

電磁波反射強度に及ぼす鉄筋のかぶり厚さと径および含水率の影響に関する研究

中央大学 理工学部都市環境学科 今井 智也
 中央大学 理工学部都市環境学科教授 大下 英吉

1. はじめに

電磁波レーダー法は送信アンテナから放射された電磁波がコンクリート内部の鉄筋に反射し、その反射波が受信アンテナに受信されるまでの伝播時間および電波速度よりかぶりを推定する手法である。一般に、コンクリート内部における電磁波の伝播速度は含水率の影響で表される比誘電率に依存するため、精度良い推定に際してはその情報を事前に評価しておかなければならない。また現状の電磁波レーダー法では鉄筋径を詳細に評価することは困難である。

本研究では、電磁波強度に及ぼす鉄筋径のかぶり厚と鉄筋径および含水率の影響を定量的に評価するとともに電磁波強度に着目した鉄筋のかぶり厚や鉄筋径の予測手法に関する一考察を行うこととする。

2. 電磁波強度に及ぼす含水率の影響

2.1 実験概要

本研究で使用した電磁波レーダーは、パルスレーダー方式の中心周波数 1GHz であり、送受信端子が分離された構造となっている。モルタル供試体の配合は W/C = 45% , 50% , 55% の 3 水準であり、S/C = 2.5 である。モルタルにおける電磁波の測定は、モルタル供試体の上下面にそれぞれ送受信端子を設置して行った。一定含水率となる供試体の作成方法は、図 - 1 に示すように直径 150mm 高さ 300mm の円柱供試体の側面および上面のみをラップにより密封し、底面のみ一面乾燥とすることで実施した。脱型後ただちに水中養生し、乾燥材齢 2 週間とした。なお、乾燥期間中は温度 20% , 湿度 60% の環境で静置した。図 - 1 に示すように円柱供試体を 20mm , 30mm , 60mm の長さに切断し供試体とした。

含水率の測定は、円柱供試体の深さ方向に 10mm 間隔で切断し、質量変化より含水率を測定した。電磁波強度は図 - 2 に示す通りであり、測定された波形の最大ピーク点を含む 3 波形の面積を電磁波強度とした。なお、測定時の供試体の温度は一定とした。

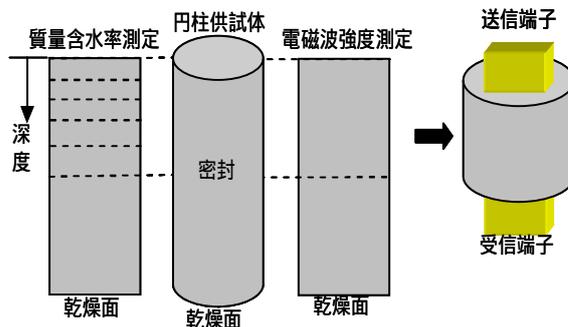


図 - 1 円柱供試体概要

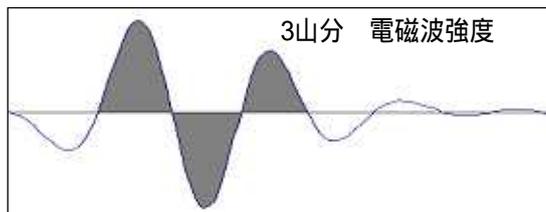


図 2 電磁波強度

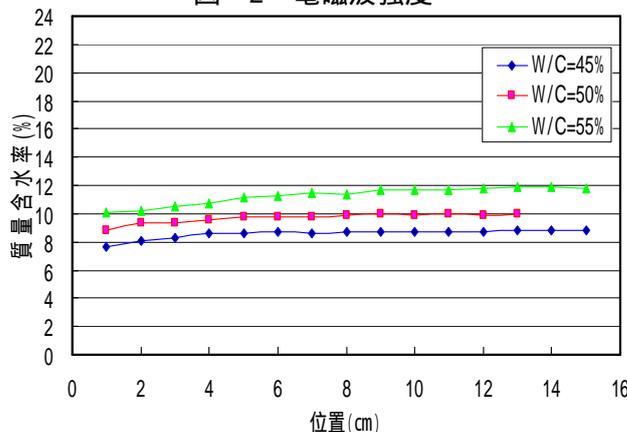


図 - 3 含水率分布

2.2 電磁波強度の含水率と距離の依存性

モルタル内の含水率分布は、図 - 3 に示すようにいずれの水セメント比においてもほぼ一定となった。なお、含水率の平均値は水セメント比 45% において含水率 8% , 水セメント比 50% において含水率 9% , 水セメント比 55% において含水率 11% であり、以降における含水率の差異による議論は平均含水率で行うこととする。

