

硫黄島西海岸におけるトンボロの成因について

重村 利幸* ・ 池内 正幸**・ 山田 正***
高杉 浄治****・ 小森 宏*****

1. ま え が き

硫黄島は、東京から南へ約 1 250 km 下った太平洋上 (24°44'N, 141°17'E) にある火山島である。同島は南端にある摺鉢山 (標高約 162 m) を軸にして北東方向に開いた扇状の平坦な島であり、面積は約 22 km² ある。

島の表面は、銀ネムの灌木を中心とした比較的濃い植生で覆われており、島内には湧水や小河川等は存在しない。また、海岸部でも波浪の侵食にさらされている海食崖等はあまり見あたらない。このため、同島には有力な漂砂源が乏しいと考えられる。にも拘らず、海岸線は島の北部および南端を除いて豊かな砂浜に囲まれている。

硫黄島の西海岸は明治 27 年の開島以来、年々前進を続け、昭和 47 年には同 20 年当時、約 1 km 沖合に位置していた岩礁 (釜岩) に到達して、一大トンボロを形成するに至った。このトンボロの形成には、後に述べるとおり同島の異常な地盤隆起が大きく影響したのは事実であろう。しかし、昭和 20 年発行のアメリカ合衆国海軍の海図によれば、当時、釜岩と西海岸を挟む海峡部の最大水深は 36 m 強あったことがわかる。従って、同トンボロの生成を隆起現象のみで説明することは難しく、同海浜に存在する多量の漂砂がその生成に大きく寄与しているものと考えられる。また、昭和 20 年、米軍が釜岩の南約 1 km の海岸にコンクリート船を沈めて建造した簡易港湾もトンボロの成長にかなり影響しているものと思われる。

本研究は、上記トンボロが生成されるための土砂収支ならびにその成因について検討を試みたものである。

2. 基礎資料の収集

(1) 気象および海象データ

硫黄島は、昭和 43 年、アメリカ合衆国より返還された。以後、同島には海上自衛隊の分遣隊が駐屯し、同隊気象班によって気象データが観測されている。図-1 は

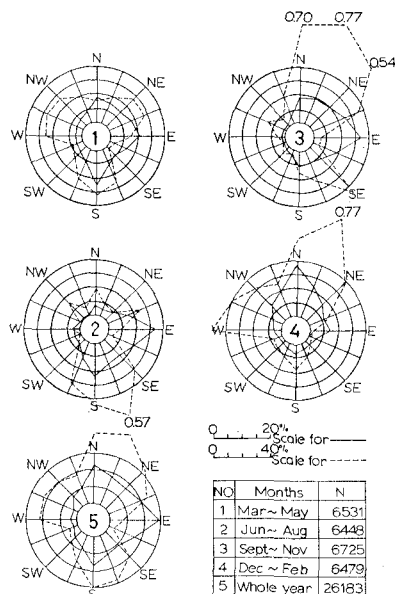


図-1 硫黄島における季節別風配図

同気象班によって観測された昭和 45 年から 54 年までの 10 か年の風データから求められた各季節ごとの風配図である¹⁾。図中、実線は全風データの出現頻度を示し、点線は 20 ノット以上の強風の出現頻度を示す。この図から、硫黄島では春から夏の間は東および南の風が卓越するが、秋には東風が、また冬には北風が卓越することがわかる。一方、20 ノット以上の強風の出現頻度は年間約 3.5% であるが、夏には南風が卓越するのに対し、秋から冬にかけては北または北東の風が卓越することがわかる。なお、過去 35 年間の台風統計から、硫黄島を中心として半径約 400 km 以内の領域を通過する台風は年平均で 5 回程度であり、来襲時期は 7 月から 10 月にまたがっていることが報告されている²⁾。

硫黄島の降雨量は比較的少なく、昭和 46 年から 53 年までの観測データの解析結果によれば、年平均雨量は 1 300 mm 程度にすぎないことが報告されている³⁾。

一方、硫黄島の海象データについては昭和 56 年に防災科学技術センターによって開始された摺鉢山南端での潮位観測ならびに昭和 57 年 5 月から著者らの始めた釜

* 正会員 Dr. Eng. 防衛大学校教授 土木工学教室
** 正会員 工 修 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
**** 海上自衛隊第四航空群
***** 陸上自衛隊第七施設大隊

