波浪モデル等を用いた平成 19 年 7 月 13 日に沖縄本島で発生した高潮・高波災害の発生要因の解明

栽　吉信、照屋　学、出原幸志郎（沖縄気象台）

1　はじめに

台風第 4 号の沖縄本島への接近に伴い、平成 19 年 7 月 13 日 03 時から 05 時にかけて、本島北部東海岸の東村、名護市、宜野座村の沿岸地域で高潮と高波により住家浸水害及び道路損壊等が発生した（第 1 図参考）。また東海岸一帯では海浜の砂が陸に打ち上げられ、特に東村平良地区や名護市嘉陽地区ではその量が多かった。更に発生時間は不明であるが、同日午前中には本島南部の南城市奥武島で高波により道路が損壊した。

被害地区住民からの聞き取り調査によれば、浸水害や陸に打ち上げられた大量の砂は、過去に例が無いほど規模が大きかったとのことである。

本事例については、既に災害調査報告書が作成され関係機関にも配布されており、また、沖縄技術ノート第 69 号にも掲載される予定である。

本稿では、高潮・高波災害の発生予測に資する目的で、特に被害が顕著であった次の①から③について（第 1 図の青枠）、発生要因に着目し調査を行った。合わせて高潮ガイダンスの検証も行った。

① 大量の砂が打ち上げられた東村平良地区
② 浸水害が最も顕著である名護市安部地区
③ 南城市奥武島の道路損壊

2　調査方法

高潮・高波災害の発生要因を調査するには、外力条件（気象現象等）と素因条件（地形や社会基盤等）を複合して考える必要がある。特に海岸線に入射してきた高波の性質（波向、周期等）と海岸付近の海底地形を押さえることは必須事項である。そこで高波の予測には気象庁沿岸波浪モデルの予測値、水深の調査には海底地形図を用いた。

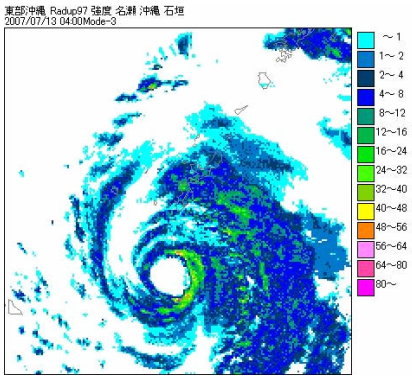
3　気象概況等

第 2 図に 13 日 04 時のレーダーエコー図を示す。

災害が発生した 13 日 03 時から 05 時には、台風は本島の南約 100km 付近にあり、本島地方は暴風域の中にあった。災害発生時、本島北部には一部に最大で 1 時間降水強度 10mm 前後の雨雲がかかっていたが、被害地域近辺のアメダスや沖縄県設置の雨量観測所の観測値を考慮すると、災害発生前後には強雨はなかったと推定する。

那覇、名護共に 12 日朝から 13 日朝にかけて東

第 1 図　被害発生地区と被害状況



第 2 図　レーダーエコー図（13 日 04 時）

よりの風が次第に強まり、13 日 05 時は那覇で 25m/s の暴風、名護では 15m/s の強風が吹いていた（図略）。海面気圧も台風の接近に伴い次第に下降し、名護では 13 日 05 時に 976.1 hPa となり、12 日 00 時から約 25hPa 低下した（図略）。

13 日 09 時の沿岸波浪実況図では、東海岸の沿岸海域には北西方向に向かう波高 14m前後、周期 15 秒前後の長周期の高波が卓越していた（図略）。

4　調査結果

（1）東村平良地区の大量の砂の打ち上げ

被害地区は南東側に開く湾の奥に位置している（図略）。写真 1 は被害発生日、写真 2 は平常時の海浜の様子である。道路に積もった砂の厚さは最大で 70cm にも達し、内陸側約 50mの地点（標高約 7m）まで砂が押し上げられていた（図略）。

