

富士海岸における漂着ゴミの打ち上げ高

RUNUP HEIGHT OF DRIFTING LITTER DUE TO WAVES IN FUJI COAST

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名古屋市中白区塩釜口1-501)

The aim of this study was to investigate a runup height of drifting litter due to waves on the cross shore between shoreline and sea embankment in the Fuji coast. Field investigations were performed by photographically recording debris in 3m x 2m quadrilateral areas using a digital camera along transects extending from the shoreline to the sea embankment on a section of sandy beach. The number of drifting litter on the quadrilateral area was counted from the personal computer display inputted digital photograph, and arranged graphically by relating to the cross shore section. As the result it was found that, (1) the cross shore distribution of litter is not uniform and has a few peaks, (2) that the litter runup height at the first peak in the nearest shoreline is indicated with the surfsimilarity parameter using the maximum wave characteristics selected from the order of wave height before the field survey through the one year observed wave-record.

Key Words : Runup height of drifting litter, cross section distribution of drifting litter, sandy beach, Fuji coast.

1. はじめに

日本の海岸線の長さは、世界でも有数の長さ(約34,000km)を誇っている。海岸堤防から汀線まで限られた区域には貴重な砂浜があり、その多くは国および都道府県により保全がなされている。この砂浜は、背後地の住民、或いはその景勝を求めて訪れる人々に、憩いと安らぎを与える貴重な空間でもある。しかしながら、台風などによって河川流域に豪雨が降ると河口から流送された流木、家電品、ペットボトル、飲料缶、さらには波浪によって漁具や、漁港に放置された漁船などが、河口周辺の砂浜海岸に漂流・漂着し、波によって砂浜に打ち上げられる。

環日本海環境協力センター¹⁾の呼びかけにより、日本海に面するすべての国内自治体や中国、韓国、ロシアの海外自治体が参加し、2005年度に漂着ゴミの調査が、日本22自治体、中国4自治体、韓国3自治体、ロシア3自治体の計32自治体において、地元自治体やNGO・NPOなどの連携・協力により70海岸において行われている。また、世界についてはまだ正確にはよくわかっていないが一例を挙げると、米国、New JerseyとNew York州の海水浴場に1987～1988にかけてゴミが漂着し、海水浴場が閉鎖され2,000億円の収入の減少、また英国でも同様に漂着ゴミにより海岸レジャー産業などの被害額が1兆6,000億円にもなっている。世界の海洋全体に流入するゴミの量は年間650万tfと推定されてい

る。これらの漂着ゴミは、発生源から遠く離れた国、自治体および地域住民にかなり悪影響を与えている。

漂着ゴミの清掃に関しては、海岸法によると、第5条に「海岸保全区域の管理は、当該海岸保全区域の存する地域を統括する都道府県知事が行うものとする。」と規定されている、しかしどの程度行うかについては明らかにされていない。関係省庁(内閣府、総務省、外務省、水産庁、経済産業省、気象庁、海上保安庁)会議で、漂流・漂着ゴミ対策に係わる施策として、①関係省庁の施策のフォローアップ、②国、地方公共団体、民間団体・研究者等の関係者間の連携強化、③漂流・漂着ゴミの処理等に係わる体制の確立、④国際的な対応も含め発生源の対策、が掲げられた。これを受けて、漂流・漂着ゴミに係わる国内削減方策モデル調査が2007年度から7県11海岸について4年計画で⑤ゴミの概況調査、⑥クリーンアップ調査、⑦フォローアップ調査、がおこなわれることになっている²⁾。

筆者^{3, 4)}は漂着ゴミの実態として、まず砂浜海岸に離岸堤、消波堤の設置、および養浜が行われた箇所と、海岸構造物が無い砂浜海岸にどのように沿岸方向にゴミが漂着しているかについて、ゴミの総重量と種別(流木、プラスチック、ペットボトル、ビニールのレジ袋、紙、発泡スチロール、空き缶、金属、空き瓶、粗大ゴミ、その他)ごとの重量を調べた。その結果、富士川および狩野川の河口から駿河湾に流送さ

れたゴミは、富士川右岸側と昭和第一放水路近く、さらに富士川河口から15km東のNo. 14に多く集積していることを明らかにした。

本研究では、砂浜海岸の汀線から海岸の区間にどのように漂着・堆積・散乱しているのかに関して、静水面からの漂着ゴミの打ち上げ高について検討を加える。この研究の知見は、ゴミが集積する箇所や場所にゴミをトラップする構造物あるいは装置を工夫して設置するなど、漂着ゴミの集積を効率的に行うための施策および対策に資することができよう。

