実大実験棟を活用したドローンによる点検の有効性の検証とドローンによる点検方法の確立のための実験の報告

REPORT ON TESTING TO VERIFY THE EFFECTIVENESS OF DRONE INSPECTIONS USING A FULL-SCALE TEST BUILDING AND TO ESTABLISH DRONE INSPECTION METHODS

二村憲太郎 — * 1 植本敬大 — * 2
宮内博之 — * 3 山岸直樹 — * 4

Kentarou NIMURA — * 1 Takahiro TSUCHIMOTO — * 2
Hiroyuki MIYAUCHI — * 3 Naoki YAMAGISHI — * 4

キーワード：
ドローン, 無人航空機, 点検, 調査, ツーバイフォー工法

Keywords:
Drone, UAV, Inspection, Investigation, Wood frame construction

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have entered wide use in recent years for various purposes. The need to inspect and survey high-rise buildings and other structures is expected to drive growth in the use of UAVs. However, achieving widespread use of UAVs for structural inspections will require not just determining the required performance and settings for UAV units and cameras, but efforts to promote the sharing of basic drone inspection knowhow. This paper presents the results of our testing to establish ideal drone operating and image-capturing methods for structural inspections and surveys.

1. はじめに

建設業界は他の業界に比べて労働環境が厳しいとされており、特に労働力不足が懸念されている。労働力不足の解消には労働生産性を向上させる等の方法が考えられ、高度な技術の導入、効率的な生産管理等のシステム改革が現実かつ早急に解決できる方法と思われる。一方、総務省の平成25年住宅・土地統計調査によると、築35年を超える1980年以前の全国の住宅ストック総数は1,369万戸を超え毎年増加している。これより、建築物の健全性診断と長寿命化のための維持管理が喫緊の課題となっている。建物の点検調査箇所においては、高層マンション等では外壁面、戸建住宅では屋根面が手の届かないあるいは歩行困難な場所となっているため、省力化点検が望まれている。これら背景により建設業界における労働力不足の解消、並びに業務の合理化・省力化において期待されている技術として、無人航空機（以下、ドローンとする。）の産業利用が期待されている。しかし、活用にあたってはドローンの性能に起因する点検の精度のばらつきや墜落事故等のおそれなど課題も多く、この課題の解決に向けさまざまな研究がされている^{1)~5)}。また、一部では先行してドローンによる点検を実施しているが、試行錯誤の段階にあり、明確なドローンによる点検方法が確立されていない。これらの現状を鑑み、本研究ではドローンによる点検と既存の点検方法との違いを明確にし有効性を検証した。また、ドローンによる点検方法に影響を与えると考えられる機体性能とパイロットの特性も併せて検証したことを報告する。

2. 実験概要

2.1 実験の体制

実験の体制は国立研究開発法人 建築研究所、芝浦工業大学、一般

社団法人 日本ツーバイフォー建築協会、西武建設株式会社の4者で実施した。実験の期間は2017年8月から2019年3月までとした。今回は2017年度までの実験内容を記載する。

2.2 実験場所、建物の構造および周辺環境

実験場所は写真1に示す、建築研究所（茨城県つくば市）に所在するツーバイフォー工法で建設された木造6階建て実大実験棟〔幅7.3m奥行き5.0m高さ17.3m、築1.5年（2017.8現在）〕（以下、実験棟）を対象とした。6階東側にバルコニー、1階南側に玄関が有る。北面に樹木を有しているが、周囲は緑地であり開放されている。

写真1 6階建て実大実験棟（ドローンによる撮影）

2.3 実験目的

実験は以下の（1）、（2）に示す2項目とする。

（1）ドローンによる点検方法と既存の点検方法の比較

ドローンによる点検は空中を自在に飛行しカメラが撮影することで、撮影の死角を無くす、もしくは減少させることで実際に可能な点検範囲（以下、アクセシビリティ）を向上させる⁶⁾。また、コスト面でも足場を不要とすることから大きく貢献するとも考えられている。一方で安全性や膨大な写真データの処理に時間を要するなど

¹⁾ 西武建設(株)エンジニアリング部 室長
(〒359-8550 埼玉県所沢市くすのき台1-11-2)

²⁾ 国立研究開発法人建築研究所 上席研究員・博士（農学）

³⁾ 国立研究開発法人建築研究所 主任研究員・博士（工学）

⁴⁾ 西武建設(株)建築事業部 課長

¹⁾ General Manager, Seibu Construction Co., LTD.