岩南の海岸沖における波浪観測のデータがあるのみで、未だ十分なデータの蓄積はない。

（2）汀線変化に関するデータ

図-2 は、硫黄島についてこれまでに出版されている地図や海図を5万分の1に編集し直して重ね合わせたものである。表-1 にはこれら各資料の細部がまとめてあ

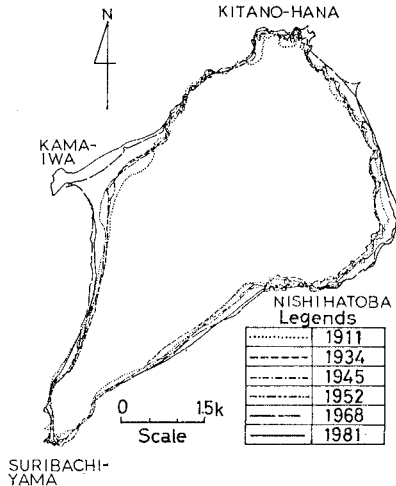


図-2 硫黄島の汀線変化

表-1 硫黄島の地形図および海図

NO.	地名	種類	測量月日	発行機関	縮尺
1	硫黄島	地形図	明治44年製版	陸地測量部	1:50 000
2	硫黄島	海図および地形図	昭和9年	海軍水路部	1:30 000
3	IŌ JIMA	海図および地形図	1945年	DMAHC, USA	1:20 000
4	IWO-JIMA	海図および地形図	1952年	US ARMY	1:25 000
5	硫黄島	地形図	昭和43年	国土地理院	1:25 000
6	硫黄島周辺水深図	海図	昭和56年	水路部	1:25 000

表-2 硫黄島西海岸の汀線変化

観測年次	L (m)	B (m)
1911	1 100 (1 200*)	
1934	1 000 (1 000*)	
1945	1 100	
1952	850 (800*)	
1968	75 (400*)	
1968.5	渡渉可能*	
1968.6	陸続き	3*
1968.7	"	10*
1970	"	55*
1972.6	"	166* (200**)
1975.3	"	186*
1978.6	"	205*
1981.6	"	200

注: L: 汀線と釜岩間の距離, B: トンボロの最狭部の幅. *: 文献 4), 5) による. **: 文献 7) による.

る。図-2 から明らかな通り、硫黄島の汀線は明治44年当時と比して一時的には後退した場所も見られるが、全般的には前進を続けており、現在までに摺鉢山の近傍ならびに北西部海岸の一部を除いて、約200m近く前進している。

特に西海岸では汀線の前進が顕著である。これら汀線の前進については、小坂⁴⁾や高橋・熊谷⁵⁾による調査結果も報告されているが、表-2 にはこれらの成果も加えて表-1に示した各地図から読み取った成果を示してある。この表から西海岸の汀線は昭和27年頃を境にして急速に変化していった様子がわかる。

（3）地盤隆起に関するデータ

図-3 は、辻ら⁶⁾がまとめた昭和27年から43年までの硫黄島における等隆起量図である。一方、図-4 は明治44年以降の測量データに最近の成果を加えて小坂⁷⁾が作製した硫黄島の総隆起量ならびに平均隆起速度を示す。これらの図から、硫黄島の隆起現象は摺鉢山に比して島中央部（元山台地）のほうがはるかに活発であり、しかも同台地では海岸線に近いところほど、大きな隆起量が現われること、ならびに隆起速度が昭和27年頃を境にして年平均30cm強と急激に大きくなり、昭和20年以降53年までの間に約10mの隆起があったこと等がわかる。なお、小坂らの成果は表-2に示した西海岸での汀線の前進状況とよく呼応しており、地盤の隆起がト

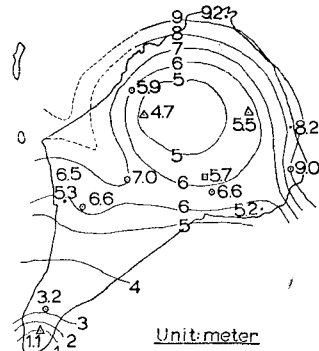


図-3 硫黄島の等隆起量図

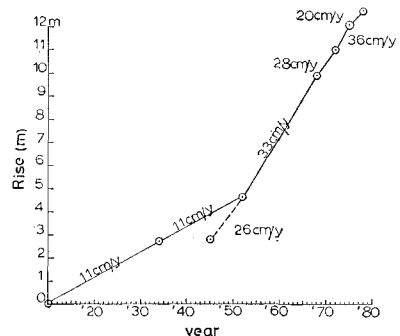


図-4 硫黄島の総隆起量および隆起速度

ンボロの生成にかなり大きく影響していることがうかがえる。

3. 現地観測

(1) 波浪観測

当研究室では、昭和57年5月に釜岩から南へ約1km下った海岸の汀線沖約450mの位置に超音波式波高計を設置した。波高計の設置水深は-12mで設置点から汀線近くまでは平均勾配がほぼ1/40程度の緩やかな海底になっている。同波高計はレンジを手動で切り換えることにより最大で15mまでの波高が計測できる能力をもつ。現在は2時間ごとに10分間の割合で計測を続けている。

