2016年台風10号をモデルとした 内浦湾における潮位偏差の発生特性

南 翔¹・工藤 圭太¹・八木澤 一城²・橋本 孝治²・渡部 靖憲³

¹非会員 株式会社アルファ水工コンサルタンツ 技術部
(〒063-0829 札幌市西区発寒9条14丁目516-336)

E-mail: minami@ahc.jp

²正会員 株式会社アルファ水工コンサルタンツ 技術部
(〒063-0829 札幌市西区発寒9条14丁目516-336)

³正会員 博(工) 北海道大学准教授 大学院工学研究院(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

2016年台風10号は従来と異なる複雑な経路をたどり、東北地方を北西に移動し、日本海へと進行した。この台風により北海道内浦湾では高潮が発生し、台風による吹送流と強風により大きな漁業被害をうけた。このような前例のない経路を辿った台風での検討は重要である。そこで、本研究では、台風モデルと非線形長波モデルを使用した高潮計算を行った。本台風をモデルとし、想定されうる8コースで高潮計算を行い、内浦湾での潮位偏差の発生特性を解明するとともに、危険に作用する経路を推測した。さらに、『高潮浸水想定区域図作成の手引き(国土交通省)』に基づく、想定台風による試算を行い、今後の内浦湾沿岸での浸水想定における知見を得た。

Key Words : storm surge, Uchiura Bay, numerical simulation, typhoon model, inundation prediction

1. はじめに

平成27年の水防法改定に伴い、都道府県には「高潮浸水想定区域図作成の手引き」¹⁾(以降「手引き」)をもとに、浸水想定区域図を作成することとされた。この浸水想定においては、既往最大クラスの台風が各海岸で最大潮位偏差をもたらす経路を通過した場合を想定することとされている。この検討に際し、各海岸における高潮特性を把握することが重要となる。

ここで、既往の検討では歴史的に高潮の被害の多い三大湾を対象に最大クラスの台風を用いた高潮の浸水想定が多く行われている²⁾。一方で、北海道では2014年および2015年に発生した低気圧による根室地方での高潮をモデルとした研究がされている³⁾が、勢力を保ったまま北海道に台風が接近することは稀であり、北海道の台風による高潮を検討した事例は少ない。

ところが、2016年8月に発生した台風10号は従来の台風とは異なる複雑なコースを辿り北海道南西部を通過した(図-1)。これは、今まで北海道に接近した台風には例の無い異常なコースであった。この台風により北海道内浦湾(図-2)では、高潮による浸水被害は発生しなかったものの吹送流と強風によって増養殖施設などの浮体式構造物を中心に大きな漁業被害が発生した。

図-1 台風10号の経路

図-2 位置図

表-1 台風による潮位偏差の上位5事象

No	年月日	台風	室蘭		森	
			潮位偏差 (cm)	起時	潮位偏差 (cm)	起時
1	2002/10/2	21号	65	15:00	51	3:00 15:00
2	2004/8/20	15号	54	5:00	44	5:00
3	2004/8/31	16号	70	20:00	61	20:00
4	2004/9/8	18号	64	7:00 8:00	41	2:00
5	2006/9/19	13号	56	20:00	43	20:00
	2016/8/30	10号	64	23:00	49	23:00

表-2 台風のパラメータ

No	年月日	台風	中心気圧 (hPa)	暴風域半径 (km)	最大風速 (m/s)	移動速度 (km/h)	時刻
1	2002/10/2	21号	980	110	30	65	6:00
2	2004/8/20	15号	980	90	30	53	8:00
3	2004/8/31	16号	975	190	30	85	12:00
4	2004/9/8	18号	970	150	30	42	6:00
5	2006/9/19	13号	992	-	-	28	21:00
	2016/8/30	10号	972	220	30	75	21:00

