

琉球大学学術リポジトリ

沖縄戦の石及び沖縄戦の弾痕

メタデータ	言語: ja 出版者: 沖縄科学防災環境学会 公開日: 2024-02-06 キーワード (Ja): キーワード (En): boulders of the Battle of Okinawa, World War II, Okinawa island, Kudaka island 作成者: 仲座, 栄三, 菅沼, 匠人 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24564/0002020156

沖縄戦の石及び沖縄戦の弾痕

仲座 栄三¹・菅沼匠人²

¹正会員 琉球大学教授 工学部 (〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地)
E-mail: enakaza@tec.u-ryukyu.ac.jp (Corresponding Author)

²琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース学生 (〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地)

沖縄島の東海岸沿いのサンゴ礁のリーフ上に直径数メートル高さ数メートルの岩塊が点在している。特に、久高島東海岸及び米須海岸に数多く存在する。これらの岩塊は、台風などの高波によってリーフ先端沖のサンゴ礁斜面から発生し、高波によってリーフ上を岸向きに移動させられたものと考えられてきた。そのため、これらの岩塊は“台風石”とも呼ばれている。本論は、これらリーフ上の巨大な岩塊が、台風によって発生したものではなく、1945年の沖縄戦の艦砲射撃による砲弾の炸裂によってサンゴ礁が破壊されて発生したものであることを見出している。巨大な岩塊は、サンゴ礁上のみではなく、汀線背後の海岸断崖付近にも数多く存在している。サンゴ礁のリーフ上には弾痕を示す直径数十メートルにも達するクレーター状の穴も数多く見られる。著者らは、これらの岩塊及びリーフ上の弾痕をそれぞれ“沖縄戦の石”及び“沖縄戦の弾痕”と命名している。

Key Words : boulders of the Battle of Okinawa, World War II, Okinawa island, Kudaka island

1. はじめに

1945年の沖縄戦からおおよそ80年を迎える今日、沖縄戦の実体験を語る方々も少なくなり、その教訓の継承が課題となっている。“鉄の暴風”と言われる沖縄戦時の艦砲射撃の激しさは、戦時を語る映像フィルムや、写真あるいは資料などで説明しているものの、その砲弾の炸裂の実態を語る実物は、戦後の地表の改変などで殆ど消えてきている。

このような状況において、著者らは、沖縄戦の艦砲射撃砲弾の炸裂の激しさを実証するサンゴ礁の巨大岩塊及びその散乱分布を見出したので、ここにこれらを公表する。砲弾の炸裂の激しさは、サンゴ礁岩塊の発生のみではなく、リーフ上の弾痕やサンゴ礁の崩壊箇所としても表れ、海岸断崖の大規模崩壊や岩塊のするどい割裂などにも見られる。本研究は、沖縄戦の際の砲弾の炸裂によって発生したと判断されるこれら巨大な岩塊に“沖縄戦の石”と命名し、砲弾破裂痕跡に“沖縄戦の弾痕”と命名する。

2. 調査の対象とした主なる海岸と調査方法

沖縄戦時の艦砲射撃の砲弾の炸裂痕跡をGoogle Earthや

直接海岸部からの目視観測で行ったところ、沖縄島の多くの海岸に見られた。本研究では、特に岩塊の発生や弾痕の数の多い、久高島の東及び西海岸、沖縄島南部の東海岸に限定して調査を行った。図-1に調査対象とした海岸位置をGoogle Earth画像上に緑色のピンで示す。北から久高島、摩文仁の丘周辺の海岸、米須海岸、荒岬海岸、喜屋武岬となっている。

調査では、あらかじめGoogle Earthの画像を分析し、岩塊の分布している範囲を特定した。次に実際に現地でドローンを用いた空撮を行うと共に、岩塊位置において寸法測定及び写真撮影、光波による位置測定を行った。ドローンによる空撮は、地表高度50m～80mで行った。

