





# リーフ上に打ち上げられたサンゴ礁岩塊位置による 歴史大波の推定

仲 座 栄 三\*・津 嘉 山 正 光\*\*・松 田 和 人\*\*\*・日 野 幹 雄\*\*\*\*

## 1. はじめに

リーフ地形海岸における波の現地観測の際、筆者らは礁原の先端から岸側に約 100 m 程度離れた位置に無数のサンゴ礁岩塊が打ち上げられ、それが直線的に、しかも礁原先端（礁縁）線に平行に並んでいるのに気付いた。サンゴ礁岩塊が陸上に打ち上げられた例として、1771 年に発生した明和の大津波（沖縄県の八重山諸島近海に震源を持つ地震による津波）によって打ち上げられた津波石（リーフ沖の礁斜面海底にあったサンゴ礁岩塊が津波によってリーフ上あるいは陸上に打ち上げられた岩石のことで、重さが 300 t に達する石もある）がよく知られている（牧野, 1968）。

本報告の対象とするサンゴ礁岩塊は、20~25 t 程度の岩塊で暴風波浪によって移動し得るものであり、しかも比較的礁縁付近に直線的に分布している岩塊群である。

上述のサンゴ礁岩塊は津波及び暴風波浪のいずれかによって打ち上げたものと考えられるが、いずれにしてもこれらのサンゴ礁岩塊が現在の位置に安定していることは、これらの岩石を現在の位置からさらに岸側に移動させるだけの波はこれまで来襲していないことになる。すなわち、サンゴ礁岩塊位置の礁原先端からの距離と当海岸に来襲した歴史大波の波高とは何等かの関係があるものと考えられる。

以上のことから、本報告ではリーフ上に打ち上げられたサンゴ礁岩塊の分布位置から歴史的な大波の波高（あるいは流体力）を推定するという一つのアイデアを提案する。勿論そのためには、これらの岩石の安定問題に関するデータが必要となるが、リーフ上の岩塊（あるいは捨石）の安定問題に関する研究は少なく、本報告に適用し得るものは見いだされなかった。そこで、本研究においては、このようなデータを得るために、リーフ上のサンゴ礁岩塊の安定に関する実験も行ったので、その結果についても述べる。

## 2. サンゴ礁岩塊の現地調査

### (1) 沖縄県南部のサンゴ礁岩塊分布状況

図-1 に琉球諸島の位置図を示した（目崎, 1968）。図中、×印で示す海岸が、サンゴ礁岩塊が多く見られる海岸である。但し、これらは、筆者らが直接あるいは写真等によって間接的に確認した海岸のみを記してあり、実際にはもっと多くの海岸でもサンゴ礁岩塊が見られるものと考えられる。図示の通り、リーフ上に打ち上げられたサンゴ礁岩塊は、沖縄県のほとんどの海岸で見られるが、ここでは、沖縄本島南部の東海岸（糸満市・米須海岸）及び久高島の東海岸に打ち上げられたものについて述べる。特に、これらの海岸に限定するのは、この 2 箇所の海岸の場合、ほとんどのサンゴ礁岩塊が比較的礁縁に近いところに分布し、陸上部には全く発見されなかったことによるものである（図-2 参照）。

図-3 は、久高島に打ち上げられたサンゴ礁岩塊の分布を示している。リーフ上に●印で示したのがサンゴ礁岩塊の分布位置である。久高島は、沖縄本島南部の知念岬から北東に約 5 km 離れた有人島である。久高島の東海岸の礁原長は約 3.5 km、平均的な礁原幅は 250 m であり、礁原上の水深は満潮時で約 1.5 m である（最大干潮時に礁原は完全に干出する）。

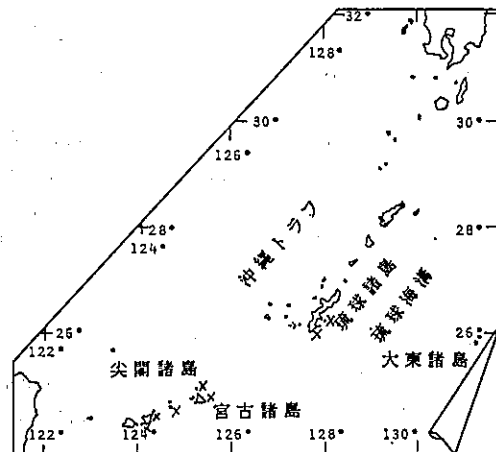


図-1 琉球諸島位置図

\* 正 会 員 工 修 琉球大学助手 工学部土木工学科  
 \*\* 正 会 員 工 修 琉球大学助教授 工学部土木工学科  
 \*\*\* 学 生 会 員 琉球大学大学院工学研究科  
 \*\*\*\* 正 会 員 工 博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