特に注目すべきは被害区域が県道 70 号線に沿った幅約 300mの範囲に限定されていたことである。ではなぜこの地区が他と比べて砂の堆積量が多かったのであろうか。

この要因は被害地域の沖合約 100m に汀線に沿って平行に設置された消波ブロックの影響と考える。汀線に平行な構造物が設置されると、第 4 図に示すように、構造物背後の汀線近傍では構造物の背後に回り込む流れが生じる。この流れで浮遊した砂が流れに乗って構造物背後に運ばれたが、構造物背後では波が小さいため、砂は浮遊していることができず落下した（第 5 図参照）。その結果、構造物背後で砂の堆積が生じたと考える。

なお、現地調査からも第 5 図に類似した砂の堆積が確認されている。

（2）浸水害が最も顕著である名護市安部地区

名護市安部地区は浅瀬の湾奥に位置し、かつ河川沿いの地域であるが、他の河川沿いの地域と比べて浸水害の規模は比較にならないほど大きかった。その要因を地形的な特徴から考えてみる。

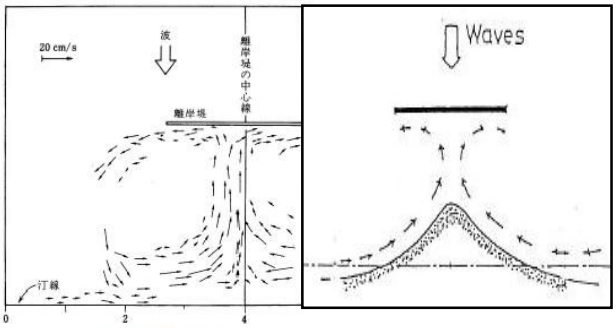
第 5 図に被害域の拡大図と被害写真を示す。浸水域は安部集落内陸側の低地で標高は最も低い所で約 1 mであり、集落の南西側にある河川の堤防（標高 6m、河床から約 2.2m）から大量の海水が溢れ集落内に流入した。最大浸水高は内陸側で 2 mであることから最大潮位も約 2mと推定できる。

■　強い越流の発生要因

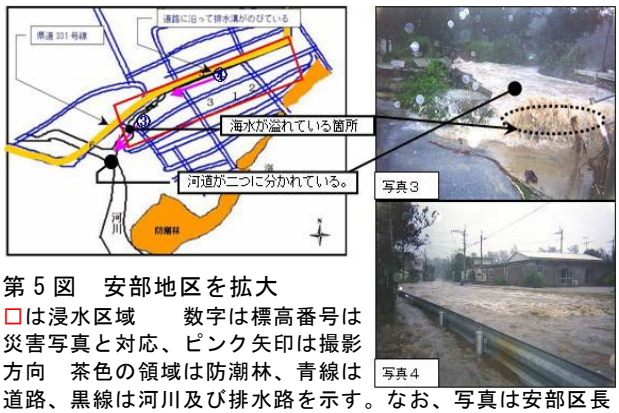
写真 3 から速い流れが川を遡上していることが分かる。なぜこのような速い流れが生じ、標高 6 mの堤防を超え集落内に流入したのであろうか。

被害地区は浅瀬の海底地形であり、当時は浅海効果により、海岸付近で波高が急速に高まり砕波していたと考えられる。波の運動量は波高に比例することから、砕波する波の波高が高いほど、大きな運動量が海水の運動量に転化され、海岸に向かう強い流が生じたと推定する。また災害発生時は大潮の上げ潮に向かう時間帯であり、海岸に向かう潮流の速さは最大となることから、この影響も間接的に働いたと考える。グリーンの法則より、

写真 1　14 日 08 時撮影　　写真 2　平成 19 年 3 月頃撮影



第 4 図　構造物背後の流れ（栗山（2005）より引用）　　第 5 図　離岸提周辺の地形変化（栗山（2005）より引用）



第 5 図　安部地区を拡大
□は浸水区域　　数字は標高番号は災害写真と対応、ピンク矢印は撮影方向　茶色の領域は防潮林、青線は道路、黒線は河川及び排水路を示す。なお、写真は安部区長提供でいずれも 13 日 05 時から 06 時頃の様子である。

