

砕波帯内における海塩粒子の発生に関する現地調査

村上和男*・加藤一正**・清水勝義***
福田真人****・宮崎啓司*****

1. まえがき

近年、自然災害に対する安全性の向上と地域住民の海とのふれあいの場や、良好な景観の創出を兼ね備えた高質な海岸空間を創造する海岸整備が要請されている。

海岸線背後の地域では、海上から飛来する海塩粒子の付着、蓄積により、一般家庭用品、農作物等へ様々な被害を受けており、これらの被害の防止・軽減はこの高質な海岸空間を創造するために必要不可欠な課題である。

これらの被害を軽減する方策を検討する際には、海岸線付近の海塩粒子の空間分布特性を把握するとともに、海塩粒子の発生のメカニズム及びその背後地域への輸送の実態を解明しなければならない。

海塩粒子の背後地域への輸送については田中(1970, 1971)や浜田ら(1986)など多くの研究例があり、その実態が明らかにされつつある。しかし、海岸線付近の比較的狭い範囲における輸送モデルを構築しようとする場合に必要不可欠な情報となる、海面からの海塩粒子の発生量に関する検討を行った事例は少ない。

そこで本研究は、現地調査により海塩粒子の陸上部への輸送の供給源となる砕波帯内における海塩粒子の分布特性を把握するとともに、同領域における海塩粒子の発生量と風との関連を検討したものである。

2. 現地調査の概要

2.1 観測場所及び観測時期

茨城県鹿島灘に位置する波崎海洋研究施設(図-1)の観測桟橋において、1991年11月1,2日、及び1992年2月25,26日の延べ4日間調査を実施した。

2.2 調査方法

a) 測点配置

図-2aに11月の、図-2bに2月の測点配置を示す。海上部には砕波位置(桟橋延長基準点より160~210m)

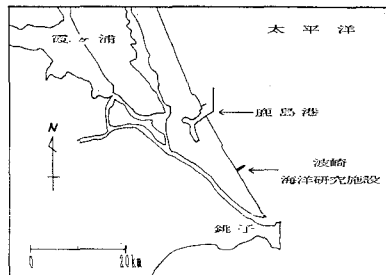


図-1 観測地点(波崎海洋研究施設)

をはさんで3(5)点、陸上部には汀線付近から背後約120mの範囲に3点の測点を岸沖方向に配置した。また、鉛直方向には、海上部において平均水面からの高さが約1~5m(約1~10m)、陸上部において地面からの高さが約0.5~8m(約0.5~9m)の範囲に1m間隔で、捕捉器を取り付けた(但し、()内の数字は2月の観測時)。

b) 海塩粒子の捕捉方法

図-3に海塩粒子の捕捉器を示す。寸法10cm×10cmの捕捉窓(受風面積100cm²)を設けた寸法16cm×16cmの亚克力板2枚の間にガーゼを挟んだものである。これらを海上部では各測点に鉛直に固定したポール1mに間隔で(写真-1)、陸上部では既存の電柱等に約1~2m間隔に取り付けた。

なお海上部においては、最下部の捕捉器が海面からの海水滴が直接かからないように、海面からのクリアランスが約1~2mとなるように設置した。

捕捉器は原則として風向に直角になるように取り付けられた。しかし、陸上部において既存の電柱等を利用したため、捕捉面の向きが岸沖方向に直角に固定されている。

捕捉器に取り付けられたガーゼは空気中に約1~2時間暴露後に回収され、ポリエチレン袋にいれて分析作業まで保存した。

c) 付着塩分量の定量

付着塩分量の定量はKent-Taylor社の電導度計を用いて行った。まず、回収したガーゼをイオン交換水200mℓに浸し十分に攪拌した後、その溶液の電導度及び水

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋水理部

** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部

*** 正会員 運輸省港湾技術研究所海洋水理部

**** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部

***** 正会員 運輸省第四港湾建設局熊本港工事事務所

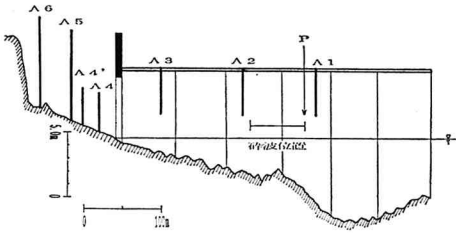


図-2(a) 測点配置図(11月調査)

