

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

松 富 英 夫*・杉 崎 宣 康**

1. ま え が き

月に 2 回の割合で丸 6 年, 陸側定点からの斜め写真撮影により, 秋田県南部の砂浜海岸に設置された一部離岸堤の異形ブロックの移動を追跡調査している。ブロックの移動原因には, 波そのものと, 波や戻り流れの砂地盤への影響などを通しての間接的なものと考えられる。本研究では, これらの原因区分は行わず, 全て波そのものによって考えて, これまでのデータからブロックの移動実態やブロックの移動形態と換算沖波 (有義波) 諸元との関係などを定量的に論じることとする。ただし, 原因区分を行わない代わりに, 設置場所は異なるが, 設置条件がほぼ同じ複数基の離岸堤を対象とすることにする。

2. 調査と解析の方法

雄物川以南, 平沢漁港以北の緩勾配 ($<1/50$) の砂浜海岸 (延長約 45 km) に設置された複数基の離岸堤を対象とする。本調査は漂砂調査 (例えば, 松富ら, 1997) と連動して行っており, 調査点の位置や番号は漂砂調査と対応している。図-1 に対象海岸, 調査点の位置と番号を示す。以下では調査点を St. 4 などと略記する。

異形ブロックの移動確認はほぼ半月ごとの陸側定点からの斜め写真 (六切り版に拡大) を見比べて行う。よって, 移動し易い陸側のブロックを対象としていることになり, 判読精度はあまり良くなく, 移動量の判読にはブロック突起幅の半分, 1 つ分, 2 つ分などという単位を用いる。また, 移動ブロックの部位

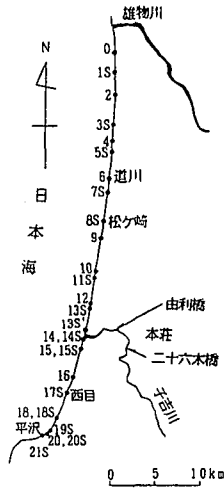


図-1 対象海岸と調査点

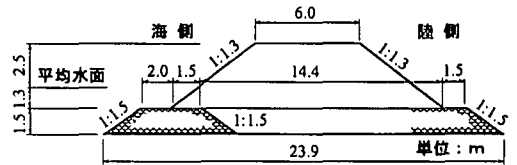


図-2 離岸堤の横断面形例 (St. 9)

を離岸堤の左端部, 中央部, 右端部の 3 つに分ける。左右の区別は陸側から見て, 部位で移動傾向が異なるかもしれないからである。

今回検討対象の離岸堤は 5 基で, 全てに捨石の基礎工が施されており, St. 4, 6, 9, 16, 20 に位置する。それらは北から順に互いに 4.2, 6.1, 15.6, 7.3 km 離れている。St. 4 を除いた各調査点で離岸堤は複数基設置されており, 本調査では最も南側のものを対象としている。よって, 右端側の波に起因する流れは, 左端側のものに比べて速い可能性がある (3.1 節参照)。対象離岸堤の諸元に関する資料 (秋田県土木部由利土木事務所提供) は一部でしか得られなかったが, ブロック重量 = 8 tf, 平均潮位 (TP 基準はその約 0.3 m 下) での初期設置水深 = 2.8~3.3 m, 天端高 = 2.5 m, 天端幅 = 5.7~6.8 m, 法面勾配 = 1.0~1.3 割, 長さ = 100 m と考えればよい。ブロックの種類はテトラポッド (St. 4, 6, 16), 三柱ブロック (St. 9), 六脚ブロック (St. 20) の 3 種類である。対象離岸堤の横断面形例を図-2 に示す。

波データ (運輸省港湾局, 1991-1996) は酒田港 (観測点水深 45 m) のものを採用する。秋田港の波は男鹿半島の影響を受ける時期があるからである。波諸元としては日最大, 日平均と日最小の有義波高 H を沖波に換算した換算沖波波高 H'_0 と周期 T (各々の区分は添字 max, m, min で行う), 及びその日の卓越波向を取り上げる。ただし, 酒田港の波向データは 1993 年~1996 年の 4 年分しか存在しない。実のところ, 波観測点水深が比較的深度のため, 観測波高と換算沖波波高にはほとんど差がない。日平均の換算沖波波高 H'_{0m} と周期 T_m 及びその日の卓越波向の時系列を各々図-3, 4 と 5 に示す。1995 年までしか示していないが, これは 1996 年にはブロック移動が

