

GNSS と合成開口レーダにより確認された建造物の季節変動

国際航業(株) 正会員 ○本田謙一 加藤大佑 佐藤 匠
鹿島建設(株) 正会員 川野健一 永谷英基

1. はじめに

近年では利用可能な衛星数の増加やマルチ GNSS 技術の進展によって、市街地での GNSS の利用や精度改善といった効果が大いに期待されるようになり特定点の変位は精度よく計測することができる。また、人工衛星に搭載された合成開口レーダ（以下、SAR）による変位計測技術は、広範囲を面的に計測することができるほか、計測機器を設置する必要が無いため、衛星観測データがあれば過去に遡って計測できるなどの利点がある。これらの計測の長所を組み合わせることで、連続的かつ面的な変位計測が期待される。

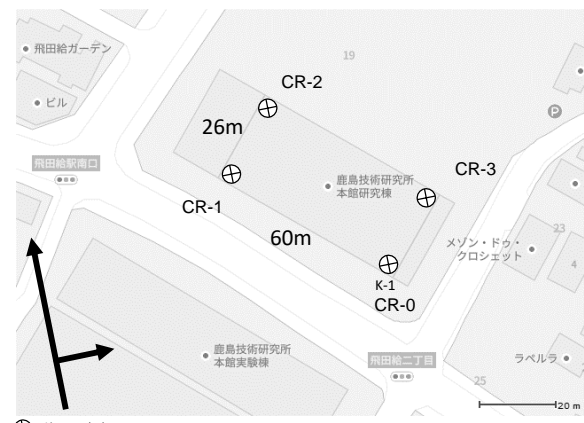
前報では、計測環境が良くない市街地での GNSS における変位計測の適用を検討した¹⁾。また、建造物の屋上にリフレクターを固定し、複数回の観測を行うことで SAR の位相安定性から変位計測精度の分析を行った²⁾。

これらの観測を引き続き行う中で、季節変動と思われる変位が GNSS と SAR の双方で確認された。本報ではその結果を踏まえ、建造物の季節変動とそれぞれの計測手法の計測限界について検討した。

2. GNSS およびリフレクターの設置



(a) GNSS 設置箇所図



(b) リフレクター設置箇所図

図-1 GNSS とリフレクターの設置箇所

(1) GNSS の設置

図-1(a)にGNSSの設置箇所を示す。基準点は5階建て鉄筋造建物の屋上K-1とし、G-2～G-4を電柱に設置した。電柱に設置したGNSSセンサは、一周波のGNSSセンサ（アンテナはu-blox M8）である。測位方法はGNSS（GPS, QZSS, GLONASS）によるRTKをベースとした。現地に設置したGNSSセンサでは、南北・東西・高さの3成分の計測を実施した。

高速道路斜面での強制変位実験の結果から、2～5 mm程度の強制変位に対し、母集団移動平均値は約±1 mm以内で検出できることが確認されている。

(2) リフレクターの設置

前報²⁾に引き続いて、Xband SARであるCOSMO-SkyMedのためのリフレクターとして、一辺30 cmの四角三面リフレクターを図-1(b)に示す建物の四隅に設置した。作成したリフレクターを5階建て鉄筋造建物の屋上4隅に固定し、月に1回の頻度でCOSMO-SkyMedで観測を行った。

リフレクターは長期間固定するために、雨や風の影響を軽減することが求められる。そこで、穴の無い鉄板と穴あきのステンレス板から同形状のリフレクターを作成している（図-2）。GNSS基準点であるK-1とリフレクターCR-0は設置場所が近接しており、計測した変位は同一であるものとして扱う。



図-2 K-1のGNSSとリフレクターCR-0

キーワード：地盤変状モニタリング、GNSS、RTK-GNSS、衛星SAR、干渉SAR解析

連絡先 〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1 国際航業株式会社 TEL 042-307-7211

3. 計測結果

GNSS 計測において、基準点を K-1 としたときの、建物の下の電柱に設置した G-2 の変位と、日平均気温の推移を図-3 に示す。計測結果から、鉛直変位及び水平変位は日平均気温に影響を受けていることを確認できた。他の GNSS 計測点である G-3、G-4 でも日平均気温が変位に与える影響を同様に確認できていることから、温度が基準点 K-1 に与える影響が計測点で反映された変位と考えられる。

一方で、基準点は建物の上に設置しており、計測点が地表近くにあることから、正負の符合が逆となる変位が基準点 K-1 に発生したことになる。鉛直成分に着目しても季節変動の影響を確認できるが、熱膨張による変位の想定方向とは逆の変位を確認できたことから、対流圏遅延などの影響と考えられる。そのため、本報文では検討から除外した。

また、上述の傾向と同様に、基準点を K-1 (CR-0) とした際の合成開口レーダの解析結果からも、計測点 CR-1 の変位において、明瞭な季節変化による変位の発生を確認することができた (図-4)。CR-1 の位相は強制変位を与えた 3 月 12 日以降固定しているため、本来は一定の値を示すことが期待される。さらに、CR-2 でも同様の傾向を確認できたが、基準点である K-1 (CR-0) に近接して設置している CR-3 では見られなかった。これは、CR-3 の設置場所は K-1 (CR-0) の設置場所に近く、熱膨張による相対変位が小さかったためと考えられる。

