

ヘッドランド周辺の水難事故と 離岸流特性の関係

A RELATION BETWEEN DROWNING ACCIDENTS AND RIP CURRENT AROUND A HEADLAND

前田友司¹・小林昭男²・宇多高明³・柴崎 誠⁴・芹沢真澄⁵

Yuji MAEDA, Akio KOBAYASHI, Takaaki UDA, Makoto SHIBASAKI and Masumi SERIZAWA

¹ (株) 合人社計画研究所

(〒730-8570 広島県広島市中区袋町4-31)

² 工博 日本大学助教授 理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³ 正会員 工博 (財) 土木研究センター審議役なぎさ総合研究室長

(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

⁴ 正会員 (株) 三洋コンサルタント

(〒802-8534 福岡県北九州市小倉北区京町3-14-17 五十鈴ビル新館)

⁵ 正会員 海岸研究室 (有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉208)

Relationship between drowning accidents and development of a rip current around a headland was investigated, taking the Chigasaki coast in Kanagawa Prefecture as an example. On this coast, a headland of 200m length was built. After the construction, swimmers and surfers were carried away by a rip current near the headland, causing marine accidents. Numerical simulation of waves and nearshore currents was carried out to obtain maximum velocity of a rip current, while changing the longshore and offshore lengths of the headland. Most dangerous condition with developing a strong rip current is found in relation to the scale of a headland and wave characteristics.

Key Words : Headland, rip current, nearshore currents, Chigasaki coast, numerical simulation

1. はじめに

海水浴中の水難事故ではしばしば死亡事故等の重大事故が発生する。高橋ら¹⁾は、海水浴中の死亡事故などの重大事故の主な原因となる離岸流の発生要因について検討し、突堤やヘッドランド付近に発生する離岸流について観測によってその発生状況を明らかにした。しかし、ヘッドランドなどの構造物と、その周辺の離岸流の特性についてはいまだ十分明らかではなく、またヘッドランドの岸沖方向の長さの設計には建設後の離岸流の発生との関係が考慮されていない。このことから、この種の人工構造物とその周辺に発生する離岸流の発生特性の関係を明らかにする必要がある。本研究では、海のレジャーで海浜空間をより安全に利用するために、重大事故の主な原因である離岸流が発生しているヘッドランドを含む人工構造物周辺の水難事故の特性を把握し、その周辺で発生する離岸流の特性を明らかにすること

を目的とする。このため神奈川県茅ヶ崎海岸のヘッドランド周辺での水難事故の詳細について調べるとともに、波浪・海浜流の数値計算を行ってヘッドランド緒元と離岸流の関係について検討した。

2. 神奈川県茅ヶ崎海岸における水難事故

神奈川県茅ヶ崎海岸は、図-1に示すように相模湾に面し、年間を通じて海浜利用者が多く、全国的に水難事故の多い海岸の一つである。そこで、茅ヶ崎海岸を研究対象とし、まずこの海岸における水難事故例について神奈川県新聞より調べた。表-1には神奈川県新聞(1992-2002)に掲載された茅ヶ崎海岸での水難事故事例を示す。写真-1に示すように、茅ヶ崎海岸で水難事故が発生した場所は、ヘッドランド周辺と漁港付近である。場所ごとの事故件数は、ヘッドランド周辺で15件と最も多く、これに対し漁港付

