

SAR 画像における橋梁把握の基礎的検討

13T0224F 澤可那子

指導教員：山崎文雄、リュウ・ウエン

1. はじめに

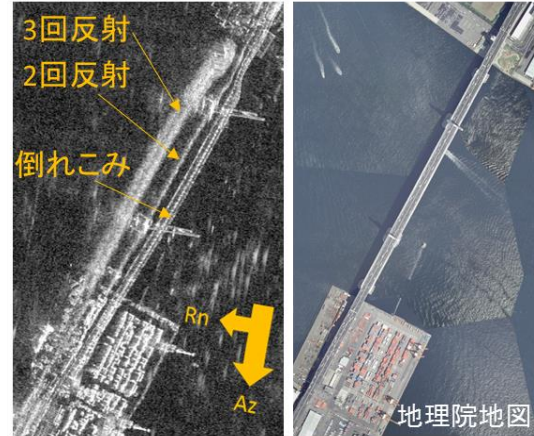
災害発生時、迅速に救助、救援活動を行うためには被災地における素早くかつ広域的な状況把握は欠かせない。現地調査は多大な時間を要し、また危険が伴うことから災害発生直後の情報収集手段としてはあまり適切ではない。そこで有用となるのがリモートセンシングである。リモートセンシングは遠隔的に広範囲の情報を一度に取得することが可能である。なかでも合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)は、マイクロ波を利用して観測を行うという性質から昼夜、天候の制約を受けず災害時の緊急対応に適する。したがって、災害前後の画像を比較する等、SAR 画像を用いた被災状況の把握に関する研究は既に多数行われている。しかし、そのような状況下で橋梁を対象とした研究が乏しい。近年、南海トラフ巨大地震発生が危惧されており、豪雨による水害も増加している。そうした災害においては橋梁における甚大な被害が予想される。

本研究では、高分解能 SAR 画像を用いた災害発生直後における橋梁被害把握を最終目的とし、平時において水面を横過する橋梁の SAR 画像上における投影特性の検討を行った。

2. 橋梁の投影モデル分析

Soergel らの研究によると、水面を横過する大規模な橋梁は橋軸とマイクロ波の照射方向(レンジ方向)のなす鋭角 θ が 90° のとき、倒れこみ、2回反射と3回反射の影響により3本の縞状に投影される。横浜ベイブリッジの SAR 画像と航空写真を図-1 に示す。マイクロ波の照射方向に近い(ニアレンジ)側から倒れこみ、2回反射、3回反射による投影が順にある。このような3本の縞状投影は前述の条件下において発生するとされているものである。角度が 90° ではない場合、マイクロ波の2回反射や3回反射の経路が変わることにより投影が異なったものになると考えられる。また橋梁が小規模のとき、倒れこみと2回反射や、倒れこみと3回反射が重なって投影される場合があることを幾何学的に明らかにした。これらの投影モデルを図-2 に示す。

以上の投影モデルを踏まえ、まずは規模の条件のみ満たす大きな橋梁の投影特性を検討し、つぎに規模と角度 θ どちらの条件も満たさない小規模な橋梁の投影特性を検討した。



(左) SAR 画像、(右) 航空写真

図-1 横浜ベイブリッジ

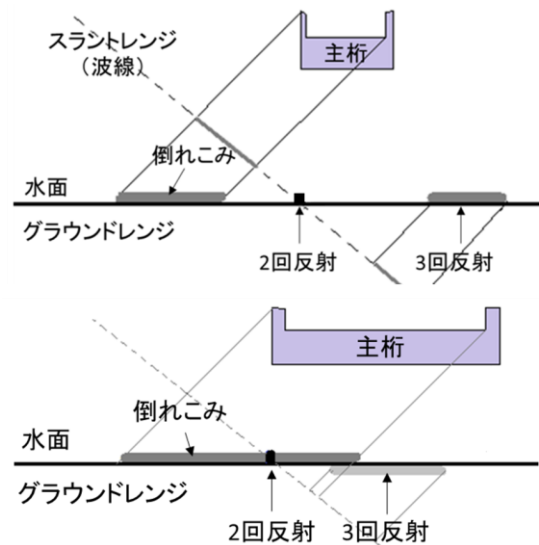


図-2 SAR 画像における橋梁の反射の投影モデル：(上) 大規模橋梁、(下) 小規模橋梁

3. 大規模橋梁における投影特性の検討

規模の条件を満たす東京ゲートブリッジ、レインボーブリッジ、鶴見つばさ橋、横浜ベイブリッジの4橋梁を対象に SAR 画像における投影を確認した。株式会社パスコより提供を受けた TerraSAR-X(TSX) 画像と情報通信研究機構より提供された Pi-SAR2 画像を用いた。結果は表-1 に示す。表中の2回と3回はそれぞれ2回反射、3回反射による縞状投影の有無を示している。△は橋梁構造の一部のみ確認できたものにつけている。表から θ の角度が 90° でなく

