

2004年台風16号による高松の高潮浸水被害

富田孝史*・本多和彦**・河合弘泰***・柿沼太郎****

2004年の台風16号は、瀬戸内海東部の沿岸に大きな高潮被害を発生させた。これは、台風による潮位偏差が極めて大きかったというよりも、最大潮位偏差の発生が大潮の満潮に重なったためである。現地調査によると、備讃瀬戸を挟んで香川県側と岡山県側では高波の有無の影響により被害の様相は異なった。瀬戸内海における高潮の再現計算を実施したところ、海域の全体で潮位偏差は観測値よりも小さくなり、天文潮位の変動を考慮すると備讃瀬戸ではさらに10 cm 程度小さくなった。そこで、高松市の沿岸での海水位を観測値に合わせ込み、市街地の浸水計算を実施した。その結果、計算による浸水状況は実際の状況によく一致した。

1. はじめに

2004年（平成16年）は、これまでにない多くの台風（10個）が日本に上陸した年である。そして、高潮の危険地域と一般にいわれる三大湾以外の瀬戸内海、日本海、北海道等の沿岸において高潮・高波被害が発生した。そのなかでも、台風16号（台風0416号）は、瀬戸内海東部に大きな高潮被害を発生させた。床上・床下浸水の住家は、香川および岡山の両県で3万戸以上となり、高松市では2名、倉敷市では1名が浸水によって亡くなった。

浸水被害に関する現地調査を実施したところ、備讃瀬戸を挟んだ高松市と玉野市等とは、高潮被害の様相が異なることが明らかとなった。玉野市や倉敷市では高潮とそれに伴う高波による被害が発生したのに対し、高松市では高波を伴わない高潮による浸水被害であった。すなわち、高松市の浸水被害は高潮による浸水被害の基本的な特性が把握できる事例である。このため、数値シミュレーションによる再現を試みた。

本報告は、以上のような現地調査および数値計算による検討によって、高松市を中心とした台風0416号による高潮被害の実態と特性を明らかにし、さらに今後の課題について検討を加えたものである。

2. 台風0416号とそれによる高潮の特徴

台風0416号は、図-1に示すように、8月30日9時頃に鹿児島県西部に、中心気圧955 hPa、進行速度25 km/hで上陸し、九州を縦断して、17時半頃に山口県に中心気圧965 hPa、進行速度35 km/hで再上陸した。そ

の後、広島上空を通過し鳥取県から日本海へ抜けた。台風0416号は、周防灘に高潮を発生させた台風9119号や台風9918号に比べて、周防灘に到達した時点での中心気圧深度が小さく、台風半径の大きい台風であった。

潮位の観測記録によると、瀬戸内海では1~1.5 mの高潮偏差が発生した。観測潮位において、既往最高値を更新したのは、香川県、岡山県、兵庫県西部の沿岸である。図-2に高松港で観測された潮位（気象庁確定値）を示す。ただし、図中の○印は最高潮位（瞬間値）を表わしている。最大高潮偏差は、高松における既往最大高潮偏差（1.31 m、台風5115号）とほぼ同じ約1.3 m（23時の気象庁確定値1.24 m）であり、その発生時刻は大

