

カスプ地形の発達過程と形成条件

システム工学群 建築・都市デザイン専攻 4年
海岸工学研究室 1210115 長崎 由伽子
指導教員 佐藤 慎司

1. 研究の目的

はじめにビーチカスプ(図-1)とは汀線付近にできるリズムカルな砂浜形状であり、その特徴や成因を明らかにしようとしてこれまで多くの現地観測や室内実験等が行われてきた。しかし未だ一般化には至っていない。本研究では高知海岸におけるカスプの形成から消滅までのメカニズムを解明することを目的とした。以下、ビーチカスプをカスプと称する。

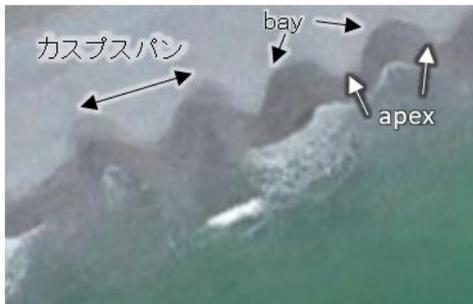


図-1 ビーチカスプ

2. 研究内容

(1) 空中写真の分析

1952年から2019年までの期間に撮影された高知海岸(図-2)の空中写真を物部川河口砂州、種崎海岸、仁淀川河口砂州に焦点を当て観察した。種崎海岸の沖には防波堤が設置されている。空中写真は1年に1度以下の頻度で晴れた日に撮影されたものである。なお、1952年～2006年までは国土地理院の空中写真閲覧サービス、2006年以降は高知河川国道事務所の空中写真を採用した。詳細に観察した結果、各地点形成時期に差があるもののカスプの存在を確認できた。(図-3)このことからカスプは人工構造物の有無や海岸特性に関わらず出現す



図-2 高知海岸

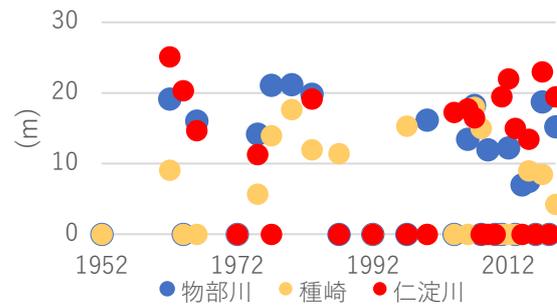


図-3 年別に見たカスプのスパンの長さ

ることがわかった。しかし、空中写真の撮影間隔が年単位と大きく、カスプの形成要因を推測することができなかったため、観察領域を特定の範囲に絞り、高頻度の調査を進めることとした。

(2) UAVを用いた調査・分析の概要

調査対象領域を南国工区測線 28-27, 28-28 付近の砂礫海岸とし、RTK-UAV(DJI Phantom4 RTK+D-RTK2)を用いて海浜地形の変動を記録した。UAVは沿岸方向約300m、岸沖方向約100mの海浜領域上を高度約44mで飛行させ、地形DEMを推定した。この領域の沖には37号離岸堤と38号離岸堤が設置されている。(図-4)観測期間は、2020年9月10日から2021年1月27日までで、計26日分の観測データを取得した。期間中、地形変動が顕著に見られたのは礫が集積する標高2m以下の汀線近傍であり、ほとんどのカスプがこの領域に出現した。一方、2m以上の地点での地形変動は小さかった。また、図-5は戸原観測所の波浪データより有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ を基に算出した波とカスプの関係を示したものである。ここでの遡上高さは高知港に



図-4 UAV観測領域

おける推算天文潮位と wave-set-up による平均水位上昇高さ $\bar{\zeta}_{max}$, wave-run-up による打上げ高さ R_u の和である。以下に算出に用いた数式を示す。

$$\bar{\zeta}_{max} = 0.22H_B$$

$$H_B = H_0(\tan \beta_1)^{0.2} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.25}$$

$$H_{rms} = 0.706H_{1/3}$$

$$H_0 = \frac{H_{rms}}{K_s}$$

$$K_s = \left\{ \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \tanh kh \right\}^{-1/2}$$

