

硫黄島西海岸におけるトンボロ決壊部の結合過程について

重村 利幸*・土田 孝行**・工 藤 誠***

1. ま え が き

硫黄島の西海岸では、昭和 27 年頃から汀線が急速に前進を始め、昭和 46 年には 27 年当時の汀線より沖合約 1km にあった釜岩と呼ばれる離岩に到達して、一大トンボロが形成された。以後、トンボロは年々大きくなり、昭和 58 年 3 月の時点では表面積が約 160 万 m^2 、釜岩との連結部の幅が約 200 m まで成長した。また、連結部近傍の標高は約 3 m であった。

昭和 58 年 11 月 7 日、台風 17 号（中心示度 920 mb、最大瞬間風速 38 m/s）が硫黄島の西方海上、150 km を北東に向けて通過した。この時、過去 10 数年にわたって切れる事のなかったトンボロが釜岩との連結部において、幅約 200 m にわたって決壊した。決壊部の先端は 1 カ月後に、再度、釜岩と連結したが、連結部周辺の汀線形状が決壊前の形状に復帰するまでには、およそ 1 年を要した。

本研究は、現地に駐屯する海上自衛隊の支援を受けて、決壊後から 1 年間、毎月 1 回の割合で撮影した航空写真を解析し、併せて、室内実験を行なうことにより、決壊部の結合過程並びに西海岸全体の海浜変形について検討したものである。

2. トンボロ決壊時の状況

写真-1 は台風 17 号が通過した翌日の 58 年 11 月 8 日に、海上自衛隊の航空機によって撮影されたトンボロ決壊部周辺の航空写真である。この写真から、トンボロは釜岩との連結部において、幅約 200 m、奥行き約 200 m にわたって、ほぼ北向きに切断された事が判る。また、58 年 3 月 10 日に撮影された航空写真と比べると、釜岩より南へ約 1 km の間では汀線が、かなり後退し、逆に、釜岩より北へ 1.5 km～2.5 km の範囲においては、汀線が大きく前進したことが判った。

写真-2 は、58 年 11 月 24、25 日の両日にかけ著者の一人が現地の被害状況を調査した際に撮影したもので、

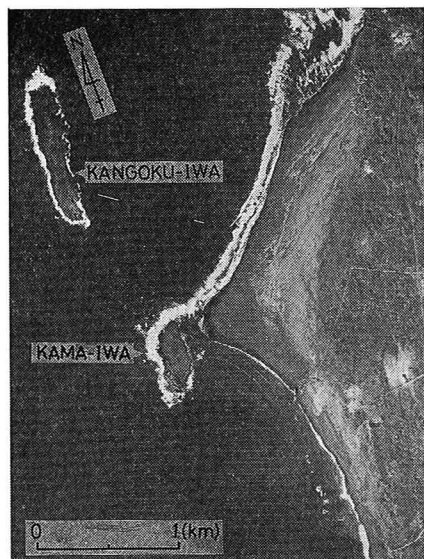


写真-1 トンボロの決壊部ならびに周辺の汀線状況（昭和 58 年 11 月 8 日撮影：海自第 4 航空群）

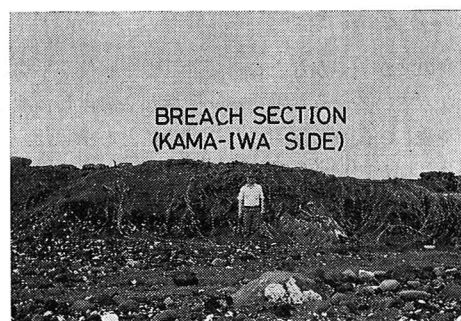


写真-2 釜石側の決壊部断面（昭和 58 年 11 月 25 日撮影：著者の一人）

切断されたトンボロ連結部の釜岩側の切断面である。また、この時の調査から、決壊部の水深は 11 月 8 日の時点では約 3 m あったこと、並びに、釜岩の南側海浜では標高 5 m 付近まで波が打ち上げており、巨大な漂流木等が、ほぼ北向きに横たわっていた事を確認した。

著者らの一人は、昭和 57 年 5 月に、決壊部の南方約

* 正会員 Dr.Eng. 防衛大学校教授 土木工学教室
 ** 学生会員 防衛大学理工学研究科海洋工学系列
 *** 学生会員 防衛大学校技官 土木工学教室

1 km, 水深 12 m の地点に超音波式波高計を設置した。なお、波浪データは、写真-1 に見られる最北端（釜岩寄り）のコンクリート船内に設けた観測室で記録してきた。同観測室は、海面上、約 5 m の位置に設けられていたが、11月6日午後7時頃、冠水し、打ち上げられた砂によって完全に埋没した。また、波高計自体も、ほぼ同時刻頃に流失したと思われる。このため、台風時ならびに台風来襲以降の波浪データは得られていない。

