Sentinel-1衛星による山口県上関大橋の段差事故のモニタリング

東京工業大学　松岡 昌志
テラフェーズ　大串 文誉

松岡昌志，大串文誉：
Sentinel-1衛星による山口県上関大橋の段差事故のモニタリング，地域安全学会梗概集，No.54, pp.211-212, 2024.5.

背景

2020年11月14日午後8時頃に山口県の上関大橋において，室津側の主桁端部が浮き上がったことで路面に段差が発生し，乗用車1台が衝突事故を引き起こした．1969年に完成したこの橋のように，高度経済成長期に建設されたインフラ施設は我が国に数多くあり，維持管理が課題になっている．老朽化だけでなく人口減少に伴う労働力の減少などにより，点検には多大なコストと労力がかかっており，管理者の負担になっている．

2020年11月山口県上関大橋での20cmの段差（NHK）

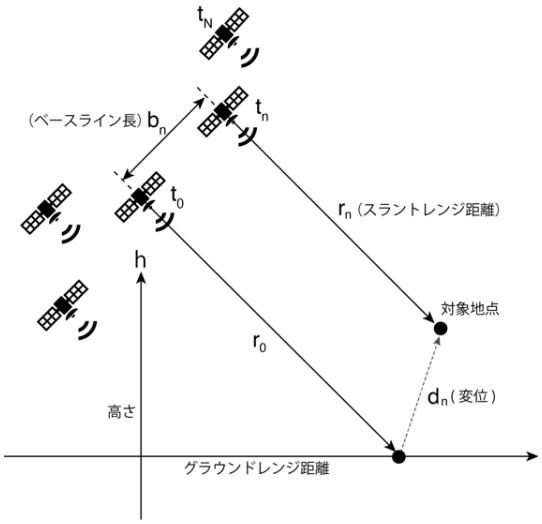
目的

段差事故発生以前より上関大橋を観測しているSentinel-1衛星の合成開口レーダ（SAR）画像を用いた時系列干渉解析（NN-PSI）を行い，段差発生を予見できたのかについて考察する.

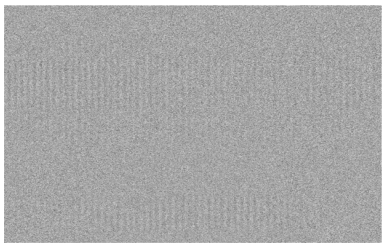
NN-PSI
(Non-Linear Non-Parametric Persistent Scatterer Interferometry)

都市域の地盤や建物の変動をより厳密に推定するために，既往の時系列干渉法（PSI）を改良して非線形的な変動の把握を可能にした手法

SARによる観測



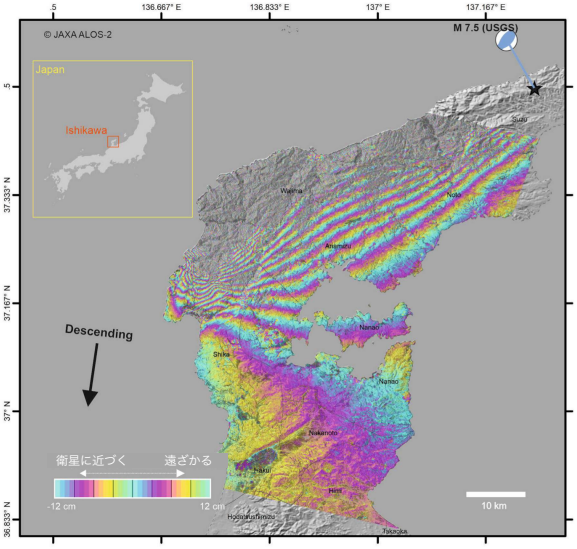
強度情報



位相情報
(0 ~ 2π [rad])

複数時期に観測した画像の位相の干渉解析により，衛星と対象物の間のLOS（視線）方向の距離の変化（変位）を推定する.