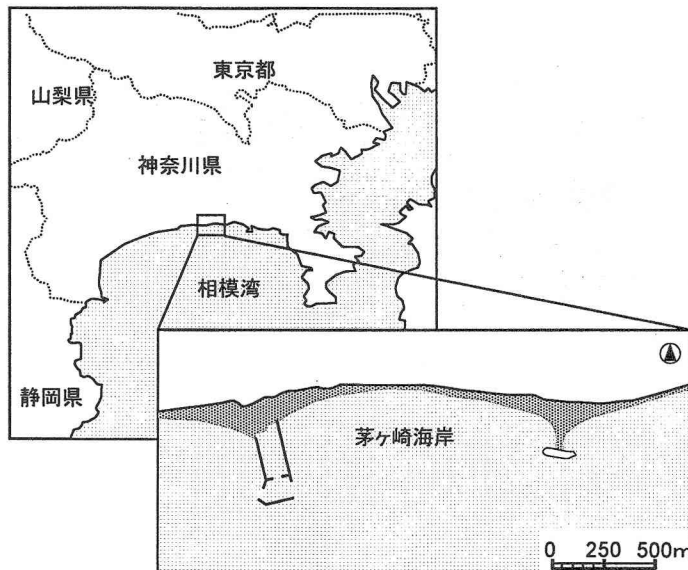


図-1 神奈川県茅ヶ崎海岸の位置

表-1 神奈川県茅ヶ崎海岸の事故事例

番号	年	月	日	発生場所	同様の事故件数
1	1992	8	15	東海岸南	
2	1992	8	15	沖合100mの消波ブロック	
3	1992	8	15	茅ヶ崎海岸沖合	5件
4	1994	6	4	茅ヶ崎漁港西側の砂浜の沖	
5	1994	8	1	東海岸南の遊泳禁止の海岸	
6	1994	8	12	東海岸南の沖合	
7	1994	8	11	東海岸南の沖合約200m	
8	1995	8	27	茅ヶ崎漁港西側の海水浴場	
9	1997	8	1	柳島海岸	
10	1998	8	8	中海岸四丁目の沖合約1km	
11	1997	8	11	東海岸南4丁目の海岸	
12	1999	4	24	東海岸南のT型突堤	1件
13	2002	7	24	東海岸南のT型突堤	12件
14	2002	7	27	サザンビーチ茅ヶ崎沖	
15	2002	9	22	東海岸南沖合約500m	

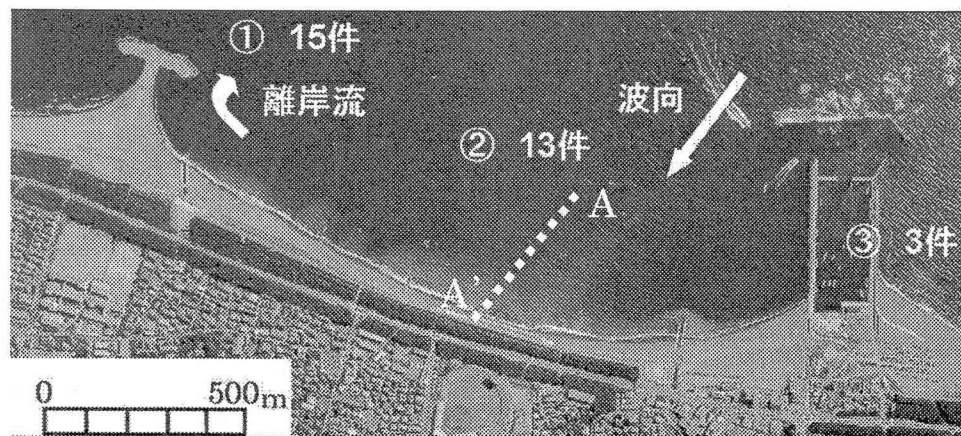
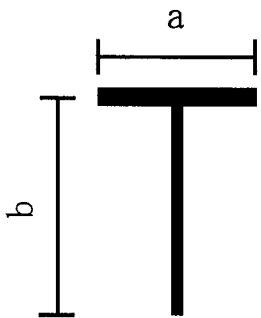


写真-1 茅ヶ崎海岸の空中写真(1997年)

近では3件と少なくなる。いずれの場所でも波にさらわれ、沖に流されたことなどが水難事故の原因であった。一方、海岸中央でも水難事故は発生しているが、その場合の事故発生場所の詳細は不明である。以上のようにヘッドランド周辺において水難事故が

