

UAVによる人工リーフの形状計測

加藤史訓・浜口耕平

1. はじめに

2014年に改正された海岸法では、海岸管理者は、その管理する海岸保全施設を良好な状態に保つように維持し、修繕し、もって海岸の防護に支障を及ぼさないように努めなければならないとされた。また、合わせて改正された施行規則では、海岸保全施設の構造等を勘案して、海岸保全施設の巡視および点検を行うこととされた。海岸保全施設のうち、堤防、護岸、水門等については、その点検方法等を定めたマニュアル¹⁾が国から示されているが、離岸堤、人工リーフ、突堤については検討中である²⁾。中でも海面下にある人工リーフは、陸上構造物や離岸堤のように陸上から目視で高さ等を容易に把握できるものではなく、ナローマルチビーム測深機等による水中調査が必要となるなど、点検費用を比較的多く要するものである。そのため、継続的に実施可能な人工リーフの簡易な点検手法の確立が求められている。

近年、UAV（Unmanned Aerial Vehicle）が陸上地形の計測などの公共測量に用いられている。この手法では、写真測量の技術を用いてUAVで撮影された画像に写った特徴点の位置座標を推定し、地形の三次元形状を復元する。UAVを海面下の地形等の計測に用いるためには、海面における屈折や波浪の影響を考慮する必要があるが、それらの影響に関する研究は少ない。

本研究ではUAVを用いた人工リーフの簡易な点検方法を検討することを目的として、海面における屈折の影響の補正法を検討した³⁾。

2. 検討手順

検討フローを図-1に示す。現地調査では、UAVによる静止画の撮影、対空標識および人工リーフの測量、潮位の観測を行った。撮影した画像を用いて三次元点群データを作成し、水面における屈折の影響を考慮した補正方法の検証を行った。

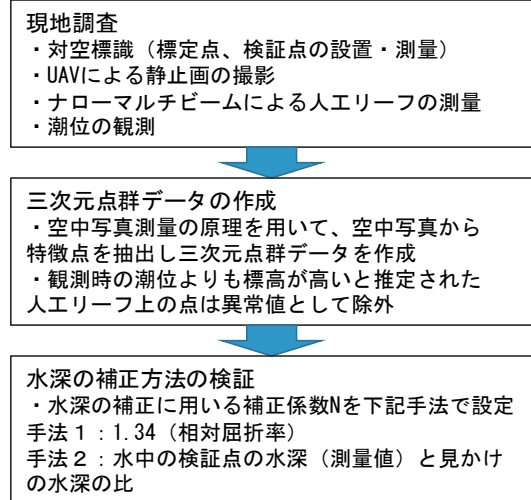


図-1 検討フロー

3. 現地調査

新潟県上越市の大潟海岸に設置されている人工リーフを対象に、現地調査を2017年10月27日に行った（図-2）。対象とした人工リーフは離岸距離約120m、天端水深約2m、堤長約150mである。

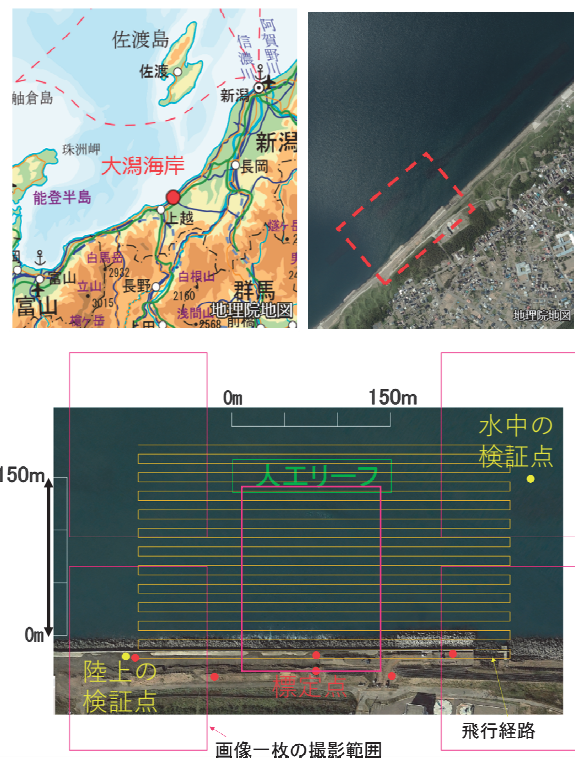


図-2 調査の対象地点（上）とUAVによる撮影コースの例（下、赤丸：標定点、黄丸：検証点）

解析時に海面においては三次元点群データの作成が困難であると考えられたため、図-2の赤太枠のように人工リーフと陸域が少なくとも1枚の画像と一緒に写るように、高度150mから鉛直直下方向に3コース（フロントラップ率90%、サイドラップ率（以後、ラップ率）95%（G95）、85%（G85）、80%（G80））撮影した。なお、静止画撮影時の解像度は5280×3956ピクセルである。

