

# 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

ライフサイクル工学分野  
小林知大

サブテラヘルツ波    カメラ                    非破壊検査  
内部探査                ひび割れ                    鉄筋

## 1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物など社会資本の急速な老朽化に伴い、適切な調査・診断と維持管理の重要性が指摘されている。鉄筋コンクリート構造物を対象とした非破壊・微破壊試験方法は数多く提案されているものの、非接触・遠隔の非破壊検査手法は未だ十分に整備されていない。特に、仕上げ材の裏側にあるひび割れや、かぶりコンクリートの奥にある鉄筋の状態を非接触で得るための試験方法は確立されていない。

本研究で使用するサブテラヘルツ波とは、周波数が約0.03~0.3 THz、波長では1~10 mm (真空中) であり、コンクリートや仕上げ材を透過可能な特徴を持つことから内部欠陥や含水率の影響を観測する研究が行われている<sup>1), 2), 3)</sup>。この一方で、測定時間の長さや測定系が大型であることから、広範囲のモニタリングや持ち運びに課題があった。

そこで本研究では、測定系を小型化可能で、リアルタイムでのモニタリングが可能なサブテラヘルツカメラを利用した鉄筋コンクリート内部の可視化手法を提案する。ひび割れや鉄筋を模擬した試験体を対象とした実験室レベルでの基礎的検討および将来的な実用化を見据え、実環境に近い形で運用を行った結果について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1. 測定系の構築

本研究で使用する測定系の概要を図1に示す。実構造物への適用を見据え、発信側と受信側を集約可能であること

から透過波ではなく反射波による測定を採用した。また、サブテラヘルツカメラと呼ばれる256個の受信素子を平面的に配置した装置を使用した面的な測定により、広範囲の測定とリアルタイムでのモニタリングを試みた。

### 2.2. 測定概要

本研究では、カメラによる測定精度を確認する基礎試験と、広範囲を対象とした走査試験を行った。基礎実験では、埋設鉄筋を模擬し、試験体裏面にアルミテープを貼り付けた試験体、ひび割れを模擬したスリットを導入した試験体について測定した。走査試験では試験体サイズを大きくし、測定装置自身を動かしながら測定することで広範囲の走査性能を確認した。また、光源には18~52 GHzまで発振可能なGUNNダイオードを使用した。

### 2.3. 試験体作製

試験体概要を図2に示す。基礎試験用試験体は幅・高さ100 mmのコンクリート板を作製し、走査試験用試験体は幅・高さ100 mm、長さ400 mmの梁型試験体内部に複数の鉄筋またはスリットを配置し測定を行った。水セメント比は55%とし、スランプは14 cm、空気量は4.9%であった。

## 3. 結果と考察

### 3.1. 裏面金属の測定

裏面にアルミテープを貼ったコンクリート試験体について、測定結果を図3に示す。試験体厚さ20 cmまでは点線の位置に存在するアルミテープを検出可能で、周波数が高いほどアルミテープの縁を明瞭に確認できた。