2. 異常気象と海岸への漂着ゴミ

台風など異常気象によって川の上中流域で豪雨が降ると、山地部では山腹崩壊により樹木が倒れ、さらに倒木は川へ押し流される。また流域内の市町村の道路および河川敷内に不法放棄・放置、あるいは散乱している生活ゴミは浮流して川へ流れ、河口から海域へと浮流する。浮遊ゴミは、風向きによっては波による沿岸流で岸へ運ばれ、沿岸方向一帯に広がり、波によって砂浜へと打ち上げられる。写真-1は台風による狩野川流域の豪雨によって流木やプラスチックなどの生活ゴミが川から海へ流送され、海岸に漂着し、高波によって浜に打ち上げられたものである。

3. 漂着ゴミの調査方法とゴミ個数

調査は、図-1に示す富士海岸の河口右岸側の一部(測点No. 90)と東方向狩野川(測点No. 0)までの区間を対象に、平成16(2004)年8月と9月、平成17(2005)年11月、および平成18年11月に行った。調査点は、国土交通省中部地方整備局沼津工事事務所が海岸の保安全管理のために海岸堤防上に設置した測点杭(プレート)に基づいた。



写真-1 平成20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流送、漂流し、測点No.1付近の浜に打ち上げられた漂着ゴミ(平成19年11月2日撮影)

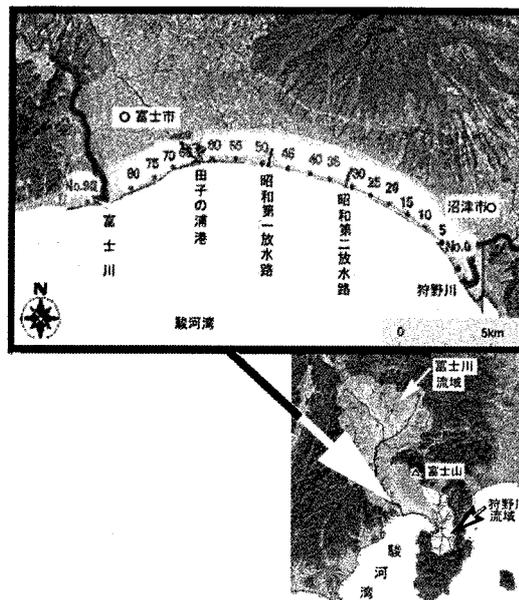


図-1 富士海岸

砂浜上と海浜植生帯の中に散乱する漂着ゴミの状況を、長さ50mのリボンロッドと長さ2mのポールを用いて、幅:2m x 奥行:3mの範囲をデジタルカメラで堤防から汀線方向へ順次移動しながら撮影・記録した。デジタルカメラで撮影した漂着ゴミの画像は、パソコンで堤防から汀線まで1本の画像(幅:2m x 堤防から汀線の区間)に繋いだ。この画像に基づいてパソコンのディスプレイ上から、1区画(2m x 3m)の中に写っているゴミの個数を種類別に数えた。

4. 海浜流

富士海岸におけるゴミの漂着は、風速と風向、波の入射方向、波高、周期、海浜流の流向、および潮位などの影響を受ける。富士海岸の風向きは年間を通じてSWとNE方向で、特にSW方向(海から陸)からの強風が、汀線に対してほぼ直角に吹いている。そのために、全体としてゴミは海から海岸へ漂流することになる。さらに、

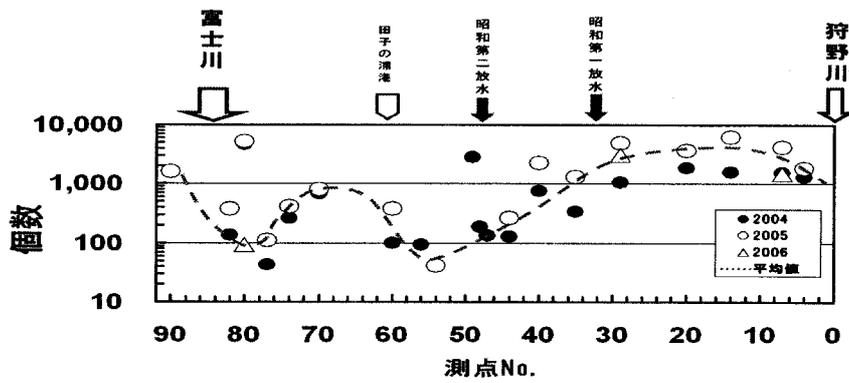


図-2 平成 16, 17, 18 に調査した漂着ゴミの個数の沿岸方向分布 (●:平成 16 年, ○:平成 17 年, △平成 18 年調査)