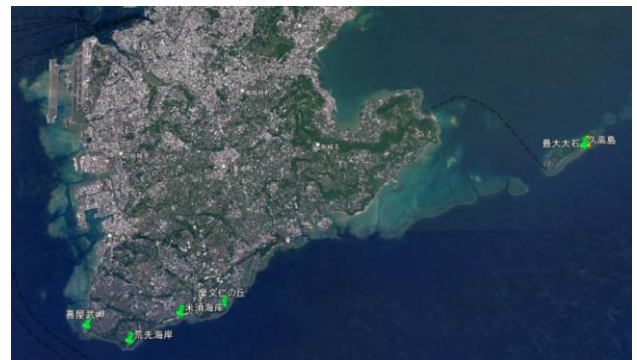


図-1 主な現地調査位置 (久高島, 沖縄島南部の海岸)



(a) 岩塊の分布状況



(b) 最大規模の岩塊

図-2 久高島の東海岸のリーフ上に点在する岩塊

撮影した画像は、静止画に変換し、画像解析ソフトを用いてパノラマ化した。

3. 久高島におけるサンゴ礁岩塊と弾痕

図-2に、久高島の東海岸のリーフ上に点在する岩塊の例を示す。この海岸には、図-2(a)に示すように、無数の岩塊がリーフ上に点在する。図-2(b)は、それらの中でも最大規模の大きさを示す岩塊の様子を示している。この岩塊の周長はおおよそ22mであり、高さは約1.5mである。岩塊の比重を2.6程度とすると、この岩塊の質量はおおよそ150tとなる。これらの岩塊の分布を初めて明らかにし、リーフ先端から岩塊位置までの距離によって来襲波の最大波高が推定可能であることを明示したのは、1989年の仲座ら¹⁾である。それから10年を経て恩田²⁾が台風による高波と岩塊の分布との関係の調査を行っている。それからさらに10年を経てGotohら³⁾が岩塊の分布を調べている。また、最近に至っては、久高島における岩塊の存在を指摘し、それらと台風に伴う高波との関係を実験的に明らかにしようとする試みも増えている。しかしながら、不思議な事に、それらには先進的研究となった仲座らの研究成果は殆ど触れられていない。

仲座ら¹⁾は、これらの岩塊が台風の高波によってリーフ上を移動させられたと判断すると共に、それらが元々はリーフ先端沖のサンゴ礁斜面上に水没した状態にあったことを説明している。しかしながら、それらの岩塊がいかような作用で発生したかについては、未知であるとの説明を与えている。その後に見れた研究などでは、リ

ーフ上の岩塊は台風に伴う高波などの自然的作用によってリーフ先端沖のサンゴ礁斜面が破壊されて、リーフ上に打ち上げられ、さらに岸向きに移動させられたものと判断している。特に、最近の研究では、これらの岩塊を“台風石 (Storm boulder)”と呼ぶにまで至っている。恩田²⁾は、台風に伴う高波による岩塊の発生と移動が、リーフ内の礁池 (イノー) へのサンゴ破片の堆積 (礁池内の埋没) に関係していると説明している。

著者の内の一人である仲座は、1988年の調査開始以来、なぜ久高島や米須海岸のリーフ上にこれだけの大きさと数の岩塊が存在するのかが不思議なことであるとして、長年調査を継続してきた。なぜなら、他の地域の海岸では、明和津波による岩塊移動を除いて、リーフ上に岩塊が数多く分布するという事例を殆ど見いだせないからである。

この問題が氷解したのは、今日から5年程前に、明治大学教授山内健治博士が仲座を訪ねて来て、「読谷町から北谷町までの海岸のリーフ上に、沖縄戦時の弾痕が見られるという話を聞いたことがあるか」と尋ねたことに端を発している。その当時、仲座は、このようなことについて聞いたことがなく、早速、このことについて調べてみた。これによって、沖縄本島南部の喜屋武岬や摩文仁の丘周辺の海岸断崖や断層崖が何らかの炸裂作用によって崩壊している様子が明らかとなった。さらに、リーフ上では砲弾の炸裂痕が無数に見いだされた。久高島や米須海岸においては、無数の岩塊の分布とリーフ先端付近に弾痕と判断されるサンゴ礁の崩壊箇所が確認された。

図-3は、Google Earth画像で確認できたサンゴ礁上の弾痕を示している (緑色のピン)。リーフ先端沖のサンゴ礁斜面にサンゴ礁の崩壊箇所が円形あるいは楕円形に確認できる。また、リーフ上にいくつかの弾痕が確認できる。図中、青のピンは岩塊位置を表し、黄色のピンは最大規模の岩塊位置を表している [図-2(b)に示す岩塊]。

