

観測データによる大阪湾における 高潮と高波の同時生起特性

CHARACTERISTICS OF THE SIMULTANIOUS OCCURENCE OF MAXIMUM
STORM SURGE AND WAVE BY USING THE FIELD DATA IN OSAKA BAY

國富 將嗣¹・高山 知司²・間瀬 肇³・吉岡 洋⁴
Shoji KUNITOMI, Tomotsuka TAKAYAMA, Hajime MASE and Hiroshi YOSHIOKA

¹学生員 工修 京都大学大学院 工学研究科 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

²工博 京都大学防災研究所教授 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

³正会員 工博 京都大学防災研究所助教授 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

⁴正会員 理博 京都大学防災研究所助手 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

At present, waves and storm surges are predicted by the numerical simulation to determine the design wave and water level for designs of storm surge barriers. In the designs, maximum extreme wave and highest storm surge are employed as the design wave and water level without consideration of the possibility of their simultaneous occurrence. Possibility of the simultaneous occurrence is of great importance to check the effectiveness of the present storm barriers on the protection of storm surges.

In the present paper, the characteristics of the simultaneous occurrence of maximum storm surges and waves have been investigated by analyzing the field data in Osaka bay. The results of the investigation conclude that the simultaneous occurrence of maximum storm surges and waves depend mainly on the course and speed of typhoons.

Key Words : *Simultaneous occurrence of storm surge and wave
typhoon course, typhoon speed, storm surge, extreme wave*

1. 研究目的

防潮堤の設計に必要な設計波や設計水位の設定において波浪推算や高潮推算が用いられている。これらの推算は、設計地点に最も大きな高潮が生起した台風経路に既往最大規模の台風（伊勢湾台風など）が進行するとして、計算される。高潮と高波は別々に計算され、それぞれの最大値が設計に用いられる。このことは、高潮と高波の最大値が同時に生起することを想定していることになる。しかしながら、高潮と高波が同時に生起する可能性（同時生起特性）については、その実態が十分に把握されているとは言えない。高潮位と高波高の発生時刻がずれることも考えられる。

また、既存の防潮堤の中には、築後20、30年程度が経過したものもあり、これらにおいては、老朽化や自然外力の変化などを考慮して、嵩上げなどの改築・補強工事が行われている。既存防潮堤の適切な安全度を評価するためには、高潮と高波の生起特性を十分に把握することが重要である。

高潮と波浪の最大値が発生する時刻に着目した研

究は少ないが、土屋¹⁾は、高潮と高波の生起時間に差があることによって被害が軽減されていると述べている。

そこで本研究では、大阪湾を対象とし、実測データを用いて高潮と高波の同時生起特性についてその実態を把握するものである。

2. 観測資料

(1) 海象・気象資料と観測期間

調査対象海域は大阪湾とした。大阪湾沿岸で潮位および波浪といった海象データが長期にわたり観測されている地点は、関西国際空港（以後関空と略称）、神戸港、大阪港、洲本、淡輪の5地点である。これらの各地点から潮位（全地点）、波浪（関空、神戸、大阪）データを収集した。また、気象データ（風データ）も求めたが、関空を除く各地では、1991年以降のデータしか入手できなかった。なお観測地点の詳細位置を図-1に示す。

海象データは、財団法人日本海洋データセン

ター、関西国際空港株式会社、運輸省、大阪市の各機関が観測しているものを使用した。風データは、気象業務支援センター発売のものを使用した。なお、データの観測時間間隔は、2時間であった。

解析の対象とする観測期間は、大阪湾に顕著な高潮・高波を引き起こさせたと考えられる台風を選定して決定した。台風を選定した期間は、得られた観測データの有無を考慮して、1978年から1994年までとした。参考に用いた資料としては、高波の発生時期と気象要因を調べるために、運輸省港湾技術研究所発行の「港湾技研資料、波浪に関する拠点観測年報（毎年）」を、高潮は気象庁発行の潮汐観測（昭和63年から平成5年）を用いた。また、台風経路のチェックを行うため、（財）日本気象協会発行の「気象要覧」（1978年から1994年の該当月）と、月刊誌「気象」（1980年から1994年）掲載の天気図を参考に用いた。これらの資料を基にして11個の台風を選定し、考察対象の観測期間を設定した。