汀線近くを流れる海浜流は東向きに比較的大きな流速0.9(m/s)がある。西向きは流速0.77m/sである。この流れの向きは波の入射方向によって変化するが、全体としては東向きの流速が大きくなる。これが漂着ゴミを東に移動させる原因の一つであると考えられる。

第二放水路、および狩野川の位置が示してある。平成16(2004)年8月と9月、平成17(2005)年11月、平成18(2006)年11月の3回にわたって調査した結果である。この3年間の平均的な傾向が破線で示してある。この図から測点No. 14付近にゴミの集中が見られる。このことは、富士海岸の海岸侵食が広がる方向⁵⁾ともある程度一致している。

5. 漂着ゴミの打ち上げ高さ

(1) 汀線から堤防間のゴミ個数分布

富士海岸は沿岸方向に浜幅が変化し、さらに消波堤、離岸堤、人工リーフなどの海岸侵食対策構造物がかなり設置されている。これらの構造物は、漂着ゴミの沿岸方向への移動および汀線から海岸堤防方向(横断方向)への漂着ゴミの打ち上げに少なからず影響している。

漂着ゴミが沿岸方向にどのように漂着・堆積しているかについて、特定の調査点を調査した結果が図-2にまとめてある。この図は、汀線から堤防方向に幅2mの区域に漂着・堆積・散乱しているゴミの全個数を表したものである。この図には、富士川、田子の浦港口、昭和第一・

(2) 漂着ゴミの打ち上げ高

測点No. 34から36までの砂浜の航空写真(平成18(2006)年1月撮影)が写真-2に示してある。この写真は漂着ゴミが集中して堆積している部分が線で囲って示してある。汀線に平行、つまり

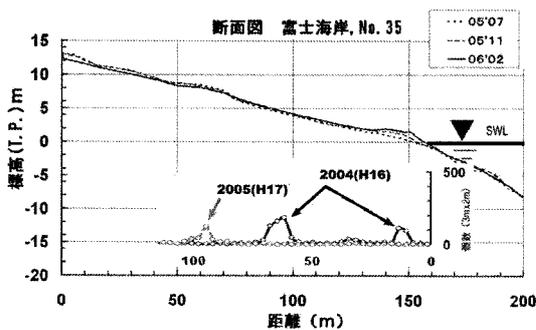


図-3 現地調査による汀線～堤防区間の漂着ゴミ個数分布と海岸横断面図

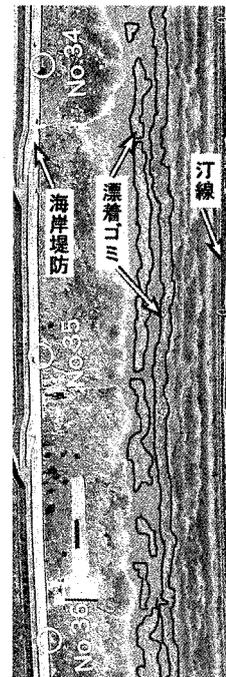


写真-2 測点 No.14 周辺の漂着ゴミの沿岸方向の散乱(平成 18 年 1 月 11 日撮影)

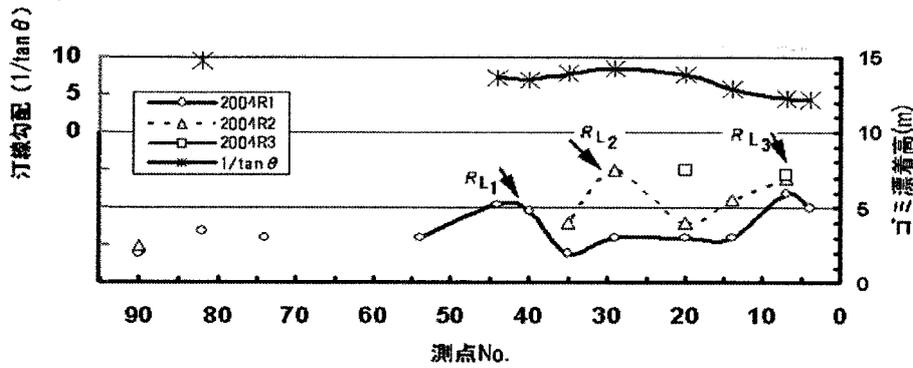


図-4 漂着ゴミの打ち上げ高(R_{L1} ; 第1, R_{L2} ; 第2, R_{L3} ; 第3 打ち上げ高)

