

台風 T9021 号による歴史的波浪災害の実態調査

仲 座 栄 三*・津嘉山正光**・砂 川 勇 二***

1. はじめに

1990年10月4日から7日にかけて琉球諸島を襲った台風21号は、10月6日18時より23時の間に、沖縄諸島に甚大な波浪災害をもたらした。本研究は、この台風による波浪災害の実態とその発生原因の検討を主な目的としている。

1920年（大正9年）に石垣島地方を襲った台風は、歴史上最大の台風となった。その規模は中心気圧が 698.5 mb, 20分平均最大風速が 47.6 m/s を記録している。この時の様子を石垣島の気象観測の父と呼ばれる岩崎卓爾は、「9月3日（台風の目に入り）、不正ナル楕円形ノ青空……、十四時二十分波ハ東南東に転じ風勢ニワカニ衰へ疾風トナリ、同五十五分気圧六九八・五ミリニ降下ス。……、海岸線一帯ハ狂浪怒濤重畳シ、石垣ノ崩壊、家屋ノ浸水、流失マタハ倒潰セルモノ多ク、…」と、当時の被災状況を書き記している（谷 真介, 1985）。1990年は、岩崎卓爾によってつづさに記録された歴史的な台風から70年目に当たる。そろそろ歴史的な台風が出現してもいい頃であると考えていた所くしくも、1990年9月17日～18日にかけて台風19号が沖縄近海を北上した。この時の台風中心気圧は歴史に名を連ねる 890 mb となり、中心付近の最大風速は 60 m/s にも達したものと推定されている。この台風の発生は、まさに記録的なものであった。しかし、この台風は沖縄諸島から約 120 km 離れた南東海上を通過したため、沖縄諸島ではさほど大きな災害は発生しなかった。

一方、台風 T9021号の場合、台風の規模からして、沖縄地方では問題とならない程度のものであった。しかしながら、この台風による波浪災害は記録に名を残す結果となった。

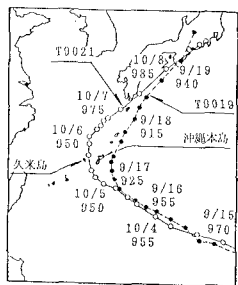
これまで、沖縄地方では、甚大な波浪災害が数多く発生している。しかしながら、その殆どが現行の設計法に生かされていない。その第一の理由は、これまでの波浪災害の実態調査が海岸工学的な面から十分検討されず、

殆どが経済調査となっていたことにあると考えられる。

本論文は、この台風 T9021 号による波浪災害の実態を示すと共に、その発生原因について述べたものである。災害資料は、後の設計基準作りに重要な参考資料となるものであり、そのために災害の実態をできるだけ図や写真を用い忠実に述べることにした。

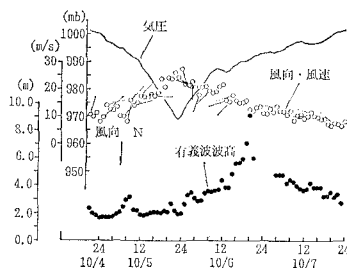
2. 台風諸元及び被災時の気象・海象状況

台風 T9021号は、1990年10月2日にサイパン島の北東海上で発生し、図—1 で示す様に沖縄本島と久米島の間をゆっくりと通過、沖縄本島及びその周辺諸島を10月5日から6日にかけてのまる2日間も暴風域に巻き込みながら北上した。この台風に伴う気圧、風向・風速、及び波浪の経時変化を図—2 に示す（気象条件：沖縄本島南部の那覇市内において沖縄気象台が観測、波浪データ：那覇港沖において沖縄総合事務局那覇港工事事務所が観測）。図—1 及び図—2に示すように、台風 T9021 号は中型の強い台風であり、台風が沖縄本島と久米島の間を通過する際の中心気圧は 950 mb, 中心付近の最大



