

都市建築と災害地域におけるドローンを利用した被災度判定技術の検討

DB-16046 岩辺 孝幸

1. はじめに

近年、日本では地震だけでなく、局所的な豪雨や河川の氾濫など多くの自然災害が発生している。新しい建築は、山間部においては盛土や切土、森林の伐採により土地に土着しづらく強度が落ちてしまい、河川などが氾濫しやすくなってしまふ。また、都市部と市街部では自然災害に対する建築物の被害状況の把握において、多くの違いがあり、今後様々な場面において多くの人出や時間を必要としないドローンの活用が必要になっている。以下の表 1 に地域別の災害時の被害状況把握の概要を示す。

今回は、都市部では 100m 以上の超高層ビルの外壁、ガラスの種類の把握。災害後に迅速な復旧作業が行えるように外壁材や構造材料等をまとめたマップの作製を行う。市街部では、河川の氾濫による外壁に付着する泥の境目の判定時においてのドローンの活用方法を検討する。例として写真 1 がある。

2. 研究概要

本研究の流れを図 2 に示す。

市街部の建築に使用される外壁材は以下の表 1 にまとめる。今回の実験では、外壁材の使用割合の多いものを実験対象とする。試験体は、泥の付着を光学カメラ、赤外線カメラで確認できるかを判定しドローン活用の方法を考察する。また、都市部の調査項目を選定し、復旧・点検作業の難易度や必要な時間に応じて必要な人出などを予想できるように

表 1 地域別の災害時の被害状況把握の概要と使用外壁材

地域別	概要
都市部	現在、第 5 世代多様な年代の超高層ビルが存在している。市街部に比べ表面積が大きく、地震などの災害時に外壁の落下やガラスの破損など超高層建築物の壁面の安全性の重要性が高い。よって、平常時における外壁の情報収集が求められている。そこで、劣化の判断としてチョーキングや赤外線カメラによるタイルの浮きなどがあり、その判断にドローンの活用が可能を検討する。
	分類
	外壁材の種類
	コンクリート
	陶磁器タイル
	石材
	項目
	概要
	実験 1 外壁の構工法と材料を目視で確認
	実験 2 シーリングを押し当て強度による劣化度を確認
	実験 3 Google 機能を利用し超高層ビルの材料と構工法のマップを作成する
市街地域部	概要
	個々の住宅の被害状況の把握が重要であり、図 1 に示す通り川の氾濫による水害の被害状況の基準として床上浸水高さ 45cm が基準となっている。一般住宅の基礎高さが 45cm であり、それ以上に浸水すると土台の木材が浸ってしまう、強度が半減して建て替えを行わなくなってしまうため。また、建築被害を早期に把握する必要がある、被害状況の確認の容易性が求められる。
	分類
	外壁材の種類
	モルタル
	漆喰
	コンクリート
	窯業系サイディング
	ALC
	石材
	木材
	項目
	概要
	実験 1 河川の氾濫による泥水の構成内容の赤外線カメラ光学カメラでの写り方の確認
	実験 2 様々な材料の乾燥時間の違いによってカメラの写り方の違いの確認
	実験 3 材料別による浸水時間の長さによる含水量と乾燥時間による含水量の変化を確認し、実際にドローンを飛ばし距離と角度の認識限界距離を確認する

まとめる。都市部における外壁調査項目は、表 2 にまとめる。

3. 都市建築物の外壁カーテンウォールの健全性調査

3.1 実施概要

昨年の川村の実験からドローンによる外壁撮影が可能であることが確認されたため、内側においての安全性を確認し点検内容を模索していく。100m 以上の超高層ビルの外壁調査項目を決定し、実地調査を行う。調査項目は、表 2 に示す。ジョイントのタイプやカーテンウォール工法の種類などを調査する。超高層ビルの災害時に迅速な改修工事が行えるよう必要な情報をまとめる。

