

秋田県南部海岸における代表波の決定法と海浜応答

富 樫 宏 二*・金光紀代太**・松 富 英 夫***

秋田県南部海岸に注ぐ中小河川の河口位置変化と秋田・酒田両港の波向変化の対応を検討し、本海岸各地の代表波の決定法を論じている。その代表波と浜崖高さ、浜崖高さと後浜勾配、砂粒径変化及び汀線位置変化と前浜勾配、砂粒径変化と汀線位置変化の関係などを現地調査データを用いて論じている。さらに、本海岸の卓越波エネルギー方向、浜崖が形成される波条件、中小河川が直進する日雨量の閾値、長期的な浜崖高さの簡易評価式などを具体的に示している。

1. はじめに

著者らは秋田県南部海岸での漂砂動向や海浜変化特性を把握すべく、汀線位置変化や汀線での砂粒径変化、中小河川の河口位置変化、長期的に存在する浜崖を含めた水深 1 m 以浅の海浜縦断地形変化などの現地調査を 1991 年 8 月以来継続している。そして、汀線位置変化に対してスペクトル解析や経験的固有関数解析を試み、汀線位置変化の基礎的な検討を行った (松富ら, 2000)。

そこで、本研究は、先ず本海岸に注ぐ中小河川の河口位置変化と本海岸を挟むように存在する秋田・酒田両港の波向変化の対応を検討し、本海岸各地の代表波の決定法を論じ、代表波と海浜変化の実証的に論じるものである。海浜変化として、浜崖高さや汀線位置、砂粒径、前浜・後浜勾配変化を取り上げる。

2. 対象海岸と調査内容

雄物川以南、平沢漁港以北の延長約 45 km の砂浜海岸を対象とする。対象海岸の概略を図-1 に示す。図中の数値は調査点番号で (以下, St.1 などと略記), S 付きは斜め写真撮影のみの調査点を示し、多くは中小河川が注ぐ所である。

今回検討対象の調査項目は、①中小河川河口位置の経時変化、②浜崖を含む水深 1 m 以浅の海浜縦断地形の経時変化、③長期的に存在する浜崖の高さ、④汀線位置と汀線での砂粒径 (中央粒径) の経時変化であ

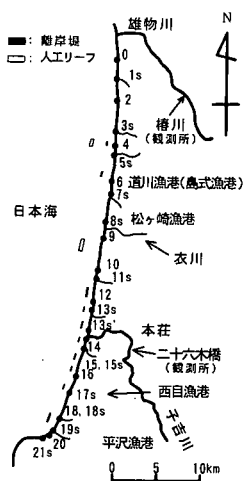


図-1 対象海岸と調査点

る。その他として、波浪観測データ (NOWPHAS, 1991-1999) や雨量観測データ (秋田地方気象台, 1991-2000) を用いる。

①は定点からの斜め写真撮影, 他は定線と定点での実測に基づいている。ただし、④の汀線位置の決定において潮位補正などは行っていない。

調査実施間隔は、③の一部を除いて、約半月である。

調査点数は、①が 9 河川, ②が 9 測線, ③が 4 点, ④が 9 点である。これらの中で今回検討対象としたのは、①が周辺に海岸構造物が一切無い St.1 と 3, その影響が比較的小さい St.5 の 3 河川, ②と④が St.0, 2, 4, 15, 18 の 5 測線 (点), ③が St.2, 4, 15, 18 の 4 点である。

3. 代表波

本海岸に波浪観測点はなく、挟むように秋田港と酒田港に存在する。両観測点の波向は最近では年平均で 50° 程度ずれており (松富ら, 1998), N~W にかけての北寄りの波は酒田港で多い。本海岸の諸現象を論じるのにどちらか一方の波諸元を用いることはできない。そこで、本海岸各地に対する両観測点の重みを中小河川の河口位置変化と波向変化の比較を通して検討する。

3.1 中小河川の河口位置変化

斜め写真から読み取った中小河川の河口位置変化を図-2 に示す。河川が海岸線にほぼ直角に直進した時を基準に、河口が北側に位置した場合を正、南側に位置した場合を負として示してある。斜め写真のため測定精度はあまりよくない。図には後述の汀線位置変化に対する経験的固有関数の第 2 成分の時間項 c_2 も示してある (松富ら, 2000)。何れも点線が生データ、実線が 3 個の移動平均を行ったもので、 c_2 の正は北からの沿岸漂砂、負は南からの沿岸漂砂に対応する。