図—1 台風経路図

風速は 40 m/s, 平均の進行速度は約 10 km/hr 程度であった。那覇市では10月5日22時07分に、東南東の風で 48.3m/s の最大瞬間風速を記録している。目撃者らの証



図—2 那覇での気圧、風向・風速、波浪の経時変化

* 正会員 工博 琉球大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部土木工学科

*** 琉球大学大学院 工学研究科

言から、波浪災害は10月6日17時から22時にかけて発生したものと判断される。すなわち、風速 15 m/s、気圧 990 mb 程度の条件下で発生したことになる。また、10月6日の満潮時は、19時56分で潮位 +2.26 m であった。

台風の中心気圧及び最大風速の規模からすると、この程度の規模の台風の発生頻度は1年に1度、すなわち毎年発生する程度ものといっても過言ではない。1990年度は、沖縄県を直接襲った台風の数が11個と例年より多かった。その中で、中心気圧が 950 mb を下回った台風が数回にわたって沖縄本島及びその周辺諸島を襲っている。先に述べたように、特に台風 T 9019号は、沖縄本島近海を通過する際の中心気圧が 890 mb、最大風速が 60 m/s にも達した。しかし、沖縄県下では台風19号やその他の台風による目立った波浪災害は発生しなかった。

台風の経路について見てみると、過去に沖縄県下において最大級の台風災害をもたらしたルース台風 (T 5115) サラ台風 (T 5914) 及びデラ台風 (T 6816) とほぼ同じ様な経路をとっており、沖縄本島周辺にとって最も危険側の経路であったといえる。

3. 災害の実態調査

台風21号は、沖縄本島西海岸及び沖縄本島の西側に位置する慶良間諸島・久米島諸島に異常な水位の上昇と甚大な波浪災害をもたらした。図-3 に波の遡上高が H.W.L. より 1 m 以上と確認された箇所、その値をバーの高さで示す。図中、波浪により被災した箇所を \\\\\\\ 印で示してある。図示のとおり、恩納村、北谷町、久米島など主に沖縄本島の西側で波浪災害が発生している。

一般には、沖縄本島の西海岸では台風時でも大波高の波浪が発生しないという事が知られていた。これは、北上する台風からの“うねり”が沖縄本島によって遮蔽されることによるが、現に、被災箇所の住民への聞き取り調査では、“20 年以上もこの地に住んでいるが、これほどの被災は初めてである”などの調査結果

が出ている。

図-4 は、恩納村真栄田漁港及びその周辺一帯の被災状況を示している。災害調査は、台風通過直後に被災地周辺住民への聞き込み調査と同時に行った。図中、波浪による痕跡及びポートや岩塊が打ち上げられていた箇所には地盤高を示してある。図に示す波浪痕跡より、最大遡上高は D.L. +5.0 m にも達していたことがわかる。

写真-1 (a) 及び (b) は、図-3 中に P1 及び P2 で示した箇所における被災状況を示している。写真に示すように、船上げ場側面のコンクリートは完全にもぎ取られ散乱している。この漁港では、これまでの台風による波浪は背後の砂浜を越えた事がないという漁師らの経験から、台風21号接近時にも殆どの漁船を船上げ場 (天端高 +3.5 m) に係留したままであった。しかし、予想に反して漁船は10隻以上も流出し、一部は破壊された。写真-1 (c) は、図-3 中に浸水区域を示したサトウキビ畑の被災状況を示している。サトウキビ全体が川上の方へ倒れ込んでおり、海水はかなりの勢いで上流の方へ逆流したものと判断される。被災当時は数十人の漁師らが被災時の様子を具に目撃しているが、彼らは被災時の状況を「大きな波が数十分間隔で襲ってきたが、まるで津波のような波だった、またこの波が来襲すると、船上げ場は完全に水没していた」などと証言している。

