

## 仮想台風による高波災害リスクの基礎的検討について

峯村 浩治\*・春日井 康夫\*\*・鳥居 雅孝\*\*\*・松尾 康成\*\*\*\*・宇都宮 好博\*\*\*\*\*

\* (前) (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

\*\* (一財) 沿岸技術研究センター 代表理事・専務理事

\*\*\* (前) 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 所長

\*\*\*\* (前) 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 設計室 前任建設管理官

\*\*\*\*\* (一財) 日本気象協会 主任技師

近年多発する台風災害では高潮による浸水に加えて、高波による港湾施設の損壊等の被害が発生しており、これらの施設被害は復旧までに長い時間を必要とし港湾活動に支障が生じることになる。これらの被害は、これまでに無かった台風規模やコースにより想定外の被害が発生したものである。このような隠れたリスクを洗い出すために、仮想台風（シナリオ台風）による波浪推算を実施した。これにより九州管内の港湾において50年確率波よりも大きな波浪が発生する台風が存在し、その波浪により防波堤の安定性に影響を及ぼす可能性がある事が確認された。

キーワード：仮想台風，高波災害，防波堤安定性，災害リスク

### 1. はじめに

神戸に再上陸した台風1821号や、関東に上陸した台風1915号の被害に見られるように、近年、大規模な台風被害が頻発している。これらの災害は、高潮による浸水被害のみならず、高波に伴う越波により、荷役機械の倒壊、岸壁エプロンの損壊、または浸水による電源施設の水没被害により、復旧に長い時間を費やしたのが特徴である。

本検討では、仮想台風（シナリオ台風）として、過去に災害が発生した実績台風（伊勢湾台風、室戸台風、台風1915号等）を踏まえた台風規模に対し、台風経路の空白を作らないために様々な台風コースを設定した。この仮想台風による波浪推算結果から、防波堤に対する既設計外力を上回る波浪の有無を確認することで、最悪となる高波災害リスクを評価するための基礎的な検討を行った。

### 2. 仮想台風（シナリオ台風）の設定

#### 2.1 台風経路の設定

対象施設の位置や海域の特性に応じて、最悪となる台風経路は異なるため、各対象港湾に対して最悪となる仮想の台風経路の設定においては、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」<sup>1)</sup>（以下、「手引き」と称す）の手法に倣って、進行方向の異なる基本経路を設定し、それを平行移動させて複数の経路を設定した。各港湾の設計に用いている沖波地点を基準として、NW、NNW、N、NNE、NE方向に進む角度の異なる5本の基本経路を設定し、沖波地点を基準に東西に75kmずつ2回平行移動させ、各方位計5本の経路を設定した。なお、台風経路は同様に西から順にケース番号を振っている。

### 2.2 台風規模の設定

仮想台風は、表-1に示すように「手引き」を基に伊勢湾台風を基本とした最大風速半径と移動速度を設定した。また、台風の移動速度は一定とし、台風中心気圧は図-1に従い、室戸台風規模を想定し、緯度に応じて中心気圧を上昇させた。

表-1 台風の規模の設定

項目	設定値	設定根拠
最大風速半径 ( $r_0$ )	75 km	「手引き」伊勢湾台風
台風の移動速度 ( $V$ )	73 km/h	「手引き」伊勢湾台風
沖波地点通過時の台風の中心気圧	宮崎港・細島港・別府港：900hPa 名瀬港：890hPa	

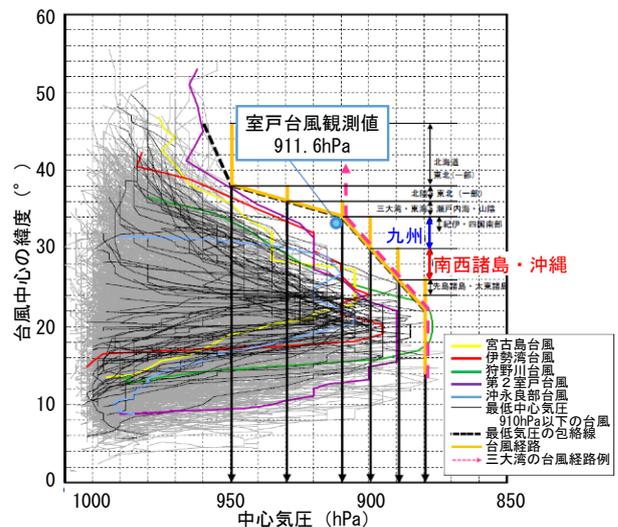


図-1 台風の中心気圧の設定

## 2.3 仮想台風による波浪推算

設定した台風経路・規模に対して波浪推算を実施した。このとき海上風推算は、経験的台風モデルを用いて台風の強風場を作成した。この時、内湾に位置する別府港ではこの風場に加えて、周辺の陸上地形の影響をマスコンモデルによる風場の収束計算により考慮した。また、波浪推算は、外洋海域では WAVEWATCH III による深海条件の推算を行い、閉鎖海域である別府港は SWAN の浅海条件で推算し、WAVEWATCH III との接続計算を実施した。