3.2 代表波と卓越波エネルギー方向

秋田港と酒田港の波向として、共に調査日 1 日前~9 日前までの最大有義波高時のものを採用する (9 日は平均的な水文サイクルに由来)。どちらか一方の波向が欠測している時は、両観測点の波向の年平均差 50.3° を秋田港の波向には足し、酒田港の波向には差し引いて補う。

* 工(修) 若松コンクリート(株)
** 工(修) 東北郵政局
*** 正会員 秋田大学 工学資源学部土木環境工学科

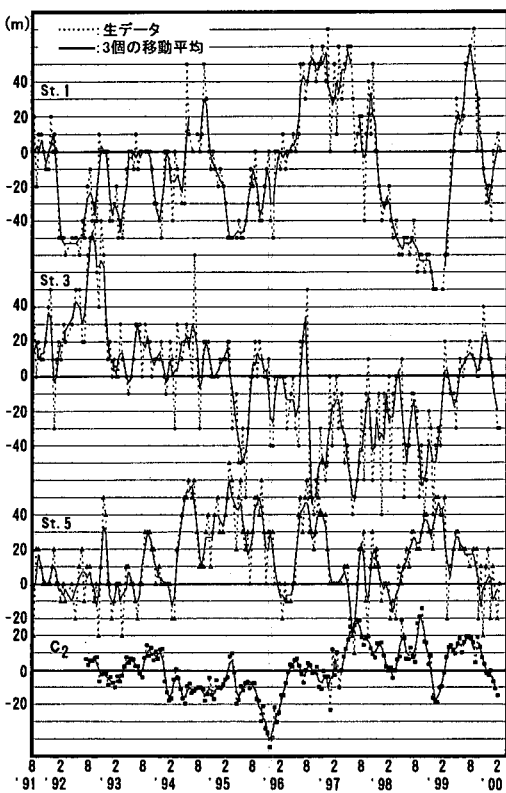


図-2 中小河川河口位置の経時変化

図-3 に調査点毎の河口位置変化量と両観測点の重みを考慮した調査日1日前の波向の時系列を示す。河口位置変化量は、波向との対応を見るため、前回調査日からのものである。重みは酒田港と秋田港の波向差を10割として、酒田港の波向から1割ずつ差し引くことで考慮している。調査点の海岸線方向も考慮しており、St.1, 3,

表-1 河口位置変化と波向正負の各符号の合計比

St. 1 (1.01)	酒田 0割	酒田 1割	酒田 2割	酒田 3割	酒田 4割	酒田 5割	酒田 6割	酒田 8割	酒田 10割
1日前	0.26	0.66	1.36	2.49	4.40	7.49	11.11	22.04	43.76
2日前	0.16	0.46	1.00	1.89	3.45	6.11	9.52	20.15	39.84
3日前	0.14	0.44	1.01	2.02	3.93	7.40	12.04	29.49	91.82
5日前	0.04	0.26	0.70	1.44	2.71	4.82	7.70	18.81	55.62
7日前	0.04	0.24	0.64	1.30	2.45	4.31	6.81	15.14	32.58
9日前	0.04	0.22	0.57	1.18	2.26	4.13	6.67	14.58	28.67
St. 3 (0.98)	酒田 0割	酒田 1割	酒田 2割	酒田 3割	酒田 4割	酒田 5割	酒田 6割	酒田 8割	酒田 10割
1日前	0.18	0.38	0.93	1.77	3.12	5.45	8.43	16.66	32.37
2日前	0.13	0.28	0.72	1.41	2.56	4.61	7.39	15.79	31.77
3日前	0.11	0.26	0.72	1.50	2.90	5.50	9.29	21.95	60.31
5日前	0.02	0.09	0.44	1.01	1.96	3.57	5.87	13.75	36.34
7日前	0.03	0.10	0.40	0.92	1.78	3.21	5.22	11.38	24.45
9日前	0.03	0.09	0.35	0.78	1.52	2.79	4.67	10.10	19.91
St. 5 (1.00)	酒田 0割	酒田 1割	酒田 2割	酒田 3割	酒田 4割	酒田 5割	酒田 6割	酒田 8割	酒田 10割
1日前	0.12	0.22	0.55	1.17	2.12	3.64	6.19	12.40	23.33
2日前	0.09	0.16	0.42	0.92	1.73	3.08	5.38	11.81	23.52
3日前	0.08	0.14	0.41	0.96	1.91	3.58	6.63	15.87	39.17
5日前	0.01	0.03	0.20	0.60	1.27	2.37	4.16	9.79	23.54
7日前	0.02	0.04	0.20	0.56	1.16	2.15	3.72	8.26	17.28
9日前	0.02	0.04	0.17	0.45	0.93	1.73	3.05	6.95	13.96

