

港湾技術基準策定に係る設計波設定法の高度化について (うねり性波浪の考慮・シナリオ台風による最大クラス高潮)

鈴木 善光*・高山 知司**・宮田 正史***・福永 勇介****・河合 弘泰*****・
平山 克也*****・宇都宮 好博*****・松藤 絵理子*****・君塚 政文*****

*(一財)沿岸技術研究センター 波浪情報部 調査役

** (一財)沿岸技術研究センター 沿岸防災技術研究所長

***国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室長

****国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室

***** (国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域長

***** (国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋研究領域 波浪研究グループ長

***** (一財)日本気象協会 防災ソリューション事業部 主任技師

*****前 (一財)日本気象協会 防災ソリューション事業部 グループリーダー

***** (一財)日本気象協会 防災ソリューション事業部

本稿は港湾施設の技術基準において重要な検討課題となっている「うねり性波浪の設計波の設定に与える影響」及び「最大クラスのシナリオ台風による高潮・潮位条件の設定」に関する検討成果(松藤ら¹⁾(2017 投稿中), 宇都宮ら²⁾(2017 投稿中))の概要を紹介する。現在用いられている技術基準は平成19年に作られたものであるが、その後うねり性波浪による被災や東日本大震災が発生したことにより、本稿の2つのテーマを重要なテーマとして検討してきたものである。

キーワード：港湾技術基準, うねり性波浪, シナリオ台風, 設計波

1. はじめに

港湾の設計波算定に係る技術基準においては、①「うねり性波浪の設計波の設定に与える影響」及び②「最大クラスのシナリオ台風による高潮・潮位条件の設定」という2つのテーマが重要な検討課題となっている。

このうち①のうねり性波浪(以下、「うねり」と略す)について、従来港湾構造物に対する設計波は、風波とうねりを区別せずに抽出した極大値資料を用いて算定することが一般的であったが、2013年の台風第23号による鹿島港の被災等を契機に、うねりを考慮した設計波設定の必要性が高まっている。このため実務としてうねりを考慮した設計波の設定を行う際の課題や留意点を整理しておく必要がある。松藤ら¹⁾の成果では全国の港湾における波浪観測データを解析し、うねりが卓越する海域を把握するとともに、うねりの出現頻度が高い鹿島港を対象にして設計波の算定を行い、設計波の設定において留意すべき点を明らかにした。

また②のシナリオ台風については、過去最大の高潮をもたらした伊勢湾台風を超える最大クラスの台風による高潮・波浪を設計の実務に導入するための事前検討として、モデル港湾に対して、最大クラスのシナリオ台風を仮定して高潮・波浪を推算し、外郭施設(防波堤、防潮堤等)の偶発作用としての高潮・潮位条件を設定する際の具体的な例を示す。宇都宮ら²⁾は志布

志港をモデル港湾とし、最大クラスのシナリオ台風を設定して高潮・波浪を推算し、波浪の極値期待値や防波堤の安定性照査を行う際の具体的な留意点を示した。以下に松藤ら¹⁾や宇都宮ら²⁾の成果の概要を示す。

2. うねりの影響を考慮した設計波の設定法

(1) うねりを考慮した設計波の定義

松藤ら¹⁾は、平山ら³⁾の提案に沿って、うねりを「波形勾配が0.025未満かつ周期が8秒以上」とし、それ以外の波を便宜的に風波とした。鹿島港で年最大波高を発生させる擾乱を抽出して、極値統計解析を行い、算定する設計波については、うねりと風波を分離せずに算定する従来の設計波を「従来設計波」、うねりのみから算出したものを「うねり設計波」、風波のみから算出したものを「風波設計波」と呼称することとした。

(2) 全国港湾におけるうねりの発生状況

図-1に、全国港湾(観測期間が30年以上のNOWPHAS地点)におけるうねりの出現頻度を整理した結果を示す。ここで、うねりの出現頻度は、NOWPHAS年報における高波抽出基準上限値⁴⁾以上の波高を観測した時間(偶数時)を対象として、うねりと判断されたデータの占有率(%)として算出している。本図より、鹿島港を含む太平洋側の港湾では、高波高時のうねりの出現頻度は概ね30%以上であり、日本海側に比べてうねりの

