

# 水理実験による狭い砕波帯を持つ砂浜海岸を遡上する波浪の挙動の把握

指導教員 犬飼 直之  
水工学研究室 嶋田 拓斗

## 1.はじめに

砕波帯が広い海岸で起こる波は海岸から離れた沖側で砕波が起こるために波のエネルギーが減少するため、陸上へ遡上する波のエネルギーが小さく砂浜上にいる人に被害を及ぼす可能性は低い（図 1-1）. 逆に砕波帯が狭い海岸では海岸付近で砕波が起こるためにエネルギーが減衰することなく波が海岸に到達するため砂浜上にいる人に被害を及ぼす可能性がある（図 1-2）. 一般に沖の波浪の危険性は周知でありそれに対する研究なども多く存在する. しかし、海難事故の発生の防止のためには沖の波浪の挙動だけでなく陸を遡上してくる波浪の挙動の把握も必要であると考え. そこで本研究では 2014 年 5 月 4 日に新潟県の上下浜で発生した水難事故を例にとり、狭い砕波帯を有する海岸を遡上する波浪の挙動の把握を目的とした.



図 1-1 広い砕波帯を持つ海岸



図 1-2 狭い砕波帯を持つ海岸

## 2.上下浜海難事故の把握

### 2.1 海難事故発生地域およびその特徴

海難事故が発生したのは新潟県上越市柏崎区上下浜である. 図 2-1 に本研究で用いたデータを取得した観測所である直江津波浪観測所（Nowphas）の場所と事故発生現場である上下浜の位置関係図を示す. 上下浜は新潟県上越市柏崎区に位置しており、遊泳区域外に指定されている.

上下浜の地形的特徴としては前浜勾配が 1/6 程度でとても急であり、砕波帯が小さいという点が挙げられる.



図 2-1 上下浜海岸位置

## 2.2 海難事故発生当時の波浪状況

図 2-2 に事故当日の波浪の遡上状況を示す。汀線を基準に砂浜の幅約 40m に対して、約 28m 地点まで波が遡上していることが分かる。また、前述した上下浜の特徴である碎波帯が非常に狭いということも見てとれる。



図 2-2 事故当日の波浪状況

次に事故当日の直江津港波浪データを示す。表の赤く示した箇所が事故の発生時刻である。表から事故発生時刻の有義波高 1.20m、有義波高周期 7.9 秒、最大波高 2.09m、最大波高周期 8.5 秒、波向き NW ということが分かる。また、犬飼ら<sup>1)2)</sup>の調査では上下浜から 8km 程の場所にある直江津波浪観測所の周波数別解析データを解析することにより事故時の波浪を求めた (図 2-3)。解析より事故時の最大波高は 2.08m、周期 8.5 秒であった。水深は 4.9m であった。

表 2-1 事故当日の直江津港波浪データ

時刻	有義波高	有義波高周期	最大波高	最大波高周期	平均波高
	m	s	m	s	16方位
2014/05/04 01:00	0.93	4.8	1.73	4.3	WNW
02:00	0.97	5.5	1.83	6.2	NW
03:00	0.83	7.3	1.43	6.0	NW
04:00	0.82	7.8	1.57	8.0	NW
05:00	0.78	8.7	1.60	9.2	NNW
06:00	0.95	9.2	1.52	9.0	NW
07:00	1.18	9.4	1.70	8.7	NW
08:00	1.08	8.8	1.70	9.3	NW
09:00	0.91	8.4	1.85	9.2	NW
10:00	1.06	8.1	2.30	8.0	NW
11:00	1.23	8.1	2.10	7.9	NW
12:00	1.31	8.2	2.18	7.5	NW
13:00	1.20	7.9	2.09	8.5	NW
14:00	1.24	7.9	2.15	7.5	NW

