

波浪痕跡による汀線近傍の波の推定

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

1. はじめに

最近、沿岸域のリゾート開発あるいはウォーターフロント開発熱の高まりと共に、陸域と水域との接点いわゆるウォーターフロントが重要視されるようになってきた。特に、南西諸島の沿岸域は、海洋性リゾート基地として脚光を浴びている。こうした傾向に伴い、汀線近傍におけるハードな海岸構造物のいくつかは親水性を有したソフトな構造物への変更を余儀なくされつつあり、汀線近傍における波の予測もこれまで以上に厳しいチェックが必要となってきた。しかしながら、台風時など異常波浪時における汀線近傍の波に関するデータは極めて少なく（特に、平面的な情報は貧弱なものであり）計算値のチェックを行うのが困難な場合が多々ある。例えば、沖縄諸島における海岸構造物の災害調査結果によると、平均海面の上昇量は D.L. +7m（以下高さは D.L. +0.0 を基準とする）にも及ぶことが明かとなっているが、計算値ではその半分以下である（なお、つい最近筆者ら（1988 a, b）は現地観測及び室内実験結果によって平均海面の上昇量は、+7m 以上になり得る事を指摘した）。そのような状況から、海岸技術者らの多くはこれらの災害箇所が地形的に特殊な場所である等とし、実際の設計に災害調査結果を十分生かしきれないのが現状である。

従来、汀線近傍における設計波は、沖波の諸元を基に、理論式あるいは実験式を用いて沖から岸へと計算を進めることによって間接的に与えられている。しかしながら、このような方法では、沖波の諸元がいかに精度よく予測出来たとしても、その後の計算に用いる理論式あるいは実験式の仮定（理想）と現実とのずれに伴う誤差は避けられず、極めて精度の低い推算結果しか得られないという場合が多々ある。特に、三次元性の強い海岸においては、実験式が適用できない場合が少なくない。こうした事情を考えると、汀線近傍ということに限定すれば、むしろ何等かの方法で直接的に波を予測する方がよ

り良いと言いうことになる。その方法としては、汀線付近に波の観測装置を設置してその結果を用いる方法と波浪痕跡値による方法とが考えられる。本研究では波浪痕跡値による方法を試みたが、特に、波の最大遡上高や平均海面の最大上昇量については波浪痕跡値から精度良く求めることが出来るものと考えられる。勿論、波高計等の観測装置を用いて波のデータを得るという方法は、いくつかの利点を有する。しかしながら、それには膨大な経費を必要とする。これに対し、海浜における波浪痕跡から汀線近傍の波を推定する方法は簡単な作業であり、しかも平面的な波の情報を得ることが可能である。従って、この方法によれば、簡便に広範囲にわたる波の情報を得ることができるので、災害箇所に対する上述の海岸技術者らの不安を取り除くことも可能になると考えられる。

本研究においては、過去3年間にわたって沖縄本島周辺の海岸における波浪痕跡調査を総合的に行い、その結果から汀線近傍の波の平面的な情報を得る試みを行った。また、室内実験及び台風時の波の現地観測結果を基に、波浪痕跡値と波の遡上高あるいは平均海面の上昇量との関連性等も明らかにした。

2. 波浪痕跡調査及び波の現地観測

（1）調査対象とした海岸及び台風について

波浪痕跡調査は、1986～1988年の3年間にわたり、主に台風が沖縄本島を通過後行った。痕跡調査の対象とした海岸は、沖縄本島及びその周辺の離島である（図-4参照）。調査期間に沖縄本島に來襲した主な台風の経路を図-1に示した。これらの台風はいずれも比較的大型の台風であるが、中でも台風 T8310 は沖縄本島南部・具志頭村港川漁港に D.L. +7m にもおよぶ水位の上昇をもたらした台風であったが、さらに台風 T8613 は、最近まれに見る大型台風で、まる三日間吹き荒れ、沖縄県各地の海岸構造物に甚大な被害をもたらした（仲座・日野, 1988）。

