

## 平成 25 年度研究開発成果概要書

課題名 : 電磁波を用いた建造物非破壊センシング技術の研究開発  
採択番号 : 165 ア 01  
個別課題名 : 課題ア 建造物非破壊センサーの研究開発  
副題 : 建造物評価用 3 次元イメージングレーダ技術の開発

### (1) 研究開発の目的

在来工法による木造家屋の健全性評価には、強度部材である、柱、梁、筋交いなどの状態を正確に把握することが求められる。これらの部材は、壁面の（内壁もしくは外壁）内部にあるため目視等による検査は不可能である。コンクリート構造でよく利用される打音検査や超音波検査などの非破壊検査手法は、壁面と構造部材との間に空間が存在するため、適用できない。X 線を利用する手法は可能であるが装置が大型化し、また周囲への影響を考慮すると使用しにくい方法である。これに対して電波は空気層を含む建材を容易に透過することから、こうした目的に最も適していると考えられる。

電波を用いた非破壊検査装置として地中レーダ (GPR) 及びその応用機器が実用化されているが、これらはその主な対象が地中埋設物やコンクリート構造体であった。電波は媒質の電気的な性質によって伝搬、反射・散乱特性が大きく変化する。従って、木造家屋の健全性評価には、目的に適応した周波数を利用する新しい装置の開発が必要である。

一方、震災による建造物への被害調査を行う対象物を次の 3 つに区分する。

- A-1. 木造家屋、コンクリート建築物
- A-2. コンクリート構造物
- A-3. 地中埋設物

A-1 木造家屋、コンクリート建築物は本計画の最初の対象であり、また従来 GPR 技術がそれほど利用されていなかった分野である。A-2 コンクリート構造物は従来 GPR が使われてきた分野であるが、本研究で開発する 3 次元可視化システムにより、更に GPR の効率的な利用が期待できる。A-3 地中埋設物は、地震、津波により目視できない建造物の基礎部としての調査が不可避の対象である。また被災建造物の移築などでは、地盤健全性調査や埋設物調査が必要となる。

レーダ技術を媒質中の物体の可視化に利用する場合、媒質の電気的な性質と検知対象物の大きさ並びに電気的性質によって使用すべき周波数と計測手法が変わる。従来の GPR では電磁波の透過性を高めるため数百 MHz から 1GHz 程度の比較的低い周波数を用いているが、構造物の細かな欠陥を検知するには、分解能の観点からより高い周波数を利用して周波数帯域を広げる必要がある。計測対象と最適と思われる周波数を以下に示す。

- (木造家屋、コンクリート建築物) (5-15GHz)
  - 化粧板の下の木造、鉄骨構造などの検査
  - 土壁、土蔵
  - 高解像度 (薄い材料の評価)
- (コンクリート構造物) (1-5GHz)
  - 表面のタイルの剥離
  - コンクリートのひび割れ
  - 鉄筋の状態
- (地中埋設物) (100MHz-1GHz)
  - 構造物の基礎調査
  - 高台移転

これらに共通してハードウェア、ソフトウェアとして開発すべき要素は

1. 広帯域化を一つのシステムで実現
2. 計測の容易化
3. 自動的な 3次元可視化
4. 構造物健全判断についての自動アドバイス

である、更に目的に応じた開発要素技術を次に掲げる。

(木造家屋、コンクリート建築物) (5-15GHz)  
装置の小型化、手動走査  
小型手動システムでの計測を連続的に 3次元イメージング  
CCD カメラなどによる追跡と小型レーダセンサ  
GB-SAR, バイスタティック手法

(コンクリート構造物) (1-5GHz)  
装置の小型化、手動走査  
小型手動システムでの計測を連続的に 3次元イメージング  
CCD カメラなどによる追跡と小型レーダセンサ  
GB-SAR, バイスタティック手法

(地中埋設物) (100MHz-1GHz)  
・手法  
アレイ GPR 導入  
不整地での利用：ナビゲーションとの併用  
放送波を利用したバイスタティック

これに対応するレーダ装置として本研究では次の 4 種類のシステムを開発する。このうち、アレイ型 GPR と 3DGPR は 2 年以内での実用化を目指し、GB-SAR とバイスタティックレーダは 2 年間で実用化への見通しをつける課題とする。

## (2) 研究開発期間

平成 24 年度から平成 25 年度 (2 年間)

(3) 委託先

三井造船（株）＜代表研究者＞、国立大学法人東北大学

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 175 百万円（平成 25 年度 94 百万円）  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題ア-1：アレイ型 GPR の開発