²⁾ Chief Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Agr.

³⁾ Senior Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Eng.

⁴⁾ General Manager, Building Dept., Seibu Corporation

が問題として顕在化しつつある。そこで既存の点検と比較することでドローンによる点検のメリット、デメリットを明らかにした。

(2) 機種およびパイロットの違いによる点検精度への影響

ドローンによる点検への適用にあたってはカメラの性能を中心として検討され、機体の性能や特徴に明確な指標がない。また、パイロットの特性も飛行に大きく影響を与える。一方画像データの取得において、一般に被写体である構造物と機体の距離が重要であるが、機体や操縦が安定しないことにより画像精度に差異が生じ、データに影響を与えるとされる。そこで飛行中の構造物の水平距離の変化による精度への影響を事前実験により明らかにしたうえで、種類の異なる機体の飛行性能および飛行経験の異なるパイロットを飛行の安定性で比較し、適切なドローンによる点検方法を検証する。

3. ドローンによる点検方法と既存の点検方法の比較

3.1 比較項目

比較する点検は高所作業車に点検員が搭乗する（以下、高所作業点検）、地上にカメラを設置し撮影する（以下、地上撮影点検）、ドローンにカメラを搭載し撮影する（以下、ドローン撮影点検）の3パターンとし、方法は目視（撮影）点検とした。触手、打音等点検は今回対象範囲外とした。結果の比較は、①品質管理（点検範囲・精度）、②原価管理（コスト）、③工程管理（作業期間）および④安全性、以上4項目とした。点検範囲は建物4側面および屋根とした。表1に点検パターン、点検方法およびカメラの性能を示す。

表1 点検パターンと点検方法の適用範囲

点検パターン		高所作業点検	地上撮影点検	ドローン撮影点検
点検方法	目視／撮影	対象	対象	対象
	触手／打音	可能	不可能	対象とせず
カメラ解像度(画素)		1,605万	1,790万	2,430万

3.2 点検種類の比較方法

高所作業点検、地上撮影点検、ドローン撮影点検の3パターンの実験方法の概略を以下の3.3～3.5に示す。ここで高所作業点検は、高所作業車もしくは足場を組み立ててから作業する場合に分類される。一般には建物の点検範囲が高所作業車に搭乗し届く場合は高所作業車を利用し、それ以上に点検範囲が拡大する場合は足場を組み立てる。足場を組み立てて高所作業をする場合は、一般にコストおよび工期が高所作業車より過大となる。また、設置に必要な建物周囲の敷地も必要となる。

3.3 高所作業点検

実験は高所作業車を使用した。高所作業車の事例を写真2および点検状況を写真3、使用した点検表の一部を図1に示す。

写真2 高所作業車

写真3 高所作業点検状況

今回使用した高所作業車は19mの高さまで上昇が可能である。高所作業車を4面にそれぞれ移動し、点検員はバケットに搭乗して点検した。点検者は目視で確認し、点検表に記録し、記録部分をコンパクトカメラで撮影した。

(3) 屋根	①	仕上げ材	① 破損、プレスセメントがわら、住宅屋根用化粧スレート	割れ	☐	☐
	②			欠損	☐	☐
	③			ずれ	☐	☐
	④			剥がれ	☐	☐
	⑤			腐食	☐	☐
		⑥ 金属系屋根ふき材（基盤が腐敗でもあるものに貼る）				
		⑦ その他（ウレタン防水、ねじ止め等）		（防水材）	☒	☐
				（防水材）	☒	☐
				（防水材）	☒	☐

