

汎用小型無人機（ドローン）を用いた橋梁点検に関する基礎的研究

春田大二郎¹・Ashish SHRESTHA²・党紀³

¹学生会員 埼玉大学大学院 理工学研究科（〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区大字下大久保255）

¹Student Member of JSCE, Graduate School Saitama Univ.（〒338-8570 255-Shimo Okubo Sakura-Ku Saitama）

²正会員 埼玉大学大学院 理工学研究科（〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区大字下大久保255）

1. はじめに

日本では、高度経済成長期に多くの橋が建設され建設から50年経つ橋梁が急増¹⁾し、老朽化が進む中、今後、我が国において橋梁の維持管理は重要な課題の一つである。

しかし、全国の老朽橋梁の数に対し、点検技術者数が不足しているのが現状である²⁾。また、2014年には2m以上の道路、橋梁は5年に一度の点検が義務化された³⁾ことや、日本では他国と比べ地震の年間発生回数が多く、地震発生後の緊急点検の必要性も高いことなどから、今後、橋梁点検作業の人員不足が懸念されている。

この課題の対策案として、点検作業の機械化が推進されており、注目を集めているのが小型無人機、通称ドローンである。日本政府は、2015年1月にとりまとめられたレポート「ロボット新戦略」⁴⁾では、2020年までに国内の重要インフラ・老朽化インフラの20%はロボットによる点検により効率化を図る計画を公示している。

また、2015年の「成長戦略原案」⁵⁾では「国家戦略特区からドローン特区を指定し、ドローンの飛行に対する規制緩和を行い、実証実験を進める」とされている。

現在、企業や大学などにより点検用のドローンの開発や利用が進められている。NEXCO 東日本⁶⁾や富士通⁷⁾などでは、点検業務に特化したドローンの開発が行われている。

内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」の課題の一つである「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」⁸⁾では、ロボットに

よる点検を重要な開発技術としており、国土交通省では橋梁点検のための無人機などを検証している⁹⁾。

しかしこれらの点検に特化した無人機やロボットの開発とその検証などが行われているなか、近年に大きな発展を遂げた安価で汎用なドローンを利用する点検に関する検討がほとんど行われていない。点検目的で開発された特化無人機は開発費用も必要であり、値段は数百万円以上となるのは一般的であるが、本研究では、数万円から二十万円の市販ラジコンや空中撮影のための無人機を研究対象としている。

そこで、近年著しい普及率を遂げているスマートデバイスを用いたドローン制御のアプリケーションを開発することで、低コストでの開発・維持管理と、新機能搭載の簡易化を臨めると考えられる。

本研究では、汎用ドローンを用いた橋梁構造点検に関して、基礎的な考え方を整理し、スマートデバイスを用いてドローンを制御し、このための汎用ドローンの機体性能による実現の可能性を検証実験でと実験データを用いた点検シミュレーションで検討した。

2. 汎用小型無人機による橋梁点検

(1) ドローンとスマートデバイス

ドローンは、元々は軍事利用を目的に第二次世界大戦時に研究が進められた。アメリカやイスラエル、中国など多くの国で、無人攻撃機や無人偵察機など多くの無人航空機が開発されてきた。しかし、ドローンの安価化や小型化などにより、軍事利用のみならず、一般利用される機会が増えていった。

スマートフォンは 2006 年頃に開発され、2011 頃からその普及率は上昇してきた。これに伴い、スマートフォンの開発は大きく進み、内蔵されている「加速度センサー」、「ジャイロ스코プ」、「マイクロコンピュータ」、「無線通信システム」といった機能の向上・安価化・小型化も進んだ。

そして、この 4 つの機能は、ドローンにも活用されている機能でもある。つまり、スマートフォンの開発・発展が、機能の向上、安価化・小型化を実現し、それがドローンの一般化へとつながっているのである。

さらに、スマートフォンの普及率はさらに伸びることが予測されており、さらなる発展が望まれる。つまり、ドローンもそれに伴い発展していく可能性が大いにあると言えるであろう。

また、現在では空中撮影を目的としたドローンが最も注目されており、スマートフォンやタブレットを制御用コントローラとして使うことや、図-1 に示すように、コントローラと連動し撮影画面を映るモニタ (First Person View, FPV) として使うことが一般的である。

