

航空写真による硫黄島前浜部の季節変動の解明

重村 利幸*・林 建二郎**・藤間 功司***

1. はじめに

硫黄島は伊豆半島から南南東に伸びている伊豆-マリアナ島弧上の火山島（北緯 $24^{\circ}45' \sim 24^{\circ}49'$ ，東経 $141^{\circ}17' \sim 141^{\circ}21'$ ）である。東京から南へ約 1250 km 離れてはいるが，行政的には東京都小笠原村に属している。同島は北北東の方向に主軸をもった紡錘状の形をしており，主軸長は約 8.6 km，最大幅は約 6.3 km あり，面積は約 23 km² ある。島は極めて平坦で，表層はかなり濃い植生で覆われている。

同島の海岸線は海崖や岩石海岸がある北東および北西海岸の一部を除いて平均幅が 200 m を越す単調な自然のままの砂浜に囲まれており，しかも，これらはほぼ全域にわたって外洋性の波浪にさらされている。このため，前浜部の季節変動が極めて大きく海浜変形を調べる上で貴重な実験サイトと云える。ただし，同島は遠隔地であり海象条件も厳しいため波浪観測が極めて困難である。加えて今日でも局所的には年率 30 cm にも及ぶ激しい隆起（または沈降）が断続的に発生し続けており，これらが，海浜の変動機構の解明を困難なものとしている。

そこで著者らは現地海岸で実際に起こっている前浜部の季節変動量を正確に把握することを目的とし，1987 年 4 月より約 3 年間，硫黄島の航空写真を季節毎に撮影してきた。本研究ではこれらの航空写真を詳細に解析し，併せて 1983 年以降継続して行なっている同島海岸での一連の測量成果等を参考にして，硫黄島前浜部の季節変動特性の解明を試みた。

2. 航空写真の撮影および現地海岸の測量

(1) 航空写真の撮影および処理

航空写真の撮影は，海上自衛隊の支援を受け，1987 年 4 月より 1990 年 1 月までの間，季節毎に実施した。各回とも撮影は原則として干潮時と満潮時の 2 回，あらかじめ標定された 3 本のフライトコースに沿って高度 3000 m，オーバーラップ率 60 % で実施した。これらの撮影

済みフィルムは陸上自衛隊の支援を受けてモザイクし，最終的には縮尺 1/10000 の全島写真としてポジフィルム上に焼付けた。表-1 は航空写真の撮影細部を示す。

表-1 硫黄島における航空写真撮影の実施細部

No	撮影年月日	撮影時間	潮位 (cm)
1	87. 4. 23	0918-0940	干潮 (57)
	87. 4. 24	1524-1610	満潮 (81)
2	87. 7. 7	1548-1620	満潮 (86)
	87. 7. 8	1030-1118	干潮 (25)
3	87. 10. 28	0855-0912	上潮 (70)
	87. 10. 28	1142-1327	満潮 (86)
4	88. 2. 2	0700-0730	満潮 (86)
	88. 2. 2	1210-1240	干潮 (51)
5	88. 4. 7	0800-0837	上潮 (64)
	88. 4. 7	1116-1132	下潮 (68)
6	88. 8. 22	1531-1644	満潮 (88)
	88. 8. 23	0853-0948	干潮 (37)
7	88. 10. 25	0701-0729	満潮 (106)
8	89. 1. 23	1322-1340	干潮 (48)
	89. 1. 25	0836-0852	満潮 (89)
9	89. 4. 20	1212-1313	干潮 (20)
	89. 5. 15	0900-0940	満潮 (83)
10	89. 9. 6	1523-1536	干潮 (65)
	89. 9. 8	1203-1220	満潮 (82)
11	89. 11. 7	1400-1430	満潮 (87)
	89. 11. 8	0800-0830	干潮 (38)
12	90. 1. 16	1608-1657	干潮 (42)
	90. 1. 17	0941-1254	満潮 (87)

これらの各全島写真上の汀線位置は大型デジタイザー（グラフテック社製，KD9650 型）を用い，サンプリング間隔 1 mm（現地 10 m）でデータ化した。

(2) 現地海岸の測量

著者等は 1982 年 7 月より 90 年 10 月までの間，陸上自衛隊の支援を受け，年 2 回程度の割合で現地海岸の測量を実施してきた。なお，測量は，できるだけ季節毎のデータが入手できるよう配慮して表-2 に示すように実施した。実際の作業は図-1 に示すように硫黄島の 4 つの区分海岸の後浜上にほぼ 300 m 間隔で設置した 53 個の