* 正会員 工博 秋田大学助教授 工学資源学部土木環境工学科
** 若葉建設 (株)

表-1 ブロックの移動実績

項目 年月日	波諸元				St. 4 (テトラポッド)			St. 6 (テトラポッド)			St. 9 (三柱ブロック)			St. 16 (テトラポッド)			St. 20 (六脚ブロック)																	
	日平均の 換算沖波 波高(m)	日最大の 換算沖波 波高(m)	日最小の 換算沖波 波高(m)	波 向	左 端	中 央	右 端	左 端	中 央	右 端	左 端	中 央	右 端	左 端	中 央	右 端	左 端	中 央	右 端															
'91.7.27	3.66(9.8)	4.90(10.8)	2.48(9.3)	WNW	△		○			○	●							○	△															
9.28	3.21(7.4)	6.61(10.9)	0.72(2.8)	—			○			△	○																							
10.19	2.41(8.0)	3.22(7.9)	1.92(6.9)	NW			○																											
12.25	2.19(8.3)	2.57(7.9)	1.75(7.5)	NW																														
12.29	4.60(9.8)	6.26(10.9)	3.28(8.6)	WNW			○			○																								
'92.2.17	3.86(9.2)	5.12(9.3)	2.34(8.8)	NW	○	○			○	△																								
6.12	1.41(6.0)	2.20(6.6)	0.45(5.6)	WNW																														
9.25	1.34(5.1)	4.26(9.2)	0.54(4.3)	WNW																●														
10.26	3.67(8.8)	5.20(9.4)	2.60(8.8)	NW																○	○													
11.11	3.54(8.5)	4.78(9.4)	2.66(8.4)	NW																○	○													
11.27	4.29(9.3)	5.72(10.0)	2.79(8.3)	NW																○	○													
12.14	4.50(9.2)	5.04(9.9)	3.36(8.3)	NW																○	○													
12.24	4.59(9.1)	5.52(9.5)	3.87(8.9)	NW																○	○													
12.31	2.88(7.5)	3.66(7.4)	2.05(5.7)	NW																○	○													
'93.1.20	4.25(9.6)	5.08(10.1)	3.48(9.5)	WNW																○				●			△	△				○		
1.29	6.22(10.6)	7.62(11.7)	5.38(10.3)	NW																														
8.12	2.60(7.6)	3.70(8.4)	1.48(6.7)	W	○																													
11. 1	3.87(9.1)	4.46(9.0)	3.34(9.1)	W	△	△																												
12.23	6.53(10.8)	7.84(11.5)	5.09(9.6)	WNW	●	○																												
'94.1.19	3.66(8.1)	4.27(8.1)	2.51(7.0)	NW	※	※	○	△	△	○																								
2. 2	3.97(8.4)	4.71(9.6)	2.25(5.9)	NW																														
2.22	6.37(10.6)	7.57(11.3)	4.72(8.5)	NNW																○														
4. 3	3.70(8.4)	4.43(8.2)	2.40(8.0)	WNW																△														
7. 2	1.72(7.6)	2.32(7.7)	1.09(8.2)	W																○														
8. 2	1.70(5.2)	4.37(9.1)	0.27(3.3)	W																△														
10.13	2.98(8.5)	4.58(10.1)	1.14(4.3)	W																○														
11. 4	3.49(9.1)	4.63(9.7)	2.33(8.5)	NW																△														
'95.1.31	3.88(8.5)	4.92(10.1)	3.08(7.8)	NW																○	○	●		●								○		
11. 9	6.68(11.2)	7.50(11.5)	5.60(9.8)	WNW																														
'96.4.19	3.80(9.2)	7.75(12.0)	1.59(7.3)	W			○																											

—: 欠測, ○: 回転, △: 沈下, ●: 落下, ※: 新しいブロックが眠せられる。

1例しかないこと、波の欠測が多いことによる。

3. 結果と考察

3.1 ブロックの移動実績

過去6年間の異形ブロックの移動実績を表-1にまとめて示す。最左欄の移動日には、隣あった写真撮影日の間(約半月)で、最大の日最大有義波高が記録された日を採用している。最大の日平均有義波高が記録された日としても、この結果は同じである。波諸元には左から順に日平均、日最大と日最小の換算沖波を記載している。()内は秒単位の周期である。波データによれば、酒田港で波向が北西の時は、秋田港ではだいたい西で、両者には45°程度のずれがある。波向において、アンダーラインを付けたものは、秋田港のものを上述の傾向を用いて書き直したもので、参考値である。