多数発生していることを考慮し、ヘッドランドの規模と離岸流の発生の関係についてヘッドランドの形状を変化させた数値実験を行い、離岸流の発生要因について調べた。

表-2 計算ケース別のヘッドランド形状



ケース番号	ヘッド部 堤長 a(m)	ヘッド部離岸 距離 b(m)	ケース番号	ヘッド部 堤長 a(m)	ヘッド部離岸 距離 b(m)
1	100	100	8	25	200
2	100	150	9	50	200
3	100	200	10	75	200
4	100	300	11	200	200
5	100	400	12	300	200
6	100	600	13	400	200
7	100	800	14	500	200
			15	600	200
			16	800	200

3. ヘッドランドの形状と離岸流

(1) 計算条件

ヘッドランドの形状を様々変化させた場合の海浜流の変化について調べるため、茅ヶ崎漁港と茅ヶ崎海岸のヘッドランドに挟まれた延長約1.9kmの区間を対象に、海浜流の数値実験を行った。数値実験では、海底勾配と波浪条件は一定とし、ヘッドランドの沿岸方向長さ（ヘッド部堤長）と汀線からヘッド部までの距離（ヘッド部離岸距離）を変化させ、ヘッドランド周辺の海浜流分布を求めた。また、茅ヶ崎海岸において波浪条件は常に変動しているために、茅ヶ崎海岸の波高の出現率を用いて離岸流の発生特性を明らかにするための海浜流計算も行った。いずれの場合も、波浪の数値計算には磯部²⁾による放物型モデルを、海浜流の数値計算には堀川³⁾のモデルを用いた。

茅ヶ崎海岸の海浜地形を単純化するために、写真-1に破線で示すように、海岸中央の地形が安定していると見られる横断測線として、卓越入射波向とほぼ平行に定めた測線A-A'を代表断面とし、展開座標⁴⁾を用いて平行等深線形状を有する仮想海岸を考えて海浜流計算を行った。この場合の海底勾配は $\tan \beta = 1/30$ とし、入射波向は $\theta = 0^\circ$ とした。波浪は、ヘッドランド周辺で水難事故が一日で最も多かった2002年7月24日の波浪データ（波高2.5m、周期13s）を用いた。この時の汀線から砕波点までの距離（砕波帯幅）は $B=200\text{m}$ であった。ヘッドランドの形状は、表-2のように全体で16種変えた。

すなわち、ヘッド部堤長を100mに保ったままヘッド部離岸距離を100m～800mで変化させたケース1～7と、ヘッド部離岸距離を200mに保ったままヘッド部堤長を最も短い25mから最長800mまで変化させたケース8～16である。一連の計算によってヘッド部堤長やヘッド部離岸距離が海浜流に及ぼす影響を評価した。

計算範囲は、沿岸方向にはヘッドランドの中心から茅ヶ崎漁港までの1,900m区間、岸沖方向には1,100m区間とするが、計算結果は500m四方を拡大して示す。なお、現地海岸では様々な波浪条件となるため、ヘッドランドの形状を一定（ヘッド部堤長100mヘッド部離岸距離200m：ケース 3）としたま

ま、最も出現率の高い周期6sの場合の波高の超過出現率を与えて離岸流の最大流速の出現率も調べた。

(2) 計算条件ヘッド部離岸距離を変化させた場合（ヘッド部堤長は100m）

図-2はヘッド部離岸距離が砕波帯幅の1/2のケース 1の海浜流分布を示す。以下では、離岸流の最大流速を $U_{\max}$ で、沿岸流の最大流速 $V_{\max}$ で示し、それらの発生地点とその絶対値に着目する。ケース1では、ヘッドランド背後に循環流が形成され、(0m, 40m) 地点付近で $U_{\max}=0.23\text{m/s}$ の離岸流が生じた。これと同時に、(50m, 20m) 地点では $V_{\max}=0.54\text{m/s}$ の沿岸流が発生した。