図1 使用点検表（一部）

3.4 地上撮影点検

地上撮影点検は、地上から撮影し画像を解析することで劣化部を判断する手法である。カメラの最大仰角は45°を上限とした。これにより撮影可能領域に制限が発生し撮影範囲が縮小した。計画時における撮影範囲を図2に、撮影状況を写真4および5に示す。

図2 撮影可能領域立面図 赤枠範囲（計画段階）

写真4 地上撮影状況（対象面）

写真5 地上撮影状況（側面）

3.5 ドローン撮影点検

ドローンにカメラ、ビデオともに各1台ずつ搭載し、撮影した画像および映像データを地上でPCの画面に映し、点検者が劣化等を判別した。ドローン撮影点検状況を写真6、使用した機体の外観を写真7および撮影に使用した飛行ルート計画図を図3に示す。なお、ドローンの性能については、4.「機種およびパイロットの違いによる点検精度への影響」に後述する。

写真6 ドローン点検状況

写真7 撮影機外観

図3 撮影ルート

3.6 点検種類の比較結果

(1) ① 品質管理（点検範囲）

地上撮影点検とドローン撮影点検の違いを表2に示す。

表2 地上撮影点検とドローン撮影点検の範囲の比較

撮影範囲	地上撮影点検				ドローン撮影点検

	81%範囲を撮影				100%範囲を撮影			
	撮影距離 10m				撮影距離 7.5~17m			
窓枠の見え方
	高所撮影時画像が縦に短くなる。合成するときに画像を伸ばす(Canon)				カメラを対象物に正対させて撮影できるため、画像サイズ、画質が一定			
	カメラ:EOS60D(Cannon)				カメラ:α 6000(SONY)			
	レンズ:EF-S18-135 F3.5-F5.6				レンズ:SEL35F18 1/640 f=8.0			

撮影範囲について、地上撮影点検は屋根やバルコニーが死角となるため撮影できない。また、カメラの仰角制限から高度に限界が生じるため地上撮影点検は制限が生じる。そのため、本実験棟では29%が地上からの点検が不可能となった。一方、ドローンによる撮影は、100%の範囲を確認することができた。これはドローンによる点検がアクセシビリティにおいて地上撮影点検よりも優れていることを示す。また、窓枠の見え方において、地上撮影点検の場合は高度が上がるに従い上下に短くなるが、ドローン撮影点検の場合は高度によることなく一定の窓枠のサイズであった。これはドローン撮影点検の特徴として高度によらず正対することが可能であることを示し、コンクリートのひび割れ等不具合発見時のサイズが一定であることを示す。高所作業点検時に外壁材に0.05mmのひび割れが発見された。併せて外壁材の継ぎ目の見え方を比較した結果を表3に示す。

表3 外壁材のひび割れおよび継ぎ目の見え方

	高所作業点検	地上撮影点検	ドローン撮影点検
対象との距離	0.5m	10.5m	約5m
0.05mmひび割れ判別	○	×	×
外壁材の継ぎ目判別	○	×	○

高所作業点検では、ひび割れのほかに外壁材の継ぎ目も判別した。地上撮影点検では斜距離が10.5mと比較的近接作業ではあったが発見することはできなかった。ドローン撮影点検に関してもひび割れは発見できなかったが外壁材の継ぎ目は判別した。

(2) ② 原価管理（コスト）、③ 工程管理（作業期間）

本実験におけるコストおよび期間の比較を表4に示す。コストは地上撮影点検が最も安く、次にドローン撮影点検、高所作業点検の順となる。ただし、作業期間に関しては、高所作業点検が短く、ドローン撮影点検が最も長い。