内浦湾に接近した時の値

一般的に南側に開いた湾では、台風による高潮被害が発生しやすいとされ、内浦湾は湾口が南東に開いていることから、比較的高潮の被害が大きくなりやすい地形であるといえる。また、内浦湾では湾口に位置する森・室蘭で潮位観測が行われているものの、これら以外には観測所がなく具体的な潮位の変動については不明であり、同湾での潮位偏差の発生特性を解明することは重要である。

そこで、本研究では、台風10号をモデルとし、想定した8コースで潮位偏差を数値計算によって予測し、内浦湾における潮位偏差の発生特性を解明した。

2. 2016年台風10号の概要

2016年台風10号は、2016年8月21日に台風に発達し、図-1に示す複雑な経路を通り、太平洋側を北上し8月30日18時ごろ岩手県大船渡市に上陸した。その後、台風は東北地方を北西に移動し、8月31日0時に日本海で温帯低気圧に変わった。この台風が内浦湾に接近した時の中心気圧は972hPa、暴風域の半径は220km、最大風速は30m/sであった。また、この台風による潮位偏差は室蘭で64cm、森で49cmであった(暫定値)。

室蘭での過去20年の潮位観測結果を整理し、台風による潮位偏差の上位5事象を抽出し、森での潮位観測結果とともに整理した(表-1)。また、これらの台風および2016年台風10号の経路を図-3に、内浦湾接近時の台風のパラメータを表-2に示す。

表-1より、本台風による潮位偏差は、上位3位に入るものであることが確認できる。また、表-2より、台風半

図-3 台風の経路の一覧図

図-4 計算領域図

径および最低気圧も抽出した台風と比較して、上位に入るものであることがわかる。なお、「手引き」の想定台風の移動速度は73km/hとされており、2004年16号と2016年10号以外はこれより遅い値であった。

ここで、図-3に示すとおり、これらの台風の経路は、概ね南西から北東へと移動するものであり、2016年台風10号のような太平洋側から北西に進行し湾の西側を通過する経路は極めて異常であるといえる。

以上から、台風10号は従来の台風とは経路が大幅に異なる台風である。このような前例のない経路での想定を行うことは、今後の浸水想定などで非常に重要である。

3. 計算条件

本検討では、台風10号の再現計算を行い計算モデルの妥当性を確認した上で、同台風をモデルとし8コースを想定した。これらのコースで高潮計算を実施し、内浦湾における潮位偏差の発生特性を考察した。さらに、既往最大クラスの台風が台風10号をもとに想定した8経路を通った場合を想定し「手引き」による想定台風での高潮計算を実施し、湾内の潮位偏差を整理した。

(1) 計算モデル

外力とする気象条件は台風モデルを用いて作成し、高潮計算は非線形長波モデルを使用した。計算領域を図-4に示す。計算領域は、設定した8つの各経路で内浦湾での高潮計算を十分に再現できる範囲とし、計算格子間隔

表-3 検討ケースの一覧

再現計算	台風のパラメータ				台風の経路
	中心気圧	台風半径	最大風速	移動速度	
再現計算	各時刻での観測値				実際の経路
CASE1	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路1
CASE2	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路2
CASE3	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路3
CASE4	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路4
CASE5	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路5
CASE6	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路6
CASE7	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路7
CASE8	965hPa	111km	33.2m/s	58.0km/h	経路8
CASE9	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路1
CASE10	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路2
CASE11	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路3
CASE12	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路4
CASE13	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路5
CASE14	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路6
CASE15	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路7
CASE16	950hPa	75km	60.0m/s	58.0km/h	経路8

図-5 検討した台風の経路の一覧

は2700m, 東西方向2268km, 南北方向1188kmとした。計算期間は本台風が東北上陸前から日本海を通過し低気圧に吸収され消滅するまでの2016年8月30日9:00～8月31日9:00の24時間とした。また、計算間隔は3秒とした。外力となる気圧・風はそれぞれ、Myersの式⁵⁾、Young⁶⁾らの式を使用した。作成に当たっては3時間ごとの台風の座標・中心気圧・半径・最大風速を入力し、間の期間は内挿してデータを作成した。