図-3は、ヘッド部離岸距離が現地のヘッドランドと同様のケース3の海浜流を示す。ヘッドランドの規模の増大とともに循環流の規模も増大している。そして(0m, 100m) 地点で $U_{\max}=0.92\text{m/s}$ の離岸流が、また(60m, 40m) 地点では $V_{\max}=0.76\text{m/s}$ の沿岸流が発生した。ケース 1と比較すれば海浜流流速が増加していることが分かる。さらに、図-4にはヘッド部離岸距離が砕波帯幅の3/2倍のケース 4の海浜流分布を示す。ヘッド部離岸距離が増大したことにより、循環流の規模がさらに増大している。離岸流については、(0m, 140m) 地点で $U_{\max}=1.04\text{m/s}$ が発生し、(80m, 70m) 地点では $V_{\max}=0.73\text{m/s}$ の沿岸流となった。

以上のように、ヘッド部堤長を一定(100m)に保ったままヘッド部離岸距離を増加させると離岸流流速や沿岸流流速は次第に増加したが、砕波帯幅(200m)と比較してヘッド部離岸距離が大きくなり過ぎればこれらの流速は低下するはずである。このことからヘッド部離岸距離のみを変化させた全ケースの $U_{\max}$ と $V_{\max}$ と、ヘッド部離岸距離の関係を調べたのが図-5である。 $U_{\max}$ と $V_{\max}$ を比較すると、 $V_{\max}$ はヘッド部離岸距離への依存性は相対的に低いが、 $U_{\max}$ はヘッド部離岸距離への依存度が非常に高い。ヘッド部離岸距離の増加とともに $U_{\max}$ は急激に増大し、ヘッド部離岸距離が300m（ケース4：砕波帯幅の3/2倍）の場合、 $U_{\max}$ は1.04m/sとなる。しかしこれ以上ヘッド部離岸距離を増大させると、 $U_{\max}$ は緩やかな減少傾向となる。そしてヘッド部離岸距離が砕波帯幅の1/2倍の場合（ケース1） $U_{\max}$ は0.23m/sと最