対空標識は人工リーフ岸側の陸上（標定点6点、検証点1点）および水中（検証点1点）に設置した。陸上に設置した対空標識は大きさ0.6m四方とし、設置可能な場所等の制約から護岸付近に、沿岸方向にほぼ直線上に配置した。また、水中の検証点は水深約1.2mに設置し、波浪などの影響で移動しないように固定した。

観測時の潮位は観測地点から約6km離れた直江津港において観測した。また、標高の推定値の妥当性を検証することを目的として、ナローマルチビーム測深機を用いた人工リーフの測量を実施した。

4. 三次元点群データの作成

現地調査で撮影された画像を用いて三次元形状復元計算を行い、三次元点群データを作成した。三次元形状復元計算では、濁りなどの影響が見られた人工リーフの識別性を向上させ、特徴点の抽出率を向上させることを目的として、撮影した画像を対象に色調補正を実施した。また、三次元形状復元計算によって抽出された人工リーフ上の三次元点群データのうち、観測時の潮位よりも高い標高と推定された点が見られたため、異常値として取り除いた。

設置した検証点の測量結果と比較して得た陸上および水中の検証点での推定誤差を表-1に示す。陸上の検証点については、水平方向の誤差が、0.02m以内、鉛直方向の誤差が0.05m以内に収まっており、良好な精度で検証点の座標が推定された。一方、水中の検証点については、最大で0.8m程度の鉛直方向の誤差が生じており、水面における屈折の影響を補正する必要性を示す結果となった。また、水中における水平方向の誤差は、鉛直方向の誤差に比べて比較的小さいと予想していたが、0.4mを超える場合があった。

表-1 陸上および水中の検証点の誤差の絶対値

		水平方向の誤差 (m)	鉛直方向の誤差 (m)
G80	陸上	0.005	0.004
	水中	0.270	0.800
G85	陸上	0.002	0.034
	水中	0.450	0.400
G95	陸上	0.020	0.022
	水中	0.270	0.088

なお、濁りの影響の少ない画像を用いて解析を行うため、北海道庁から提供された北海道太平洋沿岸の人工リーフ（天端水深約1.0m、離岸距離約100m、堤長約100m）についても、同様の解析を行った。なお、撮影条件はフロントラップ率95%、サイドラップ率80%（H80）である。

5. 水深の補正方法の検証

5.1 水面における屈折の影響の補正

水面における屈折の影響を補正するために、三次元形状復元計算によって得られた人工リーフの標高 a と観測時の潮位 Z から見かけの水深 h_a を算定し（式(1)）、水深の補正係数 N を乗じることで真の水深 H を推定した（式(2)）。そして、図-3のように、 Z と H の差をとることで真の標高 A を推定した（式(3)）。