現地に駐屯する海上自衛隊の気象班によれば、11月6日の満潮は18時47分であり、21時には最低気圧991 mb を、また、22時には瞬間最大風速 38 m/s をもつ SSW の風が記録されたとの事である。

以上の諸情報から判断して、トンボロは11月6日の夜半から深夜にかけて決壊したものと考えられる。

3. トンボロ決壊後の海浜変化

トンボロ決壊後、現地に駐屯する海上自衛隊硫黄島航空基地分遣隊の支援を受けて、撮影条件が許す限り、毎月1回の割合で、高度 2000 m から西海岸の撮影を行なった。これらの写真は、飛行上の制約によって、大半が斜め写真であった。このため、撮影したフィルムは全てスライドにし、これらを試作した斜め写真解析装置を介して、標準用写真（縮尺 1/4000）の上に投影して汀線の位置を定めた。このようにして求めた汀線図は、アナログ図形デジタル変換機にかけ、現地寸法で約 10 m のサンプリング間隔でデジタルデータに変換した。

(1) 汀線の経時変化

図-1 は、上述のような処理を終えて得られた汀線データを図化させたものである。なお、図中には、台風が来襲する前の月の10月1日に撮影した汀線位置が点線で示してある。この図から、以下の諸点が読みとれる。

(a) 台風17号により、釜岩の南側汀線は約 1 km にわたって、50 m 程度後退しているが、釜岩より北へ約 1.5 km から 2.5 km にかけては、汀線が 100 m 程度、前進している。

(b) 決壊部は12月17日の時点（台風来襲40日後）では、釜岩と完全に連結しているが、釜岩より南側の汀線は依然として後退したままである。また、釜岩の北側の決壊部周辺では、汀線が、やや前進している。

(c) 59年5月17日の時点（台風来襲6ヵ月後）では、釜岩の北 1.5 km から 2.5 km にかけて現われていた、汀線が異常に前進していた部分は、ほぼ台風来襲前の汀線位置まで後退しており、西海岸の汀線は、一部を除き58年10月1日の汀線位置にまで復帰している。

(2) 前浜面積の経時変化

図-1 に示した汀線位置の経時変化をより定量的に調べるために、昭和58年10月1日に撮影された汀線の位

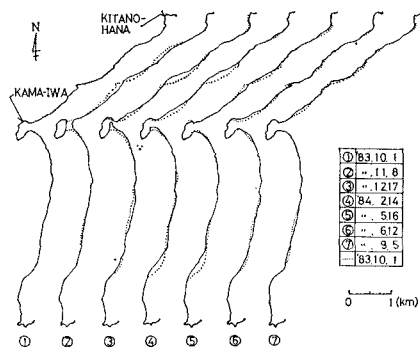


図-1 トンボロ決壊後の汀線の経時変化

置を基準にとり、以後の前浜面積の変化量を算出した。ただし、変化量 ΔS は、釜岩の北および南海岸の各汀線に、それぞれ平行な基線を設け、同基線上を 500 m 毎に分割して、各分割区間で算出した。

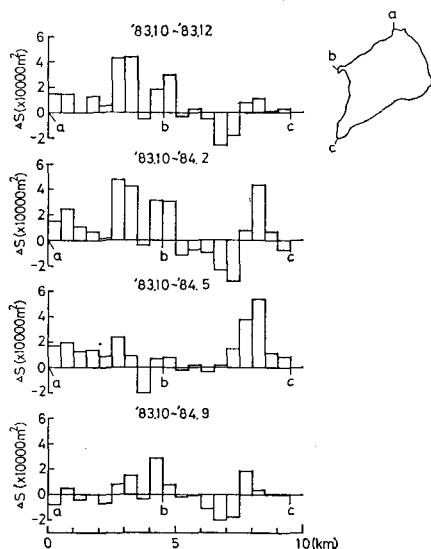


図-2 前浜面積の経時変化

図-2 は、上記方法により算出した前浜面積の変化量 ΔS の経時変化を示す。図中、横軸には、西海岸の北端の北の鼻（a 点）から、汀線に沿って南端の摺鉢山（c 点）に到すまでの距離が示されている。