3.2 都市部におけるの実験方法

外壁の実地調査による外壁の写真から、使用外壁材を判断する。また、工学院大学のファスナーの劣化度を確認。ファスナー点検箇所は、東日本大震災時にひずみの大きかった

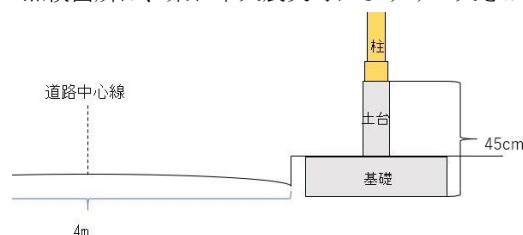


図 1 基礎高さの規定と道路幅との関係

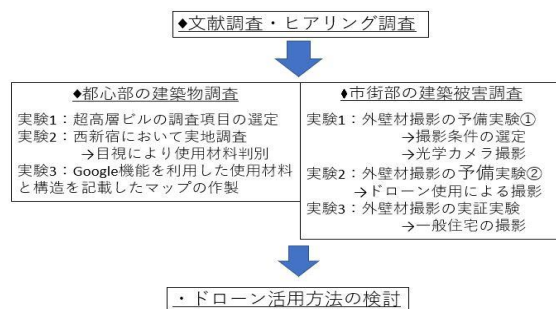
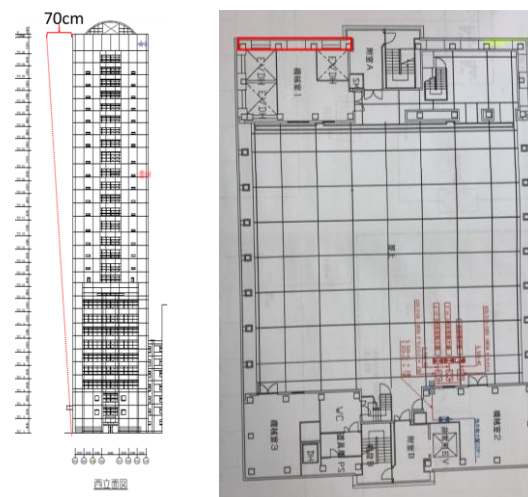


図 2 研究の流れ



a) 工学院大学立面図

b) 工学院大学平面図

写真 1 工学院大学参考図面

写真1の赤で囲われた部分の、4、20、21階を対象とする。そこから、年数経過によるファスナーの劣化状況をまとめ、危険性を確認する。

3.3 結果

写真2より、東日本大震災などの自然現象の外的要因により、ファスナーを覆う耐火被覆にひびや剥落が起きていた。また、その部分のファスナーには、錆が入っており劣化している可能性がある。また、図3に示す通り、西新宿において33棟カーテンウォールを使用した超高層ビルがあり集合住宅を含めたら40棟以上にのぼり、市街部よりも面積当たりの外壁面積が非常に多いため、外壁の安全性が重要である。そして、都市部のカーテンウォールはパネル型が多く、その次に柱通し型と腰壁型が多い。また、ガラスとタイルを多用したものが多かった。

4. 地域・市街部の浸水高判定外壁調査

4.1 実験の目的

日本には多くの河川があり、現在でも多くの水害が発生している。水害による浸水高の判定は、写真2から至近距離での光学カメラ撮影が可能なが分かった。そこから、ドローンによる遠距離撮影が可能か調査する。また、浸水高の判定の赤外線カメラの可能性を調査する。

4.2 実験概要

以下、表3に使用材料を示す。試験体と泥水、浮遊物の状態の変化による付着の変化を確認する。

4.3 ドローンの撮影プロセス

ドローンの撮影プロセスは、図5に示す。A.ドローン管理者、B.建築の専門家、C.自治体・建物管理者の協力関係を強化することで撮影がスムーズにいくことがヒアリング調査によって分かった。

4.4 外壁材の浸水実験

4.4.1 実験手順(実験1：浸水予備実験)

泥水を30秒かき混ぜ、外壁材を30秒浸す。外壁材を立てかけ、サーモグラフィー法に基づき、試験体を2方向から赤外線ライトで照らし、均等に試験体を温め、5分ごとに光学カメラ、赤外線カメラで撮影し、30分間で撮影終了とする。

4.4.2 実験手順(実験2：材料別特徴把握実験)

試験体の色を塗り乾燥させ、泥水を用意する。乾燥期間を2日、1日、1時間の3種類を用意する。泥水を20分ごとにかき混ぜ、泥が浮遊するようにし、1時間浸し続ける。浸し

