

都市部の高層ビル街区におけるドローン外壁劣化度調査と評価システム

DB15087 川村 順平

1. はじめに

既存建築の維持管理において、健全性診断と長寿化が現在課題となっている。中でも、外壁検査に関しては建築基準法第 12 条において建築物の定期検査報告等が義務付けられており、半年～3 年に一度の調査さらに竣工から 10 年を経過した建築物については全体打診等の調査が求められている。しかし、その調査では仮説の足場等が必要不可欠であり費用や時間が嵩む。さらに、検査員の調査能力によって判定精度のバラつきが生じる等の問題点が考えられる。

そこで、近年ドローンによる検査が注目されており、ドローンに搭載したカメラで建物の外壁の画像データを複数枚取得することで、従来の調査方法よりも安価で短時間、高精度に外壁劣化を判定する内容である。しかし、その手法に関する研究には都市部の高層ビル街区における実例データがない。

そこで本研究では、日本の都市部である新宿区西新宿での大規模地震などを被害後の調査を想定して、高層ビル 2 棟の低層部分および都市部外の建築物 1 棟を対象にドローンによる外壁の撮影実験を行い、壁面素材や施工の違いによる劣化種類の捕捉基準や判定基準の定量評価や定性限界の評価を行う。

2. 研究概要

図 1 に研究の流れを示す。表 1 に調査対象を、表 2 に実験要因と水準、表 3 には実験項目と方法を示す。

表 1 調査対象

	建物 K1	建物 K2	建物 S	建物 M
経年	27	29	43	-
階数	7 階	28 階	43 階	10 階
仕上げ	磁器質タイル 45×95mm	磁器質タイル 45×95mm	吹付タイル	陶器質タイル 60×108mm 等
仕上げ工法	PC 板打込み 現場張り	PC 板打込み 現場張り	PC 板打込み	PC 板打込み 現場張り
調査時期	2017 年 9 月 8 日		2018 年 10 月 8 日 2018 年 10 月 21 日	2018 年 9 月 7 日
外観				

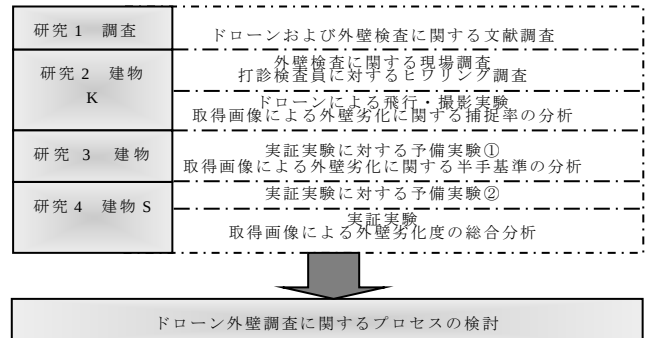


図 1 本研究の流れ

表 2 実験要因と水準

項目	要因	水準
研究 1	文献調査等	論文・シンポジウム、打診調査検査員
研究 2	ドローン	ドローン A (DJI-Matrice210)
		ドローン B (DJI-Matrice600)
		ドローン C (DJI-MavicPro)
	光学カメラ	光学カメラ A (DJI-FC220) 900 万画素 約 3.5MB
		光学カメラ B (SONY ILCE-7RM2) 4240 万画素 約 11.0MB
		光学カメラ C (DJI-X3Z) 1200 万画素 約 5.0MB
研究 3	赤外線カメラ	赤外線カメラ A (DJI-FLIR) 34.56 万画素 約 200KB
		捕捉対象 0.2mm 以上ひび割れ、0.2mm 未満ひび割れ、欠損(大・小)、エフロレッセンス、補修跡
研究 4	ドローン	ドローン A (DJI-Matrice210)
		ドローン B (DJI-Matrice600)
		ドローン C (DJI-MavicPro)
	光学カメラ	ドローン D (DJI-phantom4pro)
		光学カメラ D (DJI-Zenmuse Z30) 213 万画素 約 200~500KB
		光学カメラ E (DJI-phantom4pro) 2000 万画素
研究 4	赤外線カメラ	光学カメラ A (DJI-FC220) 900 万画素 約 3.5MB
		赤外線カメラ A (DJI-FLIR) 34.56 万画素 約 200KB
研究 4	実証実験	ドローン B (DJI-Matrice600)
		光学カメラ D (DJI-Zenmuse Z30) 213 万画素 約 200~500KB