も小さくなった。

結局、ヘッドランド背後に発生する離岸流の最大流速は、ヘッド部離岸距離が碎波帯幅の3/2倍の場合に最大となり、3/2倍以上では離岸流速が減少することが分かった。

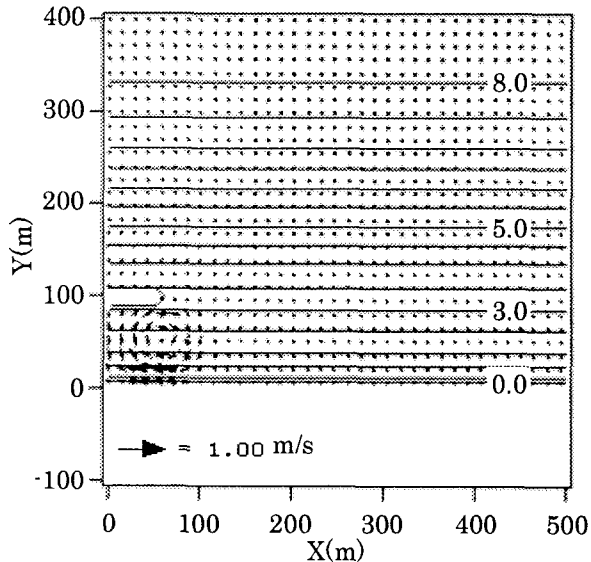


図-2 ケース1(ヘッド部堤長100m, ヘッド部離岸距離100m)の海浜流分布

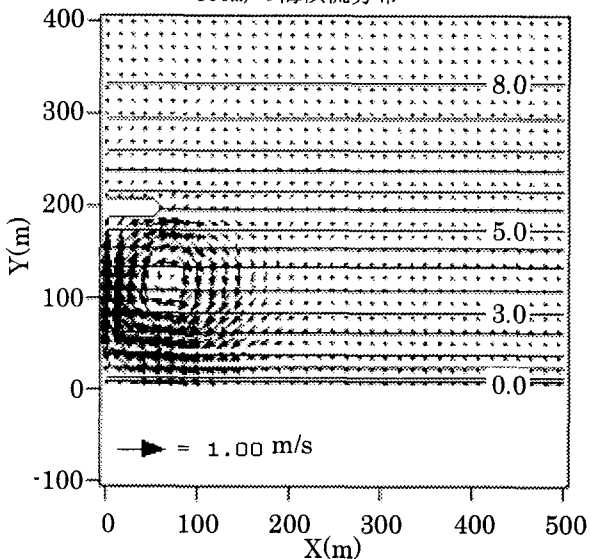


図-3 ケース3(ヘッド部堤長100m, ヘッド部離岸距離200m)の海浜流分布

(3) ヘッド部堤長を変化させた場合(ヘッド部 離岸距離は100m)

図-6はヘッド部離岸距離を200mに保ったまま、ヘッド部堤長のみを変化させたケースの計算結果のうち、ヘッド部堤長が25mのケース8の海浜流を示す。ヘッド部離岸距離に応じて縦長の循環流が生じ、縦堤近傍で強い離岸流が発生した。 $U_{max}=0.90\text{m/s}$ は(0m, 110m)地点で発生している。同様に、 $V_{max}=0.51\text{m/s}$ は(50m, 50m)地点で生じている。

ケース8に対しヘッド部堤長を200mまで伸ばしたケース11の海浜流が図-7である。堤長が延びたことにより循環流の沿岸方向の規模が増大した。 $U_{max}=0.65\text{m/s}$ は(0m, 90m)地点で発生し、縦堤直近で高流速が現れている。一方、 $V_{max}=1.0\text{m/s}$ は(100m, 40m)地点で現れた。ケース8と比較すると離岸流の流速は約30%弱まったのに対し、沿岸流速はほぼ2倍まで強まった。

さらにヘッド部堤長を400mまで伸ばしたケース13の海浜流を図-8に示す。堤長200mのケース8と比較して循環流の発生位置が右側に移動し、縦堤近傍での離岸流流速が低下している。すなわち、 $U_{max}=0.31\text{m/s}$ の発生地点の離岸方向距離は $Y=90\text{m}$ 付近