なお、潮位に関しては、黒潮の影響²⁾を考慮せず、高潮偏差を求めている。

(2) 台風資料

同時生起特性の傾向をより簡単に評価するために、台風経路を数種の型式に分類して検討を行った。ここでは、気象庁で採用している台風経路³⁾による分類法を適用した。結果的には、Ⅱ型からⅦ型の6種類に分類できた。以下に経路ごとの特徴を簡単に述べる。

- a) 台風経路Ⅱ型（九州の西方海上から北東へ進む場合）北緯30度を越えるときに東経が130度以西で、九州に上陸せず、九州西海上から朝鮮海峡を通る台風で、日本海側に上陸する場合もありえる。
- b) 台風経路Ⅲ型（九州を北上する場合）北緯30度を越えるときに東経が130～133度で、九州へ上陸し、九州を南から北へ進む台風である。
- c) 台風経路Ⅳ型（九州を北東へ進む場合）北緯30度を越えるときに東経が130度以西で、九州へ上陸し、九州西岸から東岸へ横断する台風である。
- d) 台風経路Ⅴ型（四国を北上する場合）北緯30度を越えるときに東経が132～135度の範囲で、四国に上陸し、四国を南から北へ縦断する台風である。
- e) 台風経路Ⅵ型（四国を北東進する場合）北緯30度を越えるときに東経が133度以西で、四国に上陸し、四国を北東に横切る台風である。ただし、九州には上陸しない。
- f) 台風経路Ⅶ型（紀伊半島を北上する場合）北緯30度を越えるときに東経が137度以西で、紀伊半島に上陸し、半島を北進、または北東進する台風である。

最終的に選定した台風の経路形式と、データを抽出した観測期間を、表-1にまとめる。また、これらの経路形式を図-2、各台風の経路を図-3に示す。

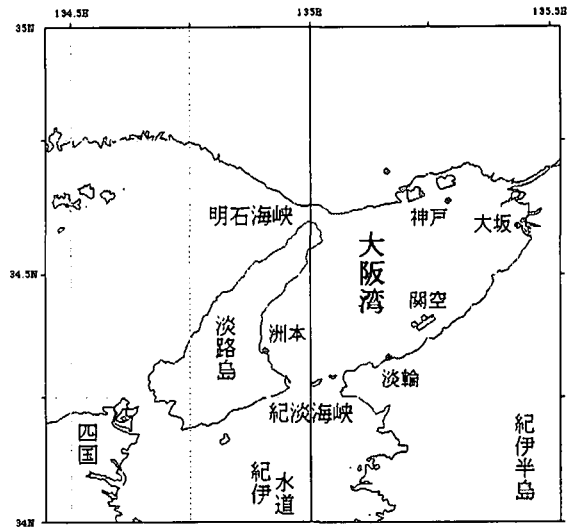


図-1 大阪湾における観測地点

表-1 台風の経路型式と解析対象期間

解析対象 台風	台風 経路 型式	解析対象 観測期間	
		開始	終了
T7916	Ⅵ	09/30	10/01
T8013	Ⅲ	09/11	09/12
T8213	Ⅲ	08/27	08/28
T8219	Ⅴ	09/24	09/26
T8410	Ⅱ	08/21	08/22
T8712	Ⅱ	08/30	08/31
T8917	Ⅵ	08/26	08/28
T9019	Ⅶ	09/19	09/20
T9119	Ⅳ	09/27	09/28
T9313	Ⅳ	09/03	09/04
T9426	Ⅶ	09/29	09/30