出現頻度が高いことがわかる。この結果から、太平洋側の港湾では、うねりを考慮した設計波を検討する必要性が高いと推定することができる。

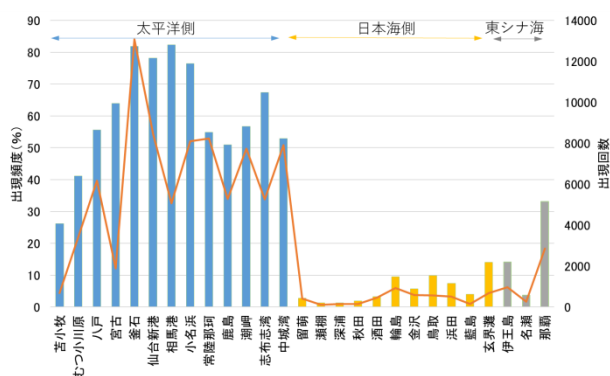


図-1 高波高時(高波抽出基準以上)のうねりの出現頻度
(棒グラフ：出現頻度(%), 折れ線グラフ：出現回数)

(3) うねりを考慮した設計波の設定手順

図-2にうねりと風波を区別した設計波の設定の流れを示す。ここでは、設計波を算定する際に用いる極大波は観測値を用いて作成することを基本とし、機器故障等により欠測となる場合は波浪推算値で補完することとする。以下、図中の手順に沿って、設定作業の内容とうねりを考慮した場合の基本的な留意点を示す。

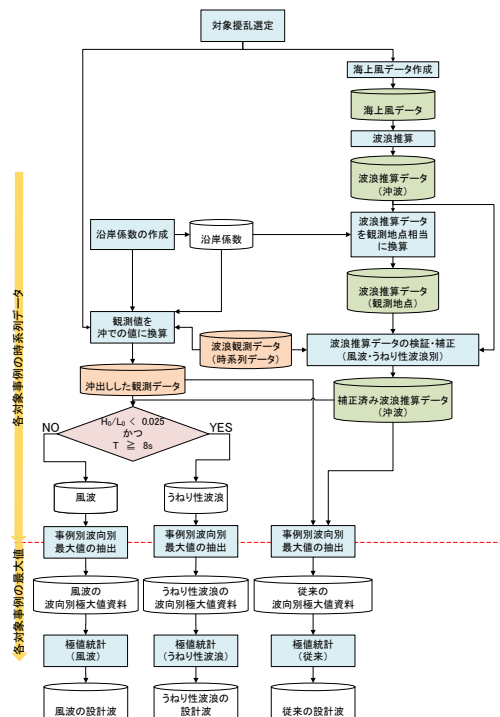


図-2 設計波算定の流れ

まず、対象擾乱を選定する必要があるが、従来の設計波の設定では、単に波高の大きい極大値のみに着目すればよかったが、うねりを考慮した設計波の設定の場合には、うねりによる波高が最大となる擾乱を選定する必要がある。

次に、波浪観測地点の観測値(波高, 周期, 波向)を沖波位置に換算して観測値による沖波極大値を得るために、沖波と波浪観測地点とを関係付けるための沿岸係数を算定する。

沖波位置における極大値資料は、沖出しした観測データと補正済みの波浪推算データ(沖波)の時刻歴データを用いて作成する。その際、波形勾配と周期によりうねりと風波に分類し、「うねり」、「風波」、両者を区別しない「従来」の極大値資料を各々作成した(図-3)。最後に、極大値資料から波高と周期の関係を評価し、再現期間に対応した確率波高に対する周期を評価する。

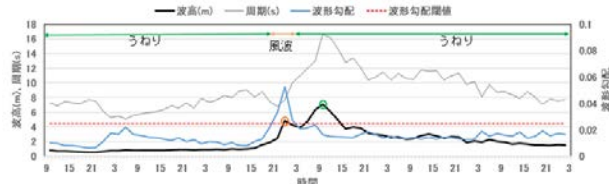


図-3 うねりと風波を区別した極大値の抽出例
(○：うねりの極大値, ●：風波の極大値)

(4) うねりをもたらす気象擾乱の選定

うねり設計波の設定に際しては、うねりの波高が最大となる擾乱を適切に選定することが重要である。うねりをもたらす気象状況は海域や港湾の位置により異なることから、各港湾においてうねりが発生する気象状況を把握し、遠方で発生したうねりが伝搬して来ることに注意し、顕著なうねりの事例を確実に選定することが必要である。