表-2 河口位置変化と波向正負の各符号の回数比

St. 1 (1.49)	酒田 0割	酒田 1割	酒田 2割	酒田 3割	酒田 4割	酒田 5割	酒田 6割	酒田 8割	酒田 10割
1日前	0.13	1.70	2.00	2.18	2.38	5.48	7.10	7.10	9.13
2日前	0.10	1.64	1.69	1.89	2.12	5.24	7.21	7.63	12.00
3日前	0.09	1.55	1.63	1.96	2.33	5.75	8.59	8.56	12.58
5日前	0.03	1.41	1.52	1.78	2.22	4.29	5.56	5.56	8.11
7日前	0.03	1.23	1.32	1.58	2.00	3.71	4.89	4.89	7.68
9日前	0.04	0.95	1.07	1.33	1.66	3.25	4.67	5.07	7.50
St. 3 (1.62)	酒田 0割	酒田 1割	酒田 2割	酒田 3割	酒田 4割	酒田 5割	酒田 6割	酒田 8割	酒田 10割
1日前	0.14	1.29	1.61	2.04	2.15	2.34	5.68	6.95	8.82
2日前	0.11	1.08	1.38	1.75	2.00	2.24	5.23	7.53	11.46
3日前	0.10	1.02	1.43	1.74	2.15	2.47	5.80	8.44	12.08
5日前	0.03	0.83	1.13	1.66	2.04	2.33	4.31	5.54	7.95
7日前	0.02	0.80	1.01	1.41	1.85	2.11	3.89	4.90	7.55
9日前	0.04	0.60	0.78	1.15	1.45	1.64	3.14	5.00	7.29
St. 5 (1.85)	酒田 0割	酒田 1割	酒田 2割	酒田 3割	酒田 4割	酒田 5割	酒田 6割	酒田 8割	酒田 10割
1日前	0.14	0.21	1.61	1.93	2.15	2.34	5.68	6.95	6.95
2日前	0.11	0.17	1.38	1.45	1.84	2.12	2.12	7.10	7.53
3日前	0.10	0.20	1.39	1.58	1.93	2.33	5.80	8.44	8.44
5日前	0.03	0.08	1.07	1.27	1.74	2.21	4.31	5.54	5.54
7日前	0.03	0.08	0.97	1.11	1.59	2.00	3.89	4.90	4.90
9日前	0.03	0.08	0.71	0.84	1.19	1.51	3.02	4.41	4.41

5のそれは各々北から東に1.5°, 4.5°, 8.0°である。

河口位置変化の正負（北側への変化を正）と波向の正負（海岸線直角方向を基準に北側を正）の各符号の合計比 $|\Sigma \text{正}/\Sigma \text{負}|$ と回数比を表-1と2に示す。調査点番号下の()内が河口位置変化に基づく値である。合計比はどの調査点もほぼ1で、河口位置が経年的に安定である