干渉SAR解析



差分干渉解析：
地震や火山活動に伴う地殻変動のような面的かつ大規模な変位の推定に用いられる．
（大気ノイズが含まれる．ノイズに比べて大ききな変位が対象．発災前後の2シーンの画像を使用）

時系列干渉解析：
20シーン以上のより多くの観測画像を用いて，地盤沈下のような時系列的に穏やかな挙動を示す変位の推定に用いられる．対象地点のおおよその高さも推定可能．
（統計処理により大気ノイズを軽減することで推定精度がmmオーダー）

上関大橋（3D測量および水準測量）

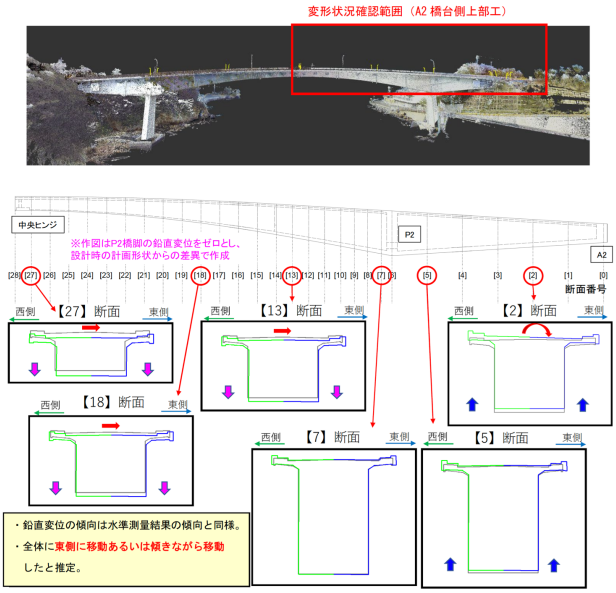


図 3.4　上部工の変形形状

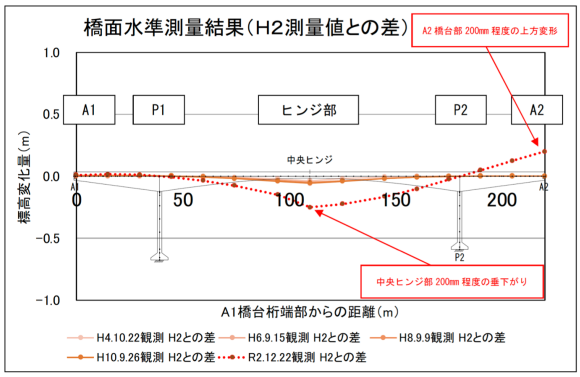


図 3.3　路面標高の計測結果

- 鉛直PC鋼棒全18本のうち13本が破断
- 桁全体が浮き上がる

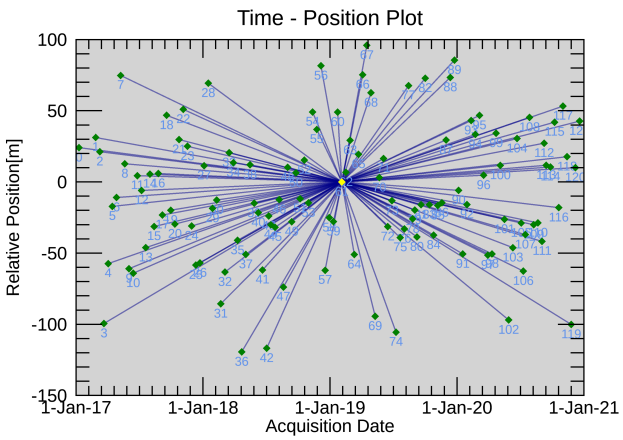
山口県：上関大橋復旧検討会議報告書, 2021.11
https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/soshiki/128/142697.html

