

浮遊ゴミの海岸への打ち上げに関する 規則波平面実験

LABORATORY TEST ON RUNUP OF DRIFTING LITTER TO BEACH
BY REGULAR WAVES

伊藤政博
Masahiro ITO

正会員 工博 名城大学教授 理工学部環境創造学科(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

The aim of this study was to investigate experimentally a run-up of drifting litter on a beach due to regular waves in a laboratory experiment. In the laboratory tests, a gravel slope beach was made within the wave basin equipped a regular wave generator. Litter models were put into the water surface in the wave basin, and the state of run-up litter on the beach was measured with the action of two kinds of wave steepness, respectively. As the result it was found that (1) the litter is swashed on the beach during the short time when the steep waves incidences to the beach. This agrees well with the fact that the floating litter is swashed on the beach by high waves; (2) when the wave steepness is mild, the transportation route of floating litter returns from the near breaker zone to the offshore; and (3) the run-up height of litter is influenced by the intensity of wave steepness, the shape and specific gravity of litter.

Key Words :Run-up litter, regular wave basin, Coast Litter Disposal Promoting Low, natural coast landscape.

1. はじめに

全国の海岸に漂着するゴミの量は年間 10 万トに達するといわれている。そのまま放置すると、いずれ日本美しい海岸は漂着ゴミで埋め尽くされてしまうであろう。漂着物(ゴミ)に対して、海岸における良好な景観および環境を保全するため、かつ海岸漂着物の円滑な処理および発生の抑制を図る目的で、平成 21 年 7 月 15 日に「海岸漂着物処理推進法」が制定されたところである。筆者は海岸でいかにすれば効果的に集積漂着させられるかを考えている。そのためには、海面上の浮遊物の移動経路、波による海岸への打ち上げ漂着、またゴミの発生と浮遊移動

の経路に関して河川上流域の出水、および風、波浪、海岸形状などの基礎的なデータを集めて検討し、効果的な対策を打ち出すことが必要である。これまでに、富士川河口から狩野川河口までの約 20km の現地調査および海岸堤防に沿って設けられた国土交通省のライブカメラの長期間の画像を用いて検討を加え¹⁾、次のことを明らかにした。①台風 0709 号が伊豆半島の東側を通過して、本州を南から北へ縦断し、狩野川の流域に豪雨(595mm/日)をもたらした。このときに流域から浮遊流出した流草木及び生活ゴミは、千本浜から西方向の桃里に至る富士海岸に大量に漂着した。②駿河湾の太平洋沖を台風が通過する時に周期が長く波高の高い($H_{1/3}=1.5\text{m}$, $T_{1/3}=16\text{sec}$)うねり性の高い波が富士海岸に入射し、海面の浮遊物が砂浜に打ち上げられ漂着した。

本研究の目的は、岸近くの海面の浮遊物が、どのような波によって、どのように海岸に打ち上げられ、漂着するかを実験的に調べることにある。

2. 現地海岸における波浪と漂着物

(1) 異常気象時の現地波浪

台風通過あるいは低気圧の通過にともなって富士海岸に来襲した過去の異常波浪の一覧が表-1に H_{max} の大きい順にまとめている。この表は、かつて富士海岸の中央部に位置する田子の浦港口と原観