説明の都合上、台風 T8613 と T8824 に伴う波浪の波高及び周期の経時変化を図-2 (a), (b) に示す。台風 T8613 は、沖縄本島南部（沖縄気象台の沖波波高計の真

* 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

*** 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

上)を南東から北西方向へ通過後北上した。この台風のように、台風中心が沖縄本島を通過するのは16年ぶりのことであり、図-2 (a) は貴重な波浪記録と言える。な

お、台風が沖縄近海を通過後北上するような経路をとる場合は、図-2 (b) に示すような単峰形となるのが一般的である。

(2) 波浪痕跡の調査方法

沖縄本島南部のように、人口が比較的多い地域における波浪痕跡調査は、台風通過後直ちに行われた。これは、台風通過後時間がたつと海浜のゴミ類が清掃される可能性があるため、それ以前に調査を完了する必要があったためである。本島北部と離島に関しては、台風通過後数日たった後(一ヶ月以内)に行った。なお、調査の際には、下記の確認を行うことによって、対象とする台風による痕跡とそれ以前の台風による痕跡とに区分した。

(i) 本研究で対象とする波浪痕跡は、台風通過後直ちに調査されたので、海浜に打ち上げられた海藻類がまだ新しく磯の香りがする。流木・流石については、砂浜に生えている浜屋顔等の草の上に乗っているか、あるいは周りの植物がこれらによって傷つけられていること等の確認。

(ii) 調査地点から1 km 以内に被災した海岸があれば、そこでの被災状況及び波浪痕跡値と調査地点との類似性の確認。

(iii) 沿岸住民からの聴き取り。

(3) 波浪痕跡調査結果

写真-1 は、沖縄県南部・糸満市米須海岸から大渡海岸にわたる海浜に打ち上げられた海藻類の帯を示している(台風T8824, 1988年10月7日)。写真で示すように、海藻類は、潮位と沖波波高の変化によって振り分けられて2列をなし、しかも平行に並んでいる。同写真中、(a)で示す痕跡は10月6日・15~17時の満潮時頃(有義波波高約6m)のものであり、(b)は7日4時の満潮時頃(有義波波高4m)の痕跡である。なお、現地海岸における波の最大遡上高及び平均海面の上昇量は、通常の変動量(すなわち、通常の変動量による上昇量)を用いた。

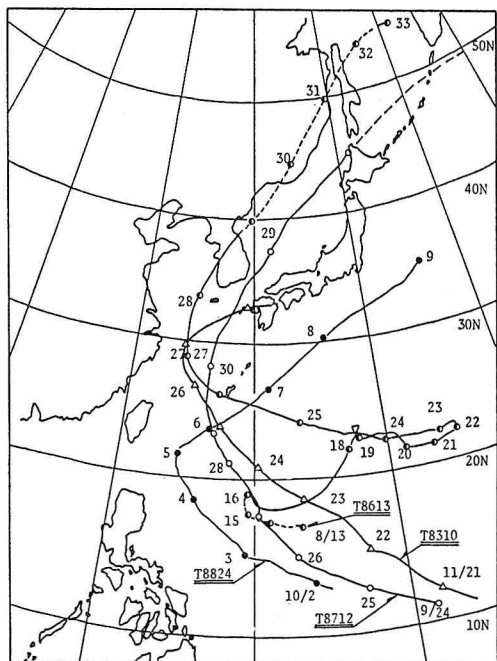
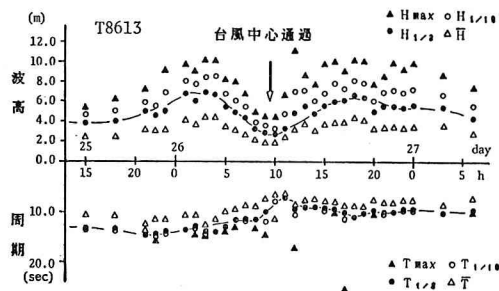
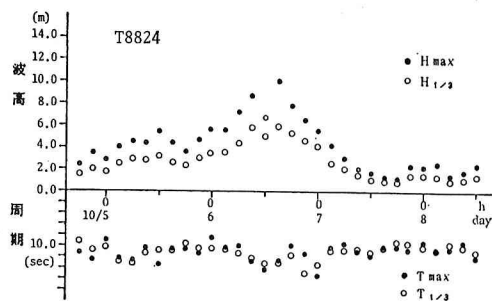