この図から、以下の諸点が明らかになった。

(a) 12月17日（台風後40日経過）の時点では、釜岩の北部 1.5 km から 2.5 km の海岸では、前浜が約 80,000 m² 増大している。また、釜岩近傍（決壊部を中心にして、南北方向にそれぞれ 500 m の範囲）では、前浜が約 50,000 m² 増大している。ただし、これは主として釜岩のすぐ北側にある汀線が前進したことによるもの

であり、決壊部は、依然として、決壊前の状態には復帰していない。

(b) 昭和59年2月14日(台風後3カ月経過)の時点では、釜岩近傍の前浜は依然として増大し続けているが、釜岩より約2km南へ下った所では、前浜が約5万 m^2 減少している。これは、北部海岸からの漂砂が決壊部周辺の回復のために使用されたためと考えられる。

(c) 春季に入った59年5月17日(台風後6カ月経過)の時点では、釜岩より北1.5kmから2.5kmの汀線は、依然として約40m前進したままになっているが、釜岩より南へ約2km下った地点に現われていた汀線の後退は、ほぼ、台風来襲前の汀線位置に復帰し、更に、それより南へ下った地点では約10万 m^2 、前浜が増大している。これは、決壊部が台風来襲前の状況に復帰した後、北部海岸からの漂砂が供給され始めた事、並びに、4月以降、卓越波向が西および南西方向に変ったために生じたものと思われる。

(d) 59年9月5日(台風後11カ月経過)の時点では、釜岩の北および南部海岸の一部を除いて、汀線はほぼ台風来襲前の位置にまで復帰している。

(3) 決壊部の面積変化

図-3は、58年11月8日以降の決壊部面積の経時変化を示したものである。この図から、以下の諸点が明らかになった。

(a) 釜岩との連結部は台風17号によって、約4.9万 m^2 流失したが、以後、40日の間には平均して1,000 m^2 /日の割合で増大し、58年12月17日の時点では、決壊前の面積の約81%にまで回復した。

(b) 決壊部の面積は、続く2カ月の間には日平均で約500 m^2 の割合で増大し、更に59年2月以降5月までの間には約250 m^2 /日の割合で増大した。

このように、決壊部の面積増大速度は時間の経過と共に減少してはいるものの、依然として増大を続けている。

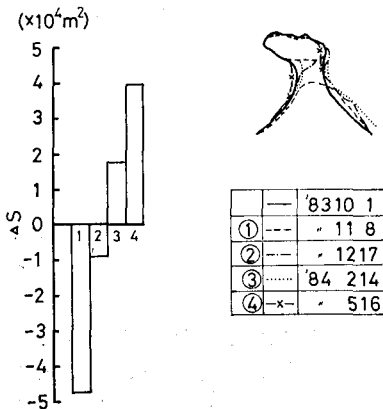


図-3 決壊部面積の経時変化

る。なお、増大速度が減少した原因は、先きにも触れた様に決壊部が回復後、北方からの漂砂が釜岩を廻って南部海岸に輸送され始めた事、並びに4月以降、西海岸の卓越波向が北々東から西および南西に変ったことによるものと思われる。

49 室内実験による決壊部結合過程の検討

(1) 実験装置および実験方法

実験海域には、釜岩をはさんで東西に2.7km、南北に4kmの海域を選んだ。次いで、同海域の海底地形を昭和57年に水路部から発行された硫黄島周辺水深図(昭和56年4月から6月にかけて測定されたデータにより作製)に基づいて、水平縮尺を1/1000、垂直縮尺を1/500に歪めて縮小し、模型化した。同模型は、長さ12m、幅4.5m、深さ1.2mの造波水槽内に設置し、模型床部上には豊浦産標準砂を厚さ2cmに敷きつめた。なお、決壊部分および汀線位置は昭和58年11月8日に撮影された航空写真並びに現地調査等の資料に基づいて補正した。図-4は上述のようにして作製した模型海浜の等深線図を示す。なお、この等深線図は、実験海域の中に設けた南北方向に3km、東西方向に2.1kmの観測区域の等深線図であり、外枠に付した記号および数値は観測用に設けた測線名である。

実験波には、縮尺上の制約も考慮して硫黄島において荒天時に観測される波浪($H_{1/3}=5.0m$, 周期=15s)を用いることにし、これに対応する沖波波高1cm、周期0.4cmの規則波を用いることにした。また、波向は、トンボロ決壊部の結合過程が主として冬期に進行したことから、硫黄島における冬期卓越波向である北々東を用いることにした。

以上の実験条件の下で予備実験を繰り返した結果、決壊部が釜岩に連結し、連結部の面積が決壊前の面積のほぼ50%にまで回復するのに20時間を要する事を確かめた。従って、波の作用時間は20時間に定めた。