表4 コストおよび作業期間比較

(1) 高所作業点検						単価：日あたり	
項目	小項目	人数 ・台数	単位	単価 金額：万円	金額	要した時間	
フィールドワーク (点検当日)	点検者、オペレータ	4	人	5	20	3時間	
	監督員、見張員						
	高所作業車	1	台	12	12		
デスクワーク	点検表	1	人/日	3	3	2時間	
合計				35万円		5時間	
(2) 地上撮影点検							
項目	小項目	人数 ・台数	単位	単価 金額：万円	金額	要した 時間	
フィールドワーク (点検当日)	点検者、監督員	2	人	5	10	1.5時間	
	カメラ等	1	台	3	3		
デスクワーク	オペレータ	1	人/日	3	3	6時間	
合計				16万円		7.5時間	
(3) ドローン撮影点検							
項目	小項目	人数 ・台数	単位	単価 金額：万円	金額	要した 時間	
フィールドワーク (点検当日)	パイロット	3	人	5	15	1.5時間	
	監督員、リード管理						
	ドローン	1	機	5	5		
デスクワーク	オペレータ	2	人/日	3	6	12時間	
合計				26万円		13.5時間	

単価は西武建設の概算値(経費込み)を採用、ソフト使用料金は別途

単価は西武建設の概算値(経費込み)を採用、ソフト使用料金は別途

(3) ④ 安全性

事故事例および想定される事故上位5点を抽出しそれぞれ事故の頻度、被害の大きさを1~3のポイントとしてグレード分けし積をもとめリスクを算定し合計した。表5にリスクの比較を示す。ドローン撮影点検のリスクが最も高いが、ドローンに関しては事故事例がまだ少なく、想定して記載している。なお、このリスク算定は工事現場を10年以上経験したドローンのパイロットが3名で実施した。

表5 リスクの抽出と算定

区分	想定される事故	頻度 A	被害の 大きさ B	A×B	合計
高所作業点検	高所作業車から人員が落下による死傷	1	3	3	15
	高所作業車が点検対象物に接触	2	2	4	
	物が落下し、下方を通る人に接触し死傷	1	3	3	
	高所作業車の転倒による死傷	1	3	3	
	高所作業車輸送時に接触	1	2	2	
地上撮影点検	撮影時、点検員が転倒しケガ	2	1	2	8
	移動時に点検員が転倒しケガ	2	1	2	
	撮影時、通行人と接触しケガ	1	1	1	
	移動時に通行人と接触しケガ	1	1	1	
	カメラ等機器の落下により足をケガ	2	1	2	
ドローン撮影点検	通信不良によりドローンが落下し死傷	2	3	6	26
	〃 インフラ等へ損害	2	3	6	
	接触によりドローンが落下し死傷	2	3	6	
	〃 インフラ等へ損害	2	3	6	
	パイロット等移動時のケガ	2	1	2	

リスクの大きさが最大なもの(3×3=9ポイント)はリスク回避に該当するため除外した。

点検種類の比較結果をまとめたものを表6に示す。

表6 点検種類の比較のまとめ

比較項目	高所作業点検	地上撮影点検	ドローン撮影点検
①点検範囲・精度	○	△	○
②コスト(比)	× (1.0)	○ (0.5)	○ (0.7)
③作業期間	○	○	○
④安全性	△	○	×

①点検範囲・精度に関しては高所作業点検、ドローン撮影点検が優れている。②コストは地上点検が優れ、続いてドローン撮影点検となる。概算比を表中のカッコ内に示す。③作業期間はデータ整理に要するデスクワークを加味しトータルでの時間としたため大きな差は生じなかった。④安全性に関してはドローン撮影点検が最も悪く、次に墜落災害の危険性の高い高所作業点検が悪かった。

4. 機種およびパイロットの違いによる点検精度への影響

4.1 飛行中の機体の移動量の確認

事前にどのくらい飛行中に対象構造物との距離の移動量が発生するか実大実験棟南面を対象として確認した。実験では図4に示す飛行ルートを採用した。

図4 対象実験棟と飛行ルート概要図

写真精度を比較するためびび割れの幅(0.05~0.5mm)を模したラインを表示したシートを実験棟に貼り付け、ライン幅の見え方を比較した。飛行高度と撮影位置について3次元モデル合成ソフトPhotoSCAN(agisoft社製)を使用しプロット図を作成した。図5に代表図を示す。図5におけるア、イの位置付近で撮影した写真を表7に示す。計画時の離隔は5mであるがア付近の場合、実験棟との離隔は約9mとなり、ライン幅最小0.3mmまでを確認した。イ付近の場合実験棟との離隔は約4mまで接近し、ライン幅最小0.1mmを確認した。ア、イの最大離隔差は5mであった。この結果、飛行中の機体の安定性が写真精度に影響を与えることを確認した。