(2) 台風の設定

検討ケースの一覧を表-3に、検討した台風の経路を図-5に示す。

再現計算においては、経路および入力条件は気象庁ベストトラックデータを基に作成した。

CASE1～CASE8では台風10号をモデル化した台風で8つの経路を設定し、高潮計算を行った。ここで、台風は進行方向の右側で風速が速くなるため、湾の左側を通過する経路で吹送流の影響が強くなり、潮位偏差が高くなることを想定し、湾の左側を通る経路を多く設定した。具体的には、東北地方に上陸する直前の8月30日17時から台風が日本海をへ出た経路を経路1、東北地方に上陸しそのまま直進した経路を経路3、上陸前の進行方向

図-6 観測値(暫定)と再現計算による計算値

図-7 潮位偏差と流速ベクトル図(8月30日21:30)

をそのまま直進した経路を経路8とし、その間を分割し8つの経路を設定した。経路6が内浦湾の中央を通過し、経路1～5は湾の左側、経路7、8が湾の右側を通過する。また、台風のパラメータは東北地方に上陸直前の値のまま一定として、8月30日17時の値を基に中心気圧965hPa、半径111km、最大風速33.2m/s、移動速度58km/hと設定した。

CASE9～16では、「手引き」に基づく既往最大クラスの台風が、台風10号をモデルとした前述の8つの経路を辿った場合の高潮計算を実施した。ここで台風のパラメータは「手引き」を参照し、中心気圧950hPa、半径75km、最大風速60.0m/sとした。なお、今回の台風の経路は従来のものと大きく異なるため、台風の移動速度はCASE1～8と同様に58km/hとした。

4. 台風10号の再現計算

予測計算に先立ち、台風10号の再現計算を行い、本計算モデルの妥当性を検証した。

2016年8月29日～8月31日での最大潮位偏差の観測値と計算値および発生時刻を示す(図-6)。最大潮位偏差とその発生時刻を比較したところ、最大潮位偏差は±10cm程度で、また発生時刻は±30分程度で一致した。この結果から、再現性は妥当であると判断した。この再現計算の結果から、湾奥での最大潮位偏差は63.8cmであり、湾内で最大の偏差であった。

図-8 最大潮位偏差の抽出点

表-4 最大潮位偏差と発生時刻

	A(森)	B	C	D	E	F(室蘭)
CASE1 最大偏差	47.1cm	73.8cm	73.9cm	60cm	47.4cm	48.3cm
CASE1 発生時刻	8/30 23:10	8/30 23:05	8/30 23:45	8/31 0:05	8/31 0:10	8/30 23:15
CASE2 最大偏差	52.2cm	80.6cm	92.1cm	74.8cm	59.4cm	62cm
CASE2 発生時刻	8/30 23:15	8/30 22:50	8/30 23:45	8/31 0:05	8/31 0:10	8/30 23:25
CASE3 最大偏差	59.8cm	86.6cm	99.8cm	91.8cm	74cm	82.2cm
CASE3 発生時刻	8/30 23:10	8/30 22:55	8/30 23:45	8/31 0:00	8/30 23:55	8/30 23:20
CASE4 最大偏差	65.7cm	74.6cm	71.1cm	75.2cm	71.2cm	76.5cm
CASE4 発生時刻	8/30 22:50	8/30 22:05	8/30 23:30	8/31 0:25	8/31 0:15	8/30 23:50
CASE5 最大偏差	58.9cm	66.2cm	62.1cm	60.7cm	63.2cm	62.7cm
CASE5 発生時刻	8/30 22:30	8/30 21:45	8/30 23:25	8/31 0:15	8/31 0:20	8/31 0:05
CASE6 最大偏差	52.8cm	60.2cm	57.2cm	57.3cm	56.5cm	58.4cm
CASE6 発生時刻	8/30 22:25	8/30 21:40	8/30 23:45	8/30 23:50	8/31 0:30	8/30 23:00
CASE7 最大偏差	47cm	53.9cm	52.1cm	54.9cm	52.7cm	56.8cm
CASE7 発生時刻	8/30 22:30	8/30 21:40	8/30 23:35	8/30 23:45	8/30 23:30	8/30 23:10
CASE8 最大偏差	42.2cm	47.7cm	44.2cm	50.1cm	49.9cm	55.5cm
CASE8 発生時刻	8/30 21:25	8/30 21:40	8/30 23:25	8/30 23:35	8/30 23:20	8/30 23:05

