

# 技術開発等成果報告書

事業名 ・その他の住宅・建築分野における生産性向上に資する技術開発等	課題名 「サブテラヘルツ波を適用した鉄筋コンクリート造集合住宅の予防保全システムの開発」
<b>1. 技術開発等のあらまし</b>	
<b>(1) 概要</b>	
<p>サブテラヘルツ波によってコンクリート中の鉄筋の可視化および鉄筋腐食度、劣化因子（水、塩分等）の浸透状況等を評価するための測定システムを構築した。構築したシステムを用い、適切な周波数を選定することにより、かぶり厚さ 50mm 程度までの鉄筋を可視化できること、鉄筋の腐食状況を定量的に評価できることを明らかにした。また、コンクリート中の水分、塩分等の影響を評価できる可能性を示した。</p> <p>サブテラヘルツ装置と電磁波レーダ装置による鉄筋位置情報を利用した鉄筋腐食度評価手法を提案した。また、小型化・軽量化による可搬型の装置とすることで、現場での測定を実現させデータ収集と測定結果を示すことができた。</p>	
<b>(2) 実施期間</b>	
令和3年度～令和5年度	
<b>(3) 技術開発等に係った経費</b>	
技術開発等に係った経費（実施期間の合計額）	26,404 千円
補助金の額（実施期間の合計額）	6,866 千円
<b>(4) 技術開発等の構成員</b>	
株式会社コンステック（現在：技術本部 構造ソリューション部 技術企画室 室長、当時技術本部 調査技術部 部長 佐藤大輔）	
芝浦工業大学（建築学部 建築学科 建築材料・施工研究室 教授 濱崎 仁）	
芝浦工業大学（デザイン工学部 リサイクルデザイン研究室 教授 田邊匡生）	
東北大学大学院（工学研究科 都市・建築学専攻 ライフサイクル工学研究室 准教授 西脇智哉）	
<b>(5) 取得した特許及び発表した論文等</b>	
特許取得について	
・出願準備中（仮）サブテラヘルツ波によるコンクリート中の鉄筋腐食度の非破壊・非接触評価技術（現在取得に向けて取りまとめ中）	
発表した論文	
1. 令和4年9月 日本建築学会大会（口頭発表：芝浦工業大学大学院建築学専攻正島宗哉）	
タイトル：サブテラヘルツ波によるコンクリート内部の鉄筋腐食の非破壊・非接触型推定手法に関する研究その1 含水率、塩化物イオン量、鋼板の腐食による影響についての評価	
2. 令和5年7月 コンクリート工学年次大会（有審査論文：芝浦工業大学大学院建築学専攻正島宗哉）	
タイトル：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	
3. 令和5年9月 日本建築学会大会（口頭発表：芝浦工業大学大学院建築学専攻正島宗哉）	
タイトル：サブテラヘルツ波によるコンクリート内部の鉄筋腐食の非破壊・非接触型評価手法に関する研究その2：内部鉄筋の可視化および腐食状況の評価手法の検討	
4. 令和6年6月 実験力学（有審査論文：芝浦工業大学建築学部教授濱崎仁）	
タイトル：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・非接触型評価手法に関する研究	
5. 令和6年8月 日本建築学会大会（口頭発表予定：鹿島建設東京建築支店正島宗哉）	
タイトル：サブテラヘルツ波によるコンクリート内部の鉄筋腐食の非破壊・非接触型評価手法に関する研究その3：内部鉄筋の可視化および腐食状況の評価手法の提案	

## 2. 評価結果の概要

### (1) 本技術開発等のアウトプット、アウトカム

#### 【アウトプット】

テラヘルツセンサによるコンクリート内部の腐食評価装置の開発  
開発装置の小型化による現場実装化

#### 【アウトカム】

建物調査の作業人数・作業時間の50%程度の削減、精度の向上

・鉄筋腐食度調査の場合、試験技術者（電磁波レーダ、観察・記録など含む）2人、はつり1人、復旧（左官など）1人、測定箇所数最大10か所程度（合計4人/日）

※ そのほか仕上げ復旧1人およびコンクリートの産廃が必要となる。

・本技術の場合、試験技術者（本技術、記録など含む）1～2名、評価は別途実施として15か所程度（装置の小型化・可搬性の向上によって測定箇所数は増）（合計1～2人/日）、データ評価0.5人/日

※ 非破壊非接触で測定のため仕上げ復旧などの工事が不要

予防保全体系の構築：大規模修繕前等の調査の実施率の向上、維持保全費用の低減

### (2) 技術開発等の必要性

住宅・建築物の長期活用のためには、コンクリート中の鉄筋の腐食やその他の変状を早期にかつ非接触で評価する技術が必要であり、住宅・建築物の維持保全の効率化・生産性向上のために必要不可欠である。

### (3) 技術開発等の先導性・効率性

本技術開発は、集合住宅を初めとしたRC造建築物の調査・診断において、コンクリート中の鉄筋腐食度を非破壊・非接触的に定量評価することを可能としたものである。従来の技術では、局部的な破壊を伴うことや劣化が顕在化した後でしか評価ができなかった鉄筋腐食度の評価が、非破壊で比較的初期から評価できることになる先導的な技術である。

この技術を大規模修繕時の躯体の健全性調査等に活用することにより、はつり等の躯体の破壊を伴わず、初期の段階の劣化状況の把握が可能となるため、早期の対応が可能となり、集合住宅やインフラ構造物の予防保全型の効率的な維持保全が可能となる。

