

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提案

建築学専攻
材料施工研究

MJ22111 ひきしま しゅうや
足島 宗哉
指導教員 濱崎 仁

1. 研究の背景と目的

RC 構造物の主な劣化としてコンクリート内部の鉄筋腐食が挙げられるが、その非破壊的な評価手法はまだまだ十分な精度を有しているとは言えない状況にある。また、歴史的な建造物や供用中の建造物の診断では、非破壊であるとともに、非接触による評価であることが求められる場合も多い。著者らは、鉄筋腐食の状況を非破壊かつ非接触で評価する方法の一つとしてサブテラヘルツ波を適用した評価方法を検討している。

本研究では、サブテラヘルツ波を活用した非破壊かつ非接触でのコンクリート内部の鉄筋腐食状況の評価手法を確立することを目的として、腐食グレードの異なる鉄筋埋設試験体を対象としたサブテラヘルツ波の反射波測定を行ない、その結果を基に評価手法を提案した。

2. 概説-テラヘルツ波とは-

テラヘルツ波とは周波数帯約 0.1~10 THz、波長 30 μm ~3 mm 程度の電磁波である。非極性物質に対する透過性と極性物質に対する吸収性が高く、金属に対しては高い反射率を有する。また、鉄筋表面の腐食生成物には吸収もしくは散乱される。この特徴を利用して、コンクリート内部の鉄筋腐食状況を評価することを検討した。また、サブテラヘルツ波とは、一般的には周波数 0.03~0.3 THz 程度の電磁波であり、テラヘルツ波と類似の特徴を持ちながら、コンクリートなどに対してはより大きい透過能を持つ。

本研究では、サブテラヘルツ波の透過性を考慮し、周波数 7.5~15 GHz の電磁波を含めた範囲をサブテラヘルツ波として適用することとした。

測定系の概要を図-1 に示す。図中の黒い点線は、自動ステージの各軸の動作方向を示したものであり、測定系の詳細は文献¹⁾に示す通りである。

3. 研究概要

3.1 試験体概要

試験体の形状および寸法を図-2 に、試験体の要因と水準を表-1 に示す。

腐食 G0 の試験体に対しては、腐食促進を行わず、G1 と G2 の試験体の作製においては、塩化物イオン量なしの試験体では塩化カリウムを含まない塩橋により電食試験を行い、塩化物イオンを含有する試験体では乾湿繰り返しを行った。

3.2 測定方法

3.1 試験体概要で示した試験体により、コンクリート内部の鉄筋の検出および腐食状況の評価のための測定を行なった。

各かぶり厚さの試験体において、内部鉄筋の検出が可能であると考えられる周波数として、含水状態と塩化物イオン量の水準に関係なく全ての条件下で、鉄筋箇所とコンクリート箇所の反射強度に有意な差が得られる周波数を予備実験により求めた。

その結果より、かぶり厚さ 10mm の試験体の測定では 11.9GHz、30mm の試験体では 14.3GHz、50mm の試験体

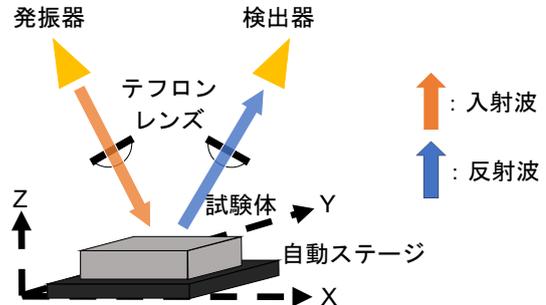


図-1 使用した測定系

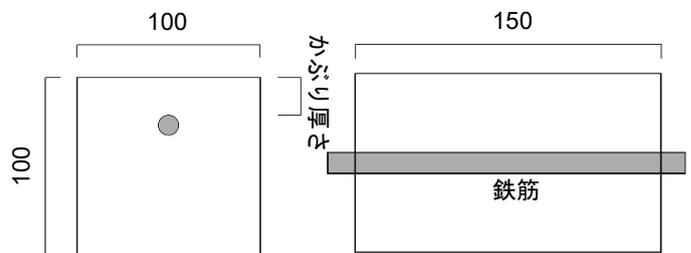


図-2 試験体の形状と寸法[mm]