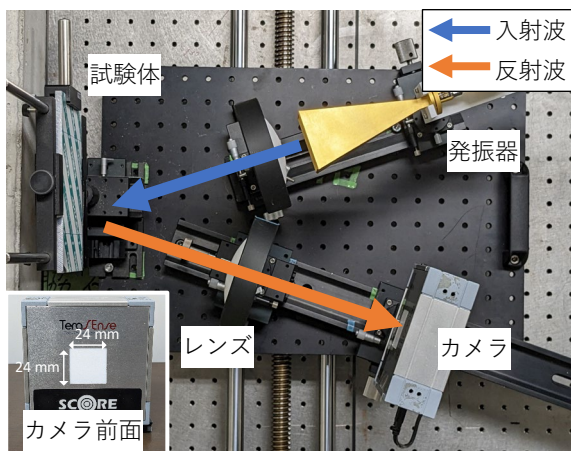


図1 測定系概要

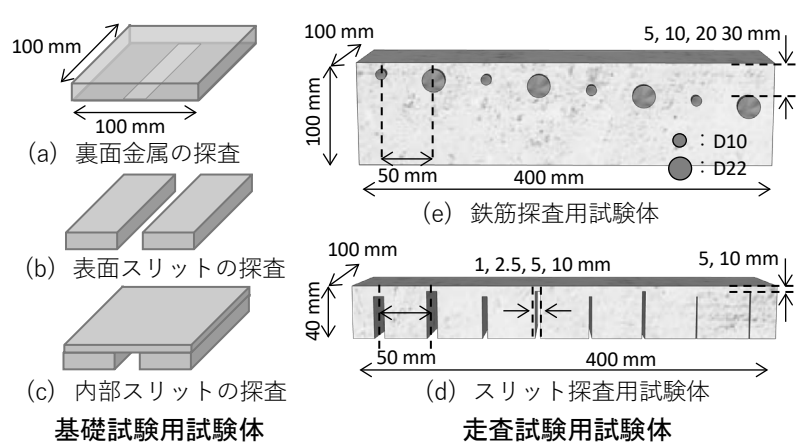


図2 試験体概要

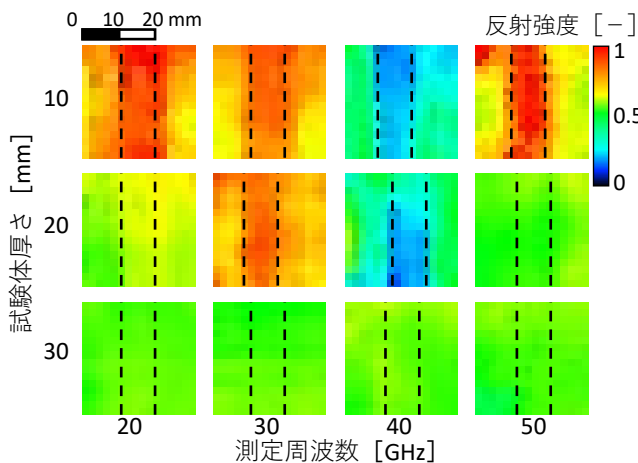


図3 裏面金属の検出

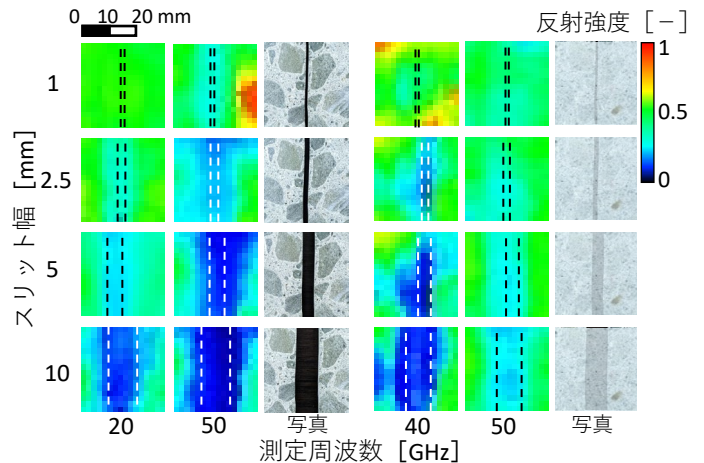
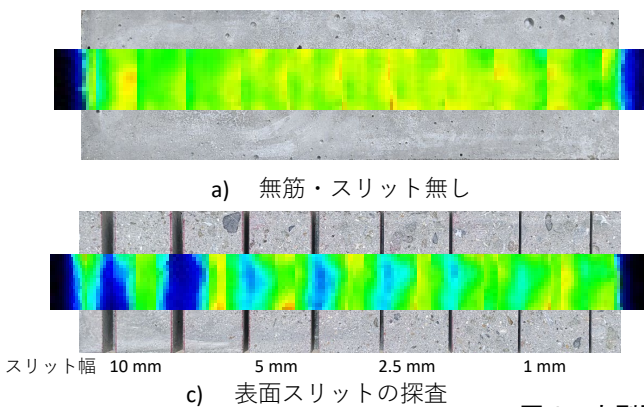
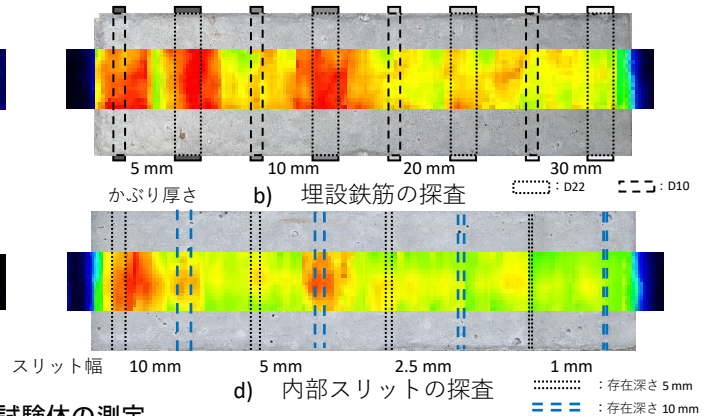


