躯体の含水率計測手法の確立を目指し、計測対象物の前後にあるものが計測値に与える影響について検討した。

まず、計測対象物の後ろにあるものが計測値に与える影響について、4種類の壁の置き方と試験体の有無で比較した。試験体接地面からの反射波の振幅に大小はあったものの、その手前にある試験体の Max 値に大きな差はみられなかった。また、一度試験体位置で波形がずれると、その後もある程度ずれが続くことがわかった。

次に、計測対象物の手前にあるものが計測値に与える影響について、水を用いて検討した。試験体より手前に水がある場合は、水がない場合に比べて水より後ろの反射波の波長が短くなり、試験体位置での振幅は 1/5 程度まで小さくなった。

今回、計測対象物の後ろにあるものは計測値対象物の Max 値に影響を与えないが、計測対象物の手前にあるものは計測値対象物の Max 値に影響を与えることがわかった。実際に木造の柱を非破壊診断する場合でも、例えば、柱の後ろに水などがあっても問題はないが、柱の手前にあると正しく計測できないと考えられる。しかし、そのような場合は、他の場所の計測結果と比較すれば異常があることがわかるため、診断に大きな問題はないと考える。ただし、柱の手前にあるものが金物であった場合も異常として検知する可能性があるため、注意が必要である。

謝辞

本研究は、積水ハウス総合住宅研究所と広島大学の共同研究として実施したものである。また、実験の実施にあたり、同大学建築構造力学研究室の皆様にご協力いただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 宇都宮佑太, 他 4 名: 電磁波伝播特性を用いた木造大壁躯体の含水率の評価に関する基礎的研究 その 1 計測方法の確認とその計測結果, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 46 巻, pp.283-286, 2023.3
- 2) 宇都宮佑太, 他 2 名: 電磁波伝播特性を用いた木造大壁躯体の含水率評価に関する研究 その 1 高含水率から全乾までの計測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.233-234, 2023.9

*1 広島大学 大学院生

*2 広島大学 准教授・博士 (工学)

*3 積水ハウス (株) 修士 (工学)

*4 積水ハウス (株) 修士 (農学)

*1 Graduate Student, Hiroshima Univ.

*2 Assoc. Professor, Hiroshima Univ., Dr. Eng.

*3 Sekisui House, Ltd. M. Eng.

*4 Sekisui House, Ltd. M. Agr.