

小カスプを形成する海浜での地形形状の生成条件に関する研究

長岡技術科学大学大学院 小池 悠斗
長岡技術科学大学 正会員 犬飼 直之
長岡技術科学大学 山本 浩

1. はじめに

我が国には海に囲まれた島国であり、多くの砂浜は親水の間として親しまれている。しかし、その砂浜でも毎年多くの水難事故が発生している。新潟県においても平成26年5月4日の14時ごろ、**図-1**に示す上下浜の海岸で突然襲来した高波に汀線際で遊んでいた子供3名が沖に流され、救助に向かった大人2名を含む5名の方が溺死する水難事故が発生した。この事故の原因は人を転倒させ流出させる強い遡上波と強い戻り流れであった¹⁾。特に強い戻り流れは、砂浜を遡上してきた波が沖へと戻るときに、その速い流下速度で人を海に引き込む流れであり、この事故の主な原因である。犬飼ら¹⁾の研究結果より、強い戻り流れが発生しやすい海岸の特徴は、砂浜の勾配が1/10以上の急勾配である場所ということが明らかになっている。特に上下浜海岸では約1mの波による遡上波で強い戻り流れによる水難事故が発生する危険性が指摘されている¹⁾。

水難事故防止の観点から、上下浜海岸のような戻り流れによる水難事故が発生しやすい海岸の特性を十分に把握することは急務である。そこで本研究では上下浜海岸を対象に、強い戻り流れが発生しやすい海岸の特性の把握を目的として、強い戻り流れを誘発させる海岸をビーチカスプの形成状況の観点から調査した。

2. 上下浜海岸における地形的特徴の把握

(1) 上下浜海岸の地形的特徴

上下浜海岸は**図-3**の通り、前浜勾配1/7程度の急勾配を有し、浜幅も40m程度の狭い砂浜海岸である。海岸の背後には護岸が構築されており、一部の護岸の前には消波ブロックが設置されている。また内山ら²⁾の研究より、砂の粒形は1mm~2mm程度と粗く、歩行する際に足を取られるため移動しにくいことが分かっている。また**図-3**の通り、汀線から急に深くなるという地形的特徴も有する。この地形的特徴は遡上波に

大きな影響を及ぼし、波は汀線際まで碎波せず、波浪エネルギーを殆ど失うことなく砂浜を遡上する。従って、強い遡上波は人の足をすくい、強い戻り流れは人を一気に沖へと流す。また足を取られやすい砂は、突然の高波から逃げにくくなるため、上下浜海岸は水難事故が発生しやすい海岸である。

(2) ビーチカスプと強い戻り流れの関係

上下浜海岸では波長の短いビーチカスプを形成することも地形的特徴の一つである。ビーチカスプは海浜上に連続して形成される小山と窪地の地形であり、上から見ると**図-2**のように三日月型の模様を連ねたような地形を描く。上下浜海岸に形成される波長の短いビーチカスプは形成要因には諸説あるが遡上波と地形を生成要因とする説³⁾やエッジ波に起因する説⁴⁾などがある。そして、玉井ら⁵⁾は遡上波と地形を起因とするビーチカスプの形成条件の一つとして、前浜の勾配が1/15以上においてカスプの形成が顕著になる事を示した。従って、ビーチカスプの形成は急勾配の地形で形成されるため、強い戻り流れを発生させる海浜地形条件である前浜勾配1/10とほぼ一致することが分かる。そこで上下浜海岸のビーチカスプと海浜地形との関係性を調査した。また、上下浜海岸に形成するビーチカスプを以後はカスプと呼称する。



図-1 上下浜海岸及び波浪観測点の位置(Google Maps より)

3. 現地調査によるカस्प波長の測定

上下浜海岸におけるカस्पの形成要因を調査する為には現地のカस्प波長データが必要である。しかし上下浜海岸におけるカस्प波長に関するデータは数点あるのみである。そこで現地の海浜情報の充実を図るために現地調査を2018年7月から8月にかけて実施し、8個のカस्प波長データを収集した。現地調査では図-4に示す地点で調査を実施した。基点である放水路の地点から西南西方向に向かって200mの範囲でカस्प波長を測定した。この地点は過去に本文冒頭の水難事故が起きた地点であり、海底地形調査も多く行われていることから選定した。また、余計な外乱を防ぐために海岸前面に離岸堤や人工リーフ等がなく、砂の粒径に影響がないように養浜がされていないことも考慮した。測定については波浪変動による影響を考慮し、前日からの波浪変動が少ない日を選ぶことで影響を小さくした。また、当日の波浪状況は図-1に示す新潟県直江津港沖にある Nowphas 直江津港観測所⁶⁾のデータを参考にしている。

