

# 上下浜海岸におけるカスプ地形の生成要因に関する研究

水圏防災工学研究室 塚田 佳樹  
 指導教員 犬飼 直之  
 (細山田 得三)

## 1. はじめに

平成 26 年 5 月 4 日、新潟県上越市柿崎区上下浜海岸において、突然高波浪が襲来し砂浜を遡上したことで子供 3 名が海へ流され、救助に向かった大人 2 名を含め 5 名が死亡する事故が発生した。この事故は、陸上で浜遊び中に遡上する波にさらわれて発生した水難事故と考えられ、打ち寄せた波が駆け上がる海浜地形と深く関係しているといえる。

犬飼ら<sup>1)2)3)</sup>によって、現地調査や波浪解析、数値シミュレーションなどを実施し、事故発生時の波浪の挙動把握を目的に、上下浜のカスプの地形データ作成および事故発生時の遡上する波浪の平面運動、汀線前面での波浪の鉛直挙動などが報告されている。そして、上下浜のような急勾配海浜における遡上波の危険度が作成された。有義波高 1.0m でも、波の周期が 7sec 以上の場合、汀線から 10m 地点に立っている大人が転倒する可能性が高く危険であると報告している。また、カスプが形成された海浜を駆け上がった波が流下する際、海水がカスプの窪地に集中し、戻り流れを発生させていることがわかっている。

水難事故防止の観点からも、海岸に近づきやすい波浪状態を生む要因となった気象状態を把握し、そして戻り流れを生じさせるカスプ地形の生成要因と波浪との関係を検討する必要がある。

そこで本研究では、上下浜におけるカスプ地形と危険な遡上波を発生させる波浪との関係を検討しながら、そのカスプ生成要因の把握を試みた。



図 1-1 上下浜海岸および直江津波浪観測所<sup>4)</sup>

## 2. カスプ発生条件と上下浜特有の海浜形状

カスプ地形とは、沿岸方向にリズムミクな褶曲が形成された海浜地形のことをいう。武田・砂村<sup>5)</sup>によると、カスプの発生条件に波浪変動による汀線前進の条件が適用できるとして、次式(2.1)を与えている。カスプの波長 $\lambda$ は遡上波との相互作用による考え方から、遡上波距離 $S_I$ を介して与えられる。

$$H_b/gT^2 \leq 9D/H_b \quad (2.1)$$

$$\lambda = 1.5S_I \quad (2.2)$$

$$S_I = 1.04H_b^{9/8}(gT^2)^{1/8}D^{-1/4} \quad (2.3)$$

$$B_h = S_I \sin \alpha \quad (2.4)$$

$$H_b/H_0 = (\tan \beta)^{0.2}(H_0/L_0)^{-0.25} \quad (2.5)$$

ここで、 $\lambda$ :カスプの波長、 $S_I$ :遡上波距離、 $H_b$ :砕波波高<sup>6)</sup>、 $T$ :波の周期、 $D$ :海浜堆積物粒径、 $H_0$ :沖波波高、 $L_0$ :沖波波長、 $\tan \beta$ :海底勾配、 $B_h$ :バーム高さである。海浜堆積物の粒径は、平成 30 年 2 月 1 日に 2 段目のカスプ付近で砂を採取した。ふるい分け試験による 7 箇所平均中央粒径の  $d_{50} = 1.45\text{mm}$  を用いることとした。



図 2-1 汀線から 35m 付近で採取した海浜堆積物

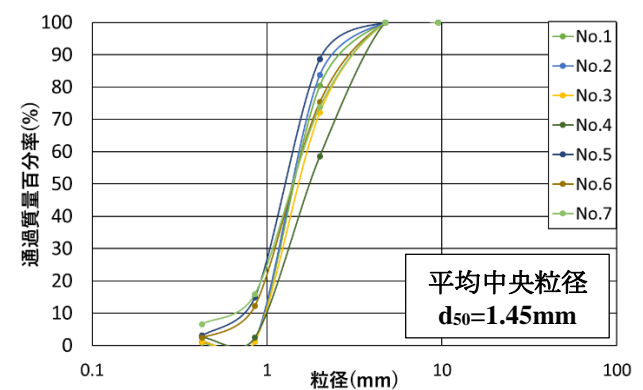


図 2-2 採取した海浜堆積物の粒径分布

上下浜におけるカस्प地形は図 2-3 に示すように 2 段形成されており、内山<sup>7)</sup>および犬飼らによる調査で表 2-1 に示す特徴を報告している。