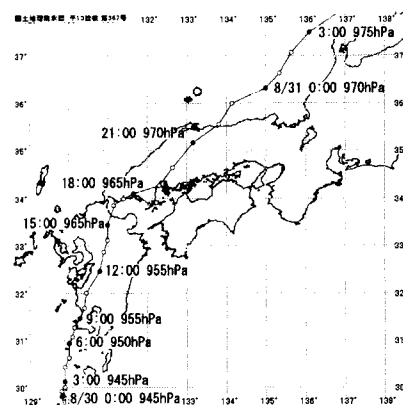


図-1 台風経路

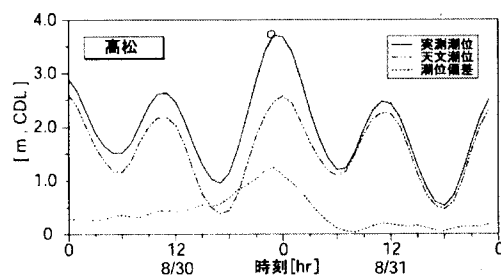


図-2 高松港における観測潮位

* 正会員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所津波防災研究センター
主席津波研究官

** 正会員 修(工) (独法)港湾空港技術研究所津波防災研究センター
特任研究官

*** 正会員 修(工) (独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部海洋水
理・高潮研究室長

**** 正会員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所津波防災研究センター
特別研究員

潮の満潮時刻の約1時間前と非常に近かった。このため、最高潮位はCDL+3.73 m (TP+2.46 m) となった。すなわち、大潮の満潮に最大高潮偏差が重畳した海域で海水位が極めて高くなり、その沿岸地域で顕著な浸水被害が発生した。

3. 浸水被害に関する現地調査

(1) 高松および坂出港における高潮被害

図-3 に高松港周辺での浸水の痕跡高を示す。図中のカッコのついていない数値はCDL基準の高さであり、カッコのついた数値は地盤上の高さである。なお、聞き取り調査から、当時の波浪は高くなかったようである。高松周辺では波浪観測を行っていないので、波浪は風から推定せざるをえないが、高松の気象官署における観測では、30日22時以降5 m/s以上の西南西から南西の風が吹いており、高松市の沿岸では陸風であることから波浪は高くない。

高松漁港、フェリー乗り場等の水際部分での痕跡高はCDL+3.6~3.8 mであり、高松港の検潮所で観測された最高潮位CDL+3.7 mとほぼ一致している。また、避難所に指定されている市街地の小学校では地盤上0.7 m、海岸から約600 m離れた商店街では地盤上0.3 mの浸水があり、鉄道や駅の下を通り抜ける道路は水没するような浸水状況(写真-1)であった。高松で亡くなった1名は、写真-1と同じような道路上の車から発見された。

内陸の福岡町ではCDL+3.1 mの痕跡高があった。この地域では標高1 m(CDL+2.3 m)に満たない低い場所があり、そこでの浸水深は0.8 mになる。そのような内陸の低い場所でもう1名が亡くなっている。

海に面した浜ノ町では、海側に高さCDL+5.1 mの消波護岸が整備されており、この護岸を潮位は超えなかった。しかし、胸壁等の防護対策のない漁港に面した場所から浸水した。さらに、住民の話によると、30日の深夜には排水口から海水が逆流し、排水口の蓋が持ち上げられ移動したという場所もあった。

高松港よりも西に15 km離れた坂出港では、痕跡や目撃証言によると、CDL+4.1 mの高さにまで潮位が達していた。

(2) 宇野港および水島港周辺における高潮被害

高潮発生時に備讃瀬戸の風下側にあった宇野港周辺の住民の話では、高松とは対照的に沿岸部では高波によって人が流されそうになるような浸水が発生した。フェリー乗り場の職員の話によると、30日21時40分頃から浸水が始まった。観測記録において潮位が岸壁高さを超えた時刻とも一致している。

写真-2 は、宇野港玉地区における被災状況を示したものである。ここでの痕跡高はCDL+3.9 mであった。さらに、高波の作用によって住宅の壁やドアが押し抜か



図-3 高松における痕跡高



写真-1 地下道における被害(高松)



写真-2 宇野港玉地区における被災例

れる被害が発生した。こういった被害は防波堤開口部から沖合を見通せる場所で発生している。

沖合を見通せる水島港勇崎漁港では、図-4 の○印の3箇所で海岸堤防の裏のり面が被災し、背後の被覆ブロックだけでなく中詰め土が流された(写真-3)。この海岸堤防の天端高はCDL+6.5 mであり、台風時の最高潮位(近隣の玉島においてCDL+4.87 mの観測速報値)に比べて十分に高く、高潮による越流があったとは考え難い。しかし、海岸堤防の被災、住民の証言や台風時の風向きから、この地区には高波が作用しており、越波による海水の流入があったと推察される。住民の話によると、30日23時頃には住宅地に浸水が始まっており、10~20分と非常に短い時間に住宅の床上まで浸水したこ

