

湾状リーフ海岸における波・サーフビート

仲 座 栄 三* ・ 津嘉山正光** ・ 玉 城 重 則***
川 満 康 智*** ・ 吉 田 繁**** ・ 田 中 聡*****

1. はじめに

1986 年, 台風 13 号の際, 沖縄諸島の東に面するリーフ海岸の殆どで甚大な高潮・波浪災害が引き起こされた。この台風は, 沖縄本島の南海上を東からほぼ真西に横切るといふ珍しい台風コースをとった。この被災をきっかけに, 幾つかの海岸では従来の手法に基づく防災対策が講じられた。

これらの対策工は, 主として個々波の越波をいかに抑さえるかという観点からのものであり, 後述するように, 護岸高の嵩上げや対岸距離の短い離岸堤工法であった。こうした防災対策に対して, 仲座らは現地データや水理実験結果を基に, あまり有効な対策でないことを指摘してきた。しかし, 従来の設計手法を見直すに十分な現地データが得られない状態であった。

その後, 10 年を経て, 1997 年台風 13 号が台風 8613 号と同様な経路をとり, 沖縄諸島近海を通過した。この台風は, 沖縄諸島の東に面するリーフ海岸の殆どで高潮・波浪災害をもたらした。この台風災害は, 上述の仲座らの提言を証明するに十分であり, また, 従来の防災対策及び設計手法の見直しに向けて貴重な知見を与えることとなった。

本研究は, 1997 年の台風 13 号及び 16 号の観測データを基に, 湾状リーフ海岸における波・サーフビートについて検討すると共に, こうした海岸における波浪・高潮対策のあり方を探るものである。

2. 湾状リーフ海岸 (楚州海岸・比川海岸) の概説

リーフ海岸における高潮災害の中でも, 沖縄本島北部の楚州海岸及び与那国島の比川海岸における高潮災害は, その甚大さや波の遡上高などの面において非常に類似性を有している。また, これらの海岸はサンゴ礁海岸であると共に平面形状が湾状を呈しており, 海岸地形の

面からも類似性を有する。

2.1 楚州海岸

沖縄本島の北部東海岸に位置する楚州海岸の航空写真を写真-1 に示す。台風 8613 号の際には, 沿岸道路や楚州集落の多くが被災した。その後, 防災対策として建設されたのが, 写真に示す岸近くの離岸堤である。離岸堤の延長は 150 m であり, 天端高は EL+5.0 m である。

当時, リーフ上のサーフビートに関する知見は乏しく, 被災の主要因は沖波の予測精度に押し付けられることとなった。仲座らは, この台風の現地観測やその後の観測に基づき, リーフ上の異常な高潮の原因がボア状に來襲するサーフビートにあることを明らかにし, その対策として従来の工法が十分でないことを示した (1988, 1989)。

1997 年, 台風 13 号が台風 8613 号とほぼ同様な経路をとり, 沖縄南海上を通過した (図-1 に台風コースを示す)。この台風によって, 沖縄本島東海岸の殆どで波浪・高潮災害が発生した。その中で, 楚州海岸はまったく台風 8613 号の際の災害を思い起こさせる結果となった。

2.2 比川海岸

日本の最西南端に位置する与那国島に唯一雄大な礁池を有するのが比川海岸である (写真-2)。そのすぐ背後には, 比川小学校を中心として, 比川集落がある。与那



写真-1 楚州海岸

* 正会員 工博 琉球大学助教授 工学部環境建設工学科
** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部環境建設工学科
*** 正会員 (有) 海岸環境調査研究所
**** 沖縄県土木建築部
***** 正会員 (株) エコー

