

高知港における UAV による空撮と画像解析を用いた砕波に関する研究

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

1240040 小川 直央

指導教員：佐藤慎司

1. 研究背景と目的

高知港において景観に配慮しながら離岸堤とほぼ同じ効果を有する人工リーフ（潜堤）が存在する。このリーフで発生した砕波が白波の不思議な縦筋構造（図1）を作り出す。その模様ができる原理に興味を持ち研究するに至った。本研究の目的は、高知港におけるリーフ上での砕波発生後の縦筋構造は何が要因で出現しているのかを分析することである。これにより浅瀬での砕波後の波の流れを理解し、海岸浸食を防ぎつつ、景観も守れるような構造物建設に役立たせることができる。



図1. 不思議な縦筋構造

2. 研究対象領域



図2. 研究対象領域（国土交通省）

研究対象領域は高知新港の東側に位置する人工リーフとする。2004年にリーフの整備が完了し、約20年経過している。（図2）

3. 研究方法

高知港のリーフ上で砕波の様子を UAV で 2023年5月20日に5分間撮影した。その動画を1秒につき30枚、合計9000枚のコマ送りの静止画に変換し、画像解析を行った。

(a) 動画像の平均画像解析

はじめに変換した静止画像を透過し重ね合わせることで砕波発生後の白波の後ができた1枚の平均画像ができる。0分から5分までできたコマ送りの静止画から平均画像を1分に1枚ごと計5枚作成する。そして、1分ごとの平均画像の比較を行った。

(b) タイムスタック画像解析

(a)の結果をもとにタイムスタック画像を作成し、縦筋構造ができる前と後の比較を行った。はじめに変換した静止画像からリーフ上の縦筋構造ができ始める場所のみを1画素切り抜き、縦につなぎ合わせることでタイムスタック画像ができる。リーフ上の縦筋構造ができる前の場所も切り抜き、同様に縦につなぎ合わせタイムスタック画像を作成した。この2枚を比較することで何が起因となり縦筋構造ができるのか分析した。

(c) 波の周期と振幅の調査

(a)の結果をもとに時間帯の違いによる縦筋構造の違いを調査した。撮影時の波の特徴をつかむために UAV で撮影した動画から砕波直前の波の周期と振幅を計測した。砕波直前の人工リーフ侵入前の波を確認した。砕波直前の時刻とその間の時

刻をプロットし、横軸が時間、縦軸が振幅（目視で大中小の3段階で分類）のグラフを作成した。作成したグラフからこの時の波の特徴と縦筋構造との関係性を分析した。

(d) 縦筋構造の明瞭さの調査

(a)、(c)の結果をもとにリーフのステージとなっている捨石部の情報から縦筋構造が明瞭に見える時間帯と不明瞭に見える時間帯の比較を行った。はじめに変換した静止画を2秒に1枚ごと、60秒で計30枚抜粋して使用した。抜粋した画像のうち、捨石部のみを切り取り、砕波した波から突出している捨石をプロットした。次にプロットした画像を縦につなぎ合わせた。そうすることで砕波後の捨石の様子を確認することができる。縦筋構造が明瞭に見える1分間と不明瞭に見える1分間の2枚の画像を作成、比較分析を行った。

4. 研究の成果

(a) 動画像の平均画像解析

平均画像を作成し解析した結果、2つの共通点と1つの相違点が明らかになった。1つ目の共通点は白波の縦筋構造が存在することである。5分間の平均画像の5枚ともが共通して砕波後に発生した白波が同一経路を辿って流れており、それが縦筋構造を作っていた。2つ目は白波が分かれ始める位置である。どの画像でも縦筋構造ができ始める場所が人工リーフ背後からであることが分かった。人工リーフ背後にある何かが縦筋構造を作る要素となっているのだろう。相違点は縦筋構造の明瞭差であった。1分から2分の平均画像（図3）では縦筋構造は見られたものの模様が小さく不明瞭であった。しかしながら4分から5分の平