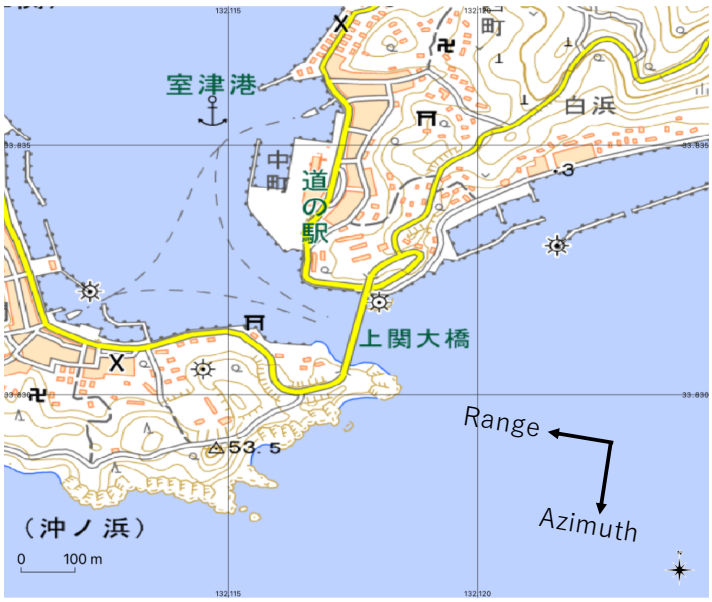
Sentinel-1衛星による観測

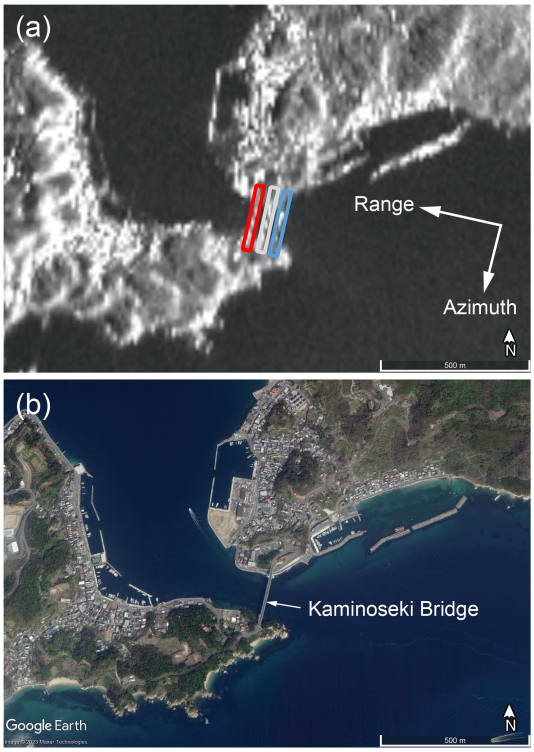
IWモード，下降軌道，右側照射

観測期間: 2017/1/9〜2020/12/19

(1440日，121シーン)