図4 表面のスリットの検出 図5 内部スリットの検出



a) 無筋・スリット無し

c) 表面スリットの探査



b) 埋設鉄筋の探査

d) 内部スリットの探査

図6 大型試験体の測定

### 3.2. 表面スリットの測定

スリット幅を変化させたときの測定結果を図4に示す。スリット幅が大きいほど中央の反射率の低い範囲が広がることが、いずれの周波数でも確認できた。スリット幅が1 mm の場合は50 GHz でのみ反射率の低下を確認できた。

### 3.3. 内部スリットの測定

仕上げ材を模擬した厚さ5 mm のモルタルでスリットを隠した状態で、スリット幅を変化させた場合の結果を図5に示す。表面のスリットよりも反応が弱くなったが、スリット幅2.5 mm まで検出可能であった。

### 3.4. 走査性能試験

走査性能試験の結果を図6に示す。比較対象として鉄筋もスリットも含まない試験体を測定したところ反射強度はほぼ一様であることを確認した。

埋設鉄筋の走査では、アルミテープと比較して影響範囲が広がっているが、50GHz で、かぶり厚さ5 mm ではD10 とD22 どちらも反射強度の増加を確認できた。かぶり厚さ10 mm ではD22 のみを確認できた。

表面に存在するスリットの走査では、50 GHz において2.5 mm 幅のスリットまで検出可能で、さらに、このスリットが深さ5 mm、10 mm に存在する状態では幅5 mm で深さ10 mm まで検出が可能であった。また、40 cm の距離を約20秒以内に走査可能であり、カメラを用いた測定系の小型化・軽量化により広範囲のリアルタイム測定が可能になった。

## 4. まとめ

サブテラヘルツカメラを用いてコンクリート表面あるいは内部の埋設鉄筋や欠陥を模擬した測定を実施した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 埋設鉄筋を模擬して試験体裏面に設置したアルミテープを試験体厚さ20 mm まで検出が可能であった。
- 2) ひび割れを模擬したスリットを有する試験体の測定では、1 mm 以上のスリット幅を検出可能であった。
- 3) 5 mm のモルタルでスリットを隠した状態での測定でも2.5 mm までのスリットを検出可能であった。
- 4) カメラを用いた測定系の小型化・軽量化による大幅な走査性能の向上を確認した。

### [参考文献]

- 1) Dash, J. et al.: Non-Destructive Inspection of Internal Defects in Concrete Using Continuous Wave 2D Terahertz Imaging System, 2013 38th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Sep. 2013.
- 2) Tanabe, T et al.: Non-Contact Terahertz Inspection of Water Content in Concrete of Infrastructure Buildings, World J. Eng. Tech., Vol. 6, No. 2, pp. 275-281, May 2018.
- 3) 原星海、清水耕史、西脇智哉、田中章夫：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、Vol. 44, No.1, pp. 1408-1413, 2022.