写真-2 (a) は、沖縄本島から約 80 km 西側に離れた久米島の北海岸における被災状況を示している。写真に矢印で示すように、波の最大遡上高は D.L. +9.0 m 付近まで達している。この付近には写真奥に見られるような直径 80 cm、長さ 10 m 程の大木などが打ち上げら

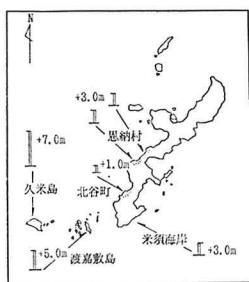


図-3 波の最大遡上高

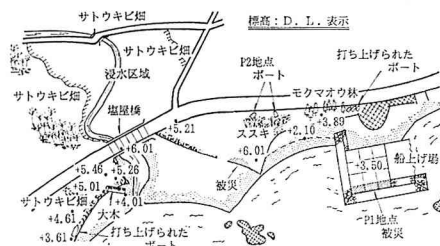
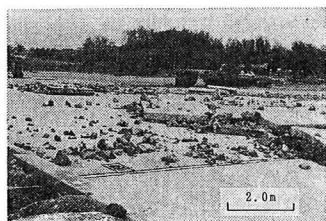


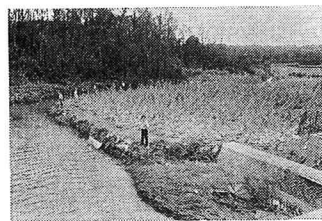
図-4 真栄田漁港周辺の被災箇所



(a) 被災した船上げ場



(b) 打ち上げられて破損したポート



(c) 被災したサトウキビ畑

写真-1 真栄田漁港の被災状況

れている。同写真の左側はサトウキビ畑であるが、さとうきびは完全に根元からもぎ取られて跡形もなく、ただ数トン級の岩塊が散乱している状態である。写真—2 (b) 及び (c) は、同海岸に建設されていた護岸及び護岸背後の被災後の状況を示している。この倒壊した護岸の天端高は、D.L.+5.5m である。D.L.+2.0m 付近に設置してあった護岸は、D.L.+8.0m 付近まで引きずられ散乱している。また、護岸背後では排水施設が完全に破壊され、設置してあったガードレールもまるで飴のように折り曲げられているだけでなく、根元からきれいに切断されている区域もある。ガードレールの被害状況や流木・流石の規模からして、護岸をはるかに越える高潮が繰り返し襲った事が予想される。この被災地住民らの証言では、これほどの水位上昇が発生したのはチリ津波以来40年ぶりとの事であり、真栄田漁港での漁師らの証言も含めて、台風 T9021号による波浪災害は歴史的なものとなった。

4. 被災地における波浪及び高潮潮位の推算

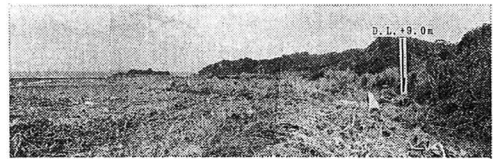
——被災原因の究明——

被災時にどの程度の波高を有する波が発生していたのかを知るために、数値計算による沖波の推算を行った。数値計算には、エネルギー平衡方程式に基づく波浪推算法の一つで、山口らの開発した深海波浪計算モデル（一点法）を用いた。台風に伴う風の風向・風速は、気圧分布が同心円形で近似できるとした Myers らによるモデルを用い、等圧線に対して 30° 内側に吹き込む傾度風と台風の進行方向に吹く場の風とのベクトル和で与えた。図—5 は那覇港における台風21号時の波高の実測値と推算値とを比較したものである。図示のとおり、計算値と実測値とはあまり一致していない。この原因は、第一に波浪推算に用いた風向・風速の計算値が実際のそれと一致していない点にあると考えられる。

図—6 に台風が沖縄本島に向けて進行中（10月5日9時）における気象衛星「ひまわり」の可視画像を示す。図示のとおり、「ひまわり」に映し出された雲の様子はほぼ同心円状に吹き込んでおり、図—7 に示す風向・風