* 正会員 Dr.Eng. 防衛大学校教授 土木工学教室

** 正会員 Ph.D. 防衛大学校助教授 土木工学教室

*** 正会員 工博 防衛大学校講師 土木工学教室

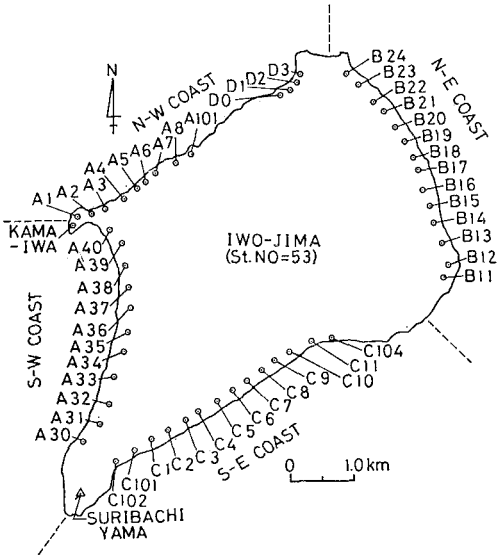


図-1 硫黄島の後浜に設けた測点の配置図

表-2 硫黄島における測量作業の実施細部

No	測量作業の期間	作業内容
1	'82. 7. 23- 8. 9	多角・水準及び横断測量
2	'83. 6. 8- 6. 28	同 上
3	'84. 2. 9- 2. 20	同 上
4	'84. 11. 16-12. 5	同 上
5	'85. 3. 9- 3. 28	同 上
6	'85. 5. 14- 5. 31	同 上
7	'86. 2. 19- 3. 10	同 上
8	'86. 7. 15- 8. 5	同 上
9	'86. 11. 5-11. 26	同 上
10	'87. 2. 27- 3. 17	同 上
11	'87. 10. 19-11. 9	同 上
12	'88. 3. 2- 3. 23	同 上
13	'89. 3. 12- 3. 23	同 上
14	'89. 10. 16-11. 7	同 上
15	'90. 9. 28-10. 19	同 上

測点を用い、多角および水準測量を実施した。さらに各測点を通り汀線に至る間の横断測量も実施した。

なお、これらの測量成果の一部については既に報告している(重村ら, 1984; 池内ら, 1985; Shigemura, 1986)が、今回は各測点前面の汀線付近における前浜勾配を調べるため、水準および横断測量の成果を利用する。

3. 汀線データの修正

(1) 汀線近傍の前浜勾配

2.(1) で述べた汀線データは、それぞれ航空写真を撮影した時刻での潮位におけるデータである。したがって、これらの汀線データを用いて前浜面積の変化を調べ

るためには、汀線データを全て基準水準面でのデータに修正しなければならない。この修正を行なうためには航空写真の撮影時における汀線近傍の前浜勾配を知る必要がある。

前浜勾配は 2.(2) で述べた横断測量の成果から求まるが、航空写真を撮影した 1987 年 4 月より 1990 年 1 月までの間では、表-2 に示す通り 3 月と 10 月に実施した 4 回の測量データがあるのみであり、他の撮影月における前浜勾配が得られない。このため、表-2 に示す全ての測量成果を用いて各季節の平均前浜勾配を求め汀線データの修正に用いることにした。

図-2 は春期における各測点前面の前浜勾配を 図-1 に示した 4 つの区分海岸別にプロットしたものである。ここに、横軸の記号は 図-1 に示した各測点の番号である。

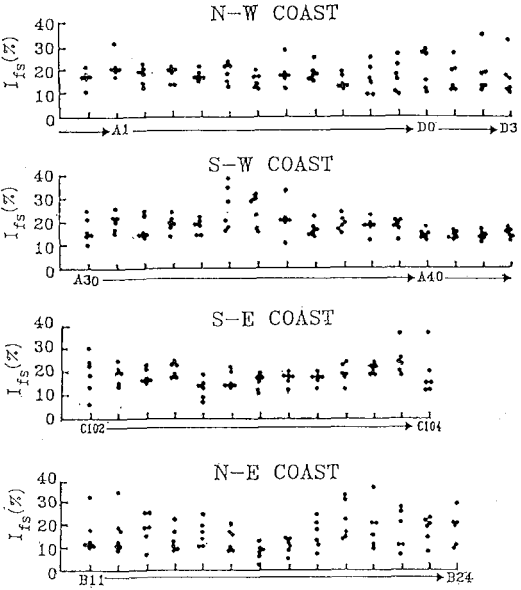


図-2 春期における汀線近傍の前浜勾配

他の季節についても同様な解析を行なった。その結果、同じ季節内でも測定時期や測点位置の相違により、かなりのバラツキを示すことが認められた。しかし、今回は季節毎に分類した前浜勾配の値を各区分海岸毎、単純に算術平均して、所要の平均前浜勾配を求めることにした。