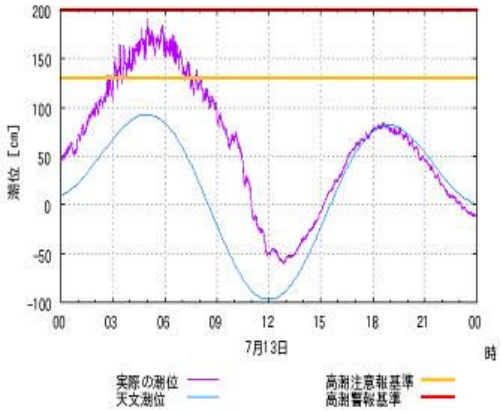
波高は水路幅の平方根に逆比例することから、河道幅が細くなると水位は高まる。また堰や河道が湾曲しているところでは、流速が一時的に弱まり水位が高まる。

第 5 図の拡大図をみると、河道が細くなりかつ湾曲しており、遡上する海水の速度が一時的に弱まる形状となっている。この形状が原因となり急速に水位が高まり溢れた可能性がある。

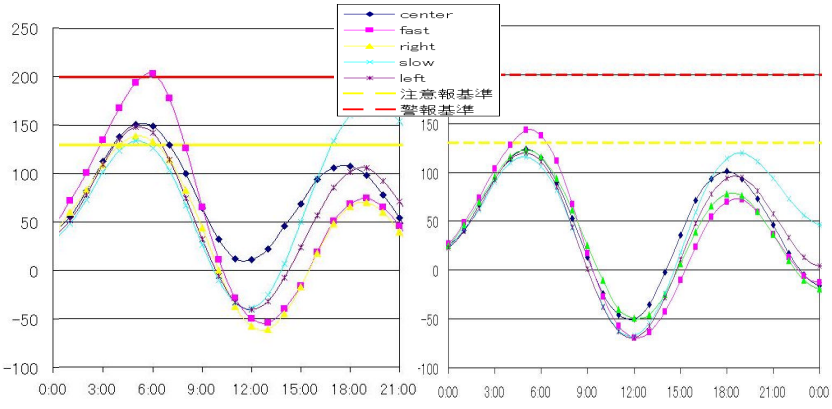
■　潮位上昇の要因と高潮ガイダンスの検証

安部地区の浸水から最大潮位は 2mと推定できた。潮位上昇には吸い上げ効果と吹き寄せ効果の他に砕波による上昇（以下 Wave-Setup 効果）が影響する。気象庁高潮ガイダンスでは、吸い上げ及び吹き寄せ効果が考慮されているが、Wave-Setup 効果は考慮されていない。そこで高潮ガイダンスの簡単な検証をかねて、この効果による潮位上昇量を考えてみる。

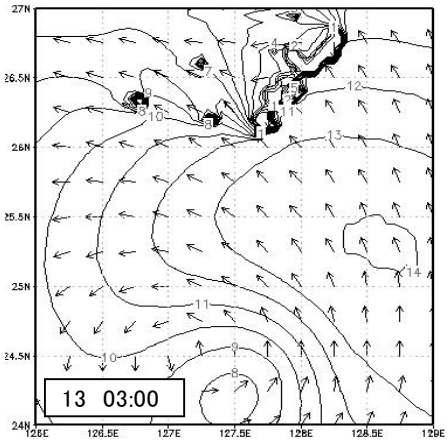
第 6 図に中城湾検潮所（沖縄総合事務局管理）の潮位観測値を示す。13 日は大潮にあたる。