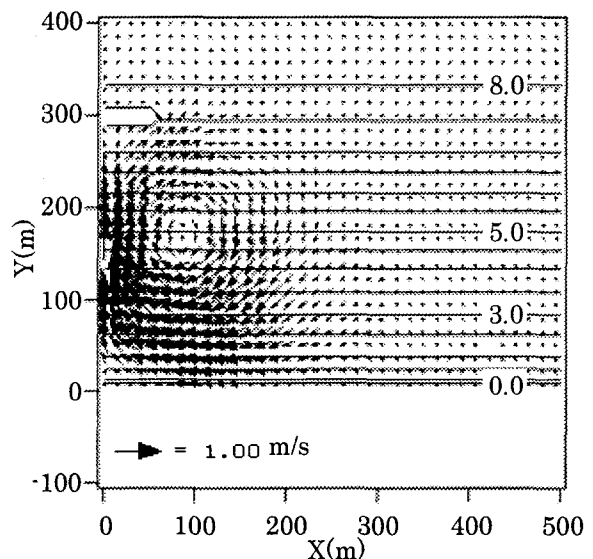


図-4 ケース4(ヘッド部堤長100m, ヘッド部離岸距離300m)の海浜流分布

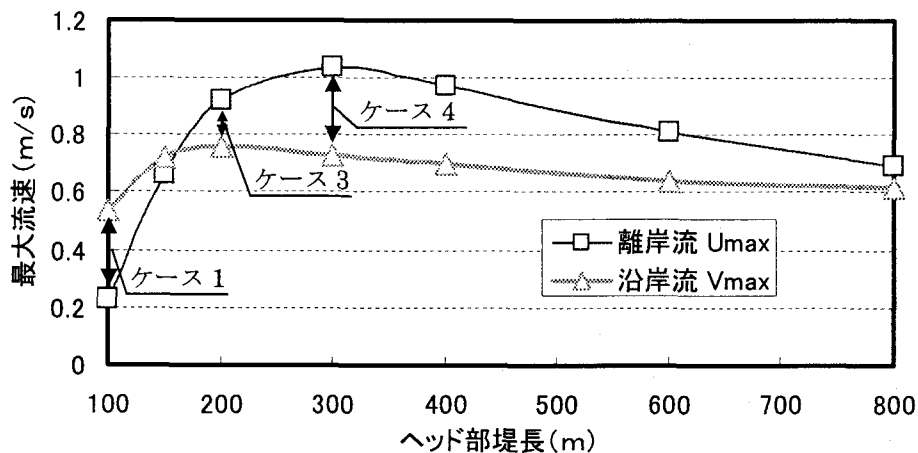


図-5 ヘッド部離岸距離と U_{max} および V_{max} の関係(ヘッド部離岸距離は100mに固定)

で変わらないが、沿岸方向の位置が縦堤近傍 ($X=0\text{m}$) から $X=100\text{m}$ へと移動している。これが堤長の長くなった結果である。また $V_{\max}=1.07\text{m/s}$ の発生地点は $(190\text{m}, 30\text{m})$ 付近であり、沿岸方向位置はケース8に対し半堤長分ずれている。 $U_{\max}$ はケース

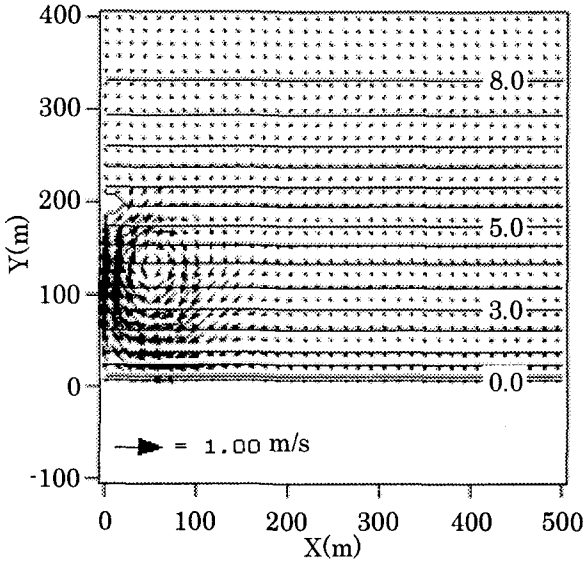


図-6 ケース8(ヘッド部堤長25m, ヘッド部離岸距離200m)の海浜流流速分布

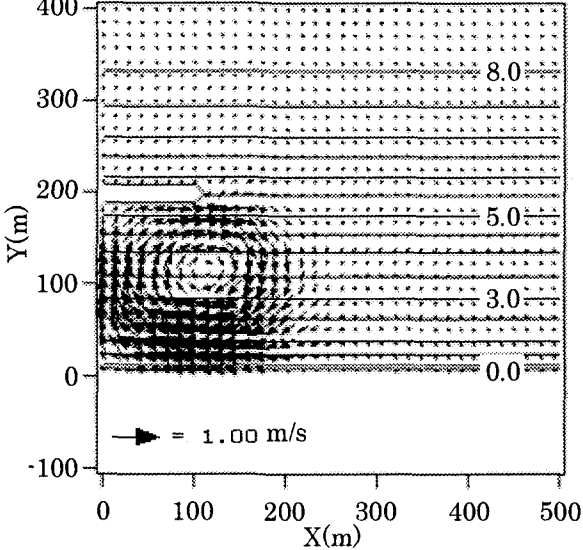


図-7 ケース11(ヘッド部堤長200m, ヘッド部離岸距離200m)の海浜流流速分布

8 (0.90m/s), ケース11 (0.65m/s), ケース13 (0.31m/s) と弱まったが、逆に $V_{\max}$ はケース8 (0.51m/s), ケース11 (1.0m/s), ケース13 (1.07m/s) と強まったことが分かる。