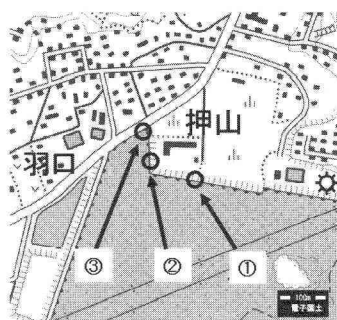


図-4 勇崎漁港における海岸堤防の被災箇所

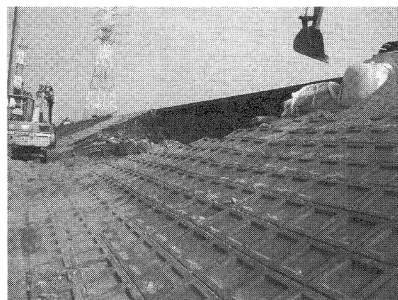


写真-3 海岸堤防の被災の一例(図-4の①の地点)

とが分かった。

また、水島港乙島西地区のマリーナでは、船の流出被害が発生している。高潮時にマリーナに来ていた人の話では、マリーナの浮き桟橋の支柱の上部まで桟橋が持ち上げられた。その高さは、CDL+4.9 mであった。

4. 高潮および高松における浸水の数値計算

(1) 数値計算手法

高潮および浸水計算には、高潮の数値計算で一般的によく使われる非線形長波方程式を staggered 格子と leap-frog 法により離散化した数値モデルを使用した。運動方程式にある海面摩擦項では本多・光易(1980)による海面抵抗係数を用いた。台風の気圧場には Myers による同心円の気圧分布を仮定した。さらに、河合ら(2003)にない、台風の中心付近では Mitsuta・Fujii(1987)による super gradient wind (SGW) のモデルを考慮した。

浸水計算は、高波を伴わない高潮によって 11 km^2 が浸水した高松市を対象に行った。計算領域は北緯 24° 以北、東経 126° 以東の約 1500 km 四方を対象とし、最大 12150 m 幅の計算格子から、順次計算格子を細かくし、浸水計算を行う高松では沿岸海域を含めて 25 m 幅の計算格子とした。陸上部では、各計算格子の土地利用を考慮して、Manning の粗度係数を $0.020 \sim 0.040 [\text{m}^{-1/3} \text{s}]$ の範囲で変化させた。

高潮の再現計算は、8月27日9時から8月31日10時までとした。ただし、後述する天文潮位を考慮した計算の場

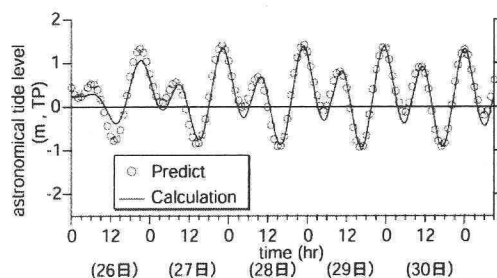


図-5 高松における天文潮位

合には、天文潮位変動を起動させたときに生じる短周期の振動の影響を無くすために8月26日0時から開始した。

天文潮位の変動は、一般的には高潮推算に重ね合わせることができる。しかし、潮汐の変化が比較的大きい瀬戸内海においては、満潮で水深が深くなると吹き寄せの効果が小さくなるように、天文潮位の変化が高潮偏差に影響を及ぼすと考えられる。また、天文潮位の変化が引き起こす潮流の影響もあろう。そのため、河合ら(2003)と同様の手法で天文潮位を考慮した計算を行なった。

天文潮位変動を考慮した計算では、響灘、豊後水道および紀伊水道で、天文潮位による水位の時間変動を与え、計算格子間隔が 1350 m 以下の計算領域内に天文潮位変動を発生させた。その領域の境界に与える天文潮位の計算には、Matsumoto et al.(2000)による NAO. 99Jb モデルを用いた。しかし、この方法で発生させた潮位変動は、備讃地域において調和定数から直接計算したものより振幅が大きく、位相も遅れた。そこで、計算にあたっては、対象とした高松における高潮発生時点での天文潮を合わせるために、境界で与える天文潮位の振幅に 0.735 を乗じ、また、位相に関しては50分だけ早めた。これらの補正によって、天文潮位は図-5のように高松において調和定数から計算した天文潮位とほぼ一致した。