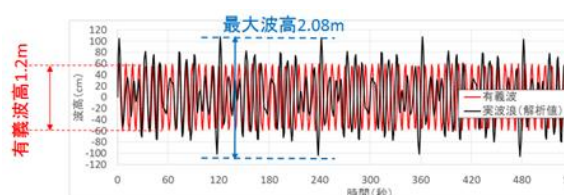


図 2-3 周波数別解析データ

## 3. 実験概要

長岡技術科学大学の水理実験室にある断面 2 次元造波水路を用いて上下浜の水難事故の縮小実験を行った。実験装置内に上下浜海岸の勾配を再現する模型を配置し、打線付近の波の動きを記録し鉛波浪の挙動について解析を行った。

### 3.1 再現波浪の検討

解析結果より、本研究では有義波 (波高 1.2m、周期 7.9 秒) と最大波 (波高 2.08m、周期 8.5 秒) について再現を行う。

### 3.2 実験装置の性能幅の把握

縮尺の決定を行う前に実験装置の性能幅の把握を行うことが必要である。そこで、実験装置で起こせる波の最大、最小の周期、波高をそれぞれ把握するための実験を行った。実験より得られた性能幅を以下の図 3-1 に示す。再現する波が以下の図に示す黄色

い範囲内に入るよう縮尺の決定を行った。

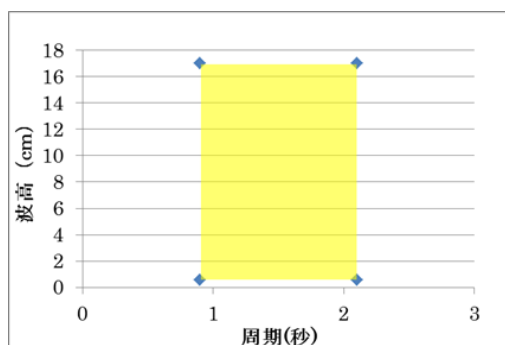


図 3-1 実験装置性能幅

### 3.2.1 縮尺の決定・再現可能か否かの確認

事前実験で把握することができた性能幅を基準に波データの縮尺を決定し、その後地形データの縮尺の確認を行った。その結果、本研究の縮尺は 20 分の 1 とし実験値における波の諸要素を以下の表 3-1 に示す。また、縮尺模型の海底標高のデータも以下の図 3-2 に示しておく。

表 3-1 実験値における波の諸要素

水深(m)	波高(m)	周期(s)	波長(m)
0.245	0.073	1.8	2.79
	0.126	1.9	2.94

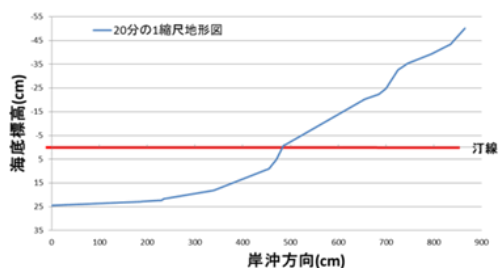


図 3-2 実験装置における海底標高

#### 3.2.1.1 縮尺模型の歪み

現地の現象を縮小して模型で再現し、水

の流れや水圧などを求める際は模型と原型の間で幾何学、力学的な相似が保たれていなければならない。これは相似則と呼ばれ、これを保つために模型と原型で各種の無次元量を一致させる必要がある。本実験は自由水面を有する実験であるためフルード数を一致させることにより相似側を成り立たせる。フルード数を一致させた際の縮尺比率は以下の表 3-2 のようになる。

表 3-2 フルード数による縮尺比率

	縮尺比率
時間	1: N <sup>1/2</sup>
長さ	1: N
流速	1: N <sup>1/2</sup>
流量	1: N <sup>5/2</sup>

### 3.2.2 地形模型の作成

縮尺が決定した後、地形模型を作製した。本実験では地形模型の作成に木材を用いた。板一枚の 4 角に対して角材の支柱を取り付けて一つ一つの部材を作り、最後にそれらを合わせて地形模型の完成とした。しかし、このまま水路に入れるだけでは浮力により浮いてしまうので上から木材により固定する、水路と模型の間にくさびを打ち込むなどにより対応した。

### 3.3 造波実験

実験を行う前に実験条件の決定を行った。入力波は先述した通りでよいのだが水深についていくつか考慮しなければならない。一つ目が潮位による誤差である。気象庁<sup>3)</sup>のデータより上下浜の海底標高を調査した際と事故時では 10cm 程度の差異がみられた。そのため実験を行う際に水深を 0.5cm