漂着ゴミが帯状に集中していることがわかる。調査結果に基づいて、幅 2m x 奥行 3m の間に漂着・堆積しているゴミの個数分布が、図-3に海岸断面に対応させて示してある。この図から、ゴミの個数分布には1から3つのピークが存在していることがわかる。このピークがある海岸断面上の位置の静水面からの高さを、ゴミの打ち上げ高： R_L と定義する。すなわち、汀線からの1番目のゴミ打ち上げ高： R_{L1} 、2番目： R_{L2} ・・・とする。このように定義したゴミの打

ち上げ高さを各測点の海岸断面図と対応させて読み取った。平成16(2004)年に調査のゴミの打ち上げ高さ(第1, 2, 3 打ち上げ高)の沿岸方向分布が図-4に示してある。この図で、測点No. 49~90の間はプロットが連続していないが、これは消波堤、消波工、および養浜が断続的に設置されていること、さらに富士川、田子の浦港口の存在などによるためである。さらにこの図には、海岸の汀線付近の海浜勾配($\tan \theta$)が示してある。

表-1 富士川と狩野川の流域に豪雨および出水を引き起した異常気象と漂着ゴミの現地調査

西暦 /平成	月日	現地 調査	富士川		狩野川		備考
			豪雨	台風低気圧	豪雨	台風低気圧	
2001 /13	8.21						台風0103号 原観測所
	9.8 ~11		台風15号の大雨で県南部及び 東部で大きな被害発生。				台風0115号
2002 /14	7.10 ~11		台風第6号の大雨により、県中 西部をはじめ県下全域で被害 発生。				台風0206号
2003 /15	8.8 ~9		台風10号の大雨により、県東部 及び中西部をはじめ県下全域 で被害が発生。				台風0310号
2004 /16	7.30 ~31						台風0410号
	8.8 ~11	○					
	8.30 ~31						台風0416号
	9.7 ~8						台風0417号
	9.14 ~16	○					
	10.8 ~10		台風22号の大雨により県中西 部で大きな被害発生。	狩野川水系におけ る水害および土砂 災害			台風0422号
	10.20 ~21		台風23号の大雨により県下全 域で被害発生。	台風23号の大雨により県下全域で被害 発生。			台風0423号
2005 /17	8.25 ~26				台風11号による狩野川水系の出水。東海 地方から関東地方にかけて停滞していた 前線の活動が活発となり、台風が接近・ 通過した25日午後各地で激しい雨。最 大一時間降水量は、静岡県伊豆市天城 観測所で74mmを記録し、総雨量は狩野 川の天城観測所で494mm、上大見観測 所で415mmを記録。		台風0511号
	11.6 ~7	○					
2006 /18	11	○					

(3) 漂着ゴミの打ち上げ高に寄与する

高波の選定

ゴミの漂流と漂着は、風向、風速、潮流、潮位、および近岸では海浜流に影響を強く受ける。また汀線から陸上部の砂浜上の堆積と散乱は、消波堤、離岸堤、人工リーフなどの海岸構造物；浜崖、汀線勾配など海浜断面形状；波高と周期；およびレジ袋、軽量プラスチックなどは浜上を吹く強風の影響を強く受ける。ゴミの打ち上げ高さには、このような多くの要因が考えられるが、本研究ではまず波との関係で検討を行うことにする。

重要になるのは漂着ゴミの調査時期とゴミの発生、流送、漂着および打ち上げに影響を及ぼした異常気象の出現である。現地調査を行った時期と富士川および狩野川の出水原因になった台風について、一連の関連を調べ、まとめたものが表-1である。この表には現地調査の日が、○印で示してある。この表から、平成16(2004)年に海岸に漂着したゴミを打ち上げた波は、台風0416、0417、および0422号の3つであると考えられる。

(独)港湾空港技術研究所、海洋・水工部 海象情報研究室⁶⁾が波浪観測データを整理した高波一覧表(有義波高の大きい順)に示される1~9位の中で、現地調査日より前に生起した波を対象にする。ここで言う“高波”は同研究所が、観測拠点港毎に定めた固有の上限値(清水港では2m)を上回る有義波高をさす。本研究では、富士海岸に最も近い清水港の波浪観測値を参考にする。平成16(2004)年は国土交通省が田子の浦港