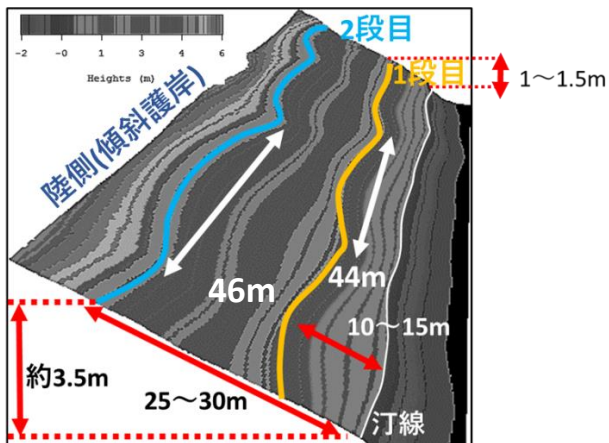


図 2-3 事故発生箇所付近で見られたカस्प地形 (調査:H26.1.14 事故発生箇所付近)

表 2-1 上下浜におけるカस्प波群の調査結果

段	内山(2012)		犬飼(H26.1.14)	
	1 段目	2 段目	1 段目	2 段目
前浜勾配	7~9°		7.9°	
形成位置	7~10m	25~30m	約 15m	約 30m
標高			1~1.5m	約 3.5m
波長 λ	15~20m	35~50m	44m	46m

### 3. 危険度が高まる波浪と気象との関係

天気図と波浪観測データを用いて日本海におけるうねり性波浪と気象との関係について検討した例<sup>7)</sup>がある。図 3-1 のように北小浦や富山湾への寄り回り波の襲来に対する危険性の有無を予想できる可能性が示された。同様に本研究では、事故当時のような波浪状態と天気図との関連性について把握するため、Nowphas 直江津港波浪観測データにおいて有義波周期  $T_{1/3}=7s$  以上が観測された波の高まりと観測当時から数時間前の天気図と関連付けた。そして事故発生時のような波浪状態はどのような気象条件で起こりうるのか検討を試みた。波浪状況は 05~14 年の Nowphas 直江津港で 2 時間毎に観測される波浪データを用いた。気象条件は、同期間における気象庁および日本気象協会が公表している天気図を参考とした。有義波周期  $T_{1/3} \leq 7s$  の波が観測された時間付近の天気図を

抽出したところ、合計 846 件のうち表 3-1 に示すように、特徴的な気圧配置として高気圧東進タイプが 156 件、寄り回り波タイプが 373 件見られた。

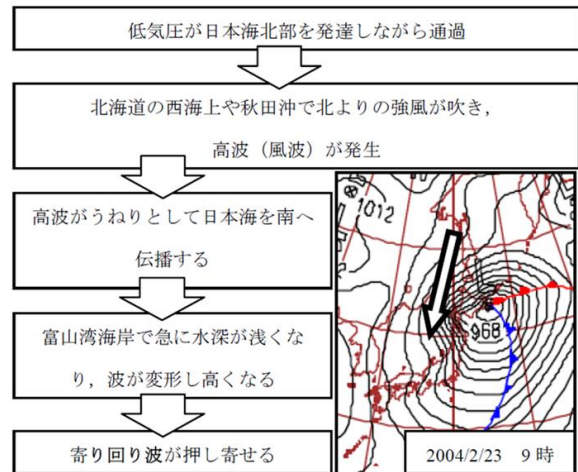


図 3-1 寄り回り波における波浪と気象との関係

表 3-1 周期 7s 以上に観測した主な気象状態

天気図	高気圧東進	寄り回り波
発生数/10 年	156(+75)	373(+75)
出現頻度(%)	7	17
主な特徴	移動性高気圧	冬型気圧配置
平均継続時間(h)	14.3	30.9
平均 $H_{1/3}$ (m)	1.11	2.17
平均 $T_{1/3}$ (s)	7.36	7.70

