

全偏波 X バンド航空機 SAR 画像を用いた橋梁津波被害の把握

千葉大学 大学院工学研究院 正会員 ○山崎 文雄
 (財)リモートセンシング技術センター 非会員 平野 晴也
 千葉大学 大学院工学研究院 正会員 リュウ・ウエン

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震による津波によって、多数の橋梁が被害を受けた^{1,2)}。近年、発生が危惧されている首都直下地震や南海トラフ地震の際にも、交通インフラの被害が懸念される。災害直後、早急に橋梁の被害を把握することは迅速な緊急対応につながる。航空機搭載合成開口レーダ(SAR)は発災直後に、被災地の緊急観測が可能である一方、災害前後で同じ観測条件のデータが存在しない可能性が高く、災害前後での比較が難しい。そこで、災害後 1 時期の航空機 SAR 画像から橋梁被害を把握することが重要となる。本研究では全偏波航空機 SAR (Pi-SAR-X2) 画像を用いて、津波による被害を受けた橋梁を対象に、災害後 1 時期の航空機 SAR 画像から橋梁津波被害の把握を試みる。まず、SAR 画像における被害のない橋梁の後方散乱特性を把握し、それをもとに 2011 年東北地方太平洋沖地震後の 1 時期 SAR 画像から津波による橋梁被害の目視判読を行った。

2. 解析方法

本研究では橋梁の後方散乱特性を検討するため、4 成分散乱電力分解を用いて全偏波 SAR 画像を 4 種類の散乱成分に分解した。4 成分散乱電力分解³⁾とは、対象物でのマイクロ波の散乱現象を表面散乱 (Ps)、体積散乱 (Pv)、2 回反射散乱 (Pd)、ヘリックス散乱 (Pc) の 4 成分の散乱電力に分解することで、単偏波よりも詳細に散乱メカニズムを識別できる方法である。また、マイクロ波と橋軸方向の間の角度を照射角 φ と定義する。

3. 桁橋の後方散乱特性

まず平時の橋梁の後方散乱特性を調べるため、2 時期の全偏波航空機 SAR 画像を用いて、橋梁輪郭内の 4 成分の散乱電力の平均値から散乱電力の割合 (式(1)) を算出した。

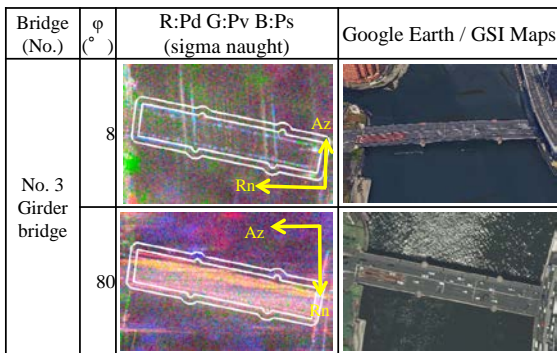


図-1 無被害の桁橋における後方散乱

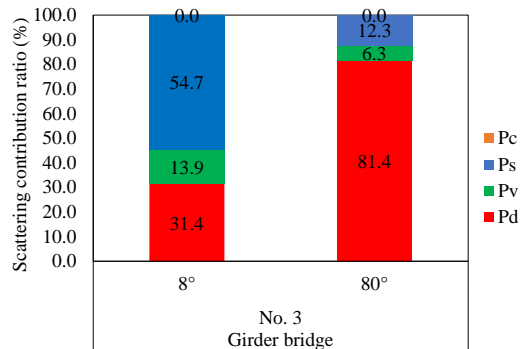


図-2 無被害の桁橋における散乱電力の割合

$$\text{散乱電力の割合} = \frac{\text{Pd or Pv or Ps or Pc}}{\text{Total Power}} \quad (1)$$

単純な構造形式である桁橋の場合について、図-1 に航空機 SAR 画像を、図-2 に散乱電力の割合を示す。

SAR 画像は Pd を赤、Pv を緑、Ps は青に割り当てて表示している。照射角 φ が 8° の時には橋梁の側面で主に表面散乱が起きていることがわかる。一方で照射角 φ が 90° の時には 2 回反射散乱が強いことがわかる。また、図-2 をみると照射角 φ が 0° に近いほど表面散乱の割合が高く、90° に近いほど 2 回反射散乱の割合が高くなることがわかる。

4. 橋梁津波被害の目視判読

2011 年東北地方太平洋沖地震による津波によって被害を受けた地域から、国総研資料^{1,2)}をもとに、津波による被害を受けた 15 橋梁を選定した。上部構造または下部構造の流出した橋梁が 8 橋梁、瓦礫の堆積や高欄の変形など、流出以外の被害を受けた橋梁が 7 橋梁である。なお、対象橋梁の多くは桁橋と同様の構造形式である。全偏波航空機 SAR 画像を 4 成分散乱電力分解し、国総研資料^{1,2)}および災害前後の光学画像をもとに、散乱電力のカラー合成画像から橋梁の津波被害を目視判読の検討を行う。

報告された被害のうち、代表的な津波被害を受けた 5 橋梁を図-3 に示す。No. 59 は高欄が変形した橋梁である。高欄の部分では表面散乱が起きている箇所と体積散乱が起きている箇所があり、同一線上で後方散乱が一定でない。これが高欄の変形を示しているかは不明だが、床版上で 2 回反射散乱が生じていることから、SAR 画像から橋梁に瓦礫が堆積しているものと判断できる。