これまでの追跡調査では、ブロックの移動形態は回転(○)、沈下(△)、落下(●)の3種類に大別される。図-6にSt. 9におけるブロックの移動例を示す。これは1992年9月19日～1992年10月2日にかけて生じた移動で、写真の右端でブロックが落下しているのが見て取れる。記号の大小は顕著と非顕著な移動の別を示し、その区分はブロック突起幅の2つ分以上移動したかどうかである。●は水面下まで落下し、ブロックが見えなくなるほ

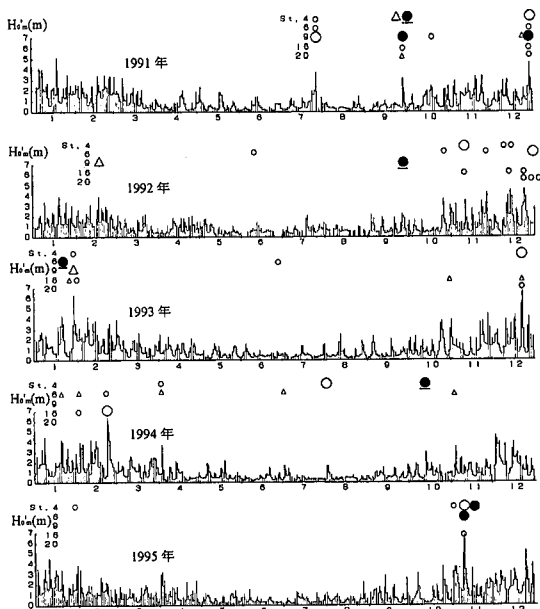


図-3 日平均の換算沖波波高の時系列(酒田港)

どの顕著な移動を示す。アンダーライン付きの小記号は、移動量が突起幅の半分程度であることを示す。図-3, 4と5の時系列中にも離岸堤ごとの各種移動形態の発生状

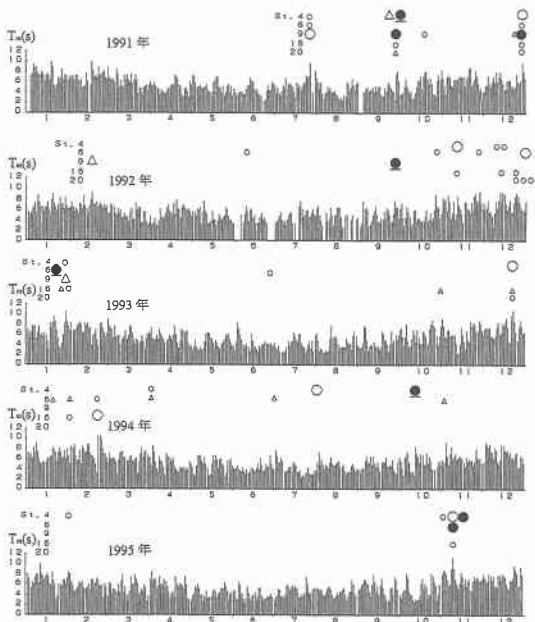


図-4 日平均の換算沖波周期の時系列 (酒田港)

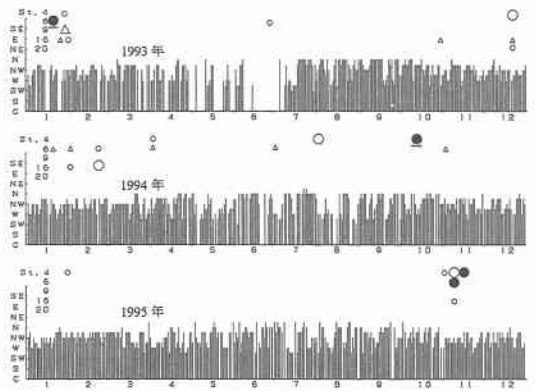


図-5 卓越波向の時系列 (酒田港)

況と移動程度を示す。さらに、表-2と3にそれぞれ各種移動形態の頻度と割合、部位別の顕著な移動頻度を示す。()内は見えなくなるほどの顕著な落下を示す。表-1~3と図-3~5より、ブロック移動の特徴を論ずれば、以下のようである。

- ① ブロックの移動は秋～冬の時期、北西～西北西の波向時に多い。これは地域的なもので、普遍性があるものではない。
- ② ブロックの移動頻度は回転、沈下、落下の順に高いが、顕著なものは落下、回転、沈下の順となる。
- ③ 落下し、見えなくなるほどの顕著な移動は、必ずしも大きな波の時とは限らない (図-8 参照)。