電磁波強度に及ぼす平均含水率の影響をモルタル

キーワード 電磁波レーダー、含水率、かぶり、鉄筋径、電磁波強度

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 理工学部都市環境学科 TEL:03-3817-1892 E-mail: imaitomoya@civil.chuo.ac.jp

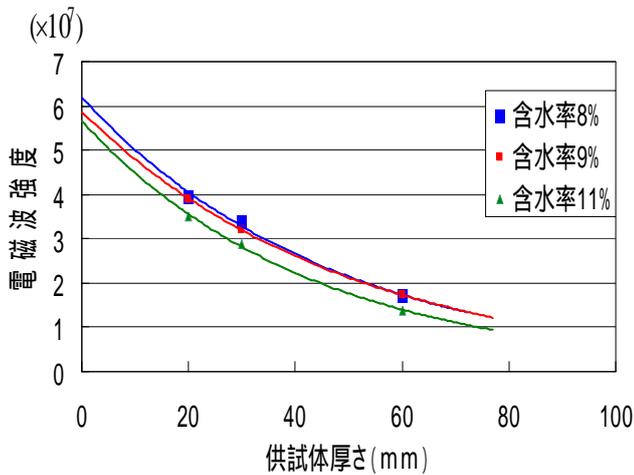


図 - 4 含水率による供試体厚-電磁波強度

の厚さをパラメータとして示したものが図 - 4 である。当然のことながら，電磁波強度に与える距離による減衰の影響は，供試体厚さが厚いほど大きくなったが，含水率の差異による電磁波強度への影響は見られなかった。これは，含水率の幅が8%～11%とデータの範囲が狭いため，電磁波強度へ与える影響に大きな相違が無くなったことが考えられる。しかしながら，含水率が電磁波に及ぼす影響はこのような傾向になることが考えられる。また，含水率とかぶり厚さが電磁波強度に及ぼす影響を定量的に評価したのが図 - 5 であり，図 - 4 の傾きを表すものである。

変化率においても，含水率の差異による相違は見られなかった。いずれの含水率においても，供試体厚さが大きくなるにしたがって，変化率は0に漸近する傾向が見られた。これは，かぶり厚さがある大きさ以上になると電磁波強度に与えるかぶり厚さの影響が一定値に収束することが考えられる。

この実験値の傾向からモルタル内での電磁波強度の減衰を含水率と伝播距離を変数とする実験式を式(1)に示す。実験式の右辺の第一項が含水率による減衰であり，第二項が供試体厚さによる減衰であると考えられる。実験式から求めた各含水率における伝播距離による電磁波強度と測定値との比較を図 - 6 に示す。現状ではデータ数が少なく，含水率の差異も大きくはないため精度に問題はあるが，モルタル内での距離による電磁波の減衰傾向は一致している。

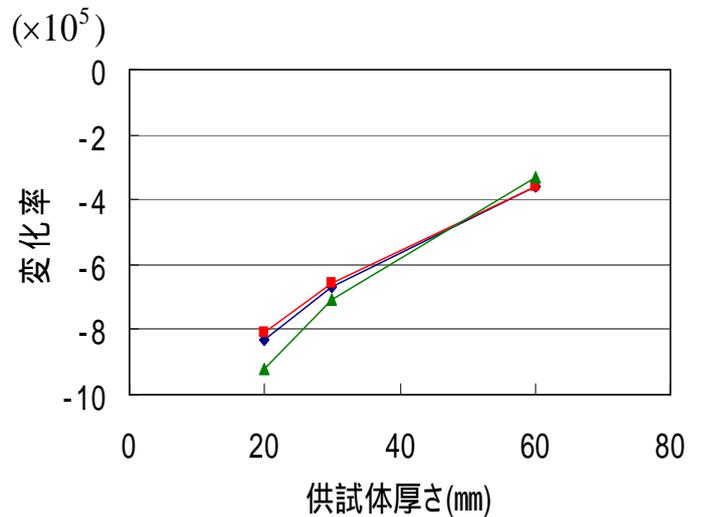


図 - 5 含水率による変化率 - 供試体厚さ関係

$$f_{(w,d)} = (11.58 \times d^2 + 4416.4 \times d - 2.4 \times 10^6)w + 7 \times 10^7 \times e^{(-0.0085 \times d)} \quad (1)$$