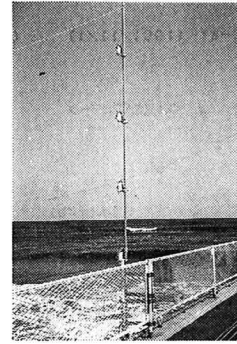


写真-1 捕捉器取り付け状況

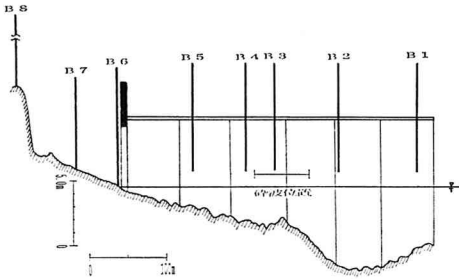


図-2(b) 測点配置図(2月調査)

式波高計によって観測した。

3. 調査結果と検討

3.1 海上部の付着塩分量分布

図-4 に11月観測, 図-5 に2月観測の海上部における付着塩分量 S の鉛直分布を示す。図中の曲線は各測点の鉛直分布を最小二乗法により指数関数 $S = a \cdot e^{(-b \cdot Y)}$ (Y : 平均海面からの高さ (m)) にあてはめたものである。

a) 11月の観測

測点 A2 は砕波位置の真上, 測点 A1, A3 は砕波位置を挟んでそれぞれ沖側, 岸側の測点である。○丸で示した測点 A2 の結果は, 砕けた波の海水滴を直接被った捕捉器が多かったため, 今回の調査では解析の対象外とした。

砕波位置より岸側の測点 A3 の方が, 砕波位置より沖側の測点 A1 よりも付着塩分量が大きいため, 砕波位置付近からの海塩粒子の供給が確認された。

b) 2月の観測

測点 B3 は砕波位置の真上, 測点 B1, B2 は砕波位置より沖側, 測点 B4, B5 は岸側の測点である。

付着塩分量が汀線付近から砕波位置付近までは増加し, そこからさらに沖に向かっては逆に減少しており, 砕波位置を境に沖側では海塩粒子の供給が減少していく傾向がみられた(但し, ケース b4 の測点 B1 では, 波が他のケースに比較して高く, 棧橋橋脚にあたって砕けた波の海水滴を直接被ってしまったため, この傾向からは外れている)。

3.2 砕波帯内における海塩粒子発生量

指数関数にあてはめた付着塩分量 S の鉛直分布をもとに, 次の手順で砕波帯内の任意の2測点間の単位面積・単位時間当りの海面からの海塩粒子発生量 Q ($g/m^2/h$) を求めた。図-6 に算定方法の概念を, また算定結果を表-1 に示す。

a) 鉛直方向分布を海面 ($Y=0$) から無限上空 ($Y=$

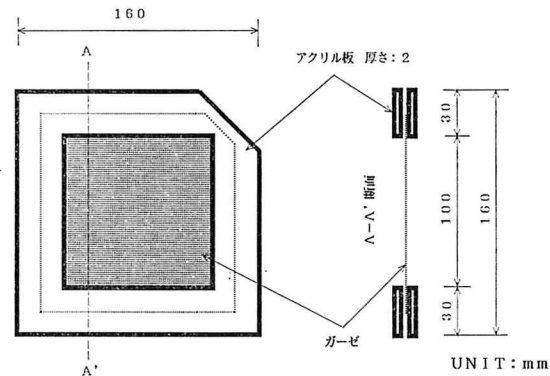


図-3 海塩粒子捕捉器

温を測定することにより溶液中の塩分量を求めた。次に, 暴露時間及び受風面積をもとに風向に垂直な単位面積・単位時間当りの付着塩分量 S ($mg/m^2/h$) を算定した。

d) 風速・風向及び波高の観測

風向・風速は, 観測棧橋の先端(汀線から約 380 m)の海面から約 10 m の高度において1時間おきに観測した。以下の議論では, 風速は各観測ケースの観測時間内の平均値を, 風向は風速による重みづけ平均値を用いた。また砕波帯内では風速・風向が一様であると仮定し, 各測点においてもこの値を用いた。