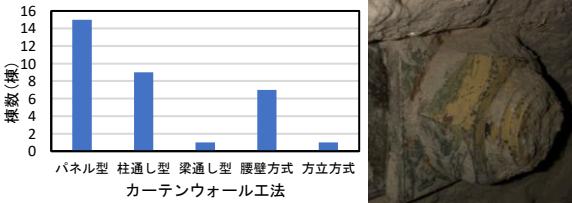


図3 都市部のカーテンウォール工法別棟数

た後、環境を一定にした場所にて乾燥させる。乾燥後、光学カメラと赤外線カメラにて試験体の状態の撮影を行う。

4.4.3 実験手順(実験3：ローン飛行実験)

試験体を表3に示し、配置は図4に示す。浸水時間と乾燥時間による含水率と赤外線捕捉率の変化を調べる。また、その結果をもとに河川氾濫後の実測に有効な最高限度の乾燥期間を判定する。また、実際にドローンを飛ばし、撮影可能な距離と角度の関係を確認する。さらに、赤外線カメラの性能を調べ、画像分解能から撮影に有効な距離と倍率を算定する。配置は図4に示す。浸水高の撮影角度などの条件を変え撮影を行う。

4.5 考察・結果

実験1では、写真2より泥の濃度が高くなると、赤外線力



写真2 水害発生浸水高跡

(発生：東日本大震災津 2011.3.11 台風19号 2019.10)

表2 使用材料

使用する砂		D1	D2	D3
大井川砂		0.3mm以下	1.2~0.3mm	1.2mm以上
項目	使用した砂	濃度	使用外壁材料	
実験1	泥水1	D1:D2=3:1	10%	窯業系サイディング
	泥水4		20%	壁紙(漆喰風)
	泥水7		40%	窯業系サイディング
	泥水2	D1	10%	壁紙(漆喰風)
	泥水5		20%	窯業系サイディング
	泥水3	D2	10%	壁紙(漆喰風)
	泥水6		20%	窯業系サイディング
				壁紙(漆喰風)
実験2	項目		浮遊物の有無	水：砂(：浮遊物)
	泥水1	D1:D2=3:1	なし	100：20
	泥水2		あり	100：20：2.5
	泥水3		なし	100：30
	泥水4		あり	100：30：2.3
	泥水5		なし	100：40
	泥水6		あり	100：40：2.1
	項目	概要		
	コンクリートブロック種(白、黒)	気乾比重：なし、圧縮強さ：785N/cm2、容積吸収率：20以下、種別：普通コンクリートブロック		
	合成樹脂塗料(白、黒)	合成樹脂(シリコンアクリル、フッ素)、顔料、紫外線劣化防止剤(HALS)、防カビ剤、サビドメ剤、水		
	パーミキュライト	雲母を主成分とする蛭石を700℃以上で焼いたもの。多孔質で吸水率が高い。今回は、細かく砕いたものを適量入れた。これにより、河川の氾濫時の浮遊物を再現。		
実験3	窯業系サイディング(白、黒)			
	木材(白、黒、原色)			
	項目	概要		乾燥時間
	コンクリートブロック	3×3=59cm×119cm		1日、直前
	松材	罫張りにより外壁材を再現		1日、直前
	普通コンクリート	グレー、黒、白		1日、直前
	窯業系サイディング	黒、白		1日、直前
	タイル張り			1日、直前
	項目	概要		比率
	使用泥水	水：泥：浮遊物		100：40：2
				100：40：0

メラで確認すると温度変化の速度が遅くなり、浸していない部分とのり温めることで、泥の付着部分とそうでない部分の温度変化の差が出る事が予想される。

また、窯業系サイディングは表面が凸凹しているため泥の付着が多く、壁紙に比べ、温度変化の差が顕著に表れた。

実験2では、写真3より有機材の付着部分が多い場所においては、光学カメラと赤外線カメラの両方で確認できるが、浮遊物の付着が少ないものと付着が泥のみのものは、赤外線では確認しづらかった。また、赤外線カメラは相対温度を表示するものを使用しており、外気と試験体の温度差が大きいため、試験体自体の表示色の差が少なかった。