これらの推算結果から、各対象地点で最も高波高となる波浪条件を整理した。

## 3. 各港の仮想台風による高波特性の整理

### 3.1 対象港湾の設定

九州管内の主要な4港湾(別府港、細島港、宮崎港、名瀬港)の検討結果のうち、設計波を超える顕著な高波が確認された宮崎港、別府港の2港の高波特性について示す。

### 3.2 広大な外洋に面する海域の特性(宮崎港)

宮崎港は、九州の東岸に位置し、太平洋に面した外洋港湾であることから、勢力の強い台風の通過により防波堤は度々被災している港である。実際に宮崎に来襲した台風経路を参考に設定した台風経路図及び推算された有義波高の経時変化図を図-2に示す。

経路図中の黒丸は宮崎港の沖波地点を、赤丸は細島港の沖波地点を示したものである。ただし、業務において細島港と宮崎港を同時に検討していたため、宮崎港の推算波浪は、細島港で設定した仮想台風の波浪推算結果から宮崎港の沖波地点に該当する波高を抽出したものを使用した。

全ての仮想台風の推算結果から、仮想台風による最大有義波浪を整理したのが表-2である。宮崎においては、沖合地点から150 km西をNNW方向に台風が通過する場合の有義波高22.99 mが最大になった。

これは、宮崎港の防波堤(南)に対する設計波(50年確率波)14.9mに対して、これを上回る20m以上の波浪が仮想台風により推算されたことになる。このことより広大な太平洋上において、仮想台風による強い南風が十分な吹送距離を得て波浪の発達に寄与した場合には、再現期間50年をはるかに超える波が来襲する可能性があることが分かった。

表-2 宮崎港の設計波との比較

既設計			仮想台風			
波向	波高(m)	周期(s)	波向	波高(m)	周期(s)	波形勾配
SSE	14.9	14.4	SE	20.81	17.3	0.0446
			SSE	22.99	17.9	0.0460
			S	22.60	18.0	0.0447

## 3.3 閉鎖海域における台風半径の影響(別府港)

閉鎖性の海域に位置する別府港を対象に、仮想台風による波浪特性を検討した。別府港が、湾口から20~30km程度の奥に位置するため、来襲する卓越波向(吹送方向)は波向Eを中心とした風波成分に限定される。この湾の長尺を吹送距離として発達する風波と、台風による強風の時空間分布の影響を確認するために、仮想台風の最大風速半径 $r_0$ を、手引きによる $r_0=75\text{km}$ と、図-3に示す河合ら<sup>2)</sup>の経験式に基づき、中心気圧 $P_c=900\text{ hPa}$ に対する $r_0=30\text{ km}$ としたコンパクトな台風の2種類を設定した。