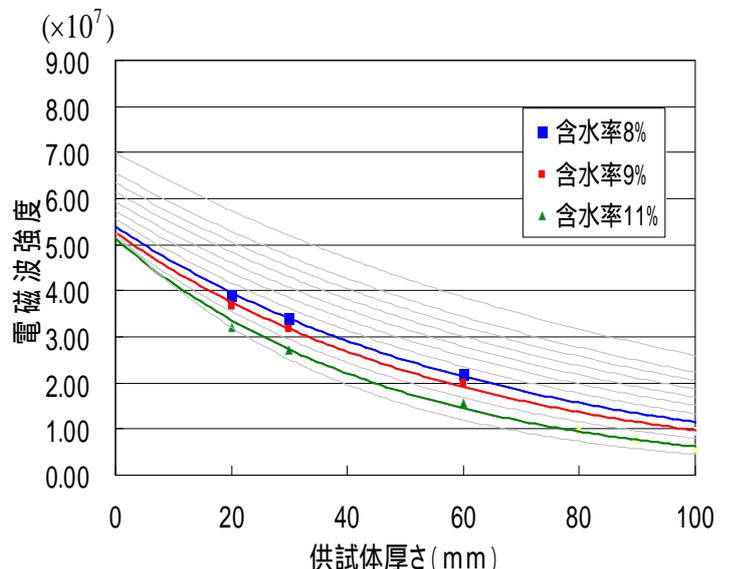


図 - 6 実験式から求めた各含水率の減衰と測定値の比較

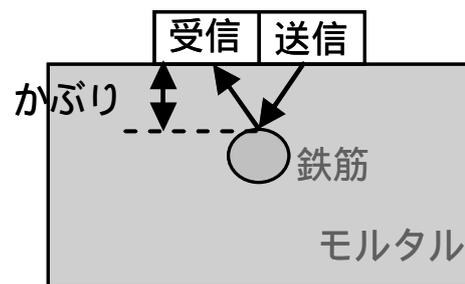


図 - 7 レーダー測定方法

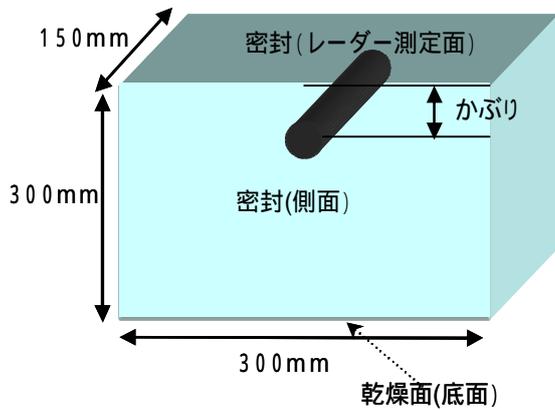


図 - 8 供試体乾燥状況

表 - 1 供試体パラメータ

かぶり	20, 30, 60mm
鉄筋径	9, 16, 25mm
W / C	45, 50, 55%

表 - 2 減衰率(R(φ, d))

かぶり(mm) \ 鉄筋径(mm)	20	30	60
25	7.89E-02	7.19E-02	5.10E-02
16	6.92E-02	6.28E-02	4.35E-02
9	6.16E-02	5.56E-02	3.76E-02

$$R_{(\phi, d)} = (-0.08 \phi - 7.2) d \times 10^{(-4.12)} + (0.38 \phi + 19.87) \times 10^{(-2.5)} \quad (2)$$

3. 電磁波反射強度に及ぼす鉄筋径とかぶり厚の影響

3.1 実験概要

鉄筋からの反射波の測定は、図 - 7 に示すように送受信端子を一体として鉄筋軸直行方向にモルタル表面を一定速度で移動させることにより実施した。この場合、受信端子にはモルタル表面を直接伝播した波も受信することとなる。したがって、鉄筋からの反射波のみの抽出は、鉄筋上の波形から同供試体の鉄筋と供試体側面からの反射波の影響がない無筋上の反射波を差し引くことにより実施した。また、抽出した反射波形のピーク値を含む 3 波形面積を反射強度とした。