$$R_u = \sqrt{H_{rms}L_0} \tan \beta_2$$

$$L_0 = 1.56T_{1/3}^2$$

ここで、 H_B :碎波波高(m), H_0 :沖波 rms 波高(m), $\tan \beta_1$:海底勾配, L_0 :沖波波長(m), H_{rms} :rms 波高(m), K_s :浅水係数, k :波数, h :水深(m), $\tan \beta_2$:海浜勾配である。戸原観測所の水深は $h=24.5\text{m}$ であり、2019年の国土交通省の測量データを参考に対象領域の海底勾配を $\tan \beta_1=0.06$, 海浜勾配を $\tan \beta_2=0.1$ と仮定した。カスプの数は地形 DEM の分析で確認されたカスプを目視で数えたものである。カスプ最大傾斜はカスプの発達程度を示す指標であり、観測日毎に最も急傾斜であったカスプの傾きを QGIS で分析し、採用した。図-6のカスプは矢印の地点が最も急傾斜である。



図-5 波とカスプの関係性



図-6 カスプ最大傾斜

(3) 波浪・潮位とカスプの発達

カスプは発達と減衰を繰り返していたものの完全に消失したのは10月4日のみであった。これは9月30日に浜に到達した約3mの波が標高1m~2mに形成されていたカスプを越えて遡上したためだと考えられる。また、カスプの減衰も消失と同様に高波の観測後に多く見られた。10月4日の直後の10月9日には台風14号の影響で5mを超える遡上高さが観測されたが、次の観測日である10月15日には新たなカスプが確認できた。恐らく台風通過後から15日までの比較的波浪が穏やかだった数日間で形成されたものと推察される。11月中旬から12月にかけては著しいカスプの発達が見られた。この間には目立った高波が無く、遡上高さがカスプの形成範囲である1m~2mに留まる日が続いたためだと考えられる。また、11月3日に標高1.8m付近に観測されたカスプはapex部分に多少の変動があったものの1月27日まで残り続けていた。

(4) 複列カスプの形成

11月12日には11月3日のカスプ(1列目カスプ)を基準として前浜部分に2列目のカスプが出現した。この2列目カスプは11月14日には消滅しており、11月13日に観測された約3mの高波の影響だと考えられる。また、11月18日頃から前浜部分に再び2列目のカスプが発現した。このカスプはスパンや傾斜の減衰が多少見られたものの12月27日まで成長を続けた。さらに12月13日から27日にかけて2列目カスプの前浜にbayとapexが反転した3列目のカスプが観測された。(図-7上)

まず12月13日から19日にかけての差分図(図-7下)に着目すると2列目の前浜では大部分で砂礫の堆積が確認されていた。この期間は遡上高さが1.5m以内に収まる日が続いており、2列目カスプまで到達しない小さな波が続いたことが影響していると考えられる。19日に2列目前浜で観測された3列目カスプのスパンが小さかったこともこのためだと思われる。(図-7上の3列目(小))

