

## GNSS および UAV を用いた橋梁維持管理のための飛行経路決定に関する検討

長崎大学工学部 学生会員 ○加藤 悠祐 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

近年 UAV を用いた社会基盤施設の維持管理が盛んになっている。建設分野において、計画から設計・施工、また、維持管路の効率化に大きく貢献できるため、利用が推進されている。ここで利用される UAV の自動操縦や位置把握には、一般的に単独測位型 GNSS が適用されている。しかし単独測位型 GNSS を使用する場合、受信アンテナ上空に障害物があると、GNSS 信号の劣化で突発的な位置精度の劣化や、UAV が思わぬ方向に飛来する危険性が予測される。このような事象が生じた場合、周辺の構造物への衝突や、第三者被害につながる可能性がある。安全管理上の課題が残るということだ。本研究は、GNSS による位置精度、またそれを用いることによるリスクを考慮した上で、複数の経路から最適と思われる観測計画を採用し、GNSS および UAV を用いた橋梁維持管理のための飛行経路計画のシステムを作成するものである。対象構造物と観測点 (UAV) の位置を視覚化すること、さらに障害物を加味した観測点における衛星配置を示す DOP をもとに最適なルートを検討することを目的として、数値シミュレーションによる飛行ルートの検討を行うことを目的とした。この研究では長崎県にある樺島大橋を例に作成する。(図 1)



図 1 樺島大橋の外観

$$G = \begin{pmatrix} -\sin AZ_1 \cos EL_1 & -\cos AZ_1 \cos EL_1 & -\sin EL_1 & 1 \\ -\sin AZ_2 \cos EL_2 & -\cos AZ_2 \cos EL_2 & -\sin EL_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\sin AZ_N \cos EL_N & -\cos AZ_N \cos EL_N & -\sin EL_N & 1 \end{pmatrix}$$

$C = (G^T G)^{-1}$   
 G : 衛星の観測行列  
 C : 最小二乗法によるG行列の解  
 AZ : 衛星方位角 (度)  
 EL : 衛星仰角 (度)  
 N : 衛星数 (機)

$$VDOP = \sqrt{C_{33}}$$

$$HDOP = \sqrt{C_{11} + C_{22}}$$

図 2 DOP の計算方法

### 2. 衛星配置指標 DOP と GPS 衛星の軌道予測計算

#### (1) 衛星配置指標 DOP

ここでは国土地理院が公開するエフェメリスデータから、任意の観測日時における衛星の位置座標を予測し、更に対象構造物からの空間的な位置を変化させることで、衛星配置指標である DOP の値を計算する。DOP には GDOP, PDOP, HDOP, VDOP, TDOP の 5 種類あり、GPS 衛星の配置によって決まる。計算方法を図に示す。(図 2) DOP の値は GPS の場合で 1.0 に近づくほど安定している。本研究では、水平方向の決定精度を表す HDOP を利用する。任意の観測時間に衛星を遮る障害物がある環境で UAV を自動操縦させた際の観測位置の DOP を確かめることにより、UAV 自動操縦時に受ける影響を評価し、飛行経路の決定に役立てる。

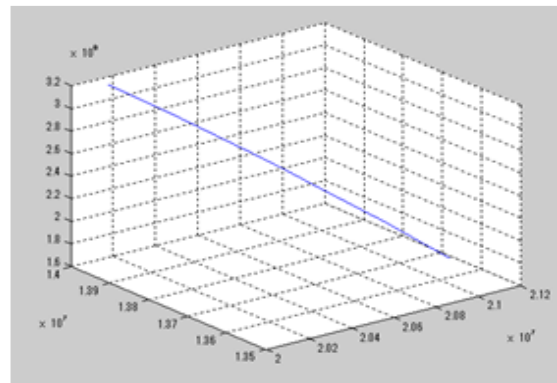


図 3-1 衛星の位置予測モデル

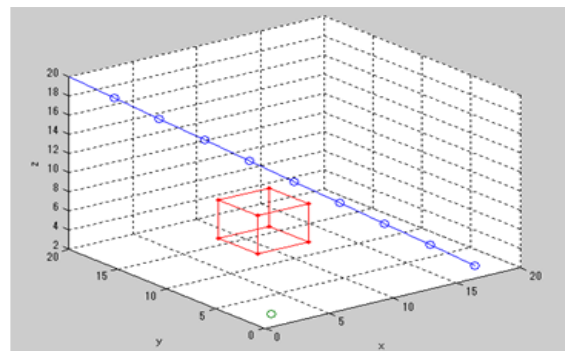


図 3-2 障害物との組み合わせ

(2) GPS 衛星軌道予測計算

GPS 衛星の軌道予測計算については、先述した通り国土地理院が公開するエフェメリスデータから必要なデータを抜き出し、計算によって求める。実際に手計算で求めることもできるが、この研究ではいくつもの予測計算が必要であることや計算内で行列を多用することから MATLAB によって計算の自動化を行った。計算することで測定位置からの x 座標, y 座標, z 座標, 仰角, 方位角, 斜距離が求まる。(図 3-1, 2, 図 4)

t = 600\_0  
 x = -1362403.952546  
 y = -17536323.916339  
 z = -26254862.332975  
 地上点からの衛星の斜距離 = 31603029.812191  
 仰角 = -56.177960  
 方位角 = 265.492644

