

## 第8章

### 建築物Fに関する調査分析

## 8.1 検討目的と方法

### 8.1.1 調査の目的

近年、UAV（以下、ドローン）の建築物の災害調査等への活用が注目されている<sup>[8.1-1]</sup>。本調査では、ドローンを用いた被災調査の有用性を確認することを目的として、実際の地震で被災した庁舎建物を対象として、人間とドローンによる建物損傷状況の視認性の比較や、ドローンでの調査可能範囲および損傷計測作業の効率性の確認などを行う。

### 8.1.2 調査者

調査者は下記に示す計 6 名である。

建築研究所構造研究グループ 主任研究員 向井智久

建築研究所材料研究グループ 主任研究員 宮内博之

建築研究所構造研究グループ 主任研究員 渡邊秀和

建築研究所構造研究グループ 研究員 毎田悠承

株式会社 WorldLink&Company (SkyLink Japan) 奥村周也, 福元一輝 (業務受注者)

### 8.1.3 調査日程

調査は下記に示す日程により実施した。

2017年5月30日(火)

08:00 ホテル 発

08:48 建築物 F 被災度区分判定の実施

12:00 建築物 F 被災度区分判定の終了

2018年8月4日(土)

08:00 ホテル 発

09:00 作業内容打ち合わせ

10:00 外部調査, ドローンを用いた外部調査 (敷地全体, 最上階などの全景)

12:00 昼食

13:00 室内調査

15:00 ドローンを用いた外部調査

17:30 ホテル 着 1日目調査終了

2018年8月5日(日)

08:00 ホテル 発

08:50 建築物 F 調査の実施

12:00 昼食

13:00 建築物 F 調査の実施

17:00 空港 着 2日目調査終了。

## 8.2 建物概要

調査対象としたのは、2016年4月に熊本県にて発生した地震により被災した建築物Fである。1974年に建設された地上3階、地下1階、塔屋1階（1階寸法：約46.8m×約20.5m）の鉄筋コンクリート造のラーメン構造である。基礎は直接基礎である。2010年に枠付き鉄骨ブレース設置による耐震補強が施されている。建物外観を写真8.2.1.1に示す。



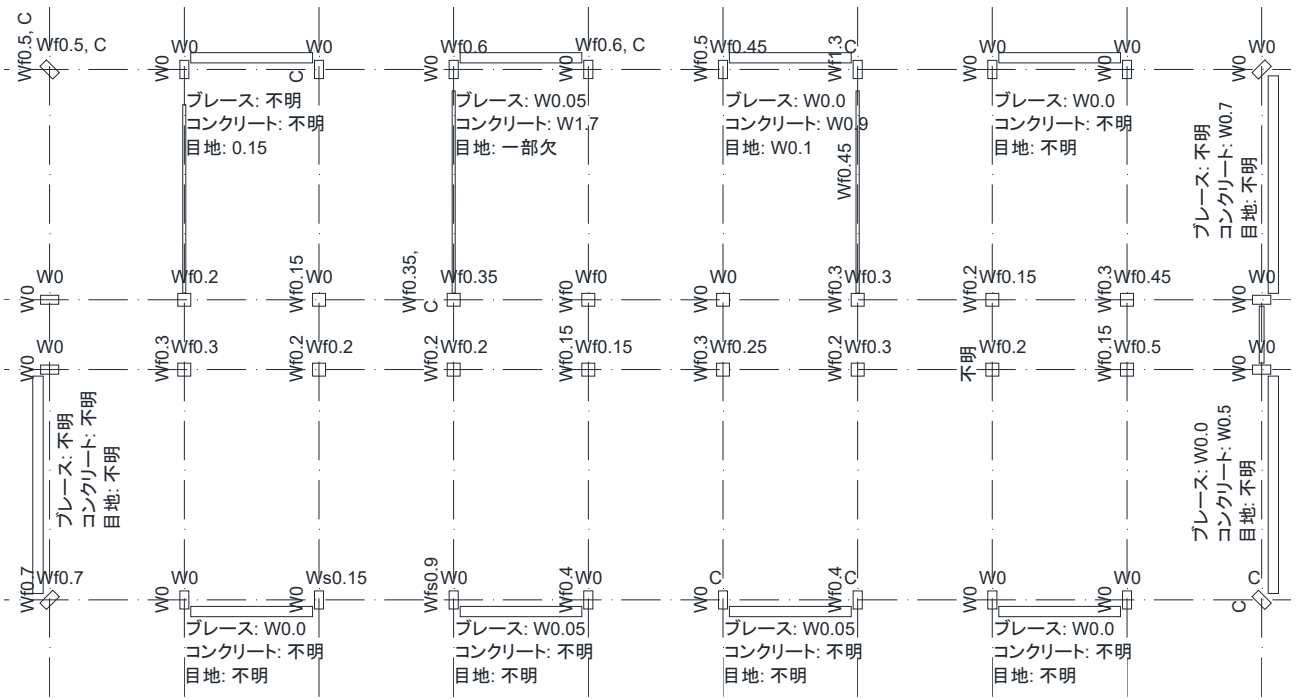
写真 8.2.1.1 建物外観

## 8.3 被害概要

地震から約1年が経過した2017年5月に本対象建物の被災度区分判定を実施した。その結果、中破となった。被災度区分判定結果を以下に示す。

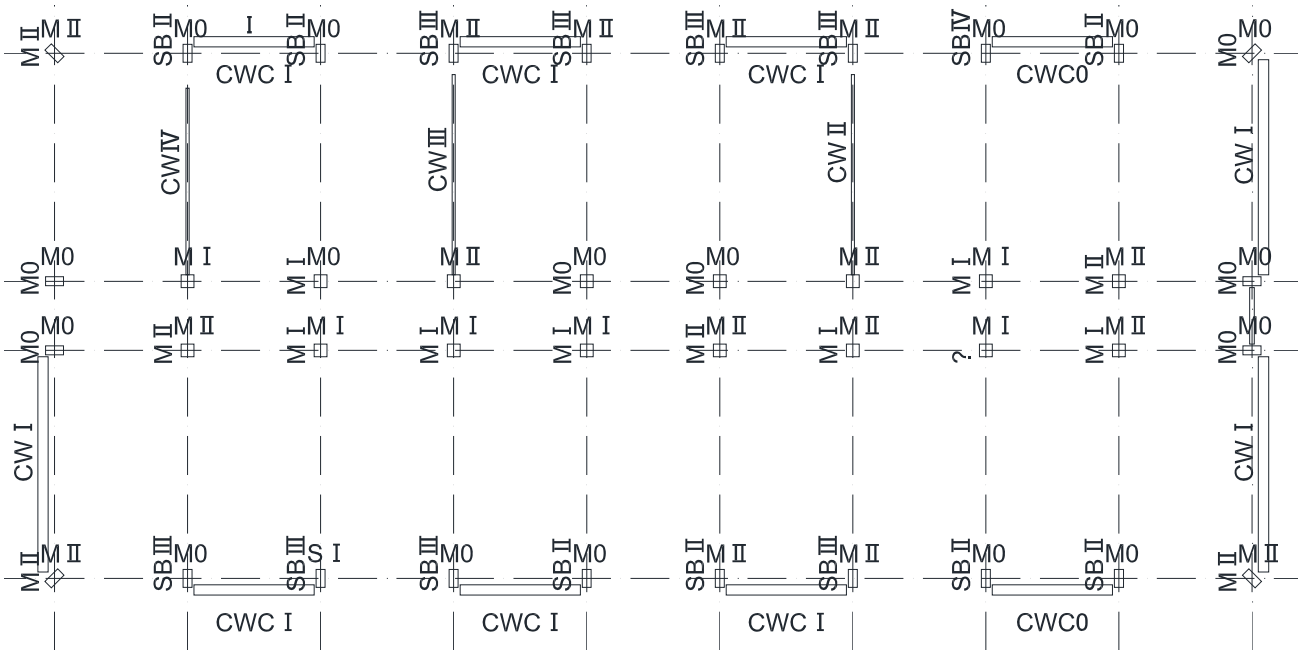
### 8.3.1 損傷度

損傷一覧および損傷度の一覧を図8.3.1.1および図8.3.1.2に示す。



凡例 Wf : 曲げひび割れ幅 Ws : せん断ひび割れ幅 W : ひび割れ幅 C : コンクリート圧壊

図 8.3.1.1 損傷一覧



凡例 S : せん断柱 SM : 曲げせん断柱 M : 曲げ柱 SB : 梁支配型せん断柱  
 MB : 梁支配型曲げ柱 W : 柱無し壁 CW : 片側柱付き壁 CWC : 両側柱付き壁

図 8.3.1.2 損傷度一覧

8.3.2 被害状況写真

	
<p>写真 8.3.1.1 損傷度 IV の片側柱付壁 かぶりコンクリートが剥落し、壁縦筋が露出している。</p>	<p>写真 8.3.1.2 損傷度 IV の短手方向梁 梁の端部がせん断破壊している。</p>
	
<p>写真 8.3.1.3 3階天井の落下 3階では、天井の落下によって現在使用できない状態</p>	<p>写真 8.3.1.4 鉄骨ブレース外観</p>
	
<p>写真 8.3.1.5 鉄骨ブレース周囲の損傷 鉄骨ブレースの周りの目地部及びコンクリートが剥落しており、損傷が見られる。</p>	<p>写真 8.3.1.6 鉄骨ブレースのひび 鉄骨ブレースの塗装にひび模様が観察された。このひび幅は.000mm~0.05mm とかなり小さい。</p>

8.3.3 損傷度上部構造の耐震性能残存率Rによる判定（層崩壊）

本建物は、鉄骨ブレースを用いた耐震補強を行っている建物である。そこで、補強部材を無視した場合と、考慮した場合のそれぞれについて、被災度区分判定を実施した。それぞれの結果について、長手方向、短手方向を図8.3.3.1～8.3.3.4に示す。ただし、本検討では鉄骨ブレースを鉄筋コンクリート造両側柱付壁と同様に扱うこととし、部材強度比を6として計算した。また、耐震性能低減係数 $\eta$ も鉄筋コンクリート造両側柱付壁のせん断壁と同等と見なして計算を行った。

- ① 判定対象とする階と方向 1階
- ② ゾーニングの要否：不要（建物全体で判定する）  
必要（ゾーニングした区画を平面図などで明示し、区画ごとに判定する）
- ③ 構造部材の損傷度調査結果

長手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	1		39						40
調査部材数	1		39						40
	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×2+	×6=	40=Aorg
損傷度0			17						17.0=A0
損傷度I	1		6						6.7=A1
損傷度II			16						12.0=A2
損傷度III									0.0=A3
損傷度IV									0.0=A4
損傷度V									0.0=A5
									$\Sigma A_j = 35.7$

耐震性能残存率R= 89.13      性能残存率Rによる被災度区分：**小破**

図8.3.3.1 被災度区分判定結果（長手方向・鉄骨ブレース補強無視）

長手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	1		39					8	48
調査部材数			24					8	32
	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×2+	×6=	72=Aorg
損傷度0			8					2	20.0=A0
損傷度I			6					6	39.9=A1
損傷度II			10						7.5=A2
損傷度III									0.0=A3
損傷度IV									0.0=A4
損傷度V									0.0=A5
									$\Sigma A_j = 67.4$

耐震性能残存率R= 93.61      性能残存率Rによる被災度区分：**小破**

図8.3.3.2 被災度区分判定結果（長手方向・鉄骨ブレース補強考慮）

短手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数			21	16			3		40
調査部材数			20	16			3		39
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	42 =Aorg
損傷度0			7						7 =A0
損傷度Ⅰ			7						6.65 =A1
損傷度Ⅱ			6	7			1		10.6 =A2
損傷度Ⅲ				8			1		3.8 =A3
損傷度Ⅳ				1			1		0.1 =A4
損傷度Ⅴ									0 =A5
									$\sum A_j = 28.15$

耐震性能残存率R= 67.02 性能残存率Rによる被災度区分： **中破**

図 8.3.3.3 被災度区分判定結果（短手方向・鉄骨ブレース補強無視）

短手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数			15	16			3	3	37
調査部材数			14	16			3	3	36
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	54 =Aorg
損傷度0			3						3 =A0
損傷度Ⅰ			7					3	23.75 =A1
損傷度Ⅱ			4	7			1		9.1 =A2
損傷度Ⅲ				8			1		3.8 =A3
損傷度Ⅳ				1			1		0.1 =A4
損傷度Ⅴ									0 =A5
									$\sum A_j = 39.75$

耐震性能残存率R= 73.61 性能残存率Rによる被災度区分： **中破**

図 8.3.3.4 被災度区分判定結果（短手方向・鉄骨ブレース補強考慮）

### 8.3.4 被害概要のまとめ

被害概要を把握する目的で 2017 年 5 月に行った被災度区分判定のまとめを以下に示す。

- 被災度区分判定を行った結果、1 階の短手方向の判定によって建物の被災度を中破とした。なお、判定の際に鉄骨ブレース補強を考慮したところ、耐震性能残存率 R は値が上昇したものの、被災度は変わらず中破のままであった。
- 鉄骨ブレースにはわずかに軸方向と直交する方向にひびが確認出来たが、地震時はほとんど弾性範囲だったと考えられる。周囲のコンクリートに損傷が見られる場合は損傷度Ⅰとし、全く損傷がない場合は損傷度 0 として判定を行った。
- 短手方向は、柱の損傷は少なかったものの、取り付く梁のせん断破壊が見られたため、被災度が大きくなった。