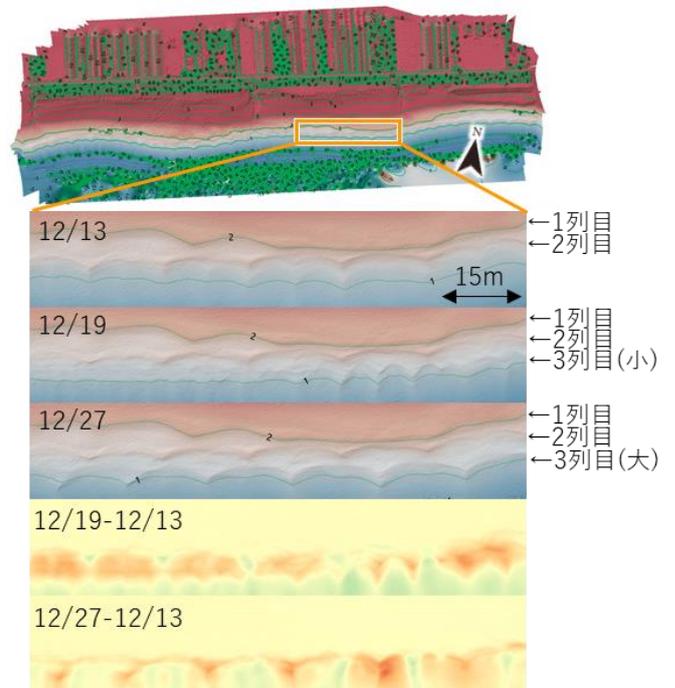


図-7 上：地形DEM画像、数字は標高(m)を示す。

下：差分図、赤が堆積、青が侵食を示す。

次に19日から27日にかけての地形変動である。この期間の波は13日から19日の間の波と比べるとやや増加傾向であったものの遡上高さが1.8m以下の比較的穏やかなものであった。27日には2列目カスプの前浜に同スパンで位相がずれた3列目のカスプが形成されていた。(図-7上の3列目(大))これは、浅い地点に集まる性質を持つ波が、2列目カスプのapexに入射した際にapex前浜の砂礫をbay部分を駆け上がりながら運搬し、離岸流によってbay前浜に堆積させたものと考えられる。(図-8)また、3列目カスプは12月31日の観測では消滅しており、2列目カスプも減衰していた。これは12月30日に観測された高波の影響と考えられる。このように複列カスプは波が穏やかな期間が長く続き、既存カスプの前浜に十分な砂礫が堆積したときのみ出現する限定的な地形変動だと予測される。



図-8 カスプの複列化をもたらす遡上波の運動

(5)カスプの層序構造

12月1日と2日にトレンチ調査を行った際、カスプ断面の砂礫の採取を行った。なお、砂礫の粒径加積曲線を図-9に示した。カスプの断面(図-10)は最深層部が比較的細かい粒径の砂礫層になっており、表層に近づくにつれ粒径が大きいものが多くなる傾向にあった。し

かし、砂礫の粒径が大きいcの層の上部に粒径が小さいdの層が見られた。表層のfが主に礫層であったことから、aの層からcの層にかけてカスプが形成されつつあったが、砂礫の堆積によって埋もれ、再び上部にカスプが構築された可能性があると考えられる。

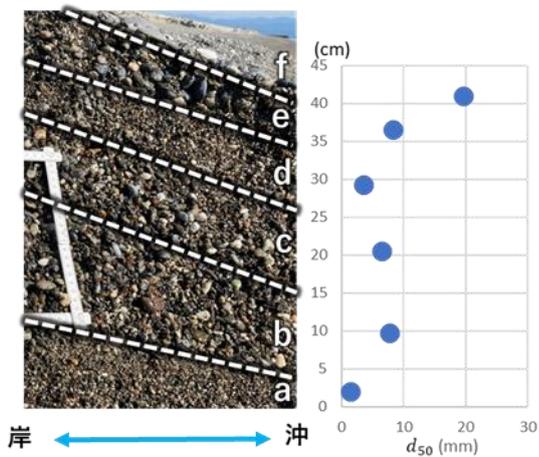


図-9 カスプ断面と中央粒径 d_{50} 分布

3. 結論

高知海岸におけるカスプに関して次の結論を得た。

- (1)カスプは人工構造物の有無や海岸特性に関わらず出現した。
- (2)カスプは短期間で成長、減衰を繰り返した。
- (3)カスプは標高1m~2mのみに出現し、遡上高さが2mを超えると侵食により減衰し、2mより低いときが続くと成長(堆積で急こう配化)する傾向が見られた。
- (4)成長が続くと bay と apex が反転した複列カスプが形成された。
- (5)カスプ断面は表層に近づくほど粒径が大きい礫が多くなった。

謝辞： 空中写真、波浪データ・測量データを提供いただいた国土交通省高知河川国道事務所、粒度分析においてご協力いただいた大内研究室各位に謝意を表する。

4. 参考文献

- 玉井佐一：カスプの形成に関する研究，土木学会第21回海岸工学講演会論文集21巻，pp. 115~120，1974.
- 玉井佐一：海浜カスプの形成機構に関する研究，土木学会第22回海岸工学講演会論文集22巻，pp. 135~139，1975.
- 玉井佐一：現地海岸におけるカスプの特性，土木学会第23回海岸工学講演会論文集23巻，pp254~259，1976.
- 玉井佐一：カスプ形成に関する研究，土木学会第24回海岸工学講演会論文集24巻，pp157~161，1977.
- 佐藤慎司・長崎由伽子・小塚海奈里：RTK-UAVによる砂礫海岸変動特性の解明，土木学会第67回海岸工学講演会論文集76巻2号，pp577~582，2020.