図-1 台風経路図



(a) 台風 T8613



(b) 台風 T8824

図-2 台風 T8613 及び T8824 に伴う波浪の経時変化

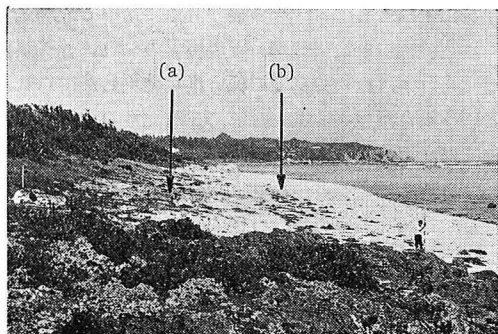


写真-1 米須海岸における波浪痕跡(1988年10月7日)

図-3 は、写真-1 に示す海岸の平均的な断面図である。図中、(a) 及び (b) は、写真-1 の (a), (b) で示す波浪痕跡位置 (米須海岸) であり、(c) で示す位置は大渡海岸における波の現地観測の際発生した最大遡上高である。また、図中“計算値”と表示してある白抜きの矢印は、現行の設計等に用いられている算定式より求めた汀線背後の波の最大遡上高である (但し、沖波の条件としては現地観測で得られた最大波の条件を用いた)。図中、(a) 及び (c) で示すように、当海岸における波の最大遡上高は +5~7m である。一方、上述の計算値は矢印で示すように約 +3.5m となり、この値は波浪痕跡値の約半分となっている。

図-4 は、波浪痕跡値から得られた沖縄本島周辺の海岸における波の最大遡上高、及び平均海面の最大上昇量を示している。図中、バーの高さが波の最大遡上高あるいは平均海面の最大上昇量を表している。また、場所を示す矢印の先端に・印を付した海岸は、汀線背後が岸壁であり、これらの海岸におけるバーの高さは平均海面の最大上昇量を表している。なお、バーの右に示した T で始まる数値は、これらの波浪痕跡値をもたらした台風である。はじめにも述べたように、従来は、+7.0m にも及ぶ水位の上昇量によって被災した海岸については、このような異常現象が起こったのはこの海岸が特殊な形状

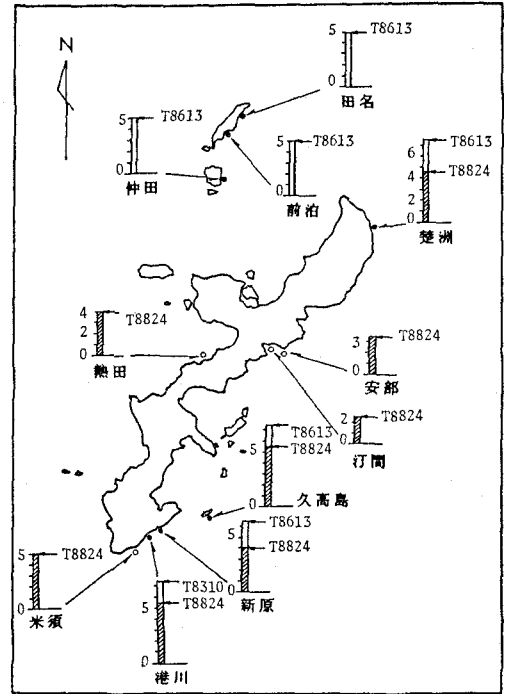


図-4 沖縄本島南部東海岸における波の最大遡上高及び平均海面の最大上昇量 (1983~1988年 : メートル単位)