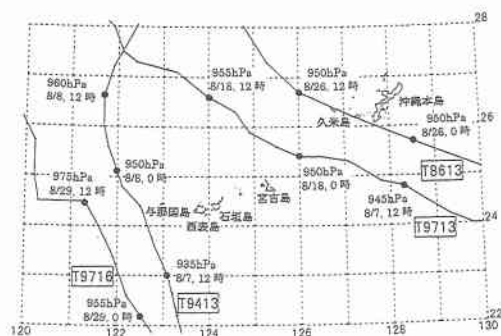


図-1 台風コース

国島を取り囲む海岸の殆どが断崖絶壁からなっていることを考えると、この海岸は島唯一のサンゴ礁のオアシスといえる。

普く人々に海の幸を分け与えてきたこのサンゴ礁は、しばしば想像を絶する高波に飲まれてきた。中でも、台風7118号(ナディン台風)は記憶に新しく、記録的な水位上昇量をもたらしている。その災害を契機に、高波への防災として海岸護岸を更に嵩上げし、EL+10.0mの直立護岸が建設された。この護岸は、人々に安全を与えた腹いせに、この海岸を隣接する断崖絶壁の海岸と同様な海へと変貌させてしまった。沖縄地方の殆どの海岸護岸高がEL+3-5m程度であることを考えると、この海岸の護岸高がいかに高いかが理解される。

こうした対策にもかかわらず、台風9413号に伴う高波は、上記の護岸をさらに超え、民家や小学校に災害をも

たらした。その被災状況を写真-3に示す。被災状況から、かなりの高さで波が越波してきたものと判断される。当然ながら、沖縄県下で行われている通常の海岸護岸設計手法では、これほどまでの高さの波遡上高を予想だにし得ない。

上述の楚州海岸とこの比川海岸とは波遡上高や被災状況が極めて類似しており、海岸地形はもとより、リーフ海岸特有の波浪現象にその要因が求められる。

3. 現地観測結果及び考察

現地観測は、上述の比川海岸で行った。図-2に測定位置を示す。測定には、電磁流速計及び波圧計内蔵型の波高計(WAVE HUNTER)を5台用いた。観測は、1997年8月2日から8月31日までの計30日間実施された。その間、台風13号及び16号が発生した。その中でも台風



写真-3 T 9413 による災害



写真-2 比川海岸

16号に伴う波浪は、10 mに及び当地方の50年確率波に迫るものとなった。

3.1 波・サーフビートの実態

図-3に、沖波とSt.4及びSt.5における波高、平均水位上昇量(dh)、サーフビートの最大波高(HL)との関係を示す。リーフ奥で、サーフビートの波高や水位上昇量は短周期波浪の有義波よりかなり大きくなっている。

図-4は、長波近似を用いて入反射分離を行い、各観測点の水位変動を示したものである。図示のとおり、入射波と反射波とが良く分離されており、サーフビートが岸沖振動モードを取っていることが分る。

3.2 共振特性

図-5及び6に、沖波観測点及びSt.5における水位変動のパワースペクトルを示す。図中には、沖波波高がピークとなる時間を挟んで5測定分を示した。図中の太い線が5回の観測値の平均値を示す。リーフ奥では、パワー値で沖波観測点の30倍を超える長周期波成分が存在しており、さらに幾つかの極大値が存在している。

リーフ上のサーフビートが来襲波の碎波に起因しているとの仮定から(Symondsら, 1982; Nakaza・Hino, 1990), 増幅率の算定にはそのまま図-5及び6の比をとるのではなく、沖波の包絡波のパワースペクトルとリーフ上の水位変動のパワースペクトルとから求めた。周波数応答を図-7に示す。