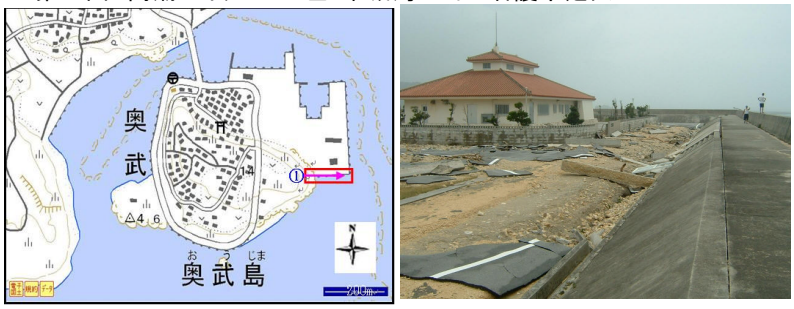
第 6 図　中城湾検潮所の潮位



第 7 図　高潮ガイダンス　左：中城湾　　右：名護市楚久



第 8 図　沿岸波浪モデル計算値
実線：波高(m)、矢印：波向



第 9 図　奥武島の拡大図と被害写真　　写真①（沖縄気象台撮影）
番号は災害写真と対応、矢印は撮影方向

中城湾港では、13 日 05 時 03 分に潮位 188cm(標高）を観測しており、第 7 図左の高潮ガイダンス値（fast）との誤差は約 10cm でほぼ合っていた。

第 7 図右は被害発生地域に近く、南東に開いた湾の奥に位置する名護市楚久（第 1 図参照）の潮位予測であり、13 日 05 時頃は約 1.5m である。被害発生当時の潮位は約 2m と推定されることから、Wave-Setup 効果の上昇は約 40cm と推定される。

第 8 図は 7 月 13 日 03 時の沿岸波浪モデルの波高と波向の予測値である。図の南端に波高の低い領域が見られるが、これは台風が RSM 予想値よりも速く進んだため、台風ボーガスとの差によるものである。第 8 図より、災害発生当時、本島東海岸には南東から波高 10m、周期 13 秒（図略）の高波が入射している。小西（1991）の実験式(略)によれば有義波高が 4 から 10m の範囲では 1m につき 6 から 10cm の水位上昇があるとしている。このことから波高 10m の高波であれば、約 40cm から 60cm の水位上昇が推定され、先に推定した Wave-Setup 効果によるものとほぼ一致する。

（３）南城市奥武島の道路損壊

第 9 図に南城市奥武島の拡大図と被害写真を示す。奥武島はリーフ海岸であり、被害が起きた場所の南約 400m 沖にリーフの先端がある。また、リーフ内の水深は基本基準面下約 2m であり、13 日の満潮時の水深は約 4m と推定する。被害が起きた場所は天端高約 5m（標高）の護岸が設置されており、そこを乗り超えた高波が長さ約 100m にわたって道路のアスファルト（写真①）を破壊し、コンテナを横転させた。アスファルトが飛び散った方向及びコンテナの横転した向きが北西方向であることから、護岸を超えた高波は南東から入射したと推定される。これは仲座他(1988)のリーフ水域特有の段波状サーフビートによるものと考えている。つまり、外洋から入射する長周期の波がリーフ上で砕波して起きる海面変動がサーフビートを起し、砕波帯から長周期波成分が放出される。これがリーフ内の固有周期と共振することでリーフ内の海水が大きな振幅で振動する海面振動である。

沿岸波浪モデルから、13 日 03 時から 06 時の本島南部の海岸付近には、波高 12m 前後、周期 13 秒前後の長周期の高波が南東方向から入射していた。この時間帯にリーフ内に入射した長周期の高波が段波状サーフビートを起こしたと推定する。

５　今後の課題

リーフ水域特有の段波状サーフビートについては、入射する高波の広い周波数帯でリーフ域の基本周波数との共振条件を満たすことから、今後は類似事例の解析をすすめ、サーフビートの起こる条件、例えば波向・周期・波高の目安を調査する予定である。（参考文献省略）