

# テラヘルツ方式によるエクストラドーズド橋の健全性診断に関する研究

東北大学大学院工学研究科 教授 小山 裕

## 概要：

小型かつ室温で動作するサブテラヘルツ光源を用いた反射イメージングシステムを構築し、不透明被覆材内部の金属素線表面の可視化を試みた。その結果、安全かつ非破壊的に明瞭な金属素線表面像が得られ、さらに素線の断線状態を定量的に検出する事に成功した。今回得られた成果は、エクストラドーズド橋に代表される橋梁の健全性診断に非常に有用なものである。

キーワード：テラヘルツ波、非破壊検査、エクストラドーズド橋 (04-キーワード)

## 1. はじめに

テラヘルツ(THz)波とは、電波と光波の中間の周波数領域に存在し、周波数  $0.1 \sim 10 \text{ THz}$ 、波長では  $3 \text{ mm} \sim 30 \mu\text{m}$  の電磁波領域である。この電磁波領域はこれまで、他の領域と比べて発振器および検出器の開発が遅れており、未踏破電磁波領域と呼ばれていた。しかし、近年、双方の電磁波領域からのアプローチにより多種多様なテラヘルツ光源・検出器が開発されており、それによりテラヘルツ波を利用した基礎・応用研究が世界中で活発に行われている。

一般に、テラヘルツ波の特徴として、金属に対する高い反射性、そして、非金属、無極性物質に対する高い透過性という電波と光波の特徴をあわせ持っている。①の金属表面の状態の違いにより大きく異なる反射特性を得ることが出来る。さらに、ポリマーなどの絶縁体を透過することが出来る。電磁波のエネルギーとして、およそ数  $\text{meV} \sim$  数十  $\text{meV}$  であり、これは室温と同程度のエネルギーに相当する。これは、X線のエネルギーと比較して 100 万分の 1 と非常に小さく、人体や物質に対して安全な電磁波であるといえる。

以上の特徴から、テラヘルツ波は、医学、薬学、環境、そして通信など幅広い分野における応用が研究されている。

特に、本研究者は、上記のテラヘルツ波の特徴を十二分に生かした非破壊検査への応用に取り組んでいる。本研究課題では、エクストラドーズド橋等に使用されている不透明材料被覆内部の金属素線表面に対するテラヘルツ反射イメージング測定を行ない、安全かつ非破壊的

な建築構造物の健全性診断への応用可能性に焦点をあてる。

## 2. 不透明被覆金属素線の可視化

テラヘルツ波反射イメージング測定装置の概略を図-1に示す。テラヘルツ発振器としてインパット(IMPATT)ダイオード(発振周波数:  $0.14 \text{ THz}$ 、波長:  $2 \text{ mm}$ )を用い、検出器としてショットキーバリアダイオードを使用した。反射イメージング測定は、作製した不透明ポリマーで被覆された模擬支持ケーブルを一定角度( $1.8^\circ$  ずつ)で回転させ、まず、円周方向に対する反射強度を 1 周分測定する。次に、長手方向に一定距離 ( $0.1 \text{ mm}$ ) 移動させ、同様に円周方向の測定を行なう。以上を繰り返し、2 次元のテラヘルツ反射得た。