図-3 はこのようにして求めた各区分海岸における季節別の平均前浜勾配 I_{fs} を図示したものである。この図から硫黄島の汀線近傍における前浜勾配はいずれの海岸においても夏期から秋期に若干大きい値をとり、冬期から春期にかけてやや小さい値をとるが、その範囲は 1/4.5 から 1/6 程度の範囲にあり平均的には 1/5.5 程度であることが判った。

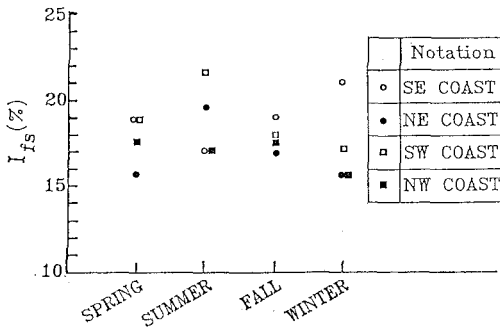


図-3 区分海岸における季節別平均前浜勾配

(2) 汀線データの修正

基準水準面における汀線データへの修正は、このようにして求めた各区分海岸における季節別平均前浜勾配の値を用いて、以下のような考え方で実施した。

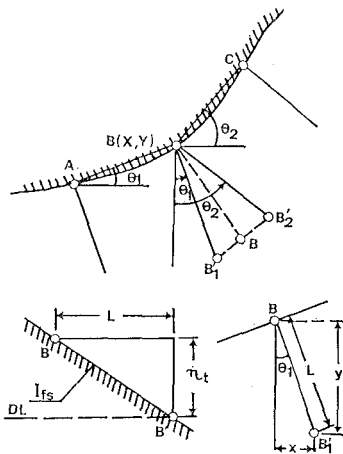


図-4 汀線データ修正の考え方

いま、対象とする汀線データは潮位 η_t のときに撮影した写真から得られたものであり、これらデータから抽出した連続する3個のデータは図-4に示すような3点A, BおよびC点でのデータとする。また、これら各データを結ぶ線分はX軸に対して θ_1, θ_2 の角度をもちB点の座標は (X, Y) であるとする。いま、これら各点の汀線位置での前浜勾配が I_{fs} であったとするとB点の基準水準面での位置はB点での接線に対して下した垂線上、次式で与えられる距離 L だけ沖合にある筈である。

$$L = \eta_t / I_{fs} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、B点での正確な接線勾配を求めることはサンプリング間隔の影響もあり必ずしも容易ではない。そこで今回は図-4に示すとおり、B点から相隣る線分 $\overline{AB}$ および $\overline{BC}$ に2本の垂線を立て、各垂線上で沖合に L だけ出した点 $B_1'(X_1, Y_1)$ と $B_2'(X_2, Y_2)$ の位置を次式で

決めることにする。

$$X_1' = X + L \cdot \sin \theta_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_1' = Y - L \cdot \cos \theta_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$X_2' = X + L \cdot \sin \theta_2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Y_2' = Y - L \cdot \cos \theta_2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

次いで、B点の基準水準面における位置 B' 点 (X', Y') は B_1' および B_2' の中間点にあると考え、この点の位置を次式で求めることにした。

$$X' = (X_1' + X_2') / 2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Y' = (Y_1' + Y_2') / 2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

このような考え方に立ち、各サンプリング点から2本の垂線を出し、上記各式を用いて3.(1)で求めた全ての汀線データを基準水準面でのデータに修正した。ただし、これらの汀線データにはなおモザイク作業やデジタイザー操作の段階で入ってくる種々の誤差が含まれている。これらの誤差を可能な限り取り除くため、写真上に10個の標定点を設け、各標定点の符合度が最良となるように、さらに平行移動ならびに回転による補正を加えて修正した。

4. 解析結果

(1) 全島面積の季節変動

図-5は、先に述べた汀線データを用いて計算した1987年4月より1990年1月の間における硫黄島の全島面積 S の経時変化を示す。なお、図中の各点は干潮および満潮時の汀線データから得られた全島面積の平均値である。また、時間軸上に示した矢印は上記期間中に発生した台風のうち、硫黄島からおおよそ500kmの範囲内を通過したものを示す(表-3参照)。