記録はペン書きされるため、これらアナログ信号はすべて0.5秒間隔でデジタル化し、有義波解析ならびにスペクトル解析を行なっている。表-3は昭和57年5月より12月までのデータにつき、ゼロアップクロス法によって検出した波の大きさによる相対度数を示したものである。ついで、これらの波データから各級の最大波高および周期を定め、各値の間に相関解析を実施した。

表-3 ゼロアップクロス法により検出した波の波高および周期の相対度数

月	波の数	$H < 1.0\text{ m}$	$T < 5.0\text{ sec}$	$T < 10.0\text{ sec}$
5月	5 085	94.0 (87.0)	70.0	97.0
6月	9 372	90.0 (76.0)	63.0	99.0
7月	7 003	84.0 (74.0)	48.0	91.0
8月	3 513*	92.0 (80.0)	33.0	92.0
9月	7 573	72.0 (50.0)	34.0	83.0
10月	6 764	85.0 (77.0)	55.0	90.0
11月	6 847	99.0 (91.0)	59.0	98.0
12月	12 707	97.0 (81.0)	68.0	99.0

注：*：8月は、一時欠測、()内の数字は $H < 0.5\text{ m}$ の相対度数

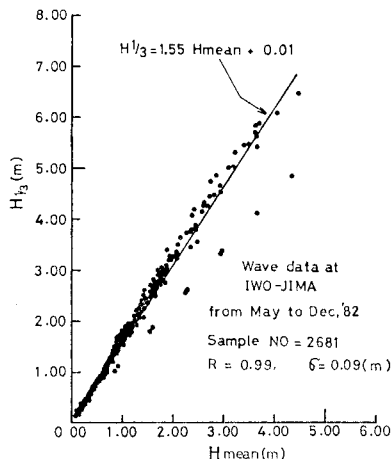


図-5 有義波高と平均波高の相関図

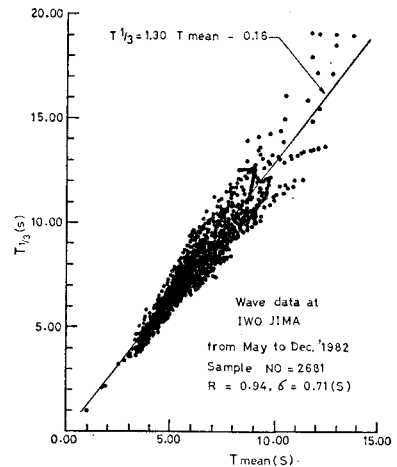


図-6 有義周期と平均周期の相関図

表-4 各級最大波高間の回帰解析結果

	現地データ	相関係数	レーリー分布
$H_{\max}/H_{1/10}$	1.21	0.98	—
$H_{\max}/H_{1/3}$	1.51	0.97	—
$H_{\max}/H_{\text{mean}}$	2.31	0.95	—
$H_{1/10}/H_{1/3}$	1.25	0.97	1.27
$H_{1/10}/H_{\text{mean}}$	1.94	0.98	2.03
$H_{1/3}/H_{\text{mean}}$	1.55	0.99	1.60

図-5は有義波高と平均波高の、また図-6は有義周期を平均周期の相関図である。また、表-4には各級最大波高の間に行なった回帰解析の結果を示す。なお、同表には、波高の分布にRayleigh分布を仮定した際に求める各級最大波高の比も併せて示した。この表から、波高に関しては、ほぼRayleigh分布に従うことが判る。

以上の解析結果から、硫黄島の波は大半が有義波高が1m以下の風波であることがわかる。ただし、夏期の台風時にはかなり大きなうねりが来襲し、上記期間中でも都合3回(台風4号、5号および10号)にわたって最大波高10mを記録した。