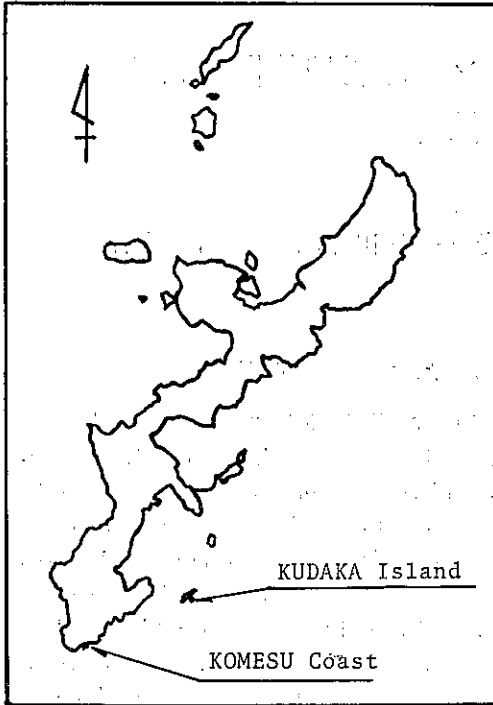


図-2 調査対象海岸

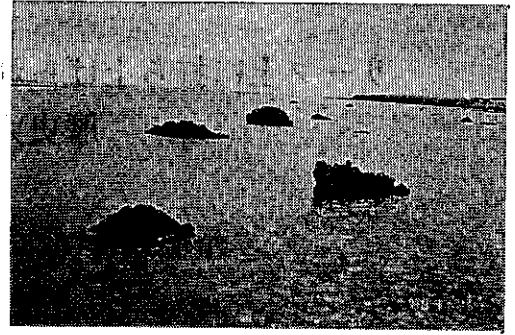
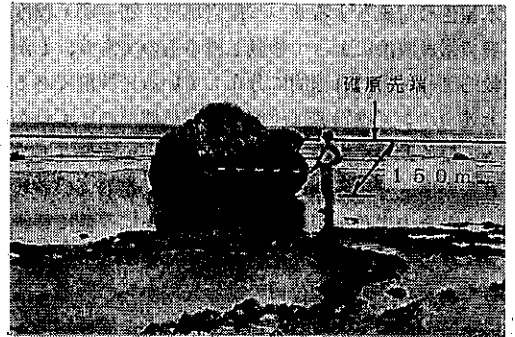


写真-1 サンゴ礁岩塊の分布状況



(a)



(b)

写真-2 サンゴ礁岩塊の形状

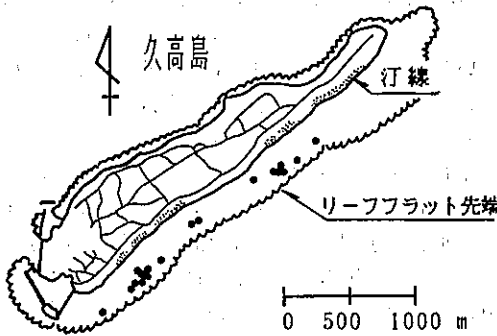


図-3 久高島東海岸におけるサンゴ礁岩塊の分布

図示のように、サンゴ礁岩塊は礁縁から岸側に 100~150 m 程度離れた所にあり、しかも礁縁にほぼ平行に点在している。

写真-1 は、図-3 に示すサンゴ礁岩塊の分布状況の写真である (1988 年 11 月 25 日、撮影時の水深は約 1 m)。サンゴ礁岩塊は、この写真に示すように満潮時でもその存在を確認できるほどの大きさのものが多く点在している。また、これらのサンゴ礁岩塊は、写真-2 (a) に示すように、一般には平べったい形状を有するが、写真-2 (b) に示すような丸みを帯びたサンゴ礁岩塊も多く見られた。写真-2 に示すサンゴ礁岩塊の比重は、その破片の比重測定から約 2.6 であり、図-3 に示すサンゴ礁岩塊の重量は、20~25 t と推定される。