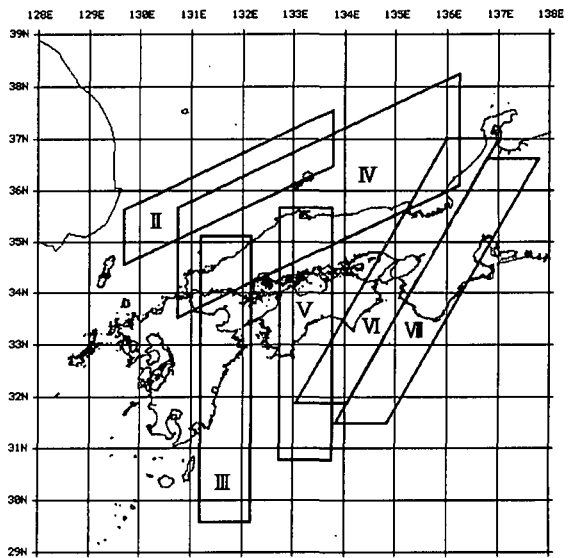


図-2 台風経路形式

3. 高潮と高波の同時生起特性

前述の資料を用いて、各台風経路ごとに高潮と高波の同時生起特性について調べた。各台風における、高潮と高波の最大値の生起時間差についてまとめた結果を表-2に示す。表中、正の時間差は高潮よりも高波が遅く、負は早く生起したことを示す。各経路における同時生起特性は、以下の通りである。

(1) 台風経路第Ⅱ型 (T8410号, T8712号)

T8410もT8712も九州に上陸せず、対馬を経て日本海を北東進している。T8410は中心気圧970hPa、進行速度35km/hで対馬近海を通過したのに対し、T8712は、945hPa、55km/hという比較的強い勢力、早い速度で通過しているのが特徴的である。

両台風とも大阪湾からはかなり遠方を通過したが、大阪湾各地で最大風速10m/s以上の強い風が観測された。大阪湾は、南西から北東にのびる楕円形をしているため、台風が山陰沖を北東進するときに南西風が吹き、波が大きくなると考えられる。T8410とT8712の高潮と高波の時系列変化をそれぞれ図-4(a)、(b)に示す。

図から、高潮はそれほど大きくはないが、高波高が出現していることがわかる。高波高が出現したのは、長いフェッチとなる大阪湾の長軸方向（南西から北東方向）に沿った南西風によるものと考えられる。従って、関空よりも北に位置する神戸ではより大きな波高が出現している。また、台風が山陰沖を北東進する時間は、比較的長く、これによって長時間にわたる南西風が大阪湾に吹き、波高が次第に大きくなったものと考えられる。

高潮と高波の最大値の生起時間差は、各地で2～5時間程度であった。高潮は、南西風が弱まり始めた時間に最大値を迎えている。一方、高波については、湾内で風速が分布しており、湾口から湾中央にかけて風速が速く、その結果、湾中央で大きくなった波が高潮に遅れて到達したものと考えられる。神戸における2時間程度の時間差は、湾中央にあった大きな波が神戸沿岸に到達するに要する時間である。このように、高波の最大値は、高潮の最大値の生起時間よりも遅く生起したと考えられる。なお、台風が九州西方海上を北上するため、長周期的な湾外来襲波は見られなかった。

(2) 台風経路第Ⅲ型 (T8013号, T8213号)

この形式の台風は、九州南部から上陸後、中国地方へ北上し日本海へ抜ける進路をとる。大阪湾は台風の東方に位置するため、台風西部の南風に大きく影響される。該当の何れの台風も中国地方北部を北進したため、大阪湾からは比較的遠方を進行していた。しかし、大阪湾各地では10m/s以上の強い風が観測されていた。上陸時の台風諸元は、中心気圧は960～970hPaでほぼ同程度であったが、台風の進行速度は、T8013が比較的早かった。T8013とT8213の

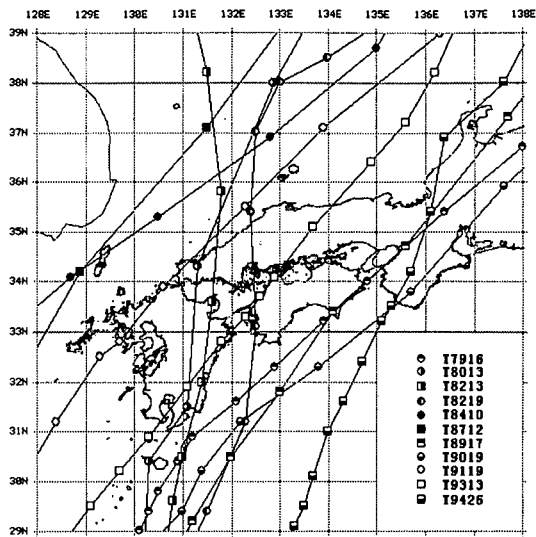


図-3 選定した台風の経路

表-2 高潮と高波の最大値生起時間差 (時間)