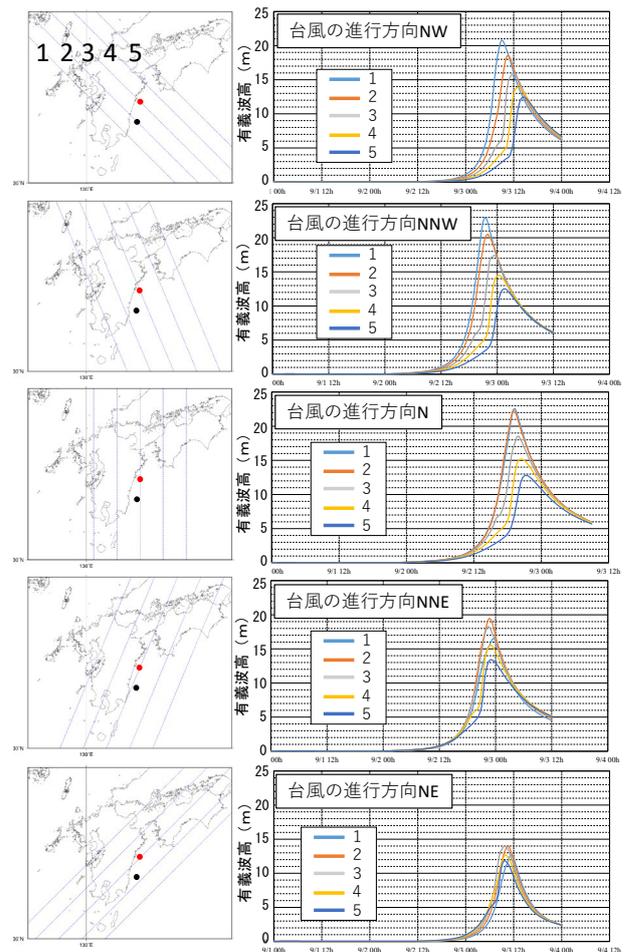


図-2 仮想台風経路と沖波推算結果(宮崎港)

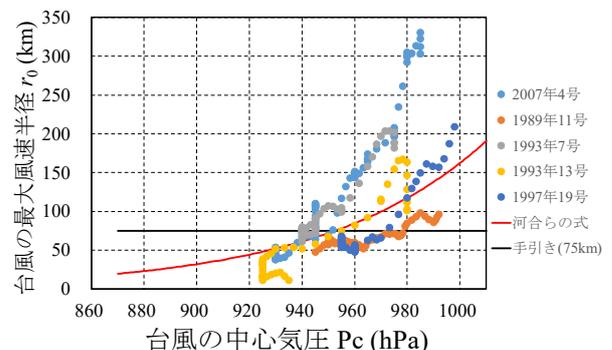


図-3 台風中心気圧と最大風速半径 $r_0$ の関係

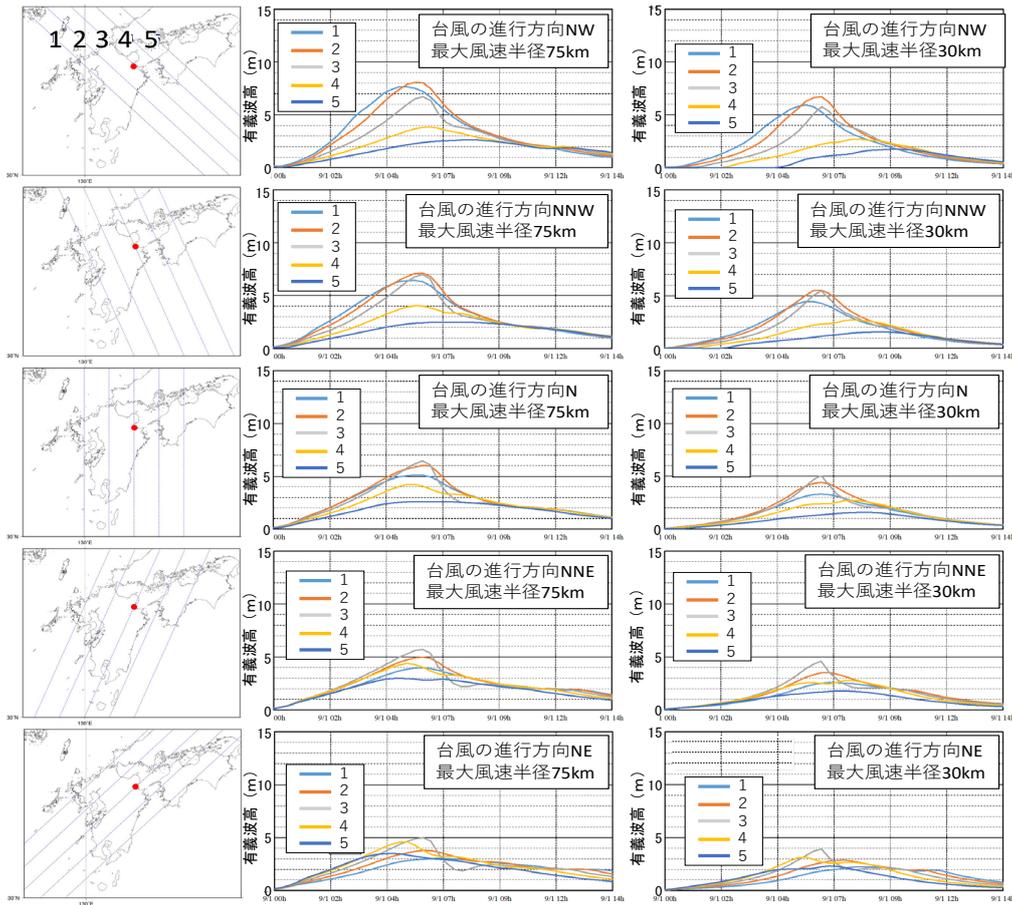


図-4 仮想台風経路と沖波推算結果 (別府港)

