

# サブテラヘルツ波を用いた鋼材腐食の検出手法の開発に関する基礎的研究

ライフサイクル工学分野  
倉品史玖

サブテラヘルツ波 非破壊検査 スペクトル  
鋼材腐食 内部探査

## 1. はじめに

近年は社会資本の老朽化が顕在化し、ストック型社会への移行が進められ、鉄筋コンクリート構造物の適切な補修および維持・管理方法の需要が高まっている。構造物の寿命に大きく関わる内部鉄筋の状態を調べる非破壊・微破壊検査手法は多く普及しているが、既存の手法はいずれも接触を要するため、高所や立ち入りが制限されるほど劣化が進んだ箇所への適用が困難である。したがって遠隔・非接触による検査手法が求められるが、かぶりコンクリート内部の鉄筋の腐食状況を非接触で判別する方法は確立されていない。

近年、非破壊検査手法へのサブテラヘルツ波の利用が検討されている。サブテラヘルツ波とは、周波数が約0.03~0.3 THz、波長にして約1~10 mm (真空中) の電磁波で、コンクリートや仕上げ材を透過する性質を持つため、内部鉄筋の可視化や腐食状況を評価する研究が行われている<sup>1)2)</sup>。

そこで本研究では、サブテラヘルツ波を用いた遠隔・非接触による鋼材腐食の検出手法の検討を行った。鋼材単体と、かぶりコンクリートを模擬した試験体の内部鋼材を対象とした、実験室レベルでの基礎的検討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。本研究では実構造物への適用を想定し、測定装置がコンパクトな反射波による測定を行った。鋼材の腐食程度が異なる試験体に20~50 GHzのサブテラヘルツ波を0.2 GHzごとに連続的に照射し、反射強度をスペクトルとして取得して評価した。本研究の実験水準を表1に示す。スペクトル測定では腐食鉄筋を模擬した鋼材試験体を測定し、腐食の程度によるスペクトルの変化と検出に適した周波数を

確認した。また、腐食の境界でイメージング測定<sup>3)</sup>を行い、画像から腐食を判別可能か確認した。内部鋼材試験体の測定ではかぶり厚さの異なるコンクリートの内部鋼材を測定し、かぶり厚さや鋼材の腐食によるスペクトルの変化を確認した。

### 2.2 試験体作製

試験体の概要を図2に示す。鋼材試験体は、大きさ100 × 50 mm、厚さ1 mmの平鋼板を使用し、15%過酸化水素水の噴霧と乾湿繰り返しにより表面を腐食させて作製した。また、イメージング測定用試験体は上記の平鋼板の表面を50 mmずつに二分し、片側をビニールテープにより保護して、片側のみ同条件で腐食させたものを作製した。内部鋼材試験体は、上記の腐食方法で作製した鋼材試験体を使用し、腐食面を覆うようにコンクリートを打込み作製した。作製後、大きさ100 × 100 mm、かぶり厚さが厚さ10、20、30 mmになるように切断し、90 °C・1日間の条件で乾燥させ測定を行った。

## 3. 測定結果

### 3.1 スペクトル測定

腐食期間の異なる鋼材試験体の測定結果を図3に示す。試験体名のCに続く数字は腐食週数を表す。腐食期間が長くなるほど、反射強度が低下する傾向が確認できた。ただし、図4のように周波数を細かく分割すると、29.0 GHzなど一部の周波数にて反射強度が増加する、あるいは微小な変化が確認された。

C0試験体を基準として反射強度の変化率を算出し、グラフ化したものを図5に示す。変化率からも腐食の進行に伴う反射強度の低下が確認でき、C7では25.4 GHzで最大31%の強度減少が見られた。図6に示すように10 GHzごとの変化率平均をとると、腐食の進行に伴う変化率の低下が確認できた。このことから変化率の算出により、反射強度変化の程度の把握と、腐食



図1 測定系の概要

表1 実験水準

試験項目	パラメータ	変数
スペクトル測定	腐食期間 [週]	0, 1, 3, 5, 7
	周波数 [GHz]	20 ~ 50 0.2 ずつ
イメージング測定	周波数 [GHz]	24.8, 29.0 49.4
内部鋼材試験体の測定	かぶり厚さ [mm]	10, 20, 30
	腐食期間 [週]	0, 3, 6
	周波数 [GHz]	20 ~ 50 0.2 ずつ