1. アレイ型 GPR の設計（三井造船（株））
2. アレイ型 GPR の試作（三井造船（株））
3. 試作機のテスト（三井造船（株））
4. アレイ型 GPR の評価（国立大学法人東北大学）
5. 3次元イメージングアルゴリズム開発（国立大学法人東北大学）

課題ア-2：GB-SAR の開発

1. 既存 GB-SAR 装置による検討（国立大学法人東北大学）

課題ア-3：高精度位置追尾装置を持つ GPR（3DGPR）の開発

1. 既存 3DGPR 装置による検討（国立大学法人東北大学）

課題ア-4：バイスタティック型 GPR の開発

1. 既存バイスタティックレーダ装置による検討（国立大学法人東北大学）

(6) これまで得られた研究開発成果

|      |         | (累計) 件 | (当該年度) 件 |
|------|---------|--------|----------|
| 特許出願 | 国内出願    | 1      | 1        |
|      | 外国出願    |        |          |
| 外部発表 | 研究論文    | 2      | 1        |
|      | その他研究発表 | 18     | 17       |
|      | プレスリリース |        |          |
|      | 展示会     | 5      | 4        |
|      | 標準化提案   |        |          |

(7) 具体的な成果実施内容と成果

課題ア-1：アレイ型 GPR の開発

1. アレイ型 GPR の設計、試作、テスト（三井造船（株））

（目標）アレイ型 GPR 試作機の製作

木造建築物非破壊検査に使用可能な、イメージングレーダの概要に関して検討を行い、当面解決すべき課題として、10GHz 帯域で使用可能な広帯域アンテナと高速動作が可能な SP32T スイッチの開発があげられた。平成 24、25 年度においては主にこの 2 つの項目に関して開発を行い。その結果以下に示す仕様を有するアレイ型 GPR の試作機を作成することができた。なお完成した試作機を用いて壁モデル等を用いた動作確認テストを行い、石膏ボードを透過して木材や金属を映像化することが可能であることを確認した。

レーダ方式；ステップ周波数型マルチパスリニアアレイレーダ

使用周波数；10～20GHz  
アンテナ素子数；送信 32 受信 32  
概略寸法(mm)；510(W)×380(D)×150(H)  
検査幅；約 500mm  
出力表示；3次元画像出力、断面表示モード (Bモード)

(成果)

図1に完成した試作機の外観を、図2に試作機の実出力例（石膏ボード裏面8cmの距離に置いた木材 材質 檜 幅；9cm、長さ；32cmの画像）を示す。図2から試作機を用いて石膏ボードを透過して木材を3次元映像化できることを確認した。



図1 試作機外観 (GPR 本体)

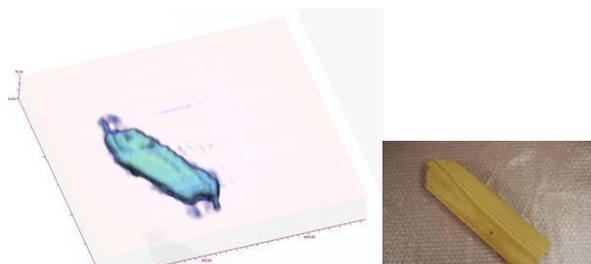


図2 3次元出力例 (木材)

## 2. アレイ型 GPR の評価 (国立大学法人東北大学)

アレイ型 GPR を高度に利用するためのハードウェアとしての校正、ならびに信号処理に関する研究を実施した。本年度、本プロジェクトによるハードウェアは完成していなかったため、三井造船が製作した低周波型のアレイ型 GPR を利用して研究を行った。計測したデータは送受信位置の異なる複数のアンテナ間で計測するため、反射点を共通に持ちながらアンテナ間隔を変えて計測する CMP 計測が、一度の計測で実現できる。この性質を利用して、計測媒質の誘電率を推定するアルゴリズムを開発した。

## 3. 3次元イメージングアルゴリズム開発 (国立大学法人東北大学)

アレイ型 GPR を高度に利用するためのハードウェアとしての構成、ならびに信号処理に関する研究を実施した。本年度、本プロジェクトによるハードウェアは完成していなかったため、三井造船が製作した低周波型のアレイ型 GPR を利用して研究を行った。一度に複数の送受信アンテナを利用することで、マルチスタック型レーダのイメージングアルゴリズムを開発した。送受信1対の従来型に対する計測は、単に計測範囲が広がるだけでなく、より精密なイメージングが可能なことを実証した。