(5) 波浪推算による「うねり性波浪」の再現性

極大値資料の作成にあたって波浪推算の結果を用いる場合、うねりについては、特に波高および周期の推算精度が重要となる。松藤ら¹⁾は、鈴木ら⁵⁾のWAVEWATCH IIIによるうねりの推算精度がよいことに注目した研究成果に基づき、このモデルを利用したが、波浪推算モデルの選定については、うねりに着目した精度の確認が必要である。また、うねりは遠方から伝搬してくるため、うねりの発生から対象港に到達するまでの広範囲かつ長期間の計算を行う必要があることを考慮して計算条件を設定することも重要である。

(6) うねり設計波に対する周期の評価

極大値資料を用いて設定した沖波確率波高に対応する周期の評価は、一般に、波向別に整理した極大値資料の波高と周期の関係をを用いて行う。この際、うねりについては、うねりのみを分離した極大値資料に基づき周期を評価する必要がある。

図-4に、ENE方向の波向を対象とした周期と波高の関係を、「従来」、「風波」、「うねり」に分けて、波形勾配の関係をを用いて評価した例を示す。波形勾配は、従

来設計波では 約 0.028 であったが、風波設計波では約 0.037, うねり設計波では約 0.020 であった。

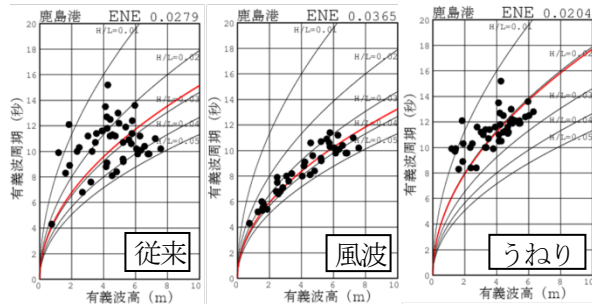


図-4 波形勾配を用いた算定例

(7) うねりと風波を区別した設計波の算定結果

以上によって算定したうねりと風波を区別した設計波の算定結果を図-5 に示す。例えば波向 E において従来設計波の代わりに風波設計波やうねり設計波を用いると、風波設計波では波高はあまり変わらないものの周期が約 1 秒短くなる。うねり設計波では波高が従来設計波に比べて約 3 m 低くなり、周期は約 0.5 秒程度長くなり、従来設計波を風波設計波とうねり設計波に変更した場合、防波堤の波力や防潮堤の越波流量を従来よりかなり小さく評価してしまう可能性がある。

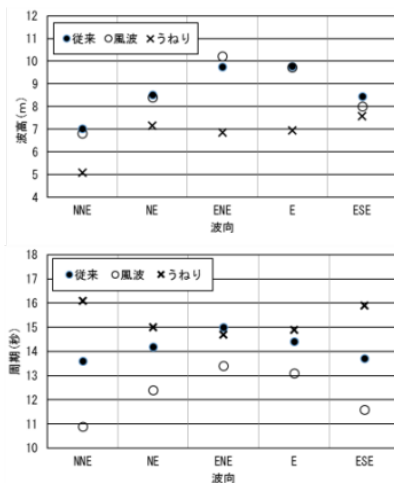


図-5 波向別の設計沖波

一方、波向 ESE では、従来設計波とうねり設計波で、波高はほぼ同じであるが、周期はうねり設計波の方が約 2 秒長くなる。この場合、従来設計波を用いると、うねりに対して防波堤に設計以上の波力が作用しやすく、防潮堤の越波流量も許容値を超えやすい、過小な設計条件となっている可能性がある。

以上のことから、当面、設計実務では、うねりが顕著な海域や港湾において、従来設計波に加えて、うねり設計波に対する照査も行い、より厳しい条件となる設計波で断面設定することが適切であると言える。

3. シナリオ台風による最大クラス高潮の設定法

(1) シナリオ台風の設定

図-6 にシナリオ台風の設定から高潮・波浪条件の設定までの手順を示す。最大クラスのシナリオ台風には、高潮が顕著になるものと波浪が顕著になるものがあると考えられるが、宇都宮ら²⁾は志布志湾を対象に、高潮が顕著となるものについて検討した。シナリオ台風の設定には「高潮浸水想定区域図作成の手引き」⁶⁾（以下、「手引き」という）を参考にした。

