

# サブテラヘルツ波を用いた鉄筋検知における含水率および骨材粒径の影響に関する基礎的検討

ライフサイクル工学分野  
安達直徹

サブテラヘルツ波  
含水率

非破壊検査  
骨材

スペクトル

## 1. はじめに

わが国における建築・インフラストラクチャーの現状を俯瞰すると、高度経済成長期以降に集中的に整備された膨大なストックが、一斉に更新期を迎えつつあるという深刻な局面に立たされている。特に都市の基盤を形成する鉄筋コンクリート造（RC 造）建築物の老朽化対策は、国民の生命と財産を守る上での最優先課題となっている。RC 造の維持管理において、内部鉄筋の検知は極めて重要な項目である。こうした背景から、近年ではマイクロ波や超音波を活用した、非破壊・非接触型検知技術の実用化に向けた研究開発が加速している。なかでも、高い直進性と透過性を両立し、コンクリートの内部鉄筋の可視化や腐食検知ができる可能性<sup>1,2)</sup>を持つサブテラヘルツ波を用いた診断技術に大きな期待が集まっている。

本研究では、非接触型の非破壊検査技術としてサブテラヘルツ波に着目し、コンクリート内部の鉄筋を測定する際に生じる諸要因の影響を検証する。具体的には、含水率および骨材粒径に焦点を当て、これらが測定結果に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とする。含水率の変化を対象とする実験 1、および骨材条件を検討する実験 2 の 2 種類の実験の結果について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 測定概要

測定系の概要を図 1 に示す。本研究ではコンクリート表面からの反射の影響を低減できる垂直入射測定系<sup>2)</sup>を用いた。かぶり厚さに応じて検出器の角度を調節し、一つの試験体につき 5 か所で測定を行った上で、その平均

値を用いた。含水率、かぶり厚さ、使用骨材の最大粒径の異なる試験体に対して 18~52 GHz のサブテラヘルツ波を 0.1 GHz 刻みで照射し、反射強度を周波数スペクトルとして取得した。得られたスペクトルから、周波数ごとの反射強度の変化や、広く波形としてみた時の形状の変化を比較した。本研究の実験水準を表 1 に示す。実験 1 では含水率とかぶり厚さをパラメータとした鉄筋埋設試験体を測定し、含水率の変化に伴う反射強度の変化を確認した。実験 2 では骨材の最大粒径をパラメータとした試験体と鉄筋単体の反射強度スペクトルを比較し、骨材がサブテラヘルツ波の挙動に与える影響を確認した。

### 2.2 試験体作製

試験体概要を図 2 に示す。実験 1・2 ともに大きさ 100×100×400 mm の型枠内に所定のかぶり厚さとなる位置に鉄筋を固定し、コンクリートまたはモルタル（以下、試験体）を打ち込んだ。試験体は打設後 2 日で脱型、材齢 9 日まで水中養生した。養生終了後、内部の含水率分布を均一にするための調湿を表 2 に示す方法で行った。実験 1 では絶乾（含水率 0.5%）、気乾（同 4.3%）、湿潤（同 5.5%）、飽水（同 6.9%）の 4 種類、実験 2 では絶乾、飽水の 2 種類の含水状態を用意した。これらの含水状態を確認した状態で反射強度スペクトルの測定を行った。実験 2 ではコンクリート A（最大骨材寸法：20 mm）コンクリート B（同 10 mm）、モルタル A（同 2 mm）、モルタル B（同 0.6 mm）の 4 種類の骨材粒径が異なる試験体を用意した。また、これらの含水状態は絶乾、飽水の 2 種類とした。