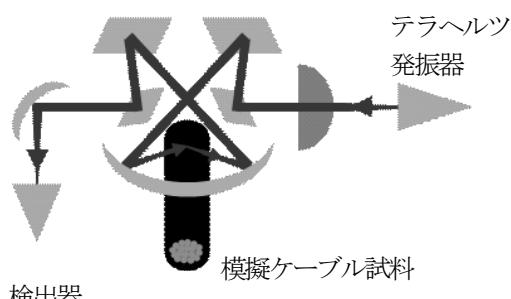


図-1 テラヘルツ反射イメージング測定光学系概略図

(21) 国際出願番号 PCT/JP2013/073322

不透明ポリマー被覆内部の素線試料についての反射イメージング測定結果を図-2 に示す。図には、円周方向に

12ヶ所の反射強度が高い(白色部分)が確認できる。この結果は不透明ポリマー被覆金属ケーブルの最表面にある12本の素線表面に対応している。

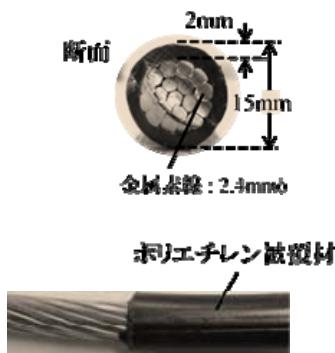


図-2 模擬支持ケーブル写真

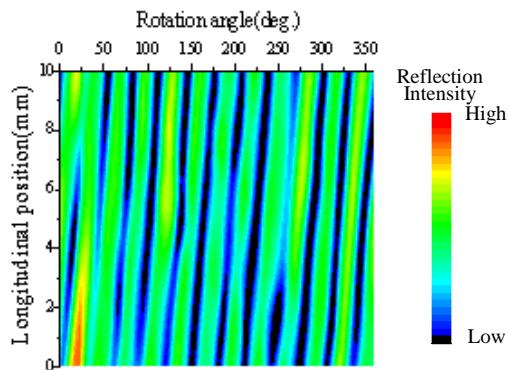


図-3 模擬ケーブル試料の反射イメージング測定結果

### 3. 被覆金属ケーブル内部断線状態の定量診断

ケーブルの破断の原因は、応力腐食割れによるものとされている。橋梁のケーブルは常に引っ張り応力が印加されている状態であり、腐食環境下では腐食部において応力集中が生じ、急速に破断に至るというメカニズムである。橋梁ケーブルの健全性診断では、全体の破断が起こる前兆である素線の異常を検知することが重要である。

そこで、模擬破断ケーブル供試体を作製し、図-1の装置を用いてテラヘルツ反射イメージング測定を行なった。

破断ケーブル試料は、最表面にある素線の1本を切り離し、ある一定の隙間を設けた疑似的な破断試料(断線間隔は1 mm, 1.5 mm および2 mm) 図-4に測定に用いた試料(断線間隔 0.0 mm および3.0 mm)の写真を示す。

図-5に各種の隙間を設けた断線試料に対するテラヘルツ反射イメージング測定結果を示す。(測定条件は上記と同条件) 図中の破線で示した部分が模擬破断部分である。破断間隔が1 mmでは、正常な素線との差は見られないが、1.5 mmでは反射強度が減少しており、さらに間隔2 mmでは明瞭に破断の様子が可視化できていることが確

認出来る。測定に使用した発振器の周波数は 0.14 THz であり、波長に換算すると空気中では 2.1 mm である。さらに、被覆材料の屈折率を考慮すると波長はおよそ 1.5 mm 程度になると考えられることから、発振器の波長程度のサイズの断線状態を検知することが可能であることがいえる。

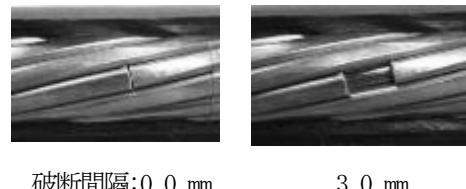


図-4 被覆破断試料写真

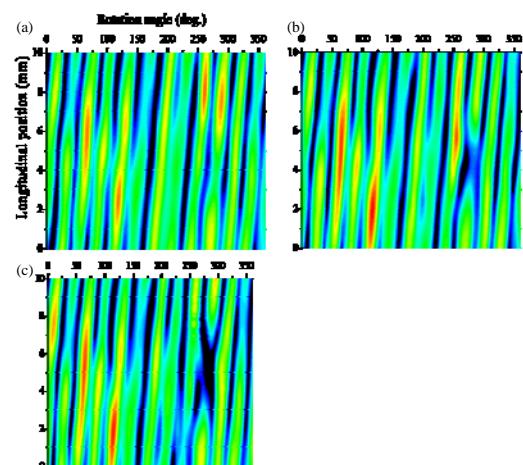


図-4 模擬破断ケーブル試料の反射イメージング測定結果.

破断面間隔: (a) 0.0 mm, (b) 1.5 mm, (c) 3.0 mm

### 4. 結論

テラヘルツ波が有する特徴を活かした安全かつ非破壊的な不透明ポリマー被覆金属ケーブル内部の素線および断線状態の可視化に成功した。この成果はエクストラドーズド橋に用いられる不透明被覆金属ケーブルの健全性評価に有用なものである。

### 謝辞

本研究課題遂行に当たり、光学系の設計および測定上で有益なご助言を頂いた、東北大学多元物質科学研究所 田邊匡夫准教授、東北大学大学院工学研究科 濱野知行技術補佐員、中嶋かおり技術補佐員に感謝申し上げます。