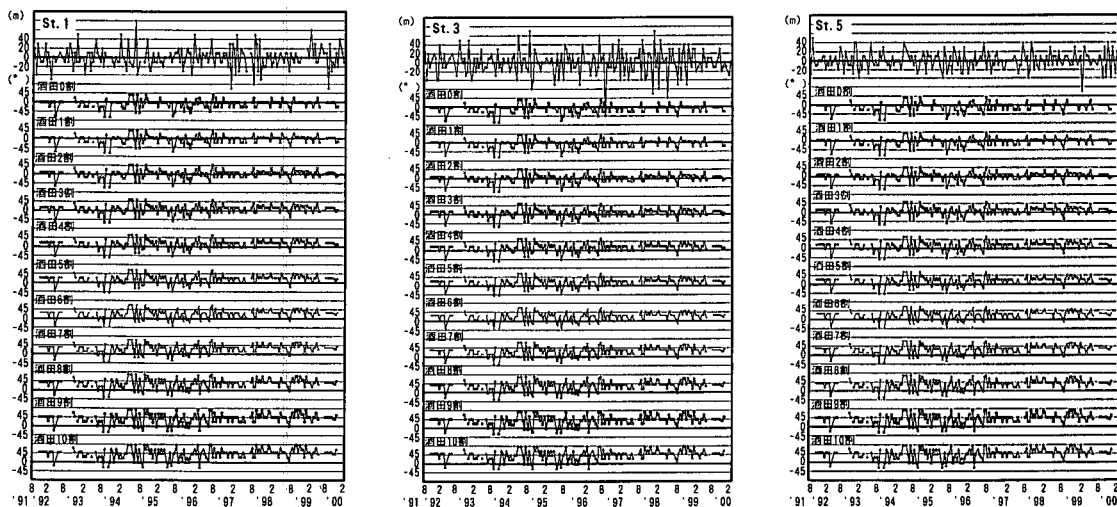


図-3 各調査点の河口位置変化量と両観測点の重みを考慮した調査日1日前の波向の時系列

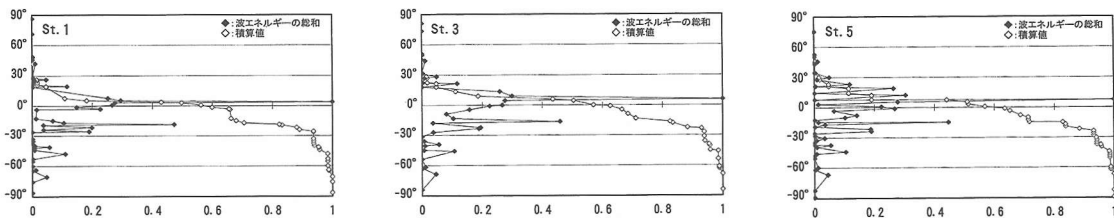


図-4 卓越波エネルギー方向

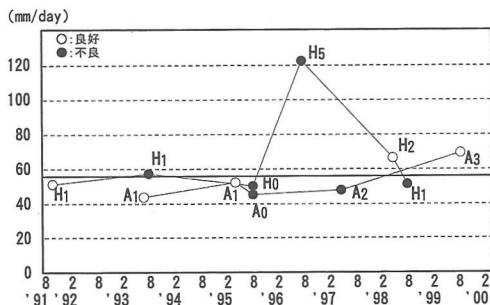


図-5 河川が直進する日雨量の閾値

ことを示している。一方、回数比は1より大きく、1回(調査実施時間間隔)当たりの河口位置変化は北から南のものが大きいことを示している。

表-1と2によると、総合的に河口位置変化と対応がよい波向はSt.1, 3, 5の順に調査日1日前の秋田9割-酒田1割, 秋田8割-酒田2割, 秋田7割-酒田3割である。これらの割合は沿岸距離の線形補間に基づくものとほぼ同じである。この結果を用いてSt.1, 3, 5の卓越波エネルギー方向(=卓越波向)を求めると、各々西から北へ 5.2° (入射角 $=3.7^{\circ}$), 10.4° (5.9°), 15.6° (7.6°)となる(図-4)。これらの結果は日平均有義波高に対して解析しても同じで、本海岸の卓越沿岸漂砂方向に対する著者ら(2000)の判断“北から南”と整合する。

3.3 河川が直進する日雨量の閾値

図-2からも判るように、河口位置が急に基準位置に戻る場合がある。中小河川の河口位置は波だけでなく、雨(河川流量)や風(飛砂)などの影響も受ける。本節では河口位置変化の影響因子の一つである“河川が直進する日雨量の閾値”を検討する。