表-1 富士海岸, 原および田子の浦観測所で観測された異常波浪

順位	発生時期		最大波		有義波		観測所名	原因	H/L ₀	
	年	月・日・時	H _{max}	T _{max}	H _{1/3}	T _{1/3}			H _{max}	H _{1/3}
1	1997	6月20日15時	12.1	13.2	9.2	13.2	原	台風7号	0.045	0.034
2	2004	10月20日22時	10.4	8.8	5.4	10.8	原	台風23号	0.066	0.031
3	2004	10月9日20時	9.3	12.0	5.8	12.6	田子の浦	台風22号	0.042	0.023
4	1995	9月5日23時	9.1	12.6	8.3	10.7	原		0.037	0.052
5	1994	1月18日0時	7.8	9.0	4.7	9.1	原		0.062	0.036
6	1998	3月20日19時	7.6	10.9	5.3	11.3	原	寒冷前線の通過	0.041	0.026
7	1997	7月28日18時	7.6	14.2	5.4	14.0	原		0.024	0.018
8	1995	11月8日23時	7.4	8.0	5.8	7.9	原		0.074	0.060
9	1994	4月13日1時	7.4	10.8	4.6	10.1	原		0.041	0.029
10	2001	8月21日24時	7.3	11.2	5.8	12.2	観測所(終了)	台風11号	0.037	0.025

測所で観測された資料である。現在はこの二箇所は観測機器の故障のため観測されていないが、観測年月は多少古い。田子の浦港口では沖合 250m 水深 48m、原は沖合 150m 水深 48m で直接測定された貴重な結果である。この表には、台風による波の有義波と周期から求めた波形勾配(= H/Lo)の値にはマスクがかけてある。この観測結果から、最大波高 Hmax ; 7.3 ~ 12.1m, 波形勾配 H/Lo : 0.023 ~ 0.086 の波が入射していることがわかる。このような異常波浪時に、海岸に打ち上げ漂着物が見られている。

(2) 漂着物の種類

実際に、平成 19 (2007)年 9 月 6 日、台風 0709 号が静岡県伊豆半島に上陸し、本州を南から北へ縦断し、狩野川の流域で 595mm/日の降雨、富士市で最大風速 13m/s、日平均風速 3.9m/s が観測されている。このときの富士海岸への漂着物が写真-1である。漂着物は比重が 1 より軽い浮遊物；すなわち小型漁船、流草木、ドラム缶、漁具(浮き)、ポリタンク、車の車輪とタイヤ、冷蔵庫などをはじめとする生活関連のありとあらゆる物の漂着が確認される。写真-2は長崎県対馬の海岸に、また写真-3は東京都八丈島の海岸に、それぞれ打ち上げられた漂着物である。長崎県の対馬の海岸には 90%が外国からの物で、清掃しても次から次へと漂着し、その捨て場もなく、島民にとって大変な負荷となっている。八丈島も同様に黒潮に乗って外国からのゴミが海岸に打ち上げられる。

3. 実験

(1) 漂着物の模型

2. (2)で述べたこれまでの調査と写真-1~3を参考に漂着物の種類および寸法が表-2の現地海岸の欄にまとめてある。また、これらに対応する実験模型として、本研究では表-2に示す木の「玉」と「棒」、さらに「缶(コーヒ)」と「ペットボトル」を用いることにした。缶とペットボトルは、漂着物の重さ(比重)の違いを想定して、水をそれぞれの中に 0

表-2 現地海岸の代表的な漂着物と実験に使用したその模型

	模型				現地海岸				
	着色	比重	数	径(cm)	長(cm)	代表的な 海岸漂着物	径(m) 角(m)	長(m)	
木の玉	黄	0.38	100	1	1.5	浮き;漁具	0.2~0.6	0.3~0.9	
						筏用浮き	0.2~0.5	1~2	
木の棒	緑	0.80	20	0.5	2.1	流草木	0.2~0.7	1~10	
						建材木	0.1~0.2	1~10	
缶 (コーヒ)	水:0%	緑	0.16	20	5	10	ドラム缶	0.6~0.9	0.9
	水:50%	赤	0.61				18L缶	0.5~0.7	0.5
	水:100%	青	0.99						
ペットボトル	水:0%	緑	0.08	20	7	22	ポリ容器	0.2~0.5	0.4~0.6
	水:50%	赤	0.51				養殖筏浮子		
	水:100%	青	0.99						

(空), 50 および 100%入れた。実験では浮遊物の比重の違いを計測撮影した結果から識別が出来るように着色した。

(2) 模型と実験波

図-1に示す深さ: 1.5m の平面造波水槽内を幅: 3.9m, 長さ: 15m に仕切って、浜の模型を粒径: 40mm の碎石で 1 : 5 の斜面を造り、水深を 40cm とした。