図-9 抽出点での経路ごとの最大潮位偏差

また、8月30日21:30を例として潮位偏差分布と流速ベクトル図を示す(図-7)。図-7より、同時刻に湾口からの吹送流が卓越し潮位偏差が上昇した。この結果から、2016年台風10号では台風の接近に伴う南東の風によって、吹送流が卓越したと考える。

5. 内浦湾での潮位偏差の発生特性

台風10号の経路をもとに、上述の8コースで高潮計算を行い内浦湾での潮位変化特性を考察した。

(1) 計算結果

潮位特性の変化を見るため、観測所のあるA森・F室蘭に加え、内浦湾の西B、北西C、北D、北東Eの6地点での最大潮位偏差の整理を行った(図-8)。各点での最大潮位偏差の一覧および森での観測値(49cm)との比を図-

図-10 代表ケースでの最大潮位偏差分布図

9に、最大潮位偏差とその発生時刻を表-4に示す。

(2) 考察

想定した8つの経路の最大潮位偏差の傾向を整理する。まず、湾の中央を通過するCASE6での各地点の最大潮位偏差は概ね50cm程度であった。本検討で設定した台風の中心気圧は965hPaなので、この潮位偏差は気圧による吸い上げだけで説明でき、この経路では吹送流による吹き寄せの影響がほとんどないとする。次いで、湾の右側を通過するCASE7、8での最大潮位偏差は、CASE6と同程度であり、台風の経路が右にズレたため、気圧による吸い上げ効果が減少したと考える。一方で湾の左側を通過するCASE1~5では、AではCASE4で、B~FではCASE3で潮位偏差が最大となり、それより左側の経路では最大潮位偏差が低くなっている(図-9)。これは、AではCASE4で、B~FではCASE3で吹送流による吹き寄せが顕著に表れた結果であり、経路が湾から離れたため吹送流が弱まり最大潮位偏差が低下したと考えられる。

以上を整理すると想定した8経路では、湾の中央を通過するCASE6が吸い上げが最も顕著に表れた経路であり、それより左側を通過する経路では吸い上げに加え、吹送流による吹き寄せが発生し、潮位偏差が増大する傾向にある。これは図-10に示す最大潮位偏差分布図からも確認できる。また、内浦湾全体で潮位偏差が高くなったのはCASE3であり、この時に吹送流による吹き寄せの影響が最も強くなり、潮位偏差が最大となったと考える。これはモデルとした2016年台風10号が東北を通過したまま直進した経路である。この時湾奥のCで潮位偏差が最大となり99.8cmであった。

このCASE3の台風が内浦湾に接近した8月30日22:30の流速ベクトル図および風速分布図を図-11に示す。図-11より、この時にCASE3では内浦湾の外から湾内に向かう吹送流が卓越していることがわかる。

図-11 CASE3の潮位偏差と流速ベクトル図(上図)および風速分布図(下図)(22:30)

この時、図-11より台風は湾口部での風速30m/s程度で南東から吹き込んでいることが確認できる。このとき台風は湾の南西100km程度に位置していた。ここで本検討で設定した台風の半径は111kmであり、風速が最も早くなる箇所が湾口に位置していたと考える。その結果、CASE3で吹送流が卓越し、潮位偏差が大きくなったと考える。以上より、台風の半径と経路が内浦湾の潮位偏差に強い影響を与えていることが確認された。