## 8.4 分析概要と結果

### 8.4.1 調査項目とその概要

調査する項目は、下記の項目である。それぞれの項目において調査の概要を示す。

- (1) 現在の損傷状況の把握、および人間による被災度区分判定の再実施、ドローンによる場合との比較

前回、被災度区分判定を実施したのは2017年5月で、本調査はそれから1年以上が経過しており、その間に建物の補修が行われている。また、余震などにより建物の損傷状況が変わっている。したがって、以前調査した場所の損傷を再確認し、現在の損傷状況を把握するとともに、人間による被災度区分判定を再実施する。また、ドローンを用いて被災度区分判定を実施した場合の結果と比較し、人間とドローンの判定結果の差異を確認する。さらに、ドローン調査結果と比較検討できる場所を選定し、損傷（ひび割れ幅、長さ、仕上げ損傷、鉄骨ブレース仕上げ塗装のひびなど）を人間の目視調査により詳細に確認する。

- (2) ドローンによる建物外部、内部の状況、損傷等の撮影、調査、調査可能範囲検討、人間のよる調査との比較

ドローンを用いて、建物の外部、内部の状況等を撮影し、評価する。また、ドローンの調査可能範囲や条件等を実際の建物で検討する。また、各撮影項目において、ドローンによるものと、人間によるものの損傷状況の視認性や所要時間、人工等を比較検討する。さらに、植栽や電柱などの障害物による調査範囲の制限が発生しないかを把握する。各撮影項目、内容、機材等の緒元を表8.4.1.1に示す。各項目の概要を下記に示す。

#### 1) Shoot\_1-1p

PhaseOne（1億画素カメラ）を用いて建物全景を遠距離から撮影し、建物の全体像を把握することを目的とする。

#### 2) Shoot\_2-1p

PhaseOne（1億画素カメラ）により、部材のひび割れを撮影し、ひび割れ幅の評価精度を確認する。撮影距離をパラメータとする。Shoot\_2-1pとShoot\_2-2xでは、外壁面のひび割れをまず人間により計測、評価している。それらのひび割れの計測ポイント位置図を図8.4.1.1に示す。

#### 3) Shoot\_2-2x

Shoot\_2-1pに対して、カメラをZenmuse X5S（2000万画素カメラ）に変更して、それにより部材のひび割れを撮影し、ひび割れ幅の評価精度を確認する。撮影距離をパラメータとする。

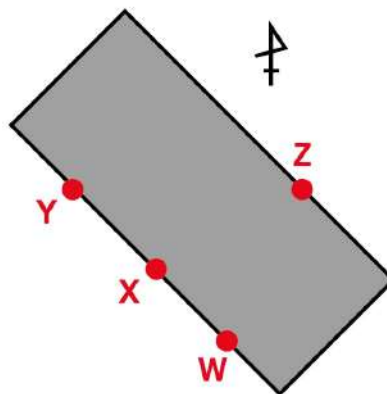


図8.4.1.1 Shoot\_2-1pとShoot\_2-2xのひび割れ幅計測ポイント位置図



4) Shoot\_2-3p

PhaseOne (1 億画素カメラ) を用いて壁面オルソ (「オルソ」: 写真上の像の位置ズレを取り除き, 空中写真を傾きのない正しい大きさと位置に表示される画像に変換すること。) 撮影を行った。撮影距離は, 9m に統一し, 距離を確認する監視者を置き, 距離が一定になるように管理した。オーバーラップ 80%, サイドラップ 70% として (「オーバーラップ/サイドラップ」: 複数の画像撮影による測量などでは, 撮影する 1 枚ごとの写真の画角をなるべく重ねることで, ソフトウェアによる合成精度を向上させ, 歪みの少ない立体モデルを作成することができる。この写真同士の重なっている面積の割合のこと。), 手動飛行で図 8.4.1.2 に示すような航路で撮影を行った。オーバーラップ率は, 飛行スピード (Vertical Speed) を参考に設定オーバーラップ以上になるように調整し, 再度ラップはあらかじめ航路幅 (ピッチ) を算出し, 地面にチョーキングし, パイロットがチョークでつけた目印の真後ろに立ち, ドローンがその真上を飛行するよう確認することで精度を担保した。

5) Shoot\_2-4x

Shoot\_2-3p に対して, カメラを Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) に変更して撮影した。

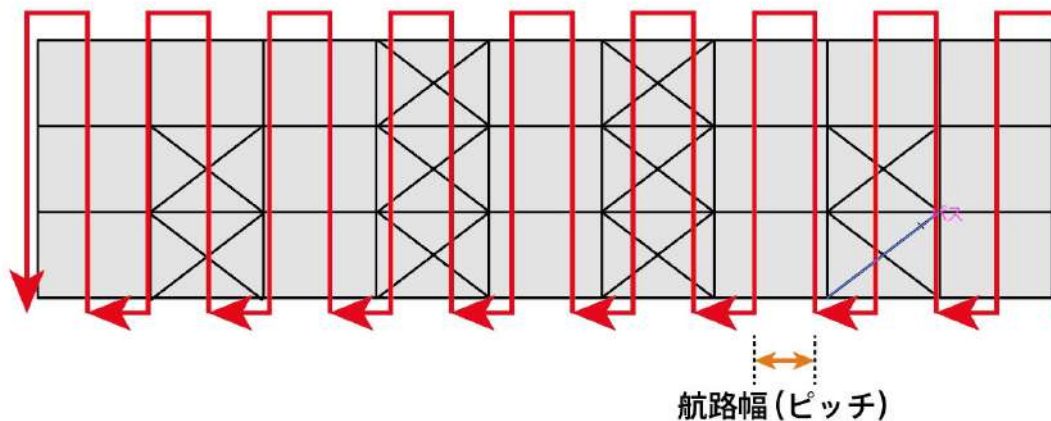


図8.4.1.2 Shoot\_2-3pとShoot\_2-4xにおける, 庁舎の南西立面図および航路図

6) Shoot\_3-2x

Inspire 2 に搭載した Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) により, 屋根オルソ撮影を行った。屋上画に対して撮影距離は 23m であったため, 建物高さ 14m をプラスして, 地上から高度 37m を飛行させた。

7) Shoot\_4-1x

建物内部を外部から撮影し, 内部のひび割れや内装材の被害状況を検知できるかという目的での調査であったが, 当日は快晴でガラスの反射によりほとんど確認できなかった。また, 窓を開けることもできなかったため, 本調査項目は断念した。室内での手持ち撮影に変更した。その際のカメラは X5S (2000 万画素カメラ) である。

8) Shoot\_5-1x

建物の傾斜の計測が可能かどうかを把握する目的で, 錘をつけた紐をドローン (Mavic Pro) に結びつけ, Inspire 2 に搭載した Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) を飛行させながら撮影した。動画と静止画での撮影を行った。

9) Shoot\_5-2xt

サーモグラフィー空撮により、外壁タイルの浮き上がり等が検知可能かを把握する目的で行った。M210 に Zenmuse XT を装着し、赤外線カメラによる壁面撮影を行った。

#### 10) Shoot\_5-3m

Mavic Pro を用いて、FPV 撮影（「FPV 撮影」：FPV は “First Person View” の略語であり、一人称視点という意味である。つまり、ドローンから見た視点のことであり、FPV 撮影を行うことで、操縦者（および操縦者に指示を行う技術者・調査者）はドローンから見える景色・映像と同じ景色・映像を見ることができる。）を行った。動画では、建物の外周を 1 周回するように撮影した。静止画では、図 8.4.1.3 に示す位置の短手方向の梁の損傷を撮影した。

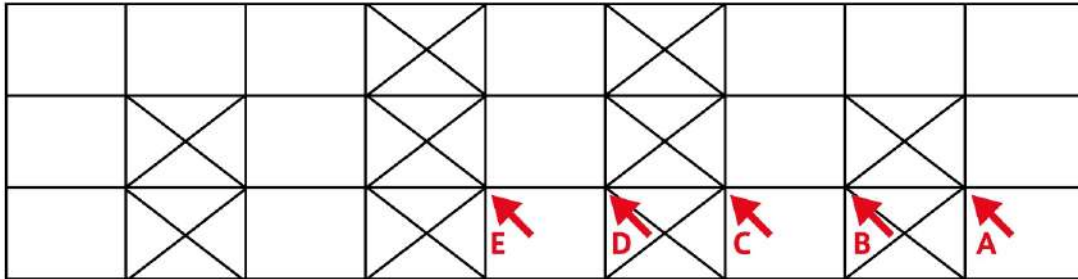


図 8.4.1.3 Shoot\_5-3m において撮影した梁の位置図

#### 11) Shoot\_5-4p

PhaseOne（1 億画素カメラ）を用いて、耐震補強によって増設されていた鉄骨ブレースを撮影し、損傷評価することを目的とした。空撮によってブレースが画面中央に可能な限り大きく写るように撮影した。主に撮影距離は 9m である。対象としたのは南西面のブレースである。ブレースの位置図を図 8.4.1.4 に示す。

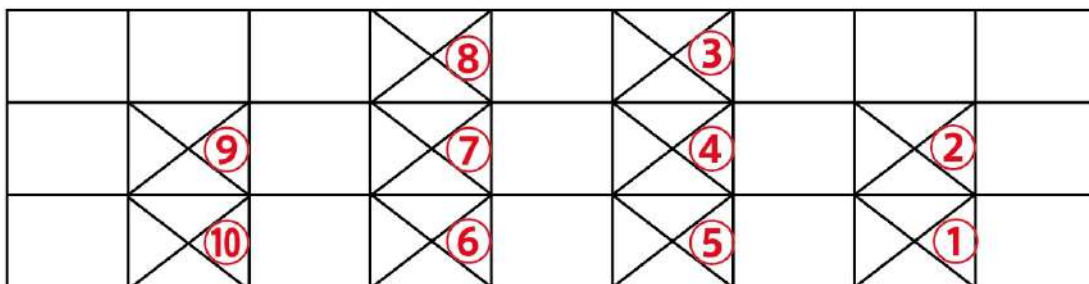


図 8.4.1.4 鉄骨ブレースの位置図

#### 12) Shoot\_5-5x

Shoot\_5-4p に対して、カメラを Zenmuse X5S（2000 万画素カメラ）に変更して撮影した。

表 8.4.1.1 撮影項目の緒元

	撮影番号	撮影内容	カメラ	レンズ	撮影距離(m)	備考	作業時間
1)	Shoot_1-1p	遠距離からの全景写真撮影複数枚	PhaseOne	55mm	約 20~60m		1h
2)	Shoot_2-1p	精度確認撮影 5m 10m 15m 20m	PhaseOne	55mm	5, 10, 15, 20m	手持ち撮影	1.5h
3)	Shoot_2-2x	精度確認撮影 5m 10m 15m 20m	X5S	17mm	5, 10, 15, 20m	手持ち撮影	1.5h
4)	Shoot_2-3p	壁面オルソ撮影	PhaseOne	55mm	9m, 2.5m ピッチ	OL80%, SL70%, 分解能 0.76mm/px	2h
5)	Shoot_2-4x	壁面オルソ撮影	X5S	17mm	9m, 3.12m ピッチ	OL80%, SL70%, 分解能 1.97mm/px	1.5h
6)	Shoot_3-2x	3mm/px 屋根オルソ撮影	X5S	25mm	23m	OL75%, SL75%, クロスグリッド 分解能 3mm/px	1.5h
7)	Shoot_4-1x	建物内部を外から撮影	X5S	17mm	約 4m	ガラスの反射により断念	0.5h
8)	Shoot_5-1x	Mavic に紐を垂らして、建物の傾き検査撮影実験	X5S	17mm	約 10m		1h
9)	Shoot_5-2xt	サーモグラフィー空撮調査実験	M210+XT	19mm	南西面：9m 北西面：10 ~20m		0.5h
10)	Shoot_5-3m	FPVにより柱を撮影	Mavic Pro	-	約 1~2m		0.5h
11)	Shoot_5-4p	ブレースごとの撮影	PhaseOne	55mm	9m		0.5h
12)	Shoot_5-5x	ブレースごとの撮影	X5S	17mm	9m		0.5h

## 8.4.2 調査に用いた使用機材（カメラ、ドローン、ゴーグル）の仕様

調査に使用した機材の仕様を表 8.4.2.1 に示す。

表8.4.2.1 使用機材の仕様

(a) PhaseOne iXU1000（1億画素カメラ）および搭載用ドローン

## [カメラ]

メーカー	PhaseOne（デンマーク本社）
型番	iXU1000
画像	
センサーサイズ	53.4 x 40 mm
画素数	11608 x 8708 px
色深度	16bit

## [ドローン]

メーカー	DJI（中国本社）
型番	Matrice 600 Pro
画像	
サイズ	1668 mm x 1518 mm x 759 mm（プロペラ、機体アーム、GPSマウントを広げた状態）
重量	9.1kg
ペイロード	6kg（Ronin-MXジンバルを搭載してのカメラ積載は3kg程度）
最大風圧抵抗	8 m/s

(b) Zenmuse X5S (2000万画素カメラ) および搭載用ドローン

[カメラ]

メーカー	DJI (中国本社)
型番	Zenmuse X5S
画像	
センサーサイズ	17.3 x 13 mm (マイクロフォーサーズ)
画素数	5280 x 3956 px
色深度	14bit (Raw撮影時), 8bit (JPG撮影時)

[ドローン]

メーカー	DJI (中国本社)
型番	Inspire 2
画像	
サイズ	605 mm (対角寸法 ※プロペラ含まず)
重量	3,440g (ジンバルカメラ含まず)
ペイロード	1.2kg (ジンバルカメラ含まず)
最大風圧抵抗	10 m/s

## (c) Zenmuse XT (赤外線サーモグラフィーカメラ) および搭載用ドローン

## [カメラ]

メーカー	DJI (中国本社) / FLIR SYSTEMS (スウェーデン本社)
型番	Zenmuse XT
画像	
センサーサイズ	非公開 (代わりにiFovを公開) ※今回利用したのは19mmレンズモデル iFov : 0.895 mrad
画素数	640 x 512 px

## [ドローン]

メーカー	DJI (中国本社)
型番	Matrice 210
画像	
サイズ	887 x 880 x 378 mm (アーム展開時 プロペラ含まず)
重量	3.8 kg (通常バッテリー2個を含む)
ペイロード	2.34 kg
最大風圧抵抗	10 m/s