2. (1)で述べたように、異常波浪時には、富士海岸へ最大波高 Hmax=7.3 ~ 12.1 (m) ; Tmax=8.0 ~ 14.2 (s), 有義波高 H1/3=4.6 ~ 9.3 (m) ; T1/3=7.9 ~ 14.0 (s) の波が入射している(表-1)。従って、実験縮尺は現地海岸の 1/35 ~ 1/50 を想定し、かつ造波水槽に設置の造波機の造波能力等を勘案しながら、実験で扱いやすい波高と周期を実験波とした。このようにして定めた表-3の実験波を富士海岸の暴風時



写真-1 平成19(2007)年9月8~9日に狩野川流域に豪雨をもたらした台風0711号によって狩野川から浮遊流出、漂流し、測点No.1付近の浜に打ち上げられた漂着物(平成19年11月2日撮影)

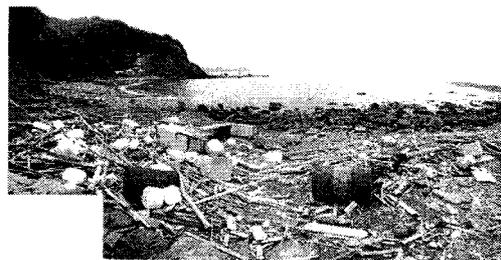


写真-2 長崎県対馬の浜に打ち上げられた漂着物(平成22年3月25日撮影)



写真-3 八丈島大浦海岸に打ち上げられたドラム缶とプラスチック(平成22年3月11日撮影)

表-3 実験波の特性

実験波	T (s)	H (cm)	L (cm)	Lo (m)	h/Lo	H/Ho	Ho (cm)	Ho/Lo	ξ	浜勾配 / =1/5	備考 水深(cm)
A	2.5	10.0	16.0	9.75	0.04	1.1	9.1	0.009	2.1	0.2	40
B	1.5	15.0	15.0	3.51	0.11	0.95	15.8	0.045	0.9	0.2	

と、静穏時の波に相当する規則波を浜に対して斜め入射 (60°) させた。波の入射によって自然の海岸で起きる沿岸方向(汀線方向)の沿岸流の発生を妨げないように、波の入射に対して左側の汀線付近の仕切板には隙間を空けた。

(3) 浮遊物の移動と打ち上げ漂着

表-2の漂着物の模型を造波板の近くの水面に一樣に投入し、波によって浜方向に浮遊移動し、打ち上げられ、どのように漂着するかを調べた。

波の作用開始後 10, 20, 40, および 60 分後に造波機を一旦止めて、浜に打ち上げられた漂着物の種別および位置などを図-1に示す水槽の上に設置したデジタルカメで撮影した。また、波による浮遊物の移動の様子は、8mm デジタルカメラで撮影し、パソコンで整理した。このような方法で表-2の漂着物の模型 8 種類とこれら総てを混合したケースを含めて 9 ケースを、表-3に示す強弱二つの A と B 波について実験を行った。実験の一例が写真-4に示してあ