雨量データは秋田市と本荘市のものを用いる。閾値の検討データは次の基準で抽出した。

①調査当日の日雨量は40 mm以上。

②調査日1日前～9日前までの日雨量に関しては上位5データを抽出し、前日までの日雨量が5 mm以下。

図-5に抽出した全データを示す。9年間で秋田市が5個、本荘市が6個である。St.3と5(St.1は人工営力に加えられたことがあり、参考値とする)の各河口位置が



写真-1 一時的に形成された浜崖の例 (St.0)

ら各基準位置までの絶対距離の和が30 m以下は日雨量との対応がよいとして○, その他は●で示してある。Aは秋田市, Hは本荘市を示し、下添字は何日前の日雨量であるかを示す。図によると、本荘市で120 mm/日を超えながら対応が悪い場合がある。この日雨量は調査日から5日前のもので、その後の波などで河口位置が変化した可能性がある。このデータを除けば、本海岸の中小河川が直進する日雨量の閾値は60 mm程度と判断される。

3.4 河口位置変化と経験的固有関数の対応

汀線や等深線位置変化に対する経験的固有関数の第2成分は沿岸漂砂に対応することが指摘されている(森・田中, 1998; 松富ら, 2000, 2001)。よって、第2成分の時間項 c_2 と河口位置変化に強い相関が予想される。

本海岸の汀線位置変化に対する c_2 と河口位置変化の比較を図-2に示す。 c_2 とSt.6の沿岸漂砂動向の対応がよいことはすでに指摘した(松富ら, 2000)。図から、 c_2 とSt.6に近いSt.5の河口位置変化の対応がよく、両者に強い相関が認められる。これは“経験的固有関数の第2成分が沿岸漂砂に対応”という指摘を後押しする。

4. 浜崖の特性

4.1 浜崖の定義

写真と測量結果(以下、野帳とも呼ぶ)から浜崖を抽出する。長期的なものを除いて、野帳から一時的な浜崖を抽出するにはその定義を明確にしておく必要がある。一時的な浜崖の例を写真-1に示す。

1991年12月, St.4の測線上で写真から浜崖が確認された。野帳から評価した浜崖の斜面勾配は $0.61(=31.4^{\circ})$ で、緩く締まった乾燥砂の安息角($28.5^{\circ}\sim 34^{\circ}$)とほぼ同

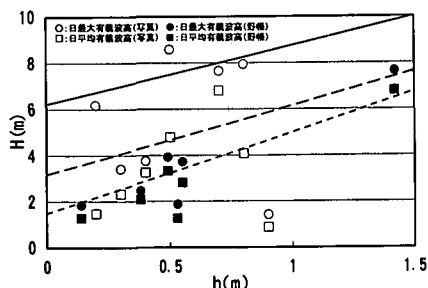


図-6 各種代表波高と浜崖高さの関係

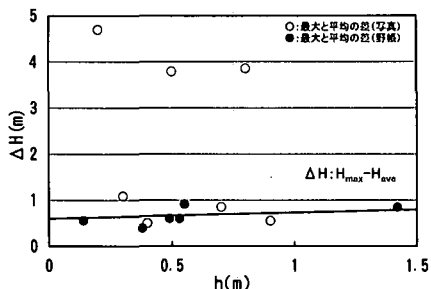


図-7 代表波高の差と浜崖高さの関係

じであった。そこで、野帳からはこれより急なものを抽出した。本定義で野帳から抽出された浜崖は6個である。写真からは1991年12月のものを除いて7個である。

4.2 各種代表波高と浜崖高さの関係

St.0, 2, 4で確認された浜崖高さ h と調査日9日前までの日最大及びそれと同じ日の日平均有義波高 H の関係を図-6に示す。凡例の写真、野帳は浜崖の抽出方法を示し、波高は秋田港と酒田港の重みを考慮している。データの上限直線(実線)を求めると次式を得る。

$$H = 2.6h + 6.2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

長期的な浜崖は過去最大級の有義波相当の波で形成されたと考えられる。本海岸沖の30年確率の最大有義波高は10m程度、長期的な浜崖が存在するSt.2と4のその平均高さは約1.2mで、ほぼ式(1)の上限直線上に位置する。これは日最大有義波高で浜崖高さの上限を論じ得ることを示していよう。換言して、波浪観測データの無い海岸では、浜崖高さを測ることで大体の沖波の日最大有義波高が推定できることを示していよう。