No. 61 は上下部構造が流出した。この場合には、後方散乱がなく水面と同じ散乱現象 (鏡面反射) となるため、あらか

はじめ橋梁の存在がわかる場合、災害後1時期のSAR画像から被害判読が可能といえる。

No.96は損傷が確認されていない。床版上に体積散乱や表面散乱が生じていることから、瓦礫が堆積していることを明確に確認できるため、被害判読可能といえる。

No.103は全上部構造が流出し、橋脚が損傷した。上部構造が流出し橋脚のみが残り、橋脚部分で2回反射散乱と体積散乱が確認できる。橋脚が確認できることから全上部構造が流出したことがわかるため、災害後1時期のSAR画像から被害判読が可能といえる。しかし、SAR画像からも光学画像からも橋脚の損傷を確認することは難しい。Pi-SAR-X2の画像は最高30cmの解像度であるため、橋脚の損傷が解像度よりも大きくなければ確認することができない。また、マイクロ波の照射方向や橋脚の損傷位置によるため、橋脚の損傷を確認することは困難だといえる。

No.159は中央径間および橋台背面土が流出した。橋梁の輪郭が中央部分で途切れていることがわかるため、橋梁の一部が流出したことが判読できる。しかし、このSAR画像からは橋台を確認することができないため、橋台背面土が流出したかは不明である。

対象とした15橋梁の目視判読結果を表-1に示す。災害後1時期の航空機SAR画像から橋梁の状況を明確に判読できれば○、判読できなければ×、どちらともいえない場合は△を示す。事前に橋梁の位置情報がわかっている場合、陸橋や周辺に建物がある場合など、SAR画像上で橋梁の輪郭を明確に確認できない場合は、橋梁の状況を確認できないため、災害後1時期のSAR画像から被害を目視判読することは難しいといえる。

5. まとめ

本研究では、災害後1時期のSAR画像から橋梁の津波被害を把握するための第一段階として、全偏波航空機SAR画像を用いて、4成分散乱電力分解を行い、平時における橋梁の後方散乱特性を検討した後に、東北地方太平洋沖地震による津波によって被害を受けた橋梁を対象に、橋梁津波被害の目視判読を試みた。

平時における桁橋では照射角φが0°に近づくほど表面散乱の割合が高くなり、90°に近づくほど2回反射散乱の割合が高くなることがわかった。津波被害を受けた橋梁では、上部構造の一部または全上部構造の流出、上下部構造の流出、瓦礫の堆積は災害後1時期の全偏波航空機SAR画像から目視判読可能であることがわかった。

謝辞：Pi-SAR-X2画像は国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)に提供して頂きました。

参考文献

- 1) 玉越隆史, 横井芳輝, 川見周平: 2011年東北地方太平洋沖地震による津波と道路橋の被害との関係に関する分析, 国総研資料 第843号, 2015.
- 2) 国土技術政策総合研究所: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告, 国総研資料 第814号, 2014.

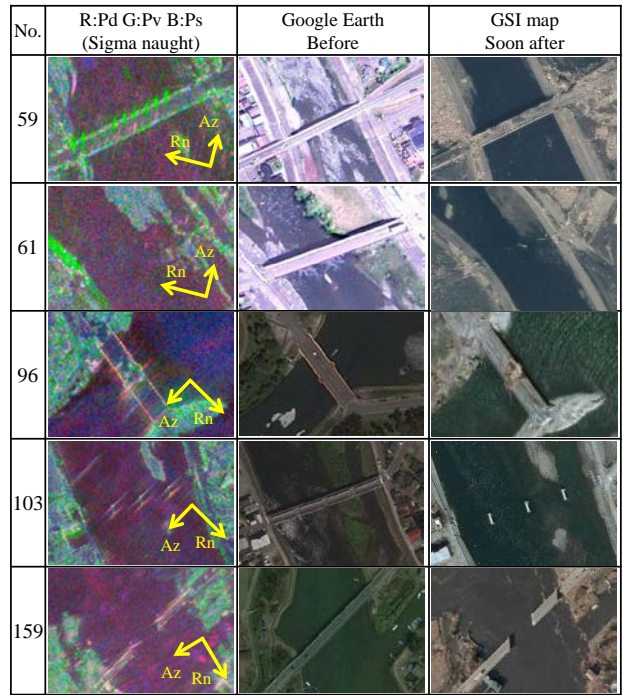


図-3 津波被害を受けた橋梁

表-1 対象15橋梁の目視判読結果

| No. ¹⁾ | 輪郭 | 橋脚 | 被害区分 ²⁾ | 判読結果 |
|-------------------|----|----|---------------------|------|
| 59 | ○ | × | 高欄の変形 | ○ |
| 60 | × | × | 未調査 | × |
| 61 | × | × | 上下部構造の流出 | ○ |
| 66 | △ | × | 未調査 | △ |
| 67 | △ | × | 未調査 | △ |
| 90 | × | ○ | 全上部構造の流出, 橋台背面土の流出 | ○ |
| 94 | ○ | × | 上部構造の一部流出 | ○ |
| 96 | ○ | × | 損傷確認されず | ○ |
| 101 | × | ○ | 全上部構造の流出, 橋台背面土の流出 | ○ |
| 103 | × | ○ | 全上部構造の流出, 橋脚の損傷 | ○ |
| 124 | ○ | × | 未調査 | ○ |
| 126 | × | × | 上下部構造の流出 | ○ |
| 127 | ○ | × | 未調査 | ○ |
| 128 | ○ | × | 上部構造の一部流出, 橋台背面土の流出 | ○ |
| 159 | ○ | × | 中央径間の流出, 橋台背面土の流出 | ○ |

- 3) Singh, G., Yamaguchi, Y., Park, S. : General four-component scattering power decomposition with unitary transformation of coherency matrix, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 51, No. 5, pp. 3014-3022, 2013.