(2) 高潮の数値計算結果

高松および松山における高潮偏差の計算結果と観測値を図-6に示す。図中、実線は天文潮位の変動を考慮した計算結果、破線はそれを考慮しない計算結果である。

最大高潮偏差は、天文潮位の変化を考慮することによって、松山では天文潮位を考慮しない場合とほとんど差異はないが、高松では考慮しない場合よりも小さくなる特徴が認められる。しかし、天文潮位変化の有無によらず、計算結果は観測結果よりも小さい値である。また、最大高潮偏差の発生時刻は、松山では観測結果とほぼ同じであるが、高松では観測値よりも早い時刻に発生し、これには天文潮位の変動は影響していないようである。

この原因を探るために、図-7および8に瀬戸内海における高潮偏差と天文潮位の変動に伴う潮流の時空間的な変化を示す。台風の東進にともなって、高潮偏差のピ

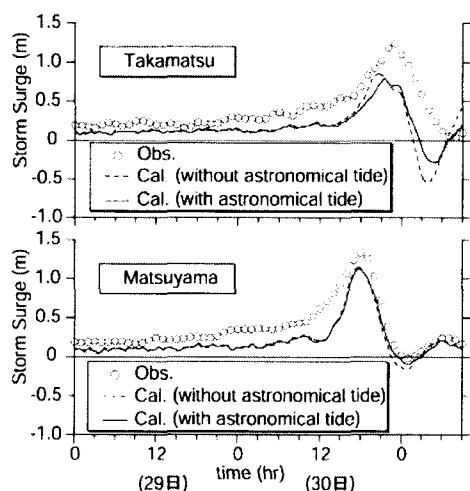


図-6 高潮偏差の計算結果と観測値

ークは瀬戸内海を西から東に伝播し、30日21～24時にかけて燧灘を東向きに流れる潮流と同方向となる。この時間帯に吹く西風と潮流が同方向であることは吹き寄せ効果を減少させ、さらに、上げ潮による水深の増大が高潮偏差の低下を引き起こすと考えられる。次に、燧灘から備讃瀬戸への高潮の伝播も顕著でない。これは、備讃瀬戸で西向きに流れる潮流が高潮偏差の伝播に若干影響したことによるとと思われる。これらが高松において計算値が観測値よりも小さかった主たる理由と考えている。

高松では、31日3～6時に干潮時の東向きの潮流と同一方向に風が吹き、沖向きの吹き寄せ効果が減少するので、天文潮位の変動を考慮した計算結果は、考慮しない場合に比べて、高潮偏差のピーク後の高潮の低下する程度は小さくなる。このように、天文潮位変動の影響が強く表れるのは満潮時よりも干潮時である。

計算された高潮偏差は、特に高松や宇野において観測値よりも40 cm程度小さかった。これを改善するためには、例えば、河合ら(2004)のように風場の再現精度を向上させる必要がある。中国山地と四国山地に挟まれた瀬戸内海を台風が通過すると、東西に長い海域に沿って風が吹くようになる。台風0416号のように瀬戸内海の北側を横切るように進行した台風では、台風通過後に瀬戸内海を西風が吹くので、瀬戸内海東部では高潮が高くなると考えられる。さらに、この西風により燧灘における高潮が備讃瀬戸へ運ばれるので、最大高潮偏差の発生時刻も現状より遅くなり、観測結果に近づくことが期待できる。

(3) 高松の浸水計算結果

浸水は海水位が護岸の天端等を上回ることによって起こる。つまり、ある閾値を超えるかどうかによって、浸水範囲等の計算結果は大きく変わる。このため、高松での最高潮位の計算結果が観測値と一致するように平均潮