図-4 は、米須海岸のリーフ上に打ち上げられたサン

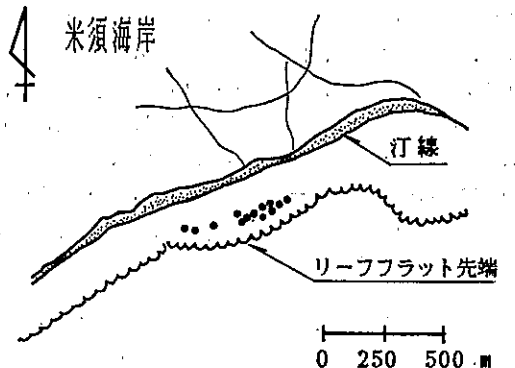


図-4 米須海岸におけるサンゴ礁岩塊の分布

ゴ礁岩塊の分布を示している。この海岸においてもサンゴ礁岩塊は、図-3と同様、リーフフラット先端(礁縁)から約100m程度岸側に直線的に分布している。

(2) サンゴ礁岩塊が海底にあったことの確認

本研究においては、サンゴ礁岩塊の礁原先端からの距離に主眼を置いており、サンゴ礁岩塊がどのような理由から現在の位置にあるかはあまり問題とならないが、以下においては、図-3及び4に示すサンゴ礁岩塊が水中にあったものと判断される理由について簡単に述べる。



写真-3 波食ノッチを有するきのこ岩

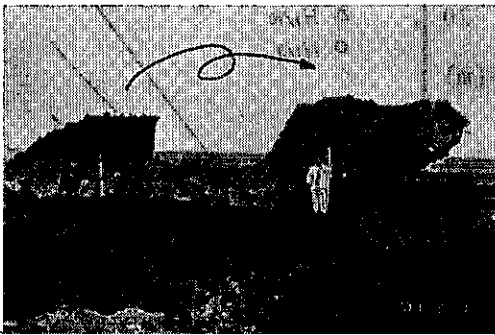


写真-4 波の作用を受けて折れたきのこ岩

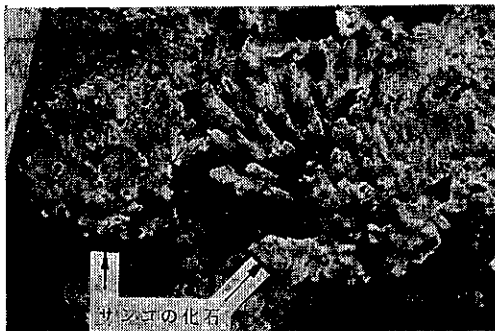


写真-5 サンゴの化石

写真-3は、リーフに根をおろし、波食ノッチを有する“きのこ岩”である。こうしたきのこ岩は、波の作用を受けて選択的に浸食され、ついにはノッチの細くくびれた部分から折れてしまうことになる。写真-4は、写真-3に示したようなきのこ岩が衝撃的な波の作用を受け、折れて半回転し、枕を敷いた状態で安定している岩塊を示している。図-3、4に示すサンゴ礁岩塊もこのようにしてできた岩塊とも考えられるが、これらの岩塊の周りには写真-4に示すようなきのこ岩の根元の部分が見つかっていないので、この点については明確に断定することはできない。

写真-5は、図-3で示すサンゴ礁岩塊のいくつかに見つかったサンゴの化石の写真である。サンゴは、海面から2時間以上干出すると死滅すると言われていることから、これらのサンゴ礁岩塊は過去に水中にあったものと考えられる。また、後で実験によって示すように、引き波時に礁池(イノー)等から沖方向へ運ばれたとは考えられないので、これらのサンゴ礁岩塊がリーフフラット先端から沖側の礁斜面(水中)にあったものと考えられる。

3. サンゴ礁岩塊の安定実験

(1) 実験装置及び実験方法

実験には、長さ27m、幅0.7mの二次元不規則造波水槽を用いた。リーフ地形海岸のモデルは、図-6に示すように、リーフ幅が4m、リーフ上の水深は満潮時に対応する0.02mとした(縮尺は、1/100)。また、汀線部は勾配1/10の海浜とし、リーフフラット先端部から沖側には1/10の勾配の礁斜面を有するものとした。