を有する箇所であった等としてきた。しかし、図-4 に示すように、沖縄本島東海岸における平均海面の最大上昇量あるいは波の最大遡上高は、ほとんどの海岸で +5.0~7.5m にも達していることが分かる。さらに、同図中に示す値は、隣接する海岸ではほぼ同じ値をとっていることから、これらの値が局所的な値を読み取ったものである可能性は低い。なお、来襲波群と波の最大遡上高等との関係については後で実験結果と比較しながら論ずる。

図-5 は、久高島の東海岸に打ち上げられた流木及び流石の分布を示している (台風 T8824 の通過直後に調査)。図中、△及び▲印は直径が 20cm 以上で長さがそれぞれ 1~2m、及び 2m 以上の流木を表している。また、

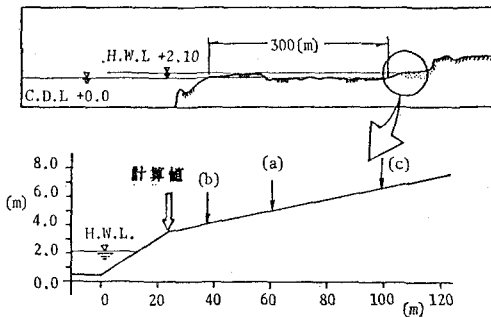


図-3 米須海岸の断面及び波の最大遡上高

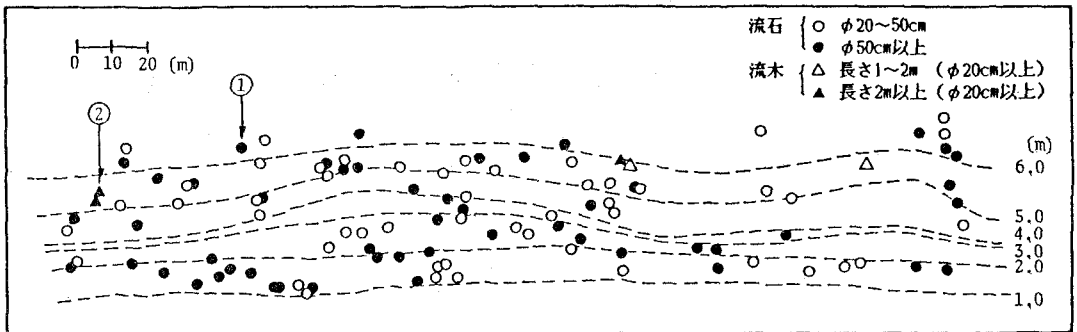


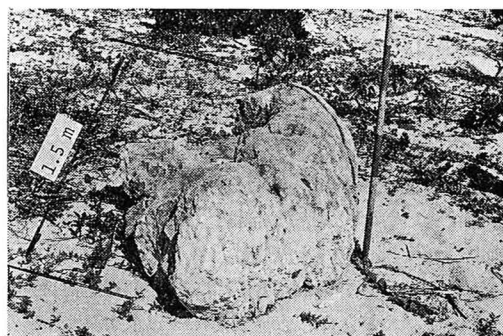
図-5 久高島の東海岸に打ち上げられた流木・流石の分布 (1988・10・23)

○印は球形に換算した直径が 20~50 cm, ●印は直径が 50 cm 以上の流石を表している。破線は, D.L. を基準とした等高線である。ここで示すような流石が打ち上げられている海岸は, いずれも汀線とリーフフラット先端(礁縁)との間に礁池(現地では, イノーと呼ばれている)を有する海岸であり, 流石のほとんどが礁池内に発達したサンゴが波によってもぎ取られた後, 打ち上げられたものと考えられる。当海岸においては, 波浪痕跡を示す海藻類が高さ +5.5 m の位置にあったことから, 高さ +4.5~5.0 m に位置するほとんどの流石は, 台風 T8824 の際打ち上げられたものと判断された。また, 高さ +6 m 付近にある流石は, 植生の状況から判断して台風 T8613 の時のものであると推定された。このことから, この海岸における流木及び流石は, 何回かの台風による波浪によって打ち上げられ移動したものと考えられる。逆に言えば, この海岸にはこれらの流木・流石を移動させるだけの流体力を有する波が頻繁に来襲していることを示している。