図-4は、リーフ先端部付近に見られる砲弾の炸裂によ

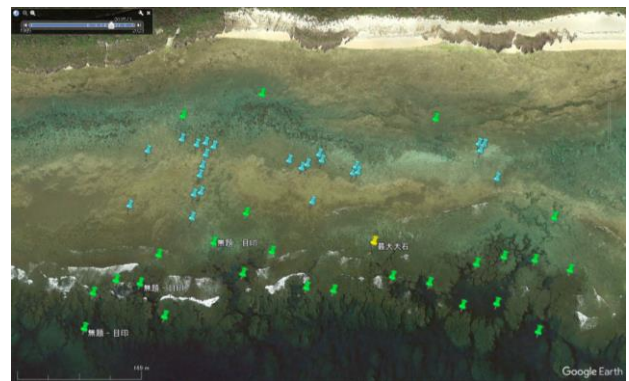


図-3 弾痕 (緑) 及び岩塊位置 (青) の分布

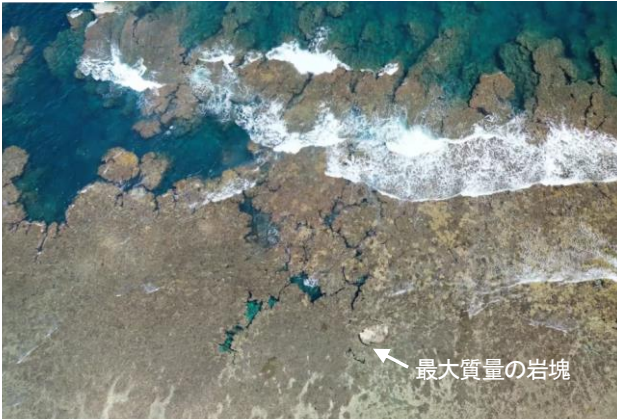


図-4 リーフ先端部のサンゴ礁の破壊とリーフ上の弾痕



図-5 断崖をなす琉球石灰岩の割裂状況



(a) $l=11.7\text{ m}, s=2.5\text{ m}, w=55.3\text{ t}$



(b) $l=11.5\text{ m}, s=1.3\text{ m}, w=35.6\text{ t}$

図-6 米須海岸に点在する岩塊

るサンゴ礁の破壊箇所を示している（ドローン空撮による）。図の左上から右方向にリーフが円形に破壊された状況が認められる。左上に見られる大きな穴は直径がおおよそ30 mであり、その右側の穴は直径がおおよそ20 mとなっている。

図-5に、ドローン空撮によって得た久高島西海岸における断崖の破壊状況を示す。これらの岩塊は断崖を成す隆起石灰岩が砲弾の炸裂の影響によって鋭い切り口をもって割裂したものと判断される。

4. 米須海岸におけるサンゴ礁岩塊と弾痕

図-6は、米須海岸における岩塊の形状を示す。図-6 (a) は、最大級の岩塊であり、質量はおおよそ55 t (l は周長, s は高さ, w は質量) である。図-6 (b)は、平坦な形状をなし、質量はおおよそ36 tである。いずれの岩塊もリーフ先端からおおよそ100 m離れた岸側に存在している。

図-7は、ドローン空撮による画像をパノラマ化し、サンゴ礁上の岩塊位置の分布を●印で示している。図では、サンゴ礁先端付近に無数のサンゴ礁の破壊箇所も確認できる。

図-8は、リーフ先端付近のサンゴ礁の破壊箇所を示している。図には2箇所円形状の穴が現れており、これらの穴からリーフ上に点在する岩塊が発生したものと判断される。これらの穴は複雑な形状をしているが、円形に