3. 建物 K1 のドローン外壁調査

3.1 建物 K1 のドローン調査概要と分析方法

建物の概要は表 1 に示すように、ドローン調査時期は 2017 年 9 月 8 日であり、昨年の取得したデータを使用した。

所在地は、東京都の高層ビルが立ち並ぶ西新宿に位置している。

外壁劣化の捕捉率の分析方法は、調査記録図および補修記録図を元に、昨年ドローンで南面の一部を間隔書とで撮影し取得した画像データからそれぞれ劣化種類、カメラ種類ごとに比較した。ただし、ドローン調査時期が外壁の補修後であったため捕捉する劣化の種類は 0.2mm 未満のひび割れ、欠損小、補修跡のみとし、実際の画像から読み取れた劣化画像の凡例を図 2A)B)C)に示す。

3.2 分析結果および考察

劣化種類別およびカメラ別の劣化捕捉のグラフを図 2 に示す。各カメラの概要は表 2 に示す。

光学カメラ B を搭載したドローン A では、取得画像の画素分解能がおおよそ 1.18mm 前後であった。光学カメラ A はドローン C の純正カメラであり、画像の画素分解能はおおよそ 1.3mm 前後であった。光学カメラ C を搭載を搭載したドローン A では、画像の画素分解能はおおよそ 1.79mm 前後であった。

これから、予想通り画素分解能が小さいほど外壁劣化の捕捉率が高くなり、画素分解能が大きいほど捕捉率が低くなるのが改めて分かった。

さらに、図 2A)B)C)に示すように補修跡とタイルの欠損は色差がはっきりとしており、画素分解能が 1mm を超えても比較的捕捉可能なことが分かった。ただし、0.2mm 未満のひび割れの捕捉率は 30%や 12%と著しく低く、この画素分解能のレベルでは 0.2mm 未満または付近のひび割れ確認には不十分であることが分かった。ただし、今回の実験で撮影した画像は歪みが大きく、撮影精度が不十分ではなかったと考え、改善点として今年度の実験に反映する。

4. 都市部高層ビルにおけるドローン外壁調査の実験

4.1 ドローン外壁調査の概要

今年度に実施したドローン外壁調査全般に関する実験のプロセスを図 3 に示す。主な実験は 3 回行い、予備実験①を建物 M で、予備実験②を建物 S で、実証実験を建物 S である。それぞれの建物の概要は表 1 に、使用機材を表 2 に示す。

4.2 使用カメラの詳細

予備実験を経て、実験で使用するカメラをカメラ D に決定した。仕様は、有効画素数が 213 万画素と高解像度カメラと比べて低解像度ではあるが、光学ズーム 30 倍に加えてデジタルズームが 6 倍と高倍率が可能なドローン専用カメラであり、対象との距離を確保し安全な位置からの撮影が可能になる。そこで、図 5 に縦軸が画素分解能、横軸が倍率で 5m 間隔における撮影距離の評価システムを示す。その概念図を図 4 に示す。さらに、1 枚当たりのデータ量が 200KB~400KB と抑えられ、データ処理時の負担を軽減できる。