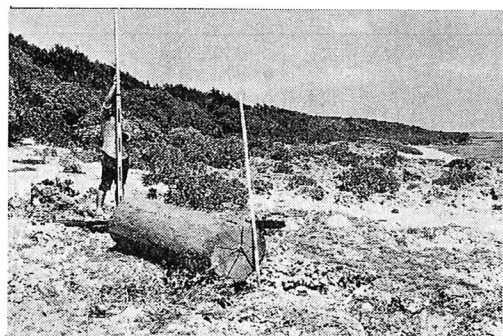
図-5 において, ①で示す流石は直径が約 1 m, 重量は約 1 t であり(写真-2 (a)), ②で示す流木は長さが約 2.5 m, 直径は約 0.6 m (写真-2 (b))である。

ここで, 図-5 に示す海岸における汀線近傍の波の波高あるいは流体力を推定してみる。

例えば, 図-5 の①に示す重さ 1 t の岩塊を +6.5 m



(a) 海浜に打ち上げられた流石



(b) 海浜に打ち上げられた流木

写真-2 久高島の海浜に打ち上げられた流木・流石

の位置に打ち上げた波を推定すると, (ハドソン 公式を用い, 図-4 の波の遡上高を考慮して) 少なくとも高さ +5.5 m 程度の位置で波高 2 m 以上の波が存在したことになる。しかしながら, 前述したように, 従来の計算式から得られる波の最大遡上高及び平均海面の上昇量は, 3.5 m 程度であることから, ここでも現に存在する波浪痕跡を説明することは困難となる。このような波浪痕跡値と従来の計算式による値との差異は, 計算式にリーフ上の Surf-beat が考慮されていないことによるものである (Seelig, 1983, 筆者ら, 1988 a, b)。

以下においては, 実験によって Surf-beat と波の遡上高及び波浪痕跡値との関係を明かにし, その結果に基づいて現地海岸における汀線近傍の波を推定することにする。

3. 実験値と波浪痕跡値との関係

(1) 実験装置及び実験方法

実験には, 長さ 27 m, 幅 0.7 m の二次元不規則造波水槽を用いた。リーフモデルは, 波浪痕跡調査の対象とした海岸の平均的な形状を考え, 礁原幅が 400 m, 礁原水深が 2 m のモデル(1/100の縮尺)とした。入射波は, プ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。波の遡上高の測定には, 容量式波高計のテフロン線を斜面上に約 5 mm の隙間を保つように張り付けた遡上計を用いた。また, 波浪痕跡と波の最大遡上高との関係は, 径が 2 mm のポリスチレン粒子を用いて調べられた。ポリスチレン粒子は, 海藻類を模擬したもので, 完全に水に浮くものである。遡上計から得られた波の最大遡上高と打ち上げられたポリスチレン粒子の最大位置とは殆ど一致していることから, ポリスチレン粒子あるいは波浪痕跡値は波の最大遡上高に対応していることが分かった。

計測された波のデータにおける短周期波及び長周期波の分離は, 入射波の周期の 2 倍に相当する時間で生データに Smoothing をかけることによって行った。

(2) Surf-beat と波の遡上高との関係

図-6 は, 波の最大遡上高と汀線近傍の Surf-beat の振幅 (r.m.s.) との関係を示している。但し, 図中の遡上高 (R_{max}) 及び Surf-beat の振幅 (η_{rms}) は, いずれもリーフフラット上の水深 (h) で無次元化してある。図から明かのように, 遡上高と Surf-beat の振幅とは直線関係にある。これは, 換言すれば波の最大遡上高を示す波浪痕跡値から汀線近傍の Surf-beat の振幅を求めることができることを示している。例えば, 図-4 に "c" の記号で示す大波海岸における最大遡上高から図-6 を用いて, この痕跡をもたらしした Surf-beat の波高を推定すると, 約 3.7 m となる。この値は, 現地観測によ