測定方法については図-2に示すカस्पのホーンからホーンにかけての長さ、すなわち波長 λ をメジャーを用いて数波長に渡って測定し、その中央値をその日の現地海岸におけるカस्प波長 λ とした。

4. 調査結果及び推算結果の比較

(1) 実測波長と推算波長の比較

現地調査から得られたカस्प波長を実測値として、現地調査時の波浪データを用いて推算値を導き、実測値との比較を行った。推算値は式(1)に示す武田らが導いた遡上波による推算式³⁾を使用した。また、推算にあたっては、波の到達時間及び地形変化にかかる時間は青木ら⁷⁾が得た結果を考慮してカस्प波長測定の1時間前の波浪データを使用し、遡上距離の算出については同じく武田らが導いた³⁾式(2)から距離を求めた。

$$\lambda = 1.5S_l \quad (1)$$

$$S_l = 1.04H_b \frac{9}{8}(gT^2)^{\frac{1}{8}}D^{-\frac{1}{4}} \quad (2)$$

λ :カस्प波長[m], S_l :遡上距離[m], H_b :碎波波高, g :重力加速度[m/s²], T :周期[s], D :堆積物粒径[m]である。

ここで、スモールカस्पの形成は勾配が関係すると先述したが式(2)を見ると勾配を示す項が入っていない。しかし、Beach Erosion Board⁸⁾の研究成果によると、砂の中央粒径は勾配によって変化し、前浜勾配1/10において中央粒径1mm、前浜勾配1/80において中央粒径0.2mm程度になることから前浜勾配と砂の粒径には密接な関係があり、式(2)の砂粒径の項に勾配の要素を含んでいると考えられるため、式(2)を使って遡上距離を計算することに問題はないと考えられる。そして最近の研究の結果より、上下浜海岸の砂の中央粒径は1.45mmであることからカस्प波長の推算にあたっては $D=1.45\text{mm}$ を使用する。

また谷川ら⁹⁾によるとカस्प波長は波向きによって増大するため、推算値は基本的に実測値よりも小さくなる。調査日時における波浪状況とカस्प波長を表-1に示し、図-5にカस्प波長の実測値と推算値を比較したグラフを示す。また、図-5はカस्पの形成が確認された時のみの比較を行っており、カस्पが観測されなかった8月20日と8月21日のカस्प波長推算は行っていない。