程度上げる必要がある。

また、海底勾配が大きい場所で発生する Wave Setup と呼ばれる水位の上昇も考慮した。運輸省港湾技術研究所<sup>4)</sup>の観測によると上下浜に類似した勾配の海岸では 50cm 以上の水位上昇があるとされている (図 2-6)。そこで、本研究ではこれより水深を 2.5cm 上昇させることとした。汀線付近の波浪の様子を横からビデオカメラで撮影し、その後映像を解析することにより挙動の把握をした。

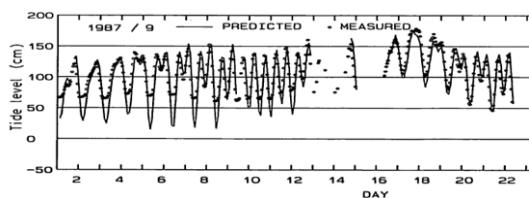


図 3-3 観測水位と水位上昇量

### 3.3.1 前浜遡上状況把握

波浪が汀線に到達してから最大遡上地点に到達するまでの時間、遡上距離、コマごとの瞬間流速を映像を解析することにより算出した。瞬間流速と遡上距離の関係のグラフを有義波と最大波のデータを合わせて以下の図に示す。図 3-4 より有義波は汀線に侵入した直後から流速が徐々に落ちていくことが分かる。最大波は汀線に侵入した後も流速は大きくなるがその後小さくなっている。

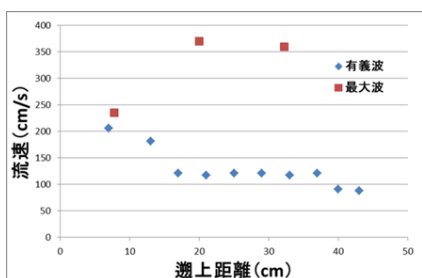


図 3-4 波の瞬間流速と遡上距離の関係

次に最大遡上距離と平均流速の関係を有義波、最大波についてそれぞれ図 3-5 と図 3-6 に示す。いずれの場合も最大遡上距離が増大すると、最大遡上距離も増大していることが分かる。事故時の最大遡上距離の波が最大波だと仮定し、近似曲線から流速を算出すると実スケールで約 3.8m/s、遡上にかかった時間は約 7 秒と推測された。

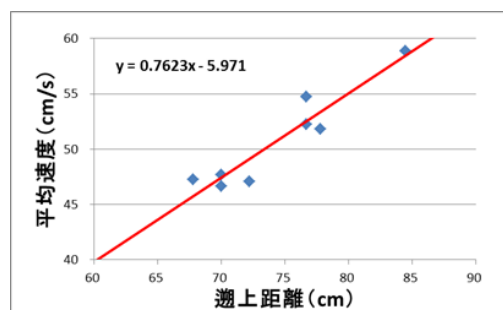


図 3-5 最大遡上距離と平均流速の関係 (有義波)

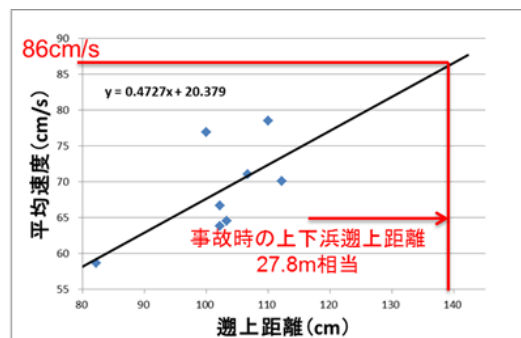


図 3-6 最大遡上距離と平均流速の関係 (最大波)

事故時の最大遡上距離と実験時の最大遡上距離を比較すると実験値の方が小さくなっていることが分かるその理由として以下のことが挙げられる。①ビーチカブによる波の集中が再現できていない②実現象は不規則波だが実験は規則的な sin 波。以上