(2) 海浜砂の採取・分析

硫黄島は粗面安山岩を中心とする火砕岩から成り、海岸の砂には斜長石、輝石、かんらん石および珪岩泡岩等が多く含まれている³⁾。著者らは、沿岸漂砂の方向について手がかりを得る目的で、昭和56年8月に全島の汀線際で表層採砂を実施した。

図-7は、採取場所の北端から南への距離を横軸にとり各採取点での砂の比重、中央粒径および均等係数をプロットしたものである。なお、採取場所の地名については図-2を参照されたい。

この図から、比重に関しては島の北端にある北の鼻(比重:3.0~3.3)を除いて、全島的にほぼ2.6~2.7の範囲の値をもつことがわかる。また、中央粒径について

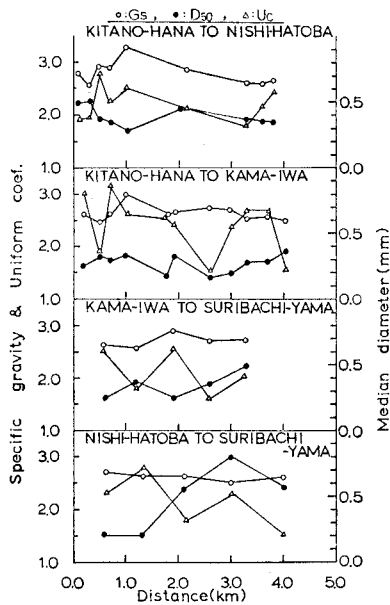


図-7 海浜砂の分布特性

は島の北半分では東、西両海岸ともほぼ 0.3mm であり、南下に伴う粒径の変化は顕著ではない。一方、島の南部では東、西両岸とも摺鉢山の方へ向うにつれて中央粒径は約 0.2 から 0.7 程度にまで増大しているのわかる。これらの成果から直ちに沿岸漂砂の方向を断定することはできないが、夏期には摺鉢山方面から島の両側を北上する沿岸流があることが予想される。また、北の鼻には比重の大きい砂が残存しているが、これは夏期以外に北方向からの波浪および沿岸流が存在することを示しているものと思われる。

4. 西海岸の土砂収支

本節では、アメリカ海軍による海図（昭和 20 年）および水路部による硫黄島周辺水深図（昭和 56 年）の双方から、過去 36 年間における硫黄島の全海浜における土砂収支を試算し、西海岸におけるトンボロの成因について検討する。

まず、両海図上に硫黄島を含めて東西に 14km、南北に 10km の共通海域を設ける。ついで同海域を 200m 間隔のメッシュで分割し、各分割の格点での水深を海図上の水深データから決定する。このようにして定めた各年次の水深データを用いて、昭和 20 年当時の汀線から沖へ 1km までの区域内での土量変化を算定する。なお、硫黄島における海浜砂の供給源は地盤隆起によるもの以外には考えられない。そこで、図-3 および 図-4 の成果を参考にして昭和 20 年の海底を一様に 10m 隆起させ、上記区域内に生じる仮想供給土砂量を算出した。これら各土量の算出結果を表-5 に示す。この表から、昭和 20 年の海底を汀線から沖合 1km の区域において一

表-5 海浜部における土砂収支

海岸	土砂量	堆積土砂量 (10 ⁻⁶ m ³)	仮想供給土砂量 (10 ⁻⁶ m ³)
西 海 岸		57.6	91.2
東 海 岸		36.1	92.8
全 島		93.7	184.0

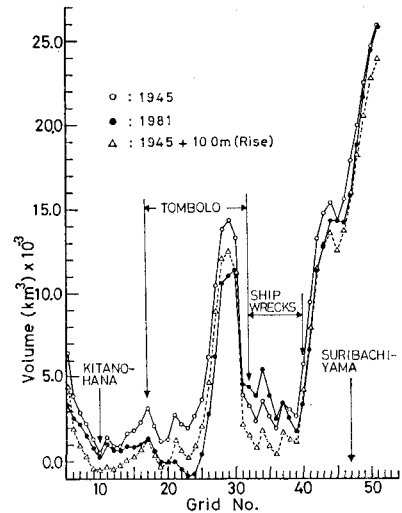


図-8 海浜断面の容積変化

様に 10m 隆起させた場合には、昭和 20 年以降 36 年間に実際に増えた土砂量に対して西海岸では 37% 程度の、また全島では約 49% 程度の過剰供給になることがわかる。