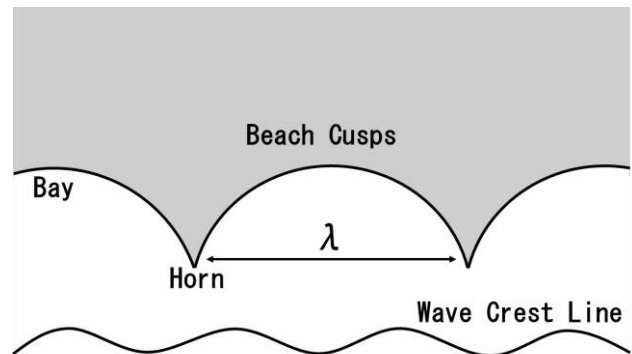


図-2 カस्प地形の各部名称及び概要

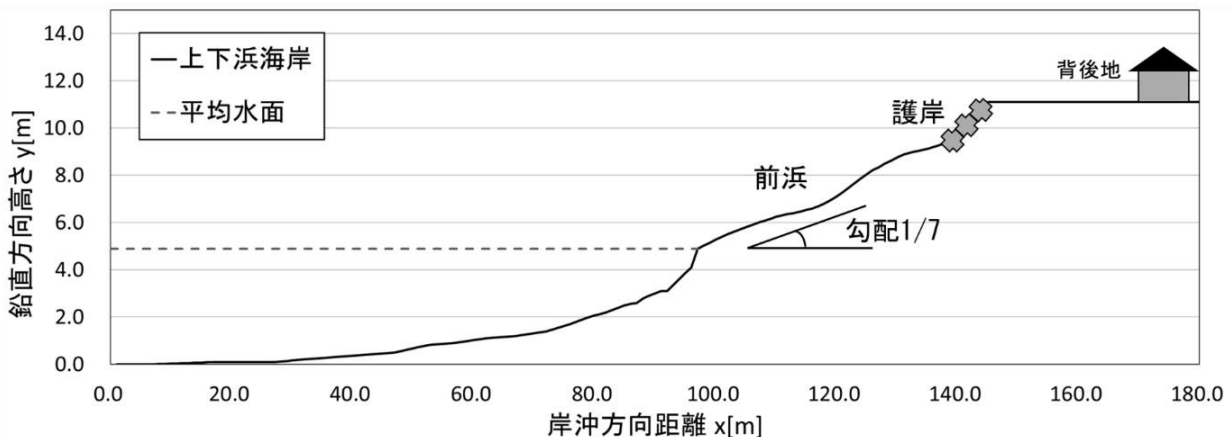


図-3 上下浜海岸の地形図

図-5より、7月1日から7月11日までの実測値は、おおむね推算値通りである。従って、実測値はおおむね式(1)の遡上距離の約1.5倍になっている。また、波浪状況が異なる4つのデータ全てが遡上距離の約1.5倍になるということは、カスプ波長はおおむね式(1)、(2)に従うのではないかと考えられる。

次に7月19日の実測値は、9:00の段階では推算値よりも下回っていたが、13:00には実測値が推算値と一致した。従って、時間経過によってカスプが成長していることが考えられ、19日9:00段階でのカスプは成長途中であることが考えられる。

8月29日の結果では実測値が推算値よりも大きく下回った。この原因としては、図-6の通り、8月24日に台風20号が新潟を通過しており、その影響によって海浜が荒れたためカスプが消滅し、その成長途中であった可能性がある。しかし、29日9:00よりも29日13:00の実測値の方が低くなっていることから、成長途中ではない可能性も考えられる。その他の要因として台風20号によって地形変化や砂の粒径変化が発生し、遡上波に対する抵抗が大きくなることで遡上距離が小さくなったことが原因として考えられる。また、波高が少し高くなると式(1)に従わなくなることから、上下浜海岸の粗砂が遡上波に対して想定以上の減衰抵抗となっている可能性がある。従って波浪が高くなると異なる結果になる可能性がある。

(2) k値とカスプ形成の関係

カスプの形成条件は武田ら³⁾が汀線の前進及び後退の条件式がカスプの形成条件についても適用できる

として以下の(3)式でその発生条件を示している。

$$\frac{H_b}{gT^2} \leq \frac{9D}{H_b} \rightarrow \frac{H_b^2}{(gT^2)D} \leq 9 \quad (3)$$

ここで、 H_b :碎波波高[m], g :重力加速度[m/s²], T :周期[T], D :堆積物粒径[m]である。

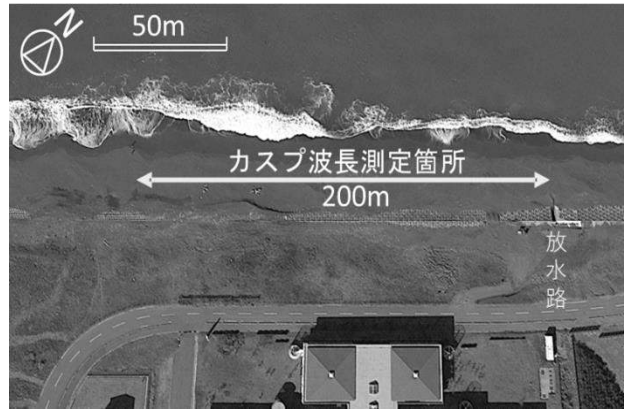


図-4 カスプの測定位置

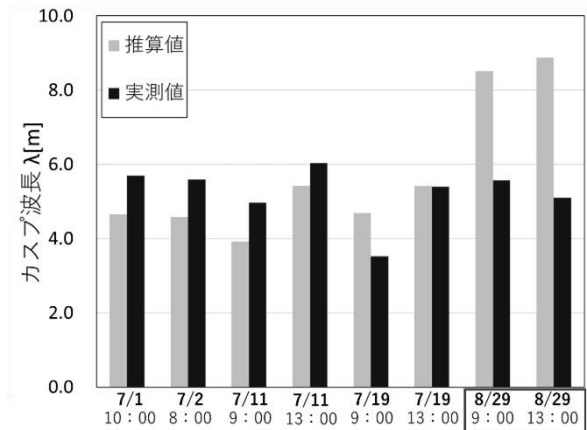


図-5 カスプ波長の実測値と計算値の比較

表-1 上下浜海岸における現地調査結果

日時	7月1日 10:00	7月2日 8:30	7月11日 9:00	7月11日 13:00	7月19日 9:00	7月19日 13:00	8月20日 10:00	8月20日 14:00	8月21日 10:00	8月21日 14:00	8月29日 9:00	8月29日 13:00
有義波高 [m]	0.15	0.15	0.13	0.17	0.15	0.18	0.13	0.37	0.22	0.19	0.33	0.35
有義周期 [s]	4.5	4.2	4.3	4.7	4.6	3.6	3.9	2.9	3.2	4.1	4.4	4.0
カスプ波長 [m]	5.7	5.6	5.0	6.0	3.5	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	5.1