使用した供試体の形状寸法は、図 - 8 に示すように 300 × 150 × 300mm とし、2.1 の供試体と同様の条件で養生した。乾燥状況は、図 - 8 に示すかぶりとは反対面のみ乾燥面とすることでかぶり領域における含

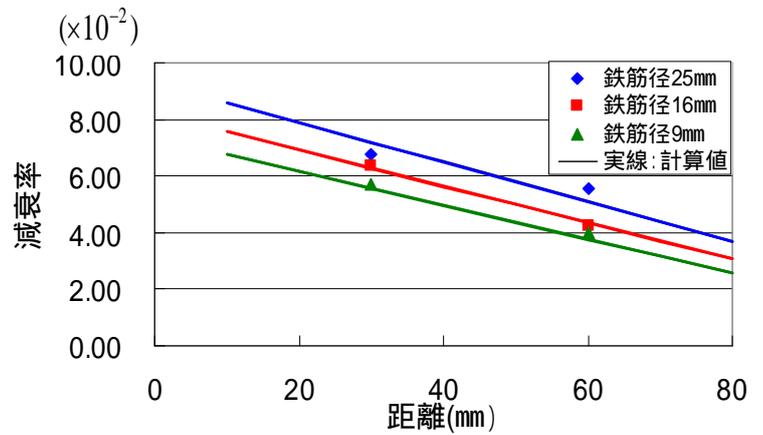


図 - 9 実験式より求めた減衰率と測定値の比較

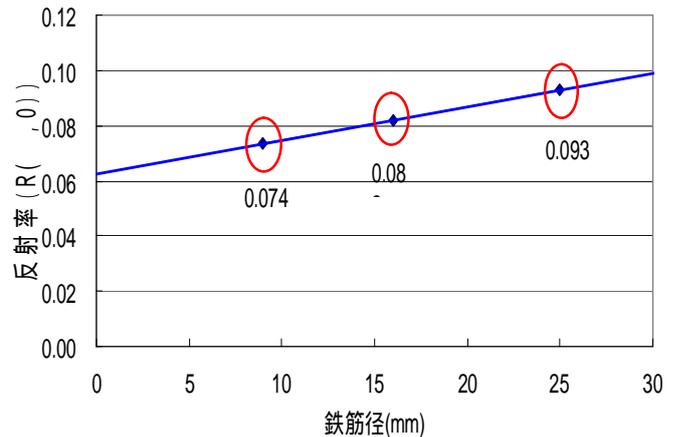


図 - 10 鉄筋径と反射率の関係

水率を 2.1 の結果として適用した。実験パラメータは、表 - 1 の通りであり、かぶり厚、鉄筋径、および水セメント比である。かぶり厚は 20mm, 30mm, 60mm の 3 水準、鉄筋

径は 9mm, 16mm, 25mm の 3 水準、水セメント比は 45%, 50%, 55% の 3 水準である。なお、鉄筋は丸鋼鉄筋を用いて実験を実施した。

3.2 電磁波強度の鉄筋径依存性

鉄筋径が電磁波強度に与える影響を評価するため、鉄筋反射から受信端子間での電磁波の減衰率を用いて検討した。なお、減衰率は測定反射強度データと測定距離減衰データの割合である。測定反射強度データは送受信端子一体としモルタル表面を一定速度で移動させたときのモルタル内での反射を取り除いた鉄筋上での反射強度データであり、測定距離減衰データは供試体を送受信端子で挟むことにより測定した電磁波強度データである。

