

～地震時初動体制支援の新たなツール～ UAVによる被災直後の施設点検の有効性について

久保田靖子¹ ・ 安藤大輔¹

¹名古屋港湾空港技術調査事務所 調査課 (〒457-0833 名古屋市南区東又兵ヱ町1-57-3)

大規模地震発生後、港湾には被災地への緊急物資の輸送拠点等の機能確保が求められることから、港湾施設の供用可否判断を迅速に行うことが重要であるが、現地被災状況調査時の作業の安全性、確実性、効率性が課題となっている。

本論文は、無人航空機（以下、UAV：Unmanned Aerial Vehicle）による港湾施設点検の現場実証実験に取り組み、導入に向けた評価と課題を報告するものである。

キーワード：UAV，無人航空機，ドローン，現場実証実験

1. はじめに

港湾BCPにおいて、被災地への緊急物資の輸送拠点機能の確保、物流機能の早期回復等が地震発生後72時間以内に求められる。このため、地震発生後における迅速な港湾施設の供用可否判断や海上からの緊急物資輸送の妨げとなる航路や泊地の障害有無の確認が重要である。

中部管内の主要な岸壁は、地震発生後に計測された残留変位量により岸壁の使用可否を判断できる許容変位量をあらかじめ施設ごとに設定している。

しかし、津波警報・注意報が発令された場合には、港湾内への立ち入りが制限され、船舶による調査もできず、迅速な被災状況調査ができないため、港湾BCPに規定された初期啓開に至らない恐れがある。

そこで、地震発生直後、速やかに施設の変状や被災状況、航路や泊地の障害物を確認するため、UAVによる視認性、計測精度などについて、現場実証実験をもとに有効性の検証を行った。

2. 現場実証実験の実施計画

災害発生後、港湾施設の被災状況を確認するため、カメラを搭載した2種類のUAVにより、ひび割れや段差、漂流物などの模擬変状を上空から撮影し、施設の変位量や海上の漂流物の視認性とともにより三次元画像による計測精度について検証を行った。

a) UAVの対象機種

機種による違いを比較するため、比較的安価で一般的に普及している機種と高性能カメラを搭載した機種を対象とした（図-1）。

PHANTOM4 Pro (P4P)	Zion CH940 (CH940)
	
1770万画素	2400万画素
30万円程度	200万円程度

図-1 UAVの機種の外観とカメラ性能と価格

b) 現場実証実験の場所

南海トラフ巨大地震による被災が危惧されている静岡県清水港の係留施設の中から、荷役作業への影響の程度、試験エリアの大きさ、UAVの飛行障害になる構造物の有無などの条件から、日の出1・2号岸壁を選定した（図-2）。



図-2 現場実証実験の場所

c) 実験項目の設定

被災状況調査における確認事項や施設点検の管理値などを考慮し、UAVの位置や飛行高度を変えながら、岸壁上に設置した模擬変状などを撮影し、動画・静止画による視認性と三次元画像の計測精度の確認を行った。視認性の確認は、個人差を考慮して3名で行い、内2名が判別できた場合、視認可能とした。現場実証実験の概要(図-3)、実施状況(図-4)を以下に示す。

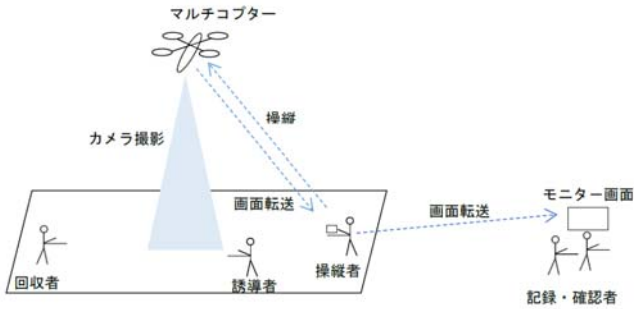


図-3 現場実証実験の概要



図-4 現場実証実験の実施状況

d) 撮影対象

岸壁の一角に、コンクリートブロックやマーキングを用いて製作した、ひび割れ、段差、ズレ、漂流物等に模した模擬変状、三次元画像の精度を確認するためのブロック塊を配置した(表-1、図-5~6)。

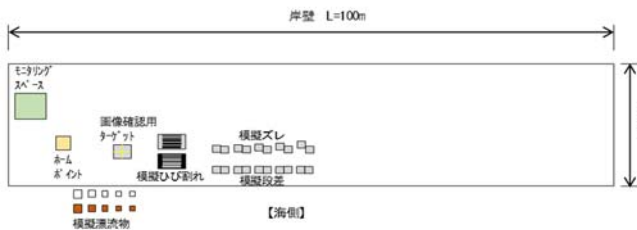
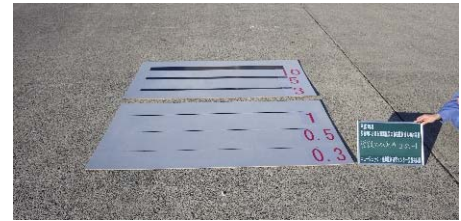