(d) Mavic Pro およびFPV用VRゴーグル

[カメラおよびドローン]

メーカー	DJI (中国本社)
型番	Mavic Pro
画像	
サイズ	335 mm (プロペラ含まず)
センサーサイズ	6.2 x 4.7 mm
画素数	4000 x 3000 px
最大風圧抵抗	記載なし

[VRゴーグル]

メーカー	DJI (中国本社)
型番	DJI Goggles
画像	
入力	WIFI / HDMI
解像度	1080p30
特徴	Mavic Proと互換性が高く、上下左右の傾きにMavic Proのカメラ方向が対応する (限界角度有り)

### 8.4.3 調査の結果と考察

(1) 損傷状況の把握, および人間による被災度区分判定 (2018年8月) の結果, ドローンによる場合との比較

1) 損傷状況の把握, および人間による被災度区分判定 (2018年8月)

現在の損傷状況を把握する目的で, まず1階から3階まで建物全体を見回り点検した。損傷状況の一例を写真8.4.3.1に示す。



(a) 例1 (梁)



(b) 例2 (耐震壁)

写真 8.4.3.1 損傷状況

見回り点検の結果, 1階と3階の損傷が激しいと判断したため, 1階と3階において, 被災度区分判定を行った。1階および3階の損傷度の一覧を図8.4.3.1に示す。また, 1階および3階の被災度区分判定の結果を図8.4.3.2に示す。対象建物は鉄骨ブレースを用いた耐震補強を行っているため, 補強部材を無視した場合と, 考慮した場合のそれぞれについて, 被災度区分判定を実施した。なお, 鉄骨ブレースを柱付き壁と同様に扱った。

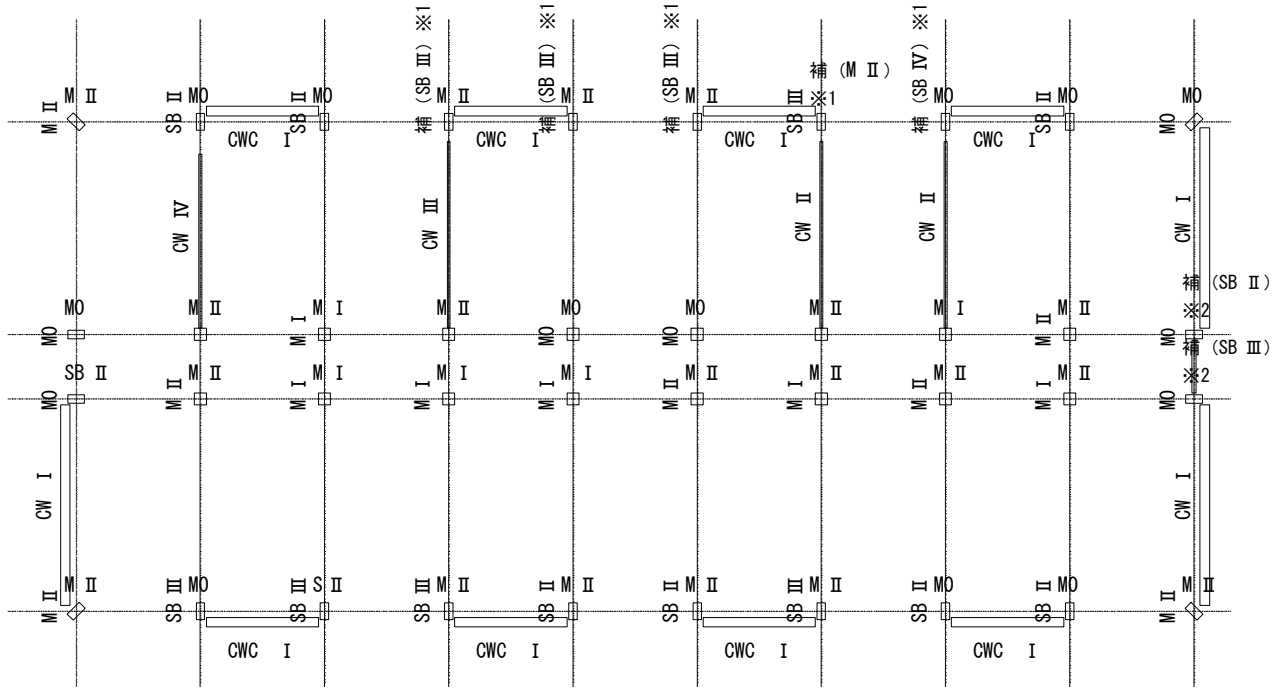
まず, 1階において鉄骨ブレースを無視した場合, 耐震性能残存率  $R$  は長手方向で 83.38, 短手方向で 66.25 となり, 短手方向の判定により「中破」となった。鉄骨ブレース補強を考慮した場合,  $R$  は長手方向で 86.23, 短手方向で 67.77 となり, 両方向とも  $R$  はやや大きくなったが, 被災度は「中破」のままであった。

次いで, 3階では, において鉄骨ブレースを無視した場合, 耐震性能残存率  $R$  は長手方向で 86.62, 短手方向で 64.66 となり, 「中破」の判定となった。鉄骨ブレース補強を考慮した場合の  $R$  は長手方向で 91.00 となり, やや大きくなった。3階の短手方向には鉄骨ブレースは設置されていないため, 短手方向の  $R$  はブレース無視の場合と同じである。

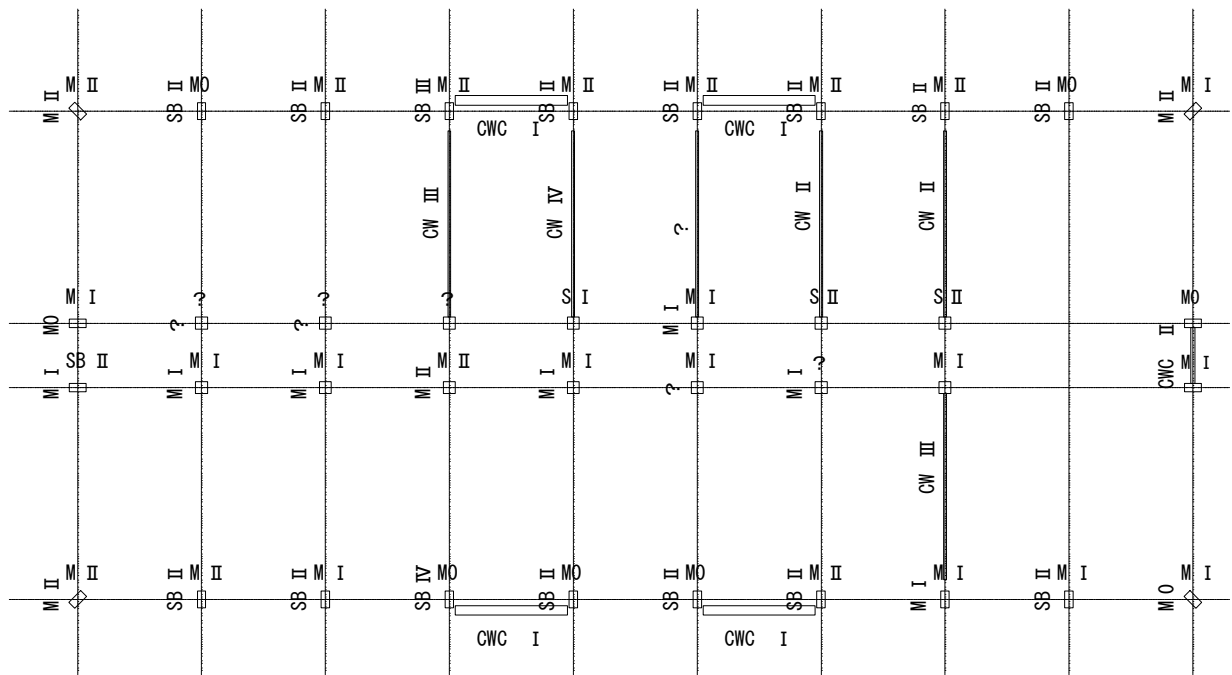
1階と3階を比較すると, どちらも判定は「中破」であるが, 短手方向の  $R$  は3階の方がやや小さい。これは, 3階には大きな会議室があり, 柱が抜かれていること, 耐震補強の鉄骨ブレースがないことなどから, 1階に比べて相対的に水平抵抗性が小さかったと考えられる。

なお, 調査に要した時間は約3時間, 人員は2名である。





(a) 1階



(b) 3階

※1 モルタルなどにより補修されていたため、2017年実施の被災度区分判定時の損傷度 ( ) 内の損傷度で評価

※2 モルタルなどにより補修されており、2017年実施の被災度区分判定では未確認のもの（モルタル上から損傷度を評価）

? 什器や仕上げ材などがあったため、部材の損傷度を確認できなかったもの

図 8.4.3.1 損傷度の一覧

補強無視 (1階) 2018  
長手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	1		36	3					40
調査部材数	1		36	3					40
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	40 =Aorg
損傷度0			11						11.0 =A0
損傷度I			5						4.8 =A1
損傷度II	1		20	2					17.0 =A2
損傷度III				1					0.4 =A3
損傷度IV									0.0 =A4
損傷度V									0.0 =A5
									Σ A <sub>j</sub> = 33.2

耐震性能残存率R= 82.88 性能残存率Rによる被災度区分: **小破**

(a) 1階長手方向・鉄骨ブレース補強無視

補強考慮 (1階) 2018  
長手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	1		36	3				8	48
調査部材数	1		29	3				4	37
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	57 =Aorg
損傷度0			4						4.0 =A0
損傷度I			5					4	27.6 =A1
損傷度II	1		20	2					17.0 =A2
損傷度III				1					0.4 =A3
損傷度IV									0.0 =A4
損傷度V									0.0 =A5
									Σ A <sub>j</sub> = 49.0

耐震性能残存率R= 85.88 性能残存率Rによる被災度区分: **小破**

(b) 1階長手方向・鉄骨ブレース補強考慮

補強無視 (1階) 2018  
短手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数			20	16			4		40
調査部材数			20	16			4		40
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	44 =Aorg
損傷度0			7						7 =A0
損傷度I			6						5.7 =A1
損傷度II			7	7			2		12.55 =A2
損傷度III				8			1		3.8 =A3
損傷度IV				1			1		0.1 =A4
損傷度V									0 =A5
									Σ A <sub>j</sub> = 29.15

耐震性能残存率R= 66.25 性能残存率Rによる被災度区分: **中破**

(c) 1階短手方向・鉄骨ブレース補強無視

補強考慮 (1階) 2018  
短手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数			20	16			7		43
調査部材数			17	16			7		40
	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×2+	×6=	47 =Aorg
損傷度0			4						4 =A0
損傷度I			6				3		11.4 =A1
損傷度II			7	7			2		12.55 =A2
損傷度III				8			1		3.8 =A3
損傷度IV				1			1		0.1 =A4
損傷度V									0 =A5
$\sum A_j =$									31.85

耐震性能残存率R= 67.77 性能残存率Rによる被災度区分: **中破**

(d) 1階短手方向・鉄骨ブレース補強考慮

補強無視 (3階) 2018  
長手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	3		34	1					38
調査部材数	3		30	1					34
	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×2+	×6=	34 =Aorg
損傷度0			6						6.0 =A0
損傷度I	1		13						13.3 =A1
損傷度II	2		11	1					10.2 =A2
損傷度III									0.0 =A3
損傷度IV									0.0 =A4
損傷度V									0.0 =A5
$\sum A_j =$									29.5

耐震性能残存率R= 86.62 性能残存率Rによる被災度区分: **小破**

(e) 3階長手方向・鉄骨ブレース補強無視

補強考慮 (3階) 2018  
長手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	3		34	1				4	42
調査部材数	3		22	1				4	30
	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×1+	×2+	×6=	50 =Aorg
損傷度0			3						3.0 =A0
損傷度I	1		13					4	36.1 =A1
損傷度II	2		6	1					6.4 =A2
損傷度III									0.0 =A3
損傷度IV									0.0 =A4
損傷度V									0.0 =A5
$\sum A_j =$									45.5

耐震性能残存率R= 91.00 性能残存率Rによる被災度区分: **小破**

(f) 3階長手方向・鉄骨ブレース補強考慮

補強なし (3階) 2018  
短手方向

	柱			梁		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数			16	15			6	1	38
調査部材数			13	15			5	1	34
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	44 =Aorg
損傷度0			2						2 =A0
損傷度I			7						6.65 =A1
損傷度II			4	13			2	1	18.1 =A2
損傷度III				1			2		1.6 =A3
損傷度IV				1			1		0.1 =A4
損傷度V									0 =A5
	$\sum A_j =$								28.45

耐震性能残存率R= 64.66      性能残存率Rによる被災度区分：中破

(g) 3階短手方向

図 8.4.3.2 被災度区分判定結果

2) ドローンによる場合との比較

実際の被災現場において、ドローンを用いて被災度区分判定を行う場合、建物内部にドローンは侵入することができないため、外周の部材の損傷度のみで被災度区分判定を行うことになると予想される。そこで、建物外周部の部材の損傷度により被災度区分判定を行った。耐震性能残存率および被災度区分判定の結果を、人間が建物内部に入り、目視により行った結果と併せて表 8.4.3.1 に示す。

本調査建物では、いずれの階、方向、補強考慮の有無での比較においても、人間とドローンによる被災度区分判定の結果は同じ判定となった。耐震性能残存率の比較では、人間とドローンで長手方向では 1.25 程度、短手方向で最大 4.45 の差があった。本調査建物は、長手方向では軽微な柱の曲げひび割れが多く、外周部の部材のみで算定してもあまり差がなかった。一方、3階の短手方向は、建物内部の複数の耐震壁の損傷が大きく、ドローンによる被災度区分判定ではその部材が算定に含まれないため、耐震性能残存率に大きな差が出た。以上のことから、純ラーメンのような建物で柱部材の軽微な曲げひび割れが多い建物であれば人間とドローンによる耐震性能残存率の結果に大きな差異はなく、ドローンによる被災度区分判定に有効であると言える。一方、建物内部に脆性破壊する耐震壁が多い建物では人間とドローンによる耐震性能残存率の算定に大きな差異が生じることも考えられる。