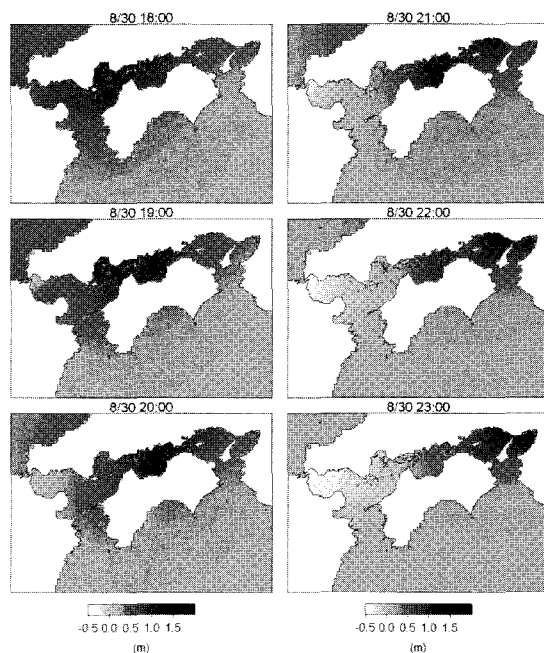


図-7 瀬戸内海における高潮偏差の計算結果

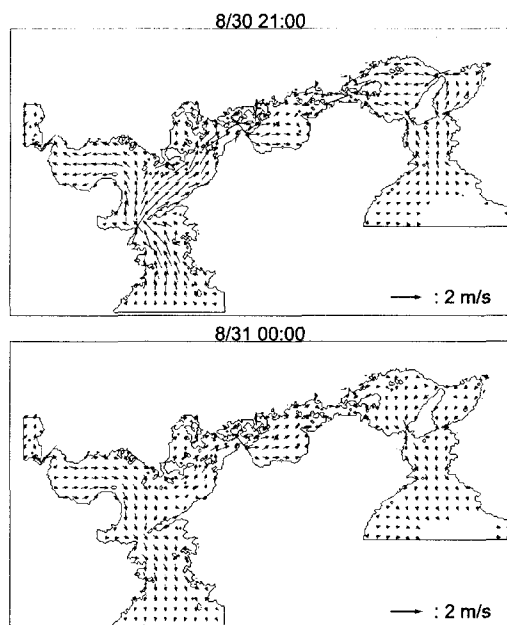


図-8 瀬戸内海における潮流の計算結果

位を調整して合わせこみ、最高潮位の発生時刻を合わせて、高松市街地での浸水計算を行なった。

図-9に最大浸水深の計算結果を示す。これは、及川(2005)の住民へのアンケート調査に基づいた浸水状況や高松市が発表している浸水状況図にほぼ一致している。

浸水の広がりの時間的な変化を図-10に示す。まず、高潮により上昇した海水位よりも低い護岸や堤防等のあ

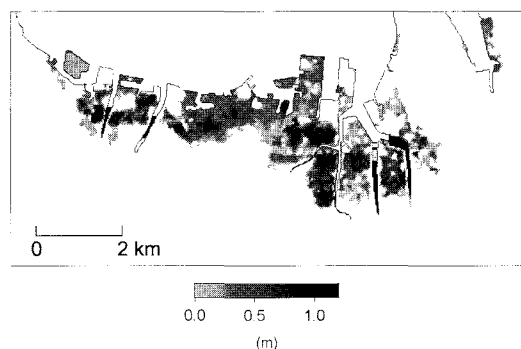


図-9 高松における最大浸水深の計算結果
8/31 00:00

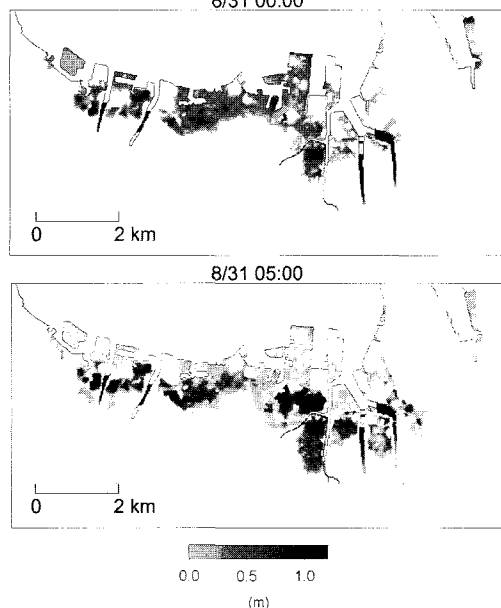


図-10 高松における浸水深の計算結果

る沿岸部や河川部の一部から浸水が開始した。こういった箇所は現地調査の結果と一致している。流入した海水は内陸部に広がり、浸水範囲が急激に拡大している。そして、31日0時を過ぎて、海水位の低下により沿岸地域の浸水深が減少しても、内陸部の低い土地では浸水深はさらに増加している。潮位の低下が始まった後も続く内陸部の浸水深の増加といった低地特有の危険性がある。

5. ま と め

台風0416号による高潮被害に関して、備讃瀬戸周辺で行った現地調査の結果および高松における高潮浸水に関する数値計算の結果を中心に述べた。以下にその内容をとりまとめる。

- (1) 台風0416号は、それ以前の台風と比べて極めて強い台風ではなかったが、大潮の満潮に高潮が重なったために、瀬戸内海東部の沿岸で大きな高潮被害を発生さ

せた。

- (2) 現地被害調査の結果、沿岸部の防護レベルの低いところから海水は流入し、内陸部の低い土地に湛水した。
- (3) 高波を伴わない高潮によって浸水被害が発生した高松では、越流水は破壊的な様相を示すことはなかった。一方、高波の作用した岡山県沿岸や香川県西部地域では、海岸や港湾の施設、住宅等の損傷が発生している。
- (4) 高潮の計算では、天文潮位の変動を考慮する場合としない場合について行ったが、ともに観測で得られた高潮偏差よりも小さな値となった。これを改善するためには、風場の再現精度の向上が必要であると考えられる。
- (5) 高松の浸水被害に関する数値計算では、観測潮位に合うように平均潮位の補正を行うことにより、実際の被害状況をよく再現できた。