表-1 試験体の要因と水準

要因	水準
かぶり厚さ[mm]	10, 30, 50
塩化物イオン量[kg/m ³]	0, 1.2, 2.5
腐食グレード	G0, G1, G2
鉄筋形状	丸鋼(Φ13), 異形(D13)

では 14.8GHz の電磁波を使用することとした。

測定範囲は、X, Y 方向においては試験体中央部の 60 × 60 mm、測定ピッチは 3 mm とし、自動ステージを用いて二次元での測定を行った。Z 方向においては、試験体表面の高さが測定系の焦点と一致する高さを Z=0 とし、その点から測定ピッチ 10mm で自動ステージを上方向に動かしていき、計 6 点での測定を行った。

また、試験体の表面反射の影響を除去するために、かぶり面とその反対側の面について測定を行い、それらの差分をとることにより内部鉄筋の可視化の可否について評価することとした。

4. 結果と考察

4.1 内部鉄筋の可視化

内部鉄筋が丸鋼で塩化物イオン量 0kg/m³、かぶり厚さ 10mm の試験体の測定結果を図-3 に示す。図中の白い点線は、内部鉄筋の位置を示したものである。

Z=10 の場合において、内部鉄筋と同様の範囲内で、反射強度が大きくなっていることが確認できる。これは、試験体のかぶり厚さが 10mm であるため、Z=10 の場合に、測定系の焦点と鉄筋の表面位置が一致するためであると考えられる。次に、内部鉄筋が丸鋼で塩化物イオン量 0kg/m³ のかぶり厚さ 30, 50mm の試験体において、

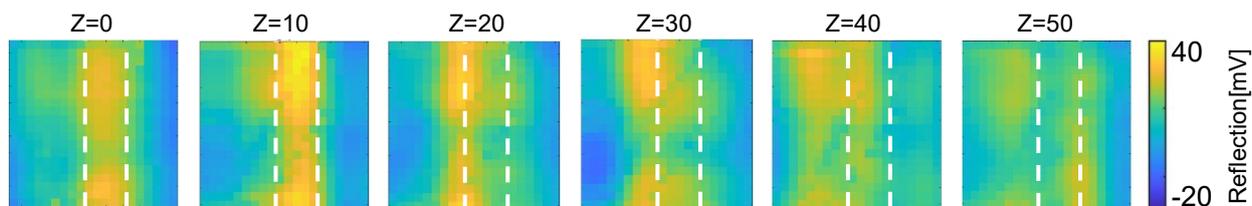


図-3 丸鋼かぶり 10mm, Cl量 0kg/m³, 腐食なし

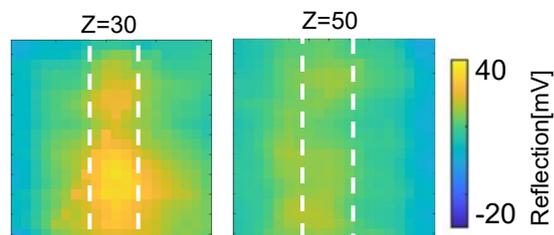


図-4 丸鋼 Cl量 0kg/m³, 腐食なし差分後
左 : かぶり 30mm 右 : かぶり 50 mm

内部鉄筋の表面位置が一致する Z 値での測定結果を図-4 に示す。かぶり厚さが 30, 50mm の場合も、測定系の焦点と鉄筋の表面位置が一致する Z 値において、内部鉄筋と同様の範囲内で反射強度が大きくなることが確認できる。このことから、かぶり厚さが大きくなると内部鉄筋による反射強度は低下するものの、かぶり厚さ 50mm 程度までの鉄筋の可視化が可能となった。