このように、スマートデバイスを活用して、ドローンを制御し、撮影した映像を直接編集、管理、同期するスマートデバイス用アプリが開発されており、さらに開発するための SDK (Software Development Kit) が公開することも一般的となっている。様々なユーザーがそれぞれの目的で、スマートデバイスを用いて、アプリ開発により、無人機の機能を発揮することが可能となっている。

(2) ドローンを用いたインフラ点検

ドローンは、その飛行能力を用いて、点検作業時にアクセスしにくい構造の局所において、カメラ撮影やほかのセンサー、サーモや打撃音などでとらえた情報で、構造の劣化や損傷を評価することに非常に有効だとされている。

特に、高所や水面上の場合、通常は点検車を使ったりロープやボートを使用したりして点検を行うが、高架や危険な作業では、無人機などのロボット点検が有用視されている。

国交省の人的点検を代替または補助するロボット技術の提案の内⁹⁾、「飛行系」すなわち複数のプロペラを搭載したクオターコプターなどの小型無人航空機が過半数を超えている。

そのうち、搭載カメラを用いて、構造物がアクセスしにくい箇所へ接近し、視覚情報を得ることがもっとも実現しやすいものと思われる。例えば、図-2 に示すように、谷や河川の上の橋梁など、桁の側面、

壁高欄や防音壁の外側などを点検するには、一般的



図-1 汎用ドローンの制御

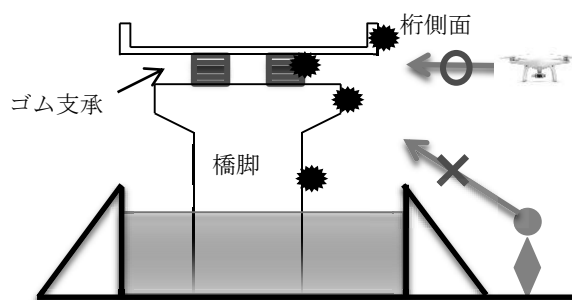


図-2 無人機の飛行と撮影機能を用いた点検のイメージ

表-1 無人機が必要と思われる箇所

橋梁タイプ	箇所	ドローンの性能
桁橋	桁側面、壁高欄、防音壁	一般
桁橋、	支承側面、落橋防止装置	一般
桁橋、トラス橋	桁底面、トラス底面	上向き撮影
桁橋	桁間	狭い空間飛行
水上	橋脚側面	一般
鉄道上、路面	橋脚側面、支承、路面上	落下しない
上陸トラス橋	トラス	狭い空間飛行

に点検車両が必要で、それ以外のアクセスは困難または危険となる、この場合ドローンを飛行させ、これらの場所に接近し、近距離で撮影し構造の損傷をとらえることが考えられる。

ここで橋梁において、アクセスしにくくドローンなどの無人機が必要と思われる箇所は、主に表-1に示すことが考えられる。

このように、さまざまな箇所では無人機の飛行に要求される性能の難易度が異なり、狭い空間では高度な飛行制御技量と非GPS環境でも安定制御できる機体が必要である。ただし、現在ではGPS環境にお

いて、安定かつ安心して狭い箇所でも飛行できることを目的にして、距離センサーやカメラの画像処理などを使ってホバリングできる機体や、画像処理と人工知能を駆使して障害物の自動回避や自動停止機能のある機体も現れており、技術の進歩速度が速い。

現段階では、打音検査やサーモ検査が搭載された汎用無人機がまだ見られていないが、飛行性能と撮影機能を用いて検査する可能な損傷は表-2に示す。いずれも、接近して十分な精度を有する画像が撮影されることが前提としている。

(3) 地震時の緊急点検

地震直後の緊急点検は、道路橋の被害状況を速やかに把握し、物流システムのレジリエントに最も重要な作業であるが、2011年東北地震のような大地震の後の点検において、検査路の不備照明の不足、良好でない足場（部材の落下・飛散、鋭利な破片）、安全施設や検査路の損傷、劣悪な作業環境（粉じん、鳥獣の糞や不法投棄）、水等の不足、植生による障害、位置や橋梁の特定、補給の困難、情報の不足、調査済み／未了等の管理などの注意点を東北整備局¹⁰⁾がまとめている。