なお, 風向きは11月と2月では異なり, 11月の観測では沖から岸へ吹いていたが, 2月の観測では逆に岸から沖へ吹いていた。

波高については, 観測棧橋上に設置されている超波音

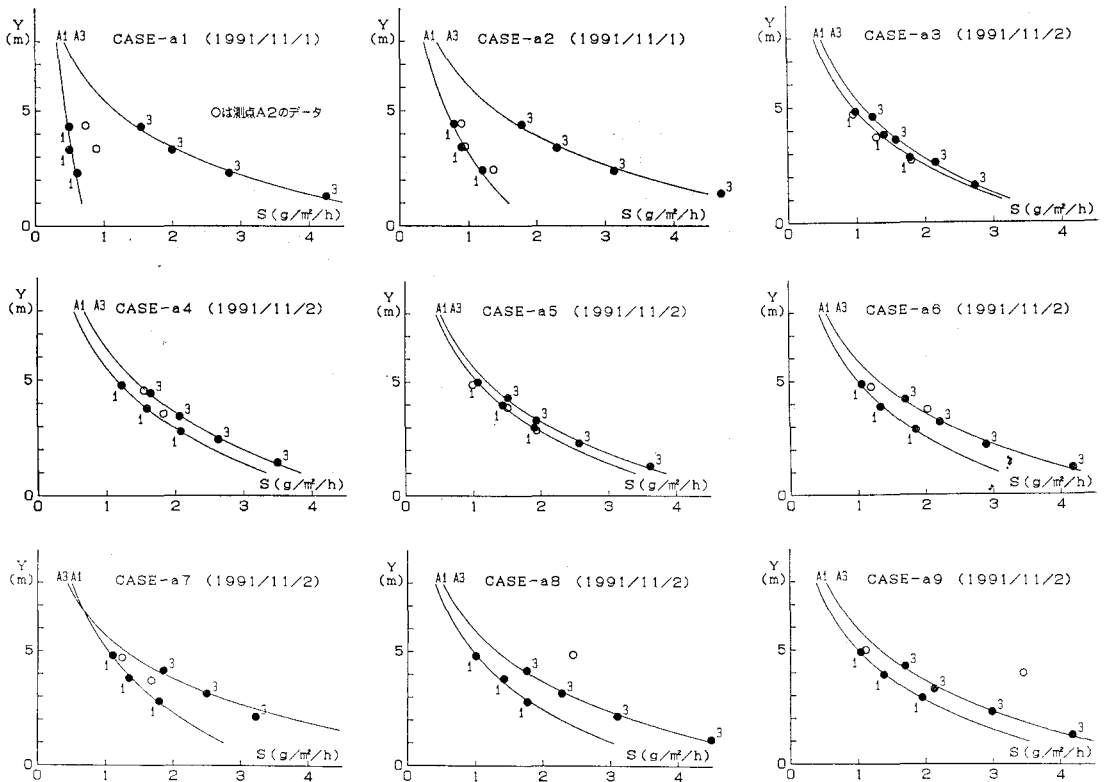


図-4 海上部の付着塩分量分布 (11月観測)