図5 飛行履歴とプロット図

表7 実験棟からの距離の違いによる見え方の比較

位置	写真	同 拡大	ライン幅
ア付近 実験棟 ~9m			0.3mmを確認 できる。
イ付近 実験棟 ~4m			0.1mmを確認 できる。

4.2 機体比較実験

異なる機体を3種類使用し比較実験をした。この3種類の機体を

それぞれA, B, Cと呼称する。諸元を表8に、機体ごとの実験ケース数、平均写真枚数、撮影ミス、未合成発生数の有無を表9に示す。

表8 実験使用機体の外形と特徴

機体名称	機体形状および諸元	カメラ性能と特徴	主要用途
A	 機体対角サイズ 1,397×1,397mm 機体重量 4,600g	カメラ解像度 2,430 万画素。カメラは 自由に選択可。撮 像素子 23.5×15.6mm	産業用
B	 機体対角サイズ 605×605mm 機体重量 3,440g	カメラ解像度 2,089 万画素。メーカー純正カ メラのみ交換可。撮 像素子 17.3×13.0mm	空撮用 (映像)
C	 機体対角サイズ 350×350mm 機体重量 1,388g	カメラ解像度 2,000 万画素。機体とカ メラは一体型。撮 像素子 13.2×8.8mm	一般使用(ホビー)

表9 各機体撮影と合成結果

機体名称	A	B	C
実験ケース数	5	3	3
平均写真枚数(枚)	69	68	52
撮影ミス(枚)	0	0	1
未合成発生数	1	2	1

パイロットは3名で実施した。風速はすべてのケースで平均0~2m/sであったため影響は無かった。飛行方法は事前実験の図4と同様に飛行した。撮影は2秒に1枚のピッチで自動撮影した。飛行は人工衛星の電波(汎地球測位航法衛星システム/Global Navigation Satellite System, 以下, GNSS)を活用し自己位置を推定した飛行方法とした。未合成発生数とは、PhotoSCANを使用して部分的に合成ができなかったケースの数を示す。なお、PhotoSCANのキー、タイポイント制限はともに2,000とした。この制限での合成不良となった場合を未合成数としてカウントとした。ここでキー、タイポイント制限とは特徴点のマッチングの設定であり、仮に制限値を大きくすると未合成発生数は減るが信頼性の低い特徴点を多く採用させることから、3次元データを構成した場合の信頼性も低下する⁷⁾。

4.3 ドローンの飛行性能比較実験結果

機体A, Bとも平均写真枚数はほぼ同じであることから撮影している飛行時間は同じである。撮影ミスが機体Cに1ケース見つかった。これは機体の向きが飛行中に変わり実験棟と正対していなかったため、実験棟の端部が撮影されていなかった。向きが変わった原因として、ターン操作時に若干誤り方向を変えてしまったと考えられる。防止方法として実機を目視で常時監視するパイロットのほかに撮影状況をモニターでチェックする人員の配置など工夫を要する。

(1) 機体の安定性

機体の安定性の比較を表10に示す。図5の飛行履歴から実験棟と機体の離隔を計測し、プロットして得られたデータを縦軸として変位量(最大値, 最小値, 平均値)を算出し比較した。機体Aと比較しB, Cは安定している。これはGNSSの捕捉性能、姿勢制御性能が高いことが考えられる。

表 10 機体安定性比較

(2) 未合成発生の検証

未合成の発生例を図 6 に示す。合成後の画像は欠損しているが、写真 8 に示すように撮影したデータは存在する。このことから機体 B の画像データは写真データが特徴点として認識されにくい可能性がある。特に実験棟の様な外壁では写真精度が低い場合特徴の把握が困難であったことも考えられる。