台風	関空	神戸	大阪
T7916	2	3.5	
T8013	2	4	
T8213	3		6
T8219	-12		1
T8410	2	2	5
T8712	0.5	2	2
T8917	2	4.5	
T9019	0	0	
T9119	0		
T9313	0	1	0
T9426		3	2

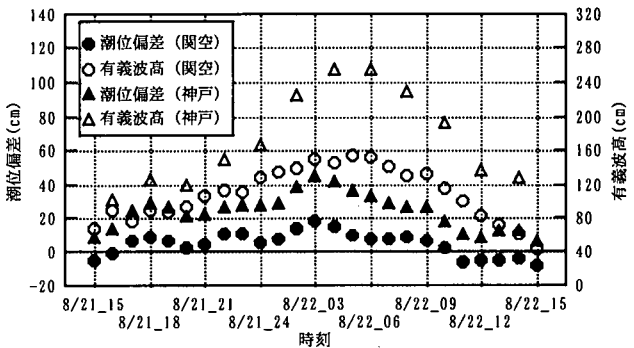


図-4(a) 台風経路Ⅱ型 (T8410) 高潮と高波

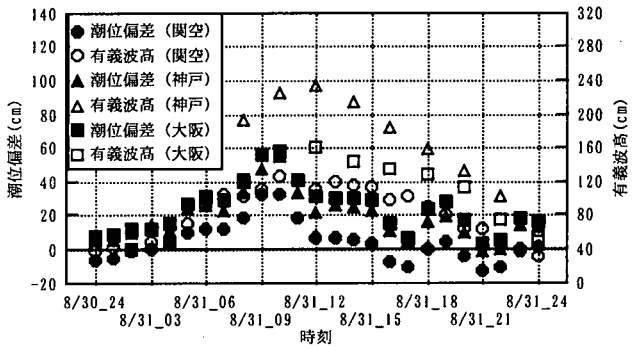


図-4(b) 台風経路Ⅱ型 (T8712) 高潮と高波

高潮と波浪の時系列変化を図-5(a), (b)に示す。

図によると、先のⅡ型と同様、大きな波高が出現している。この理由としては、台風と大阪湾の位置関係がⅡ型とほぼ同様であることから、台風の南西風の影響であると思われる。

台風の進行速度が比較的速かったT8013では、T8213と比較して高潮と高波の最大値の時間差が短い。また、高波の大きさもT8013の方が大きい。これは、T8013の方が大阪湾に吹く南西風が強く、波高が大きくなり、高波が早く沿岸に到達したためと考えられる。この原因としては、台風の進行速度が速いと、台風南東部の南西風が強くなることにありとと思われる。しかし、進行速度が速い場合であっても、他の台風経路よりも大阪湾における南風の持続時間が長かった。

高潮と高波の生起時間差は、T8013の関空で+2時間、神戸で+4時間、T8213の関空で+3時間、大阪で+6時間であった。このことから、湾奥（大阪、神戸）の方が湾中央（関空）よりも高波の生起が遅いことがわかる。この傾向は、Ⅱ型の台風と同様である。Ⅲ型では、大阪湾上を南風が長い時間吹くのでより顕著に現れている。また、T8013の関空における生起時間差はT8213より1時間早い。これは前述のように、台風の進行速度に関係し、速ければ時間差が短くなり、遅ければ長くなる傾向を示す。

(3) 台風経路第Ⅳ型 (T9119号, T9313号)

本型式の台風は、九州を南西から北東に横切り、本州付近を南西から北東進する傾向が強く、日本に來襲する台風のうち数が最も多いものである。昭和20年の枕崎台風や昭和29年の洞爺丸台風、近年では台風9119号など、我が国に甚大な被害を与えた台風が、この経路に該当する。特徴的な事項としては、台風が山陰沖から日本海を北東に進む時に大阪湾に最接近し、かつ強い南西風をもたらすことが挙げられる。特に台風の進行速度が速い場合、台風南東部の南西風が強くなるため、湾北東部での高潮、高波被害などが懸念されるものである。