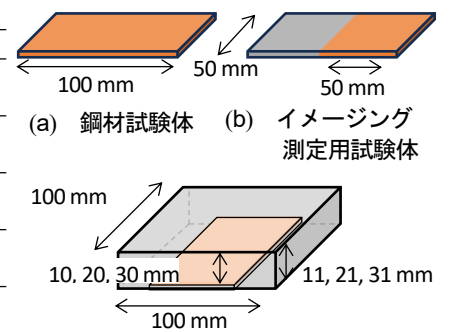


図2 試験体の概要

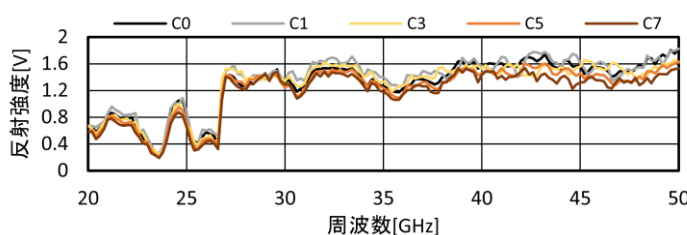


図3 鋼材試験体の反射強度

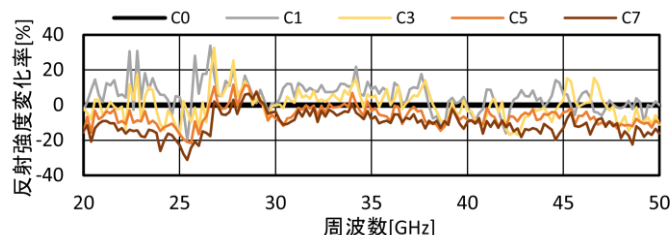


図5 反射強度の変化率

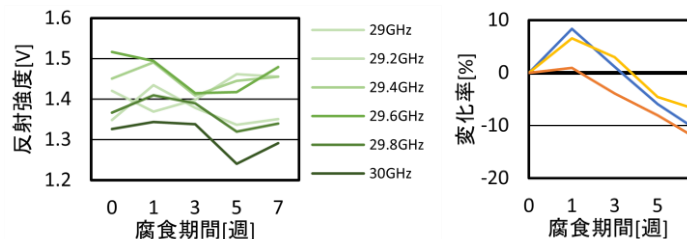


図4 29~30 GHzの反射強度の変化

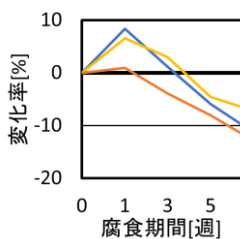


図6 変化率平均

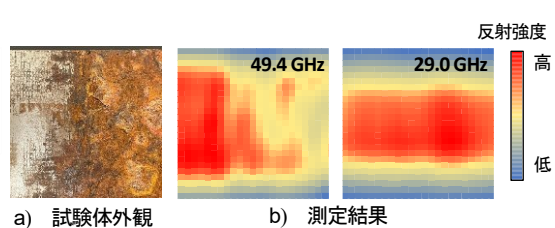


図7 面測定の結果

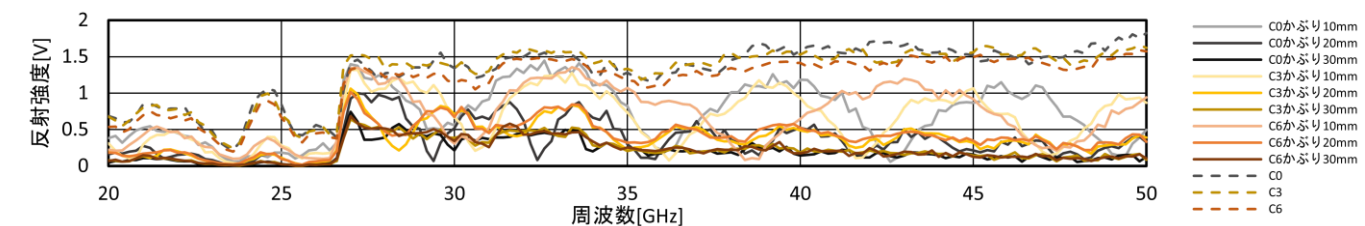


図8 鋼材試験体と内部鋼材試験体の反射強度

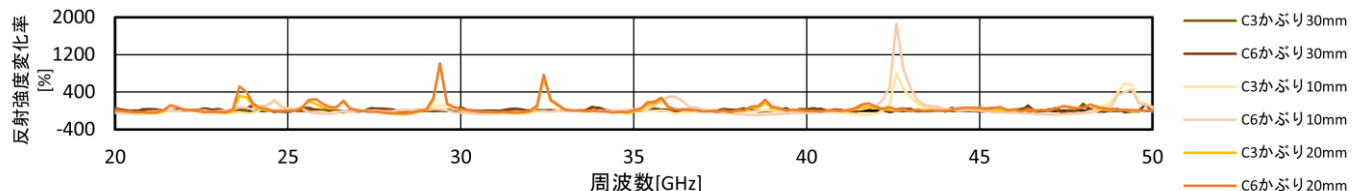


図9 内部鋼材試験体の変化率

検出に適さない周波数の影響を抑制した上で腐食評価を行える可能性が示された。

### 3.2 イメージング測定

イメージング測定の結果を一部図7に示す。周波数は、スペクトル測定の結果から反射強度の低下が見られる49.4 GHzと変化が小さい29.0 GHzである。49.4 GHzでは左右の強度差が明瞭に得られ、腐食面の反射強度の低下を確認できた。一方、29.0 GHzでは錆の有無による強度差が確認できなかった。これより、スペクトル測定の結果と一致する結果が得られた。

### 3.3 内部鋼材試験体の測定

内部鋼材試験体の測定結果を図8に示す。かぶりのある鋼材試験体にて、反射強度の低下を確認した。かぶり厚さ10、20 mmにて、周波数の増加に伴って強度が増減する様子を確認した。また、腐食期間に応じて減衰ピーク間の幅やピーク位置の反射強度が増減することを確認した。