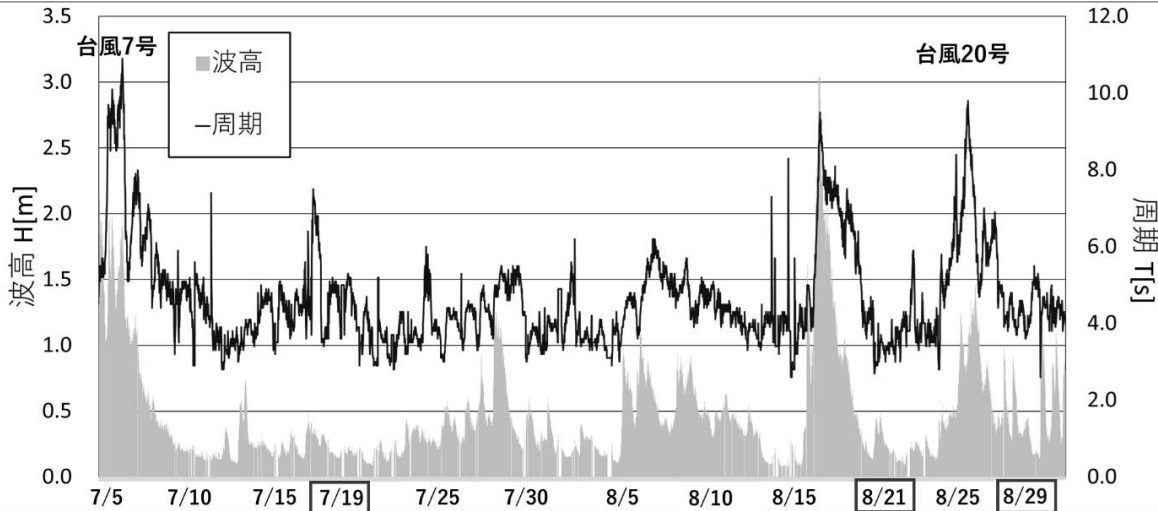


図-6 上下浜海岸における7月及び8月の波浪状況の時間変化

また、式(3)の $H_b^2/(gT^2)D$ をkとして、k値が9以内であればカस्पが形成され、9を越えるとカस्पが消滅することを表している。

図-7 は今回の現地調査におけるカस्पの形成有無と波浪の関係を示したものである。図-7 より、カस्पが観測できなかったのは8月20日及び21日である。また、図-6 を見てみるとその3日前である17日に高波浪が襲来しており、この結果を踏まえて7月から8月にかけてのk値の推移を表した図-8 を見てみると、7月初頭の台風7号と8月の高波浪襲来時にk値が9を越えており、カस्पの消失条件になっている。従って、8月20日及び21日にカस्पが観測できなかった原因は8月17日の高波浪によって汀線が一時的に後退し、前進途中であったことが原因ではないかと考えられる。以上より、k値が9を越えてカस्पが消滅した場合は、後日にk値が9以内に収まってから4日を経過しても形成できていないことが明らかになった。

5. まとめ

カस्प波長の実測値と推算値の比較では概ね式(1)、(2)の関係に従うこと、カस्पの形成と消滅においても、その形成有無は概ねk値に従うことが確認できた。従って、カस्पの形成と波長は武田ら³⁾の研究成果に従うため、上下浜海岸に形成されるカस्पは遡上波と地形に起因するものではないかと考えられる。

ただし、高波浪通過後及び波高が高くなるとカस्प波長は式(1)に従わないことも明らかになった。同時に今回の調査では低波浪時のみの調査であったため、波高が高くなるとまた違った結果を示す可能性が示された。また、カस्पの形成有無は常にk値に従わないということが判明した。