該当の台風はT9119とT9313である。何れの台風も非常に強い勢力を持って九州に上陸、北東進した。T9119は佐世保上陸時の中心示度が940hPa、最大風速50m/s、北東に50kmで進行した。近年では稀な激しい風を伴った台風であったため気象学的な研究も多い（例えば藤井⁴⁾ 1992）。強風半径は600kmであったため、大阪湾をも勢力下にしていた。T9313は、中心気圧は中国地方上陸時で975hPa、進行速度は40km程度であった。またT9119に比して東寄りの進路をとったため、大阪湾への影響も大きかったと考えられる。何れの台風も他型式の台風に比して大きな勢力、強い風を持つのが特徴的である。なお、T9119では関空以外の地点で波浪データが得られていなかった。

両台風の高潮と高波の時系列変化を図-6(a), (b)に示す。この図からわかるように、高潮、高波とも

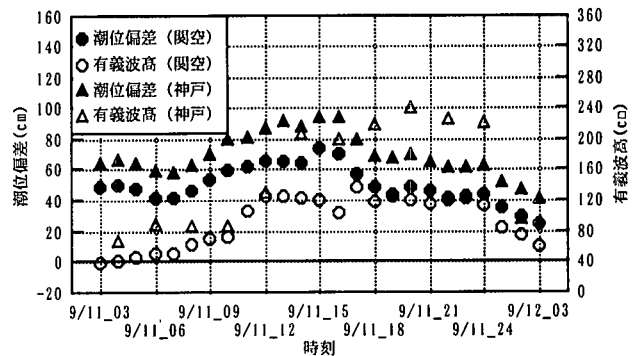


図-5(a) 台風経路Ⅲ型 (T8013) 高潮と高波

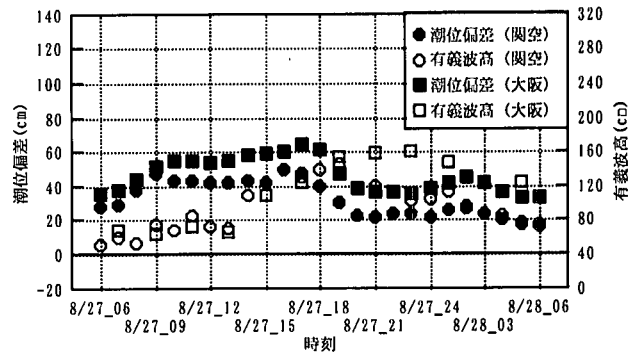


図-5(b) 台風経路Ⅲ型 (T8213) 高潮と高波

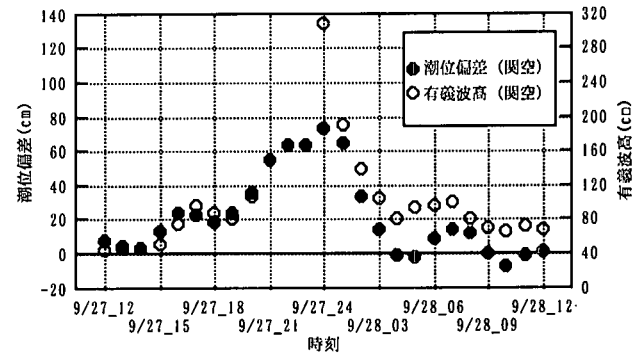


図-6(a) 台風経路Ⅳ型 (T9119) 高潮と高波

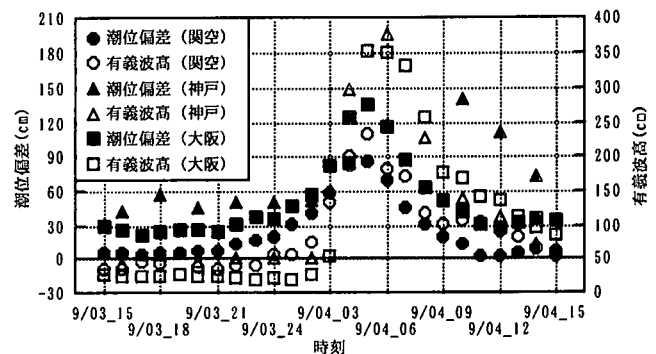


図-6(b) 台風経路Ⅳ型 (T9313) 高潮と高波

急激な成長を遂げ、短時間で最大値が出現しているのが特徴的である。これは、台風の強い勢力域の外縁（台風南東部）が大阪湾をかすめるような形で通過するため、短期間に強風が出現することによるものと考えられる。また、台風の進行方向に対して右側の領域で風速が強くなるという気象傾向にも影響され、南西風がより強く影響しているものと考えら

れる。

同時生起の傾向としては、図からもわかるように高潮、高波ともほぼ同時刻で最大値が生起している。特に、湾北部での有義波高と潮位偏差は、選定した台風の内、最も高い値を観測していた。台風の進行速度および台風の規模が異なる場合、大阪湾上を吹く南西風の出現時間に差が生じ、高潮・高波の生起時間に影響を及ぼすものと考えられる。