表-2 清水港と田子の浦港の高波(平成16年)

順位	月日	H _{max} (m)	T _{max} (sec)	H _{1/3} (m)	T _{1/3} (sec)	H _m (m)	T _m (sec)	観測地点 (港)	気象要因
2	H16.7.30~31	4.58	11.4	2.96	10.8			清水	台風0410
		5.79	10.7	3.30	12.0	2.14	9.9	田子の浦	
4	H16.8.30~31	4.43	9.3	2.80	9.8			清水	台風0416
		6.02	7.8	4.33	9.2	2.71	7.1	田子の浦	
9	H16.9.7~8	3.44	7.8	2.06	7.4			清水	台風0417
		3.87	12.0	2.41	11.4	1.49	8.3	田子の浦	

で波浪観測を行っているので、清水の高波表(有義波と最大波の一覧)と対応する表-2に示す波(最大波H_{max}、有義波H_{1/3}、平均波H_m)を使う。この表によると田子の浦の観測値は、清水より波高が多少高いことがわかる。

(4) 高波による漂着ゴミの打ち上げ高

Mase⁷⁾は、不規則波による一様斜面上の波の打ち上げ高を砕波帯相似パラメーターを用いて整理すると、実験データを精度良く表せることを研究報告している。

海岸断面と汀線から堤防間のゴミ個数の分布から、漂着ゴミの第1打ち上げ高R_{L1}を図から読み取った結果と、表-2の田子の浦の最大波高、有義波高および平均波と汀線勾配から砕波帯相似パラメーターξを求めて整理した結果が図-5に示してある。この図は、対象波と漂着ゴミの打ち上げ高との関係を検討できるように、台風0410、0416、0417号による最大波(◇、□、△印)、有義波(*印)、および平均波(●印)をそれぞれ分けてプロットしてある。この図から、最大波高を使った場合、漂着ゴミの第1打ち上

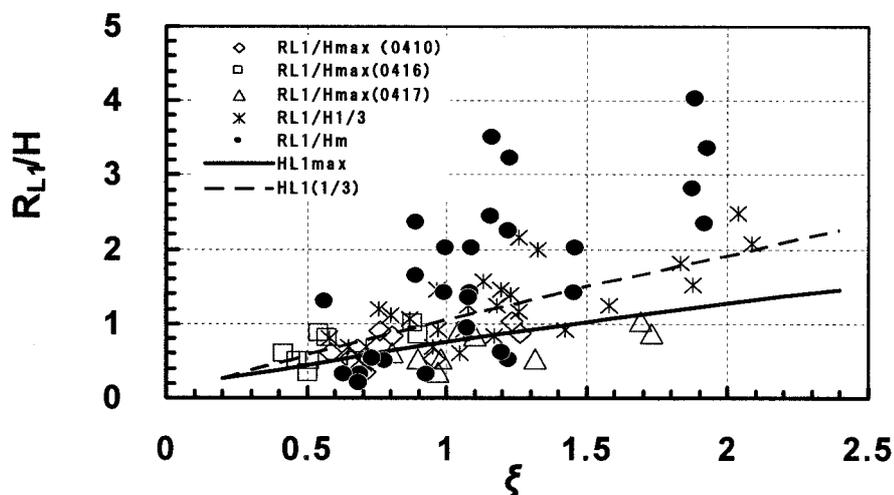


図-5 台風0410、0416、0417号の最大波高H_{max}、有義波高H_{1/3}、および平均波高H_mを用いて整理した漂着ゴミの第1打ち上げ高R_{L1}/Hと砕波帯相似パラメーターξ