の事より実験遡上距離が上下浜の海難事故の遡上距離より短くなってしまった要因であると考えられる。

### 3.3.2 碎波遡上状況把握

次に有義波における汀線付近で碎波した波の厚さ、汀線からの距離の関係を示したグラフを以下の図 3-6 に示す。グラフから汀線から約 2m 付近で波の高さが最大となりその値は実スケールで約 1m である。汀線から 2m 付近までは波の高さは上がり続け、その後、徐々に波の高さは小さくなっていく。

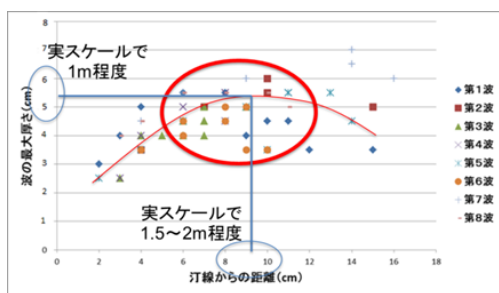


図 3-6 波の厚さと汀線からの距離(有義波)

同様に最大波についてのグラフを図 3-7 に示す。最大波の場合、実スケールにおいて 5m 程度まで高さの増大が見られた。しかし、その先は水路の性質上計測不能であったが有義波と同様に高さのピークを迎えたのちに徐々に下がると思われる。有義波と比べ、入力波の大きさは約 2 倍であったが波の最大厚さも同様に 2 倍の値となった。

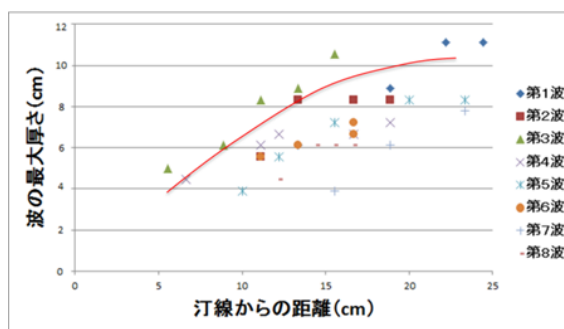


図 3-7 波の厚さと汀線からの距離(最大波)

## 4.まとめ

事故現場の地形を観測した海底標高のデータより行い実験装置を作成し実験を行った。実験の際の再現波は事故時の最大波と有義波についてであり、縮尺は 20 分の 1 である。

遡上状況について解析を行い、事故時の遡上距離と実験時の遡上距離の比較を行ったところ実験値の方が小さい値になってしまった。その理由として、縮尺模型の歪みにより実験における流量が現場のものより小さくなってしまった事。断面 2 次元的に再現を行ったためビーチカスプによる影響を考慮できなかったことなどがあげられる。

最大流速について解析を行った結果、有義波では、汀線 1.4m 付近で最大の 9m/s 程度となり、徐々に減速する。また、最大波では、汀線から 4m 付近で最大の 16m/s 程度となりこちらも徐々に減速する。

最大厚さについて有義波では、汀線から 2m 程度の場所で最大となり、高さ 1m 程度となる。また、最大波では、汀線から 4m 程度の場所でほぼ最大となり、高さは 2m 程度となる可能性がある。

有義波程度の波でも小さい子供であれば転倒・浮上させ、海へ流出させることが可能であるので、砂浜上でも汀線に近づかな

いなど注意が必要である。

### 参考文献

1)犬飼直之, 落合時光, 櫻井龍亮, :平成 26 年 5 月に新潟県上越市柿崎区上下浜で発生した水難事故時での事故状況の把握について, 土木学会, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 第 33 巻, pp.144-147, 2015

2)犬飼直之, 江尻義史, 大竹剛史, 山本浩, :平成 26 年 5 月に新潟県上越市柿崎区上下浜で発生した水難事故時での砂浜を遡上する波浪の動態把握について, 日本船舶海洋工学会/日本海洋工学会, 海洋工学シンポジウム論文集, 第 25 巻, OES25-086, 2015

3)気象庁 : 潮位表

<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>

4)運輸省港湾技術研究所 : 港湾技術研究所報告, 第 28 巻第 1 号