実験3では、図6よりコンクリートブロックとコンクリート、窯業系サイディングの含水率は、増加が小さかった。木材は、時間経過とともに含水率が増加していた。漆喰は、含水量が多く2時間で急激に含水し、それ以降変化が少なかった。図7よりコンクリートブロックとコンクリート、窯業系サイディング、漆喰は時間経過とともに含水率は減少していったが、含水前の水分量には戻らなかった。木材は雨の湿気などに左右され、含水率の変化が安定しなかった。図8より赤外線カメラ撮影では、浸水高の判定が最高からの変化が材

料により異なり、材料ごとの違いを把握することが重要。遅くとも24時間以内に撮影することが望ましい。また、写真4、5より、距離に関係なく光学カメラでは浸水高さの判定

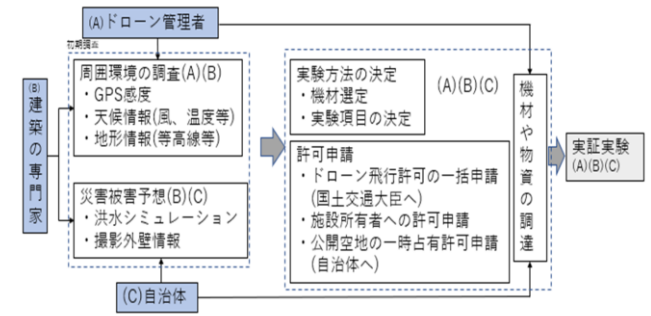


図5 ドローン撮影のプロセス

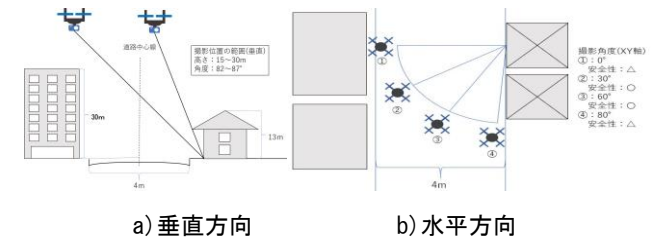


図4 実験3の配置図

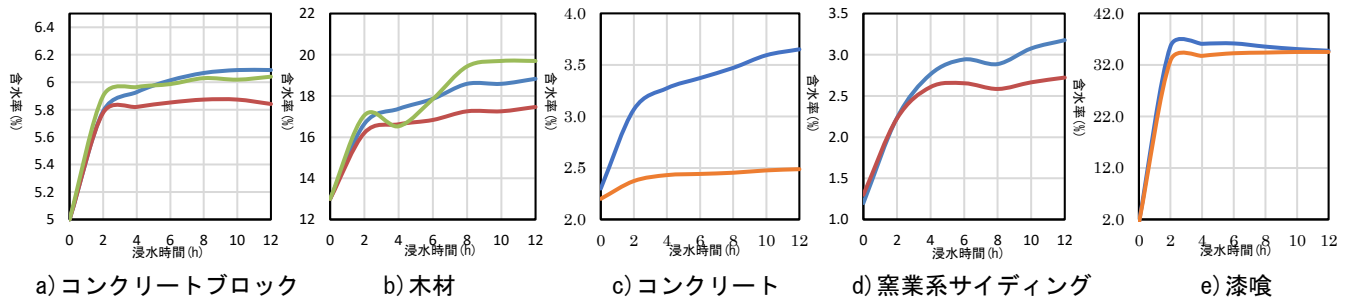


図6 汚水の浸水を想定した実験での浸水時間と含水率のグラフ(同一材:2~3種)