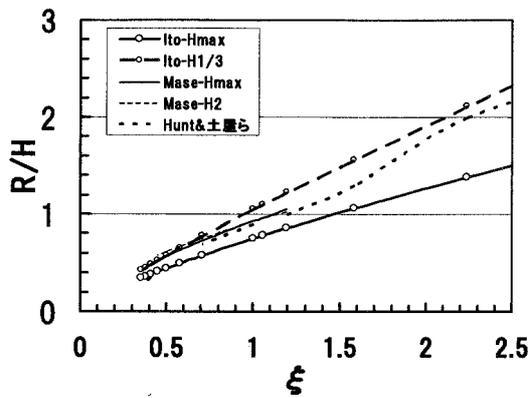


図-6 波の打ち上げ高の表示式との比較

げ高 RL_1 のばらつきが小さいとがわかる。最大波による傾向は、

$$RL_1/H_{max} = 0.75 \xi^{0.76} \quad (1)$$

であらされる。有義波による傾向は、

$$RL_1/H_{1/3} = 1.05 \xi^{0.87} \quad (2)$$

である。これらの関係が図中に実線および破線で示してある。しかし、平均波に関してはばらつきがかなり大きいので、傾向は示していない。

6. 波の打ち上げ高の表示式との比較

これまでに多くの研究者が規則波・不規則波による波の打ち上げ高について研究を行っている。土屋ら⁸⁾はHunt⁹⁾の行った実験に、非透水性と透水性の一樣斜面に規則波を作用させた実験結果を加えて斜面の透水性の効果を調べた。またMaseは一樣な非透過性の斜面に不規則波を作用させ、波の打ち上げ高について検討を加え、波の遡上高を砕波帯相似パラメーターを用いて表示した。その結果、最大波と2%超過最大波を適用して波の遡上高さを定式化($0.007 \leq H_o/L_o \leq 0.05$)している。なお実際の砂浜については、透水性の影響があるため提案式を0.5倍する必要があるとしている。

ゴミの打ち上げ高を表す式(1)および(2)と、これまでに研究者によって提案された関係図あるいは関係式に、一樣斜面勾配； $\tan \theta = 1/10$ として得られる関係を再整理して、図-6に比較してある。この図から、本研究の最大波と有義波による漂着ゴミの打ち上げ高の提案式の間土屋らと0.5倍したMaseの関係が入ることは興味深い。

7. 結語

本研究で得られた知見は、以下のようにまとめられる。

- 1) 汀線から堤防間の砂浜に漂着・堆積・散乱しているゴミは、平面的には汀線平行に帯状に堆積し、断面的には1から3つのピークを示す。
- 2) 漂着ゴミ分布における第1と2のピークの位置は、沿岸方向に場所的に変化する。
- 3) 汀線から初めてのピーク、すなわち漂着ゴミ第1打ち上げ高は、高波の最大波および有義波を用いた砕波帯相似パラメーターとの関係で良く表せる。
- 4) しかし、平均波の特性を用いて、漂着ゴミの打ち上げ高を表すことは、ばらつきが大きい。
- 5) 本研究で提案した最大波と有義波高による漂着ゴミ波の打ち上げ高の間に、土屋らおよび0.5倍したMaseの提案式による関係が存在している。

謝辞：国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所より、航空写真、海岸断面、波浪資料風向、風速、および海流の流速の貴重な現地資料の提供を受けた。ここに謝意を表明します。

参考文献・資料

- 1) (財)環日本海環境協力センター：2005年度調査報告書、ホームページ、<http://www.npec.or.jp/>
- 2) 竹本昭生：漂流・漂着ごみの現状と対策、資源環境対策、pp.89-94, 2008.3
- 3) 伊藤政博：砂浜海岸の漂着ゴミ—富士海岸を対象にして—、土木学会海洋開発論文集、Vol.20, pp.1187-1192, 2007.
- 4) ITO M.:On Drifting-up Debris in Sand Beach, Fuji Coast in Japan, 8th International Conference, Litral 2006, Book III, Coastal environment, Processes and Evolution; pp.9-14, 2006.
- 5) 伊藤政博、成川幸宏、伊藤仁士：侵食・堆積域の伝搬に対する構造物の阻止効果、一富士海岸を対象にして—、海岸工学論文集、第45巻、土木学会、pp.651-655, 1998.
- 6) (独)港湾空港技術研究所、海洋・水工部 海象情報研究室：全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS：ナウファス)「波浪データ」<http://www.pari.go.jp/bsh/ky-skb/kaisho/>
- 7) Mase, H:Random wave runup height on gentle slop, J. Wtrwy, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol.115, No.5, Sept., pp.649-661,1989.
- 8) 土屋義人・河田恵昭・矢下忠彦(1978)：波の波の遡上に及ぼす粗度および透水性の効果、第25回土木学会海岸工学論文集、pp.160-164, 1978.
- 9) Hunt, I.A:Design of seawalls and breakwaters, J. Wtrwy. and Harb. Div., ASCE, 85(3), pp.23-152, 1986.