このように、余震が続くなか、人的点検には様々な困難があり、近年のネパール地震の東京大学、京都大学の被害調査や熊本地震後の国土地理院などの調査ではドローンの飛行撮影の活用が増している。地震後の橋梁の緊急点検は主に、表-3のような地震損傷の確認が可能と思われる。

(4) ドローン点検の課題

2015年3月まとめられた国土交通省の現場検証実験では、ドローンなどの飛行系ロボットの橋梁点検について、

- I. 強風の影響により飛行できないこと
- II. 撮影精度が十分ではないこと
- III. 橋梁の損傷に関する知識、写真判読技術の不足

などの問題点を指摘されている。さらに、

- IV. コストが高いこと
- V. バッテリー不足で飛行時間が短いこと
- VI. 操縦に要する作業員数が多いこと

などの問題点も存在している。

表-1~3に示したものは無人機点検の期待値であるが、これらの点検を実現するための機能は以下の項目であると思われる。

- A) ペイロード（離陸荷重）：追加センサーやバッテリーの容量に関連する機能
- B) 自動制御、自動安定ホバリング機能
- C) HDなどの高精度カメラ、FPV

- D) 飛行時間
- E) 風中、少なくとも和風（5.5～7.9m/s）中の安定飛行能力

表-2 無人機点検の対象とする損傷

構造	対象とする損傷
鋼桁、鋼製橋脚、鋼製支承、鋼トラス	腐食
	き裂
	ボルトの脱落
	破断
	変形・欠損
コンクリート部材	ひびわれ、亀裂
	変色、漏水、遊離石灰
	剥離、鉄筋露出
	変形・欠損
支承	ボルトの脱落
	ゴム支承の変形
	サイドブロック破壊
	ゴム表面ひび割れ、変状

表-3 無人機による地震後緊急点検

点検箇所	対象損傷
ゴム支承	破断、残留変形、桁の支え
鋼製支承	破断、ピンの飛び出し
サイドブロック	破断、削り跡、衝突跡
アンカーボルト	ボルト脱落
橋台	沈下、亀裂、衝突跡
桁	落橋、落下箇所、傾斜、段差、安定のサポートの有無
ダンパー	変状、残留変形、接続損傷
ジョイント部	残留変形、段差
鋼製橋脚	塑性変形によるペイント辺所、座屈、亀裂、傾斜
コンクリート橋脚	ひびわれ、剥離、鉄筋座屈、傾斜

本研究では、汎用ドローンの内の一つに対して、検証実験とシミュレーションを行う。

これらの問題点とともに、最近では汎用ドローンの進歩より下記のような新しい技術も現れ、構造点検に有益な進展を与えると思われるが、どの程度に活用できるかなどを検証する必要がある。

- ① 3Dモデル復元
- ② 接近距離感知と回避（人工知能）
- ③ 簡易な操縦（Tap Flightなど）
- ④ 自動飛行（Flight Plan）と飛行ルート記録
- ⑤ 4K映像と写真

- ⑥ カメラを安定させるジンバル
- ⑦ 20分以上の飛行
- ⑧ 強風中の飛行

3. スマートデバイスによるドローンの制御

本研究では Parrot 社から販売されている BebopDrone を使い、Parrot 社から発表されている SDK を参考にプログラム開発を行っていく。ドローンを制御する上で必要な、基本的なプログラムを、Parrot が発表している FrameWork を取り入れることで代用する。また、国内シェアの高さや、ドローン操作のアプリケーション開発の関係上、Apple 社製のスマートデバイス向けのアプリケーション開発を行っていく。

(1) 開発環境

プログラミングの開発は、iOS 統合開発環境である Xcode(ver6.1.1)を使用する。本研究で用いる言語を Objective-C として開発を進めた。

Xcode では Model, View, Controller の 3 つの要素（通称 MVC）を組み合わせることでアプリケーションを作成していく。Model はデータの作成、処理を行う部分であり、View は作成したデータの表示や、ユーザーからの操作などを受け取る部分である。Controller は Model と View 間のデータの仲介し、アプリケーションの骨組みとなる部分である。基本的には Controller が View と Model の制御を行う。View はユーザーの操作を元に Controller へ指示を出し、Model は自身のデータの変化を Controller へ通知することができる。図-3 にシステム構成を示す。