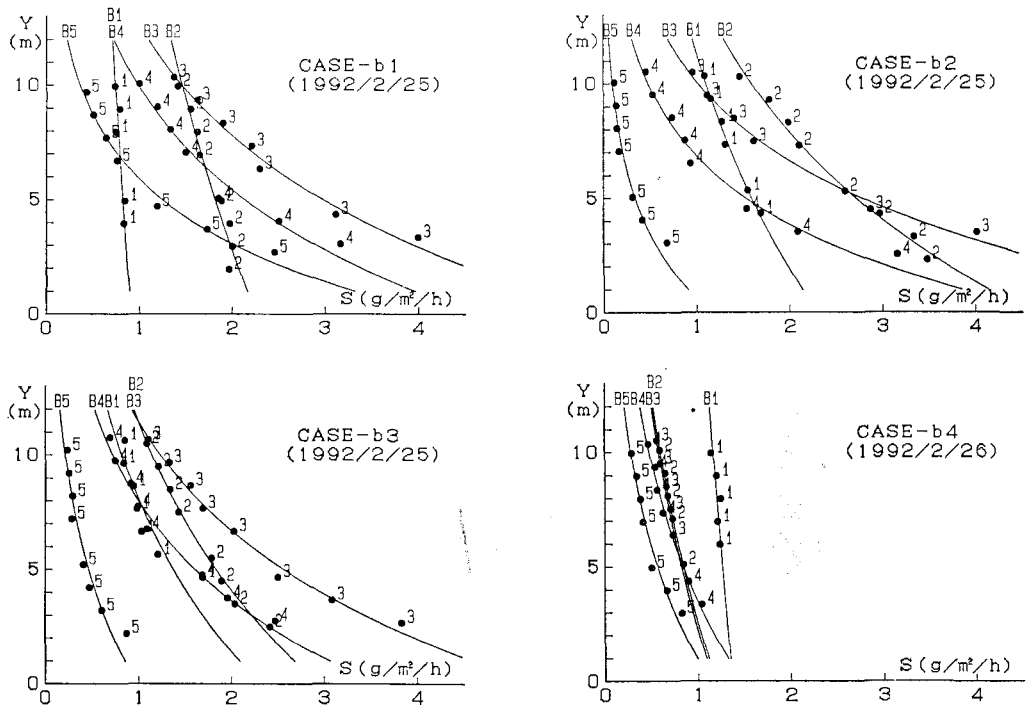


図-5 海上部の付着塩分量分布 (2月観測)

∞)まで積分することにより、海面に垂直に仮想した単位幅の断面を単位時間当り通過する塩分量 q (g/m/h) を求める。

b) 風は風向・風速ともに観測対象海域では一様で、かつ、海塩粒子濃度の鉛直分布も沿岸方向に一様であると仮定する。

c) 風速・風向と任意の2測点間の岸沖方向間隔 L から、当該各測点を通る汀線に平行な直線で挟まれる区間を風が通過した実距離 L' ($=L/|\cos \theta|$) を求める。

d) 2測点間の q の増分 Δq を L' で除して Q を求める。

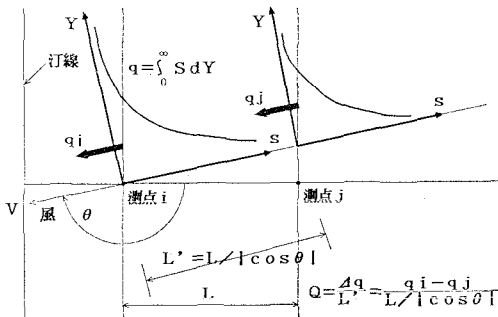


図-6 海塩粒子発生量の算定説明図

11月観測における区間A1～A3は砕波位置の沖側境界点(図-2aに示したP点)よりも沖側の幅約30mの領域を含んでいる。そこで、P点～測点A1の領域における海塩粒子の発生量は砕波帯内よりも小さいと考えられることから、P点の沖側近傍では鉛直分布の岸沖方向の変化が小さいと仮定し、測点A1と点Pの鉛直分布は等しいものとおいた。

なお、ここでいう発生量とは、海面からの純粋な発生量から、大気中から沈降し再び海面にとけ込む量を差し引いた、いわゆる net の発生量を定義することとする。

3.3 海塩粒子発生量と波高との関係

図-7 に波高の観測結果を示す。2月観測のケース b 4 を除いて、11月観測の方が砕波帯内の波高が高いのに対して、3.2 で得られた結果をみると、逆に2月観測の方が海塩粒子の発生量 Q が大きい傾向があった。このことは、海塩粒子の発生に及ぼす波の影響は後述の風の影響より小さいため、今回の調査からは波の条件と発生量との関係は捉えられなかった。

