

リーフ地形海岸における Bore 状サーフビートによる 災害の実態調査

仲 座 栄 三*・日 野 幹 雄**

1. はじめに

台風 8310 号によって沖縄本島南部の港川漁港は、C.D.L.+7.5 m にも及ぶ水位の上昇に襲われた。この時、C.D.L.+6.0~7.0 m の位置に係留してあった漁船が流出・破壊されてしまった。また、漁船に係留中の漁師数人らは、いち早く屋根の上に登り難を逃れた。上述の状況から判断して、水位の上昇は猛烈な勢いで来襲したものと考えられる。筆者らはこうした異常な水位上昇を海岸の固有周期と来襲波群との干渉による平均海面の共振応答の観点から検討し、広い振動数にわたり平均海面の共振応答が存在し、その結果極めて大きな水位上昇が発生することを明らかにしたり。また、こうして引き起こされた Surf-beat は、汀線に近づくにつれ Bore 状になり、津波（日本海中部地震津波で見られた、ソリトン分裂しながら来襲する段波性津波）に酷似した形で来襲することが解った³⁾。

本報告は、1983 年と 1986~87 年までの 2 年間に計 6 回実施された現地観測及び台風災害調査結果から上述の Bore 状 Surf-beat と海岸構造物の災害との関連性を明らかにするものである。

2. 台風 8310 号による災害について

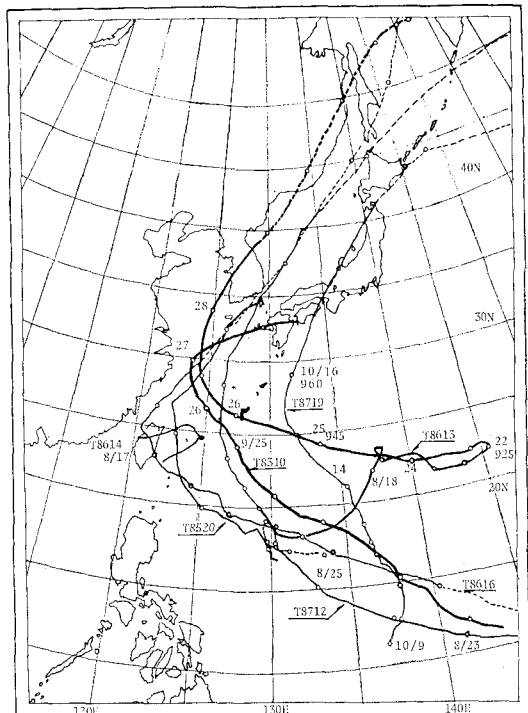
(1) 台風経路及び波浪

図一に調査対象とした台風の経路図を示した。対象とした台風は計 7 個であるが、以下では主に T8310 及び T8613 について説明する。T8310 は、沖縄本島の南海上に北西に横切り北上する典型的な台風であり、1983 年 9/25 から 9/26 にかけて沖縄本島に最接近した。その間、T8310 に伴う異常波浪は、有義波波高で 6.0 m 以上であり、9/25・23 時には約 11.5 m にも達した³⁾。

(2) T8310 号による災害について

ここで災害とは、波の作用によって引き起こされた災害を言う。はじめに述べたように、1983 年 9 月 25 日・20 時 45 分頃、台風 10 号によって沖縄県南部の港川漁港周辺（図一2 の位置図参考）は大災害を被った。港川

漁港内では、C.D.L.+6.0~7.5 m (痕跡値は、C.D.L.+7.2 m に確認；以下においては、基準面を C.D.L.+0.0 m にとる) にも及ぶ水位の上昇に襲われた。その際、+6.0~7.0 m の位置に係留してあった漁船が流出・破壊された。また、同時刻漁船に係留中の漁師数人らは、いち早く屋根（鉄筋コンクリート二階建て）の上に登り難を逃れた。その間はあっと言う間だったと述べている。状況から判断して水位の上昇は猛烈な勢いで押し寄せたものと考えられる。さて、ここでこのような異常な(?)水位の上昇原因を何に求めるかである。例えば、図一2 に示す港川漁港から約 10 km 離れたコマカ島沖での有義波を用い、現行の設計に一般に用いられている高山・神山・菊地ら⁴⁾が提案した実験式を用いて被災点の水位上昇量を計算すると、約 +4.5 m 程度となる(天文潮位も含む)。なお、沖縄県漁港課が行った計算値³⁾も同程度である。しかしながら、この計算値で上記痕跡値