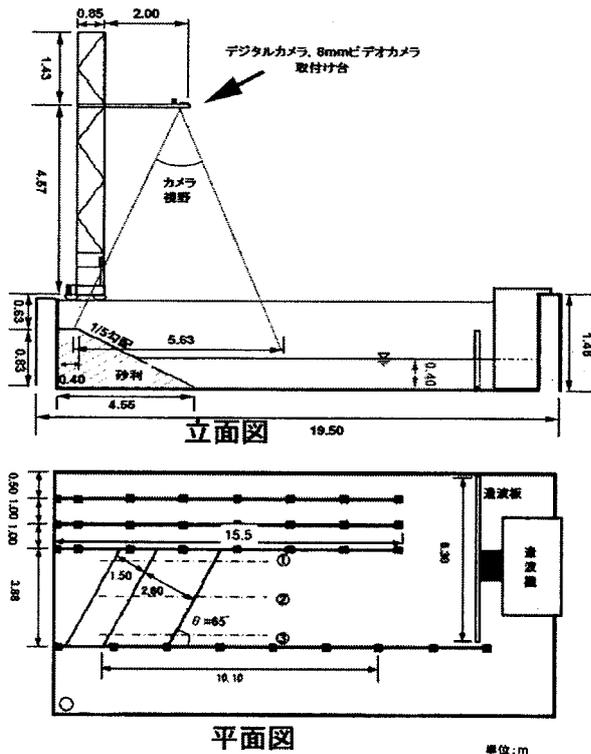


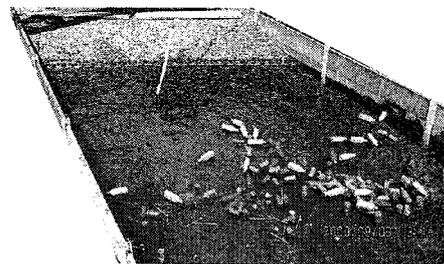
図-1 実験に用いた平面造波水槽

る。この写真(a)は、全部の模型を造波板の近くの水面に投入した直後のものである。その後、波の作用によって浮遊物が浜に打ち上がった様子が写真(b)である。

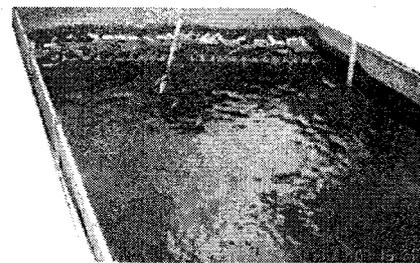
(4) 漂着物の散乱

波の作用によって漂着物の模型が浜に打ち上げ漂着した位置をデジタルカメラ画像から読み取って整理した結果の一例が図-2に示してある。実験波は 60° の角度で入射しているが、この図は汀線を横軸 (x/Lo) に漂着高を縦軸 (R/Ho) にとった。この図中には波の入射方向が矢印で、また、波の浜への遡上点(高さ)の位置(波の遡上限界高)が線で表してある。さらに造波水槽の仕切板の中で実験を行ったので、造波水路以外の部分は図中にマスクをかけ、ペットボトルが空 (PET=0%) と水を充填 (PET=100%) した場合について、漂着散乱の様子が図に示してある。

この図からわかることは、A と B 波ともに、汀線方向に波の遡上の限界線が汀線と平行になっていないことである。つまり、A 波の場合は波の進入方向の右側が高く、B 波の場合は反対に波の進入方向の左側が高くなっており、波によって違っている。軽い模型 (PET=0%) の場合はこの線を上限として漂着し、重い (PET=100%) 場合は軽い場合より低い位置、汀線近くに漂着している。また、A 波の場合は全体に波の進入に対して中央右側に漂着しているが、B 波の場合は浜全体に漂着していることなど興味深い。さらに、B 波の場合は波の遡上限界高さが、重い模型 (PET=100%) の時に軽い (PET=0%) 時より低くなっている。この理由として、漂着したペットボトルのために波の遡上に影響が生じ、低くなったも



(a) 波作用前



(b) 波作用 60 分後

写真-4 B波 (Ho/Lo=0.045) により漂着模型が浜に打ち上げられた状態

のと推定される。

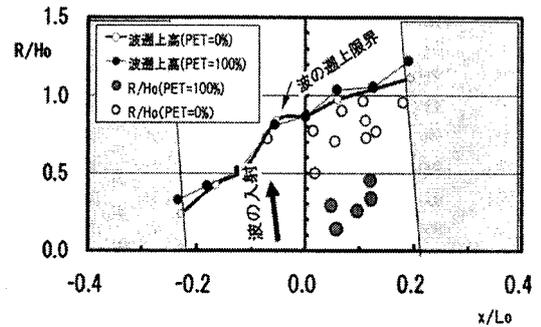
4. 検討

海面浮遊物の海岸への打ち上げ漂着に関して、どのような波によって、どのように海岸に打ち上げられるかについて調べる。そのため、①波の強さとゴミの漂着率、②波の打ち上げ高とゴミの種類(形状、大きさ、比重)に注目して検討を加える。