次に 10m の一様隆起を与えた場合の土砂量の場所的変化を調べてみる。図-8 は北の鼻の北方 1km（測点 5）から摺鉢山南端より南へさらに 1km 下った位置（測点 52）までの間における各海浜断面内での容積の場所的変化を示す。この図から、北の鼻からトンボロの北端までと、トンボロの南端から摺鉢山南端にかけては、いづれも仮想供給土砂量の大部分が侵食されているのわかる。このことから、10m の一様隆起にはオーダー的に多少の疑点が残るが、同島には北の鼻方向から南下する沿岸流と摺鉢山方面から北上する沿岸流とが存在し、これらの沿岸流が地盤の隆起によって供給される土砂を運搬し、西海岸の釜岩付近にトンボロを形成したものと考えられる。

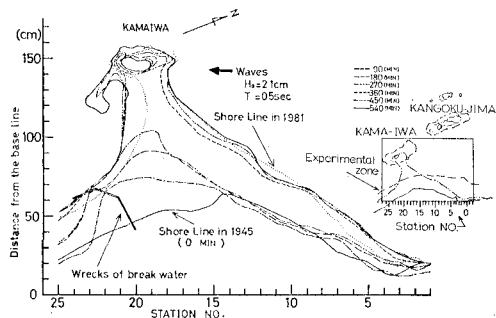
5. 模型実験による検証

以上の検討結果から西海岸におけるトンボロの成因について、かなり説得性のある推論が得られた。そこで、本節では模型実験を行なうことにより、上記推論の妥当性を検討する。

実験模型は昭和 20 年アメリカ海軍発行の海図に基づき、現在のトンボロを十分にカバーする海域を設定し、

同海域を水平縮尺 1/1 000, 垂直縮尺 1/500 に縮小してモルタルで製造した。底質には石炭粉 ($d_{50}=0.27$ mm, 比重 1.72) を使用し, 模型上に厚さ 2 cm に敷きつめた。実験波は台風時の波を想定し予備実験を繰り返した結果, 波高 2 cm, 周期 0.5 秒を選定した。また, 波向については予想される沿岸流の卓越方向の一つ, NNE を選んだ。なお, 隆起現象の効果は水位を下げながら与えることにし, 侵食によってモルタル面が露出した部分にはその都度, 底質の補給を行なった。

図—9 は実験によって得られた汀線の経時変化を示す。時間の経過につれて汀線は前進し, 実験開始後, 9 時間でほぼ現地のトンボロ形状に類似したトンボロが形成された。ただし, 釜岩南端の砂嘴の出現, ならびに南側汀線が現地汀線に比べて張り出す現象が見られた。これは NNE 方向のみから波を作用させたことに起因すると思われる。以上により 3 および 4 での推論の妥当性が検証された。



図—9 室内実験によるトンボロの生成過程

6. む す び

硫黄島西海岸において, 地盤の隆起による土砂の供給を仮定して土砂収支の試算を行ない, 現地にあるトンボロの成因について検討した。その結果, 同トンボロは隆起によって生産された海浜土砂が漂砂源となり, これが季節によって島の南端または北端から, それぞれトンボロのある釜岩方向へ向う強い沿岸流によって運搬されて堆積したものとの結論を得た。

本研究の実施にあたり, 港湾技術研究所の海洋水理部長 田中則男氏および漂砂研究室主任研究官 加藤 一氏から種々ご指導とご助言いただいた。また, 波浪観測等の実施には現地部隊, 東京防衛施設局・鹿島建設硫黄島工事事務所の方がたをはじめ, 陸・海・空自衛隊の各部隊から多大のご支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 日本港湾コンサルタンツ: 硫黄島揚陸・揚油施設調査報告書, p. 94, 1982.
- 2) 1) に同じ.
- 3) 1) に同じ.
- 4) 東京都総務局三多摩島しょ対策室: 小笠原硫黄島火山活動報告書 (I), p. 4, 1972.
- 5) 高橋 博・熊谷貞治: 火山列島硫黄島火山現象調査図, 国立防災科学技術センター研究速報第 23 号, 1976.
- 6) 辻 昭治郎・栗山 稔・鶴見英策: 小笠原諸島調査報告書, 国土地理院時報, 37 号 1, 1969.
- 7) 東京都総務局三多摩島しょ対策室: 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 (III), p. 10, 1979.
- 8) 一色直記: 火山列島硫黄島の地質と岩石, 国立防災科学技術センター, 研究速報 23 号, pp. 13~15, 1976.