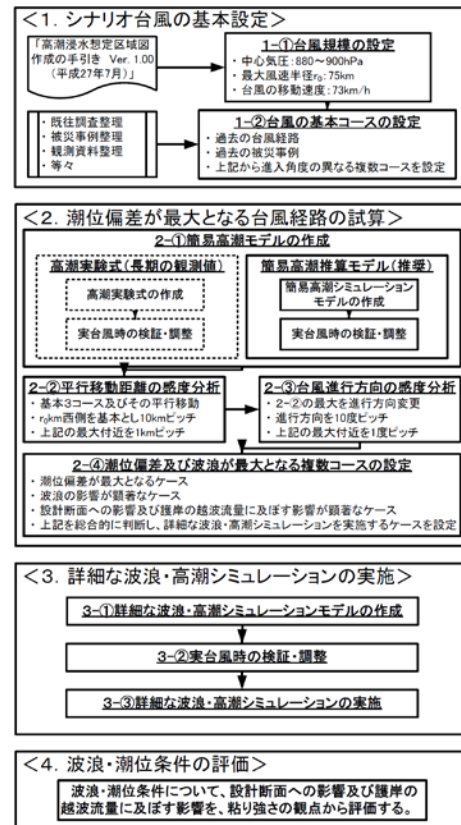


図-6 シナリオ台風と波浪・潮位条件の設定手順

① 台風規模の設定

「手引き」に基づき、台風の中心気圧は緯度によって 880~900 hPa で変化させ、移動速度は 73 km/h、最大風速半径 r_0 は 75 km で一定とした。

② 波浪・高潮結合モデルの計算条件

簡易な高潮モデルを用いて様々なコースによる高潮を算定し、得られた最大の潮位偏差を与えた経路を CASE 1 とし、これを含む 7 つの条件と経路を設定した。

（表-1, 図-7）このうち CASE 2 と 3 は CASE 1 の経路をそれぞれ東西に 10 km だけ平行移動させたもの、CASE 4 ~ 6 は CASE 1 の進行方向を変えたものである。CASE 1 ~ 6 の「防波堤あり」は、「防波堤が波浪・高潮で破壊しない」という意味である。CASE 7 の「防波堤なし」は、防波堤の倒壊による背後の波浪・高潮の増大を端的に知る目的で、CASE 2 について「台風来襲前から防波堤がない」条件を追加的に設定したものである。これらの条件

に対し、図-8に示す計算領域では約60m間隔の格子で波浪と高潮を結合モデルにより推算した。

表-1 波浪・高潮結合モデルの計算条件

計算 ケース	台風の進行方向 (北から反時計周りの角度)		台風の 通過位置 (km)	防波堤の 有無
	(deg)	備考		
CASE 1	15	コースⅣ (北北西進)	r_0-37	あり
CASE 2			r_0-27	
CASE 3			r_0-47	
CASE 4	0	コースⅡ (北進)	r_0-37	
CASE 5	45	コースⅢ (北西進)		
CASE 6	30	コースⅢとⅣの中間		
CASE 7	15	コースⅣ	r_0-27	なし

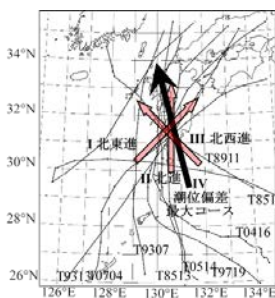


図-7 既往台風とシナリオ台風の経路

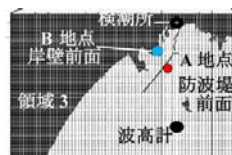


図-8 高潮・波浪の計算領域

③ 潮位偏差が最大となるシナリオ台風の選定

表-2に得られた有義波高・潮位偏差を示す。「防波堤あり」のCASE 1～6の検潮所地点の潮位偏差の比較と、防波堤位置(図-8のA地点)の有義波高の比較結果からCASE 2をシナリオ台風とした。

表-2 波浪・高潮推算の計算結果一覧(最大値)