入射波は、JONSWAP及びブレットシュナイダー・光易型のスペクトルを有する不規則波を用いた。入射波

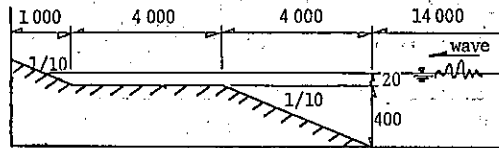


図-6 モデル海岸概要図

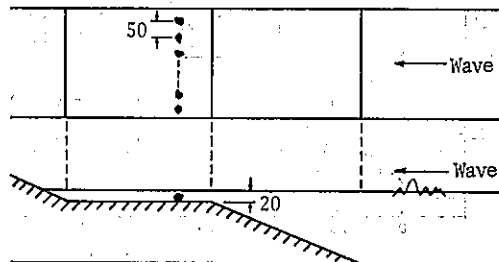


図-7 岩塊の配置方法

の有義波波高は 4.0~9.0 cm であり、有義波周期は 1.2 秒である。

サンゴ礁岩塊モデルには、重さが 20 g 及び 25 g の 2 種類で形状が様々な碎石 (30 個) を用いた。入射波は、これらの碎石を 図-7 に示すように波の進行方向に直角に等間隔で並べた後に作用させたが、碎石 (以下捨石という) が移動したかどうかの判断は、捨石が初期位置から 5 cm 以上移動したかどうかを基準にして行った。また、移動した捨石の全体数に対する比率を捨石の被害率として定義した。

## (2) 実験結果

図-8 は、リーフ上に並べられた捨石に如何なる条件の波が作用する時に捨石が移動するかを調べたもので、捨石と隣接して設置された波高計及び電磁流速計で記録された水面変動と流速の波形である (時間は現地スケールで表示)。図中、矢印は、捨石が動いたことを意味している。また、短周期で振動しているのが個々波に対応しており、長い周期で滑らかに振動しているのが Surf-beat の波形に対応している。図示のように、捨石は、Surf-beat の先端付近で主に動いている。Surf-beat に関係なく捨石が移動する時もあるが、これは、砕波後の個

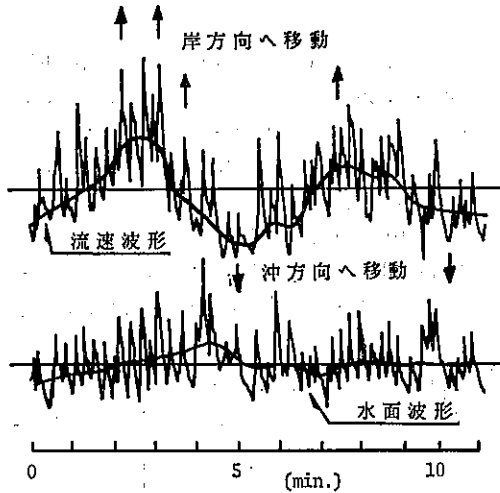


図-8 捨石が移動する場合の流速および水面の波形

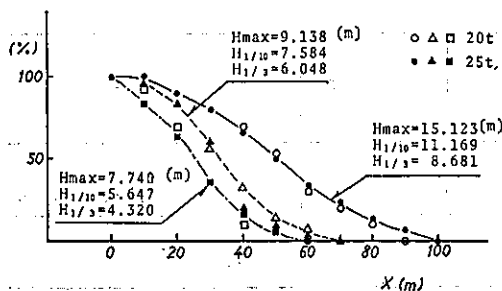


図-9 礁原先端からの距離による捨石の被害率の変化

々波がリーフ上を進行する際、これらの波が 2~3 個合体し、一体となって捨石の上を通過する時に捨石に大きな波力を及ぼすことによるものである。また、捨石が沖側に移動する場合もあるが、これは Surf-beat の引き波時の強い流れによるものである (日野ら, 1988)。しかし、汀線近くでは、岸向きの流速が卓越するためこのように捨石が沖向きに移動することはない。

図-9 は、リーフフラット先端からの距離による捨石の被害率の変化を示している。図中、白抜き印は重さ 20 g の捨石に対応しており、黒塗りの印は重さ 25 g の捨石に対応している。捨石の被害率は、いずれもほぼ同じ傾向にあり、リーフフラット先端からの距離によって指数曲線的に変化している。これは、リーフ上の波高分布が指数曲線的に低減することによるものである。

図-10 は、捨石の被害率がゼロとなる位置 (リーフフラット先端からの距離) と入射波波高との関係を示している。この図より、入射波波高と捨石が安定となる (すなわち、被害率がゼロとなる) 位置のリーフフラット先端からの距離との関係は、ほぼ直線関係にあることが分かる。