表-3 別府港の設計波との比較

既設計			仮想台風( $r_0=75\text{km}$ )			仮想台風( $r_0=30\text{km}$ )		
波向	波高(m)	周期(s)	波向	波高(m)	周期(s)	波向	波高(m)	周期(s)
NE	4.7	7.8	NNE	3.31	7.3	NNE	2.64	6.1
			NE	3.35	7.6	NE	2.45	6.0
			ENE	6.71	9.1	ENE	5.77	8.3
E	4.2	7.6	E	8.08	9.9	E	6.71	8.7
			ESE	6.01	8.4	ESE	5.20	7.7

設定した仮想台風の経路図と推算した有義波高の経時変化図を図-4 (中列:  $r_0=75\text{km}$ , 右列:  $r_0=30\text{km}$ ) に示す。台風経路図に示す赤丸は別府港における沖波地点を示す。

これらの仮想台風の推算結果から波向別の最大有義波高と既往の設計波を整理したのが表-3である。

仮想台風による検討の結果、最大有義波高は最大風速半径によらず沖波地点から 75 km 西を NW 方向に台風が通過するときに波向 E で最大となり、最大風速半径 75 km の場合に有義波高 8.08m となり最大となった。

今回の推算結果を見ると、最大風速半径  $r_0$  が小さい方が、別府沖合地点における風速、波高が共に小さくなっていった。これは閉鎖海域で発達する波諸元が、風速や継続時間によって決まるため、検討ケースの中で、湾内でより多くの波浪エネルギーを供給できたのが半径 75km の台風であったということであり、台風規模を変えると結果は

変わってくる可能性がある。特に、今回台風経路を東西方向に 75 km 及び 150 km 移動させた検討であるため、 $r_0=30\text{km}$  の台風に対しては、10 km 程度の平行移動で詳細に検討することが必要である。さらに、豊後水道で発達した波の侵入も高波高の要因と考えられ検討が必要である。

#### 4. 仮想台風による高波災害リスクの評価

仮想台風の最大有義波を外力として既設防波堤の耐波安定性による高波災害リスクの評価を行った。

##### 4.1 宮崎港防波堤 (南) の評価

防波堤 (南) に対する安定性照査結果を図-5 に示す。既設計の沖波は 14.9m (波向 SSE) であり、仮想台風ではそれを上回る 22.99m が算出されたが、防波堤の滑動・転倒の耐力作用比は 1.0 以下となり安定との評価となった。これは、元々の断面が施工時で決まっているため完成時断面の安定性が非常に高い状況にあること、碎波限界水深で、堤前波 ( $H_{max}$ ) が頭打ちになっていることにより堤体が十分に安定性を有していることが考えられる。しかし、消波ブロックが NG となっていることから、高波によりブロックの移動・飛散により天端が下がり、不完全消波による衝撃波圧が堤体に作用することにより堤体が滑落するといった変状連鎖による災害リスクが内在していることに留意する必要がある。

いることから、海上風に換算する際に風速や風向の変化といった陸上地形の影響を含んだ風を適切に評価できていないためではないかと考えられる。

### 5. 災害リスクのまとめ

本検討では、仮想台風として、最大風速半径や台風コース、移動速度を様々に設定した場合の最大波浪を推算して、既設計を上回る波浪が発生することにより、港湾施設に対する災害リスクがあることを確認できた。

宮崎港のように太平洋側に面した九州東沿岸の港湾では、太平洋の広大な海域により、波が十分に発達できる。このため強大な台風が最悪のコースで通過する場合には、実績の擾乱に基づいた50年確率波よりも、大きな波浪が来襲する可能性がある。これは堤体の安定性のみならず、消波ブロックの不安定に端を発する変状連鎖により衝撃砕波が発生し堤体の安定性が低下するリスクがある。

また、台風の規模やコースによっては、危険側の評価と考えていたSMB法に対しても、それを上回る波浪が来襲する可能性があることから、想定外の台風災害については今後も警戒する必要がある。

### 6. 今後の課題

これらの仮想台風に基づくリスクは、発生する台風の確率的評価がなされていない。そのため、確率台風モデルなどを用いた確率評価を以て、防災のハード対策か、もしくは減災のソフト対応の想定外力に用いるのかの考え方が必要である。