本実験では、上記観測区域内に5cm間隔のグリッド

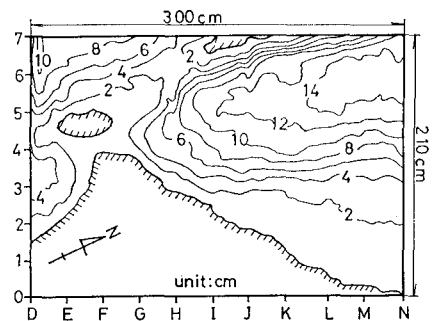


図-4 海底模型の等深線図

を設け、グリッドの各格子点において、3時間毎に、海底地形および波高分布を測定した。また、汀線位置は水槽上約 3 m の位置に取りつけてある、 x, y 方向に移動可能な撮影台車にカメラを取り付け、スライド用フィルムを使用して、同じく 3 時間毎に撮影した。

(2) 実験結果および考察

図-5 は、実験開始後、3 時間目の波高分布を示す。なお、等高線に付した数字の単位は mm である。一方、図-6 は、Skovgaard ら⁷⁾の考え方にならってプログラム化し、ルンゲ・クッタ・ジル法を用いて計算した屈折図である。ただし、本計算には床部摩擦の影響は入れていない。また、時間刻みは 0.1 秒として計算した。図中に示す実線は 10 cm 間隔に出した波向線であり、波向線先端の×印は碎波点を示す。また、点線は 0.2 秒毎の波峯線の位置を示す。計算による波高分布は、ほぼ実測した波高分布と一致し、波峯線も写真撮影によって得られた波峯線とかなりよい一致を示した。

図-7 は、実験開始後、3 時間おきに撮影した汀線部の写真のうち、6 時間毎の汀線位置を示したものである。なお、図中には、昭和 58 年 10 月 1 日の汀線位置も点線で示してある。図中、測点番号 J から L にかけては、

台風 17 号によって汀線が前月の 10 月 1 日の汀線位置より約 100 m 前進した部分であり、測線 G から I にかけては、前月の汀線より約 50 m、後退した部分である。時間の経過に伴って、測線 J から L にかけての汀線は後退し、逆に G から I にかけては前進している。これらの現象は、図-1 および 2 に示した現地の汀線変化と、よく対応している。

次に決壊部の回復過程について、更に詳しく調べてみる。図-8 は、決壊部の 3 時間毎の変化図である。図中測線 $F1$ は、 F 測線より北側 5 cm の位置に設けた仮測線である。また、 F 測線上に付した数字は、図-7 にも示してある南北方向の測線番号である。この図から明