速の計算値とはほぼ一致する。一方、図—8 は、台風が沖縄本島を通過後約20時間たった6日21時における「ひまわり」の可視画像である。図示のとおり、台風中心付近の雲の様子は、楕円形状になっており図—6 に示す形状と異なる。「ひまわり」の可視画像は、かなり上空の雲の様子を捉えたものであり、それがそのまま台風に伴う海表面付近の風向風速のパターンを表すとは結論づけられない。しかしながら、逆に、まったく異なるとも考えにくい。現在のところ、波浪推算に必要な海上風の平面的な分布の実測は不可能であり、今の場合、上記の気象衛星画像で映し出された雲を一種のトレーサーとして利用することはかなり有効と考えられる。

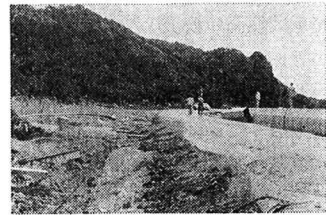
そこで、以下の計算では、台風の形状を楕円形（台風が急激に進路を変更したことにより、組織渦がある程度



(a) 波の最大遡上高

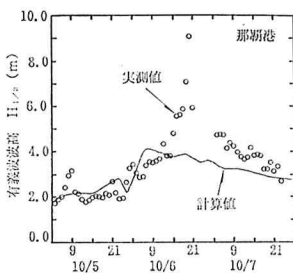


(b) 被災した海岸護岸

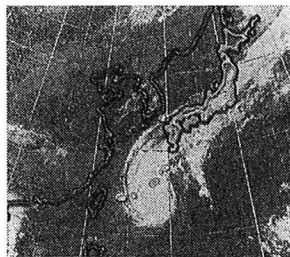


(c) 被災した護岸背後地

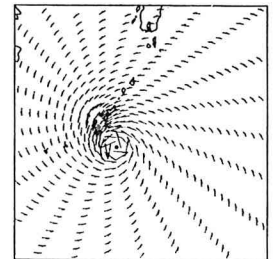
写真—2 久米島北海岸における波浪災害



図—5 波浪推算結果



図—6 ひまわりの可視画像



図—7 計算による風速場

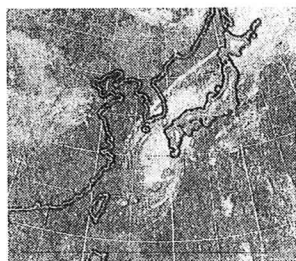


図-8 ひまわりの可視画像

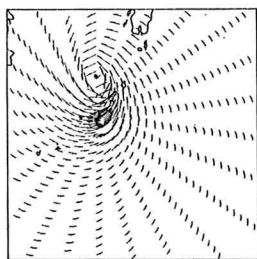


図-9 計算による風速場

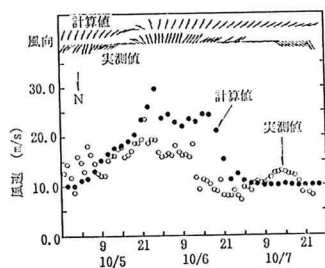


図-10 風向・風速の経時変化

ぼやけた」と仮定し、楕円の長軸径と短軸径との比 (γ) を台風が沖縄本島を通過直後から 10 月 6 日の 21 時まで $\gamma=1.0\sim 1.4$ と線形的に漸次増加させ、21 時以降はさらに漸次減少させるという工夫を行った。このような台風モデルの基に、図-8 で示す「ひまわり」の可視画像と同時刻における海上風の計算結果を図-9 に示す。図-9 で示す風ベクトルは、図-8 で示す雲の筋とほぼ一致している。図-10 は、波浪推算点における風向・風速の実測値と計算値とを比較したものである。風向に関しては台風の影響が大きい時間帯ではほぼ一致しているといえる。風速に関しては計算値が大きめに現れているが、実測値は、海岸線から約 1 km 離れた市街地の 2 階建ての屋上で得られたことを考えると計算値よりも実測値が低くなっていることは理解される。さらに、海上風は陸上風に比べて数 10% 程度大きくなることや、観測高度をも考慮すると実測値と計算値とは比較的良好一致を示しているものと判断される。