次に、湾全体で潮位偏差が大きかったCASE3を対象に潮位偏差の発生特性を考察する。CASE3の潮位偏差と流速ベクトル図の時系列を図-12に示す。これより、台風の接近に伴い、8月30日19:00に湾外から湾内へ向かう吹送流が見られ、水位の上昇した。22:30に台風は湾の南西100km程度に位置しており、湾口に南東の強風が吹き込み、吹送流が卓越し湾内での潮位偏差が急上昇した。その後台風の移動に伴い、湾に南から風が吹き込み、湾の北側のC、D、Eでは31日0:00に最大値をとった。この時には湾内から湾外に向かう流れが発生しており(図-12)、これ以降は湾内の潮位偏差が低下した。

この結果から、CASE3では、台風の北上に伴う湾口部での風向きの変化から、湾の南⇒西⇒北の順に潮位偏差が上昇することが判明した。

以上より、今回想定した8ケースで内浦湾の潮位偏差が高かったのは、台風10号が東北を通過したまま直進した経路であり、この時同台風による森での潮位偏差の1.5~2倍近い偏差が発生する。参考として、2章で整理し

図-12 潮位偏差分布と流速ベクトル図(CASE3)

た潮位観測結果と比較すると、本計算結果では森で65.7cm、室蘭で82.2cmであり台風による潮位偏差としては最大となる。

6. 最大規模の台風での高潮計算結果

5章で設定した8経路で「手引き」に基づく既往最大クラスの設定台風での高潮計算を実施した。

ケースごとの最大潮位偏差および森での観測値(49cm)との比を図-13に、最大潮位偏差と発生時刻を表-5に示す。図-13と図-9より、本計算結果は前章での検討結果と同様の傾向を示し、両端の経路で最大潮位偏差が低く、湾の左側を通過する経路で最大であった。また、潮位偏差が最大となったのはCASE11のCであり、前章での検討結果と同様であった(205.7cm)。しかし、CASE12のDおよびFでも200cm程度の潮位偏差が発生しており、湾全体でみるとCASE12で潮位偏差が高く、危険な経路であった。この違いは、設定した台風の半径が小さく、より湾に近い経路で吹き寄せが強くなるためと考える。

図-13 経路ごとの最大潮位偏差と観測値との比

表-5 想定台風での最大潮位偏差と発生時刻

	A(森)	B	C	D	E	F(室蘭)
CASE9 最大偏差	80.4cm	135.9cm	137.8cm	110cm	84.1cm	84.4cm
CASE9 発生時刻	8/30 23:15	8/30 23:00	8/30 23:50	8/31 0:05	8/31 0:05	8/30 23:30
CASE10 最大偏差	92.3cm	163.4cm	174.5cm	141.2cm	108.9cm	112.3cm
CASE10 発生時刻	8/30 23:05	8/30 23:00	8/30 23:45	8/31 0:05	8/31 0:10	8/30 23:30
CASE11 最大偏差	101cm	182.7cm	205.7cm	168.1cm	131.2cm	138.6cm
CASE11 発生時刻	8/30 22:45	8/30 22:50	8/30 23:40	8/31 0:00	8/31 0:05	8/30 23:30
CASE12 最大偏差	119.6cm	182.6cm	176.7cm	200.9cm	168.3cm	200.7cm
CASE12 発生時刻	8/30 23:00	8/30 22:20	8/30 22:45	8/30 23:55	8/30 23:45	8/30 23:20
CASE13 最大偏差	119.4cm	167.8cm	130.7cm	144.4cm	147cm	162.6cm
CASE13 発生時刻	8/30 22:50	8/30 22:05	8/30 22:20	8/31 0:10	8/30 23:55	8/30 23:40
CASE14 最大偏差	106cm	152.7cm	99.6cm	98.3cm	122cm	121.3cm
CASE14 発生時刻	8/30 21:50	8/30 22:05	8/30 23:25	8/30 23:35	8/31 0:10	8/31 0:00
CASE15 最大偏差	99.5cm	130.9cm	78.6cm	86.3cm	98.6cm	97.5cm
CASE15 発生時刻	8/30 21:50	8/30 22:05	8/30 23:20	8/30 23:30	8/31 0:05	8/30 22:35
CASE16 最大偏差	91.4cm	101.4cm	41.8cm	66cm	76.1cm	85.7cm
CASE16 発生時刻	8/30 21:50	8/30 22:10	8/30 21:00	8/30 23:20	8/30 22:55	8/30 22:45