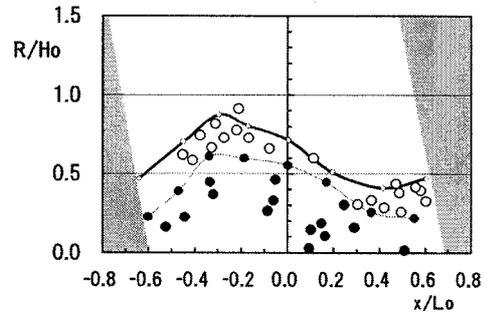
(1) 波の強さと漂着率

実験波 A ($H_o/L_o=0.009$) と B ($H_o/L_o=0.045$) によって打ち上げられた漂着物の漂着率について調べる。漂着率は、投入した模型の全個数と波の作用によって浜に打ち上げ漂着した数との比で定義した。漂着物の種別と重さ(水の充填率)の違いによる漂着率の比較が図-3に示してある。この図から、波形勾配の大きい B 波は小さい A 波に比べて、総ての種類の模型に対して、漂着率(=65 ~ 100%)が高くなっていることがわかる。

さらに、波の作用にともなう漂着率を検討するために整理した結果が図-4である。この図には、缶とペットボトルの中に水を 0, 50, 及び 100% 入れて、模型の重さを変えた場合の結果である。この図によると、B 波(強い波; 波形勾配が大きい)の場合、漂着率は全体に高く A 波に比較して短時間に漂着している。すなわち、波の作用数が 100 波で 65 ~ 100% の漂着率になっている。しかし、A 波(弱い; 波形勾配が小さい)の場合、波の作用 100 波で漂着率が 0 ~ 25%, 1,000 波で 25 ~ 60% と、緩やかである。このように波の強さによって、漂着率が経時的にもかなり違うことが興味深い。また、水; 0 と 100% の場合が缶は実線、ペットボトルは破線で示してあるので、比重の違いによる漂着率を注目してみると、ペットボトルの場合、比重が大きい



(a) A 波



(b) B 波

図-2 波の遡上と漂着物模型の散乱

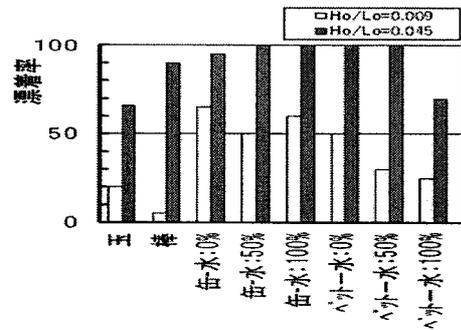
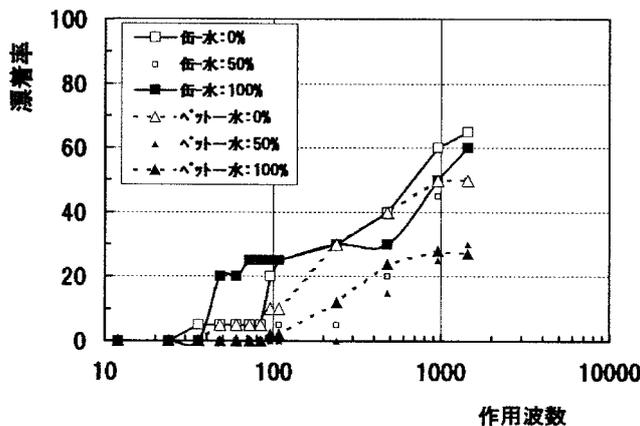
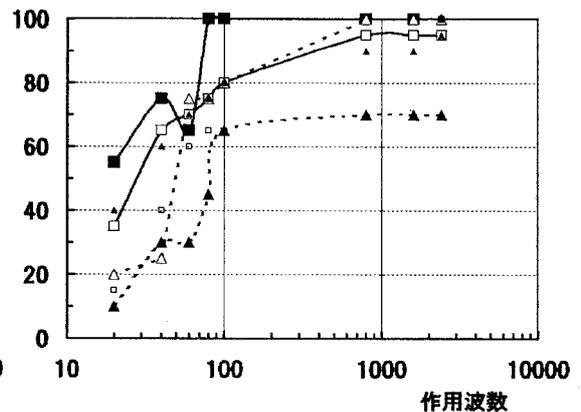