図-5 模擬変状の平面配置と設置状況

表-1 模擬変状一覧

種類	模擬変状の概要
ひび割れ	Co舗装(灰色)、As舗装(黒色)のひび割れを模した木板にマーキング幅 0.3cm, 1cm, 3cm, 5cm, 10cm の直線(L=1.5m)
段差	岸壁上部工の段差を模したコンクリートブロック 段差 3cm, 5cm, 10cm, 20cm, 30cm
ズレ	岸壁上部工のズレを模したコンクリートブロック ズレ 3cm, 5cm, 10cm, 20cm, 30cm
漂流物	木材(茶色)、浮遊ゴミ(白色)を模した方形フロート 20cm, 30cm, 50cm, 70cm, 100cm 海上に配置
ブロック	三次元画像の精度確認用ブロック塊

(ア) 模擬ひび割れ



(イ) 模擬段差



(ウ) 模擬ズレ



(エ) 模擬漂流物



(オ) 三次元画像の精度確認用ブロック塊

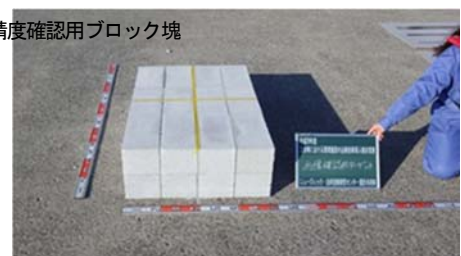


図-6 模擬変状の詳細

e) 標定点および検証点の設置

三次元画像の精度確認ため、画像合成に必要な標定点、検証点を設置した。標定点とは、写真測量における水平位置、標高の基準となる既知点、検証点とは計測の精度を確認するための既知点である。

計測対象範囲は延長100m×幅30m程度であり、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)平成29年3月改訂版(以下、UAV測量マニュアル)」により、外側標定点を4点、内側標定点1点、検証点3点を測量により配置した(図-7)。

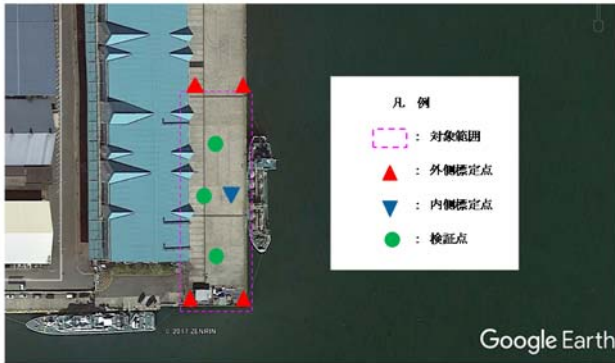


図-7 標定点及び検証点の配置状況

3. 現場実証実験結果の検証

(1) 動画・静止画の視認性

視認性の確認は、ライブ映像、録画映像、静止画を対象に行った。

a) ライブ映像

ひび割れ、ズレについては、大きな変状は高度100mからも視認可能であり、飛行高度を下げることにより小さな変状も視認可能だった。段差については、真上からの撮影だったため、他の模擬変状に比べて視認性は低かったが、飛行高度を下げ、斜めから撮影することにより視認可能である。漂流物については、木材の茶色、ゴミを模した白色ともに、海面とのコントラストにより高い位置からもはっきりと確認できた。機種別の比較ではP4Pの方が視認性に優れていた。模擬変状の種類別の視認可能高度を以下に示す(図-8~9)。

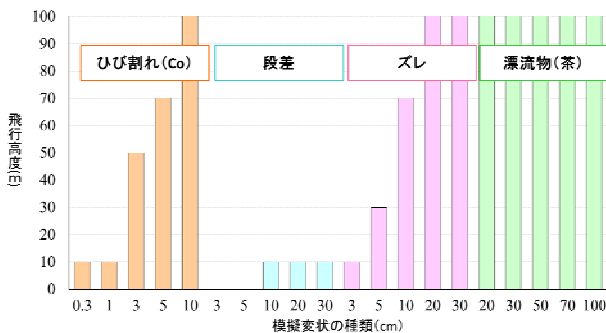


図-8 模擬変状の視認可能高度 (P4P)