以上のことから、 $U_{\max}$ および $V_{\max}$ はヘッド部堤長と密接な関係を有しているの、ヘッド部離岸距離を碎波帯幅200mと同じ値に保ったまま、ヘッド部堤長を変数として $U_{\max}$ および $V_{\max}$ の変化を調べたのが図-9である。ヘッド部堤長を長くすると初期には $U_{\max}$ が強く、ヘッド部堤長が50mでピークとなった後、堤長の増加とともに弱まるが、400m以上ではほぼ 0.31m/s の一定値を示す。これに対して、 $V_{\max}$ はヘッド部堤長の増加とともに増大し、ヘッド部堤長が約200mではほぼ一定値 1.07m/s となる。ここで海難事故に最も関係が深いと考えられる離岸流流速については、ヘッド部離岸距離が一定であったとしても、ヘッド部堤長が50mの場合最も危険な状態となることが分かる。

図-10は、茅ヶ崎海岸における周期 $T=6.0\text{s}$ の波高超過出現率を与えるとともに、現地のヘッドランドと同様な諸元を有するケース3のヘッドランド形状を与えて、入射波高を 0.5m から 3.0m まで変化させて

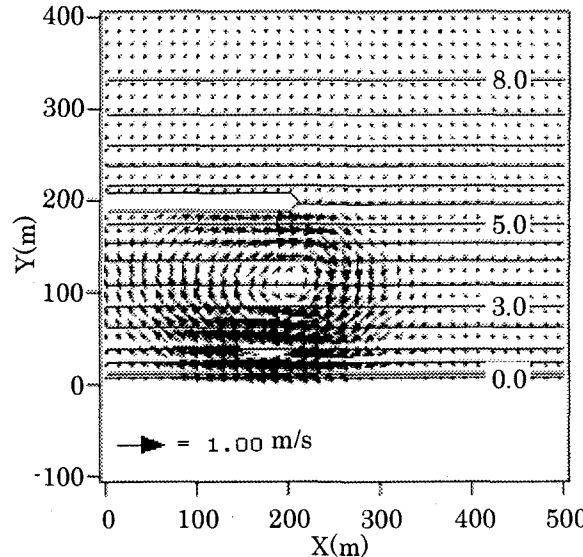


図-8 ケース13(ヘッド部堤長400m, ヘッド部離岸距離200m)の海浜流分布

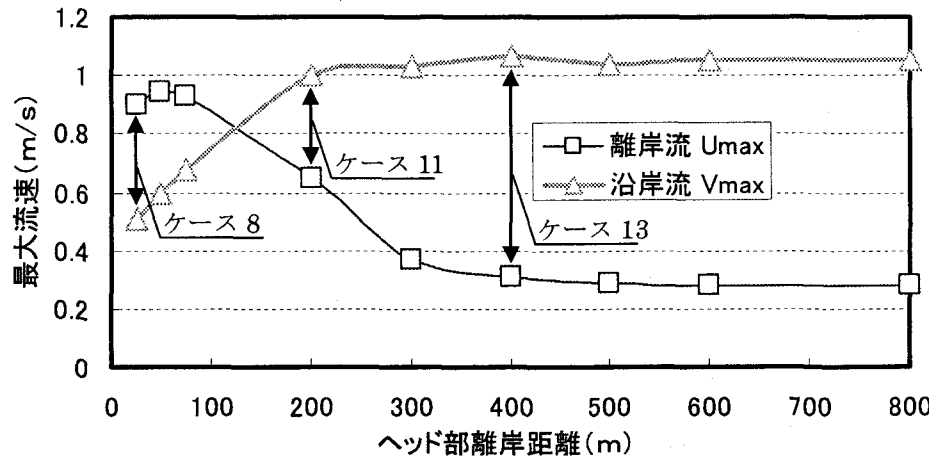


図-9 ヘッド部堤長と $U_{\max}$ および $V_{\max}$ の関係(ヘッド部離岸距離は200mに固定)