表-2 各種移動形態の頻度と割合

移動程度	回転		沈下		落下	
	非顕著	顕著	非顕著	顕著	非顕著	顕著
頻度(回)	28	7	11	3	0	9(4)
割合(%)	48	12	19	5	0	16

表-3 部位別の顕著な移動頻度

移動形態	左端部			中央部			右端部		
	回転	沈下	落下	回転	沈下	落下	回転	沈下	落下
頻度(回)	1	2	2	4	0	2	2	1	5(4)

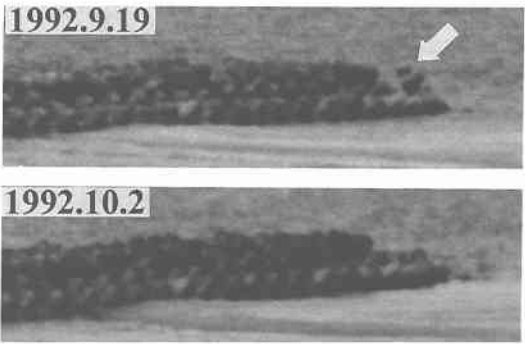


図-6 St. 9におけるブロックの移動例

④ 顕著な移動は、施工直後を除いて (例えば、1994年7月2日のSt. 4)、両端部で多い。特に、見えなくなるほどの顕著な落下は右端部に集中している。これは、複数基設置されている離岸堤のうちで、最も南側のものを対象としているためと思われる。St. 20の右端部で移動例が見られない。これは撮影位置の問題で、右端部の情報が得られないためである。

表-1や図-3~5からは判断できないが、一度移動したブロックが引き続き移動することが多かったことを付記しておく。

3.2 ブロック移動波高の経時変化

図-7に調査点及び部位ごとの異形ブロック移動波高の経時変化を示す。波高には日最大の換算沖波波高を採用している。記号の大小は、これまでと同じで、移動量の大小を示す。黒塗りは観測開始後または新しいブロック載荷後の移動開始を示す。図より、次のことが判断される。

- ① 右端部で移動が多い。これも、複数基設置されている離岸堤のうちで、最も南側のものを対象としているためと思われる (前節参照)。
- ② 一般に、年月を経るにつれてブロック間の噛み合わせが良くなり、移動波高が大きくなるように想像されるが、実際はそうでもない。

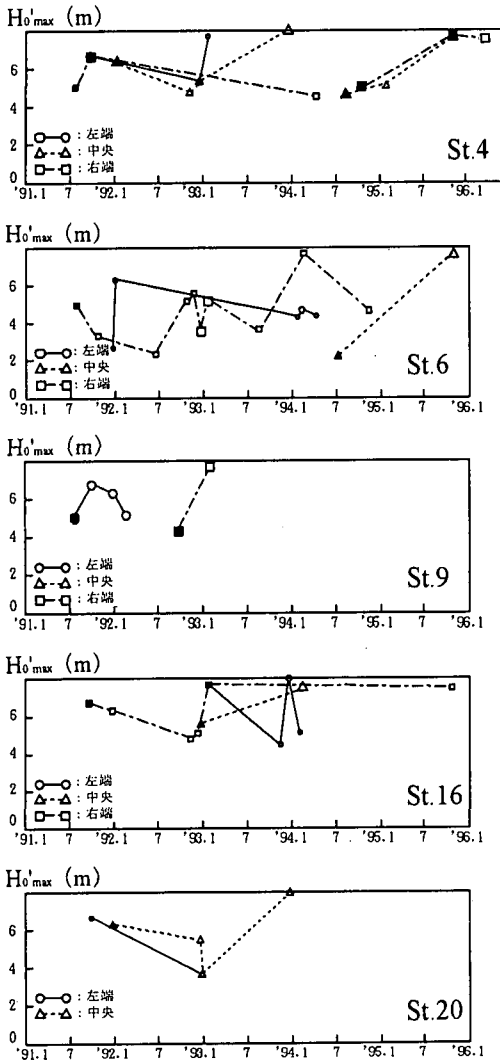


図-7 ブロック移動波高の経時変化

3.3 ブロック移動の閾値

離岸堤の初期設置水深や海底地形・勾配 ($<1/50$) がどこでもほぼ同じことより、一般性を考えて、ブロック移動の閾値を換算沖波で論じることとする。

日最大の換算沖波波高と周期へのブロック移動の依存性を図-8 に示す。図中の記号分類は表-1 と同じで、数字は落下ブロックの識別番号を、アンダーライン付き数字は見えなくなるほどの顕著な落下を示し、これらは以下の図でも同じである。破線と点線はそれぞれ6年間平均の月最大と日最大の換算沖波を示し、これらも以下の図で同じある。図より、次のことが判断される。