日最大で整理したものには強引過ぎるが、日最大と日平均有義波高のものに対する直線回帰式は次式となる。

$$H_{\max} = 3.0h + 3.0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$H_{\text{ave}} = 3.5h + 1.2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

両式とも勾配は正であり、波高が大きくなるにつれて浜崖高さは増大する。

4.3 浜崖形成の閾値

式(2)から日最大有義波高=3m(平均値)が浜崖形

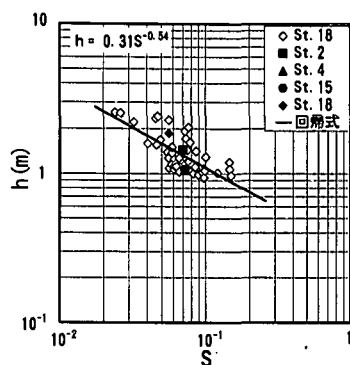


図-8 浜崖高さの後浜勾配の関係

成の一つの閾値と判断される。しかし、3m以上でも浜崖が形成されない場合や調査点がある。他の閾値も考えられねばならない。その一つとして日最大と日平均有義波高の差 ΔH が考えられる。

図-7に ΔH と浜崖高さの関係を示す。データの下限直線(実線)として次式を得る。

$$\Delta H = 0.13h + 0.6 \quad \dots\dots\dots (4)$$

浜崖高さにあまり関係せず、 ΔH が0.6m以上で形成されている。調査期間中の本海岸での ΔH の平均は0.5m程度で、平均より大きめで浜崖が形成されるようである。

上記二つの閾値だけでは浜崖形成の予測は不完全である。これら二つの閾値の高精度化と他の閾値の検討は今後のデータの蓄積を待って行いたい。

4.4 長期的な浜崖高さの後浜勾配の関係

浜崖高さは波ばかりでなく、地形にも影響されよう。St.2, 4, 15, 18には長期的な浜崖が存在する。St.18ではそれが測線上にあり、毎回実測している。

図-8に長期的な浜崖高さ h と後浜勾配 S の関係を示す。黒塗りは2001年12月27日測定した浜崖、白抜きは経時的な浜崖である。図によると、後浜勾配が緩くなるにつれて、浜崖は高くなっている。この傾向は場所や時間によらない。両者の回帰式として次式を得る。

$$h = 0.31S^{-0.54} \quad \dots\dots\dots (5)$$

浜崖高さは後浜勾配の $-1/2$ 乗に依存している。この依存性は非砕波長波の打ち上げ高と同じである。非砕波長波は海底勾配が緩くなるにつれて打ち上げ高が増し、侵食力が大きくなる。よって、浜崖高さの後浜勾配へのこの依存性は妥当と思われる。

5. 汀線砂粒径と汀線位置の応答

5.1 前浜勾配との関係

図-9に砂粒径変化量 Δd (二乗平均根)及び平均砂粒径 d と平均前浜勾配 S_f 、図-10に汀線位置変化量 ΔY (二乗平均根)と平均前浜勾配の関係を示す。変化量は前