表 3 実験項目と方法

項目		方法
研究 1	文献調査等	ドローンによる外壁調査に関する文献調査 打診調査に関する文献・ヒアリング調査
研究 2	建物 K1 ドローン調査	南面の一部壁面を連続撮影。5 回実施(光学/赤外線) 劣化種類別や機材別の外壁劣化捕捉率を分析する
研究 3	建物 M ドローン調査 予備実験①	実際にドローンを使用し、以下の内容を実証実験に向けて検討する ・使用機材の選定 ・当日の役割分担・配置の検討
研究 4	建物 S ドローン調査 予備実験②	・撮影方法や条件の検討 ・飛行場所の環境状態の確認
	建物 S ドローン調査 実証実験	都市部における高層ビルの北面低層部を劣化部分を抽出し撮影を行った。ドローンとカメラ操縦者の役割分担を行い撮影精度の向上を試みて、より詳細な実物劣化の画像データを取得し判断基準の分析をする

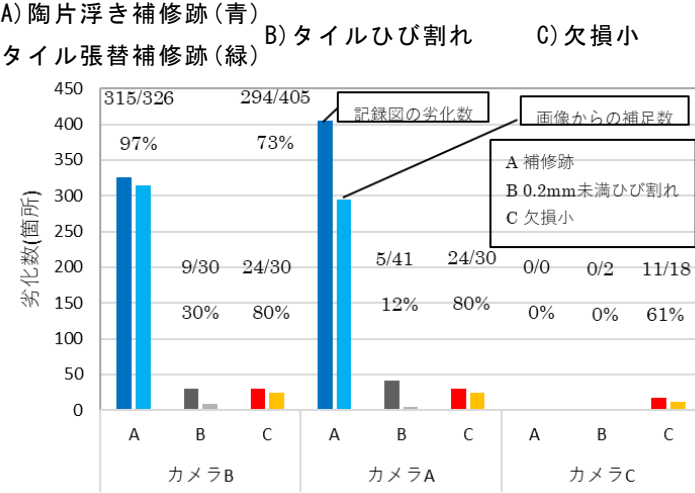
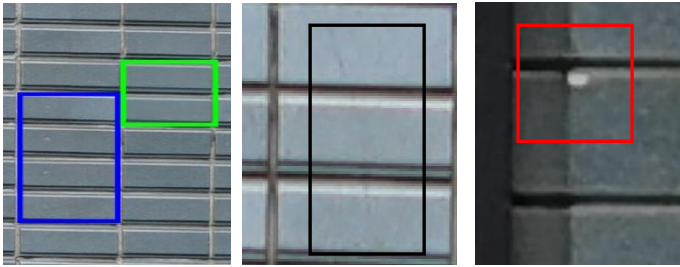


図 2 劣化種類・カメラ別の外壁劣化の捕捉率

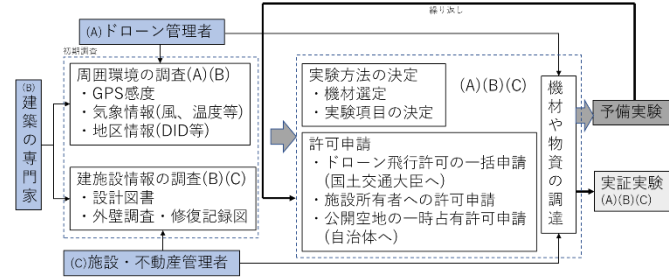


図 3 ドローン外壁調査の実験プロセス

4.3 実証実験の役割と関係

実証実験では、ドローン操縦者とカメラ操縦者はそれぞれ別の子機で操縦を行い、撮影精度の向上を図った。相互通信手段は無線を使い補助員と機体チェック員間で繋げて、随時指示をする形にした。モニター1 では、複数のモニターをカメラ操縦者および建築材料と地域の専門家の 3 人で確認した。モニター2 はドローン操縦者の

確認用として別の位置に設置した。さらに、都市部での実験で十分な安全を確保するため歩行者の誘導を警備員2人と表示物で実施した。

4.4 ドローン外壁調査の結果および考察

4.4.1 画像のひび割れによる劣化判定基準

図5に画素分解能別に確認できるひび割れ幅の程度を確認するため建物Mで撮影したクラックスケールの写真を示す。図5画素分解能1.5mmの画像で確認できる最小幅が0.55mmであった。対して、図5画素分解能0.48mmでは0.2mm幅まで確認することができ、修復すべき0.2mmのひび割れは最低この画素分解能の大きさと捕捉できるとわかる。