高気圧東進パターンは図 3-2 に示す移動性高気圧が日本海を東進する天気図となるものが多い。等圧線の間隔が広いことから波高が発達しにくく、移動性高気圧により好天となりやすいため、海岸に近づくのが容易に想像できる。上下浜では注意が必要な気象状態および波浪状態といえる。このうち、カस्प発生条件を満たした波浪状態は 89% を占め、上下浜においてカस्पを形成する波浪を引き起こしやすい気象条件ともいえる。

図 3-4 に示す寄り回り波パターンは、冬期に多く、北海道付近の発達した低気圧や冬型気圧配置により発達した波がうねり性の波浪として襲来したものである。波の波高および周期はピークを迎えたのち、徐々に穏やかな波となる。冬期はこの気圧配置が緩んで高気圧東進パターンとなる例が多い。

表中，寄り回り波パターンから高気圧東進パターンへ移り変わり継続して  $T_{1/3} \geq 7s$  が観測された波浪が 75 件あり，それぞれに (+75) として記す。



高気圧(移動性高気圧)が日本海を東進

図 3-2 高気圧東進パターンの天気図 (日本気象協会 tenki.jp 2014/05/04 3時)

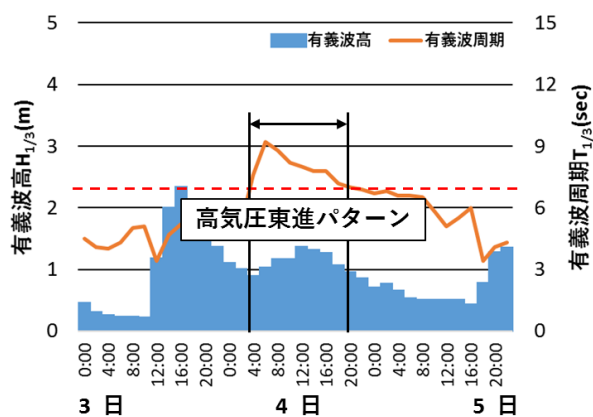
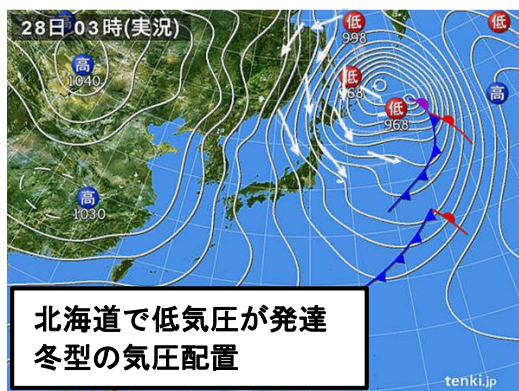


図 3-3 高気圧東進パターン前後の波浪状況 (Nowphas 直江津港波浪観測所 2014/05/03~05)



北海道で低気圧が発達 冬型の気圧配置

図 3-4 寄り回り波パターンの天気図 (日本気象協会 tenki.jp 2013/12/28 3時)

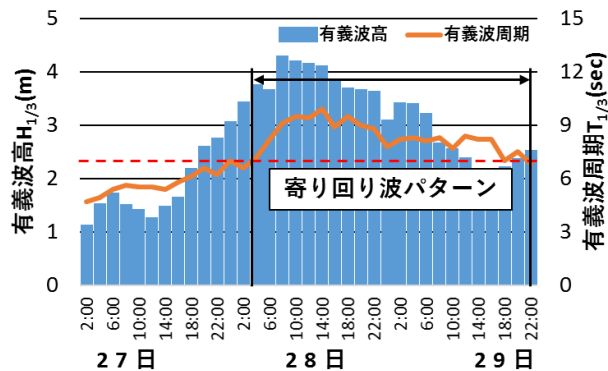


図 3-5 寄り回り波パターン前後の波浪状況 (Nowphas 直江津港波浪観測所 2013/12/27~29)