この台風経路の場合、高潮最大値が生起する時の台風的位置が大阪湾北西であるため、大阪湾は常に、南西風をもたらす台風南東部に相当することになる。従って、大阪湾と台風の相対的な位置関係が変わらない限り、高潮と高波の生起時間に差が生じないものと考えられる。

(4) 台風経路第V型 (T8219号)

この台風は、四国南海上から北上し、四国、中国を縦断する台風である。昭和18年7月の12号台風や昭和25年のジェーン台風が主な例である。その経路からわかるように、大阪湾は台風東部にあたり、特に湾北部での高潮が生起しやすい。選定した台風の内、本経路に該当したのはT8219のみであった。

台風は大阪湾の西方を北上するため、大阪湾では台風西部の影響を受け、南風が支配的となる。また、台風が四国南海上から北進するため、外洋で発達した波浪のうねり成分が大阪湾に影響を及ぼす可能性もある。

図-7に示すように、関空での高潮と高波の生起時間差は-12時間であった。南風による最大値のみに着目すればほぼ同時に生起しているが、北東風による波浪の最大値が出現していることは特筆すべき現象である。これは、台風が四国南方にあるときに大阪湾で東～北東の風が吹くことによるものと考えられる。一方、大阪では南風のみの影響を受けて波浪が発達するため、高潮の最大値とほぼ同時に有義波高の最大値を観測している。この南風による生起時間差は、他の型式の台風とほぼ同様な傾向を示しており、台風進行速度に伴う風の場の相違によって差が生じるものと考えられる。

(5) 台風経路第VI型 (T7916号, T8917号)

この経路は、昭和9年9月21日の室戸台風、昭和36年9月の第2室戸台風が例として挙げられ、大阪湾における最も危険な経路として知られる。台風の特徴としては、上陸直前に急激な発達を遂げることや、必ず瀬戸内沿岸に異常な高潮を発生させることにある。また、この経路は、大阪湾における防潮堤の設計波と設計潮位を選定するときに想定している台風経路が含まれる。この型式に該当した台風は、T7916とT8917であった。何れの台風も四国東部を北東に通過した後、紀伊水道北部から大阪湾に侵入し、大阪湾東岸を北東進している。T7916の中心示度は大阪湾通過時で約960hPa、T8917は975hPaであった。また、大阪湾上空を通過するときの進行速度は、両