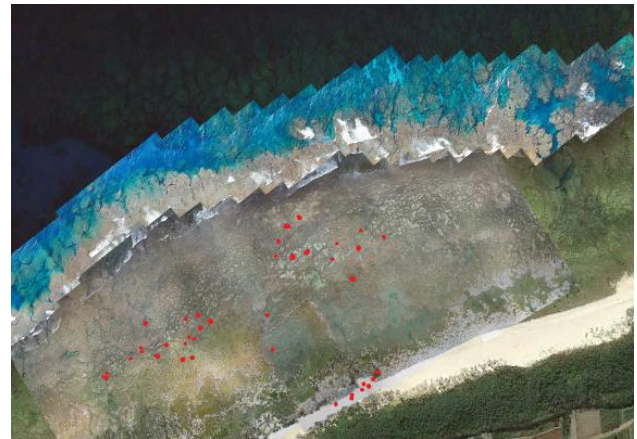


図-7 点在する岩塊位置の分布

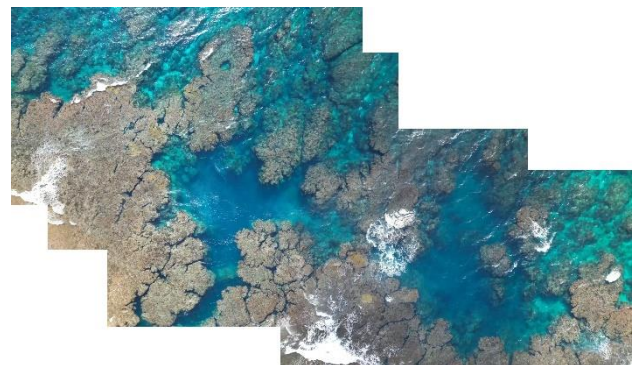


図-8 砲弾の炸裂によるリーフ先端部のサンゴ礁の破壊



図-9 米須海岸南側のリーフ上に残る無数の弾痕

すると直径は40m~50mと推定される。

図-9に、米須海岸から少し南側に下がった海岸のリーフ上に残る弾痕を示す。砲弾の炸裂によって激しく傷つけられた状況が見て取れる。この海岸では、リーフ先端部のサンゴ礁よりもリーフフラット上の方が破壊されており、リーフ上には目立った岩塊の存在は見られない。

5. 海岸断層崖の崩壊

図-10に、隆起石灰岩からなる海岸断層崖の崩壊の様子を示す（ドローン空撮による）。図-10 (a)は摩文仁の丘の南側に位置する断層崖であり、断層崖は鋭く割裂した無数の巨大岩塊へと崩壊している。図の右下側では断層崖の大規模な崩壊が見られる。図-10(b)は、荒岬海岸から喜屋武岬方向に見られる海崖の崩壊であり、ここでも鋭く切り裂かれた状態で巨大岩塊が現れている。このような鋭い切り口の岩塊の割裂は、岩塊の自然な風化現象では見れず、砲弾等の爆裂によるものと判断される。

6. 荒岬海岸に見られる巨大岩塊の移動

図-11に、ドローン空撮によって得られた岩塊の分布及びカサカンジャ岩を示す。図-11 (a)は、直に岩塊の寸法等を測定した岩塊の分布を表す（赤色の実線で囲む位置）。実際には、さらに無数の岩塊が存在するが、それらの一部のみの分布を示している。こうした岩塊の最終到達地点は、断崖先端位置から陸側に100 mも離れて深い植生帯によって覆われており、それらの実態は把握が困難な状態にある。図-11 (b)は、地元でカサカンジャ岩（傘をかぶった岩）と呼ばれている岩を示している（図-11 (a)に、記号Cで表す。標高約11 mの位置に座す）。周長が約26.3m、平均高さが1.2m、質量が174.2tに達する。これらの岩塊は、波が打ちつける断崖やサーフベンチ（周辺に発達するリーフフラットの標高より50~70 cmほど高い位置で水平に沖側に数~数十メートル張り出す棚状の岩場）が剥がれて、波によって運ばれたものと推測される。図-11 (a)に示すカサカンジャ岩の右上側に見



(a) 摩文仁の丘付近の海岸断崖



(b) 荒岬海岸南側の海岸断崖

図-10 海岸断層崖の崩壊



(a) 岩塊の分布



(b) カサカンジャ岩 (l=26.3 m, s=1.2 m, w=174.2 t)