① ブロックの移動は、日平均よりも(松富ら, 1996)、日最大の換算沖波でより現実的に整理される。つまり、顕著な落下と他の移動形態との差が明瞭になる。

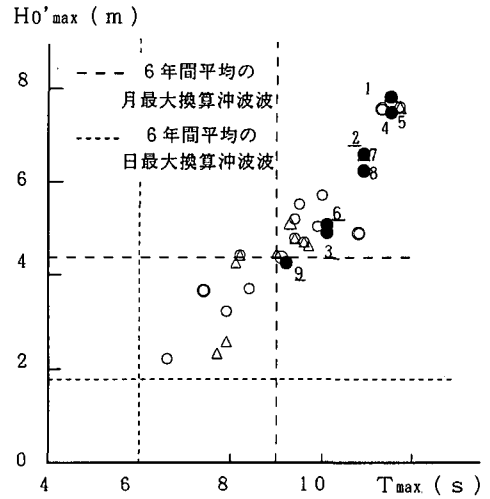


図-8 ブロック移動の波高と周期への依存性

表-4 ブロック落下時の逆算 K_0 値

識別 番号	設置 位置	移 動 年 月 日	$H_0'_{max}$ (m)	設置水深(m)		
				2.8	3.3	3.6
1	St. 4	'93.12.23	7.84	1.15	1.90	2.48
2	St. 4	'91. 9.28	6.61	1.15	1.90	2.48
3	St. 4	'94.10.13	4.58	1.24	2.02	2.63
4	St. 4	'95.11. 9	7.50	1.17	1.92	2.48
5	St. 6	'95.11. 9	7.50	1.17	1.92	2.48
6	St. 6	'93. 1.20	5.08	1.19	1.95	2.51
7	St. 9	'91. 9.28	6.61	1.15	1.90	2.48
8	St. 9	'91.12.29	6.26	1.17	1.92	2.51
9	St. 9	'92. 9.25	4.26	1.19	1.95	2.51

② 顕著な落下が生じるのは $H_0'_{max} > 4.3$ m, $T_{max} > 9.2$ s の時である。これらの閾値は6年間平均の月最大換算沖波波高と周期にほぼ一致している。

③ 沈下や回転は、落下が生じるほどの波の時は勿論、6年間平均の日最大換算沖波以上の時に生じている。

次に、顕著な落下が生じた時の K_0 値を逆算してみる。逆算において、ブロックの単位重量には 2.2 tf/m^3 を、法面勾配には 1.3 割を、波高には離岸堤までの浅水と碎波変形(合田, 1970)を考慮した日最大波を、海底勾配には $1/50$ を、離岸堤沖側の水深には初期設置水深の上下限値である 2.8 m と 3.3 m, 離岸堤設置後の洗掘や wave set-upなどを考慮した 3.6 m の3種類を採用する。逆算結果を表-4 に示す。表によると、水深 3.3 m の時で K_0 値は 2 に近く、3.6 m の時は 2 を大きく上回っている。曾我部ら(1982)の実験によれば、移動し易い陸側のブロックは逆算値が 2 を超えるところから落下し始める。一般に、

