移動体による橋梁の観測計画支援のための GNSS 信号劣化に関する基礎的研究

長崎大学　学生会員○田中修平　長崎大学大学院　正会員　奥松俊博
長崎大学大学院　正会員　中村聖三　長崎大学大学院　正会員　西川貴文

1. はじめに

現在，UAV は i-Construction の観点から大きな期待が寄せられている．また，計画から設計・施工，維持管理の効率化に大きく貢献できるため，UAV の利用が推進されている．一般に，UAV の自動操縦や位置把握には，単独測位型 GNSS が適用されているが，受信アンテナ上空に障害物が存在すると，突発的に位置精度が劣化する恐れがあり，第三者被害につながる可能性があるため，安全管理上の課題が残る(図 1)．本研究では，下路アーチ橋の維持管理を目的とした UAV による点検を想定し，GNSS アンテナ上空の障害物の存在が位置精度に与える影響を，VRS を用いた RTK-GNSS 観測から明らかにする．

図 1　GNSS による位置管理上の課題

2. 対象橋梁

本研究では，樺島大橋(長崎市)を観測の対象とした．この橋は樺島と脇岬をつなぐ橋梁で，昭和 53 年に着工し 7 年の工期をかけて昭和 61 年に完成した．橋長 227m，最大支間 152m，幅員 7.5m の下路式鋼ランガートラス桁橋である．

図 2　trimble5700

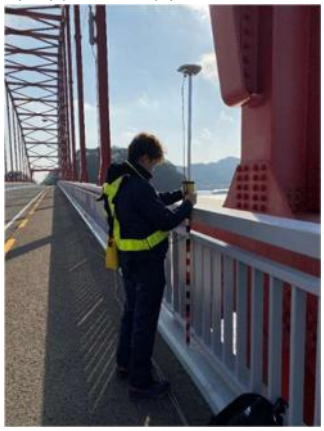

図 3 VRS による測位状況

3. VRS による GNSS 信号取得調査

(1) 使用機器

本研究では，VRS として Trimble5700(ニコン・トリンブル社製 図 2)を使用した．VRS は，移動局に設置した GNSS 受信機一台で高精度な測量(±10cm 程度)を実現するもので，単独測位型 GNSS(±10m 程度)に比べ精度は高い．現場での VRS による測位状況を図 3 に示す．

図 4　対象橋梁　GNSS 観測点①～㊱(Google Earth)

(2) 観測結果

対象橋梁での GNSS 観測点を図 4 に示す．赤で記した番号は，吊材のすぐ横で観測した箇所を表す．図 5 に，現場での視界状況を天空カメラにて撮影した画像を示す．ここに見える部材が，受信アンテナにとっての障害物となる．図 6,7 に観測結果のグラフを示す．グラフ中のメッシュは衛星数または DOP 値が，測位可能の条件値を満たさなかったことを示すものである．衛星数の減少とともに，DOP 数の低下が伴っていることがわかる．これは，時間の経過ととも

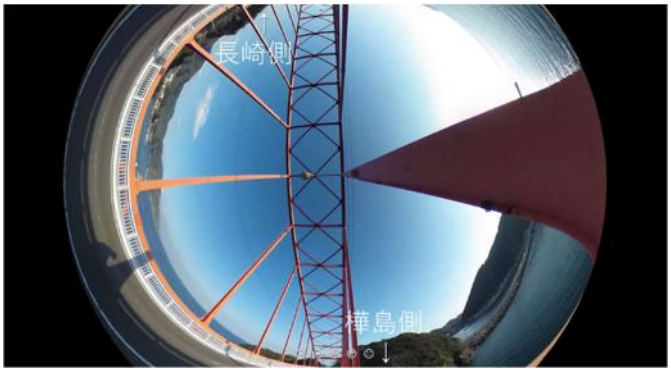

図 5 観測現場の天空カメラによる撮影画像

に，GPS 衛星の位置も移動することによって起こる橋の部材と衛星の位置の重なりが，GNSS 信号の劣化と，DOP 数の低下を引き起こしていると考えられる．

4. GPS 衛星の軌道

GPS 衛星は，6 軌道の面に 4 基ずつ合計 24 基の衛星が，高度約 20200km に 55 度の傾斜角を持って地球を約 11 時間 58 分の周期で，準同期軌道上を航行しており，アンテナが受信する衛星が増えることで測定精度が向上する．その衛星の軌道を予測することにより，GNSS 信号の劣化具合も予測できれば，移動体による構造物の観測計画に役立つことができると考えられる．過去の衛星軌道データは，アルマナックやエフェメリスなどの軌道情報から得られることができる．現在，得られた軌道情報から衛星の位置を計算し，GPS 衛星の位置を予測する方法を検討中である．なお，位置予測の計算は，図 8 の式により計算できる．