(2) アプリケーションの開発

今回のアプリケーションでは、2 つの Controller (View Controller と Piloting Controller)を用意し、View Controller では Wi-Fi で接続したドローンの表示と選択を行い、Piloting Controller では、リンクしたドローンの情報の表示や操作を行う。また、取り入れた FrameWork を Model とする。

a) View Controller

アプリケーションを起動時に、SDK の framework を用いて、Wi-Fi 通信で接続したドローンより情報を取得する。取得したデータより、ドローンの機種を View に表示し、表示された項目をユーザーがタップすると、操作画面である Piloting Controller の View へと遷移する。この時に、取得したドロー

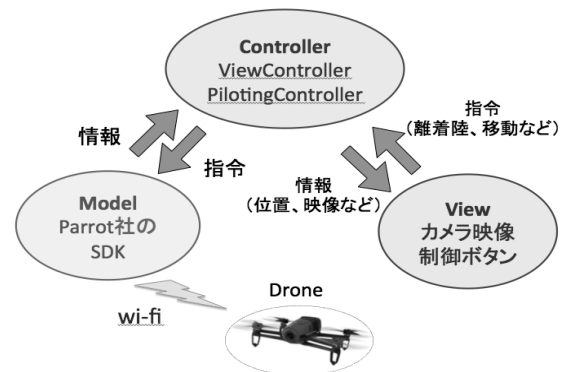


図-3 開発アプリケーションの仕組み

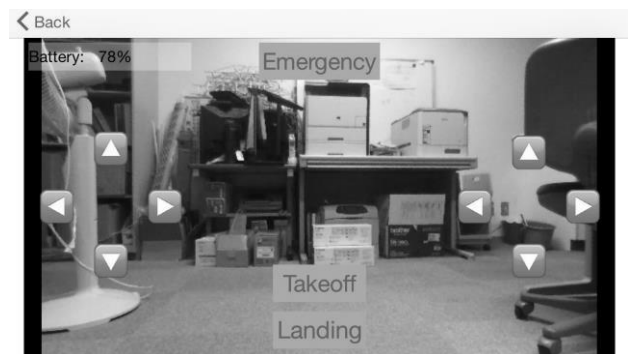


図-4 開発アプリケーション内のView

ンのデータを Piloting Controller へと引き継ぐ。

b) Piloting Controller

遷移後に View が表示されると、ドローン进行操作するためのデバイスをアプリケーション内に実装し、引き継いだドローンデータとデバイスのリンクを行う。

その後ドローンよりデータを受信し、バッテリー残量やカメラ情報の表示する。また View 上のボタンをユーザーがタップすると、ボタンに登録された動作指示をドローンに送信する。データの受信と送信は並行して行われ、この 2 つの動作により、ドローンの状態の把握と、実際の操作を行っていく。

また、Back ボタンをタップすることで、ドローンとアプリケーション内のデバイスのリンクを切断し、View Controller へと遷移する。図-4 にアプリケーション内のドローン制御画面を示す。

(4) 今後の拡張性

今回開発したアプリケーションに以下のような機能を開発・実装することで、目視点検の効率化や橋梁の情報管理の簡易化を図ることができる。

- スマートデバイスの画面に表示されているドローンのカメラ映像に画像処理を行い、ひび割れを自動検出する機能。
- 画像データをクラウドサーバーに送信、管理

するシステム。

- 収集した画像データから、3次元モデルを構築する画像処理機能。また構築した3次元モデルにひび割れや、腐食状況などを表示し、時刻歴による変化や比較を行う



図-5 BebopDrone

4. 検証実験

(1) 実験目的

ドローンを実際に使用する際、安全に操縦者の元へ帰還させるためには、ドローンの飛行時間を把握することが重要である。ドローンの飛行時間はバッテリーの容量に依存し、バッテリーの容量を増加させれば、飛行時間を増加させることができる。しかし、容量の大きいバッテリーは、バッテリーの重量も大きくなるため、ドローンのモーターの負担も大きくなってしまふ。よって、今回の実験では、複数のバッテリーを用いてそれぞれの飛行時間の把握と、飛行時間の比較を行う。