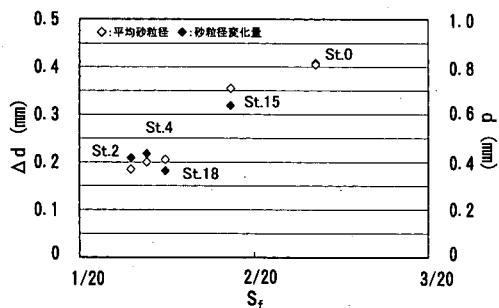


図-9 砂粒径変化量と前浜勾配の関係

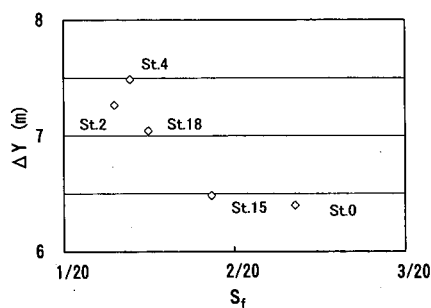


図-10 汀線位置変化量と前浜勾配の関係

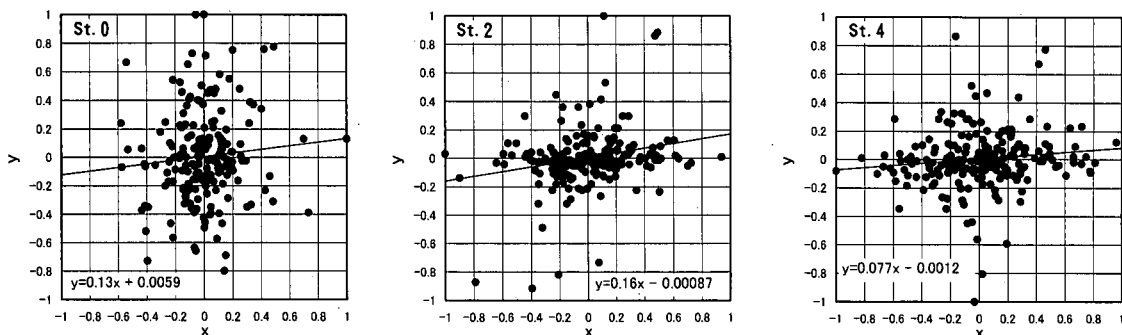


図-11 砂粒径変化量と汀線位置変化量の関係

回調査日からのもので、砂粒径は中央粒径、汀線位置は前進を正、後退を負としている。図から、前浜勾配が大きくなるにつれて、砂粒径とその変化量（砂粒径の約1/2）は大きく、汀線位置変化量は小さくなることが判る。砂粒径の前浜勾配への依存は、砂粒径の沿岸分布から沿岸漂砂方向を判断する際の重要な留意点である。

5.2 砂粒径変化量と汀線位置変化量の関係

各最大値で無次元化した砂粒径変化量 y と汀線位置変化量 x の関係を図-11に示す。図中の回帰式の傾きはどれも正で、汀線前進（後退）時に砂粒径が大きく（小さく）なる傾向を示している。これは堀川・砂村（1974）の海浜縦断地形タイプ判別式からの推察と整合する。

6. む す び

本研究で得られた主な結論は次の通りである。

① St.1, 3, 5の波や波向は各々秋田9割-酒田1割、秋田8割-酒田2割、秋田7割-酒田3割の重みで配分すればよい。これらは沿岸距離の線形補間に基づくものとはほぼ同じである。

② 本海岸の卓越波エネルギーの沿岸方向成分は北から南で、著者らの卓越沿岸漂砂方向の判断と整合する。

③ 経験的固有関数の第2成分が沿岸漂砂に対応することが再確認できた。

④ 長期的な浜崖高さは後浜勾配の-1/2乗に依存し、

この依存性は非砕波長波の打ち上げ高と同じである。

⑤ 日最大有義波高で浜崖高さの上限を論じ得る。

⑥ 浜崖の形成は少なくとも日最大有義波高、日最大と日平均有義波高の差に依存し、各閾値は3m(平均値)と0.6m程度である。

⑦ 前浜勾配が大きくなるにつれて、砂粒径と砂粒径変化量は大きく、汀線位置変化量は小さくなる。

⑧ 汀線砂粒径は汀線前進時に大きく、後退時に小さくなる傾向にあり、堀川・砂村式からの推察と整合する。

謝辞：本研究は文部科学省研究費（代表：東北大学田中仁教授）の補助を受けた。図面作成において秋田大学大学院今井健太郎氏の助力を得た。謝意を表する。

参 考 文 献

- 秋田地方気象台（1991-2000）：気象官署気象月報。
- 運輸省港湾局（1991-1999）：NOWPHAS。
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右（1974）：波による二次元海浜変形に関する実験的研究，第21回海講論文集，pp. 193-199。
- 松富英夫・杉崎直康（1998）：秋田県南部海岸における離岸堤異形ブロックの移動実態，海岸論文集，第45巻，pp. 826-830。
- 松富英夫・金光紀代太・富樫宏二（2000）：秋田県南部海岸における汀線位置変化の基礎的検討，海岸論文集，第47巻，pp. 666-670。
- 松富英夫（2001）：秋田県南部海岸での漂砂動向と卓越波向，文部省科研費研究成果報告書，pp. 32-41。
- 森 俊哉・田中 仁（1998）：岸沖漂砂・沿岸漂砂に起因する汀線変動の分離，海岸論文集，第45巻，pp. 551-555。