

E 3 Radar Polarimetryによる建造物倒壊状況の把握について

鶴巻浩一 山口芳雄 山田寛喜
新潟大学工学部

1. まえがき

レーダを使ったりモートセンシングは、天候に依存しない、昼でも夜でもデータが取得できる、広い領域を同時にカバーできるなどの特徴を持っている。また、レーダでより多くの情報を取得するための技術としてポーラリメトリがある。これは電波のベクトルの性質である偏波を最大限利用する技術である。本稿では、偏波の利用の1つとして、災害により建造物が倒壊した場合、その前後でどのような偏波状態の変化があるか、その偏波状態の変化によって災害状況の把握ができないかを検討するため、ミニチュアモデルで倒壊状況をモデル化し測定を行い、得られた偏波情報を各種解析法を用いて検討を行った。

2. 偏波と散乱行列

偏波とは、一定の周波数を持つ電波の進行方向後ろ側から電界ベクトルの先端を観測した時、時間と共に描く軌跡の事であり一般に楕円形となる。物体に対しアンテナからある偏波を送信すると、受信される偏波は一般には送信波とは異なったものとなる。Jones vectorを用いて表現すると式(1)のようになる。この時 $[S]$ は 2×2 の複素行列であり散乱行列と呼ばれる、物体の偏波散乱情報を含んだものとなる。

$$\begin{bmatrix} E'_H \\ E'_V \end{bmatrix} = [S] \begin{bmatrix} E_H \\ E_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_H \\ E_V \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. 解析法

3.1 Polarimetric Entropy, α 、Anisotropy A

Polarimetric Entropyとはターゲットの散乱特性の複雑さを表す指標である。 $0 \leq H \leq 1$ の値を取り、散乱特性が複雑である程1に近い値を示す。 α とはターゲットの偏波依存性(ターゲットの傾き角により散乱特性が変化する性質)を示す指標であり $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の値をとる。Polarimetric Entropyは固有値の関数としては一意でないため固有値によるパラメータの一つであるAnisotropy Aを

$$A = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3} \quad (\lambda_2, \lambda_3: \text{Coherency matrixの固有値}) \quad (2)$$

と定義する。Polarimetric EntropyとAnisotropy Aによって散乱過程を以下の4つに分類ができる。

- ・(1-H)(1-A) 散乱過程が主に1つ
- ・H(1-A) 散乱過程がランダム
- ・HA 散乱過程が同じ割合の2つ
- ・(1-H)A 第1の散乱と第2の散乱が2:1

3.2 3成分分解法

散乱行列は式(3)に示す様に3つの基本的な散乱行列の和に分解することができる。3つの散乱行列は、奇数回反射による散乱(sphere)、偶数回反射による散乱(diplane)、直線偏波を円偏波に変える散乱(helix)を表す。これらの係数 K_s 、 K_d 、 K_h の大きさによりターゲットの分類が可能となる。

$$[S] = e^{j\phi} \{ e^{j\phi_s} K_s [S]_{sphere} + K_d [S]_{diplane} + K_h [S]_{helix} \} \quad (3)$$

3.3 3成分散乱モデルによる分解法

Coherency行列の要素はそれぞれHuynenパラメータで定義されており、次式の様に表される。

$$[T] = \begin{bmatrix} 2A_0 & C - jD & H + jG \\ C + jD & B + B_0 & E + jF \\ H - jG & E - jF & B - B_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

各パラメータと散乱行列との関係は次式で表される。

$$\begin{aligned} 2A_0 &= \frac{1}{2} |S_{HH} + S_{VV}|^2, \quad B_0 = \frac{1}{4} |S_{HH} - S_{VV}|^2 + |S_{HV}|^2 \\ B &= \frac{1}{4} |S_{HH} - S_{VV}|^2 - |S_{HV}|^2, \quad C = \frac{1}{2} (|S_{HH}|^2 - |S_{VV}|^2) \\ D &= \text{Im} (S_{HH} S_{VV}^*), \quad E = \text{Re} (S_{HH} S_{HV}^* - S_{HV} S_{VV}^*) \\ F &= \text{Im} (S_{HH} S_{HV}^* + S_{HV} S_{VV}^*), \quad G = \text{Im} (S_{HH} S_{HV}^* - S_{HV} S_{VV}^*) \\ H &= \text{Re} (S_{HH} S_{HV}^* + S_{HV} S_{VV}^*) \end{aligned} \quad (5)$$

これより、以下の様に散乱の寄与の割合を推定する。

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{2A_0}{\text{span}} \\ P_d &= \frac{B + B_0}{\text{span}} \\ P_v &= \frac{B - B_0}{\text{span}} \\ (\text{span} &= 2A_0 + (B + B_0) + (B - B_0)) \end{aligned} \quad (6)$$

この式の P_s 、 P_d 、 P_v の係数が表面散乱、二回反射、体積散乱の散乱寄与の割合となる。

4. 実験

電波暗室内において倒壊状況をモデル化し測定を行った。建造物モデルとして、実際の建造物の材質に近いと思われるコンクリートとレンガのブロックを使用した。これらのブロックを12個並べ、そこから任意に選んだブロックを実際に壊していき、倒壊状況をモデル化し測定を行った。

測定パラメータを表1に、またターゲットの状況を図1に示す。

表1 測定パラメータ

System	Network analyzer
Antenna	Rectangular horn
Polarization	HH,HV,VV
Frequency points	401
Sweep frequency	9.0-11.0 GHz
Scanning points	128
Scanning interval	1.0 cm
Antenna height	150 cm
Antenna angle	45 deg.