バッテリーを選定する際には、ドローンが飛行可能な積載重量内で選定しなければならないので、ドローンの積載重量の検証実験を行ったのち、飛行時間の検証実験を行う。

また、屋外で安全にドローンを飛行させるため、屋内にて、風の強さによるドローンの飛行への影響を検証し、飛行制限を設ける風速値の設定を行う。

(2) 実験概要

a) 使用機体

前述したように今回の実験では、Parrot 社製のBebop Droneを使用する。Bebop Droneの外観をそれぞれ図-5に示す。また、ドローンの操作にはApple社製のスマートデバイスであるiPhone6を用いる。

b) 積載重量の検証実験

今実験は、埼玉大学構内の構造研究室内で行う。

検証方法は、純正バッテリーを搭載したドローンの重心上に重りを載せ、その状態での離陸の可否を観測する。重りは100gから開始し、100gずつ増加させていく。実験機材の関係上、最大値は500gとする。純正バッテリーと重りの重量を足し合わせた数値を積載重量とし、飛行可能なバッテリーの重量を推定する。表-4に実験計画を示す。

c) 飛行時間の検証実験

今実験は、風の影響を受けない屋内実験として、埼玉大学構内の第一体育館にて行う。

ドローンの基本の動作となる「ホバリング」「直線移動」「旋回運動」「上下運動」の4つの動きの

表-4 積載重量の実験計画

使用機体	重り (g)	純正バッテリー (g)	積載重量 (g)
Bebop Drone	100	117	217
	200		317
	300		417
	400		517
	500		617

表-5 飛行時間の検証実験における動作設定

動作	条件設定
ホバリング	地上1mの高さで停滞
直線運動	前10m、後10mの計20mの水平 往復運動
旋回運動	地上1mで右回り旋回
上下運動	地上1m～5m間の鉛直往復運動

飛行時間の計測を行う。表-5に各動作の設定を示す。

直線移動には前後移動と左右移動の2つがあるが、ドローンの構造上、どちらも各プロペラの回転数の組み合わせが違っただけなので、バッテリー消耗量は同じと推定する。直線移動においては、前後移動時の飛行時間の検証のみを行い、左右移動の飛行時間は、前後移動と同等とする。また、旋回運動には時計回りと反時計回りの2つがあるが、こちらも直線移動同様、一方の飛行時間の検証のみを行い、もう一方の飛行時間と同等とする。今実験では時計回りの旋回運動の計測を行う。

すべての動作において、画面に表示されたバッテリー残量が100%の状態での離陸を行い、機体が安定した後各動作を開始する。バッテリー残量の表示が5%未満になった瞬間に動作を停止し、着陸を行う。各動作の開始と停止を時間計測の開始と終了とする。

d) 風の強さによる飛行への影響の検証実験

地上1mの高さでホバリング状態にあるドローンに対して、扇風機で発生させた風を当て、ドローンの飛行への影響を目視観測する。屋外飛行を想定するため、ドローンにバンパーの装着はしない。扇風機は三菱電気製の「R40-MJ」を用いる。R40-MJの風力設定「強」の状態時の、R40-MJからの一定距離における風速値を図-6に示す。風速値は、羽根径40cm上の最大瞬間風速である。

(3) 実験結果

a) 積載重量

100g, 200g の重りを搭載時は、離陸後安定したホバリングを続けたが、300g における積載実験では、機体にエラー発生し、離陸することができなかった。この結果より、バッテリーの重量は 317g 以下のものより選定を行い、純正バッテリー(容量 1200mAh, 重量 117g)と Tera バッテリー(容量 2500mAh, 重量 163g)の 2 種類を用いることとした。また純正バッテリーについては個体差の有無を確認するため 2 つを用いて検証実験を行う。

b) 飛行時間

本実験では、表-6 に示すように、12 種類の実験を行った。図-7 に、実験における各バッテリー動作ごとの飛行時間を示す。図-7 より、②・③の結果において、各動作の飛行時間には大きな差は見られない。また、①においても、ホバリングの値が比較的大きな値になっているが、直線移動・旋回運動・上下移動に関してはさほど大きな差は見られない。