図一1 調査の対称とした台風の経路図

* 正会員 工修 琉球大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

+7.2 m を説明することはできない。

3. 台風 8613 号による災害について

(1) 台風経路及び沖縄県地方の気象状況

1986 年夏、沖縄県全域は深刻な干ばつで、基幹作物であるさとうキビは、生育がとまり、一面立ち枯れ寸前であった。各地では、雨乞いが行われた。しかし、神頼みもまったく効き目なし、台風の来るのをひたすら待つ状態であった。8/13 フィリピン東海上において弱い熱帯低気圧が発生、16 日同海域周辺で台風 13 号となった(図-1 に示す台風経路図を参考)。台風 13 号は迷走の兆候を示し、進路を北東へ向けた。一方、17 日には台風 14 号が台湾近辺で発生、宮古島へ向かった。沖縄気象台は、台風 13 号に関する情報を一時中断した。24 日小笠原諸島付近に停滞していた台風 13 号は、南大東島へ急接近、沖縄気象台も台風 13 号に関する情報を再開した。農家にとっては、「最後の頼みの綱」台風である。また、各地の農家からは「雨さえもたらしてくれば、少々台風被害は我慢できる、台風様々ですよ」の声が聞こえた。25 日台風 13 号は観測史上 3 番目の大型台風となり、南大東島に最接近、南大東島全体を揺るがす程の高波をもたらしながら沖縄本島へと向かった。筆者らは、25 日 17 時現地観測を始めた。

(2) 現地観測

現地観測位置は、沖縄本島南部の東海岸一帯であり、位置図を図-2 に示す。観測時間帯は、8 月 25 日 17 時から 21 時、26 日 9 時から 13 時及び 27 日 20 時より 28 日 2 時の間に行われた。25 日 17 時 30 分、港川漁港付近の海岸に來襲する波を汀線より約 500 m 離れた高台から撮影したのが写真-1 である。写真には、一直線に延びた筋状の波峰線が見えており、港川漁港一帯には約 800 km 離れた台風からの“うねり”が來襲していたことが判る。写真中央に見られる白い砕波線がリーフの先端付近であり、沖側より來襲してきた“うねり”は、リー



写真-1 T8613 に伴う“うねり”

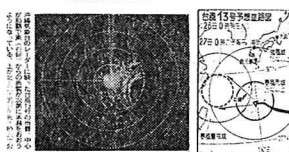
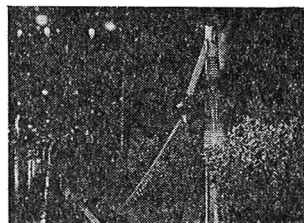
フの先端付近で砕波し、岸向きに進むにつれ波高は低減している。なお、観測時間帯は干潮時であり、写真下側の汀線近くでは、波として認められるものはない。現地から約 10 km 南西に離れた喜屋武岬沖(図-2 に矢印で示す位置)で測定された沖縄気象台発表のデータから、沖波の有義波波高は当時 4.5 m 程度であった。

翌日(26 日)午前、台風情報は台風 13 号が 25 年ぶりの“超大型台風”となったことを報じた(資料-1 参考)。更に、沖縄気象台は、11 時 13 分の満潮時と台風 13 号の中心が本島を通過する時間帯が一致する可能性があるとし、厳重な警戒を呼びかけた。筆者らは、25 年ぶりの台風が引き起こす(異常)高潮を捉えるべく、T8310 で異常な水位上昇が発生した港川漁港で観測を再開した(9 時~13 時)。写真-2 に、当時建設中であった防波堤を中心とする風波の状況を示す。防波堤先端高は +4.5 m、汀線背後の岸壁の高さは +6~7.0 m である。リーフ上の風波の平均的な波高は、汀線近傍で 0.5~1.0 m 程度であった。また、観測時間帯では、(波高約 50 cm 周期 1~2 分程度の) Surf-beat が見られたが、筆者ら