ここで実際のひび割れ0.1mmを図6a)で確認する。図6の左四角は実際のひび割れ部分を囲い、右四角はひび割れ幅を画素分解能の大きさと見た画像である。撮影距離21.22m、焦点距離129mmの倍率30倍で画素分解能0.48mm撮影すると、僅かに色の変化が確認できる程度でありピクセルのレベルで確認しても同じようなことが言える。そこで、図6a)を中間色域の黒を強調し加工した画像を図6b)に示す。このように簡単な加工を一段階加えることでピクセルレベルでもひび割れの色差が強調され、画素分解能が0.48mmの画像から0.1mmのひび割れを確認することができた。

これらから、0.2mmひび割れは0.48mmの画素分解能で確認が可能であり、調査記録として残すべき0.2mm未満のひび割れも解析手段によりこの画素分解能で捕捉可能なことが分かった。尚、シーリング材の劣化判定については現在分析中である。

4.4.2 高解像度、低解像度兼高倍率カメラに関する検討

先程示した画素分解能0.48mmを基準に、一般的にドローン調査で効率的だとされている高解像度カメラと本研究で使用した低解像度だが高倍率可能なカメラを比較する。比較対象は表2のカメラBおよびカメラDである。

比較項目と結果を表4に示す。仮定面積は、建物Sの一面部分(1279.74m²)を全面撮影すると仮定し、ラップ率を50%と想定した面積である。カメラDではデータ量がおおよそ1/2と抑えることが可能だが、撮影枚数がおおよそ17倍と撮影時の作業が増加するということが分かる。

これらから、カメラDは現場での作業時間を十分に確保できる場合、または離れた距離から撮影を必要とする場合には有用性が高いと考える。対してカメラB等の高解像度カメラでは、現場での作業時間が確保できない、または近い距離から安全に撮影が可能な場合には十分な性能を持つと考えられる。ただし、作業時間に関してはさらなる実証実験の必要がある。