### (4) 技術開発等の完成度、目標達成度

・技術開発項目毎の完成度、目標達成度とその根拠・課題

- 1) サブテラヘルツ波と電磁波レーダの同時計測のための装置開発 達成度 95%  
→ 鉄筋腐食度を定量的に評価可能な装置開発ができており、これらの成果を広く公表している。
- 2) コンクリート中の劣化因子の浸透状況、鉄筋腐食状況の評価技術 達成度 70%  
→ 劣化因子がサブテラヘルツ波の反射特性に影響を及ぼすことは明らかとなったが、定量評価までは至っておらず、今後定量評価に向けた検討を行う。
- 3) コンクリート表面への析出物（さび汁）による腐食要因・環境の評価技術 達成度 70%  
→ 腐食生成物による反射波の強度・スペクトルの相違については明らかとなったが、2)と同様に今後定量評価に向けた検討を行う。
- 4) 機械学習（AI）等を適用した調査結果の精度向上・最適化技術 達成度 80%  
→ 1)の成果を得るための最適周波数の選定のために機械学習等を実施した。今後適用範囲の拡大や精度向上のために、機械学習を用いた検討を行う。
- 5) 装置の改良・小型化 達成度 90%  
→ 1)で開発した装置について現場適用可能な可搬型の装置とすることが可能となっており、今後筐体の設計を含めた製品化の検討を行う。

・全体の完成度、目標達成度 応募時の目標に対して 達成度 85%

上記1)～5)の技術開発項目ごとの達成度を勘案した。今後は適用範囲の拡大と精度向上に努めたい。

## (5) 市場化の状況

鉄筋コンクリート造建築物・構造物では、鉄筋腐食度調査は数多く実施されており、効率良く測定可能な本技術の需要は大きいと考えている。市場化のためには、開発した要素技術のブラッシュアップと、装置の安定供給することが課題となる。要素技術のブラッシュアップについては、評価可能深さ（かぶり厚さ）の拡大と鉄筋腐食度の推定精度の向上が課題である。今後、測定系の見直し、検出器の感度の向上等により適用範囲の拡大を検討し、機械学習の適用等による腐食度の推定精度の向上を図る。

装置の安定供給については、これまでロシア製のセンサ等を使用していたことから、デバイスの安定的な確保に課題があるが、代替可能なデバイスおよびその調達方法についても検討する。これらの検討を含め、装置のさらなる小型化、専用の筐体設計等を行う。

## (6) 技術開発等に関する結果

### ・成功点

サブテラヘルツ波の鉄筋差分反射強度（鉄筋位置とコンクリート位置での反射強度の差）を用い、測定周波数の最適化を行うことにより、かぶり厚さ 50mm 程度までの鉄筋（丸鋼・異形鉄筋）の腐食度を定量的に評価できる技術を開発した。非接触による鉄筋腐食度評価技術（特に定量的評価）は、従来にない新しい技術である。

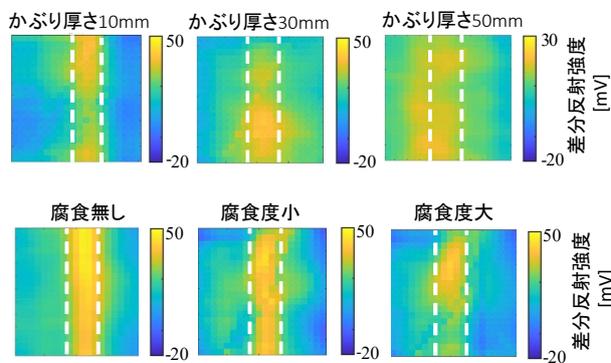


図 1 鉄筋差分反射強度による評価

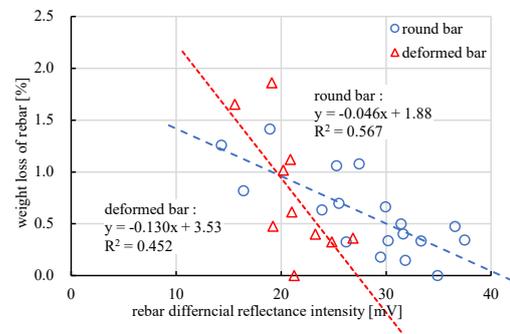


図 2 鉄筋差分反射強度と質量減少率の関係

鉄筋位置（白破線間）からの反射強度が高くなることにより、鉄筋位置の判断が可能

鉄筋腐食の進行により鉄筋位置からの反射強度が小さくなることから、反射強度と腐食度の関係を定量化

### ・残された課題

要素技術については、現在かぶり厚さ 30～50mm 程度までの探査可能深さ（図 1 参照）について、異形鉄筋でも深さ 50mm 以上を明瞭に評価できるようにしたい。そのために測定周波数最適化、測定系の見直し等を行う。また、鉄筋腐食度の推定精度を向上させるため（図 2 参照）、更なるデータの追加、機械学習の適用等を行う。

製品化のための課題については、デバイスの安定供給のための代替デバイスの検討、装置の外皮部分の設計製造等を行う。また、現時点では柱・壁等の垂直部材近傍に設置し、レール等水平に移動させて測定することを想定しているが、今後調査位置と連動させた自動評価、手の届かない位置を測定するロボット搭載など、測定効率の向上、測定範囲の拡大のための検討を行う。

## 3. 対応方針

### (1) 今後の見通し

市場化までは、本 PJ の実施者による実構造物へ適用による適用実績を積み上げること、関連学協会における学術・普及活動等が重要であると考えている。現在、日本非破壊検査協会「電磁波レーダ研究会」、日本コンクリート工学会「コンクリート分野における電磁波の高度利用に関する研究委員会」等において、学術的な高度化・普及活動等を行っている。

また、本開発装置により、遠隔的・自動的に建築物に対する測定・評価を行うため、自走式のロボット等と組み合わせたシステム構築を行っている。