#### 4. 一般的な波浪条件下のカスポ波長の推算

内山および犬飼らによる上下浜についての研究で共通している 2 段目のカスポが，上下浜における一般的な波浪条件下では形成されているのか推算を行った．一般的な波浪条件は，図 4-1 に示す Nowphas 直江津港波浪観測所における有義波高出現頻度表の各有義波高に対応する最多頻度を占める有義波周期を用いることとした．表 4-1 に(2.1)式のカスポ発生条件を満たす波浪条件，表 4-2 にカスポ波長の推算値を示す．図 4-2 に示すように，一般的な波浪条件のうち，Nowphas 直江津港で  $H_{1/3}=1.4m$  程度までの有義波高において，上下浜でカスポ発生条件を満たしていると推定できた．そして，有義波高  $H_{1/3}=1.2m$  程度の一般的な波浪状態のときに推算されるカスポ地形は，表 2-1 の上下浜における 2 段目のカスポに近い値を示した．

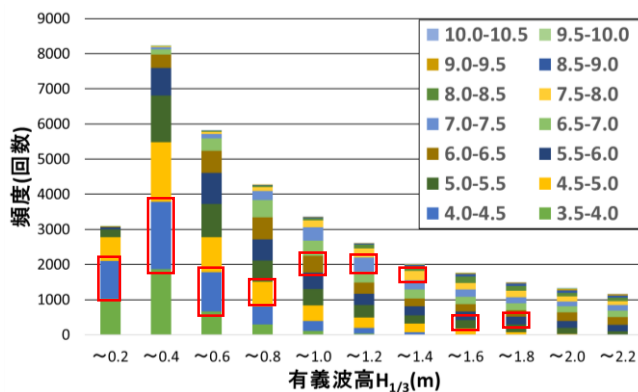


図 4-1 有義波周期別有義波高出現頻度表 (Nowphas 直江津港波浪観測所 2005~2014 年)

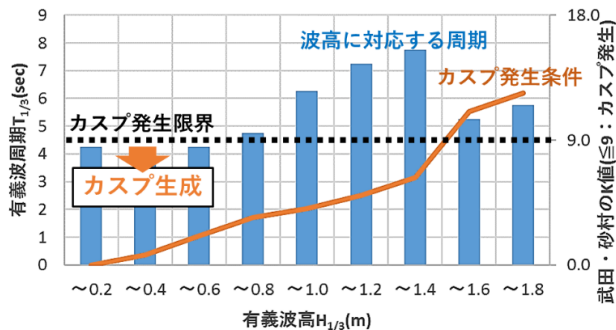


図 4-2 直江津港の波浪と上下浜のカスパ発生条件

表 4-1 有義波高および最多頻度の有義波周期

	$H_{1/3}(m)$	$T_{1/3}(s)$	$K \leq 9$
1	0.4~0.6	4.0~4.5	2.1~3.8
2	0.6~0.8	4.5~5.0	3.4~5.3
3	0.8~1.0	6.0~6.5	4.0~5.7
4	1.0~1.2	7.0~7.5	5.0~6.6
5	1.2~1.4	7.5~8.0	6.3~7.9

表 4-2 遡上波距離, カスパ波長の推算値

	$S_l(m)$	$B_h(m)$	$\lambda(m)$
1	7.2~10.0	1.0~1.4	10.7~15.1
2	11.0~14.1	1.6~2.0	16.5~21.1
3	17.7~21.3	2.5~3.0	26.5~32.0
4	24.5~28.5	3.5~4.0	36.7~42.8
5	30.5~34.7	4.3~4.9	45.7~52.0

## 5. 上下浜のカスパを形成する波浪条件の推算

Nowphas 直江津港波浪観測データ (05~14 年)のうち, 上下浜においてカスパ波長が  $\lambda=40\sim 50m$  と推算されたときの波浪条件を選び, 出現頻度分布を検討した. 有義波周期別有義波高出現頻度表を図 5-1 に示す. この波浪状態は Nowphas 直江津港波浪観測データ 10 年間のうち 4.3% を占める割合で, 出現頻度は高くない.