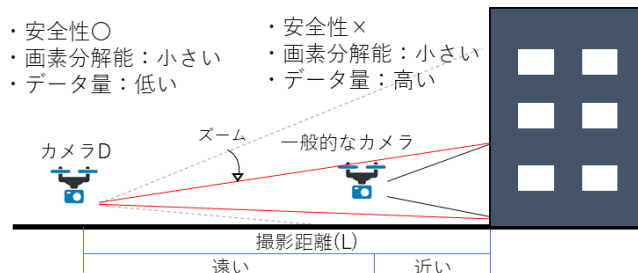


図4 撮影距離による倍率と画素分解能の関係

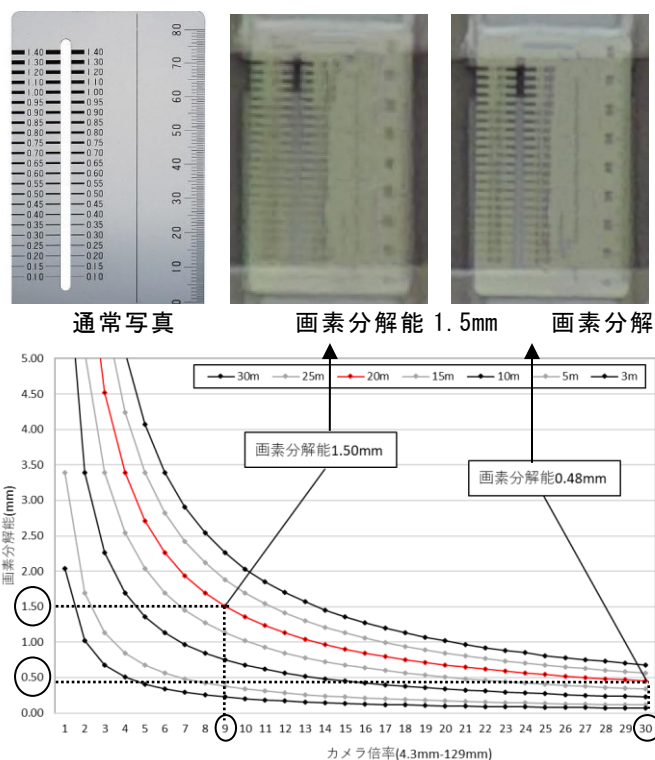
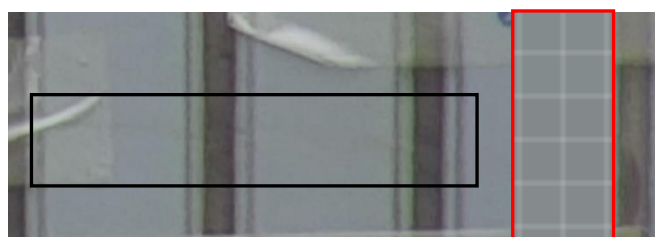
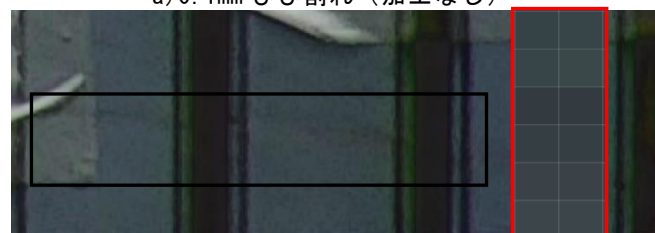


図5 カメラ倍率(X)と撮影距離(L)による画素分解能の評価システム



a) 0.1mm ひび割れ（加工なし）



b) 0.1mm ひび割れ（加工有り-中間色域の黒色の強調）

図6 画像処理による高分解能要素の識別処理(0.1mm)

4.4.3 実証実験でのドローンによる撮影結果

予備実験より、カメラ D の性能を示せた。そこで実証実験で撮影した画像を図 7 に性能グラフと共に示す。図 7c)は、撮影距離 4.6m から 20 倍率で画素分解能が 0.16mm の撮影ができ、拡大画像を確認すると、画素分解能の大きさからシーリング材の幅や細かなしわを確認することができる。図 7d)は、撮影距離 12.1m から 27 倍率で画素分解能が 0.30mm の撮影ができた。さらに、画素分解能の大きさからひび割れ幅が 1.2mm 程度あると確認できた。

4.4.4 都市部におけるドローン飛行状況と考察

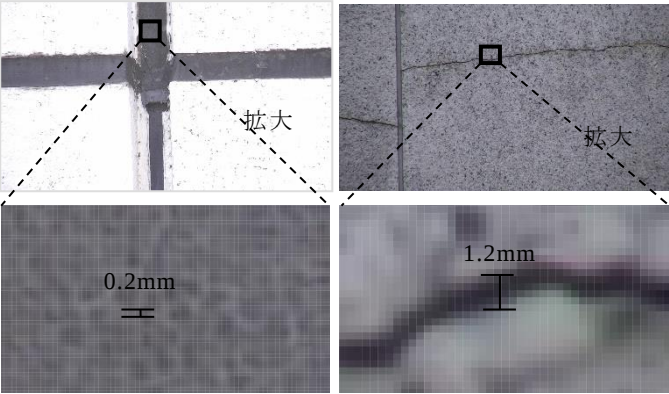
道路等で開けた場所に面した北側では、GPS 感度が良好で風による影響も許容範囲内であり、上空 65m 付近まで安定した飛行を行えた。しかし、西側では隣 2 方向に高層ビルが立ち並び、GPS 感度や通信が非常に悪く、上空ほどビル風の影響が強くなり安定した飛行が困難であった。この結果、都市部でのドローンの飛行のために、非 GPS 型のドローンを安全に飛行させる実証実験がさらに必要であると考えられる。さらに、実証実験では機体の通信ロストが発生した。都市部の高層ビルでの飛行という状況では、通信の混雑や高層ビル、そして近くに剥き出しの鉄筋や鉄骨がある場合、多くの人が同電波帯を使用している場合が多く、その潜在要因が通常の場所と比べて多く存在する。その改善点として、まだ使用されていない電波帯の使用や高周波数帯の電波の使用をすることでできると考え、来年度以降の実証実験に反映する予定である。それにより、高層ビル街区などにおいても快適な通信環境を整え、安全性の確保という問題点が解決できる可能性がある。