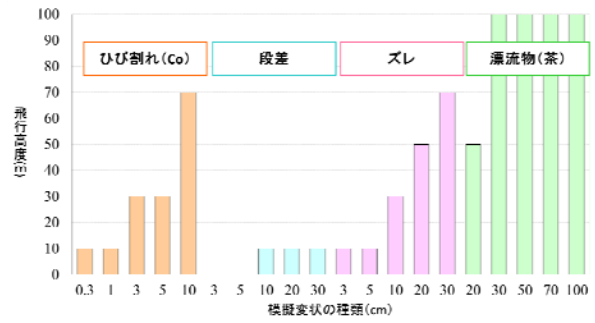


図-9 模擬変状の視認可能高度 (CH940)

b) 録画映像

ライブ映像に比べて視認性は良好だった。機種別の比較では、P4Pの方がやや視認性が優れていた。模擬変状の種類別の視認可能高度を以下に示す。(図-10~11)

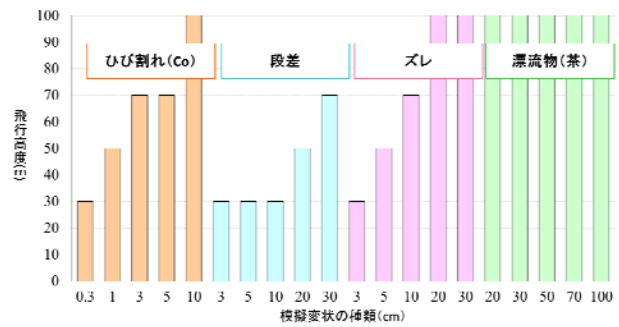


図-10 模擬変状の視認可能高度 (P4P)

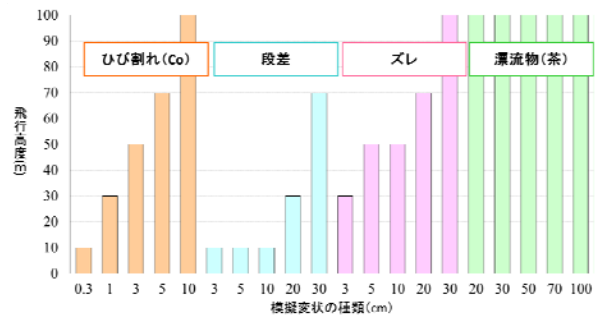


図-11 模擬変状の視認可能高度 (CH940)

c) 静止画

動画に比べて視認性は良好だった。模擬変状の種類別の視認可能高度とP4Pで高度30mから撮影した静止画を以下に示す。(図-12~14)

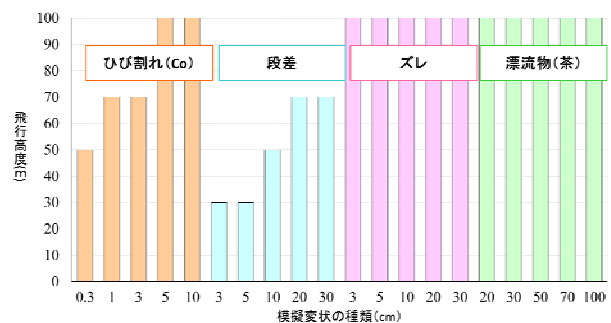


図-12 模擬変状の視認可能高度 (P4P)

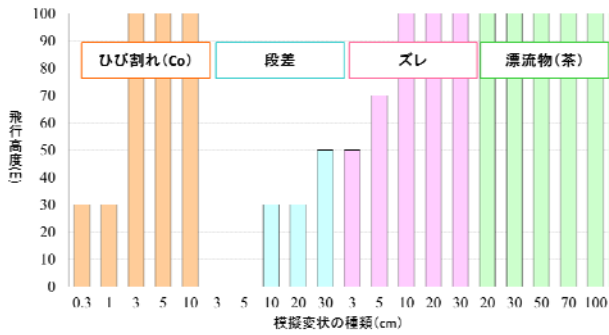


図-13 模擬変状の視認可能高度 (CH940)



図-14 静止画 高度30m (P4P)

d) 考察

- ・ UAVの機種を問わず、模擬変状や岸壁全体を視認することができ、詳細な調査が必要な場合は、移動や飛行高度を下げることで対処可能である。岸壁延長全体の法線の出入りやエプロン上の貨物の散乱状況、航路障害物、建物倒壊やアクセスルートなどの被災状況確認は、実用レベルにあると考えられる。
- ・ ライブ映像、録画映像、静止画では、ライブ映像の視認性が最も低かった。これは、UAVから圧縮された映像データが送信されるため、画質が劣化してしまうことに加え、リアルタイムであるための人為的な見落としも要因の一つとして考えられる。
- ・ 高画質カメラ搭載の機種CH940に優位性が認められなかったのは、動画ではモニター、静止画ではプリンター側の性能によるところが大きく、画素数が高いカメラの性能が十分活かされなかったことが要因の一つとして考えられる。