図-11 荒岬海岸における断崖の剥離と岩塊移動

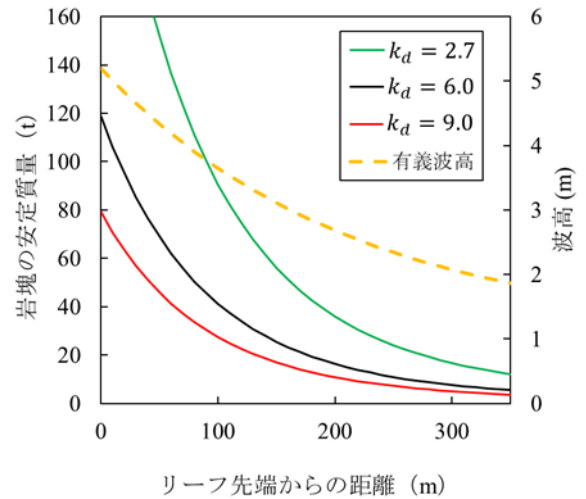
られるサーフベンチの欠けた位置にその発生源があると判断される。カサカンジャ岩の現在の上面は、その岩相から判断してサーフベンチの表面側にあると推測される。したがって、その発生源は現在の海面付近にあったと推測される。カサカンジャ岩の表面付近から採取された貝2個の化石を年代分析したところ、3351-3029 BPおよび774-532 BPという推定年代が得られた。すなわち、カサカンジャ岩はこれらの年代において、海水に触れる状態にあったことになる。こうした年代から今日に至るまでに数mに達するような規模の隆起現象が起きたという実証を著者らは得ていない。沖縄島において大津波が発生したとする実証も得ていない。これらの事実からは、カサカンジャ岩は現在のサーフベンチの標高から波の作用によって打ち上げられたものと推測される。

一方、図-11(a)に記号A及びBで表す2個の岩塊はそれらの形状から判断して、2個の岩塊の右側(25mほど離れた位置)に見られる断崖の空洞部の付け根付近から発生したものと判断される。その空洞部の底部をなすリーフの海側には近接して2箇所弾痕がみられる。空洞部の天井部分は現海面から約100mほど高まった位置にある。これら2個の岩塊は、断崖が剥がれて波で運ばれたと判断される無数の岩塊やカサカンジャ岩とは岩相が異なり、先に説明した空洞部の付け根当たりが発生源と推測される。しかし、その発生源は、現海面から約10mも高い位置にあり、空洞部の沖側に張り出すリーフ長は100mを越えることから、現海面位置の波の作用で運ばれたと推測するには無理がある。

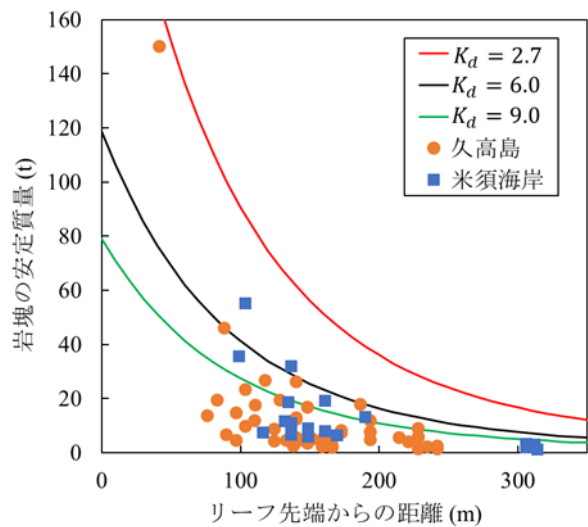
図-11(a)に示す断崖の地表面には数段に亘って約50cm厚の岩層で剥がされた痕跡が棚状に広く分布している。さらに、断崖の海側には、水中に砲弾の炸裂によると判断される無数の弾痕が見られる。すなわち、これらの断崖地表面やサーフベンチは、砲弾の炸裂によって亀裂を受けるとともに、切断され無数の岩塊となり、それが高波の作用で断崖上に運ばれたと判断される。また、空洞部の付け根部分にあった上層面は、砲弾の爆風によって現在の位置A及びBまで直接飛ばされたものと推測される。以上のことから、カサカンジャ岩の発生やその周りに無数に点在する岩塊の発生の要因も1945年の沖縄戦における艦砲射撃の砲弾の爆裂によるものと推測される。