上述の台風モデルを用い、那覇港及び沖縄本島南部の大度海岸における波浪の計算値と実測値との比較を図-11 に示す。那覇港における計算値は、ピーク時に実測値よりもやや低めの値をとっているが、全体的に見た場合、両地点とも比較的良好一致していると言える。

図-11 において、大度海岸では 10 月 5 日の 20 時頃に波高のピークがあり、那覇港では 10 月 6 日の 20 時頃にピークが発生している。両地点での波高のピークが実に 20 時間以上もずれているのは、沖縄本島による波の遮蔽効果によるものと考えられる。最大波高の発生時間のずれは

あるものの、この台風に伴う波浪の有義波波高は 7 m から 9 m 程度にも達したものと判断される。図-12 は、図-11 に示す波浪計算と同じ条件で推算した久米島北海岸における波高の計算結果である。図示のとおり、久米島の北海岸における波の波高は、那覇港と同じ 10 月 6 日 20 時頃にピークとなり 7 m を越える大波が発生していたものと判断される。これ程の波は台風接近時でも頻繁に発生するものではなく、台風 21 号によって発生した波は発生確率年の比較的大きい波となったものと推定される。

写真-2 (b) に示す被災した護岸の天端高 (D.L. + 5.5 m) は、換算沖波波高 11.8 m、周期 13.2 s の波を対象として、期待越波量 $\bar{q}=0.02 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ を満足するように設定された。この護岸の設計において、波の碎波変形計算には一般に用いられる合田の図表が用いられ、リーフ上の波の変形計算には高山らの波高算定式が用いられた。また、越波量計算の際の設計潮位としては、既往最大潮位偏差 (H.H.W.L. + 3.10 m) が採用された。すなわち、この被災護岸の天端高算出手法は、現設計法の枠組みの中では問題点はないものと考えられ、被災時に波高 7 m 程度の波が来襲したとしても、計算上、設計基準値を十分に満足していることになる。逆に、現行設計手法を用い、リーフの先端から約 150 m 離れた内陸部で D.L. + 9 m という最大波浪痕跡値を説明する沖波を推定すると、有義波波高で 30 m 程度となり、海岸工学的な常識を越えることになる。すなわち、従来のリーフ上の波に関する考え方 (現行の設計手法) では、今回の

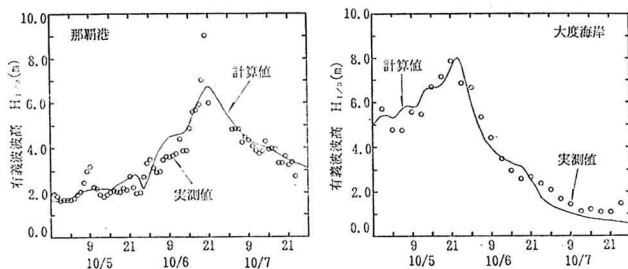


図-11 波高の計算値と実測値との比較

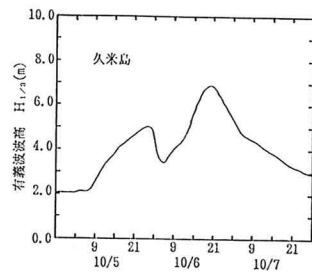


図-12 波浪推算結果

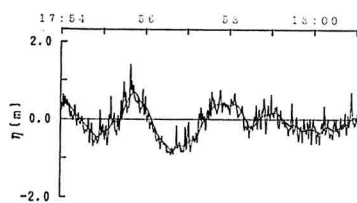
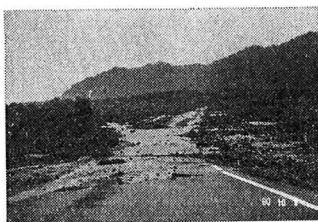