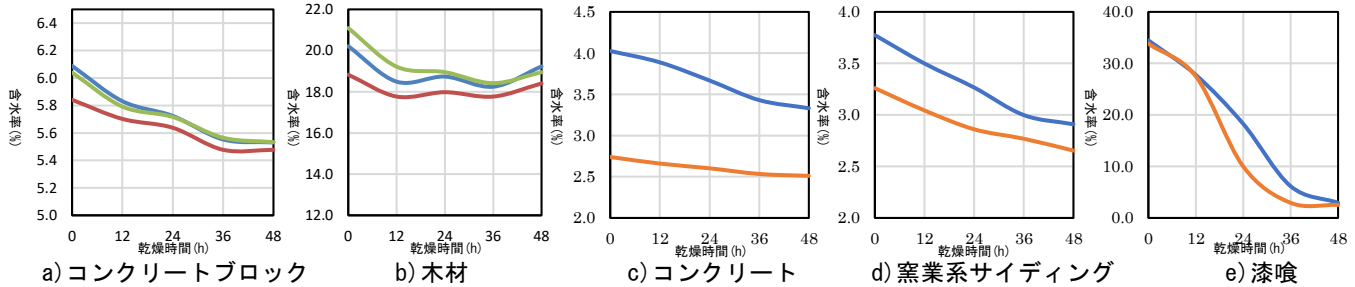


図7 汚水の浸水を想定した実験での乾燥時間と含水率のグラフ(同一材:2~3種)

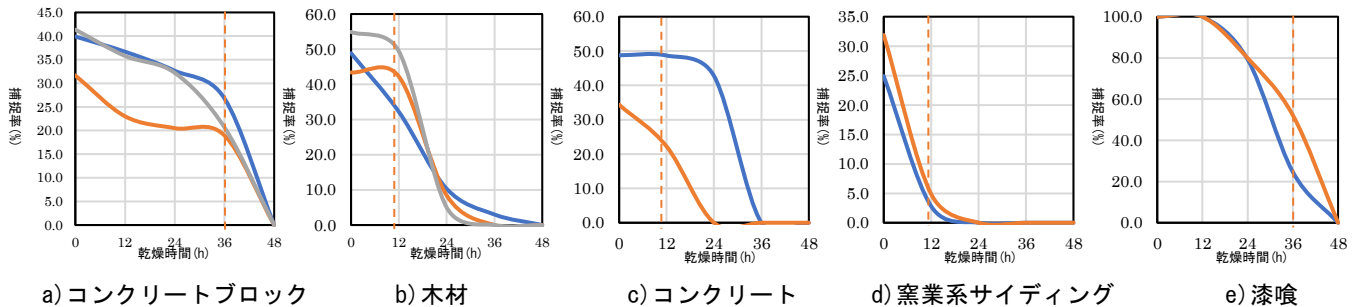


図8 汚水の浸水を想定した実験での乾燥時間と赤外線カメラ捕捉率(同一材:2~3種)

(備考 点線: 浸水高さを認識できる時間の最低ライン)

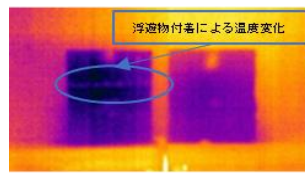
表3 カメラと距離の認識限界距離

材料	乾燥時間	撮影距離(m)	光学カメラ	赤外線カメラ
コンクリートブロック	1日	15×15	×	○
		30×30	×	○
	直前	15×15	×	○
		30×30	×	○
木材(下見張り)	1日	15×15	×	○
		30×30	×	×
	直前	15×15	×	○
		30×30	×	○

(備考 ○：浸水高が確認できる ×：水高が確認できない)

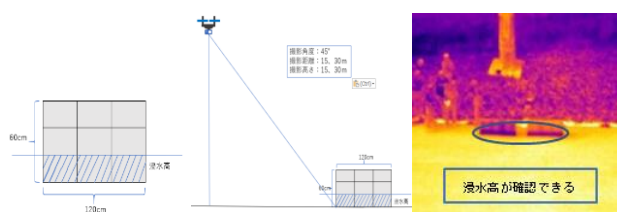


a) 光学カメラ撮影



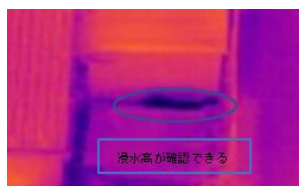
b) 赤外線カメラ撮影

写真3 有機材の付着が多い試験体(左)と少ない試験体(右)