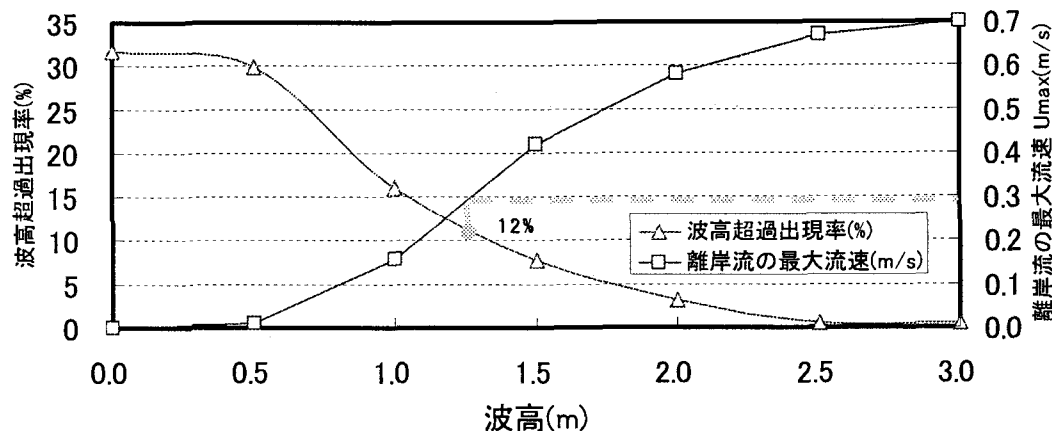


図-10 周期 6.0s の波浪の場合の離岸流の最大流速の出現率

求めた U_{max} の出現率である。高橋ら¹⁾によれば、離岸流流速が 0.30m/s 以上では水難事故が発生する可能性があると考えられているのでこれを考慮すると、茅ヶ崎海岸で周期 6s の波浪の場合、年間の約 12% の波が水難事故を引き起こしうる波となる。

4. まとめ

神奈川県茅ヶ崎海岸では、ヘッドランド周辺において毎年離岸流による水難事故が頻繁に発生している。波浪条件は時間的に変化するものであるが、たびたび事故が発生するという事は、ヘッドランド周辺での離岸流の発生が構造物との interaction として恒常的なものであることを強く示唆する。このことから、ヘッドランドの形状を様々に変化させ海浜流の数値計算を行ったところ、ヘッドランド周辺の離岸流はヘッドランドの形状によらず恒常的に発生し、ヘッド部離岸距離が、ある時期の入射波から求められる碎波帯幅の 3/2 倍となるような波浪条件下において離岸流流速が最大となることが分かった。また、茅ヶ崎海岸において、周期 6s の場合の波高出

現率から水難事故を発生させる離岸流は、年間の約 12% の割合で発生していることが分かった。

茅ヶ崎海岸のヘッドランドは堤長が 100m、ヘッド部離岸距離が 200m と固定されているが、図-9 に示すヘッド部堤長と離岸流と沿岸流流速の関係によれば、現況のヘッドランドの堤長は離岸流が最大となる付近の長さである。このことは茅ヶ崎ヘッドランドの周辺で水難事故が多い一つの理由を与えている。

参考文献

- 1) 高橋重雄・常数浩二・鈴木高次郎・西田仁志・土棚毅・小林雅彦・小沢保臣：離岸流にともなう海水浴中の事故発生に関する一考察，海洋開発論文集，第 15 巻，pp.743-748，1999。
- 2) 磯部雅彦：放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法，第 33 回海岸工学講演会論文集，pp.134-138，1986。
- 3) 堀川清司：海岸環境工学，東京大学出版会，pp.134。
- 4) 宇多高明・住谷迪夫・矢沢 肇・大谷靖郎・厚坂祐次：展開座標を用いた汀線変化モデルによる親沢鼻砂嘴の地形変化予測，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.541-545，1998。