本調査建物では、人間とドローンによる被災度区分判定結果は変わらなかったが、耐震性能残存率の値が被災度区分の境界付近の建物では変わる可能性も考えられるため、ドローンによる被災度区分判定を行う場合は建物の構造形式を考慮する必要がある。

表 8.4.3.1 耐震性能残存率および被災度区分判定結果一覧

		長手方向		短手方向	
		補強無視	補強考慮	補強無視	補強考慮
1階	人間	82.88 (小破)	85.88 (小破)	66.25 (中破)	67.77 (中破)
	ドローン	81.88 (小破)	86.46 (小破)	64.38 (中破)	67.22 (中破)
3階	人間	86.62 (小破)	91.00 (小破)	64.66 (中破)	
	ドローン	86.88 (小破)	92.25 (小破)	69.11 (中破)	

(2) ドローンによる建物外部，内部の状況，損傷等の撮影，調査，調査可能範囲検討の結果  
前述した項目について，ドローンを用いて撮影した。各項目の結果を以下に述べる。以降，データ容量を抑制するため，写真の解像度を本来のものから低下させるなど調節して掲載する。

#### 1) Shoot\_1-1p

PhaseOne（1億画素カメラ）を用いて建物全景を遠距離から撮影した。西側上空から撮影した建物全景を写真8.4.3.2に示す。建物は，北東は国道443号線に面し，約100m南には川が流れる立地となっている。建物周辺には住宅地や商業施設があり，その周りには田畑が広がっている。



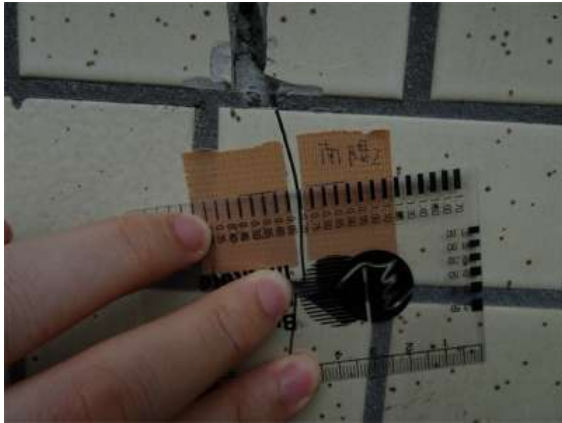
写真 8.4.3.2 ドローンによる建物全景写真

#### 2) Shoot\_2-1p

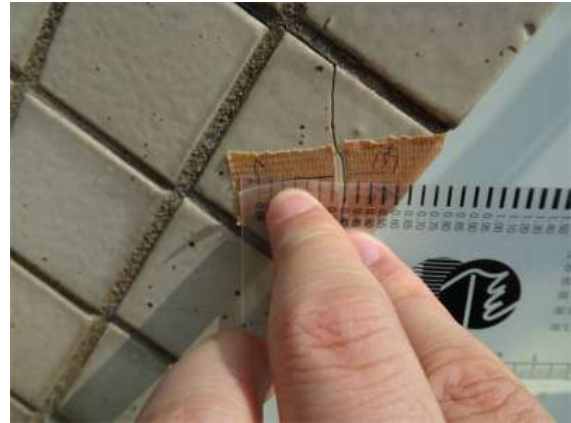
PhaseOne（1億画素カメラ）により，部材のひび割れを撮影し，ひび割れ幅の評価精度を確認する。まず，建物の外周面において，ドローン調査結果と比較できる場所を選定した。選定した場所は，1階外周の柱や腰壁である。それぞれの場所において，人間による損傷調査と，ドローンによる損傷調査を行った。撮影距離をパラメータとし，5，10，15，20mの4パラメータで撮影した。図8.4.1.1に示したW，Xの位置の部材のひび割れ計測の一例を写真8.4.3.3に，ドローンによる撮影状況を写真8.4.3.4に示す。また，図8.4.1.1に示したW，X，Y，Zの位置における人間によるひび割れ幅評価とドローン調査（1億画素カメラ）によるひび割れ幅評価の比較を表8.4.3.2に示す。なお，ひび割れ幅の抽出には汎用ソフトを用いており，そのソフトで使用できるjpeg形式のデータで評価している。1億画素カ

メラで撮影したものは 11608×8708Pixel の画像から読み取っている。

1 億画素カメラでは、撮影距離 5m では良好にひび割れ幅を評価できるものと、精度が低い評価となるものがあった。ひび割れ W, X, Y ではドローン調査の方がひび割れ幅を小さく評価しているのに対して、Z では大きく評価している。これは、一般汎用ソフトによる評価であるため、ソフトウェア内での処理上の誤差であると考えられる。撮影距離が 10m よりも大きくなると小さいひび割れでは汎用ソフトによるひび割れの自動検出が不可能となったり、評価精度が低くなったりした。撮影距離 5m 程度までドローンを飛行させることができる建物であれば、ドローンはひび割れ幅評価に有効であると言える。



(a) 1 階の腰壁, W



(b) 1 階の柱, X

写真 8.4.3.3 人間によるひび割れ幅の計測

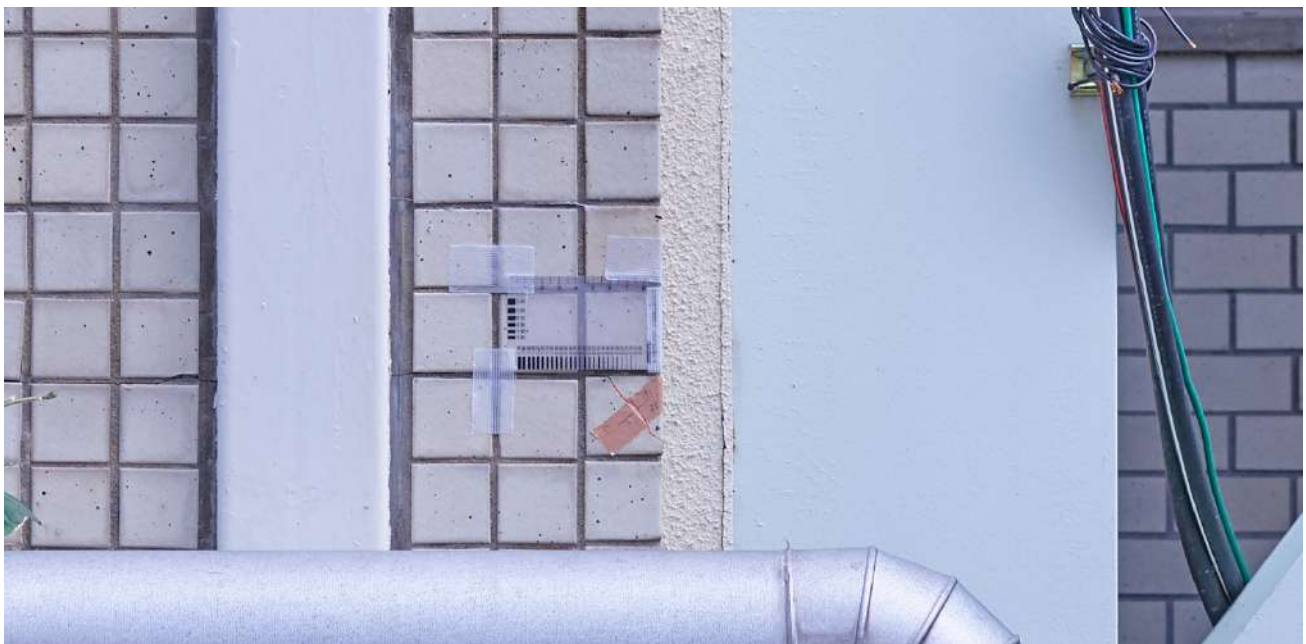


写真 8.4.3.4 ドローンによるひび割れの撮影調査 (1 階の柱, X, 撮影距離 5m)

表 8.4.3.2 人間とドローンによるひび割れ幅評価の比較（1億画素カメラ）

対象部材, および その位置	人間の目視調査によるひび割れ幅 [mm]	ドローン調査（1億画素）によるひび割れ幅 [mm]			
		5m	10m	15m	20m
1 階の腰壁, W	0.70	0.60	0.60	×	×
1 階の柱, X	0.40	0.30	×	×	×
1 階の腰壁, Y	2.5	1.7	1.4	1.0	0.5
1 階の腰壁, Z	0.65	1.00	0.90	×	×

× : 自動検出不可

3) Shoot\_2-2x

Shoot\_2-1p に対して, カメラを Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) に変更して, それにより部材のひび割れを撮影し, ひび割れ幅の評価精度を確認した。パラメータは Shoot\_2-1p と同様である。W, X, Y, Z の位置における人間による調査とドローン (2000 万画素カメラ) による調査のひび割れ幅評価の比較を行った。2000 万画素カメラで撮影したものは 5272×3948Pixel の画像から読み取っている。人間によるひび割れ幅評価とドローン (2000 万画素カメラ) によるひび割れ幅評価の比較を表 8.4.3.3 に示す。

2000 万画素カメラの撮影データでは撮影距離 5m でも, ひび割れ幅が 2.5mm のものは自動検出できたが, 幅の評価精度は低い。また, それ以外の小さいひび割れでは, 汎用ソフトによるひび割れの自動検出が不可能であり, ひび割れ幅を評価することが難しかった。

表 8.4.3.3 人間とドローンによるひび割れ幅評価の比較（2000万画素カメラ）

対象部材, および その位置	人間の目視調査によるひび割れ幅 [mm]	ドローン調査（2000万画素）によるひび割れ幅 [mm]			
		5m	10m	15m	20m
1 階の腰壁, W	0.70	×	×	×	×
1 階の柱, X	0.40	×	×	×	×
1 階の腰壁, Y	2.5	0.9	×	×	×
1 階の腰壁, Z	0.65	×	×	×	×

× : 自動検出不可

## 4) Shoot\_2-3p

## 5) Shoot\_2-4x

壁面オルソ撮影を行った。PhaseOne (1 億画素カメラ) を用いた場合 (Shoot\_2-3p) と, Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) を用いた場合 (Shoot\_2-4x) を併せて示す。撮影の様子を写真 8.4.3.5 に示す。



写真 8.4.3.5 オルソ撮影の様子

前述した航路のように撮影していき, 写真 8.4.3.6 に示す検証点において, Shoot\_2-3p と Shoot\_2-4x のオルソモザイク (「オルソモザイク」: 空中写真からは撮影した枚数分の正射画像がそれぞれ作成される。これらをつなぎ目が目立たないように接合すること。) と元画像を比較した。検証点は, ひび割れ, 破損したパイプ, ひび割れ幅評価を試みた点などとした。

Shoot\_2-3p および, Shoot\_2-4x のオルソ全体画像を写真 8.4.3.7 に示す。また, 検証点①～⑨までの比較を写真 8.4.3.8～写真 8.4.3.16 に示す。

検証点①では, オルソモザイクと元画像とほとんど差がない状態で確認できる。解像度約 2mm/px でも確認が可能である。

検証点②では, オルソモザイクにおいては, ゴースト (「ゴースト」: 画像に反映されるぼやけ。) が生じており, SfM 処理 (「SfM 処理」: カメラで撮影した複数の画像から, それらの撮影位置を推定し, 同一地点に対するそれぞれの画像の視差から対象物全体の三次元モデルを生成する処理のこと。) により認識が難しくなっている。ゴーストが生じているのは, 柱, パイプの横面の画像が不足していることによると想定される。2-4x の方がゴーストの量が少ないのは, 柱の横面が映った画像枚数が多かったことが影響していると考えられる。それぞれ同じサイドラップで撮影しているものの, 目測による多少のずれにより差が生じたと考えられる。

検証点③では, オルソモザイク, 元画像共に同等の精度でひび割れを確認することができる。

検証点④では, Shoot\_2-3p, Shoot\_2-4x 共にパイプのゴーストが発生している。オルソモザイク化することで若干の解像度低下が見られる。

検証点⑤では, オルソモザイク, 元画像, 共に同等の解像度でひび割れが認識できる。

検証点⑥では, パイプが上下に破断していることは, オルソモザイク, 元画像共に確認できるものの, オルソモザイクでは柱付近にゴーストが発生している。

検証点⑦では, オルソモザイクにおいては, 手前の植木によるゴーストが発生している。2-4x オルソモザイクにおいては, ひび割れの状態を確認することが困難な状態となった。

検証点⑧では, 前検証点と同じ状態である。クラックスケールの解像度を検証すると, 分解能 0.76mm/px の 2-3p の画像では, クラックスケールの線が認識できるものの, 分解能 1.97mm/px の 2-4x



においては、クラックスケールの線は全体的に認識不可能となっている。

検証点⑨では、前検証点、前々検証点と同じく、手前の植木により、ひび割れ部分の撮影枚数は不足している。ただし、2-3p オルソモザイクにおいては、解像度の低下は見られるものの、ひび割れ全体を認識することが可能である。

以上の、両オルソモザイクの成果からの考察を以下に示す。

1億画素カメラで撮影した2-3p, 2000万画素カメラで撮影した2-4xによるオルソモザイクは、いずれもデータに穴が開くような破綻を起こさずに生成できた。対象とした面においてラップ率が十分であったと考えられる。ただし、手前に突出した柱の側面部分の画像が不足しており(サイドラップの不足)、これによるゴースト現象が凸部分付近の随所に発生したことは、オルソモザイクのみで、対象面全てを診断する目的に対して多少の悪影響を及ぼしている。