図3. 1分～2分（不明瞭な縦筋構造）



図4. 4分～5分（明瞭な縦筋構造）

均画像（図4）では長く大きな縦筋の模様が明瞭に映し出されていた。

(b) タイムスタック画像解析

(a)の結果から縦筋構造ができ始めるのは人工リーフ背後であることが分かった。そこで人工リーフ背後にある捨石に着目して縦筋構造出現場所（図5）と縦筋構造出現前の波の流れの比較分析を行った。分析した結果、縦筋構造が出現した場所の画像には突出した捨石の影響で常に黒のライン（図6）が入っていることが分かった。縦筋構造ができる前の画像はこの黒いラインを見つけることができなかった。よって、縦筋構造はリーフ背後の捨石と関係していることが明らかになった。

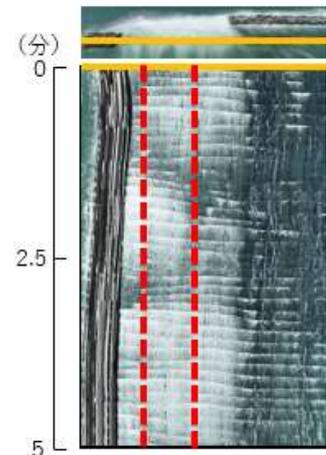


図5. 構造出現場所のタイムスタック画像

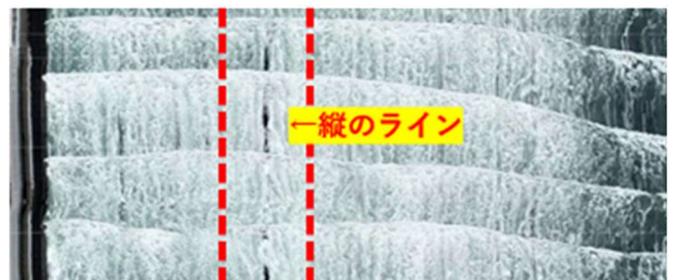


図6. 縦筋出現場所タイムスタック画像の黒のライン

(c). 波の周期と振幅の調査

(a)の結果をもとに時間帯の違いによる縦筋構造の違いを調査するために UAV で撮影した動画から砕波直前の波の周期と振幅を計測し影時の波の特徴をグラフで可視化した (図7)。振幅の大き

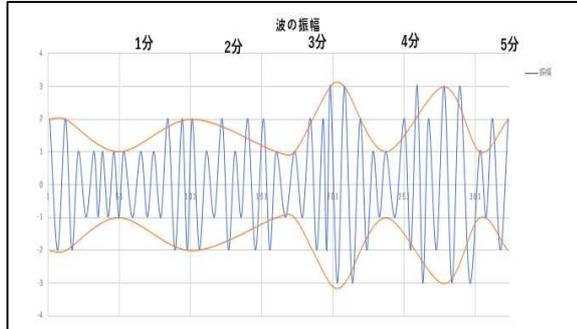


図7.振幅と周期に関するグラフ

さの小中大は1から3で記している。グラフにした結果、3分以前は主に中の波が連続しており、比較的穏やかな波が続いていた。それに対して3分以降は主に大の波が連続しており、動画前半と比較すると激しい波が来ていた。このことから短時間でも波高の大小が変わることが分かった。次に振幅周期のグラフの頂点をなぞり、包絡波を作ると動画前半では小さな波ができ、動画後半からは大きな波ができた。包絡波が小さいということから動画前半は波群性が小さく、逆に動画後半は包絡波が大きいことから波群性が大きいことが分かった。波群性が大きいと長周期で水位の変化を見たとき、水位変化は大きくなっている。また、流速に関しても大きくなっている。よってこの結果から動画前半は波群性が小さいことから長周期の水位変化と流速がともに小さいことに対して、動画後半は波群性が大きいことに伴って、長周期の水位変化と流速がともに大きくなっていることが分かるため波の周期よりも長いスケールの変動で縦筋構造が作られていることが分かった。

(d). 縦筋構造の明瞭さの調査

(a)の結果から縦筋構造が明瞭な時間帯と不明瞭な時間帯があること、(c)の結果から動画前半と後半では波群構造の違いから長周期の水位変化と

流速の違いがあることが分かった。そこで水位変化と流速の違いをリーフのステージとなっている捨石部の情報を利用して縦筋構造が明瞭に見える時間帯と不明瞭に見える時間帯の比較を行った。縦筋構造が不明瞭な時間帯である1分から2分と縦筋構造が明瞭に見える4分から5分で分析を行った。分析を行った結果、1分から2分で突出した捨石は111回確認できた(表1)。これに対して4分から5分では突出した捨石は184回確認できた(表1)。