機体 A は写真の未合成が少ないが安定性が低い。機体 B は写真の未合成が生じるが機体の安定性が高い。結果を表 11 に示す。

図 6 未合成発生例

写真 8 未合成部分の写真

表 11 適性比較

機体	A	B	C
安定性	×	○	○
写真合成性	○	×	△
長所	3次元データ作成に適する。	写真のみの活用や、ピンポイントの点検・調査に適している。	
短所	画像データの信頼性が安定しない。	撮影枚数が多いと合成時間を要する。	小型のため向きが変わりやすい。
カメラ交換性	○	△	×

4.4 パイロットの特性による影響確認実験

パイロットの個人差が機体の操縦性への影響を確認するため、パイロットの飛行データを比較した。表 12 にパイロットの飛行経歴を記載する。なお、3 名とも同じ所属会社である。

表 12 実験参加者と飛行経歴(実験時)

パイロット(呼称)	経歴時間(hr)	備考
a	43	—
b	22	ラジコン飛行機操縦経験 5 年有り
c	11	—

図 4 と同様に飛行し、その際の機体の前後方向への移動量のばらつき具合を比較し標準偏差とした。機体は表 8 に示す A および B を使用し、各パイロットは 2 回飛行した。飛行には GNSS を活用した。

4.5 パイロットの比較実験結果

実験結果を表 13 に示す。

表 13 パイロットの飛行比較

パイロット a について、機体 A を使用した場合、上昇より下降のほうがばらつきは小さい。また、1 回目より 2 回目のばらつきは小さい。機体 A と機体 B では B のほうが安定している。パイロット b について、機体 A を使用した場合、上昇より下降のほうがばらつきは小さい。しかし 1 回目より 2 回目のばらつきが大きくなる。機体 A と機体 B の比較では差はほぼ無い。機体 B は機体 A と違い上昇より下降時にばらつきが生じる。パイロット c について、機体 A を使用した場合、上昇より下降のほうがばらつきは大きい。また、1 回目より 2 回目にばらつきが生じる。機体 A と機体 B では B のほうがばらつきは小さい。ただし機体 B の 2 回目の下降時に大きくばらつきが生じた。パイロット a と c を比較した場合、飛行を繰り返すことにより上達する場合と集中力の低下を招いて退歩する場合があると考えられる。機体 B の操縦はパイロット a および c とともに安定しているが、パイロット b に関しては機体 A とあまり差異が無く機体 B は安定しない。これは、過去の経歴にラジコン飛行機操縦経験を有することから、操縦を自らの技量に依存する度合いが大きく、GNSS の利用が少なかったと考えられる。一方、機体 B におけるパイロット c は GNSS への依存が大きいと安定していると考えられるが、2 回目の下降時のばらつきが大きいことから、不意な動作が生じた場合は大きくばらつく。これらから、飛行経験が少ない場合は安定性の高い機体 B の使用が良い。ただし緊急時の操作を習得しておく必要がある。主に産業用で使用する機体 A は飛行経験が多いパイロットによる飛行が良い。

5. ドローンの点検への利活用に向けての考察

3.「ドローンによる点検方法と既存の点検方法の比較」および 4.「ドローンの機種及びパイロットの違いによる点検精度の影響」の実験結果を以下のように考察する。

5.1 点検範囲・精度

地上から撮影できない死角をドローンは撮影することができる。ドローン撮影点検の精度は高所作業点検よりは劣るが、高所においてドローンは対象に接近できることから、地上撮影点検以上の精度を得られる。また、安定性の高い機体の使用、かつ撮影精度の高いカメラの搭載の組み合わせが重要な点検精度の要素となる。なお、パイロットの能力は安定性の高い機体の場合、差異は生じないが、産業用に使用されることの多い大型機に関してはパイロットの能力および性格が機体の安定性に影響を与える。関係図を図7に示す。