ゴースト現象削減の対策としては、1.ラップ率を上げる、2.撮影コースを増やす(問題部分を撮影するための飛行を別途行う)、3.より広角のレンズを利用する、4.マニュアルタイポイントを増やす(SfM処理における補正作業)、これらのいずれかの対策が有効となるが、いずれも撮影・解析の作業効率か解像度のいずれかを著しく低下させる。同様の作業効率と解像度を保った上で、ゴーストを削減するには、より多画素のカメラを使い、より広角のレンズで撮影することが有効である。今回の場合は、2.で示した、撮影コースを増やすという対策で、柱の側面を撮影した画像を追加することが有効な手段であったと考える。

2-3p, 2-4x はほぼ同画角, 同ラップ率により撮影しており、ゴーストが発生する量も同程度であった。これは SfM における破綻がラップ率と、凹凸部分の側面の撮影状況に影響していることが確認できる。

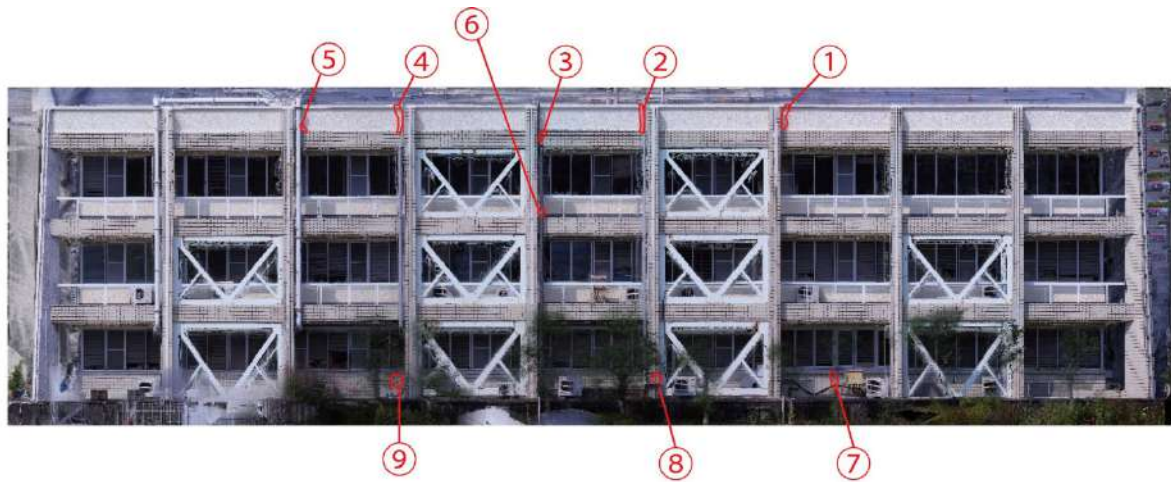


写真 8. 4. 3. 6 Shoot\_2-3p と Shoot\_2-4x の検証点



(a) Shoot\_2-3p オルソ全体画像



(b) Shoot\_2-4x オルソ全体画像