このことから、各動作における飛行時間は概ね同じ値であることが分かり、1 つの動作の飛行時間の検証を行うことで、他の動作の飛行時間を推定できると考える。しかし、①についてはホバリングの値が大きく出てしまい、ばらつきが生じていることが分かる。原因として考えられることは、バッテリーの充電や保管状態を厳密化できていないことや、人的操作による差であると考えられる。また、①と②の結果より、同容量のバッテリーならば同程度の飛行時間が得られることが検証された。

図-8 にバッテリーごとの各動作の平均速度を示す。これらより、各動作において、若干のばらつきはあるものの、バッテリーの重量に関わらず、同程度の速度で飛行していることがわかる。

c) 風の強さによる飛行への影響の検証実験

今実験では、飛行時間の検証実験で用いた純正バッテリー①と Tera バッテリーを用いて実験を行う。表-7 に示すように、風速値とバッテリーの組み合わせによる 14 種類の実験を行った。①のバッテリーを用いた場合、どの距離においても、前後や左右に対する移動や傾きはなく、風のない状態と同様な安定したホバリングを継続した。②のバッテリーを用いた場合、6.0m の距離では①と同様、安定し①と同様、安定したホバリングを継続した。3.0m～5.0m の地点では前後左右に数 cm の揺れを見せながらも、自動修正をしつつ比較的安定したホバリングを継続した。

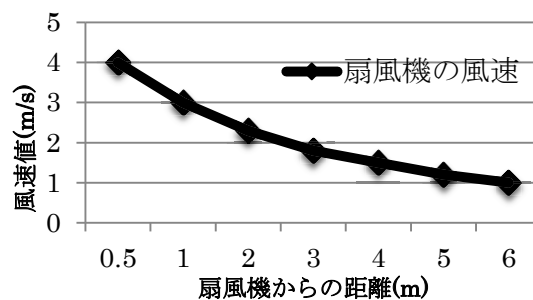


図-6 距離と風速値の関係

表-6 飛行時間の検証実験計画

試験番号	動作	容量(mAh)
H_1	ホバリング	1200
H_2		1200
H_3		2500
S_1	直線移動	1200
S_2		1200
S_3		2500
T_1	旋回運動	1200
T_2		1200
T_3		2500
U_1	上下運動	1200
U_2		1200
U_3		2500

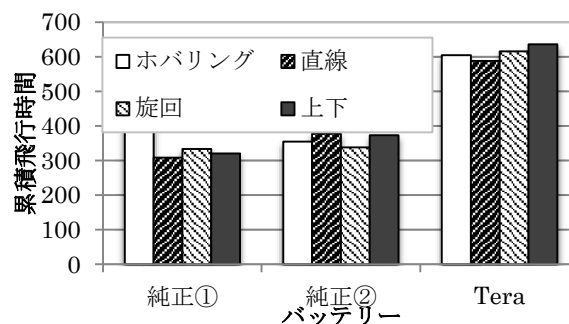


図-7 各動作の累積飛行時間

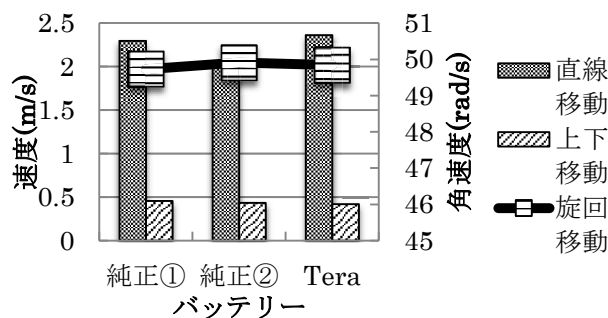


図-8 各動作の飛行速度

3.0m 未満の距離では、水平の揺れに加え、左右に若干の傾きが発生したものの、自動修正をしながらその場でホバリングを継続した。

d) 考察

実験結果より、各動作の飛行時間は同程度であると推定できるため、1 つの動作の飛行時間を検証す

ることで、ドローンの飛行時間の推定を行うことが可能であると考え、飛行時間の検証実験と、風威による飛行への検証実験の結果より、今回使用したバッテリーの重量程度では飛行速度や安定性に大きな差は見られなかった。