以下においては、この結果を用いて前述の沖縄県南部糸満市・米須海岸と久高島の東海岸に襲来した歴史大波の波高を推定する。

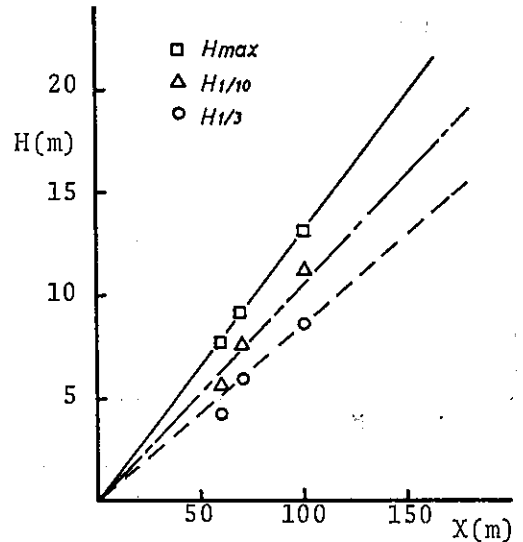


図-10 捨石の安定位置と沖波波高との関係

## 4. 歴史大波の推定

はじめにも述べたように、現地海岸におけるサンゴ礁岩塊を現在の位置よりさらに岸側に移動させるだけの流体力を有する波は来襲していないことになるので、図-10 に示す実験結果に基づいて、上記海岸に襲来した歴史大波を推定することができることになる。

## (i) 久高島の東海岸に襲った歴史大波

この海岸の場合、サンゴ礁岩塊は図-3に示すように、礁縁から約150mの位置に多く点在するので、図-10から、最大波高で約20mの波と推定される。

## (ii) 米須海岸に襲った歴史大波

この海岸では、平均的なサンゴ礁岩塊の位置を礁縁から130mとして、最大波高18m程度と推定される。

ここで求めた波高は、現行の設計等で用いられている100年確率の沖波波高とほぼ一致する。また、これまで沖縄本島で観測された有義波波高の最大値が、約12mである(江頭ら,1985)こと等から、上述の推定波高は妥当な値と考えられる。

## 5. おわりに

本報告では、リーフ地形海岸に打ち上げられたサンゴ礁岩塊の分布位置から、沖縄本島の東海岸に襲った歴史大波の波高を推定し得るという一つのアイデアを提案した。具体的には、サンゴ礁岩塊の平均的な礁縁からの距離とリーフ上の捨石の安定に関する室内実験結果を基

に、歴史大波の波高は18~20mであるという結論等を得た。しかしながら、これらの値は数少ない実験結果を基にしており、今後検討すべき点が多いことを付記する。

謝辞 本研究を行うにあたり、琉球大学土木工学科の宇座俊吉技官には多大な協力を得た。また、実験に際し、水工学研究室の与義実和君を始め、院生及び4年次の学生に全面的な協力を頂いた、ここに記して感謝致します。

最後に、本研究の一部は、文部省科学研究費奨励研究(代表:仲座栄三)の援助を受けていることを付記する。

## 参 考 文 献

- 江頭和彦・福田 功・岸良安治・西村達郎(1985): リーフによる波浪変形の現地観測, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 90~94.  
日野幹雄・仲座栄三・與那覇健二(1988): 波群によって引き起こされるBore状サーフピートに関する研究, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 197~201.  
牧野 清(1968): 八重山の明和大津波, 自费出版, 462p.  
目崎茂和(1988): 南島の地形, 沖縄出版, 158p.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for transparency and accountability, particularly in financial reporting and compliance with regulatory requirements. The text notes that incomplete or inconsistent records can lead to misunderstandings, disputes, and potential legal consequences.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for standardized procedures to ensure the reliability and validity of the information gathered. The document also discusses the challenges associated with data collection, such as incomplete data, measurement errors, and the potential for bias. It suggests that using multiple data sources and cross-validation techniques can help mitigate these issues.

3. The third part of the document focuses on the analysis and interpretation of the collected data. It describes the various statistical and analytical techniques used to identify patterns, trends, and relationships within the data. The text emphasizes the importance of clearly defining the research objectives and hypotheses before conducting the analysis. It also discusses the need for careful interpretation of the results, taking into account the limitations of the data and the potential for confounding factors.

4. The fourth part of the document discusses the reporting and communication of the findings. It emphasizes the importance of presenting the results in a clear, concise, and accessible manner. The text suggests using a variety of visual aids, such as tables, charts, and graphs, to help illustrate the data. It also discusses the need for transparency in reporting, including disclosing any limitations or potential biases in the study.

5. The fifth part of the document discusses the implications and applications of the findings. It highlights the potential for the research to inform policy-making, practice, and further research. The text suggests that the findings should be shared with relevant stakeholders and used to guide decision-making. It also discusses the need for ongoing monitoring and evaluation to ensure that the findings remain relevant and applicable over time.