この波浪条件の中で高気圧東進パターンが要因となった周期 7s 以上の波浪が 13% を占めていた. また, 寄り回り波パターンは 46% を占めていたが, このパターンは暴浪状態に当てはまるものが多く, カスパが消滅する波浪条件となる. その中でも寄り回り波パターンの波浪状況における波

が減衰するタイミングがカスパ生成にかかわっているものと考えられる.

また, (2.1)式のカスパ発生条件を表す K 値の経時変化を検討した.  $K \leq 9$  となる波浪条件においてカスパ発生となる. 図 5-2 に示すように上下浜では, 夏季はカスパ発生条件が満たされやすい. 季節風により暴浪状態になりやすい冬季はカスパ発生条件を満たさない時間の方が多い.

したがって, 図 5-1 に示す波浪状態より低波浪では, 形成位置まで波が遡上せず, 2 段目のカスパは維持される. そして, 暴浪状態および寄り回り波パターンのピーク前後では, 2 段目のカスパ地形は消滅しているのではないかと考えられる.

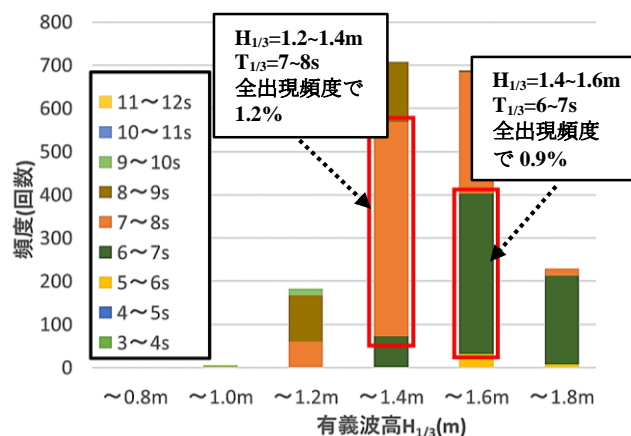


図 5-1 カスパ波長  $\lambda=40\sim 50m$  のカスパ発生条件を満たす波浪の有義波周期別有義波高出現頻度表

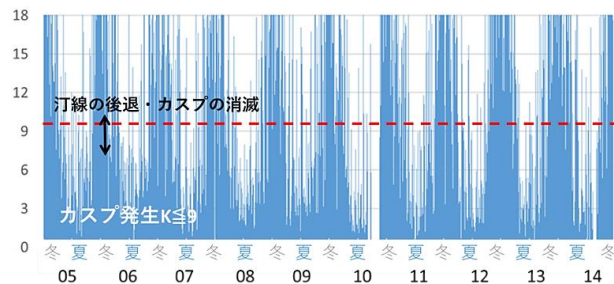


図 5-2 上下浜のカスパ発生条件の季節的変動

## 6. 1 段目のカスパ生成要因の波浪と海浜底質

表 2-1 に示した 1 段目のカスパにおいて, 調査当時は遡上波が被っている状態で, 当日の波浪による遡上波が作用していたと考えられる. また, 2 段目付近で採取した堆積物粒径  $D=1.45mm$  を用いて推算すると, 波長  $\lambda=44m$  程度を生成するカスパ発生条件を満たさない. そこで, 調査当時の

波浪  $H_{1/3}=0.96\text{m}$ ,  $T_{1/3}=7.3\text{s}$  によって, カスポ波長  $\lambda=44\text{m}$  を形成する海浜堆積物の粒径の推算を試みた. 図 6-1 に示すように調査当時の波浪状態では粒径が  $D=0.7\text{mm}$  程度となった. したがって, 上下浜における海浜堆積物の粒径は汀線からの位置によって異なり, 調査当時(図 2-3)のようなカスポ地形が観測できたのではないかと考えられる.