リーフ上の海面振動が岸沖方向であり、岸側で腹、リーフ先端付近で節をとると、リーフ上の海面振動の固有周

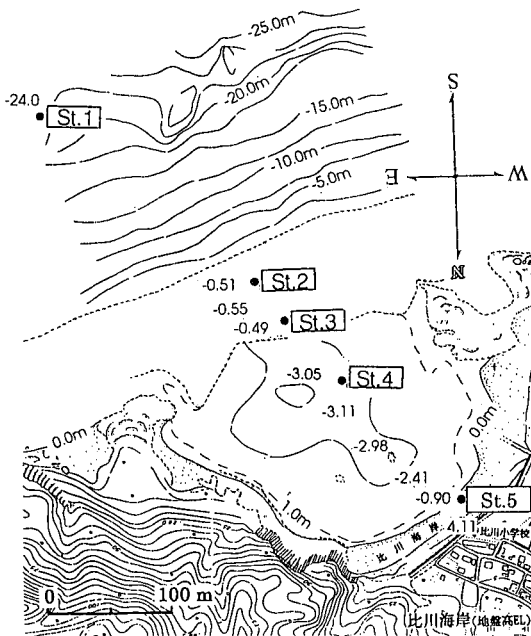
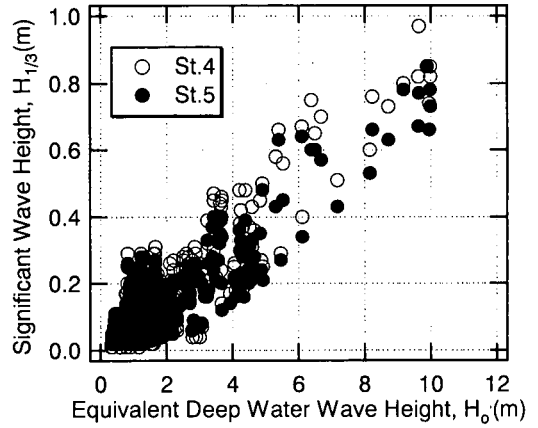
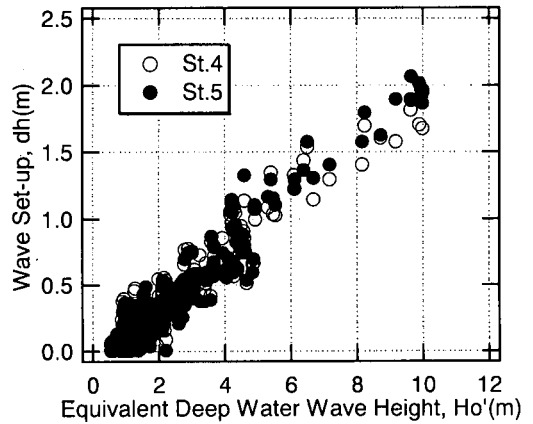