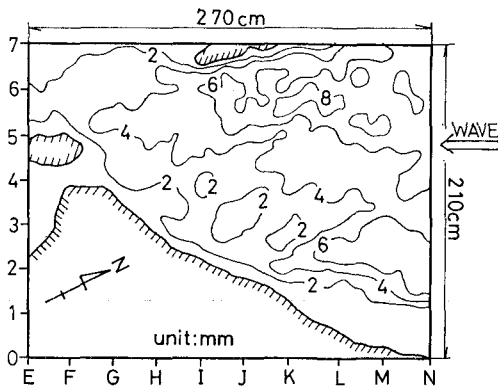


図-5 実測等波高線図

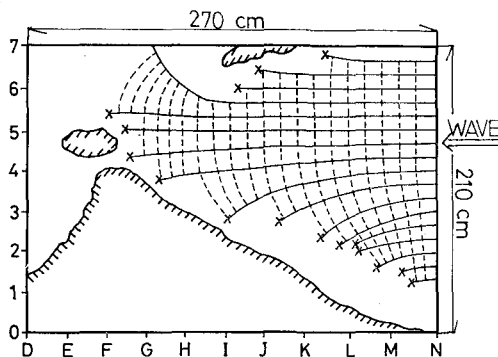


図-6 屈折図

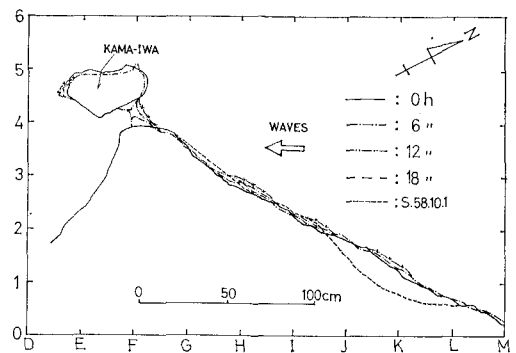


図-7 トンボロ決壊部及び汀線の経時変化

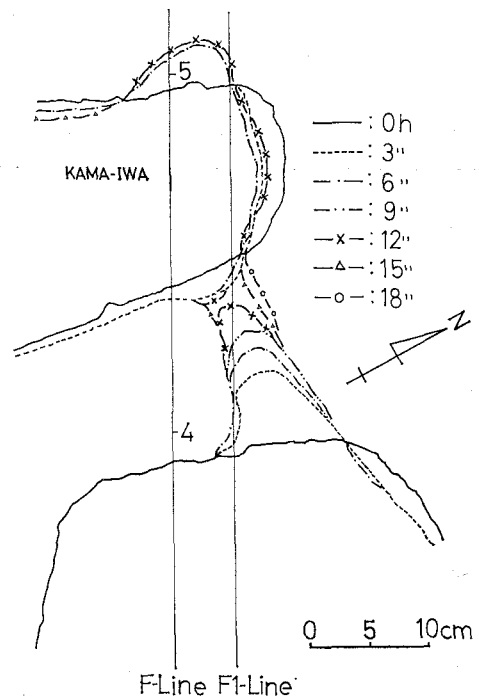


図-8 決壊部の回復過程

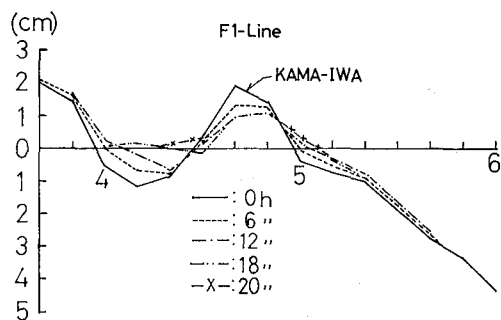


図-9 断面の経時変化

らかなように、実験を開始して3時間後には、決壊部のすぐ北側および釜岩自体の北側汀線が共に侵食を受けて後退し、同時に、トンボロの決壊部先端と釜岩西端から砂しが伸び始めている。また、対岸の釜岩側切断面の汀線も前進を始めている。以後、時間が経過するにつれて、これらの砂しは、トンボロ北部の汀線にはほぼ平行な方向に伸び続け、12時間後には、ほとんど完全に釜岩と連結した様子が判る。

また、図-7にも示した様に、決壊部が連結された後には、決壊部の西側で更に汀線を前進させながら、沿岸漂砂は回折波の影響によって、釜岩西方を迂回し、釜岩の南端に新たに砂しを形成し始めている。一方、図-9は、図-8に示したF1測線での縦断面の経時変化を示したものである。

以上、図-7、8および9に示した実験結果は、図-1および2に示した現地での汀線変化と極めてよい対応を示している。この事はトンボロ決壊部の結合過程が現地における冬期卓越波である北々東からの波によって支配

的影響を受けた事を明確に示しているものと思われる。

5. おわりに

硫黄島の西海岸に成長したトンボロの先端部は、昭和58年11月7日、現地を襲った台風17号によって、幅約200mにわたって決壊した。本研究では台風後、1年にわたって、月一回の割合で撮影した汀線部の写真を解析することにより、トンボロ決壊部の回復状況並びに汀線の経時変化を詳細に検討した。その結果、トンボロの決壊部は、同島における冬期卓越波の影響を受けて、決壊後40日間のうちに決壊前の面積の約81%まで回復し、3ヵ月後には、ほぼ決壊前の状態にまで回復した事を確かめた。ただし、西海岸全体の汀線が台風来襲前の位置にまで復帰するには、約1カ年を要した。

一方、冬期卓越波に相当する比較的荒い波を作用させて室内実験を行なった結果、現地観測によって得られた決壊部の回復過程ならびに汀線の経時変化を、ほぼ再現することができた。なお、one-line theoryを用いた汀線変化の計算によっても、ほぼ現地の汀線変化を再現できる事を確かめているが、これについては講演会で報告する予定である。

謝辞・本研究の実施にあたり、海上自衛隊第4航空群、同硫黄島航空基地分遣隊、陸上自衛隊101測量大隊、ならびに航空自衛隊輸送航空団等から多大の支援を受けた。ここに記して、謝意を表わす。

参考文献

- 1) Skovgaard, O., Jonsson, I.G. and Bertelsen, J.A.: Computation of wave heights due to refraction and friction; Journal of Waterways, Harbors and Coastal Engineering Div., ASCE, Vol. 101, No.WW1, pp. 15~32, 1975.