3.4 海塩粒子発生量と相対風速との関係

11月と2月の観測では風向がそれぞれ沖からと岸からという大きな差があり、目視でも風が波の進行方向とは逆に吹いていた2月の方が波の峰から盛んに海水滴が飛んでいたのが確認できた。また、上記の方法で得られた発生量を、風速がほぼ同じケースで比較したところ、2

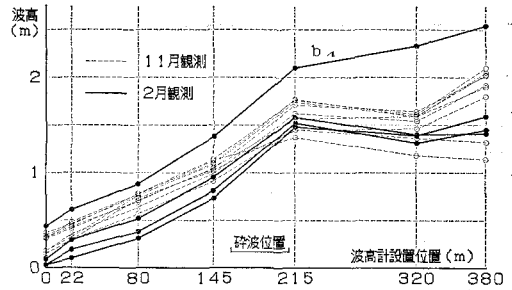


図-7 波高観測結果

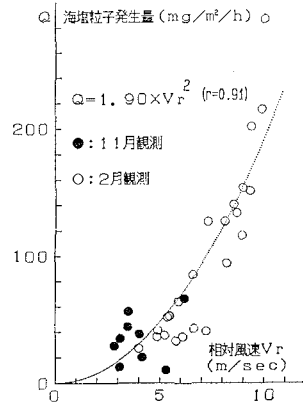


図-8 海塩粒子発生量 Q 及び相対風速 V_r の関係

月のほうが11月よりも数倍大きな値を示していた。

そこで、海面付近の水粒子の進行速度(砕波帯内ではほぼ波速に等しい)と風向・風速の関係、すなわち、式(1)で定義する相対風速 V_r の大小为海塩粒子の発生量に及ぼす影響が大きいと考え、砕波帯内の任意の2測点間の V_r と海塩粒子発生量 Q との関連をみることにした。表-1 に V_r の算定結果を Q の算定結果とともに示す。

$$V_r = |\text{風速の岸沖方向成分} - \text{波速 } C| \quad \dots\dots (1)$$

(風は波の進行方向を正とし、波速 C は当該区間の平均水深 h を用いて $\sqrt{gh}$ で算定した。)

図-8 は相対風速 V_r と海塩粒子発生量 Q との関係を示したものである。 Q は V_r のほぼ2乗に比例して増加する傾向がみられる。これにより同じ風速でも風向による海塩粒子発生量の差異が説明できた。

3.5 陸上部の付着塩分量分布

陸上部における分布は、2月の観測では岸からの風であったため明瞭な分布は把握できず、沖からの風であった11月の観測でのみ図-9に示されるような分布が観測された。この図に示すように、汀線からの距離が大きくなるにつれて地表付近で付着量が減少し、ある高さに極大値をもつ傾向がみられた。これは図-2aに示されるとおり背後に段丘状の地形が存在するため、風の流れが