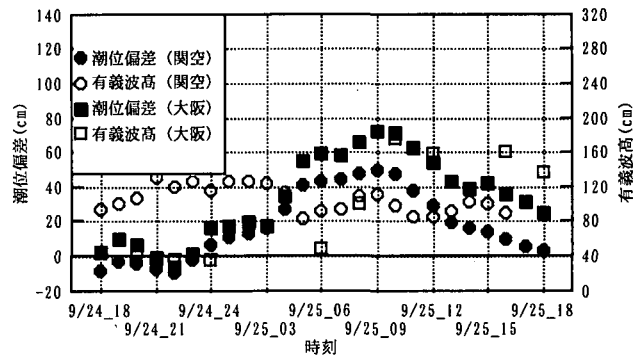


図-7 台風経路V型 (T8219) 高潮と高波

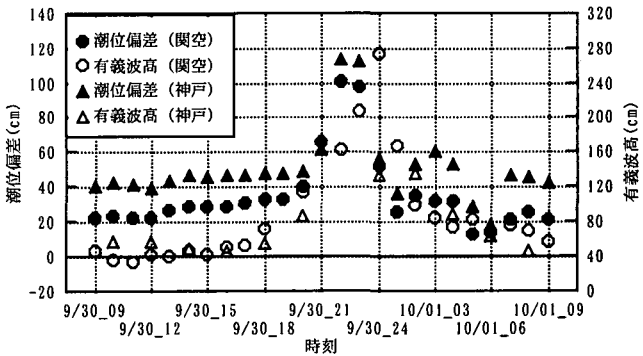


図-8(a) 台風経路VI型 (T7916) 高潮と高波

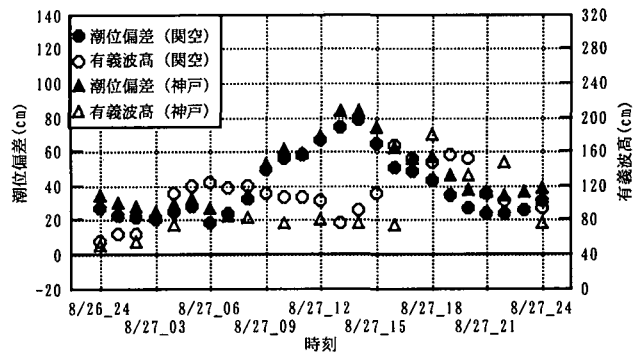


図-8(b) 台風経路VI型 (T8917) 高潮と高波

者とも60km/h前後の比較的速度を持っていたことが特徴的である。この時の高潮と高波の時系列変化を図-8(a), (b)に示す。

図から、各地点とも高波が高潮よりも2～4時間程度遅れて生起していることがわかる。関空と神戸港における高潮と高波の生起時間差を比較すると、両台風とも関空の方が2時間、神戸が4時間と神戸の方が遅い。これは高波浪の出現が、主に台風が通過した後に生じる西から南よりの風によって発達するためと考えられる。従って、大阪湾上陸後の進行速度が、T7916、T8917共に60～70km/hとほぼ同程度であったことで、同じ生起時間差を持ったものと思われる。

T7916とT8917は、共に大阪湾東岸を進んだため、大阪湾に吹く南西風は、台風が大阪湾を通過した後に生起していた。しかし、同型の経路でも台風が大阪湾西岸を北東進した場合、大阪湾に南西風が吹くのは、台風が大阪湾の北西に位置したときである。

従って、大阪湾ではより強い南西風が吹く可能性があり、台風進路の微妙な相違についてより詳細な検討を要するものと考えられる。

(6) 台風経路第Ⅶ型 (T9019号, T9426号)

昭和36年9月26日の伊勢湾台風がこの経路である。この台風は、伊勢湾沿岸で未曾有の高潮災害となったが、大阪湾では大きな被害はなかった。この経路の台風は、太平洋上から次第に四国の南海上を経て紀伊半島に上陸、その後北進または北東進する。これに伴って、大阪湾では北東の風が吹くために、神戸や大阪では大きな波高は発生しないと考えられる。

T9019とT9426がこれに該当する台風である。T9019とT9426号は、共に大型で強い勢力(中心示度は共に約950hPa)で上陸し、30~40km/hで北東進した。両者の相違は、勢力や最大風速ではあまり見られなが、上陸前後の進路がT9019はほぼ北東進、T9426が北北東進であり、大阪湾との相対的な距離が異なる。大阪湾は、これらの台風に対して西側に位置し、北風または北東風の影響を受けるものと考えられる。

