

富士海岸における台風来襲時の波浪の発達特性

CHARACTERICS OF OCEAN WAVE DEVELOPMENT ON THE FUJI COAST DURING TYPHOONS

桜庭雅明*・倉田貴文**・蛭田啓久**・稲垣青生**

Masaaki SAKURABA, Yoshifumi KURATA, Hirohisa HIRUTA and Seisho INAGAKI

The Fuji Coast (19 km of coast line) is located in the north Part of Suruga Bay. The Fuji Coast has been damaged by ocean waves and storm surges caused by typhoons and strong atmospheric low pressure systems. Recently, the Fuji Coast was damaged by typhoons 0422 (Ma-on) and 0423 (Tokage). This paper presents the characteristics of ocean wave developments on the Fuji coast caused by typhoons 0422 and 0423. In order to investigate the relation between pressure, wind, and waves, field survey data were analyzed. In order to show the time history of the characteristics of wave development, a third-generation wave model (SWAN) was applied. The numerical results show the characteristics of typhoon 0422 and 0423. The numerical simulation using SWAN contributed to our understanding of actual phenomena during the incident.

Key Words : typhoon 0422 and 0423, Fuji Coast, ocean wave development, SWAN

1. はじめに

富士海岸は駿河湾の湾奥に位置し、富士川河口から沼津市千本浜に至る約19kmの海岸である。海底勾配は1/3～1/10程度と極めて大きい。また、駿河湾が開放性の高い湾であることから、外洋からの波浪が侵入しやすく減衰することなく発達する特性を持っていると考えられる。このため、これまで台風来襲による沿岸域での被害が多く発生している。

富士海岸における代表的な災害としては、1966年に来襲した台風6626号による越波浸水災害および1979年に来襲した台風7920号による災害があげられる。これらの災害は、当時の被災状況および波浪・潮位の一部の記録が残されているものの、台風の経路や中心気圧に応じた波浪の発達状況が明確にされておらず、現在でも富士海岸における台風来襲時の波浪の発達特性は不明である点が多い。また、その後来襲した台風についても台風特性と波浪特性の関連性を整理した資料は存在していない。一方、2004年には台風0422号および台風0423号が駿河湾周辺を通過し、富士海岸に高波浪が来襲しており、沿岸部での被災が生じている。台風0422号および0423号については、気象・海象に関する資料が比較的揃っており、台風と波浪に関する特性について検討を進めることができると考えられる。

そこで本論文では、富士海岸における台風来襲と波浪の

発達特性の関連性を検討することを目的として、最近来襲した代表的な台風である台風0422号および台風0423号の波浪の発達特性と富士海岸の被災状況に関する考察を報告するものである。台風および波浪の発達状況やその特性については周辺の気象・海象状況を整理し、その考察を述べるものとする。また、台風の発達経路とそれに伴う波浪の発達状況を時系列的に検討することを目的として、第3世代波浪推算モデル (SWAN: Simulating WAve Neareshore) による波浪の再現計算を実施し、当該海域周辺での波浪発達状況の再現性に関する評価を行い、波浪推算モデルの妥当性と課題に関して述べるものである。

2. 台風の特性

(1) 台風経路および中心気圧

台風0422号、台風0423号の経路および中心気圧を図一1に示す。台風0422号は2004年10月4日にフィリピンの東の海上で発生し、同年10月8日3時には沖の鳥島の西海上で中心気圧920hPa、最大風速50m/sまで発達した。その後も非常に強い勢力を保ったまま、同年10月9日16時頃に伊豆半島に上陸した。台風の北上に伴い、富士海岸全域では高波が来襲し、田子の浦観測所 (国土交通省) では最大波高9.3mを記録した。なお、駿河湾周辺での瞬間最大風速は、御前崎 (気象庁) で50m/s、石廊崎 (気象庁) で67.6m/s、駿河海岸観測所 (国土交通省) では38.8m/sを記録した。