沖縄タイムス 1986年(昭和61年)8月26日 火曜日 第1340号

けさ沖縄本島を直撃 台風13号

最大瞬間風速 南大東で53.5m/sを記録



25年ぶりの超大型
満潮時(11時13分前)の高潮に警戒を

台風13号は、25日午後11時13分、沖縄本島を直撃した。最大瞬間風速は南大東で53.5m/sを記録した。沖縄気象台は、25日午後11時13分、台風13号の中心が本島を通過する時間帯が一致する可能性があるとし、厳重な警戒を呼びかけた。筆者らは、25年ぶりの台風が引き起こす(異常)高潮を捉えるべく、T8310 で異常な水位上昇が発生した港川漁港で観測を再開した(9 時~13 時)。

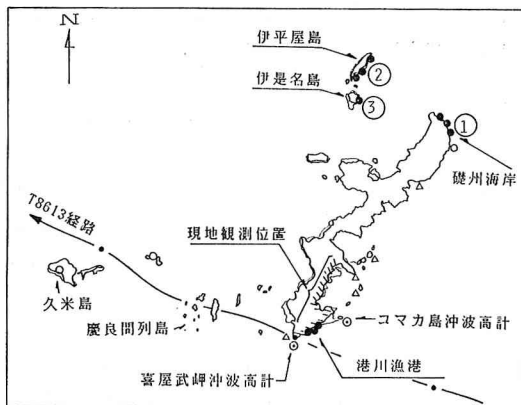


図-2 位置図及び被災箇所

資料-1 台風接近

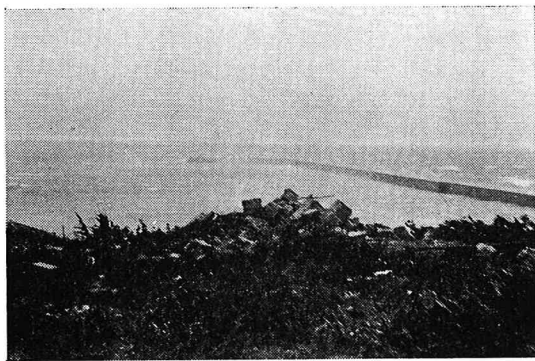


写真-2 台風中心通過時の波浪状況

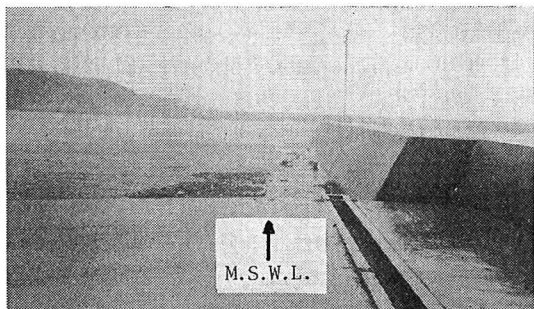


写真-3 台風中心通過時の平均水位上昇

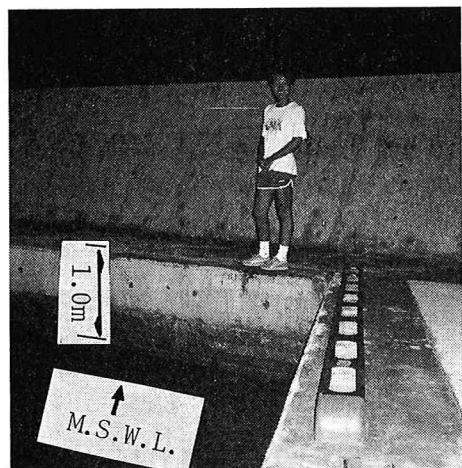


写真-4 台風通過後の平均水位

が目指す異常な水位の上昇は観測されなかった。写真-3は、既設防波堤の内側の平均海面の位置を示す。一方、写真-4は、台風通過後の27日23時31分の同潮位時を示している。写真-3及び4の差より平均海面の上昇量は約1.0m程度と読み取れる。なお、写真-2、3の時間帯は台風の目に入っており、喜屋武岬沖で測定された沖波有義波波高は、約3.0mまで落ち込んだ。