写真 8. 4. 3. 7 壁面オルソ全体画像

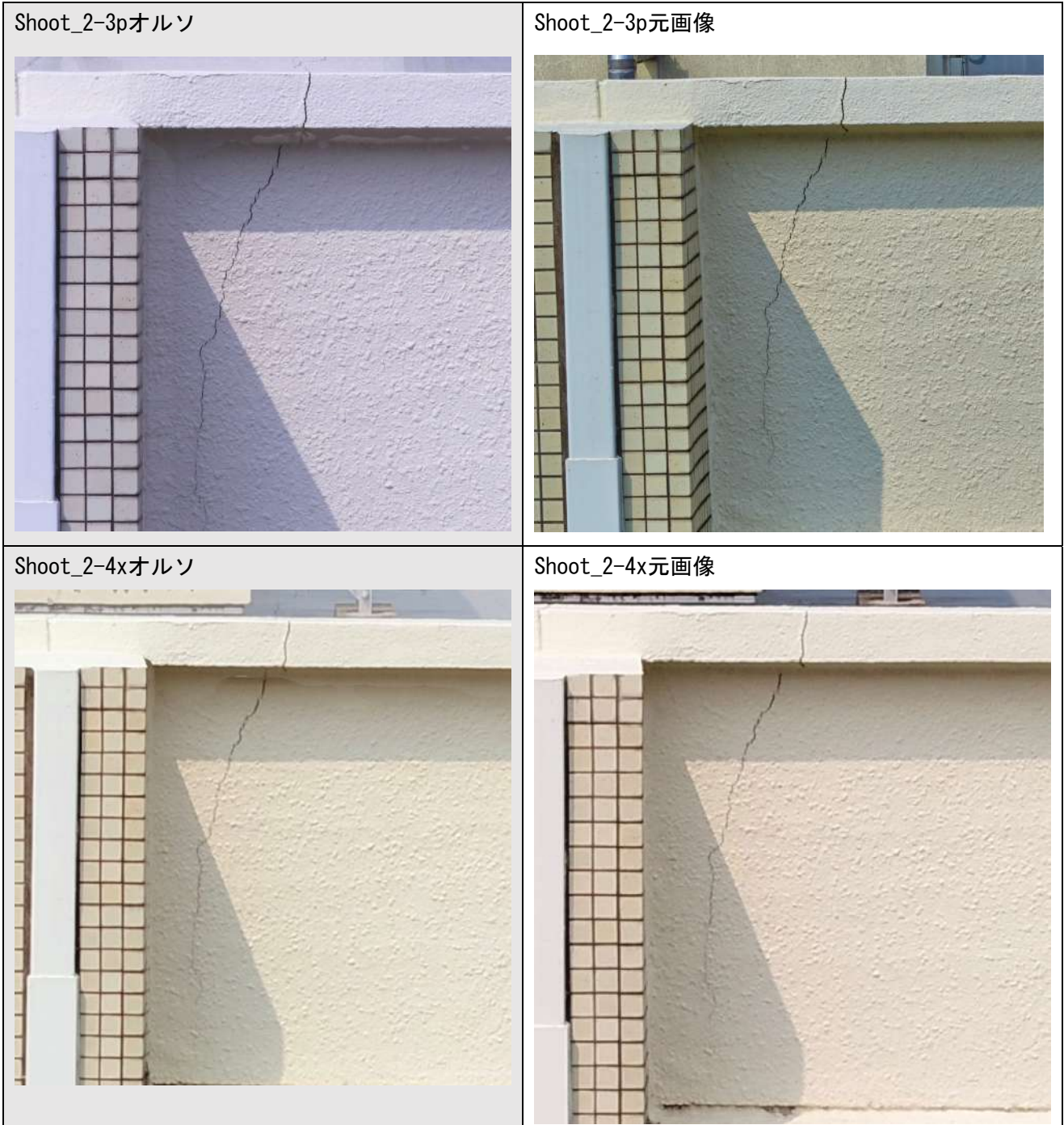


写真 8.4.3.8 検証点①

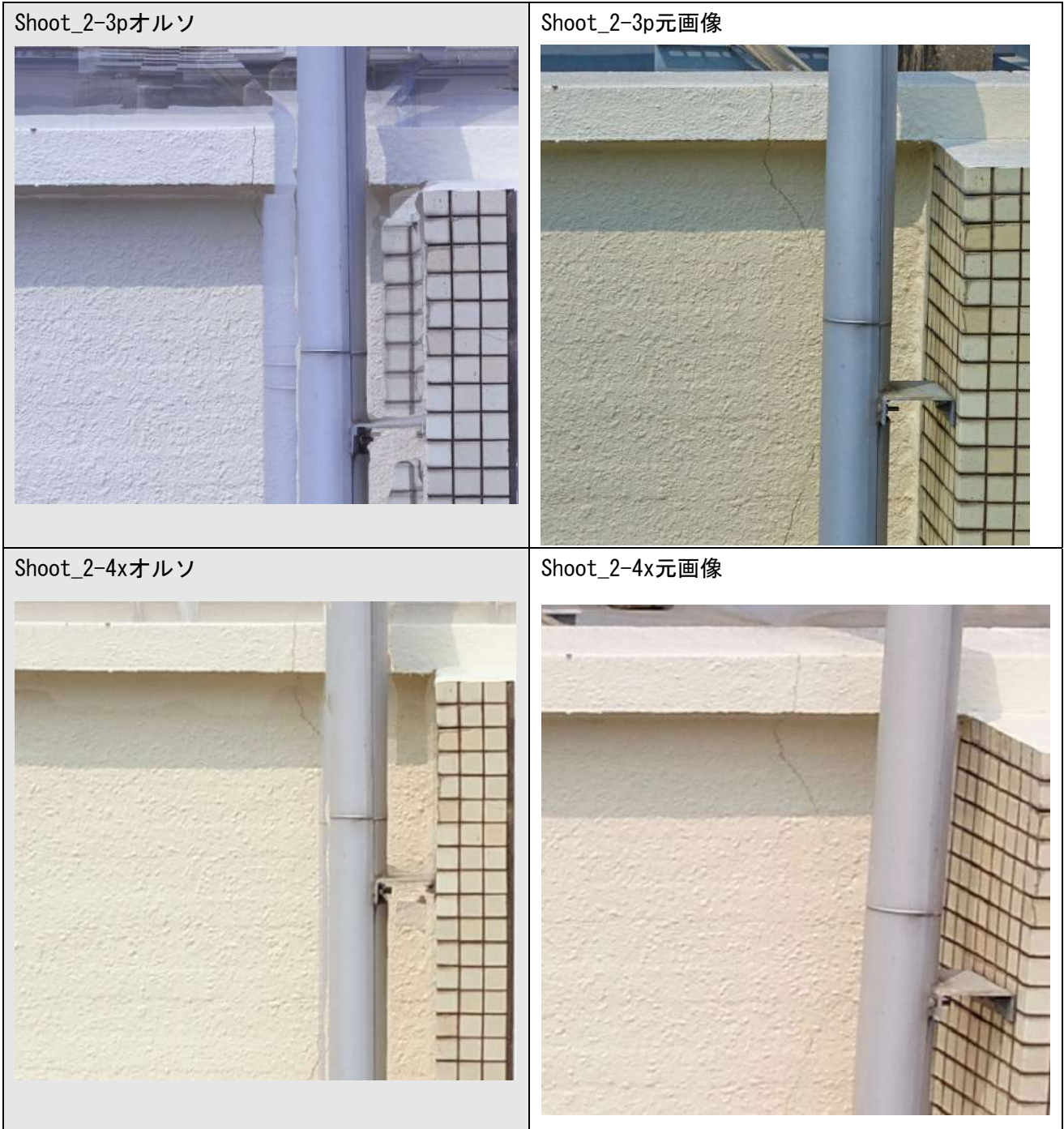


写真 8.4.3.9 検証点②

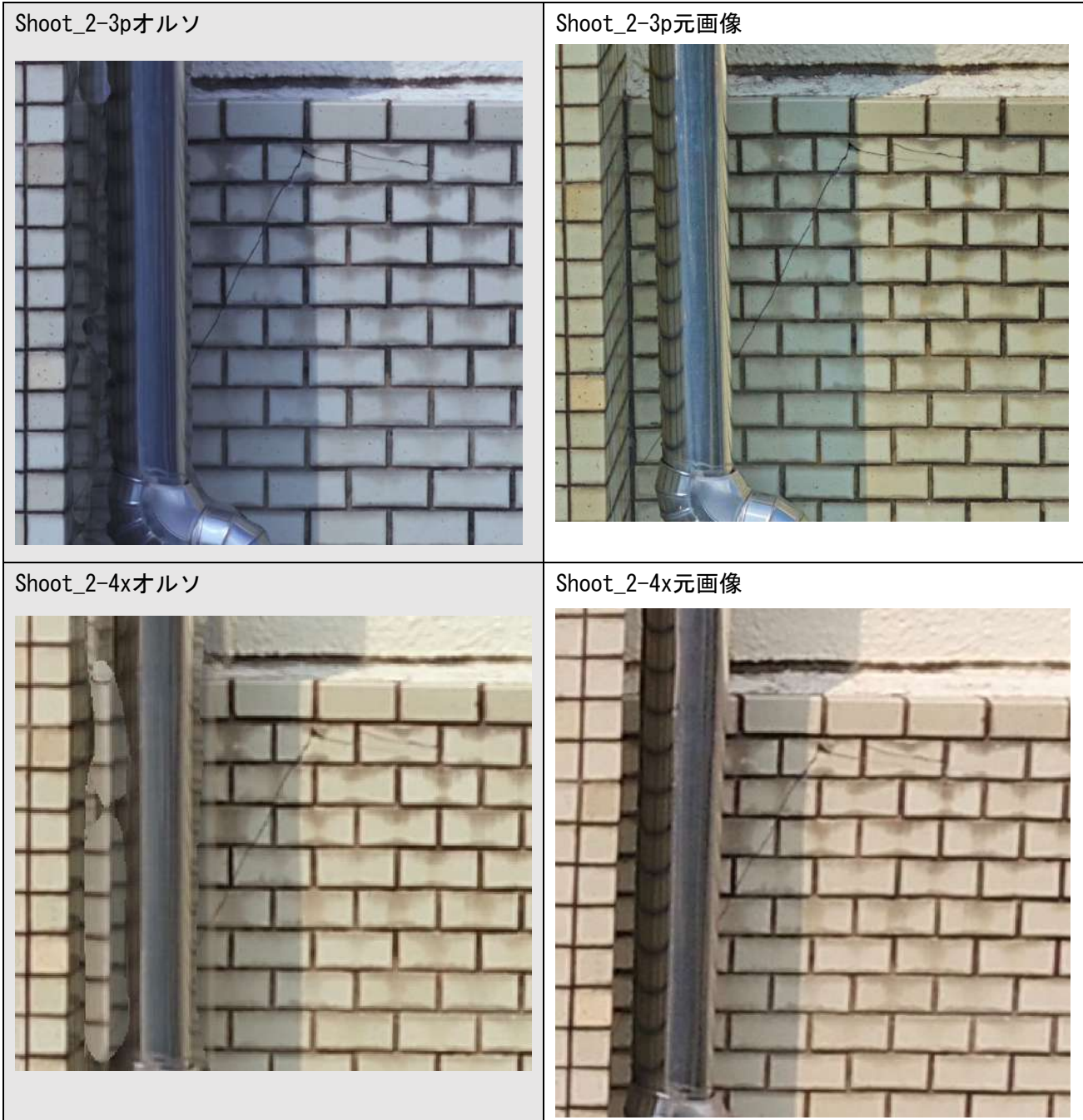


写真 8. 4. 3. 10 検証点③

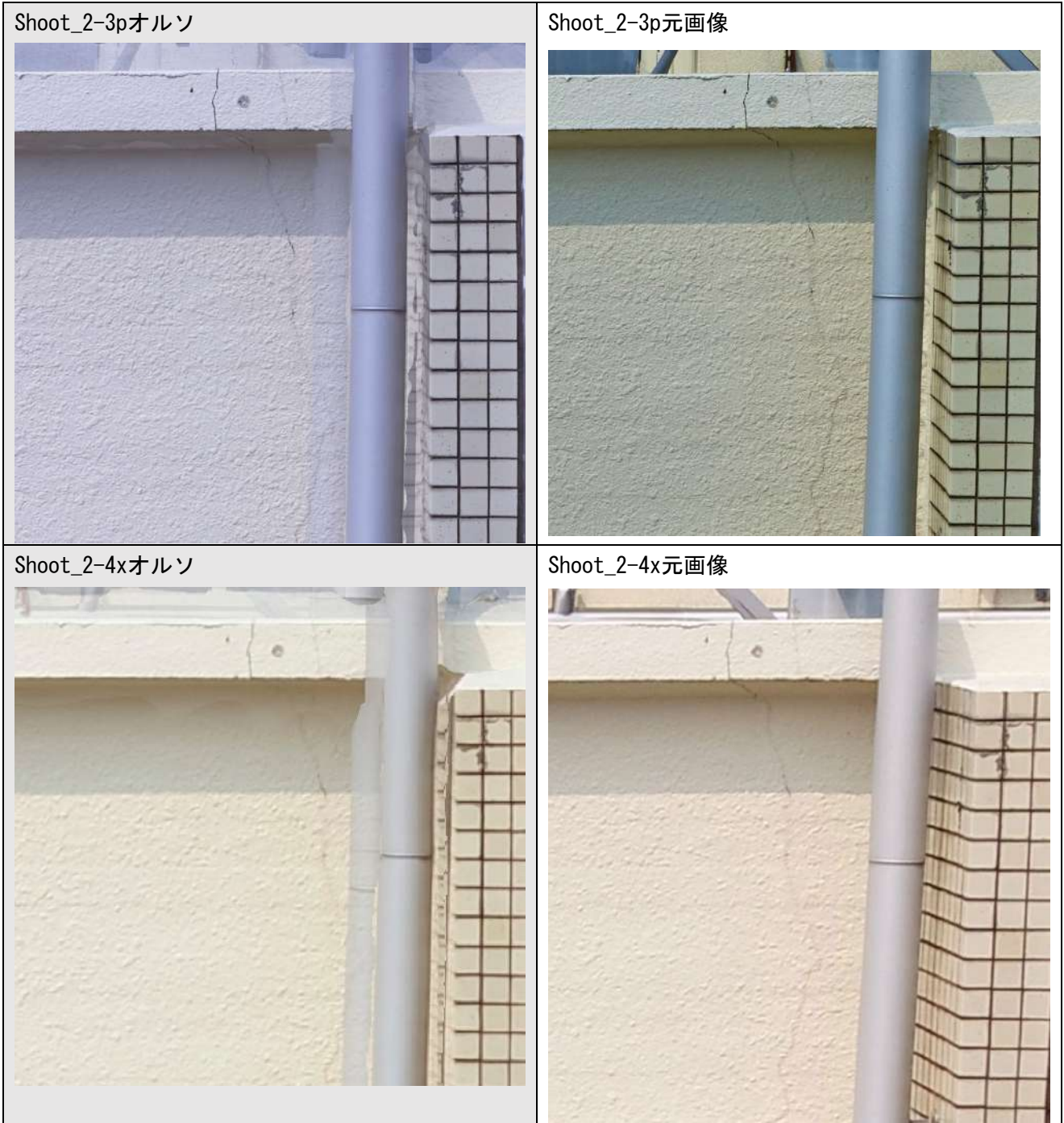


写真 8. 4. 3. 11 検証点④

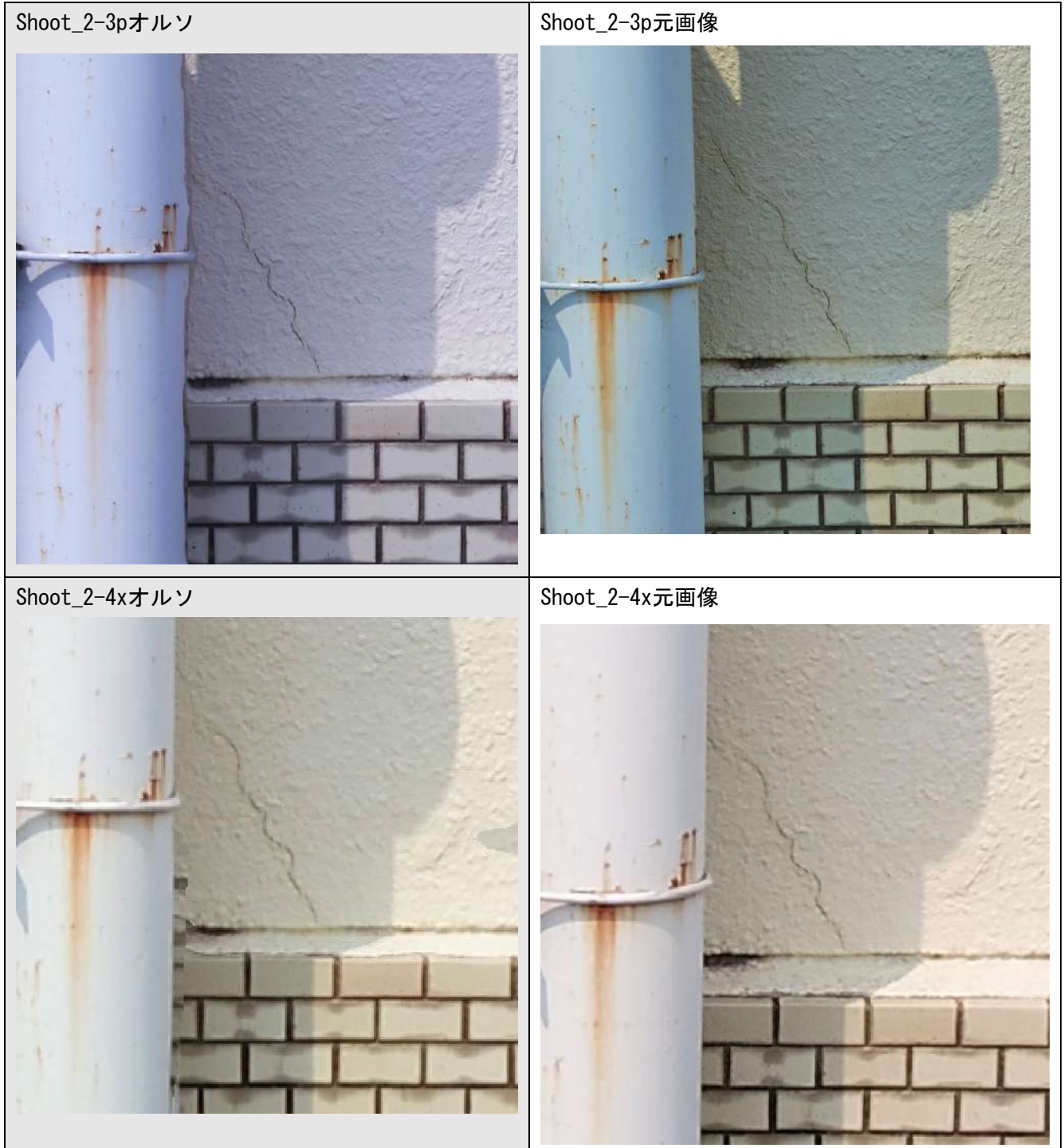


写真 8. 4. 3. 12 検証点⑤

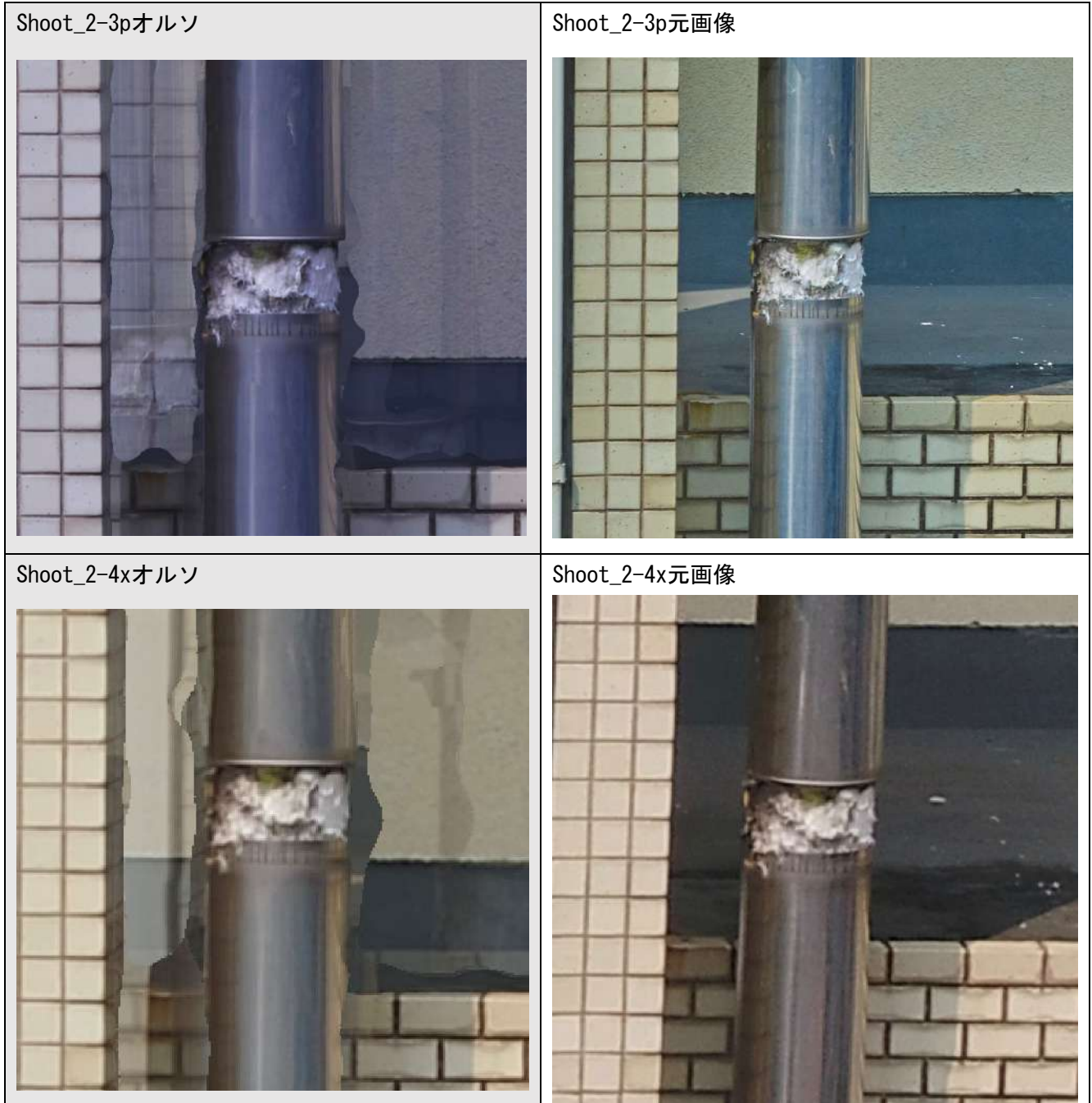


写真 8. 4. 3. 13 検証点⑥





写真 8. 4. 3. 14 検証点⑦

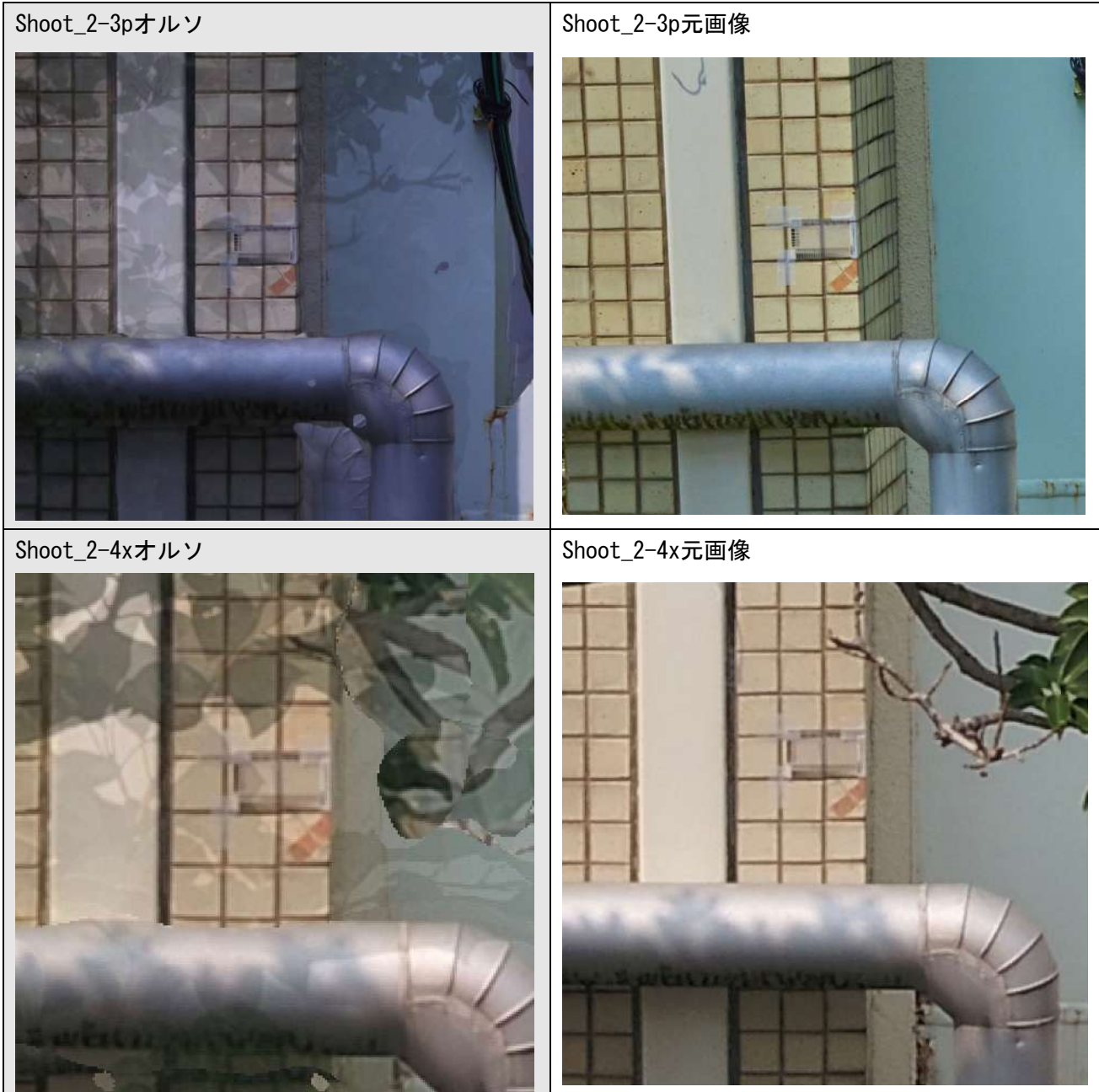


写真 8. 4. 3. 15 検証点⑧

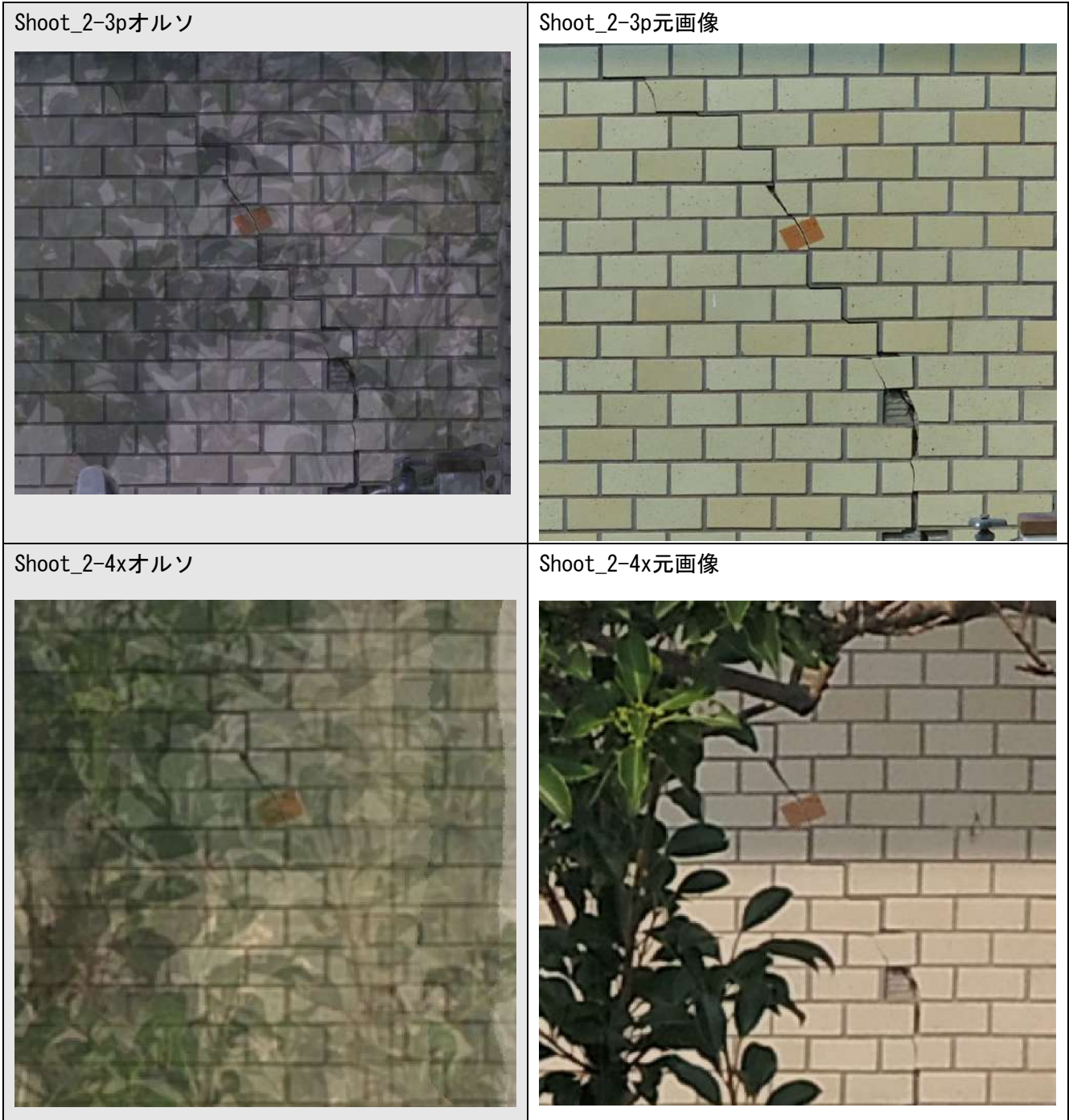


写真 8. 4. 3. 16 検証点⑨