図-3 波の強さとゴミの漂着率



(a) A 波 ($H_o/L_o=0.009$)



(b) B 波 ($H_o/L_o=0.045$)

図-4 波の作用にともなう漂着率の変化

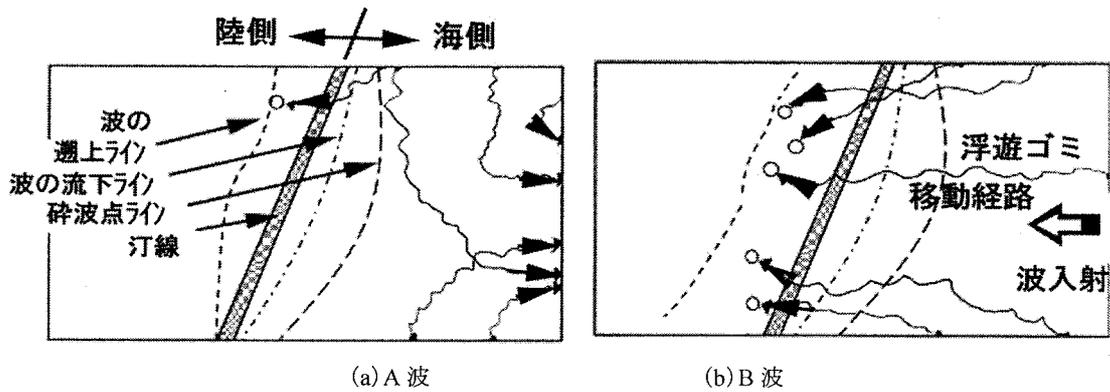


図-5 波の違いによる浮遊模型の移動経路と浜への漂着

(水:100%, 比重=1)と小さい(水:0%, 比重=0.08)ものに比べて30%ほど少なくなっている。しかし、缶の場合には比重による明確な差がはみられない。この違いは、模型の形状、すなわち缶のように角を持った短円筒形とペットボトルのように角が丸味を持つ円筒形との違いにあると考えられる。

(2) 浮遊物の移動と漂着の経路

4. (1)で述べたように、波の強さによって漂着率が違う理由を調べるため、平面造波水槽の上に取り付けた8mmビデオカメラの画像から、ペットボトル(水:0%)に注目して、波によってどのように移動するかを調べた。この結果に基づいて浮遊物の移動経路の概略のイメージが図-5に示してある。この図は、海岸に対して60°の角度で入射した波が「砕波」、「流下」、「遡上」する位置の概略を線で繋いで表してある。A波の場合、模型の浮遊移動経路をみると、造波水槽の側壁に沿って一旦は汀線に近づくが砕波点を境にして沖へ戻っている。しかし、B波の場合、波にともなって砕波点、波の流下点、汀線を横切って海岸に打ち上げられ漂着している。この様子が写真-4(b)である。