全島面積のうち変動が生じているのは前浜部であるから、全島面積の変動量は前浜面積の変動量とみなすことができる。

この図および表から以下の諸点が明かになった。

- 硫黄島の前浜面積は夏から秋にかけての台風シーズンには急激に減少するが、冬から春にかけてほぼ完全に回復する。その変動パターンは台風の来襲頻度によっても異なるが、ほぼ6ヶ月の周期をもち、極めてリズムカルである。
- 前浜面積の季節変動量は台風の来襲が少ない年には30万 m^2 程度であるが、台風の来襲が多い年には60万 m^2 にも及ぶことがある。
- 前浜の面積は年率で5万 m^2 程度増大している。これは硫黄島の異常な隆起現象に起因しているものと思われる。

さて、図-6は1987年10月から1990年10月の3年間に観測された各測点(図-1)の隆起量を示す。なお、

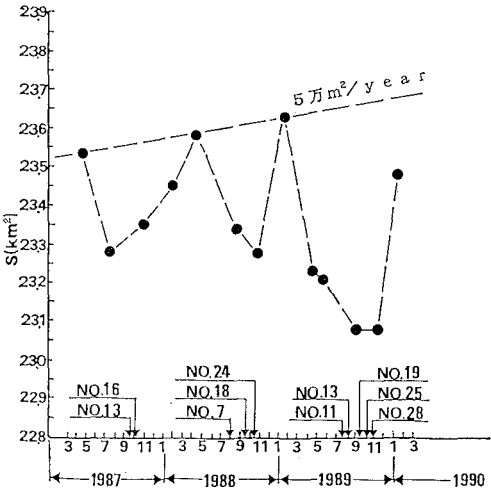


図-5 全島面積の季節変動

表-3 硫黄島の近傍を通過した台風

台風名	通過年月日	通過場所	進行方向	中心気圧 (mb)	最大風速 (m/s)	風向
13号	87. 09. 14	西 130km	N	985	33.0	S
16号	87. 10. 01	北西460km	NE	985	11.5	SSE
7号	88. 07. 30	真上	N	980	22.0	SW
18号	88. 09. 13	東 310km	NNW	947	22.5	N
24号	88. 10. 08	西 780km	NE	955	11.5	SSE
11号	89. 07. 26	西 460km	N	940	20.0	SE
13号	89. 08. 04	東 370km	NNW	950	16.5	NW
19号	89. 09. 06	南 460km	W	996	16.0	E
25号	89. 10. 06	真上	NW	950	35.0	NE
28号	89. 10. 26	南西460km	NW	950	16.0	ENE

横軸の数値は図-1 に示した各区分海岸における最南測点からの累計距離を示す。この図から、隆起量は場所によって異なるが上記期間中には年率で約 10 cm も隆起が生じており、局所的には年率で 20 数 cm も隆起したことが判る。そこで、これらの隆起によって、どの程度前浜面積が増大するかを検討してみた。図-7 は 1987 年 4 月 24 日の基準水準面における汀線位置を基準とし、基準

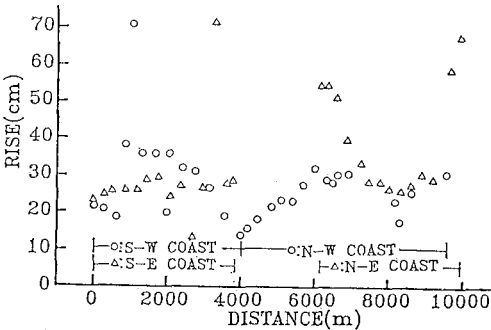


図-6 各測点の隆起量

水面以深の前浜勾配を 1/5 から 1/25 まで種々に変えて隆起による前浜面積の増大量を試算したものである。この図から、硫黄島の隆起量が年率で 10 cm とした場合、年率 5 万 m² 程度前浜が増大するのは、基準水準面以深での前浜勾配がほぼ 1/20 程度の時に相当することが明らかになった。これは、硫黄島(一部)の深浅測量の成果からみて、ほぼ妥当な値と思われる。