図-9(a), (b)にT9019とT9426の大阪湾における高潮と高波の時系列変化を示す。関空で大きな波高が出現しているのが特徴的である。T9019では関空、神戸とも同時、T9426では神戸で+3時間、大阪で+2時間の生起時間差であった。欠測が多く、より詳細な判断はできないが、関空での高波の生起時間は北東風に影響されるため高潮最大値の生起時間よりも前となる可能性がある。神戸、大阪での生起時間差は、これまで他型式の台風でも述べたように、高潮の最大値が生起する前後の台風の進行速度に依存していると考えられる。ただ、T9019の神戸での生起時間差は、多くても1時間程度であったと考えられる。これは、台風の進路が紀伊半島南東部を通過して伊勢湾に抜けて北東進しているため、台風と神戸との相対距離が遠く、西よりの風の影響が比較的小さかったことが原因と考えられる。

4. 結論

以上のことから高潮と高波の同時生起特性は、経路と台風の進行速度に大きく依存していることがわかった。

大阪湾は、南西から北東に伸びる楕円形をした地形をしていることから、湾北東部では南西風によって高潮と高波が出現する。その最大値の出現時間は、大阪湾上を吹く南西風の強さと継続時間に依存していることがわかった。従って、台風と大阪湾の相対的な位置関係と、台風の進行速度によって高潮と高

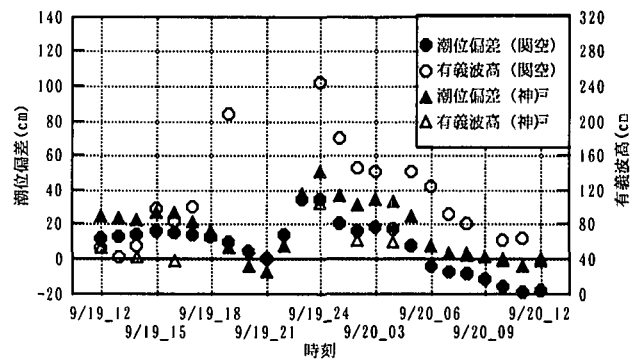


図-9(a) 台風経路Ⅶ型 (T9019) 高潮と高波

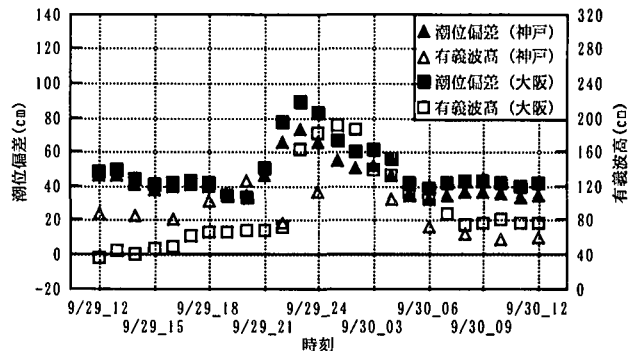


図-9(b) 台風経路Ⅶ型 (T9426) 高潮と高波

波の最大値が同時に生起するかどうかがある程度決まってくることがわかった。また、本研究で取り上げた台風のうち、Ⅳ型の経路を経る台風において、高潮位、高波高が同時に生起することがわかった。

大阪湾における防潮堤の設計波は、本研究におけるⅥ型の台風経路を想定して選定されているが、設計において想定されている高潮と高波の同時生起という現象は、必ずしも実際の現象として生起していなかった。しかしながら、T7916の経路は大阪湾東岸を北東進しており、大阪湾上の微妙な経路の相違が高潮と高波の同時生起性に影響を及ぼす可能性があり、より詳細な調査が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 土屋義人, 中村重久, 山下隆男, 岡 扶城: 台風7916号による大阪湾・紀伊半島の高潮, 京都大学防災研究所年報, 第24号 B-2, 1981.
- 2) 山下隆男, 山本圭介, 土屋義人: 伊勢湾, 大阪湾・紀伊水道, 土佐湾における異常潮位, 高潮に及ぼす黒潮の影響, 京都大学防災研究所年報, 第31号 B-2, 1988
- 3) 財団法人 日本気象協会編: 続 台風災害を防ごう- 昭和38年~42年, 財団法人 日本気象協会, 昭和43年
- 4) 藤井 健: 台風9119号による強風の気象学的特性について, 日本風工学学会誌 第53号 P. 27-P. 35, 1992

(1999. 4. 19受付)