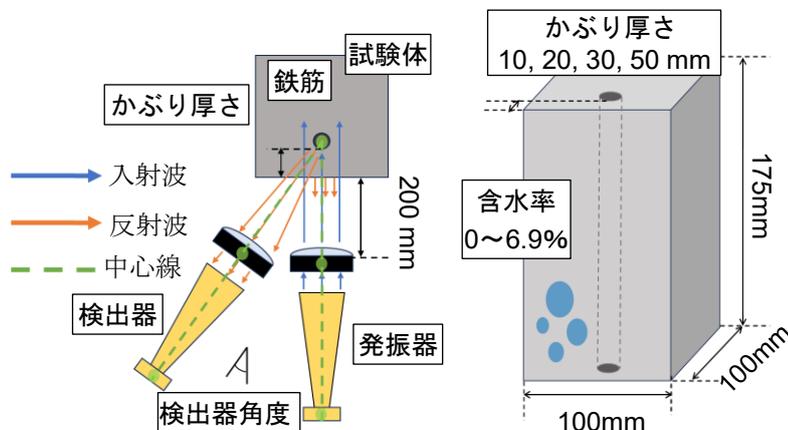


図 1 測定系の模式図

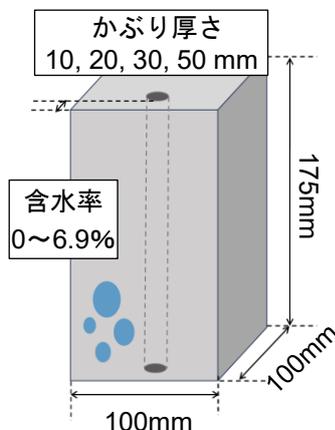


図 2 試験体の概要

試験項目	パラメータ	変数
含水率	含水率[%]	0, 4.3, 5.5, 6.9
	かぶり厚さ [mm]	10, 20, 30, 50
	周波数[GHz]	18~52 0.1 ずつ
骨材粒径	含水率[%]	0, 6.9
	最大骨材寸法 [mm]	0.6, 2, 10, 20
	周波数[GHz]	18~52 0.1 ずつ
	かぶり厚さ [mm]	0(鉄筋単体), 10