表-1 海塩粒子発生量 Q 及び相対風速 V_r の算定結果

Date	CASE	区間	発生量 Q ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$)	相対風速 V_r (m/sec)	風速 V (m/sec)	風向 θ (deg)	平均水深 h (m)	波速 C (m/sec)
1991 11/1	a1	A1~P	55.9	3.52	11.03	318.2	2.25	4.70
	a2	"	66.4	6.20	12.82	327.4	2.16	4.60
1991 11/2	a3	"	9.9	5.31	9.67	349.8	1.81	4.21
	a4	"	20.1	4.16	8.88	344.4	1.97	4.39
	a5	"	12.6	3.09	7.93	344.3	2.10	4.54
	a6	"	29.1	2.83	7.87	342.3	2.23	4.67
	a7	"	43.9	3.49	8.71	340.4	2.27	4.72
	a8	"	34.7	3.11	8.45	337.5	2.25	4.70
	a9	"	27.4	3.45	8.40	342.7	2.13	4.57
1992 2/25	b1	B3~B4	215.0	9.96	7.52	233.3	3.05	5.47
		"~B5	151.0	9.93			2.39	4.84
		"~汀	140.3	8.55			1.68	4.06
		B4~B5	116.2	8.95			2.03	4.46
		"~汀	127.3	8.13			1.35	3.64
		B5~汀	127.1	7.31			0.81	2.82
	b2	B3~B4	286.5	10.08	8.11	232.4	2.69	5.13
		"~B5	201.5	9.42			2.04	4.47
		"~汀	133.8	8.69			1.43	3.74
		B4~B5	153.3	9.01			1.68	4.06
		"~汀	94.3	8.23			1.10	3.28
		B5~汀	40.5	7.25			0.57	2.30
1992 2/26	b3	B3~B4	85.2	6.60	7.80	257.7	2.49	4.94
		"~B5	63.9	5.92			1.85	4.26
		"~汀	51.4	5.39			1.42	3.73
		B4~B5	52.3	5.49			1.50	3.83
		"~汀	41.1	4.93			1.09	3.27
		B5~汀	27.0	4.00			0.56	2.34
	b4	B3~B4	42.6	6.66	2.72	244.5	3.08	5.49
		"~B5	36.2	6.11			2.49	4.94
		"~汀	37.2	5.25			1.70	4.08
		B4~B5	32.8	5.78			2.17	4.61
		"~汀	36.0	4.87			1.40	3.70
		B5~汀	38.2	4.04			0.84	2.87

備考: ・相対風速 $V_r = |V \cdot \cos \theta - C|$, 波速 $C = \sqrt{gh}$

・"~汀"は当該測点から汀線までの区間

・風向は、沖から汀線に直角に吹く場合を0度とし、時計回りを正とする。

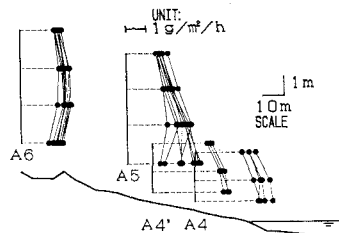


図-9 陸上部の付着塩分量分布 (11月観測)

③ 砕波帯内の任意の区間内の海塩粒子発生量 Q は、当該区間の平均水深を用いた波速と風速・風向により定まる相対風速 V_r との関係で記述できることが示唆された。

なお、今回の観測ではガーゼへの付着量をもとに海塩粒子の分布及び海面からの発生量の把握を試みたが、厳密には、風速・湿度等の条件による海塩粒子の捕捉率の違いを補正する必要があると考えられる。また、波の条件、特に砕波形式等との関連の検討も十分ではない。これらの点に関しては今後の調査に当たっての解明すべき課題として残された。

最後に、本調査の計画・実施にあたっては、当所漂砂研究室の栗山善昭主任研究官及び柳嶋慎一技官、中村聡志技官、尾崎靖技官、

変化し地表付近の風速が小さくなったことの影響が大きかったためと考えられる。

ならびに同海域環境研究室の山田邦明技官の協力を得た。ここに記し、謝意を表する。

4. おわりに

本研究で得られた結論をまとめると以下の通りである。

① 海上部の海塩粒子の分布は上空にいくにしたがって、ほぼ指数関数的に減少することが確認された。

② 砕波位置付近に海塩粒子の大きな供給源が存在することが確認された。

参考文献

- 田中正昭 (1970): 塩害に関する基礎的研究(第4報)一海岸近くにおける海塩粒子の分布一, 京都大学防災研究所年報, 13, B, pp 445-456.
- 田中正昭 (1971): 塩害に関する基礎的研究(第5報)一海岸近くにおける強風時の海塩粒子の分布一, 京都大学防災研究所年報, 14, B, pp. 499-510.
- 浜田純夫・日野伸一・兼行啓治 (1986): 海岸付近の飛塩量調査, 山口大学工学部研究報告, Vol. 36, No. 2, pp. 255-260.