図1 ターゲットの状況

5. 解析及び考察

実験により得られたデータに対し、走査方向の分解能を上げるために合成開口処理を施し散乱行列を得た。図2、3にPolarimetric Entropy、 $\bar{\alpha}$ 、Anisotropy Aの解析結果を示す。Polarimetric Entropy、 $\bar{\alpha}$ の結果を見ると倒壊が進むにつれEntropyの値が1に近づいている。Polarimetric EntropyとAnisotropy Aの組み合わせによる分類結果を図4に示す(横軸は倒壊率)。この結果を見ると、倒壊が進むにつれ特に、H(1-A)の値が増えていることがわかる。以上のことにより、倒壊が進むにつれ散乱がよりランダムになっていくと考えられる。

3成分分解法による結果を図5に示す(横軸は倒壊率)。倒壊前には建造物と床とのdiplane成分が強く検出されていたものが、倒壊が進むにつれてdiplane成分が減少しsphere成分が増加していく。これは倒壊が進むにつれ、建造物と床との偶数回反射に代わって残骸からの奇数回反射が強くなったと考えられる。また3成分散乱モデルによる分解においても、倒壊前では体積散乱に比べ二回反射が強かったものが、倒壊が進むにつれ二回反射成分が減少し体積散乱が増加していくという結果が得られた。

6. まとめ

本稿ではミニチュアモデルを用いて実験を行い各種解析法(Polarimetric Entropy、 $\bar{\alpha}$ 、Anisotropy A、3成分分解法、3成分散乱モデルによる分解法)を

用いてその変化の傾向を示した。しかし、これらの結果は建造物のアンテナに対する角度が大きく関与する事が分かった。今後、この建造物の角度に対する検討、またより複雑な状況での実験と解析が必要となる。新たに得られた結果は当日発表する。なお、この研究の一部は文科省科研費によるものである。

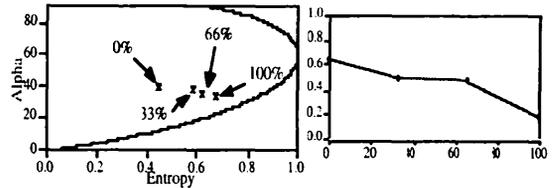
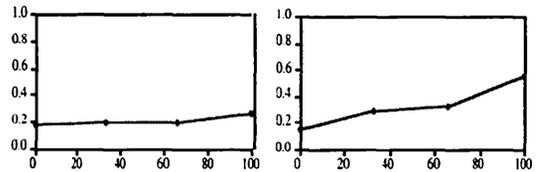


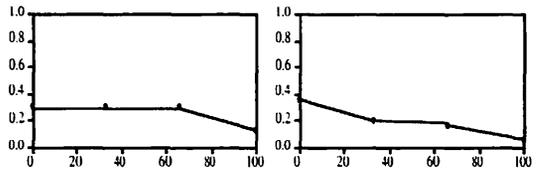
図2 Entropy-Alpha

図3 Anisotropy A



(a) (1-H)(1-A)

(b) H(1-A)



(c) HA

(d) (1-H)A

図3 EntropyとAnisotropy Aの組合せ

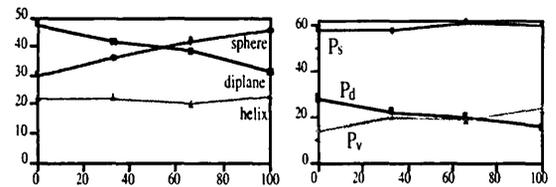


図4 3成分分解法

図5 3成分散乱モデル

参考文献

[1]W. -M. Boerner, E. Pottier, S. Cloude, "Extra-Wide-Band Polarimetry, Interferometry&Polarimetric Interferometry in Synthetic Aperture Remote Sensing," Proceeding of ISAP2000 Tutorial Workshop, Fukuoka, Japan, August 2000.
 [2]E. Krogager, Z. H. Czyz, "Properties of the sphere, diplane, helix decomposition," in Proc. 3rd Int. Workshop Radar polarimetry, Mar. 1995, vol. 1, pp. 106-114.
 [3]C. T. Schnaider, "Polarimetric analysis of RAMSES SAR image," Proc. of 4rd international workshop on radar polarimetry, pp. 366-375, July 1998.