(3) 台風8613号によって引き起こされた災害

新聞(沖縄タイムス・琉球新報)によって報道された災害状況写真を資料-2に示した。災害は、25日夜半

沖縄タイムス

楚州、高波の恐怖まどまど



市民生活は終局マヒ

護岸壊し、民家襲う

住民着のみ着のまま避難



転落、座礁、倒伏



資料-2 楚州海岸の災害状況

に起こっていたのである。すなわち、沖縄気象台が高潮警報を出す実に12時間も前に異常水位は発生していたのである。図-2に、H.W.L.から+3.0m以上の水位上昇が発生しかつその痕跡点が確認できた被災箇所を●印で示した。図示の被災箇所、25日夜、如何なる状況であったかを推測する前に、以下においては、①、②及び③で示す楚州海岸、伊平屋村前泊港及び伊是名村仲田港の災害について説明する。

a) 楚州海岸における災害(被災箇所①)

資料-2に示すように、沖縄本島北部の国頭村楚州海岸には、筆者らが待っていた(?)水位の上昇が発生していたのである。被災状況は、地元新聞(上記2社)に詳しいが、まとめると次のようになる。

「25日午後10時過ぎ、これまで護岸を叩きつけていた波が、風の勢いと満潮時にぶつかったことで一層高くなり道路に冠水、更に押し寄せる波が道路を越え民家を襲い、ブロック塀やドア等を破壊した。道路には、高さ+7.2m(設計沖波12.0mに耐え、許容越波量を満足するよう設計された)の重力式護岸が設置されていた。道路には、重さ約1トンもある根固め捨石が打ち上げられ、ガードレールは飴のように折り曲げられ散乱していた。また、道路は長さ40mにも渡って決壊した。」

地元住民らは恐怖の余り、着のみ着のまま高台の方へ避難した。その被災状況を被災地区区長は、「これまで

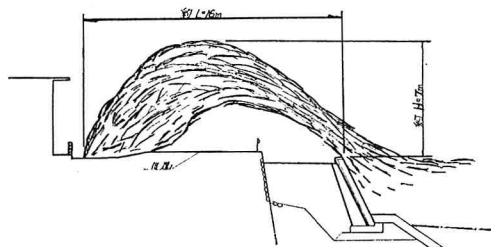


図-3 現場代理人らによる被災状況のスケッチ

見たこともない猛威」だったと話している。また、被災時の状況は、3人の勇士(当時、現地で道路及び護岸を建設中の現場代理人)らによって確認された。彼らが描いた被災時のスケッチを 図-3 に示した。また、彼らは、当地を襲った波(?)について次のように話している。「風の一番強い時で図に示すような波が10~12分の割合で3回程度(10秒間隔に)連続で打ち寄せてくる状態で、風の弱い時でも15~17分の割合だった。」

b) 伊平屋村前泊港の災害について(被災箇所 ②)

被災した防波堤は、平均天端高 +3.5m、幅 4.7m(設計沖波: 11.0m)の消波ブロック被覆堤(ブロック式直立堤)である。なお、防波堤の前には、+0.0mのリーフが沖側へ長さ 300~400m 張り出している。写真-5 は、被災状況写真である。写真で示すように、防波堤は長さ 300m にも渡って全壊した。最も被害の大

きい所では、防波堤本体が中心法線から約 10m も移動しており、本体上部コンクリート空洞部には 2t テトラポッドがめり込むほどであった。

c) 伊是名村仲田港(被災箇所 ③)

仲田港の平面形状は、上記前泊港と類似している。被災防波堤は、2t テトラポッドによる高さ 4.0m、天端幅 4.1m のブロック式傾斜堤である。写真-6 で示すように、防波堤はその先端部 110m を残し長さ 230m にも渡って全壊した。なお、写真中矢印で示す線が防波堤の港内側のり肩法線である。写真からも判断されるが、現場には消波ブロックが数十メートルも引きずられ散乱していた。その様はまさに、日本海中部地震津波によって被災した秋田県峰浜海岸における消波ブロックの散乱状況と類似しているのである。

4. 何が災害をもたらしたのか?