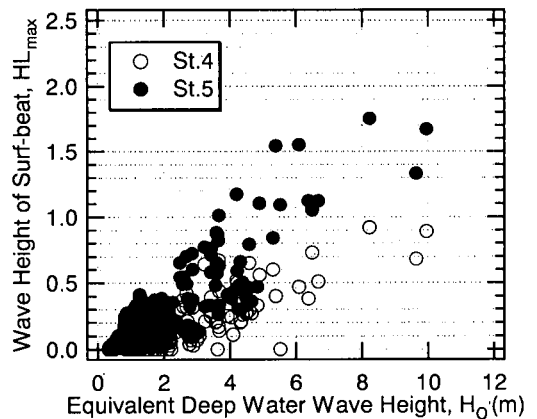
図-2 観測位置



(a) リーフ上の波高と換算沖波



(b) 水位上昇量と換算沖波



(c) サーフビートの最大波高

図-3 換算沖波とリーフ上の波・サーフビート、水位上昇量との関係

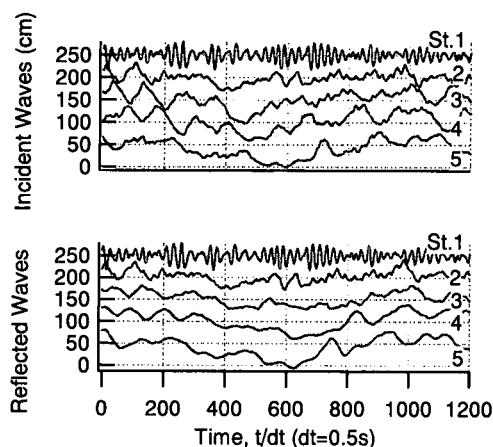


図-4 サーフビートの入反射分離

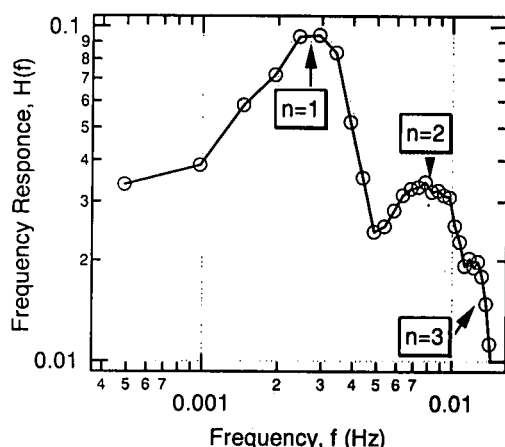


図-7 共振応答特性

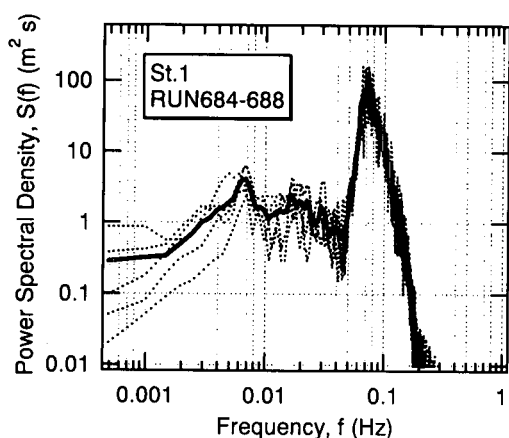


図-5 入射波のスペクトル

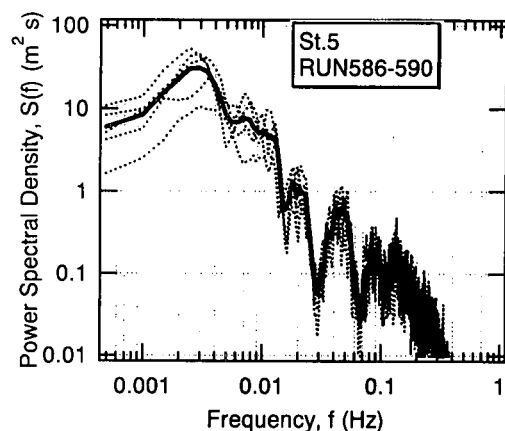


図-6 波形のパワースペクトル

している。基本振動数を 0.0027 Hz として、平均水深を 5 m とすると、基本振動の $1/4$ 波長は 648 m となり、リーフ先端と護岸との距離にほぼ等しい。

4. 設計潮位及び設計波高の算出方法

以上の議論から、海岸構造物設計に際しては、サーフビートを設計潮位及び設計波高に頭わに取り入れなければならないことが示された。以下では、その算定手法について述べる。

ここでは、換算沖波を 12.0 m 程度と想定する。

水位上昇量やサーフビート波高、リーフ上の波の波高としては、図-3がそのまま利用可能である。

以上より、例えば、護岸設計に対する設計潮位としては、① H.W.L.+② 気圧低下による吸い上げ量+③ 平均水位上昇量+④ サーフビートの振幅として求める。

すなわち、

$$\begin{aligned} \text{設計潮位} &= \text{① } 0.9 \text{ m} + \text{② } 0.5 \text{ m} + \text{③ } 2.5 \text{ m} + \text{④ } 1.3 \text{ m} \\ &= 5.2 \text{ m} \end{aligned}$$

その他、風による吹き寄せ効果を入れる必要があるが、空間的な広がりを考えるとその算定は単純でない。護岸天端高算定に必要な遡上高に関しては、上記の設計潮位に⑤ サーフビートの遡上高及び⑥ 個々波の遡上高を加える必要がある。

図-8に、入反射分離によって求めた、サーフビートの入射成分の最大波高 ($H_{l\max}$ incident) と沖波波高との相関を示す。

サーフビートの遡上高には、サーフビートを波群津波 (仲座・日野, 1988) として捉え、富樫・中村 (1975) の津波遡上高算定式を利用する。観測値から、サーフビートの平均周期として 100 秒 を用いた。

以上より、波の最大遡上高は

$$\text{① } 0.9 \text{ m} + \text{② } 0.5 \text{ m} + \text{③ } 2.5 \text{ m} + \text{⑤ } 3.6 \text{ m} + \text{⑥ } 3.9 \text{ m} =$$