また、今回は波浪のみの検討であったが、別府港のような湾奥に位置する港では高潮の影響が顕著となり、高潮位時の浮力増加により相対的に防波堤の安定性が低下する可能性がある。このため、波浪と同様に設計潮位に対しても確率的な評価を伴った値を設計で用いることが、想定外の災害を減らすために重要である。さらに、今回検討したような偶発波浪の技術基準上の位置付け等を検討する必要がある。

### 謝辞

本稿は、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所発注の「港湾施設的设计条件等検討業務」の成果の一部をまとめたものである。業務実施にあたっては、検討委員会(委員長:京都大学 高山教授)の各委員から貴重なご指導を頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局, 農村水産省水産庁, 国土交通省水管理・国土保全局, 国土交通省港湾局: 高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver. 2.00, 83p. 2020.
- 2) 河合弘泰, 本多和彦, 富田孝史, 柿沼太郎: 2004年に発生した台風の特徴と高潮の予測・再現計算, 港湾空港技術研究所資料, No. 1103, 34p, 2005.

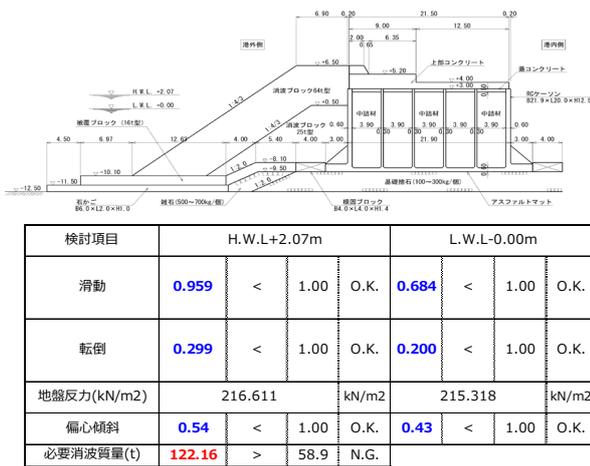


図-5 耐波安定性の照査結果(宮崎港 防波堤(南))

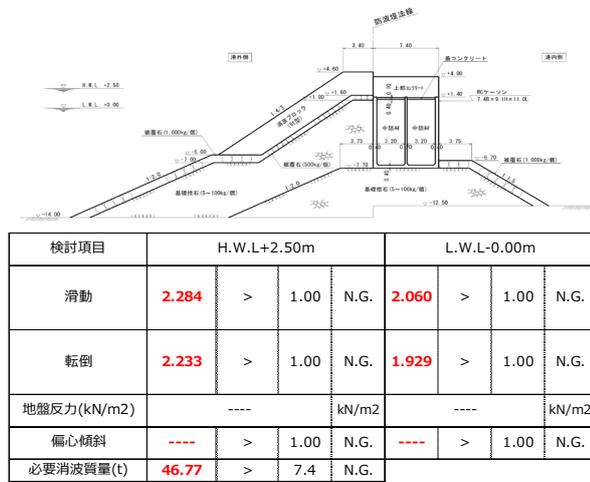


図-6 耐波安定性の照査結果(別府港 北防波堤)

### 4.2 別府港北防波堤の評価

別府港の北防波堤に対する安定性照査結果を図-6に示す。北防波堤の設計波向は消波ブロックがNE、堤体がEであるが、本照査では波高が高い最大風速半径75kmに対する最大有義波高8.08mを用いた。その結果、堤体および消波ブロック全ての作用耐力比が1.0以下となり倒壊の可能性が高い結果となった。

ここで、既設計の確率沖波( $H_{1/3}=14.9m$ )は、SMB法では年最大風速からWilson IV式で波浪を計算し、年最大波高の極値統計解析により算出されている。波浪の算定に際し、風速・風向の変化は、考慮されていない。このため、台風の接近に伴う風の時間変化を考慮したスペクトル法の波浪よりも大きな波高となり、検討当初は仮想台風で用いるスペクトル法の推算波浪でSMB法を上回ることは困難と考えていた。しかし、SMB法を上回る波浪が仮想台風により推算されたため、その要因を考察する。

既設計の年最大の最大風速は、21.0m/sであるのに対し、仮想台風は、最大50m/sの風速となり、20m/s以上の風速が10時間程度吹き続けている。その結果、既設計より高い波高となったと考えられる。また、既設計に用いた風観測記録は、湾口部に近い大分市内の観測地点を用いて