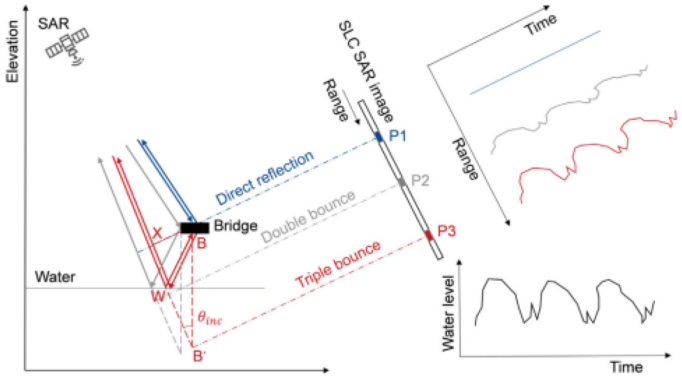


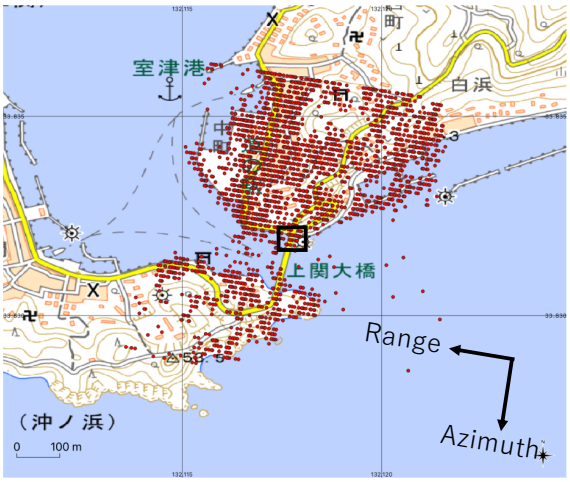
Fig. 1. Scheme of the multiple bounces produced by a bridge over the water.

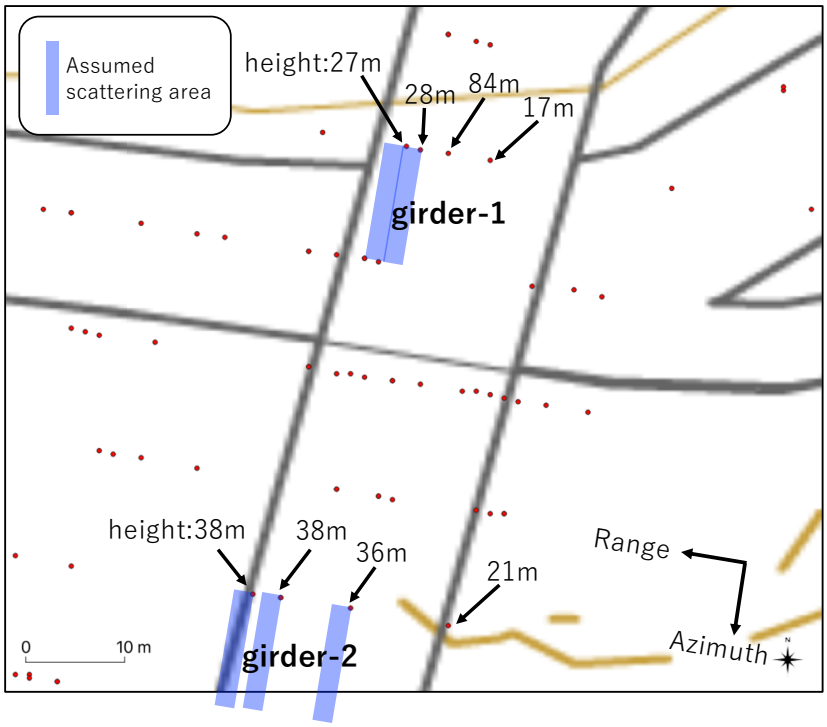
X. Chen et al. (2021)

恒久散乱体と考えられるピクセルのうち，直接散乱しているものが計測の対象

橋梁と水面による多重反射

恒久散乱体の分布 （時系列コヒーレンスが0.3以上）





Sentinel-1の空間分解能：
約3m (レンジ方向) × 約15m (アジマス方向)