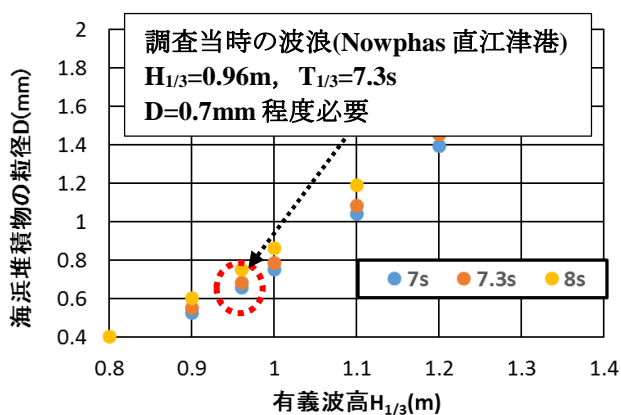


図 6-1 海浜堆積物の粒径の推算

## 7. まとめ

本研究では, 上下浜のカスポ地形生成要因を把握することを目的として, カスポの発生および波長  $\lambda$  と波浪状態との関係を検討した.

- (1) 周期が 7sec 以上の波を起こす気象条件として, 高気圧が日本海を東進するような天気図パターンが見られた. 好天で波高も低く, カスポ発生条件を満たしやすことから, 上下浜では遡上波による水難事故発生の危険性が高まるといえる.
- (2) 有義波高  $H_{1/3}=1.2\text{m}$  程度のときの一般的な波浪状態によって, 上下浜の 2 段目のカスポが形成された可能性が高い.
- (3) 上下浜の 2 段目のカスポを生成する波浪条件は, 出現頻度は多くないものの, その地形は波が暴浪状態とならない限り維持されていると考えられる.
- (4) 上下浜におけるカスポ地形は, 季節的な波浪変動と関連付けることで, 夏季ではカスポ発生条件を満たした波浪状況となりやすいと考えられる. また, 寄り回り波パターンの気圧

配置が多くなる冬期においてはカスポが消滅しやすい波浪状況であると考えられる.

- (5) 1 段目のカスポは調査当時, 遡上波による作用を受けていた. 調査当時の波浪で生成されたとすると, 2 段目のカスポ形成位置の海浜堆積物の粒径よりも小さい粒径である必要がある. 上下浜における海浜堆積物の粒径分布が汀線からの位置で異なり, 1 段目のカスポ生成要因と関係している可能性がある.

## 参考文献

- 1) 犬飼直之, 落合時光, 小川和真, 嶋田拓斗, 山本浩:平成 26 年 5 月に新潟県上下浜で発生した水難事故時の遡上する波浪の動態把握について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 第 72 巻 2 号, I\_1651 頁 ~ I\_1656 頁, 2016
- 2) 犬飼直之, 小川和真, 江尻義史, 大竹剛史, 山本浩:平成 26 年新潟県上下浜海岸水難事故時の砂浜を遡上する波浪の動的特性, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 72 巻 2 号, I\_898 頁 ~ I\_903 頁, 2016
- 3) 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) 第 73 巻 2 号, I\_1471 頁 ~ I\_1476 頁, 2017
- 4) (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/index.html>
- 5) 武田一郎, 砂村継夫:ビーチカスポの発生と波長, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp.319-322, 1982
- 6) Sunamura, T. and K. Horikawa: Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 11<sup>th</sup> Conf. Coastal Eng., pp.920-938, 1974
- 7) 永沢薫, 犬飼直之:佐渡東部海域で発生するうねり性波浪と気象についての関係, 第 28 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集 第 28 巻 1 号, pp.90~93, 2010
- 8) 内山清:大潟海岸・上下浜の海浜地形と海浜底質の粒度組成-主にビーチカスポにおいて-, 京都防災研究所年報(55), 2012, pp351-379, 2012