Tera バッテリーの容量は、純正バッテリーの容量の約 2.08 倍であったが、飛行時間は約 1.74 倍であったので、容量と飛行時間は比例関係出ないのではないかと推測できる。

今回は Bebop Drone ように開発されたバッテリーを用いて検証を行ったが、飛行可能な重量制限にはまだ余裕があるので、今後、市販の専用ではない大容量バッテリーを用いた実験の実施を検討する。

目視による安定性の判定を行ったが、安定性の数値化をするために、今後、ドローンの位置情報や傾きを取得する機能をアプリケーションに実装した上で、検証を行うことを検討する。また、今回は実験器具に関係で発生可能な風速に限界値があったが、実用性を踏まえてさらに強い風速での検証を行う必要があると考える。

5. 実験データを用いたシミュレーション

(1) 点検対象

実験のデータを元に、実在する橋の目視点検に要する時間の計算を行う。点検対象は山あげ大橋のゴム支承とする。山あげ大橋は図-7 に示すように、橋長 246.3m の 6 径間連続 PC ポストテンション方式箱桁の免震橋であり、日本で最初の高減衰積層ゴム支承を用いた免震橋である。図-10 に P5 支承図を示す。

(2) 目視点検に要する時間の算出

飛行時間の検証実験のデータより、各動作速度を 2.0m/s(直線)、50rad/s(旋回)0.40m/s(上下)とし、シミュレーションは2つのパターンの点検方法で行うものとする。パターン①は橋梁ごとに単独点検を行うものとし、パターン②は点検区間ごとに連続点検を行うものとする。またドローンは橋脚と 1.5m の距離を保ち飛行すると仮定し、飛行時間の検証実験で用いた動作のみで目視点検を行うものとする。図-11 に各パターンの点検イメージ図を、図-12 に各支承部の点検イメージ図を示す。純正バッテリーについては、①と②の平均速度を用いて計算する。点検に要する時間は次式(1)を用いて計算する。

$$T = \left(\sum T_r + 2 \sum T_i + 2T_u \right) \times 1.3 \quad (1)$$

ただし、 T :点検に要する時間(秒) ; T_r :各支承部の

表-7 飛行時間の検証実験計画

距離(m)	風速値(m/s)	バッテリー
0.5	4.0	純正
		Tera
1.0	3.0	純正
		Tera
2.0	2.3	純正
		Tera
3.0	1.8	純正
		Tera
4.0	1.5	純正
		Tera
5.0	1.2	純正
		Tera
6.0	1.0	純正
		Tera

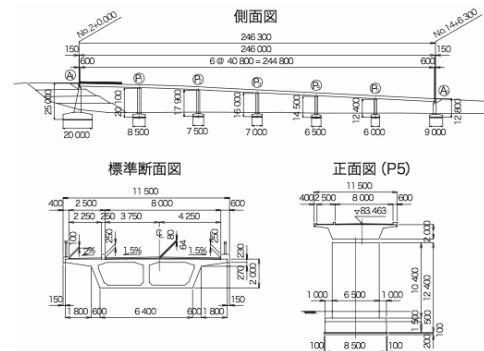


図-9 山あげ大橋構造一般図

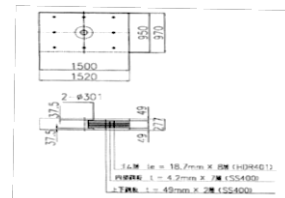


図-10 P5 支承図

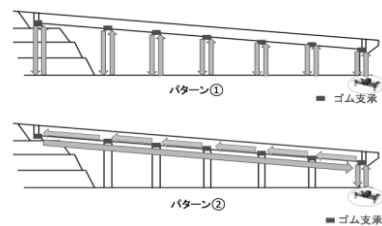


図-11 各パターンの点検イメージ図

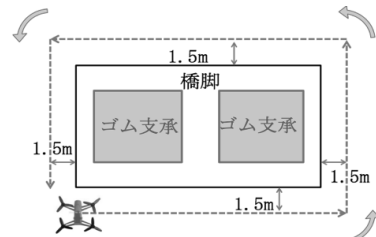


図-12 各支承部の点検イメージ図

点検に要する時間； T_i ：各橋脚間の移動に要する時間； T_u ：点検開始橋脚における地上から支承部までの移動時間である。

式(1)では、人的操作の誤差を考慮して、安全率を1.3と設定し、移動に要する時間の合計に安全率を掛けた値を、点検に要する時間とする。パターン①とパターン②のそれぞれのシミュレーションによる計算結果を図-13、図-14に示す。これより、パターン①では、純正バッテリーとTeraバッテリーのどちらでも、1度の飛行で各支承部の点検が可能であることが分かる。パターン②では、Teraバッテリーならば、A2-P1間が1度の飛行で点検可能であり、純正バッテリーならば、A2-P4間が1度の飛行で点検可能であることが分かる。