計算 ケース	波高 (m)				潮位偏差 (cm)			
	波高計	防波堤 (A地点)	岸壁 (B地点)	検潮所	波高計	防波堤 (A地点)	岸壁 (B地点)	検潮所
CASE 1	15.13	6.79	1.24	0.76	169	181	194	201
CASE 2	15.20	6.83	1.22	0.74	167	183	197	205
CASE 3	15.03	6.74	1.26	0.77	166	174	180	184
CASE 4	14.10	6.68	1.41	0.85	169	183	197	206
CASE 5	12.85	6.53	1.07	0.47	157	169	178	187
CASE 6	14.94	6.72	1.10	0.59	163	175	185	192
CASE 7	15.20	6.84	5.61	2.33	167	184	193	204

(2) シナリオ台風による高潮・波浪

志布志港にシナリオ台風が来襲した場合、防波堤の位置において、波高と周期のピークは、潮位偏差より1時間半ほど遅くなることがわかった。

シナリオ台風だけでなく全てのCASEにおいて、潮位偏差が最大となってから1.5～2.5時間後に波高が最大になることがわかった。従って、実現象において必ずしも潮位偏差と波高の最大値が同時に作用するとは限らず、それを確認しないまま防波堤の設計に用いると過大な設計条件になっている可能性がある。

(3) 防波堤の安定照査の事例

1/30の一様勾配の海岸に単純な防波堤がある場合について、シナリオ台風に対する防波堤ケーソンの滑動に対する安定性照査を試みた。図-9はその結果であり、潮位偏差が顕著に増加し始める頃の時刻を0分と定義した。潮位偏差が最大となる140分では、波高・

周期ともにまだそれほど大きくないため、耐力作用比は1.5以上であり、防波堤の安定性は十分確保されている。その後、潮位偏差は急激に小さくなるが、その一方で波高と周期が増加するため、耐力作用比は240分に最小の0.8程度となる。さらに、その後も290分に波高がピークを迎えるが、潮位偏差はさらに小さくなるため、耐力作用比はやや大きくなる。シナリオ台風を用いた防波堤の安定性照査では、このような時系列に沿った検討も必要と考えられる。

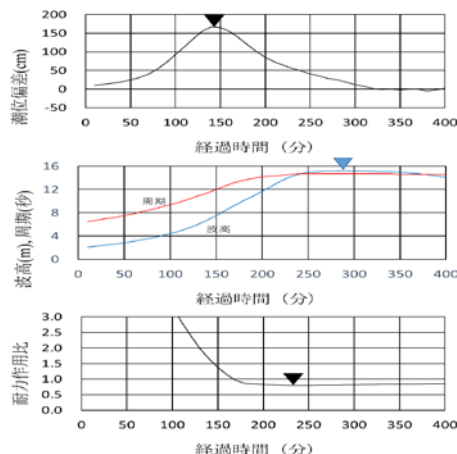


図-9 潮位、波浪及び耐力作用比の経時変化

4. おわりに

改訂された技術基準は平成30年度に発刊される見込みであるが、本稿が港湾施設の設計現場において、実務の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 松藤絵理子, 高山知司, 宮田正史, 平山克也, 河合弘泰, 鈴木善光, 宇都宮好博, 福永勇介: うねり性波浪を考慮した設計波の設定法について, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, 2017. (投稿中)
- 2) 宇都宮好博, 宮田正史, 高山知司, 河合弘泰, 平山克也, 鈴木善光, 君塚政文, 福永勇介: シナリオ台風に基づく最大クラス高潮の設定法について, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, 2017. (投稿中)
- 3) 平山克也, 加島寛章, 伍井稔, 成毛辰徳: うねりによる高波の発生確率とその地域特性に関する考察, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp. I_85-I_90, 2015.
- 4) 川口浩二, 櫻庭敏, 藤木峻: 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 2014), 港空研資料, No. 1319, p. 122, 2016.
- 5) 鈴木善光, 高山知司, 吉永泰祐, 岡田弘三, 窪田和彦, 宇都宮好博, 松藤絵理子, 君塚政文: WAM と WAVEWATCH III による推算波浪の再現特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 72, No. 2, pp. I_265-I_270, 2016.
- 6) 農林水産省, 国土交通省: 高潮浸水想定区域図作成の手引き, Ver. 1.00, 60p, 2015.