変位の方向に関して、GNSS の計測結果から、気温が上がるにつれて基準点 K-1 が南東方向に変位しており、中心から拡大していると考えられる。

また、SAR で計測した変位から、基準点 K-1 (CR-0) に対して気温が上がるにつれて衛星に近づく動きがみられる。建造物が膨張すると西側に動いていると考え、計測点 CR-1 による変位の向きは問題ないとする。一方、計測点 CR-2 の季節変動による変位量が小さかったのは、基準点 K-1 に対して北向きの変位が卓越するため、SAR の観測方向からは変位が観測されにくい動きだったものと考えられる。

GNSS、SAR の計測結果は共に変位にして 6~8 mm 程度であり、観測している変位ベクトルは異なるものの、大体符合する値となっている。このことから、建造物の熱膨張を捉えた結果であると考えられる。

4. まとめ

本報では季節変動と思われる変位が GNSS と SAR の双方で確認された結果を踏まえ、建造物の季節変動とそれぞれの計測手法の計測限界について検討した。

本検討では GNSS 計測点及び CR 設置点に限られた点の検討であるが、GNSS と SAR を組み合わせることで、一方のみを用いるよりも多くの知見が得られることが示された。

参考文献

- 1) 加藤大佑・武石朗・手束宗弘・永谷英基・久保田光太郎・吉迫和生：計測環境が良くない市街地での GNSS における変位計測の適用例，2021 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演。
- 2) 佐藤渉・本田謙一・引地慶多・佐藤匠・川野健一・永谷英基：合成開口レーダのリフレクターによる位相安定性の検討，2021 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演。

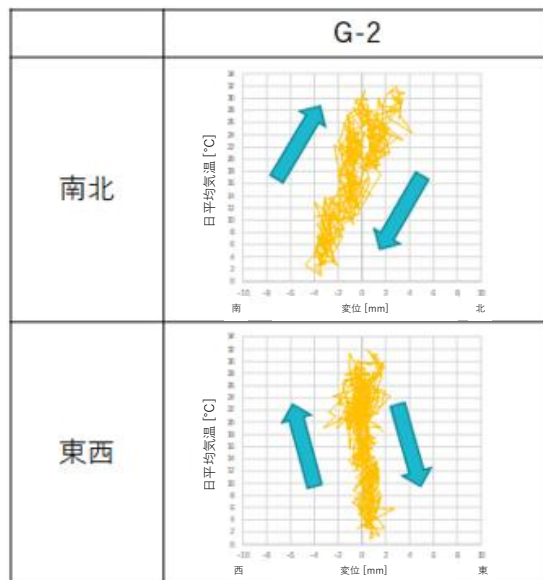


図-3 GNSS 計測結果 G-2 に見られた季節変動

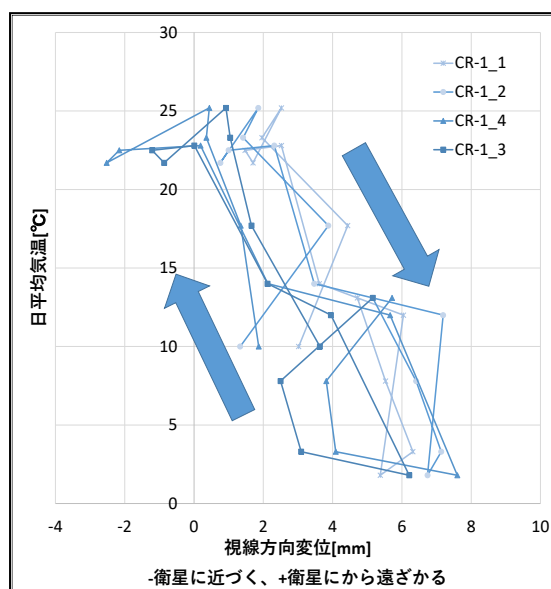


図-4 SAR 計測 CR-1 に見られた季節変動

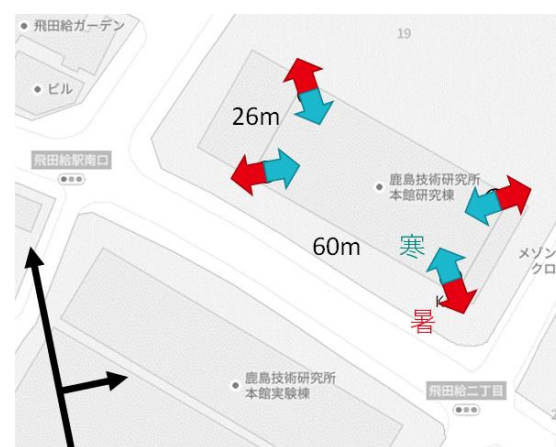


図-5 推定される建造物の熱膨張