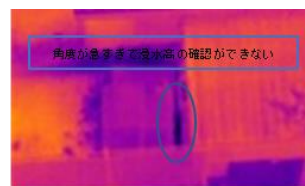


a) コンクリートブロック b) 撮影条件 c) 赤外線カメラ撮影

写真4 15m×15m 位置によるコンクリートブロック撮影



a) 正面



d) 80度

写真5 15m×15m 位置による角度変更赤外線カメラ撮影

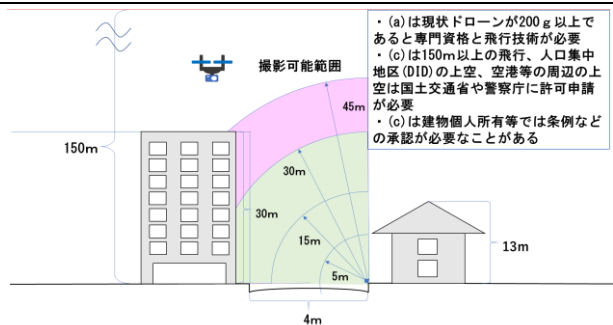
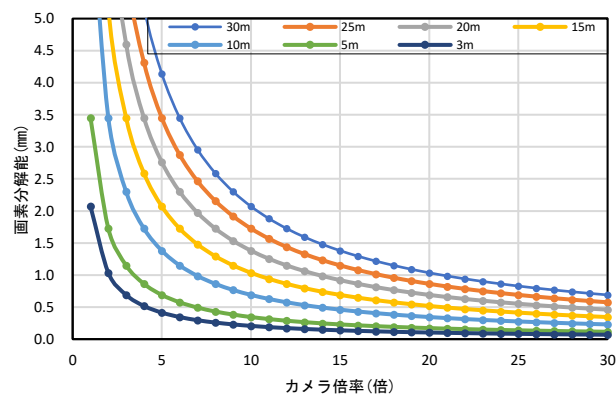
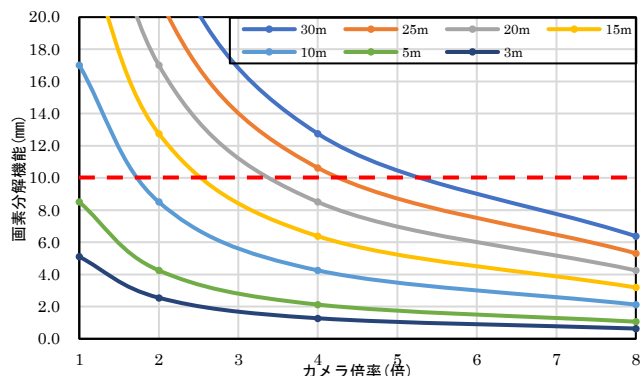


図9 ドローン撮影可能範囲

ができなかった。赤外線カメラでは、距離15mにおいて浸水高さが材料に関わらず確認できたが、距離30mでは乾燥時間1日の木材のみ浸水高さの確認がしづらかった。より浸水高さは確認できたが写真より赤外線カメラ左のコンクリートブロックは、詰めたモルタルが水を吸い上げ他と差ができていた。また、写真5からわかる通り、角度が鈍角になると壁の高さ方向の認識が次第にしづらくなってしまいうため、60°よりも正面に近い方向で撮影することが望ましいことが



a) 光学カメラ



b) 赤外線カメラ

図10 光学カメラと赤外線カメラのカメラ倍率と撮影距離による画素分解能の評価システム

分かった。また、分解能が10mm以上大きいと判別が正確ではなくなってしまう可能性がある。

5 まとめ

- 1) カーテンウォールをつくるすファスナーの安全性は自然的な外的要因により差はあるが劣化する可能性がある。
- 2) 浸水高外壁材遠距離撮影においては光学カメラよりも赤外線カメラの方が撮影できる可能性が高い。
- 3) 材料によって表面の乾燥速度に差があり、材料ごとの特徴を認知しておく必要がある。
- 4) 多くの材料では乾燥時間が24時間を超えると浸水高の認識ができなくなってしまうことが確認できた。

謝辞

本研究はR元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、工学院大学およびチーム新宿の関係者各位、本学3年井戸川知生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PICS)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) 川村順平、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 2018年
- 3) 日本建築学会、第3回ドローンシンポジウム「ドローン×建築2019」