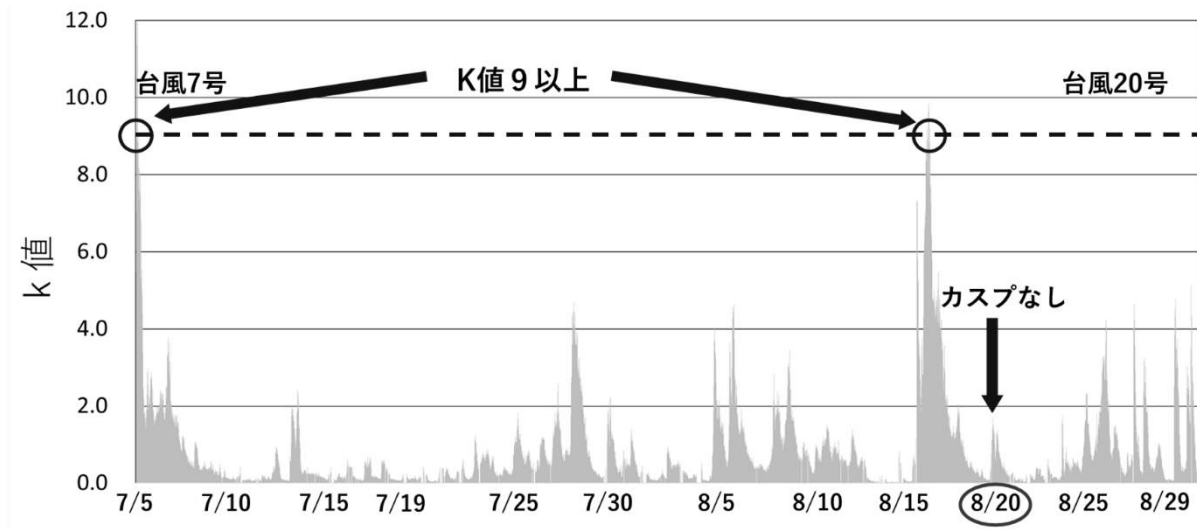


図-8 上下浜海岸における7月及び8月のk値の時間変化

参考文献

- 1) 犬飼直之, 篠原将也, 山本浩, 江尻義史, 大竹剛史: 砂浜を遡上する波浪で水難事故が発生する可能性のある新潟県内の海岸の把握について, 土木学会論文集B2(海岸工学), 73巻, 2号, I_1471-I_1476 2017.
- 2) 内山清: 大潟海岸・上下浜海岸における海浜底質の粗度組成—ビーチカプスの性質と粗度組成の関係—, 京都大学防災研究所, 京都大学防災研究所年報(46), pp.637-649, 2002.
- 3) 武田一郎, 砂村継夫: ビーチカプスの発生と波長, 第29回海岸工学講演会論文集, 第29巻, pp.319-322, 1982.
- 4) Sallenger, A. H., Jr. : Beach-cape formation, Marine Geology, Vol. 29, pp. 23~37, 1979
- 5) 玉井佐一: カस्प形成に関する研究, 海岸工学講演会論文集, 第22巻, pp135-139, 1975.
- 6) (独法)港湾空港技術研究所: NOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報網), 国土交通省, <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>
- 7) 青木久: ビーチ・カプスの波長に関する予測式, 地形, 第24巻, 第4号, pp419-433, 2003
- 8) BEACH EROSION BOARD :Shore protection and planning, U.S. Army Beach Erosion Board, Tech. Rept., 4, 242pp, 1961
- 9) 谷川麻子, 泉典洋, 田中仁: 汀線に直角に入射する波によって形成されるビーチカस्प, 応用力学論文集, 7巻, pp1005-1012, 2004.

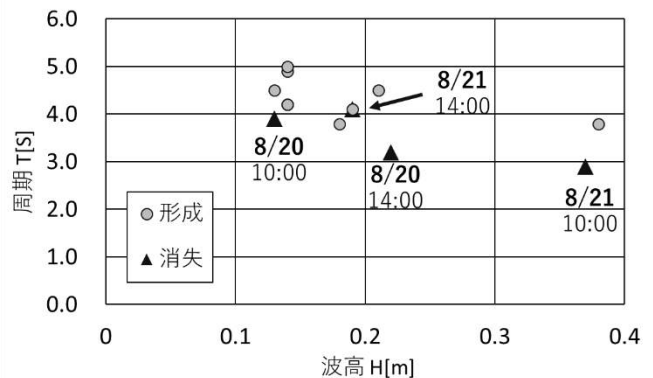


図-7 カस्पの形成有無と波浪の関係