さて、台風0416号では、高潮浸水により人が亡くなった。台風上陸のかなり前から発表される気象庁の台風情報、各機関からのリアルタイムな観測潮位情報が入手できる現状において、有効な危険情報を住民に伝え、実際の避難行動に結びつけることが重要である。そして、来襲してくる台風による高潮情報の伝達だけでなく、事前に高潮や高波の被害予測を行って、住民に地域の危険性や安全性を理解してもらうことが実際の避難につながり、人的被害を防ぐことができると思われる。

最後に、現地調査の実施、資料収集にあたり四国地方整備局港湾空港部海洋環境・海岸課、高松港湾・空港整備事務所、高松港湾空港技術調査事務所、中国地方整備局港湾空港部海洋環境・海岸課および宇野港湾事務所の皆様にご協力頂きました。さらに国土技術政策総合研究所の熊谷兼太郎研究官と現地調査を一緒に行いました。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 及川 康(2005):平成16年8月台風16号接近による高松での高潮災害に関する実態調査-調査報告書, pp. 3-15.
- 河合弘泰・川口浩二・橋本典明(2003):台風による内湾の波浪・高潮の双方向結合推算モデルの構築, 港湾空港技術研究所報告第42巻, 第3号, pp. 85-110.
- 河合弘泰・富田孝史・平石哲也・金 度三・姜 閔求(2004):台風0314号による大韓民国馬山湾の高潮追算と現地調査, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1361-1365.
- 本多忠夫・光易 恒(1980):水面に及ぼす風的作用に関する実験的研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 90-93.
- Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe(2000): Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, Journal of Oceanography, No.56, pp. 567-581.
- Mitsuta, Y. and T. Fujii(1987): Analysis and synthesis of typhoon wind pattern over Japan, Bulletin Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.37, Part4, No. 329, pp. 169-185.