図7 適用範囲と精度、機体性能およびパイロット能力の関係

5.2 コスト

高所作業点検よりドローンはコスト面において優位であるが、リード管理者を安全対策要員の配置、および写真枚数が増大することによって選別などデスクワークに労務を要しコスト増となる。機体とカメラについては一般に性能とイニシャルコストが比例すると考えられる。ただし、解像度が高い場合は写真枚数を低減させることにも寄与すると捉えられ、トレードオフの関係にあることが予想される。コストと撮影枚数、解析ツールの関係図を図8に示す。

図8 コストと撮影枚数、解析ツールの関係

5.3 作業期間

ドローンはフィールドの作業時間は短いデスクワークに時間を要する。これは図6におけるランニングコストの解析コスト部分に該当する。この解析時間の短縮が課題であり、写真枚数の低減と解析ツールの性能に依存する。また、オペレータやコンピュータの複数化などにより短縮も可能であると考えられる。

5.4 安全性

ドローン撮影点検は他の点検方法と比較し最も安全性が低い。安全性の確保が今後の課題となる。これは機体の安全性能とともにパイロット能力の向上が重要となる。撮影の難易度によって上下するため、パイロットの能力と平行して難易度を見分けるトレーニングも必要である。また、パイロットの性格によっては突発的な危険事

象が生じた際の対処が遅れる可能性がある。十分なトレーニングを課すとともに適性を判断する必要もあると考える。図9に安全性と機体性能およびパイロットの能力の関係図を示す。

図9 安全性と機体性能およびパイロット能力の関係

6. まとめ

本実験によりドローンによる点検の有効性とその適用範囲を明らかにした。ただし技術の黎明期ということもあり既存の点検と比較すると安全性を欠くことも分かった。加えて、本研究ではドローンの点検調査を建物回りが開放された良好な条件で実施したが、狭隘な棟間が多数占める都市ではさらに安全性に配慮した対策が求められると考えられる。また、機体の性能およびパイロットの特性が大きく関係することも判明した。機体の性能については今後技術革新により改良が繰り返され、コストダウンとともに安全性、作業期間の短縮も向上すると考えられる。これらは密接に関係しており、例えば高解像度のカメラを使用することにより飛行回数や撮影枚数を低減することが可能となり、安全性やコスト、作業期間の短縮などが考えられる。技術革新とともにその都度ベストミックスを模索し、得られた知見や経験を集合知として機体改良や安全ルール策定などに反映していくことが今後のドローンによる点検の進展に繋がり、都市部への適用範囲の拡大に繋がることで社会への貢献に寄与すると考える。この研究によりドローンを活用した省力化点検が普及し、わが国の抱える課題の解決の一助となることを期待する。

最後に、共同研究者である芝浦工業大学 伊代田研究室、長谷川研究室および日本ツーパイフォー建築協会、また、公開実験時にお手伝いいただいた建築研究所の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 宮内博之ほか：UAV を活用した建築保全技術開発に関する研究（その1）、日本建築学会学術講演梗概集、P1279-1280、2017.9
- 2) 石田晃啓ほか：UAV を活用した建築保全技術開発に関する研究（その2）、日本建築学会学術講演梗概集、P1281-1282、2017.9
- 3) 河辺伸二ほか、ドローン空撮による外壁タイル仕上のひび割れ調査、日本建築学会学術講演梗概集、pp.1273-1274、2017.9
- 4) 児玉文悟ほか：UAV を用いた建築物の外壁面汚染度の評価に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp.1181-1182、2017.9
- 5) 二村憲太郎ほか：無人航空機を活用した構造物へのコンクリート表面含浸材塗布の省力化検証、日本材料学会第17回コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、P1053-1058、2017.10
- 6) 兼松学：ドローンによる建物点検へのアクセシビリティの検討、第2回建築ドローンシンポジウム、テキストP23、2018.5
- 7) 須長真介ほか：UAV 写真測量精度の向上に対する実証実験結果、土木学会第72回年次学術講演会（平成29年9月）pp.1469-1470、2017.9

[2018年6月5日原稿受理 2018年7月18日採用決定]