また、パターン①とパターン②を組み合わせ、A2-P1間をTeraバッテリーを用いて点検したのち、A1を純正バッテリーを用いて点検することで、点検中の充電を必要とせず、15分程度で全ての支承の点検が可能である。

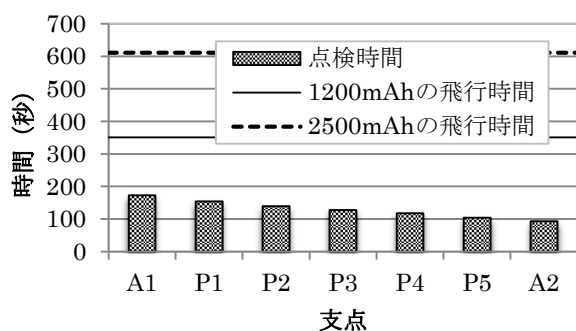


図-13 パターン①のシミュレーション結果

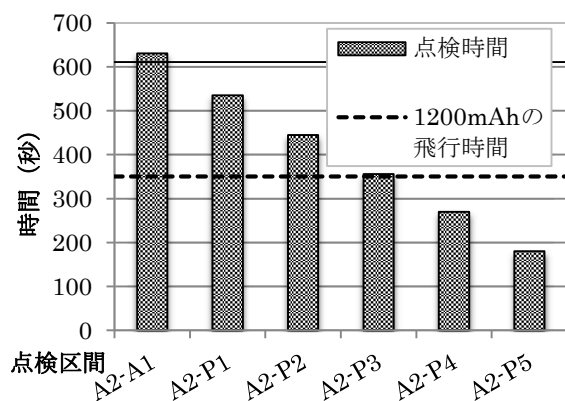


図-14 パターン②のシミュレーション結果

5. まとめ

ドローンには4つの基本動作があるが、各動作の飛行時間は同程度であり、バッテリー重量が約110g～160gであれば、飛行への影響は少なく、風速4m/s

以下では安定した飛行が可能である。また、風速0m/sの状況では、10分程度で点検ができると推測でき、従来の手法と比較し充分有効な手法であると言える。

参考文献

- 1) 玉越隆史, 大久保雅憲, 横井芳輝：平成24年度道路構造物に関する基本データ集, 国土技術政策総合研究所資料第776号, p35-36, 2014/01
- 2) 国交省社会資本整備審議会第9回メンテナンス戦略小委員会：資料3点検業務に関する民間事例, 点検・診断のための専門技術者の組織の事例, 自治体のインフラ点検体制等に関するアンケート調査結果, p2-3
- 3) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領, p1
- 4) 経済産業省：ロボット新戦略—ビジョン・戦略・アクションプラン, 2015/01.
- 5) 首相官邸 日本経済再生本部：「日本再興戦略」改訂2015—未来への投資・生産性革命—, p113, 2016/06.
- 6) NEXCO東日本：更なる高速道路の「安全・安心」確保に向けたスマートメンテナンスハイウェイ(SMH)の具体化について, p3-p4, 2014/11.
- 7) 岡田 薫：IoT Internet of Things Special Site ITベンダー各社がドローン利用に着手, 富士通や日立, NECも, 日経コンピュータ, 2015/06.
- 8) 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)インフラ維持管理・更新・マネジメント技術研究開発計画, 2016/03.
- 9) 国土交通省 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会橋梁維持管理部会：橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果, 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工企画係次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進, 2015/03.
- 10) 東北地方整備局 道路部国土技術政策総合研究所 道路構造物管理研究室：道路橋の震災時緊急点検・応急調査の手引き(案), 2012/02.