7. リーフ上の岩塊位置から推定される歴史上最大の高波の波高

仲座ら⁷⁾は、久高島のリーフの先端にほぼ平行な形に点在する岩塊の質量とリーフ先端までの距離から、その海岸に来襲した歴史上最大の高波の波高を推定できるこ



(a) 波高及び岩塊安定質量の分布



(b) 岩塊質量の観測値と安定質量の推定値との比較

図-12 岩塊安定質量のリーフ先端からの距離による変化

とを示している。これにならない、本研究による推定結果を以下に示す。図-12は、リーフ先端までの波の変形に合田の算定式を用い、リーフ上の波の変形に高山式を用いてリーフ上の波の波高を推定し、さらに岩塊の移動に式(1)を用いてリーフ先端からの距離に応じた岩塊の安定質量を推定した値を示す。

本研究では、リーフなど水平な海底勾配上の岩塊の移動予測に適用できるように Hudson の式⁴⁾および Brebner&Donnelly⁹⁾の式を参考にして、安定質量の算定式を式(1)で与えた。

$$w = \frac{\rho_s}{K_d(\rho_s/\rho - 1.0)^3} H^3 \quad (1)$$

ここに、 w は安定質量、 ρ_s は岩塊の密度、 ρ は海水の密度、 H は岩塊位置における波高、 K_d は岩塊の安定度を示す係数を表しハドソン公式の K_D 値に相当する。

式(1)に示すように、リーフ上の岩塊の安定質量は、岩塊位置における波の波高 H の3乗に比例する。図-12(a)において、破線は高山式で求めたリーフ上の波の波高分布を表す。実線は、式(1)によって推定したリーフ先端の距離に応じた岩塊の安定質量を表す。但し、これらの計算には、換算沖波波高 $H'_0 = 12.0 \text{ m}$ 、周期 $T = 14.0 \text{ s}$ 、リーフ上水深 2.0 m 、リーフ沖斜面勾配 $1/10$ が設定されている。また、仲座ら⁷⁾によれば、リーフ上にはサーフビート現象が顕著となり、岩塊の移動はサーフビート現象の流速の影響を強く受けるため、波高値にはその影響を実験値に基づいて加えてある。

本研究で得られた岩塊の安定質量と岩塊位置のリーフ先端からの距離との対応を図-12(b)に示す。図中、実線は式(1)の K_d を2.7, 6.0, 9.0と与えた場合の推定値を表す。図において、岩塊は各々その質量がリーフ先端からの距離に応じて質量上限となると安定状態と判断されるため、岩塊質量の分布の上限側に位置する岩塊が安定質量を示していると判断される。したがって、式(1)による安定質量の推定値と比較されるデータは、それらの上限側にある岩塊に限られる。質量の上限側よりも軽い岩塊は、今後さらに静的に安定となるリーフ先端からの距離の位置まで運ばれることになるものと判断される。

図-12(b)に示すように、実測された岩塊のリーフ先端からの距離と質量の上限側となる岩塊の安定質量との関係の分布は、おおかた式(1)による推定値 ($K_d = 6.0$ および 9.0) の範囲内に存在している。久高島最大の岩塊および米須海岸最大の岩塊については、 K_d の値を2.7とかなり小さくした場合に近づいており、その他の岩塊に比較して力学的不安定な条件下にあることが推定される。この要因は、岩塊の形状特性にあると想定される。一方で、 $K_d = 9.0$ の予測値よりも下側に位置する岩塊は、現在も移動中かもしくは、何らかの形で力学的安定条件下にあるものと判断される。しかしながら、久高島の最大質量の岩塊については、サンゴ礁が破壊されている弾痕に近い距離にあり、砲弾の炸裂による爆風によって直接現在位置まで飛ばされたという見方もできる。この場合、式(1)の適用外となる。

仲座ら⁷⁾の実験結果および本調査結果をもとに、本研究の対象とした海岸に襲撃した歴史上最大の波の有義波高はおおよそ $12 \sim 13 \text{ m}$ 、最大波高は約 $18 \sim 20 \text{ m}$ と推定される。これらの推定値は、最大波高が有義波高の1.5倍程度となっており、通常波浪観測などで計測される高波の関係の範囲内にある。