図-13 リーフ上の水位変動の実測値



(a) 波群津波発生直前の様子



(b) 波群津波の来襲

写真-3 久米島北海岸の被災状況

被災状況を説明し得ない。また、被災地住民らによって具に観測された「数十分間隔で繰り返す来襲する津波のような波」は、通常の波としての現象では説明し得ない。

ところが、写真-2 に示す海岸が被災した時刻から約24時間前、すなわち図-11に示す大度海岸における波浪の波高がピークを迎える前に、筆者らは大度海岸でリーフ上の波浪観測を実施していた。この時得られた、汀線近くの水位及び流速の波形を図-13に示す。図示のとおり、東よりに位置する大度海岸では、この時間帯にリーフ上で大振幅の波群津波（サーフビート）が発生していたことが分かる。この時発生した波群津波の波高は、図-13 より約2mと判断される。さらに、久米島の被災地住民らが護岸の被災状況をとらえた写真及びビデオには、図-13で示した波群津波と同様な現象が発生していた事が確認された。写真-3は、久米島北海岸における護岸が被災前の海岸の様子である。写真-3(a)には、写真-2(a)に示したサトウキビ畑及びその周辺に、草木がまだ残っている様子がうかがえる。写真-3(b)は、まさに波群津波が来襲したときの様子である。この急激な水位上昇は、数分後には写真-3(a)に示すような状態まで引いたことが確認されている。この写真が撮られた時間帯は干潮時であり、通常時であれば完全に干上がっている状態のはずである。干潮時でもこれ程の波群津波が発生しているという事は、満潮時頃にあたり、しかも来襲波の波高が最高に達していた時間帯にはさらに大きな波群津波が発生していた可能性がある。

被災地住民らによる証言や、被災状況を捉えたビデオ及び写真、さらに筆者らの大度海岸における波浪観測結果から、本研究で説明した波浪災害原因を判断すると、これまで現行設計法で取り入れられていないリーフ上の

波群津波の発生が主因と考えられる。

5. おわりに

本研究では、台風 T9021 号による波浪災害の実態調査を行うと共に、その発生の主因について検討した。波浪災害の実態調査からこの台風21号による波浪災害は、近年希にみるもので20年から40年来のものであった事が明かとなった。この台風による久米島北海岸における波の最大遡上高は、D.L.+9.0mを記録し、ルース台風(T5115)による沖縄本島南部の高潮災害時の+10.0mにつぎ、記録に名を残すものとなった。また、被災時を捉えたビデオや写真、あるいは住民らの証言から、ここで取り上げた波浪災害のほとんどが「数十分間隔で繰り返す来襲する津波のような波」によって被災したことが明かとなった。被災当時の沖波波高は、波浪推算により7mを越えていたものと推定される。その他、波群津波による波浪災害に関しては、仲座(1990)を参照して頂きたい。

謝辞：本研究の災害調査に関しては、久米島・具志川村建設課及び北斗設計コンサルタント、沖縄電力久米島出張所安里公作所長を始め、当時琉球大学水工学研究室の学生であった与儀実和、高良尚樹、照屋雅彦、錨忠宏の諸氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 谷 真介 (1985): 台風の島に生きる, 偕成社.
- 仲座栄三 (1990): リーフ海岸における段波状サーフビートの発生とその防災対策に関する基礎的研究, 東工大博士論文, p. 180.
- 山口正隆・畑田佳男・早川 淳・宇都宮好博 (1989): パーソナルコンピュータを利用した現場用波浪推算モデル, 土木学会論文集, 第405号, pp. 259-262.