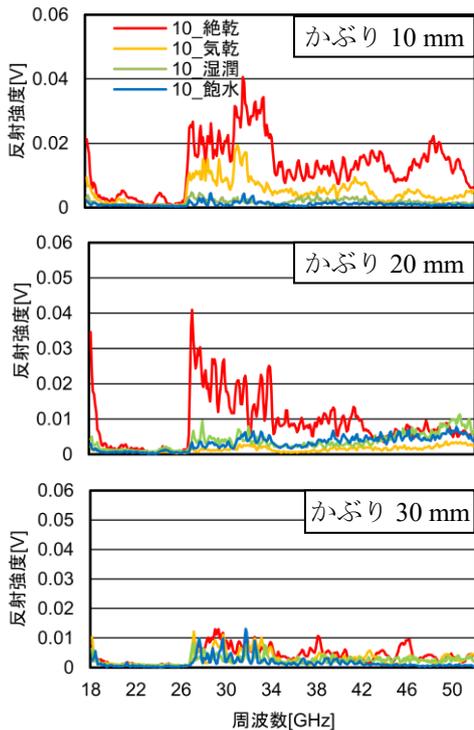


図3 かぶり厚さ 10, 20, 30 mm の反射強度

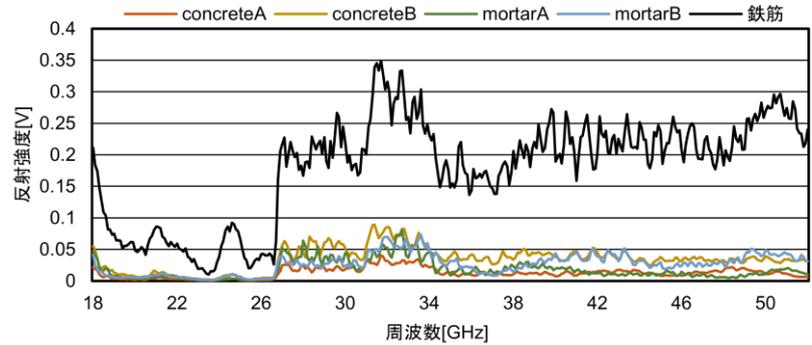


図4 鉄筋と試験体の反射強度

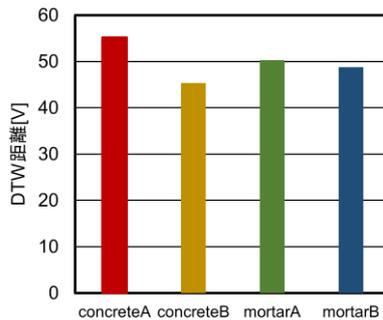


図5 各試験体の DTW 距離

含水状態	調湿方法
絶乾 (0.5%)	オープンにより 105°C乾燥
気乾 (4.3%)	シリカゲルと ともに保管
湿潤 (5.5%)	硝酸ナトリウム塩飽和 水溶液とともに保管
飽水 (6.9%)	水中で保管

### 3 含水率をパラメータとした測定の結果

含水率とかぶり厚さを変数とした試験体への測定結果を図3に示す。ここでは、かぶり厚さ 10、20、30 mm の結果を示している。かぶり厚さ 10 mm では、含水率の増加に伴って反射強度が低下する傾向が確認できた。かぶり厚さ 20 mm では、絶乾の反射強度が高く、気乾以上の含水状態で反射強度が急激に低下した。これは 4.3%以上の含水率においてはサブテラヘルツ波の水分への吸収量が大きくなったためと考えられる<sup>3)</sup>。また、かぶり厚さ 30 mm では、絶乾の反射強度が著しく低下した。これは、コンクリート内部の骨材等による散乱が、反射強度の減衰を引き起こしたためだと考えられる。

### 4 骨材粒径をパラメータとした測定の結果

最大骨材粒径が異なる試験体の絶乾状態の測定結果と、鉄筋単体の測定結果を図4に示す。試験体と鉄筋の反射強度スペクトルから、周波数 27・31 GHz 付近で、鉄筋由来と思われる強度の増加が共通して見られた。しかし、スペクトルそのものからは骨材の差による変化は判断できなかった。よって、骨材粒径による影響は反射強度の変化ではなく、スペクトルの形状の変化として現れるという仮説を立てた。その上で、鉄筋単体から得られるスペクトルとの形状の類似度が、骨材粒径が及ぼす影響の度合いの指標になると考えた。これを検証するために、動的時間伸縮法 (DTW) を用いた解析を行った。この手法は2つの波形の類似度を DTW 距離として算出するものである。この値が小さいほど2つの波形の類似度が大きいことを表している。試験体および鉄筋単体から得られ

た反射強度スペクトルを波形としてとらえ、両者の DTW 距離を算出した。図5に解析結果を示す。最大骨材粒径が最も大きいコンクリート A において DTW 距離が最大となり、鉄筋単体に対するスペクトルの形状の類似度が最も低くなった。これは、粗骨材が電磁波の散乱を引き起こし、検出されるスペクトルに影響を及ぼしている可能性を示唆した。

### 5 まとめ

含水率および骨材粒径に焦点を当て、これらがサブテラヘルツ波を用いた測定結果に及ぼす影響を定量的に評価した。以下に本実験で得られた知見を示す。

- 1) かぶり厚さ 10 mm では、含水率の増加に伴う反射強度の低下を確認した。
- 2) かぶり厚さ 30 mm では、絶乾の反射強度も著しく低下し、含水状態の評価が難しくなることを確認した。
- 3) DTW を用いて骨材粒径の異なる試験体と、鉄筋単体のスペクトルの形状類似度を計算した結果、骨材粒径が大きい試験体ほど類似度が小さくなる傾向を確認した。これにより、骨材による電磁波の散乱が、検出されるスペクトルの形状に影響を及ぼしている可能性を示唆した。

#### [参考文献]

- 1) 小林知大ほか、コンクリート工学年次論文集、45(1)、pp.1438-1443、2023
- 2) 倉品吏玖ほか、日本建築学会学術講演梗概集(九州)、pp.111-112、2025
- 3) 松村竹子、海洋科学研究、31(2)、pp.91-94、2018