福田ら⁸⁾は、津波石の移動など巨大岩塊が津波や波によって運ばれるメカニズムを数値科学的に考究している。このような研究を通じて今後、ここで紹介した岩塊

の移動と波の作用との研究がさらに進展することが期待される。

8. おわりに

本研究では、沖縄島の東海岸のリーフ上や海岸の断崖および断層崖に見られる巨大な岩塊について調べ、それらの発生が1945年の沖縄戦における艦砲射撃の砲弾の炸裂によるものであるとの判断を与えた。久高島の東海岸のリーフ上に無数に見られる岩塊は、これまで台風に伴う高波にその発生要因があると言われて来た。しかしながら、それらの発生は台風起源ではなく、上述のように沖縄戦における艦砲射撃の砲弾の炸裂によるサンゴ礁の破壊にあると判断された。さらに、海岸断崖および断層崖の崩壊や巨大な岩塊の発生要因も砲弾の爆裂によるものであると判断される。これらを裏付けるように、リーフ上には砲弾の炸裂痕が無数に見いだされた。久高島の東海岸及び米須海岸におけるリーフ上に点在する岩塊位置とそれらの質量との関係から、これらの海岸に襲撃した歴史上最大の波浪の波高が推定された。

本研究は、沖縄戦時の艦砲射撃の砲弾の炸裂によって発生した岩塊に“沖縄戦の石”と命名する。また、リーフ上の弾痕を“沖縄戦の弾痕”と命名する。これら“沖縄戦の石”および“沖縄戦の弾痕”は、半永久的に存在し、沖縄戦時の艦砲射撃の砲弾の炸裂の激しさの実態と戦争の教訓を語ることになる。これらが戦争遺跡として世界遺産に登録されることを期待したい。また、これらの存在は、平和教育及び平和研究の場のみではなく、海岸工学、岩盤力学及び材料力学など、力学教育において平和利用されることが期待される。

紙幅の都合により、本論文では説明箇所を限定せざるをえなかった。他の地域においても、同様なことが見られる。また、沖縄戦の証言との関連性も求められよう。今後詳細な総合的研究が必要と考える。

謝辞: 本研究を実施するに当たり、琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコースの福田朝生准教授の協力を得た。また、現地観測には同コース水圏環境工学研究室所属学生の大城洋貴さん、小原功聖さんの協力を得た。ここに記し、感謝の意を表す。本研究の進展に転機をもたらせた明治大学教授山内健治博士の助言及び著書「基地と聖地の沖縄史」に感謝の意と敬意を表したい。本研究では、広域的なサンゴ礁岩塊の位置・弾痕の位置・断崖の崩壊などの確認、簡易距離測量などにGoogle Earthを利用していることを付し、謝意を表したい。

参考文献

- 1) 仲座栄三・津嘉山正光・松田和人・日野幹雄：リーフ上に打つ上げられたサンゴ礁岩塊位置による歴史大波の推定，海岸工学論文集，第 36 巻，pp.65-69，1989.
- 2) 恩田真理子：琉球列島久高島裾礁における巨礫堆積物の分布とその地形形成における役割，地理評，72，pp.246-762，1999.
- 3) Goto K., Okada K., Inamura F.: Characteristics and hydrodynamics of boulders transported by storm waves at Kudaka Island, Japan, Marine Geology, 262, pp.14-24, 2009.
- 4) Hudson, R. H.: Laboratory investigation of rubblemound breakwaters, Proc. ASCE, WW3, pp.93-121.
- 5) Brebner A. and Donnelly D.: Laboratory study of rubble foundation for vertical breakwater, Proc. 8th Int. Conf. on Coastal Eng., pp.408-429, 1962.
- 6) Fukuda T. and Fukuoka S.: Interface-resolved large eddy simulations of hyperconcentrated flows using spheres and gravel particles, Advances in Water Resources, 2019.7. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.037>.
- 7) 福田朝生，福岡捷二：複雑境界形状の固液混相流解析のための各プロセスに複数の計算領域ブロックを割り当てる動的負荷分散手法，第 32 回数値流体力学シンポジウム，F11-4 2018.12.

(Received Jan. 28, 2024)

(Accepted Feb. 5, 2024)