表1. 突出捨石のプロット数

時間 (分)	プロット数
1～2	111
4～5	184

1分から2分と4分から5分の突出捨石の数を比較するとプロット数が明らかに4分から5分の時のほうが多い。突出捨石の見える回数が多いということはそれだけ長周期の水位変化が大きいということにつながっている。(b)の結果から突出捨石が見えることが影響して縦筋構造ができることが分かっている。1分から2分の砕波後の縦筋構造は水位変化が小さく、捨石が影響する回数が少なかったため縦筋構造が不明瞭になることが分かった。逆に4分から5分の砕波後の縦筋構造は水位変化が大きく、捨石が見える回数も多くなったため縦筋構造が明瞭になった。

2秒ごとの捨石部のタイムスタック画像を確認すると1分から2分のタイムスタック画像(図8)では突出捨石の配置場所が左に寄ったり、右に寄ったりと時間ごとに捨石がリーフ片側に密集していた。これは波高が小さいためリーフ直前で砕波が部分的にしか起こっていないことを意味する。4分から5分のタイムスタック画像(図9)では突出した捨石がリーフ上に満遍なく散在していた。このことから4分から5分の波高は大きく、沿岸方向にむかって一様な砕波が起こっていたことが分かる。波高が小さいとリーフ上の砕波が部分的になり、波高が大きいとリーフ全体に一様な砕波

になることが縦筋構造の差につながる。

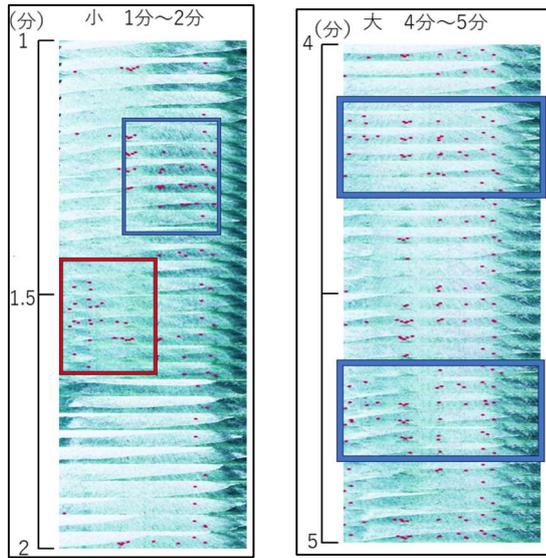


図8 1分～2分のタイムスタック
図8 4分～5分のタイムスタック

4. 結論

本研究の目的は、高知港におけるリーフ上での碎波発生後の縦筋構造は何が要因で出現しているのかを分析することである。本研究を通じて得られた主な結果を以下にまとめる。

- ① 動画像の平均画像から高知港において碎波後に人工リーフ背後で白波の形跡からできる縦筋構造を発見した。
- ② タイムスタック画像による比較解析により縦筋構造はリーフ天端の不陸と関係していることが分かった。
- ③ 波の周期と振幅の分析により、動画の前後半で縦筋が変化していることから、波の周期よりも長いスケールで縦筋構造が変化している。
- ④ 縦筋構造の明瞭さの調査から波の波群構造との関連を発見した。波高が小さいときはリーフ上に部分的な碎波しか起こらない。これが起因となり不明瞭な縦筋構造ができる。それに対して波高が大きいときはリーフ上で沿岸方向に一様な碎波が発生するため、明瞭な縦筋構造ができる。

このように人工リーフで碎波後の流れ構造は、入射波の波群構造やリーフ構造物天端面のわずかな不陸に大きく影響されることが分かった。現在の設計では天端面は不陸が所応じないように設計されているが、小さな突起物を加えることで流れの制御ができる可能性がある。

5. 参考文献

- 1) 速水頌一郎「碎波の機構」第1回海岸工学講演会講演集, pp.35-44. (1954)
- 2) 岩垣雄一, 浅野敏之, 山中庸彦, 永井文博「流れによる碎波に関する基礎的研究」第27回海岸工学講演会論文集, pp.30-34. (1980)
- 3) 田渕幹修, 滝川清「斜面上の波の碎波特性に関する研究」第34回海岸工学講演会論文集, pp.41-45. (1987)