(2) 三次元画像の計測精度

a) 検証点と三次元画像の誤差

計測精度を確認するための検証点と実測値を比較した誤差は以下のとおりだった。機種との比較では、P4Pの方が計測精度に優れていた (表-2)。

表-2 検証点と三次元画像の誤差

P4P		CH940	
水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
11mm	20mm	12mm	27mm

b) 標定点で補正した三次元画像の誤差

標定点で補正したブロックの実測値の誤差は、以下のとおりだった。撮影画像に位置情報が残るP4Pの結果を示す (表-3)。

表-3 標定点で補正した三次元画像の誤差

P4P		
法線方向	法線直角方向	鉛直方向
58mm	37mm	18mm

c) 標定点で補正しない三次元画像の誤差

標定点で補正しないブロックの実測値の誤差は、以下のとおりで、非常に精度が悪く、計測結果として使用できる結果は得られなかった。撮影画像に位置情報が残るP4Pの結果を示す (表-4)。

表-4 標定点で補正しない三次元画像の誤差

P4P		
法線方向	法線直角方向	鉛直方向
229mm	415mm	95mm

d) 考察

- ・ 中部管内の主要な岸壁は、地震後に計測された残留変位量により使用可否を判断できる許容変位量をあらかじめ施設ごとに設定している (表-5)。そのため、地震発生後の岸壁の残留変位量を1cm単位の精度で計測することができれば、使用の可否判断が可能となるが、今回検証したUAVのカメラ性能等では、これを満足する結果は得られなかった。

表-5 岸壁の残留変位と供用可否判断の一例 (清水港日の出)

変位量	供用可否
0~740mm	暫定供用可 (長期) : 構造上問題なし
740~950mm	暫定供用可 (短期) : 緊急物資輸送は可能
950mm~	供用不可 : 供用できない

- ・ 今回の実験では、延長100m程度の計測対象範囲で、検証点・標定点の設置に半日程度を要しており、岸壁背後を含む広い範囲を計測する場合には、さらに作業時間が長くなる。災害発生直後の早期に被災状況確認が必要な場面において、現地に検証点・標定点を設置して計測することは現実的ではなく、UAVによる三次元画像から港湾施設の変状を計測することは、難しいものと考えられる。

(3) まとめ

a) 被災状況確認

撮影画像による港湾の被災状況確認においては、岸壁全体の視認性は良好であり、飛行高度の調整により詳細な画像も得られることから、UAVの有効性が確認された。

b) 航路障害物の確認

撮影画像による航路・泊地の障害物の確認においても、海面とのコントラストが明瞭で、UAVの有効性が確認された。

c) 施設の変位量計測

施設の計測に関しては、UAVの計測精度が構造物の性能判断に必要な精度より低いことから、実用レベルの運用は困難であることが確認された。

d) 港湾施設の計測における検証点・標定点

UAV測量マニュアルでは、標定点は計測対象範囲を囲むように配置すると規定されている。しかし、実際に岸壁や防波堤の法線を計測する場合、海側2点の標定点は設置することができない。標定点の設置については、港湾施設の計測においても適用できる配置等を検討する必要がある。

4. 今後の取り組み

(1) 現場実証実験

今回の現場実証実験から、撮影画像による被災状況、漂流物の確認に対する有効性が確認できたが、視界が良好かつエプロンの舗装状態が良い条件で行われたため、より実用性を考慮した確認も必要である。具体的には、津波来襲後を想定した濡れた状態の岸壁の視認性や実際の遠隔操作による作業性について、検証の必要があると考えている。

(2) 操縦者・インストラクターの育成

職員を対象としたUAVの操縦者、操縦を指導するインストラクターの育成も急務な課題である。UAVの飛行許可については、機体の性能や関係法令等の知識、さらに、一定時間の飛行訓練が必要となる。また、操縦できる者の人事異動も考慮し、継続した新規操縦者の育成が不可欠である。名古屋港湾空港技術調査事務所では、既存の水理実験施設の建屋を活用したUAV操縦者養成プログラムを整備し、職員を対象とした操縦訓練を本年度より本格化していく計画である。

参考文献

- 1) 「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」, 国土交通省国土地理院, 2017. 3. 改正
- 2) 「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)」, 国土交通省, 2018. 3.
- 3) 「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準(案)」, 国土交通省国土地理院, 2016. 3
- 4) 「港湾の施設の点検診断ガイドライン」, 国土交通省港湾局, 2014. 7.