以上のことから、各かぶり厚さの試験体に対して適切な周波数を選定して測定を行なうことで、内部鉄筋の可視化が可能であることが確認できた。

4.2 腐食状況の評価

前節と同様の測定を行い、内部鉄筋による反射強度の増加の評価を行った結果を表-2 に示す。評価は、各試験体において、鉄筋による反射強度の増加が確認できる箇所の平均値からその他の箇所の平均値を差分することで行った。これを、以下では差分反射強度とする。

腐食 G0 では、塩化物イオン量 1.2kg/m³ のかぶり厚さ 50mm の試験体を除くすべての試験体で内部鉄筋による反射強度の増加が確認できた。腐食 G1, G2 では、反射強度の増加が確認できないものがあるが、これは、腐食生成物により電磁波が散乱されることで、内部鉄筋による反射強度が低下するためであると考えられる。また、各試験体において、腐食 G0 の場合に得られる差分反射強度が最も大きく、腐食が進行するに伴い、得られる差分反射強度が小さくなることが確認できた。このことから、内部鉄筋の腐食の進行状況を定性的に評価することが可能であることが確認できた。

次に、差分反射強度と内部鉄筋の質量減少率の関係を図-5 に示す。ここで、補正後差分反射強度とは、かぶり厚さによる差分反射強度の低下を補正したものであり、式(1)により求められる。

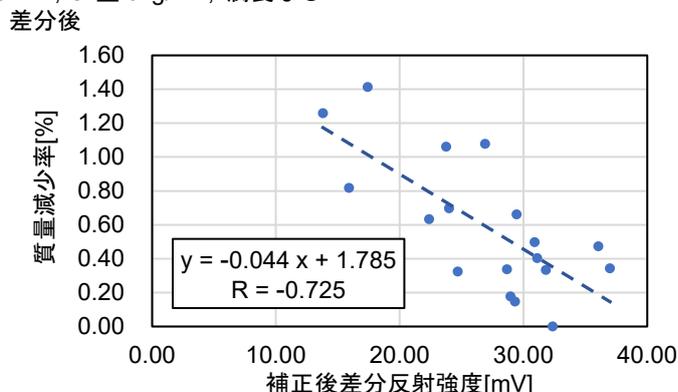


図-5 差分反射強度と質量減少率

$$Rd_a = Rd + Cd \times 0.497 \quad (1)$$

ここに、 Rd_a : 補正後差分反射強度 [mV]

Rd : 差分反射強度 [mV]

Cd : かぶり厚さ [mm]

図-5 より、補正後差分反射強度と質量減少率には相関関係が認められることから、式(2)により、質量減少率 1.7%程度以下の比較的軽微な鉄筋腐食に対して、質量減少率を推定することが可能であると考えられる。

$$W_{loss} = 1.785 - 0.044 \times Rd_a \quad (2)$$

ここに、 W_{loss} : 内部鉄筋の質量減少率 [%]

Rd_a : 補正後差分反射強度 [mV]

5. まとめ

本研究で明らかになったことを以下に示す。

- 1) かぶり厚さに適した周波数を選定し、内部鉄筋の表面位置と測定系の焦点を一致させ測定を行うことで、かぶり厚さ 50mm 程度までの内部鉄筋の可視化が可能となった。
- 2) 補正後差分反射強度と質量減少率には相関関係が認められることから、式(1)と式(2)により、内部鉄筋の腐食程度を非破壊かつ非接触で推定することが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 疋島宗哉, 濱崎仁, 荒川璃音, 田邊匡生 : 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, pp.1282-1287, 2023.7

表-2 内部鉄筋による反射強度の増加

塩化物イオン量 [Kg/m ³]	かぶり厚さ 10m			かぶり厚さ 30m			かぶり厚さ 50m		
	G0	G1	G2	G0	G1	G2	G0	G1	G2
0	○	○	○	○	○	○	○	×	×
1.2	○	○	○	○	○	○	×	—	—
2.5	○	○	○	○	×	×	○	—	—

○ : 内部鉄筋による反射強度の増加が確認される

× : 各列の平均値の最大値と最小値の差が 10mV 程度以下であり、かつ、鉄筋箇所である中心部付近の平均値が最大値とならず内部鉄筋による反射強度の増加が確認されない

— : 試験体なし