以上から、波の強さが浮遊物の海岸への漂着に大きく関わっていることがわかる。これは、波による

水面付近の水の質量輸送が関係していると考えられるが、ここでは紙面の都合上、詳しい検討を加えることができない。

(3) 現地海岸における入射波浪と漂着物

実験から浮遊物の漂着には、波の強さが大きく関わっていることがわかった。実際に現地の富士海岸を対象にして波の強さと浮遊物の漂着について検討を加える。平成19(2007)年9月6日に台風0709号が静岡県伊豆半島に上陸して北上して、本州を南から北へ縦断し、狩野川の流域で595mm/日の豪雨をもたらし、富士市では最大風速が13m/sであった。この豪雨によって狩野川の流域から流送木、生活関連の浮遊物が河口から駿河湾に大量に流出した。これらの浮遊物は写真-1のように、河口右岸側の富士海岸に大量に打ち上げ漂着した。この漂着は夜であったため、波との詳細な関係はわからないが、台風通過後には浜に膨大な漂着物が漂着していたことを国土交通省中部地方整備局沼津工事事務所の関係者から聞いている。このとき、富士海岸に近い清水港で計測されたナウハアスの波浪の記録²⁾を図-6に、またこの図の中に、台風による波浪の急激な変化の部分がマスクをかけてある。この部分で①の矢印は台風が接近中、②最接近、③通過後、をそれぞれ表

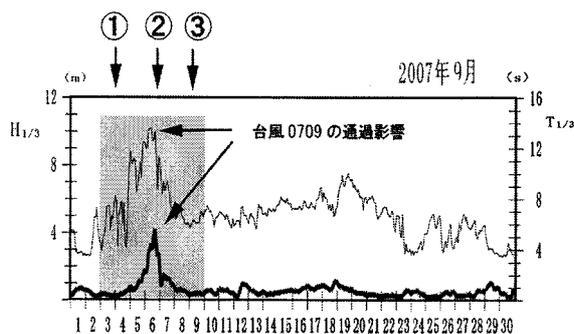


図-6 ナウハアスによる入射波の波高 $H_{1/3}$ と周期 $T_{1/3}$ の経日変化。太実線: $H_{1/3}$ 、細実線: $T_{1/3}$

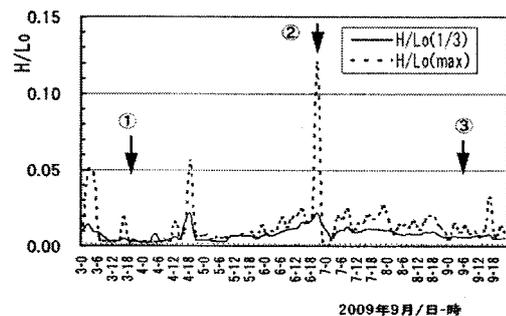


図-7 資料による台風0705号の接近通過にともなう有義波による波形勾配 $H/Lo(1/3)$ と最大波による $H/Lo(max)$ の経時変化

している。この期間(9月3～9日)における、 $H1/3$ と H_{max} の2時間毎のデータから求めた波形勾配(H/L_0)をの経時変化が図-7に示してある。この図から、台風が富士海岸の東側を通過した9月6日の18～24時にかけて非常に大きな波形勾配($H/L_0 \approx 0.12$)になっていたことがわかる。このデータは、富士海岸から西方向に離れた清水で計測されたものである。恐らく実際はさらに大きな波が富士海岸に入射したものと推定される。

また、平成20(2008)年5月9日～17日に台風0811号が八丈島の南を通過した折りにかなり大きな波が富士海岸に入射した。このときにも海岸に大量のゴミが漂着した。このことは、海岸設置されているライブカメラで確認できている¹⁾。詳しい波形勾配等の経時変化はナウハースのデータがまだ公開されていないので不可能である。

以上の二ケースの検討から、実験からわかったように波の強さが浮遊物の海岸への打ち上げ漂着に強く関与していることと一致している。

(4) 打ち上げ漂着高

浮遊物の海岸への漂着高さは、図-2からもわかるように波の強さと漂着物の重さによってかなり違うことがわかる。そこで、波の打ち上げ高、漂着物の漂着高、および漂着物の重さ(比重)との間にどのような関係があるかについて検討を加える。