図 4 計算結果

(3) DOP を考慮した飛行ルート of の検討

先述したように、DOP を求める計算や衛星の位置予測、障害物の判定など様々な計算が複雑にかかわりあう。この研究をするにあたり行った計算の流れを右に示す。(図 5)

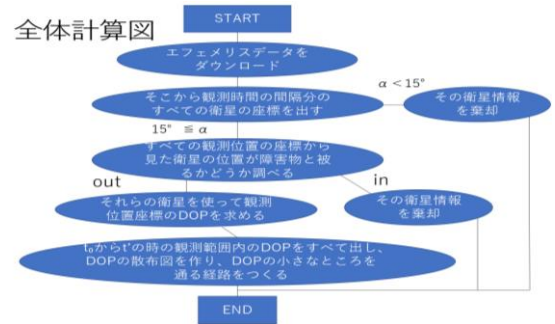


図 5 計算全体図

3. 観測 UAV の飛行経路の考察

2019 年 12 月 9 日のエフェメリスデータを参考にして DOP の値と衛星数を表したグラフを右に示す。(図 6) この図から読み取れることは、HDOP が急に上がっているところはおそらく障害物にさえぎられてしまったのではないかと推測される。観測点から見える衛星数は変化してないものの DOP の値が上下に変動しているのはそのためではないかと考察される。labview 上で衛星と障害物の位置関係は右図であらわされる。(図 7)

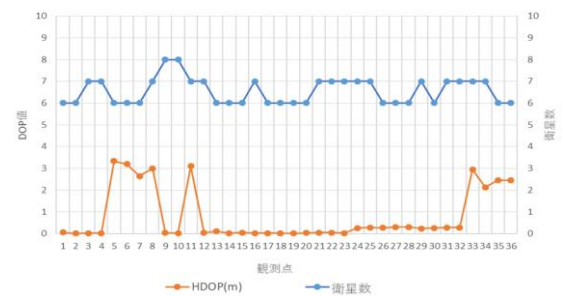


図 6 DOP 値と衛星数

4. まとめ

本研究では、GNSS による位置精度、またそれを用いることによるリスクを考慮した上で、複数の経路から最適と思われる観測計画を採用し、GNSS および UAV を用いた橋梁維持管理のための飛行経路計画のシステムを作成した。その結果、以下のことが明確となった。①衛星の軌道と観測位置の座標の関係のために、障害物と重なる区間が存在し、その時は別の衛星を選択しなければならない。②このような方法で観測をすることができれば、先述したリスクを冒すことなく測定をすることができる。

今後の課題として挙げられるのは、今回取り上げてこなかった上下方向の衛星の誤差についての検討や、別の橋の観測の際にも運用できるかどうかの検討である。

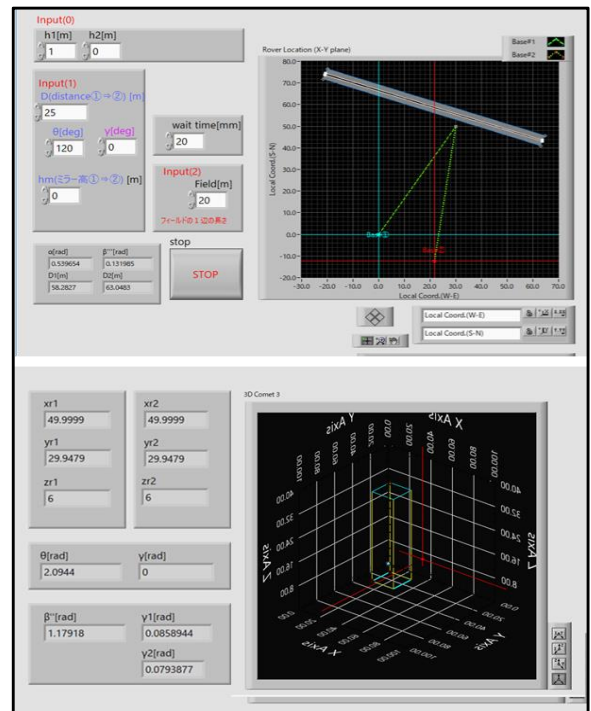


図 7 衛星と障害物の位置関係