5. 構造物の 3 次元情報

移動体による構造物の観測において，対象構造物の 3 次元情報は，移動体の飛行経路を示す際などに非常に役立つ．本研究では，樺島大橋の 3 次元情報化を 3D レーザースキャナーによって行った．機種は(株)ニコン・トリンブル社製の TX-8 である．当機種により取得した点群データを，3D CAD ソフト(InfraWorks)に落とし込み，橋の座標を読み取った．ソフト内で橋の座標を検出する．図 9 のように，知りたい点にマウスポインタを合わせることで，座標の検出ができる．このデータを GPS 衛星の位置と比較して，GPS 信号の劣化状況に使用できるのではないかと考えられる．

6. まとめ

本研究では，VRS により橋での GNSS 信号取得状況の観測を行った．この結果と，橋の 3 次元情報や GPS 衛星の位置と比較し，どのような場所や状況で信号が劣化するのかを調査する予定である．また，衛星の位置が予測できれば，そのデータと GNSS 信号の劣化情報を用いて，移動体の観測を支援する飛行経路に組み込むことができるようなシステムの構築に取り組む予定である．

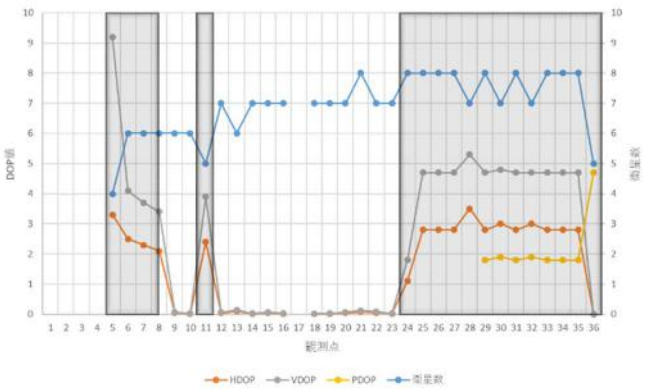

図 6 観測 1 回目　2019.12.9　10:06~11:06

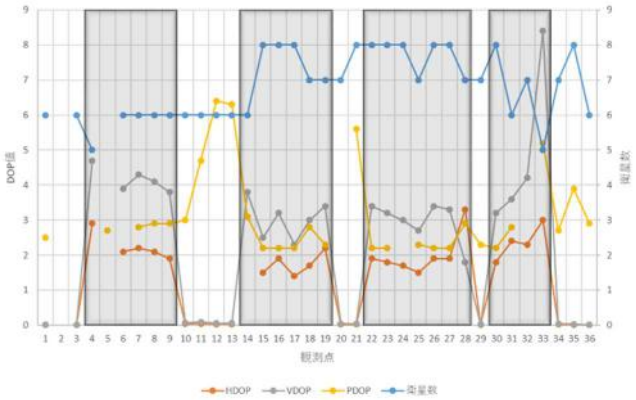

図 7 観測 2 回目　2019.12.9　13:19~14:23

軌道の6要素

Ω：昇交点赤経
u：昇交点からの距離
r：地心距離
ī：軌道傾斜角
ω：近地点引数
e：離心率
a：長半径
Θ：真近点角

$$\Omega = \Omega^0 + (\Omega - \Omega e)(t - t^0 e) - \Omega e t^0 e$$

$$\begin{bmatrix} u \\ r \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi \\ A(1 - ecosE) \\ i_0 + i(t - t_0 e) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Cuc & Cus \\ Crc & Crs \\ Cic & Cis \end{bmatrix} \begin{bmatrix} cos2\Phi \\ sin2\Phi \end{bmatrix}$$

$$e = \sqrt{f(2-f)}$$

$$\sin\theta = \frac{\sqrt{1-e^2}sinE}{1-ecosE} \quad , \quad \cos\theta = \frac{cosE-e}{1-ecosE}$$

ECEF直交座標系値に変換

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\Omega & -sin\Omega cos\bar{\imath} \\ sin\Omega & cos\Omega cos\bar{\imath} \\ 0 & sin\bar{\imath} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} rcosu \\ rsinu \end{bmatrix}$$

図 8 軌道の 6 要素計算式

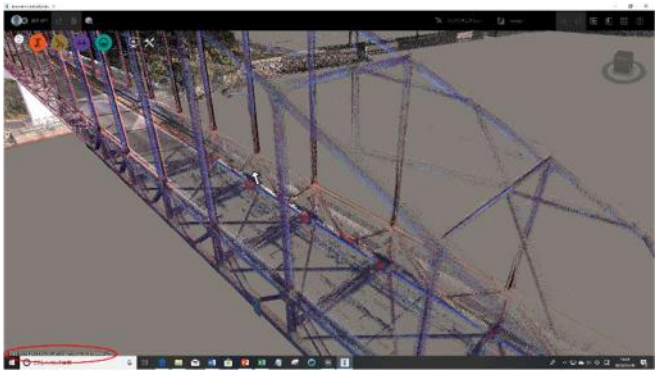

図 9 InfraWorks による座標

謝辞：TX-8 および VRS による橋梁の計測について，㈱ニコン・トリンブルの阿部氏，(株)水上洋行の山下氏にご協力および技術的助言をいただきました。ここに記して謝意を表します．