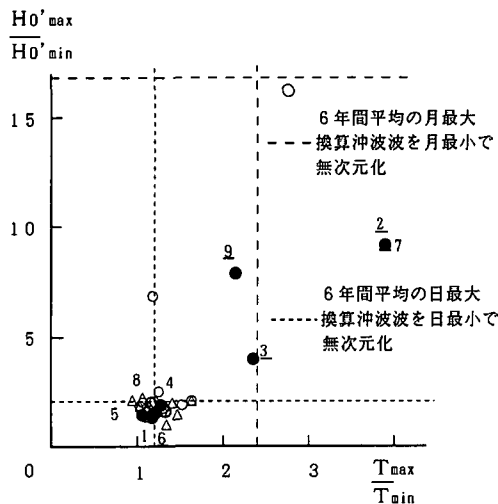


図-9 ブロック移動の無次元波高と周期への依存性

離岸堤沖側は反射波などの影響により洗掘され(例えば、糠沢ら, 1986)、水深は 3.3 m 以上と思われ、本調査でのブロック落下は仕方なかったと判断される。

3.4 ブロックの移動要因

日最小の換算沖波波高と周期で無次元化した日最大の換算沖波波高と周期へのブロック移動の依存性を図-9 に示す。図において、落下時(●)の波に着目すると、波高が大きいほど、一日中波高が大きい傾向にあり(表-1 参照)、そうでない時に見えなくなるほどの顕著な落下が生じる傾向にあることが見て取れる。つまり、日スケールの波高や周期変動が大きい時に顕著な落下が見られる。これは、ブロック被害が波の不規則性に依存するという指摘(曾我部ら, 1982)に対応していよう。

図-10 は、図-9 の横軸を日最大換算沖波の波形勾配($H'_{0\max}/L_0$)に置き換えたもので、日スケールの波高変動と周期の影響を見たものである。図から、これまでのデータでは、見えなくなるほどの顕著な落下が生じる波諸元領域はほぼ次式で区分されることが判る。

$$H'_{0\max}/H'_{0\min} \approx 1600(H'_{0\max}/L_0) - 50 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 L_0 は $H'_{0\max}$ 時の波長である。式(1)は、同じ波高かつ同じ波高変動パターンの時、周期が長いほど、見えなくなるほどの顕著な落下が生じ易いことを示しており、これも曾我部ら(1982)の指摘と一致している。

4. む す び

6 年間の現地調査に基づいて、秋田県南部海岸に設置された一部離岸堤の異型ブロックの移動実態やブロックの移動形態と換算沖波諸元との関係などを定量的に論じた。本研究で得られた主な結論は次の通りである。

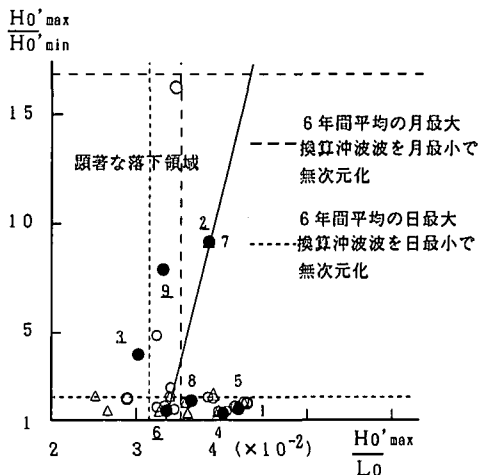


図-10 ブロック移動の無次元波高と波形勾配への依存性

① ブロックの移動は日最大波でより良く整理され、顕著な落下は $H'_{0\max} > 4.3 \text{ m}$ 、 $T_{\max} > 9.2 \text{ s}$ で生じた。

② 顕著な落下が生じた時の逆算 K_d 値は 1.9 以上で、落下は仕方ないと判断された。

③ 波の日変動($H'_{0\max}/H'_{0\min}$ と $T_{\max}/T_{\min}$) が大きく、周期が長い時に見えなくなるほどの顕著な落下が生じた。

④ 見えなくなるほどの顕著な落下が生じる波諸元の境界式(1)を得た。

今後は砂地盤特性(粒度、厚さなど)の影響の検討も行う予定である。

謝辞：データ整理にあたり、本学卒業研究生であった鈴木真理子、菅原 崇、進藤寛之各氏の助力を得た。また、離岸堤諸元に関する資料を秋田県土木部由利土木事務所に提供していただいた。記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 運輸省港湾局 (1991-1996): 全国港湾海洋波浪観測資料 (NOW-PHAS).
- 合田良実 (1970): 砕波指標の整理について、土木学会論文報告集, No. 180, pp. 39-49.
- 曾我部隆久・伊東司郎・浅川 昭・西田芳浩 (1982): 離岸堤(消波ブロック堤)の被災原因に関する考察, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 423-427.
- 糠沢宏二・宇多高明・宮崎光弘 (1986): 離岸堤の沈下対策に関する現地実験, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 422-426.
- 松富英夫・菅原 崇・佐藤 彰 (1996): 離岸堤異形ブロックの移動と波の関係, 東北地域災害科学研究, 第 32 巻, pp. 133-138.
- 松富英夫・佐藤和之・進藤寛之 (1997): 秋田県南部海岸での汀線位置変化の波動性と卓越沿岸漂砂方向, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 636-640.