$$h_a = Z - a \quad \text{----- (1)}$$

$$H = N \times h_a \quad \text{----- (2)}$$

$$A = Z - H \quad \text{----- (3)}$$

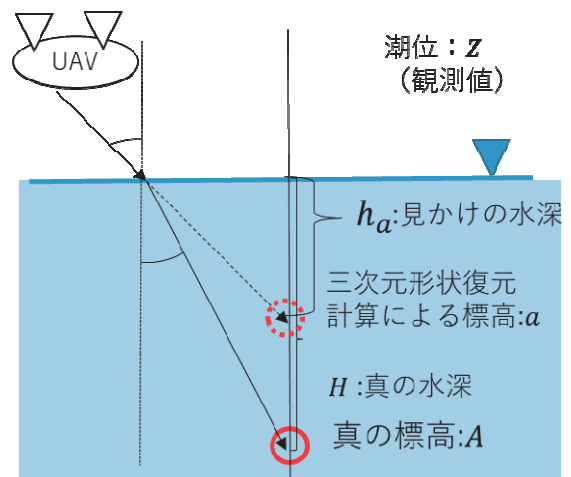


図-3 水深の補正方法

表-2 補正係数N

	手法1	手法2	手法3
G80	1.34	2.65	1.84
G85		1.45	1.18
G95		1.07	1.59
H80		-	2.33

Nは以下のように設定した。

- ・海面での相対屈折率1.34（手法1）
- ・水中に設置した検証点における測量値と三次元点群データの水深の比1.07~2.65（手法2）

これらのほか、天端面全体の測量結果と水深補正後の標高Hの推定値を用いた水深の誤差の二乗の和が最小となるNを求めた（手法3）。求めたNは表-2のとおりである。

水深補正後の人工リーフの標高の誤差の平面分布を図-4に示す。各ケースにおいて人工リーフの表面上の点群データが抽出され、三次元形状は再現できた。しかし、人工リーフの標高の誤差には空間的なばらつきが見られ、その特徴は各ケースにおいて異なっていた。

人工リーフのモニタリングに必要な精度は定められていないため、人工リーフの被覆ブロックの施工精度である0.3mに着目する。手法1では、

G80、G95において天端面における標高の推定値は高く（水深が浅く）なる傾向があり、Nが過小である箇所が見られた。一方、G85では、標高の推定値は誤差±0.3m以内または0.3mより低くなり、Nが過大である箇所が見られた。一方、手法2ではG80とG85ではNが過大に、G95ではNが過小に評価される傾向が見られた。

さらに、手法1において、G85ではG80とG95と比べ人工リーフ天端面の測得率（点群データが得られた部分の割合）が最も小さく、人工リーフ天端上の標高の誤差の標準偏差は大きくなったが、誤差±0.3m以内の格子（1m四方）の割合はラップ率が高い方が大きくなった（表-3）。また、大潟海岸より濁りが少ない北海道太平洋沿岸の人工リーフを対象とした検討（H80）では、G80と比べ誤差±0.3m以内の格子の割合は同程度だが、測得率と標準偏差は小さくなった。

表-3 人工リーフ天端上の標高の測得率、推定値（手法1）の標準偏差と誤差±0.3m以内の格子の割合

ケース	測得率	標準偏差	誤差±0.3m以内の格子の割合
G80	98 %	0.53 m	12%
G85	90 %	0.70 m	28%
G95	100 %	0.52 m	34%
H80	74 %	0.19 m	12%