表-1 大規模橋梁の投影特性まとめ

θ [°]	橋梁	画像	縞	2回	3回
11	レインボー	TSX	1	×	×
38	鶴見つばさ	TSX	1	×	△
46	鶴見つばさ	Pi-SAR2	2	×	○
51~66	東京ゲート	TSX	2	△	△
64	鶴見つばさ	Pi-SAR2	5	○	○
67	レインボー	Pi-SAR2	3	○	○
71	横浜ベイ	TSX	3	○	○
77~88	東京ゲート	Pi-SAR2	3	○	△
79	横浜ベイ	Pi-SAR2	3	○	○
83	横浜ベイ	Pi-SAR2	4	○	○

ても約 65° 以上であれば3本の縞状投影が確認できることがわかった。また、東京ゲートブリッジはTSXとPi-SAR2のどちらの画像においても橋梁中央部で3回反射が消失し、確認できなかった。これは橋梁中央部のみ床版と桁が一体となる構造であり、橋梁底部が滑らかになっているためである。鶴見つばさ橋と横浜ベイブリッジにおいては縞が3本を超えて確認された画像があった。山崎, リュウ²⁾の研究では、SAR画像において投影が残像として別の部分にも映り込む ambiguity という現象が報告されている。このことから4本目、5本目の投影は ambiguity または水面、橋梁間での更なる多重反射の影響ではないかと考える。

4. 小規模橋梁における投影特性の検討

隅田川とその派川を横過する規模の条件が満たさない12橋梁を対象に、TSX画像を用いた投影条件の確認を行った。衛星の飛行方向(アジマス方向)が下降軌道(Des)と上昇軌道(Asc)の計2枚の画像を用いた。結果は表-2を示す。床版上における煩雑な投影が多く確認されたため、鏡面反射の有無と橋梁輪郭の捕捉の可否をまとめた。鏡面反射は床版上の後方散乱係数(σ^0)を水面と比較することで判断した。結果から θ が約15°以上で鏡面反射が確認できなくなっていることがわかった。これは一般的に床版上の構造物が橋軸に沿って設置されており、 θ が大きくなるにつれ構造物におけるコーナー反射、2回反射や3回反射が生じやすくなるためである。橋梁の輪郭を捉えられなかった要因は、2回反射や3回反射が重なったことだけでなく、複雑な路線構成をしていることやトラス等の上部工も影響している。そのため、角度 θ との有意な関係は確認できなかった。

5. まとめと今後の課題

災害発生直後の橋梁被害把握を最終目的に、まずはその足がかりとして高分解能 SAR 画像を用い

表-2 小規模橋梁の投影特性まとめ

θ [°]	橋梁	画像	σ^0 (dB)	反射	輪郭
1	両国橋	Des	-13.56	○	○
4	晴海橋	Asc	-12.67	○	○
5	永代橋	Des	-12.45	○	○
15	蔵前橋	Des	-8.88	×	○
16	晴海橋	Des	-12.67	○	○
17	隅田川大橋	Des	0.68	×	×
21	新大橋	Asc	-6.40	×	○
21	両国橋	Asc	-9.47	×	○
23	清洲橋	Des	-5.69	×	○
25	永代橋	Asc	-9.09	×	○
33	相生橋	Asc	-0.76	×	×
35	蔵前橋	Asc	-7.71	×	○
37	隅田川大橋	Asc	-2.14	×	×
38	佃大橋	Des	-2.51	×	○
41	新大橋	Des	-2.76	×	○
43	清洲橋	Asc	-5.41	×	○
44	勝鬨橋	Des	-1.67	×	○
53	相生橋	Des	-4.78	×	○
58	佃大橋	Asc	-7.55	×	×
64	勝鬨橋	Asc	-6.53	×	○
50~68	中央大橋	Des	0.94	×	×
70~88	中央大橋	Asc	-3.39	×	○
48~90	両国大橋	Des	-1.46	×	×
33~90	両国大橋	Asc	-2.99	×	×

て平時における橋梁の投影特性を検討した。

一般的に、大規模橋梁においては θ が約65°以上であれば3本の縞状に投影されることがわかった。しかし、橋梁構造によっては65°以上を満たしていても3本の縞状投影にならない場合がある。このことから、縞状の投影が途中で消失していたとしても必ずしも橋梁に被害があると言えない。

小規模橋梁においては3本の縞状投影は確認できなかった。また、 θ が約15°以上になると床版上に煩雑な投影が生じることがわかった。津波などにより床版上に堆積物が積みあがった場合、橋梁が落橋し真下に構造物が堆積した場合等においても複雑な後方散乱が発生し、煩雑な投影となることがわかっている。したがって、今後の課題としては平時における煩雑な投影か、被災したことによる煩雑な投影かを判別できる方法が必要と考える。

参考文献

- 1) U. Soergel, H. Gross, A. Thiele, U. Thoennessen: Extraction of bridges over water in multi-aspect high-resolution InSAR data, International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVI(3), 185-190, 2006.
- 2) F. Yamazaki, W. Liu: Urban change monitoring: Multi-temporal SAR images, Encyclopedia of Earthquake Engineering, DOI 10.1007/978-3-642-36197-5_227-1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014