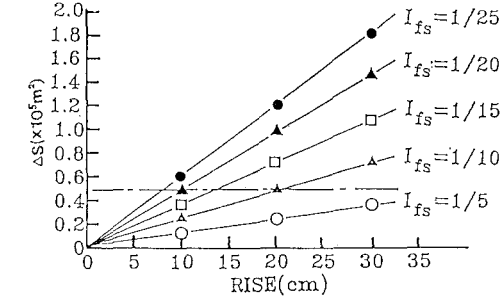


図-7 隆起による前浜面積の予想増大量

(2) 区分海岸における前浜面積の季節変動

図-8 は前浜面積の季節変動量を調べるために各区分海岸に設けた調査領域である。これらの領域はいずれも幅 200 m を越す豊かな砂浜に囲まれた自然海浜を有する。また、図-9 は各調査領域における前浜面積の経時変化を示す。ただし、前浜面積の変化量は 1987 年において最小となった 7 月 8 日の前浜面積を基準値にとって示してある。この図から以下の諸点が明らかになった。

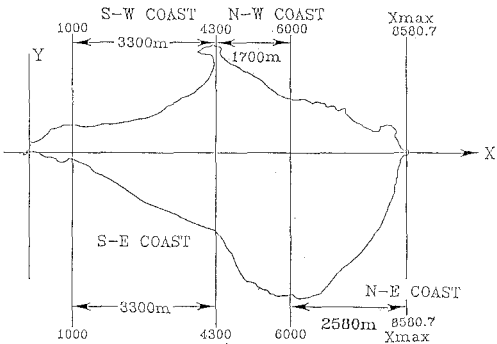


図-8 前浜面積の調査領域

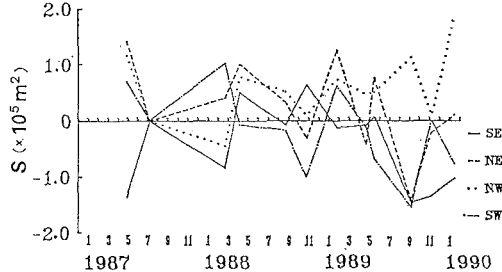


図-9 各調査領域における前浜面積の経時変化

(a) 各区分海岸における前浜面積の季節的変動パターンは南東海岸の場合を除いて、全島面積の季節的変動パターンと類似している。

(b) 南西および北東海岸における変動パターンは特に全島面積の変動パターンとよく類似しており、両海岸における前浜の季節変動量は、それぞれ 20 万 m^2 にも達している。

(3) 区分海岸における汀線位置の季節変動

図-10 は各区分海岸における汀線位置の経時変化を示す。ただし、汀線位置の変化量は図-9 に示した前浜面積の変化量を各調査領域の海岸線長さで除したものである。

この図から以下の諸点が明かになった。

(a) 各区分海岸における汀線位置の季節変動特性は、前浜面積のそれとはほぼ同じである。

(b) 汀線の季節変動量は最大で 60 m 程度に達する。

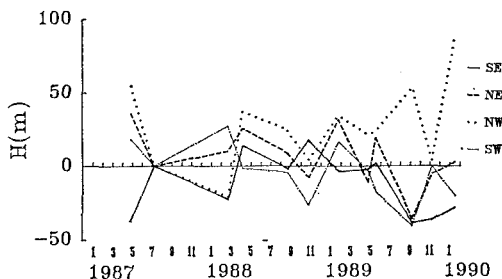


図-10 各調査領域における汀線位置の経時変化

5. おわりに

1987年4月より1990年1月の間、季節毎に撮影した硫黄島の航空写真を詳細に解析し、同島の前浜面積の季節変動特性を調べた。その結果、同島の前浜面積は夏期から秋期にかけての台風シーズンに大きく減少し、冬期から春期の間に回復するというほぼ半年周期の規則的なパターンで変動し、季節変動量は30万 m^2 にも達することが明かになった。さらに、硫黄島の前浜は隆起現象のため年率で約5万 m^2 程度増大を続けていることも明らかになった。また、これに伴って汀線位置も一部の海岸を除いて前浜面積とはほぼ同様な変動パターンをとり、その変動量は60mにも達することが明かになった。

さらに、航空写真の撮影を継続して行ないデータの蓄積に務めたい。

最後に、本研究の実施にあたり、陸上自衛隊第101測量大隊、海上自衛隊第1、第5航空群および硫黄島航空基地分遣隊、ならびに東京防衛施設局から多大のご支援をいただいた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 重村利幸・斉藤廣康・高見沢敦・工藤 誠 (1984): 硫黄島の海浜変形について, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 371-375.
- 池内正幸・重村利幸・山田 正・林建二郎・斉藤廣康・高見沢敦 (1985): 硫黄島における海浜の季節変動について, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 375-379.
- Shigemura, T. (1986): Shore Process along the Coast of Iwo-jima, Proc. 20th ICCE., pp. 1523-1534.