これまで述べてきた災害は、いずれも(H.W.L. 時の)水深が 2.0m 程度のリーフが、長さ 300~600m も張り出す南西諸島特有の海岸で発生している。2.で説明したように、現行の設計に用いられている手法で上述の災害を説明することは困難である。一方、筆者ら^{1),2)}は、上述した異常な水位上昇を来襲波群による平均海面の共振応答の観点から見直し、リーフ地形海岸のような明確な固有周期を有する海岸には、来襲波群によって広い周

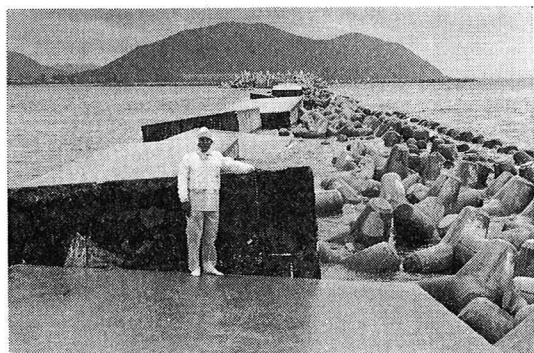


写真-5 伊平屋村前泊港の被災状況



写真-7 波群津波の来襲

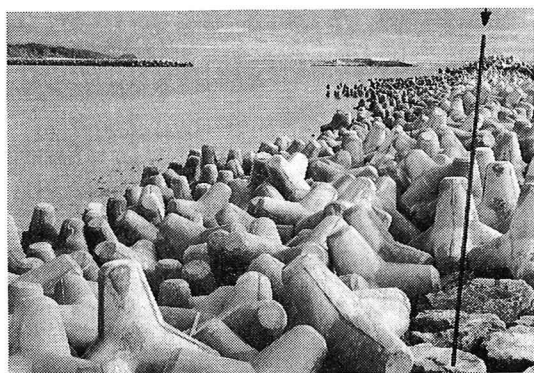


写真-6 伊是名村仲田港の被災状況

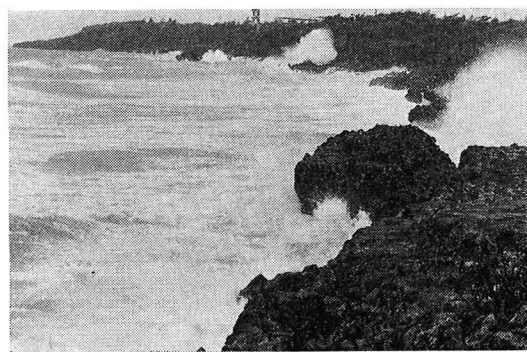
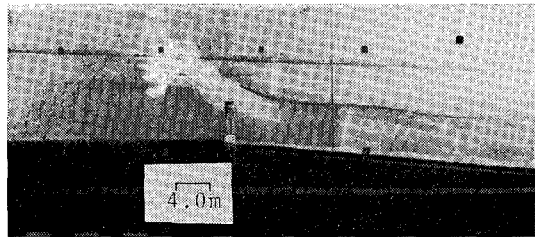


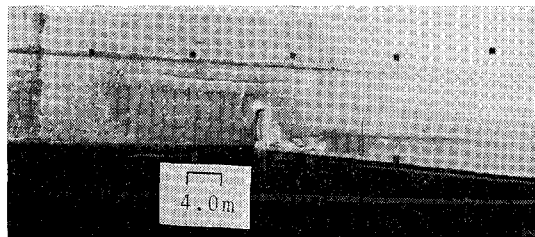
写真-8 波群津波が岸壁に衝突する瞬間

波数にわたり平均海面の共振応答が引き起こされることを指摘した。筆者らの実験結果を参考にすれば、共振周期から1, 2分程度ずれた波群が2波程度連続すれば、(個々波の有義波高が10.0mの場合)6.0~9.0mの波高を有するBore状のSurf-beat(筆者らは、これを“波群津波”と呼んでいる)が来襲することになる。即ち、上記被災状況を無理なく説明できる。例えば、有義波高約5.0mにおける、T8712に伴う波群津波を捉えたのが写真一7, 8である(約20秒間、詳細は文献5)を参考)。岸壁の高さが+6.0~7.0mであることを参考にすると、波群津波の波高は約4.0~5.0mと判断される。