含水率 9% におけるかぶり厚に応じた減衰率を表 - 2 に示す。また、減衰率の実験値より、鉄筋径、距

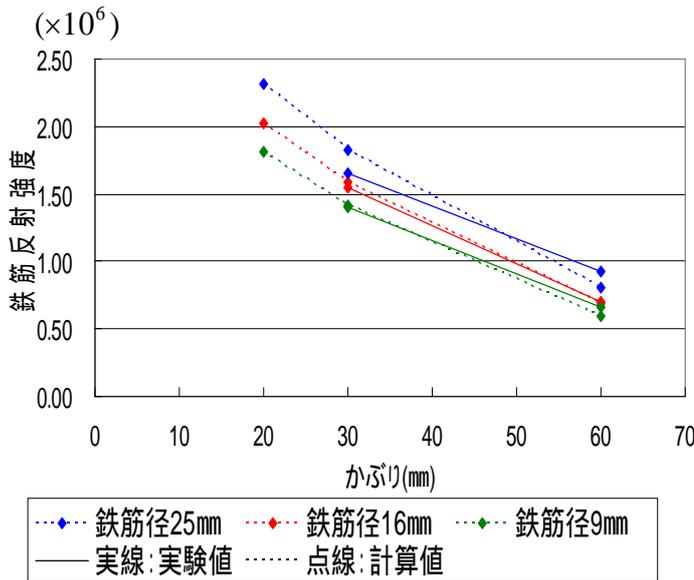


図 - 11 鉄筋反射強度の実験値と計算値の比較

$$f_{(\phi,w,d)} = \alpha R_{(\phi,d)} f_{(w,d)} \quad (3)$$

$f_{(\phi,w,d)}$: 鉄筋反射強度

$f_{(w,d)}$: モルタル内での減衰

$R_{(\phi,d)}$: 鉄筋反射以降の減衰率

α : 補正係数

離を変数とする実験式を式(2)に示す。なお、同式において、かぶり厚 $d=0$ のとき右辺第二項のみとなり鉄筋反射直前と反射直後の電磁波強度の割合となることから、鉄筋での反射率を表しており、反射率はかぶりによらず鉄筋径のみで評価が可能である。減衰率の実験式による計算値と測定値との比較を図 - 9 に示す。鉄筋径 25 mm において多少の誤差は見られるが、傾向は一致している。図 - 10 に鉄筋径と反射率の関係を示す。鉄筋径が大きくなるほど、反射率が大きくなる傾向を示した。これは、当然のことながら鉄筋径が大きくなることで反射面積の増大によるものである。

3.3 電磁波強度の鉄筋径およびかぶり厚依存性

モルタルにおける鉄筋反射強度の各要素の関係式を式(3)に示す。同式は α を補正係数とし鉄筋径、含水率および、かぶり厚の 3 変数で鉄筋反射強度を表したものである。

式(3)において含水率 9%、補正係数 0.8 とした計算値と含水率 9%の供試体の鉄筋反射強度の比較したものが図 - 11 である。傾向は一致しており、今後測定データを増やすことでより精度が高いものにな

ると考えられる。なお、実験値のかぶり 20 mmの値は明らかに測定誤差が生じていることが確認できたため予め省略した。今後再測定を行う予定である。

4. まとめ

モルタル内の減衰と含水率分布一定状態における含水率による減衰は電磁波強度に対して、モルタルがある厚さまでの範囲ではともに影響を与えていることが確認できるが、ある厚さを超えた後は、モルタルの厚さによるモルタル内での減衰が、含水率による減衰に比べて大きくなることで、含水率による電磁波強度に与える減衰の差は見られなくなる傾向が得られた。

鉄筋径が大きくなるにつれて電磁波の反射面積が増大することにより、反射量も増大し反射強度が大きくなった。

反射強度は、鉄筋径において径の表面積、つまり反射面積の大きさに依存していることが明らかになった。

反射率は鉄筋径のみに依存しており、鉄筋径により評価が可能である。

今回は含水率の幅が 8% ~ 11%と狭いため、含水率の幅を 20%、30%と広げたときに含水率による影響を検討すること、さらにモルタルからコンクリート、丸鋼鉄筋から異形鉄筋への拡張が今後の課題である。

謝辞

本研究で使用した電磁波レーダーおよびレーダー解析ソフトはアイレック技建株式会社に提供していただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉岡昌洋, 梶田佳寛: せき板除去後のコンクリート中の水分移動に関する基礎実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No.2, 2008, pp.205-210
- 2) 吉岡昌洋, 樋渡健, 松田拓, 柳田淳一: 中庸熱セメントを用いたモルタルおよびコンクリートの含水率分布に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No1, 2006, pp.1331-1336
- 3) 湯沢昇, 笠井芳夫, 松井勇: 乾燥を受けたコンクリート表面から内部にわたる含水率, 細孔構造の不均一性, 日本建築学会構造系論文集, 第 509 号, pp.9-16