ペットボトル中に水を0(空)、50、100%入れて比重を0.08、0.51、0.99に変化(表-2)させた場合の結果を図-8に示した。この図で比重:0における R/H_0 のプロットは、図-2から漂着物がある位置(x/L_0)における波の遡上限界高(R/H_0)を読み取った値である。このプロット値がばらついている理由は、波の遡上限界高が汀線方向に変化しているためである。同様に、ペットボトルの比重毎に行った実験結果を図-2のように整理し、その図から漂着高を求め、その比重における R/H_0 値をプロットした。

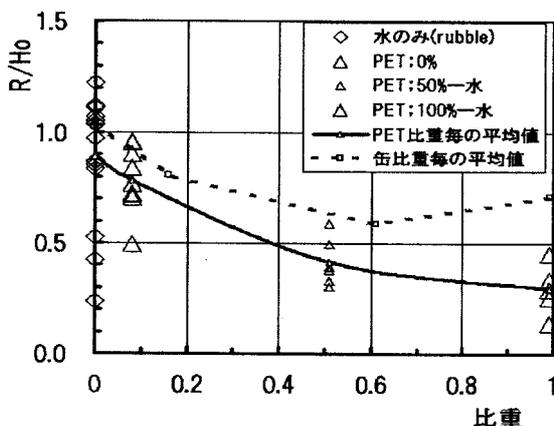


図-8 漂着物の比重の変化と漂着高

このプロットのばらつきは、図-2にあるように漂着物の位置が汀線方向に一様になっていないためである。このように、ペットボトルの比重と R/H_0 の関係はかなりばらつきがあるが、平均値を結ぶと実線のように、比重の増加と共に漂着高が下がる。

しかし、短円柱形の漂着物を想定した模型の缶は、同様な方法で実験値を整理し、その平均的な傾向を図中の破線で示したが、ペットボトルと傾向が多少違っている。この点に関しては、缶と角に丸みを持った形状のポリタンクや摩耗した流木などを想定したペットボトルでは、比重による漂着高が多少違うことが指摘できるが、さらなる検討が必要である。

5. 主要な結論

海面の浮遊物が、どのような波によって、どのように海岸に打ち上げられ、漂着するかについて、規則波による平面造波水槽を用いて実験的を行い、検討を加えた結果、次のことが結論づけられる。

- 1) 波形勾配が大きい波が作用すると、短時間の間に海面上の浮遊物が浜に打ち上げ漂着する。これは、海面上の浮遊物が、漂着するまでの移動経路が波の進入方向と同じためである。
- 2) このことは、現地海岸で台風など高波浪の来襲時に海面浮遊物が海岸に多く打ち上げ漂着することと一致する。
- 3) 浮遊物の海面移動プロセスを平面的に測定した結果、波形勾配が小さい波の場合、汀線近くまで波と共に浮遊移動するが、砕波帯付近から再び沖へ戻る。
- 4) 漂着物は、波の遡上限界高と同じか低い位置に漂着する。その位置は、波の強さ、漂着物の形状および重さ(比重)による影響を受ける。

謝辞: 本研究は、名城大学理工学部環境創造学科4年、卒業研究生中村健吾、武藤裕一、鈴木佑馬および瀧野大輔君が意欲的に長期間にわたって行った実験結果によるものである。また、国土交通省中部地方整備局沼津工事事務所から富士海岸の資料および有益な情報を提供して頂いた。ここに、記して謝意を表明する。

参考文献

- 1) 伊藤政博・鈴木薫穂: 海岸ライブカメラによるゴミの漂着と移動—富士海岸を対象にして—, 土木学会海洋開発論文集, Vol.25, pp.969-974, 2009.
- 2) 国土交通省港湾局他: ナウファス (全国港湾海洋波浪情報網: NOWPHAS), <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.html>