次に、楚州海岸における被災時の状況をモデル実験によって再現したのが写真一9である。実験は、1/100のスケールで行われた。現地海岸においていかなる波群が来襲したかは未知であるが、ここでは、振幅が正弦的に変化する波群(波群周期: 27.2秒, 個々波の周期: 1.6秒, 平均波高: 6.5cm, 波群振幅の変調率: 平均波高の50%)を用いた。一方、写真一10は、波群中の最大波高に相当する(一定波高の)定常波を作用させた場合の越波状況である。明かに写真一9と10には違いが見られる。写真一9は、3.で述べた楚州海岸の被災状況を描いたスケッチを思い起こさせる。また、文献5)で詳述したように、防波堤に作用するSurf-beat(波群津波)の(津)波力は、極めて大きく個々波の波力を上回る程であり、これが、個々波の波高が殆どゼロとなるような海域においてさえも防波堤等の災害を引き起こした原因であると考えられる。



写真一9 護岸を越波する波群津波



写真一10 Surf-beatが発生しない条件における越波

以上で述べたように、現地においてBore状Surf-beat(あるいは、波群津波)が発生したと考えると容易に上記被災状況を説明できるのである。

上述したように、楚州海岸における被災状況を説明した現場代理人らの証言、及び港川漁港から500m程度離れた奥武橋付近では「+4.5~5.7mの水位上昇が激しくぶつかり合っていた」とする報告³⁾は、筆者らの考え方を裏付ける。

5. おわりに

本報告は、リーフ地形海岸に発生するBore状Surf-beat(波群津波)と海岸構造物の災害との関連性を現地観測及び台風災害調査から検討した。その結果、従来、海岸構造物が被災すると先ず設計波の見積りが見直されてきた(?), しかしながらその実態はその海岸に特異な現象によることを示した。例えば、ここで示した災害の場合、波群によって引き起こされたBore状Surf-beatが原因であると考えられる。また、室内実験を通して上述の被災状況を説明することができた。

謝辞: 本報告で述べた災害調査を行うに当たり、沖縄県土木建築部北部土木事務所第三(港湾)課には、多大なご援助を頂いた。特に、同事務所の中村辰技師には、本報告に述べた災害箇所の全てに同行して頂いた。中村氏と深夜まで酒を飲み交わしつつ現行の設計法について議論したのが本報告の始まりと言って過言でない。また、当時琉球大学工学部土木工学科の4年生であった平良昌史君は、災害調査中Surf-beatに伴う強い流れに足を取られ溺れかかったが彼の強い運命によって助かった。彼の命を投げ出す覚悟が筆者らの調査を助けた。また、沖縄県漁港課、沖縄タイムス社及び琉球新報社には、貴重な資料等の提供に快くご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。なお、本研究の一部は、文部省科学研究費一般研究(B)(代表、日野幹雄)及び奨励研究(A)(代表、仲座栄三)の援助を受けていることを付記しておく。

参考文献

- 1) 仲座栄三・日野幹雄: 波群によって引き起こされる平均海面の共振応答, 第32回水理講演会論文集, pp. 571~576, 1988.
- 2) 日野幹雄・仲座栄三・與那覇健次: 波群によって引き起こされる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, 1988.
- 3) 沖縄県漁港課: 沖縄県漁港構造物標準設計要領.
- 4) 高山知司・神山豊・菊池治: リーフ上の波の変形に関する研究, 港湾技研資料, No. 278, 1977.
- 5) 仲座栄三・津嘉山正光・日野幹雄・大城勉: 波群津波の津波力に関する研究, 第35回海岸工学講演会論文集, 1988.