推定した散乱体の高さは参照DEM（SRTM）からの高さ

girder-1, girder-2の橋桁における位置

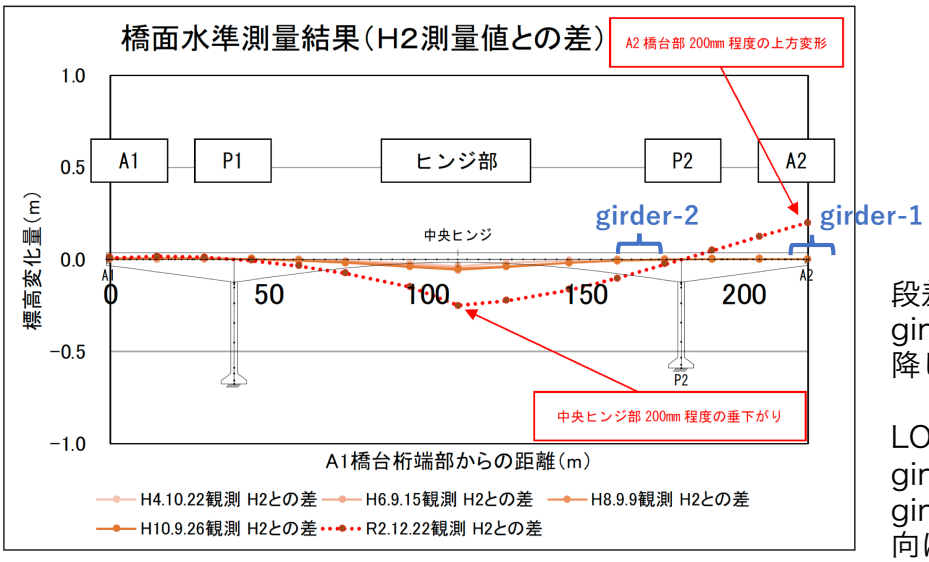
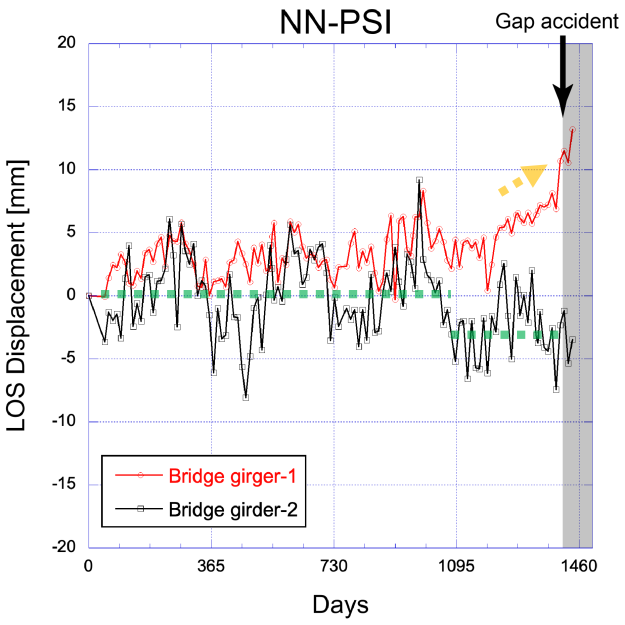


図 3.3 路面標高の計測結果

段差発生後の変形状況は，girder-1は隆起，girder-2は沈降している．

LOS（視線）方向でみると，girder-1は衛星に近づく方向，girder-2は衛星から遠ざかる方向に変位すれば妥当

LOS（視線）方向の時系列変位



girder-1（段差発生付近）およびgirder-2（橋脚付近）共に外気温に起因する熱膨張と考えられる周期的な変動がみられ，girder-2における変動の範囲は-5～5 mm程度.

1095日（2020年1月）頃からgirder-2は衛星から遠ざかるように，1300日（2020年8月）頃からはgirder-1が衛星に近づき始め，段差発生の直前まで徐々に変位が大きくなっている．なお，実際の段差の大きさは室津側で最大約200 mmとマイクロ波の波長の4分の1（14 mm）よりもかなり大きいため，段差発生後の推定変位には信頼性がない.

段差発生の直前の変位は夏季の材料膨張に伴う変位より大きく，視線方向の変位が約10 mm，水平変位がゼロだとすると，マイクロ波の入射角を考慮した鉛直変位は約15 mmだったと思われる.

まとめ

2020年11月14日に山口県の上関大橋において発生した路面段差発生を未然に予測できたのかを検証するために，2017年1月から段差発生後まで上関大橋を観測したSentinel-1衛星の時系列干渉解析（NN-PSI）から橋桁の変位を推定した.

その結果，室津側の段差発生付近および橋脚付近においては2020年に入ってからそれ以前とは異なる変位挙動を示していたことを明らかにした.