って得られた 3.5 m に近い値である (但し, Surf-beat の標準偏差値から波高への換算は日野ら (1989) を参照)。

図-7 は、波の最大遡上高と汀線近傍の個々波の最大波高との関係を示している。この結果を基に上述の遡上高に対する個々波の最大波高を求めると、約 2.0 m となる。この値は、流石に作用する波力の算定式にハドソン公式を適用して求めた波高と一致する。

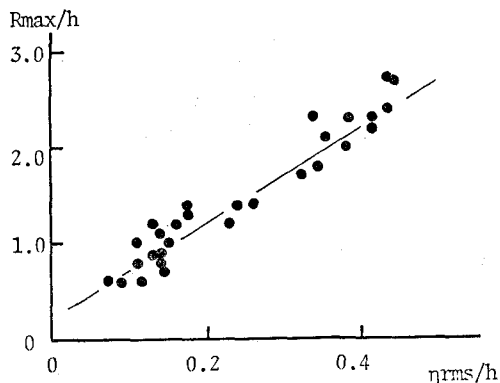


図-6 最大遡上高と Surf-beat の振幅との関係

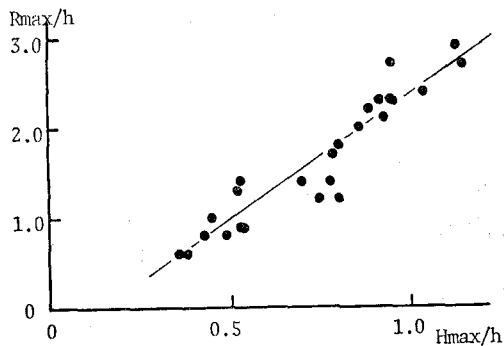


図-7 最大遡上高と個々波の波高との関係

4. おわりに

本研究においては、汀線近傍の波浪痕跡値から汀線近

傍の波を推定する試みを行った。まず、沖縄本島周辺の海岸を全体的にカバーできる代表的な海岸を選択し、それらの海岸における波浪痕跡調査を三年間にわたって実施した。その結果、沖縄本島東海岸における平均海面の最大上昇量は、D.L.+5.0~7.0 m にも達していることが分かった。このことより、これまで長年にわたり海岸技術者らの間で疑問視されてきた +7.0 m にも及ぶ水位の上昇量は、特別な海岸で発生する特異な現象によるものでなく、ほとんどの海岸で、しかも頻繁に発生していることが明かとなった。流木・流石の打ち上げ位置からは、汀線近傍における波の流体力あるいは波高を推定しうる事を示した。また、波浪痕跡値と波の遡上高あるいは Surf-beat の振幅等との関係を実験によって明らかにした。

謝 辞

本研究における波浪の現地観測及び波浪痕跡調査には、多くの方々の協力を頂いた。特に、沖縄気象台は、現地観測における沖波観測に際し、観測装置の使用を快く許可して下さい。また、琉球大学土木工学科の宇座俊吉技官及び水工学研究室の与儀実和君をはじめとする学生諸君には全ての調査にご協力頂いた。ここに記して心より感謝申し上げます。

最後に、本研究の一部は、文部省科学研究費奨励研究 (代表者：仲座栄三) の援助を受けていることを付記し、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 仲座栄三・日野幹雄 (1988 a): 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, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 202~206.
- 日野幹雄・仲座栄三・與那覇健次 (1988b): 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, pp. 197~201.
- 日野幹雄・仲座栄三・与儀実和 (1989): 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, 海岸工学論文集, 第 36 巻 pp. 75~79.
- Seelig, W. (1983): Laboratory Study of Reef Lagoon System Hydraulics, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 109.