## 6) Shoot\_3-2x

Inspire 2 に搭載した Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) により、屋根オルソ撮影を行った。前述した方法により撮影した。写真 8.4.3.17 に示す検証点において、Shoot\_3-2x のオルソモザイクと元画像を比較する。なお、検証点②には写真 8.4.3.18 に示すクラックスケールを設置している。



写真 8.4.3.17 Shoot\_3-2x の検証点

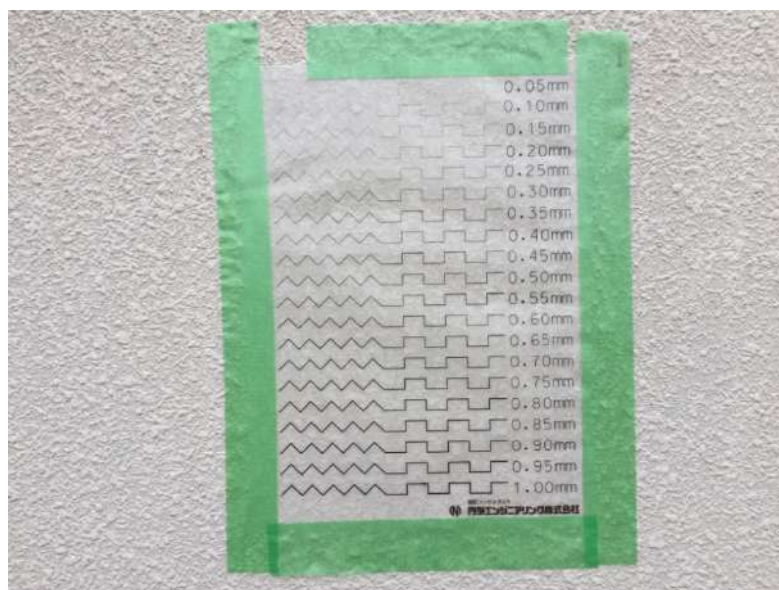


写真 8.4.3.18 検証点②に設置したクラックスケール

検証点①，②の比較を写真写真 8.4.3.19～写真 8.4.3.20 に示す。

検証点①，②ともに，元画像に比べ，オルソモザイクは解像度の低下が見られる。

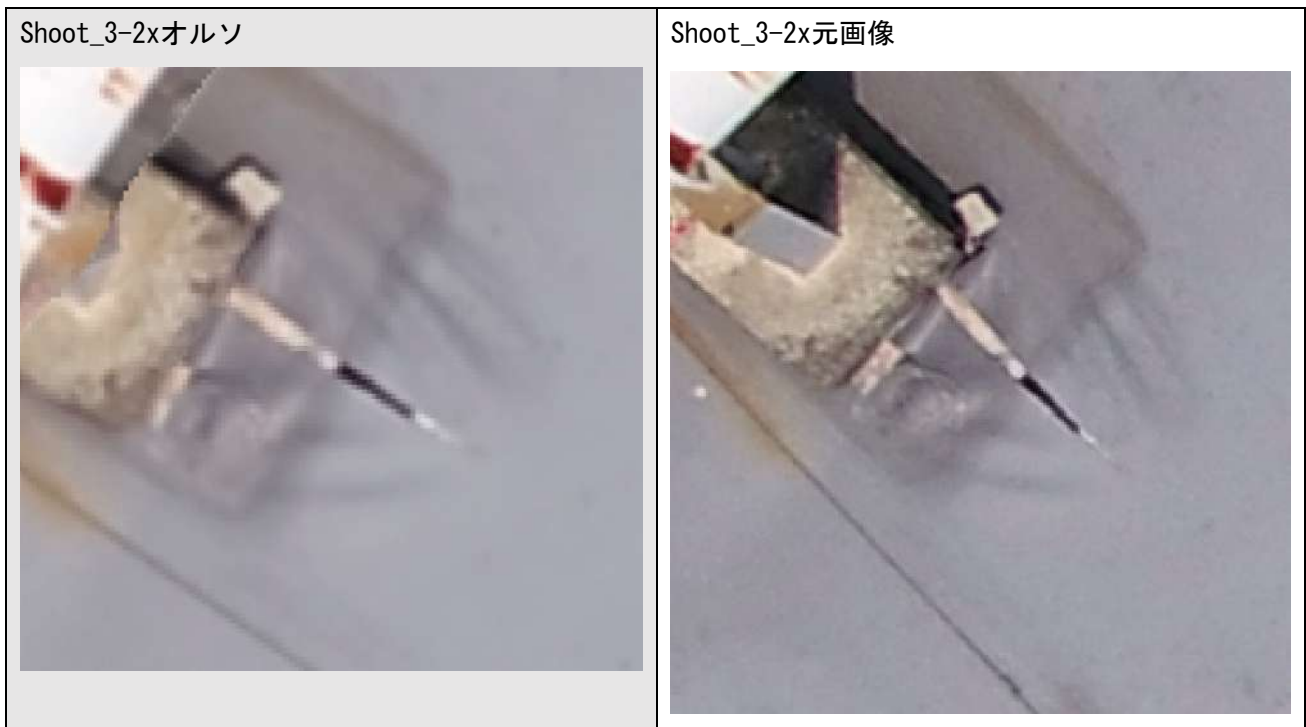


写真 8.4.3.19 検証点①

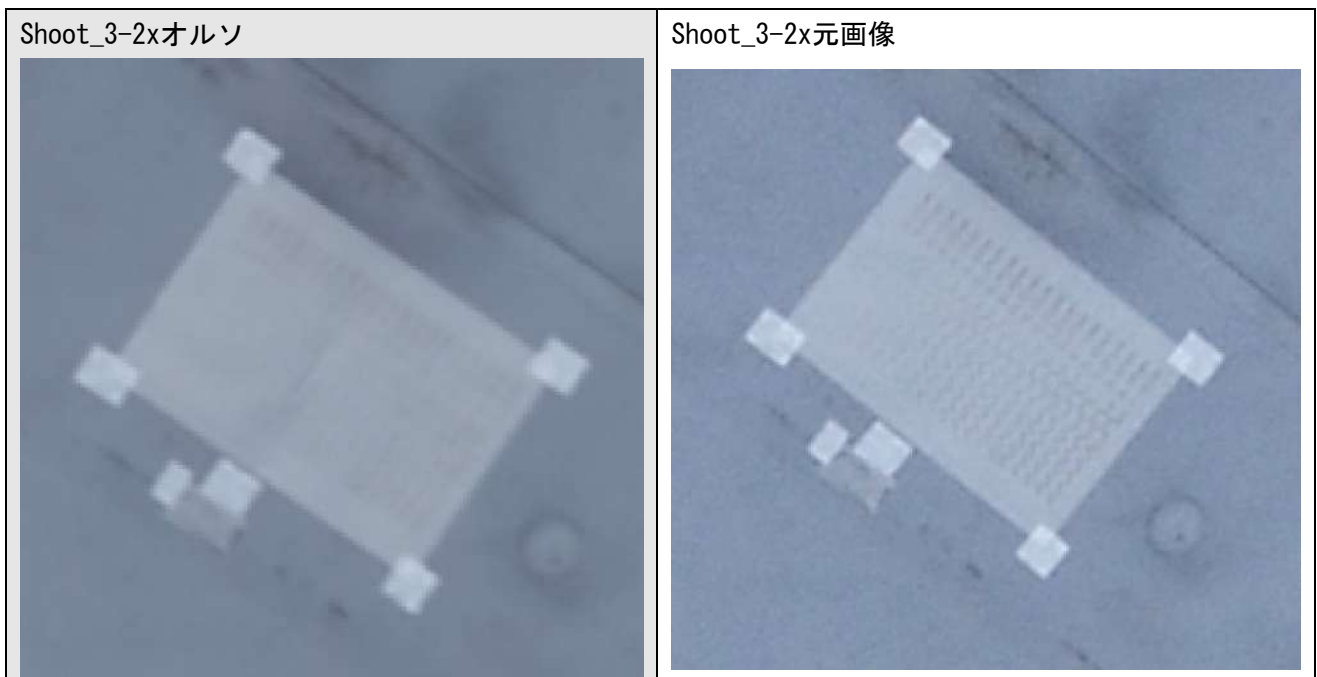
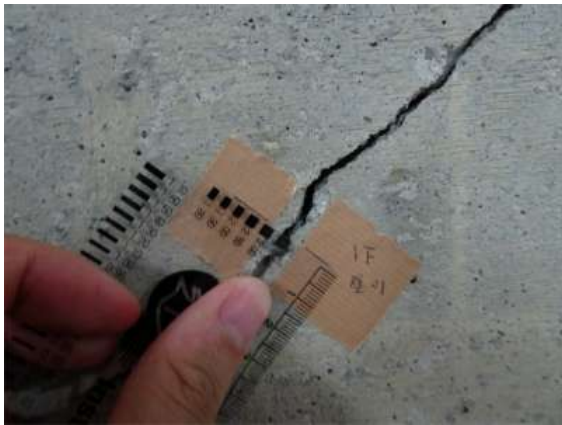