これらの要因としてコンクリート表面と鋼材面での反射波が干渉を起こしている可能性が挙げられる。3.1と同様に、同じかぶり厚さの試験体で反射強度の変化率を算出することで図9に示すようなスペクトルのピークを取得できた。かぶり厚さ10 mmでは42.6 GHzにて腐食の進行に伴った変化率の増加が確認できた。

## 4. まとめ

サブテラヘルツ波を用いて腐食鋼材やかぶりを模擬したコ

ンクリートをかぶせた腐食鋼材の測定を行った。以下に本実験で得られた知見を示す。

- 1) 腐食の進行に伴う反射スペクトルの変化を20~50 GHzの周波数帯にて確認した。周波数を細かく分割することで、特定の周波数で異なる反射強度の傾向を確認した。
- 2) 反射強度の変化率を算出し、10 GHzごと等で変化率の平均を求めることで、腐食検出に適さない特定の周波数の影響を抑制できることを示した。
- 3) イメージング測定により、スペクトル測定の結果と同様の反射強度の変化を確認し、測定の妥当性を示した。
- 4) 内部鋼材試験体の測定結果から、かぶり厚さや腐食の有無の違いによるスペクトルのピークの変化を確認した。
- 5) かぶり厚さ10 mmでは、スペクトルのピークから、腐食の進行に伴った変化率の増加を確認した。

### 【参考文献】

- 1) 小林知大、ほか：サブテラヘルツカメラを利用した反射波による鉄筋コンクリート内部の可視化技術に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、45(1)、1438-1443、2023
- 2) 疋島宗哉、ほか：サブテラヘルツ波を用いたコンクリート中の鉄筋腐食に対する非破壊・非接触型評価手法の検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.45、No.1、2023
- 3) 原星海、ほか：サブテラヘルツ反射波を用いた非破壊検査手法の開発に関する基礎的検討、コンクリート工学年次論文集、44(1)、1408-1413、2022