5. まとめ

- 1) タイル欠損や補修跡、エフロレッセンス等は色差がはっきりと表れるため画像の画素分解能が 1mm を超えても比較的容易に確認できた。
- 2) 画像の画素分解能より劣化の大きさが小さくても劣化の有無を判断することは可能であり、0.48mm の画素分解能でひび割れ幅 0.2mm を確認できた。また、0.1mm のひび割れでも画像処理で比較的確認できるようになった。
- 3) 高解像度カメラと比べて低解像度で高倍率のカメラは処理データ量が少なく、撮影距離が確保しやすいため安全性が高いが、撮影枚数が非常に多くなる。
- 4) 評価システムおよび実証実験の撮影画像より、カメラ D 等の高倍率可能なカメラで 0.2mm 幅のシーリング材のしわの程度を確認することができた。
- 5) 画素分解能の大きさから花崗岩パネルのひび割れ幅が 1.2mm と詳細に確認することができた。

表 4 高解像度カメラと高倍率カメラの比較

	カメラ D	カメラ B
有効画素数	213 万画素	4240 万画素
画素分解能	0.48mm	0.48mm
撮影範囲	921.6mm × 518.4mm	3816.96mm × 2146.56mm
データ量/1 枚	約 400KB	約 11MB
仮定総撮影枚数	23,026,786 枚	1,562 枚
仮定総データ量	10.714GB	23.43GB



c) シーリング材の画像 (上：通常、下：拡大) d) 花崗岩パネルのひび割れ画像 (上：通常、下：拡大)

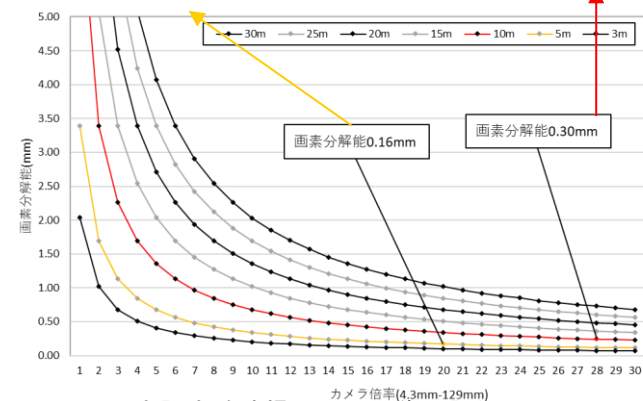


図 7 実証実験時撮影した画像と評価システム

謝辞

本研究は H30 年度私大研究ブランディング事業の一部で実施に当たり、工学院大学および守谷研修所、損保ジャパン本社ビルの施設管理者、チーム新宿の関係者各位、本学 4 年藤井和裕さんにドローン調査、議論などで多大な助力を賜り、感謝致します。また、本研究の一部は工学院大学 ISDC プログラム(株式会社フジタ)による。

参考文献

- 1) 日本ビソー株式会社、学校法人 K 大学 新宿校舎外壁シーリング更新他工事施工計画書、2017 年
- 2) 乙幡祐平、超高層ビルのタイル施工部材における打診検査時反発波の周波特性・エネルギーと劣化性状の関連評価、2017 年
- 3) 宮内博之、ドローン技術の動向と建築維持保全への利活用の検討、2016
- 4) 日本建築学会、第 2 回ドローンシンポジウム「ドローン×建築 2017」