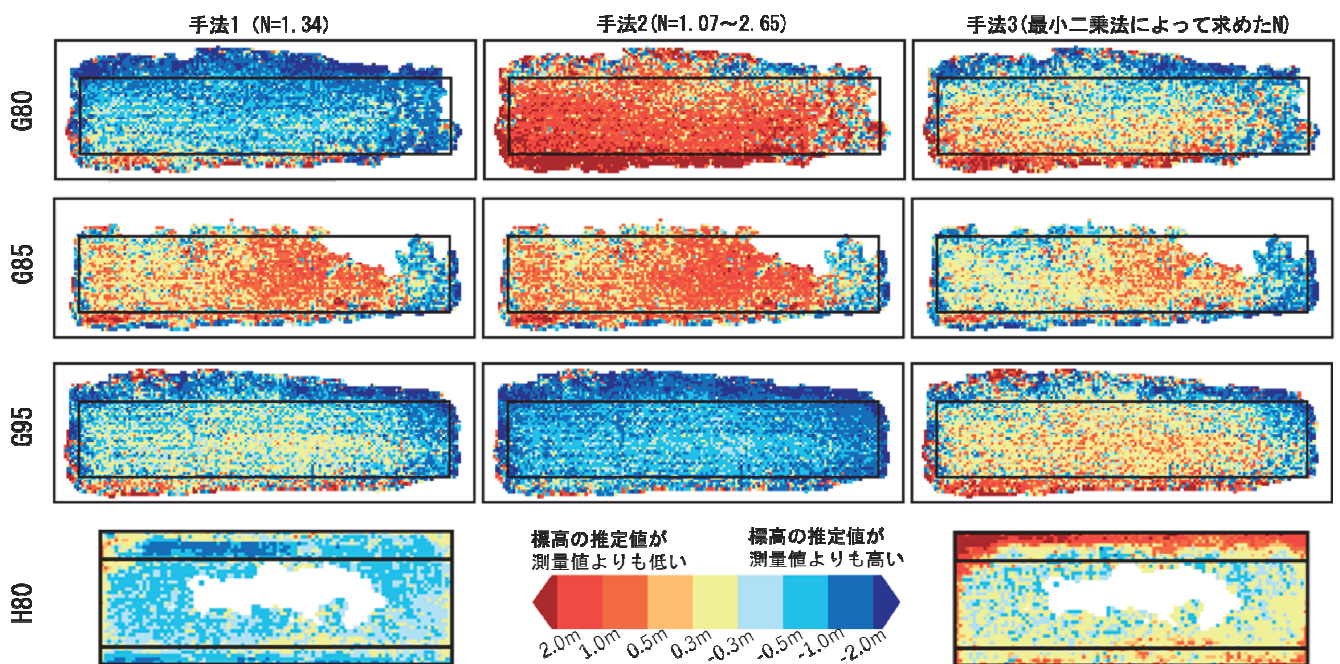


図-4 水深補正後の標高の推定値の誤差の平面分布（各図の中央の黒枠内が人工リーフの天端面）

5.2 水深の補正係数の妥当性の検討

Nは直上からみたときに1.34となり、角度をつけた場合は1.34よりも大きな値となる（水深がより小さく見える）。しかし、表-2のように、手法3では、G85のNが1.18となったことから、水面での屈折に加え、他の要因が影響したと考えられる。一方、手法3の他のケースではNが1.59～2.33となり、Nに1.34を用いると標高が高く推定されることが示された。

5.3 誤差のばらつきや欠測を引き起こす要因

標高の推定誤差のばらつきおよび欠測が生じた要因を考察する。表-3のように、H80ではG80と比べて測得率は小さいものの、標高の推定値の誤差の標準偏差が小さかった。また、G80とG95は標準偏差に大きな違いが見られなかった。海水の濁りの程度が異なる2海岸で標準偏差に違いが見られたことから、標高の推定値のばらつきは海水の濁りの影響が大きく、ラップ率の影響や測得率との関係は比較的小さいことが示唆される。

また、大潟海岸では人工リーフの右側端付近で濁りが強く、欠測や誤差が生じた要因であったと考えられる。また、現地調査は静穏時に行ったが、天端水深が比較的小さい北海道太平洋沿岸では人工リーフ上で砕波が生じており、欠測が生じた一因となったと考えられる（図-5）。特に、G85では、G80やG95に比べ測得率が小さく、濁りによる色調等の違いが三次元形状復元計算の結果に影響し、欠測が生じたと考えられる。

なお、海水の濁りが標高の推定値のばらつきに影響することから、水中に設置した検証点が少ないとその標高の推定精度が低いと予想される。海水の濁りがある地点では、水中に検証点を多く設置できない場合には、手法2は実用的ではないと考えられる。

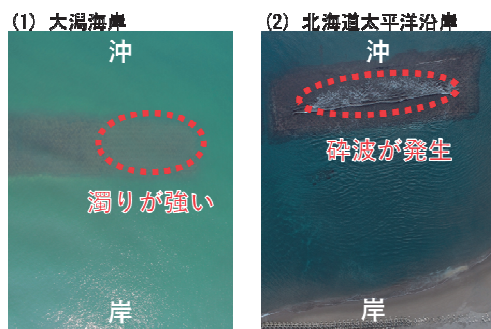


図-5 撮影した画像の例

6. まとめ

本研究では、UAVを用いた人工リーフの簡易な点検方法として、撮影した画像の補正、三次元形状復元計算、異常値の除去、真の水深の推定という手順で水面での屈折の影響を補正する方法を提案し、人工リーフの天端高を一定の精度で推定できることを示した。本手法は、計測に適した時期を選んだ定期点検のほか、高波による人工リーフの被災に関する一次的な調査に活用することも期待される。

謝 辞

鹿児島大学水産学部の西隆一郎教授、山口大学工学部社会建設工学科の神野有生助教には観測条件や解析方法について貴重なご助言をいただいた。大潟海岸での調査では新潟県および上越市にご協力いただいた。北海道から撮影画像と測量成果を提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 農林水産省、国土交通省：海岸保全施設維持管理マニュアル、94p.、2018
- 2) 国土交通省他：海岸保全施設維持管理マニュアル改訂検討委員会資料、http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kaiganhozen/index.html
- 3) 浜口耕平、加藤史訓、橋本孝治、小金山透：UAVを用いた人工リーフの形状把握における海面での屈折の影響の補正法に関する検討、土木学会論文集B2、Vol.74、No.2、pp. I_1429～I_1434、2018

加藤史訓



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部海
岸研究室長、博士（工
学）
Dr. KATO Fuminori

浜口耕平



研究当時 国土交通省国
土技術政策総合研究所河
川研究部海岸研究室研究
官、現 国土交通省水管
理・国土保全局海岸室海
洋開発係長
HAMAGUCHI Kohei