本計算結果と森での観測結果と比較すると、最も危険なCASE12で、最大で4倍の偏差となった。

7. まとめ

2016年台風10号は、東北地方を北西へ進行する異常な経路をたどった。この台風により内浦湾では台風では上位5位に入る潮位偏差を引き起こし、増養殖施設などの浮体式構造物で大きな漁業被害をもたらした。

この台風を基に高潮計算を行い、台風モデルで再現可能であることを確認した。また、同台風をモデル化し内浦湾を対象に8経路で検討を行った結果、台風が東北地

方を通じたまま直進した際、観測結果の1.5倍程度の潮位偏差が発生し、湾奥では100cm近い潮位偏差が発生することが判明した。また、内浦湾での潮位偏差の発生特性として、湾口からの風が卓越する時に湾外からの吹送流によって潮位偏差が増大することを解明した。これは、湾口に南東の風が吹きこむ場合であり、台風が湾の左側を通過するときなどに起こる。2016年台風10号では内浦湾の左側を通過し、湾口に南東の風が吹き込んでおり、まさに危険な経路であったといえる。さらに最大クラスの台風での試算結果から、今回の3倍程度の潮位偏差が発生する可能性を示した。今後の内浦湾における高潮浸水想定の実施に資する重要な知見を得た。

参考文献

- 1) 国土交通省: 高潮浸水想定区域図作成の手引き, 2015
- 2) 川崎浩司, 下川信也, 村上智一: 超巨大台風による伊勢湾湾奥部における高潮浸水予測, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No. 2, I_211—I_216, 2016.
- 3) 澁谷容子, 中條壯大, 金洙列, 森 信人, 間瀬肇: 第二室戸台風にもとづく大阪湾の高潮と浸水範囲におよぼす気候変動の感度評価, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No. 2, I_217—I_222, 2016.
- 4) 猿渡亜由未, 武江寿大, 渡部靖憲: 冬季の温帯低気圧による高潮の統計的リスク評価, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No. 2, I_247—I_252, 2016.
- 5) Myers, V A and Malkin W (1961) :Some properties of hurricane wind fields as deduced from trajectories, U.S. weather Bureau, National Hurricane Research Project, Report 49.
- 6) Young, I.R. and Sobey, R.J. :The Numerical Prediction of Tropical Cyclone Wind-Waves, James Cook University of North Queensland, Townsville, (Dept. of Civil & Systems Eng., Research Bulletin No.CS20), 1981.

(2017.3.15 受付)

Tide deviation characteristics in Uchiura Bay modeled on Typhoon Lionlock (2016)

Sho MINAMI, Keita KUDOU, Kazuki YAGISAWA, Koji HASHIMOTO, and Yasunori WATANABE

Typhoon Lionlock (2016) followed a complicated route that was different from the conventional typhoon. Lionlock moved northwest of the Tohoku region, and proceeded to the Sea of Japan. the typhoon caused large fishery damage due to windward flow and strong winds in Hokkaido's Uchura Bay. it is very important to calculate tide deviation occurred by typhoon that followed a characteristic course. Therefore, in this study, numerical experiments using a typhoon model and nonlinear longwave model were performed. Using the Lionlock typhoon as a model, we calculated the storm surge of eight possible tracks, clarified the occurrence characteristics of the tide deviation in Uchiura Bay and estimated the damages along each track. Further, we made calculations for creating a tidal flooded immersion area map (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), and obtained knowledge on measures to use against storm surges along the coast of Uchiura Bay in the future.