期は基本振動数の奇数倍となる。図中には、明らかにその固有振動モードに対応するスペクトルのピークが存在

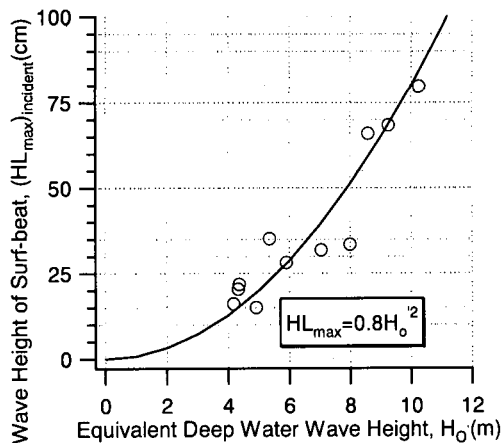


図-8 サーフビートの入射波成分波高と換算沖波との相関

11.4 m と求まる。

設計潮位には、通常特定の地域における既往最大潮位 (H.H.W.L.) が用いられるが、この値には高潮の遡上高や地形効果が入っている場合が多い。そのため、設計潮位として H.H.W.L. を採用するにしても、ここで算出した計算潮位 (④を除く、①～⑤までの水位の和) や波の最大遡上高との比較で考える必要がある。

ここで試算した波の遡上高としては、比川海岸における台風 9413 号の際の遡上高を想定している。試算の結果から、当時、波は現在の護岸天端から、1.4 m 程度超えていたものと推定される。

以上の議論から、波群津波としてのサーフビートを湾奥で制御することの困難さは理解される。単純に力学的に考えると湾入する以前に阻止すべきである。しかし、現地施工となるとそう簡単でない。例えば、比川海岸の場合、サンゴ礁内に突堤や離岸堤などの工事を行うことは、サンゴ礁の死滅や水質悪化を招く恐れも十分にある。絶海の孤島である与那国島で唯一のサンゴ礁海岸である比川海岸の場合は特に注意を要し、力学的には得策でなくても陸域での防災対策も選択肢の一つと言える。この海岸に類似したサンゴ礁海岸に対し、筆者らはサンゴ礁の保全と老若男女普く人々が海岸を利用し得るという観点から、スーパー海岸堤防を用いた防災対策案を提案し

ている (詳細は別の機会に述べる予定である)。

5. おわりに

現地観測データとしては、希に見る成果を得ることができた。本論文では、その成果の一部について述べた。また、データそのものの提示に力点を置き、敷衍となる説明をなるべく省いた。本研究の結論は、観測データを整理した図面そのものとも言える。リーフ上の波やサーフビートに関しては、これまで報告してきた現地観測結果や水理実験結果と殆ど整合性が取れる形となっている。

ここで示したサーフビートに関する図表は、比川海岸の実設計において設計潮位及び設計波の算定に取り入れられた。その妥当性は、琉球大学及び沖縄県漁港課が行ってきた 8 年間に亘るリーフ上の波・サーフビートに関する現地観測結果からも裏付けられた (仲座ら, 1998)。おそらく、これがリーフ海岸でサーフビートを直接的に取り入れた初の設計例となろう。今、早急な設計マニュアル作りが求められている。今後、さらに詳細なデータ解析を続けると共にサーフビートの制御効果について検討する予定である。

最後に、本研究の一部には、文部省科学研究費 (代表、津嘉山正光) の援助をうけている。また、図面の作成に当たっては、(有) 海岸環境調査研究所の宮里宏光氏の協力を得た。ここに記し、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 仲座栄三・日野幹雄 (1988): リーフ地形海岸における bore 状サーフビートに関する研究, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 202-206.
- 仲座栄三・津嘉山正光・川上和宏・渡慶次健忠・鹿田正一・駒口友章 (1998): リーフ海岸における平均水位上昇量に関する研究, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 276-280.
- 富樫宏由・中村武弘 (1975): 津波の陸上遡上に関する実験的研究, 第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 371-375.
- Nakaza, E. and M. Hino (1990): Reef-zone disaster caused by bore-like surf beat, Coastal Engineering in Japan, Vol. 33, No. 1, pp. 49-61.
- Symonds, G., D. A. Huntley, and A. J. Bowen (1982): Two-dimensional surf beat, J. Geophys. Res., Vol. 87, No. c1, pp. 492-498.