写真 8.4.3.20 検証点②

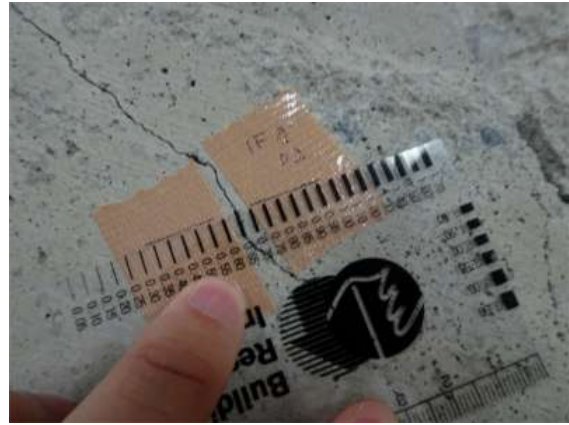
7) Shoot\_4-1x

建物の内部（室内）において、ドローン調査結果と比較できる場所を選定した。選定した場所は、耐震壁に比較的大きなひび割れが生じている北側に面した部屋である。人間の目視調査によるひび割れの状況を写真 8.4.3.21 に示す。ひび割れ幅 0.2~3.5mm の間で 4 点計測した。なお、ガラスの反射によりドローンでの外部からの撮影はできなかったため、室内での手持ち撮影を行ったものである。また、電灯を点灯した場合と、消灯した場合での撮影も行った。5272×3948Pixel の jpeg データからひび割れを抽出した。人間とドローンによる室内の耐震壁のひび割れ幅評価の比較を表 8.4.3.4 に示す。

幅 3.5mm のひび割れが点灯、消灯いずれの場合も、0.7mm と評価され、正確に評価できていないことが分かる。また、幅 1.2mm のひび割れでは、点灯の場合で 0.6mm、消灯の場合で 0.3mm と評価され、消灯した場合の方が精度が低いことが分かる。幅 0.2mm のひび割れは汎用ソフトによる自動検出が不可能であった。



(a) 壁 01



(b) 壁 02

写真 8.4.3.21 人間によるひび割れ幅の計測

表 8.4.3.4 人間とドローンによる室内の耐震壁のひび割れ幅評価の比較

対象のひび割れ番号	人間の目視調査による ひび割れ幅[mm]	ドローン調査 (2000 万画素) によるひび割れ幅[mm]	
		点灯	消灯
壁 01	3.5	0.7	0.7
壁 02	0.65	0.4	×
壁 03	0.20	×	×
壁 04	1.2	0.6	0.3

× : 自動検出不可

8) Shoot\_5-1x

建物の傾斜計測を目的として、錘をつけた紐をドローン (Mavic Pro) に結びつけ、Inspire 2 に搭載した Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) を飛行させながら撮影した。対象としたのは、写真 8.4.3.22 に示す、屋上に設置されていた傾いた貯水槽である。

まず、通常、人間による下げ振りをを用いた計測では、2 人によって写真 8.4.3.23 のように 1 人が下げ振りを持ち、もう 1 人が計測を行う。所要時間は 1 分程度である。人間による傾斜角の計測では、約 3° (126/2030mm) となった。

ドローンによる傾斜角調査の様子を写真 8.4.3.24, 写真 8.4.3.25 に示す。貯水槽の任意の箇所の長さを計測しておき、それを基に後日、写真データから傾斜を算出した。ドローン調査による傾斜角の計測では、約  $4^\circ$  (116/1597mm) となり、傾斜角度の精度に関してはある程度有効であると言える。しかし、正面から撮影できていないことや、紐が風でなびいている影響等により、写真から読み取る長さには実測と誤差があった。

ドローンを用いた場合、パイロットが2名必要となる。また、紐が写る位置の調整や、風の影響などによって、所要時間は人間による調査より長くなる。



写真 8.4.3.22 傾斜した貯水槽



写真 8.4.3.23 人間による計測の様子



写真 8.4.3.24 ドローンによる計測の様子

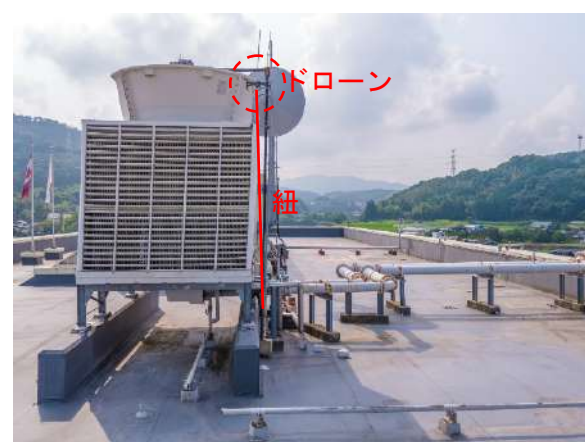


写真 8.4.3.25 ドローンに吊り下げた紐

## 9) Shoot\_5-2xt

サーモグラフィー空撮により、外壁タイルの浮き上がり等が検知可能かを把握する目的で行った。M210 に Zenmuse XT を装着し、赤外線カメラによる壁面撮影を行った。柱の様子を写真 8.4.3.26 に、梁の様子を写真 8.4.3.27 に示す。写真 8.4.3.26 に示すように人間による打診検査も同時に実施し、キャリブレーションを行った。

柱では、打診検査により浮き上がりが確認された箇所の温度が、周囲に比べてやや高くなっていることが分かった。ただし、太陽光が当たっている箇所は高温になり、隣地建物状況や樹木等による影がタイルの浮き上がり検知に影響を及ぼすことが分かった。

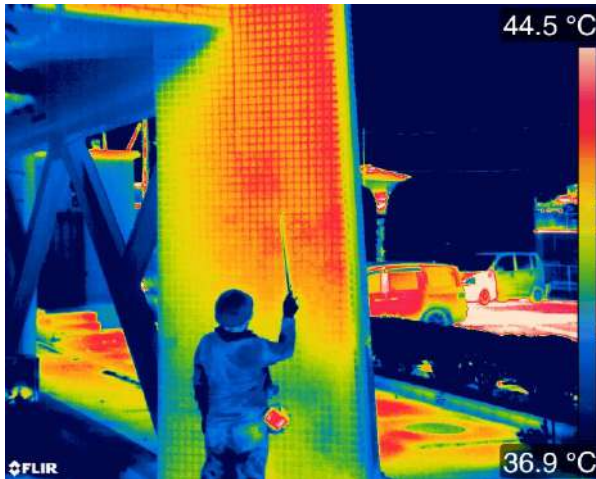


写真 8.4.3.26 柱の様子

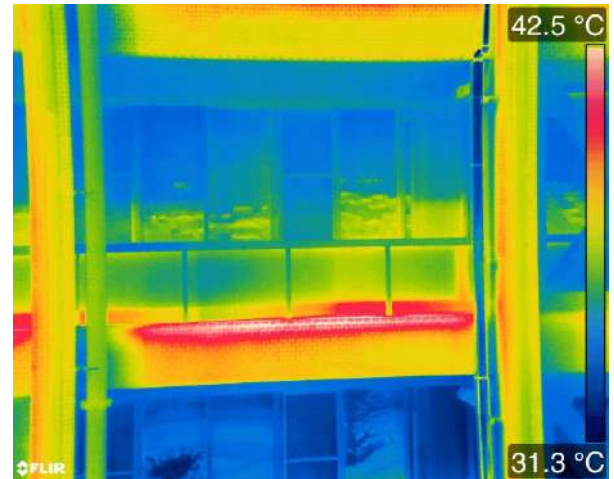


写真 8.4.3.27 梁の様子

## 10) Shoot\_5-3m

Mavic Pro を用いて、FPV (First Person View) 撮影を行った。まず、1人のパイロットがドローンを目視内追従航行しながら、建物の外周を1周するように動画撮影した。そこで撮影された動画はリアルタイムで、VRゴーグルで技術者等が見ることができる。ゴーグルを被り、頭を上下左右させると、その傾きに Mavic Pro のカメラ方向が対応するため、技術者が見たい角度に視点を当てることが可能である。動画撮影の様子と、その動画をリアルタイムに見る技術者の様子を写真 8.4.3.28 に示す。



写真 8.4.3.28 FPV 撮影とリアルタイム動画視聴検査の様子



次いで、パイロットが目視内追従航行しながら、1階の梁の静止画を撮影した。撮影箇所は図8.4.1.3に示す位置の梁である。一例として、梁Cと梁Dの損傷を写真8.4.3.29、写真8.4.3.30に示す。

正確なひび割れ幅の計測はできないが、経験のある技術者が画像を見れば、損傷度の評価は可能であると言える画像の撮影ができる。



写真 8.4.3.29 梁Cの損傷



写真 8.4.3.30 梁Dの損傷

11) Shoot\_5-4p

耐震補強によって増設されていた鉄骨ブレースの損傷評価を目的として、PhaseOne（1億画素カメラ）を用いて空撮した。主に撮影距離は9mである。対象としたのは図8.4.1.4に示すブレースである。一例として、ブレース⑥を写真8.4.3.31に、ブレース⑦を写真8.4.3.32に示す。

ブレース⑥のように1階では植栽により一部のブレースが確認できないが、地震時に引張応力が生じ、塗装が剥離した痕跡などの大まかな損傷状況を確認することができる。ブレース⑦のように2階では植栽が入らないため、ブレース全面の損傷を確認することが可能である。また、人間による調査では、2階以上の高層階の損傷状況を確認することが難しいが、ドローンの空撮ではそれが可能になるため、高層建物の応急危険度判定にも有効であると考えられる。



写真 8.4.3.31 ブレース⑥の損傷（1億画素）



写真 8.4.3.32 ブレース⑦の損傷（1億画素）

## 12) Shoot\_5-5x

ここでは、Shoot\_5-4p に対して、カメラを Zenmuse X5S (2000 万画素カメラ) に変更して撮影した。一例として、ブレース⑥を写真 8.4.3.33 に、ブレース⑦を写真 8.4.3.34 に示す。Shoot\_5-4p と同様に、ブレースの塗装が剥離した痕跡や、損傷が確認できた。



写真 8.4.3.33 ブレース⑥の損傷 (2000 万画素)



写真 8.4.3.34 ブレース⑦の損傷 (2000 万画素)

## 8.5 まとめと今後の課題

2016年熊本地震により被災した庁舎を対象として、人間の目視による損傷調査とドローンによる損傷調査を実施し、損傷状況の視認性の比較や、ドローンでの調査可能範囲の確認などを行った。得られた知見を以下に示す。

- ▶ 人間とドローンによる被災度区分判定結果の比較を行った。その結果、純ラーメンのような建物で柱部材の軽微な曲げひび割れが多い建物であれば人間とドローンによる耐震性能残存率の結果に大きな差異はなく、ドローンによる被災度区分判定に有効であると言える。一方、建物内部に脆性破壊する耐震壁が多い建物では人間とドローンによる耐震性能残存率の算定に大きな差異が生じることも考えられる。本調査建物では、人間とドローンによる被災度区分判定結果は変わらなかったが、耐震性能残存率の値が被災度区分の境界付近の建物では変わる可能性も考えられるため、ドローンによる被災度区分判定を行う場合は建物の構造形式を考慮する必要がある。
- ▶ ドローンによるひび割れ幅評価を行った結果、1億画素カメラでは、撮影距離5mでは良好にひび割れ幅を評価できるものと、精度が低い評価となるものがあった。撮影距離が10mより大きくなると幅が小さいひび割れでは汎用ソフトによるひび割れの自動検出が不可能となったり、評価精度が低くなったりした。撮影距離5m程度までドローンを飛行させることができる建物であれば、ドローンはひび割れ幅評価に有効である。
- ▶ 耐震補強によって増設されていた鉄骨ブレースをドローンによる空撮した。その結果、塗装が剥離した痕跡などの大まかな損傷状況を確認することができた。人間による調査では、2階以上の高層階の損傷状況を確認することが難しいが、ドローンの空撮ではそれが可能になるため、高層建物の応急危険度判定にも有効であると考えられる。

今後は、ドローンにより可能な被災調査項目を増やすために更なる検討を重ねる。

## 謝辞

本調査は、熊本県のご協力を得て実施しました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [8.1-1] 宮内博之，兼松学，大場喜和，鹿毛忠継，河辺伸二，楠浩一，酒井学雄，名知博司，南正樹，渡邊正雄：UAVを活用した建築保全技術開発に関する研究 その1：UAVの技術動向と建築分野での活用と課題，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.1279-1280，2017.7