一方、台風0423号は台風0422号の来襲後の2004年10月13日9時にグアム島の北西の海上で発生し、同年10月16日15

* 大阪支店 技術第一部
** 首都圏事業部 河川水工部

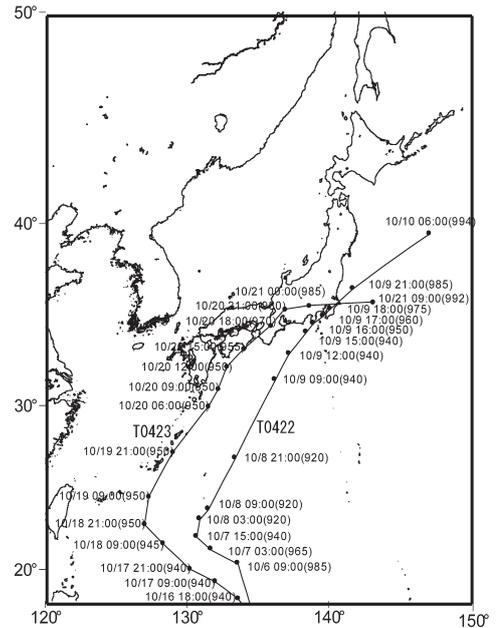
時には沖ノ鳥島の南西の海上で非常に強い台風となった。同日の18時には同海上で中心気圧940hPa、最大風速45m/sまで発達し、18日09時には沖ノ鳥島の西北西の海上で超大型の強い台風となった。その後は強い勢力を保ったまま、19日には向きを北北東に変えて速度を上げ、20日13時頃に高知県土佐清水市付近に上陸した。10月20日18時頃に大阪府泉佐野市付近に再上陸した後、近畿・東海・関東甲信地方を横断し、21日06時には銚子沖に進んだ。10月20～21日に駿河湾の北側に来襲し、最も接近したときの中心気圧は985hPa、最大瞬間風速で36m/s（御前崎）となった。

この二つの台風を比べると台風0422号の方が経路、規模から見る限り、駿河湾に大きな外力を及ぼしたものと推定される。

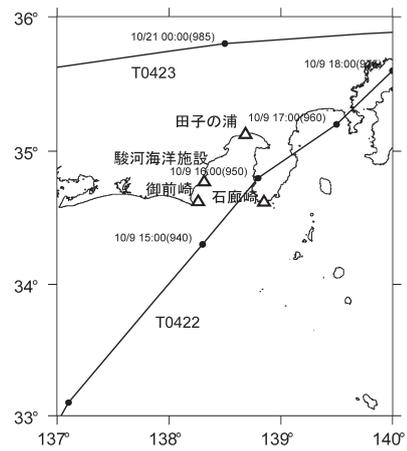
(2) 駿河湾内における気圧・風速の時系列変化

台風0422号、台風0423号における御前崎、石廊崎（気象庁）および田子の浦（国土交通省）の風速・気圧の時系列変化を図-2に示す。田子の浦の平均風速の時系列によると台風0422号は10m/s以下と小さいが、台風0423号においては、最大で20m/sに近い値を示している。気圧については台風0422号において最低時で982hPa、台風0423号において最低時989hPaとなり、若干台風0422号の気圧が低い結果となった。一方、石廊崎および御前崎においては、田子の浦に比べて台風0422号の来襲時に非常に大きな風速を観測しているが、台風0423号来襲時においては、気圧・風速ともに田子の浦とほぼ同様の傾向となっている。

以上のことから、駿河湾内での風速は、台風0422号の場合においては、湾の南側で風が発達し、台風0423号では湾奥での風が発達していることがわかる。これは、図-1に示した台風経路からもわかるように、台風0423号は駿河湾の北部を通過し、台風中心から進行方向右側に富士海岸が位置することから、発達した風速場が富士海岸を直撃したものと推定することができる。



台風経路(広域)



台風経路および観測所位置

図-1 台風0422号、0423号の経路と中心気圧

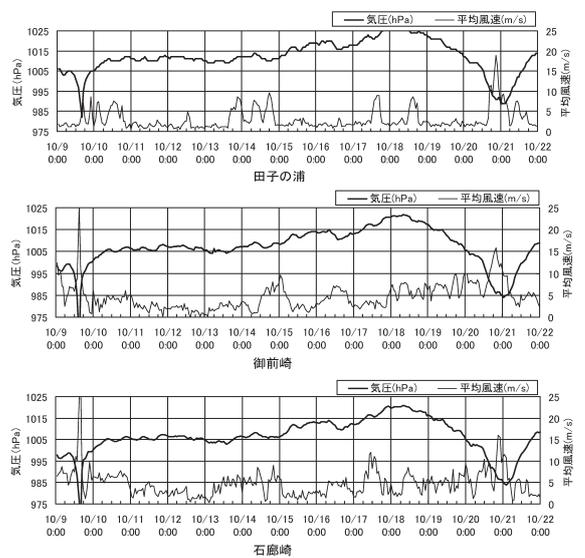


図-2 気圧・風速の時系列

(3) 富士海岸における波浪・潮位の時系列変化

台風0422号、台風0423号来襲時における田子の浦での波浪、潮位の時系列変化を図一3に示す。台風0422号では最大波高9.3m（最大波）、台風0423号では最大波高10.4m（最大波）が観測された。また、潮位偏差は台風0422号で最大53cm、台風0423号で最大65cmが観測された。周期については、最大波来襲時において台風0423号は比較的短いものとなった。この結果についても風速の時系列と同様に、台風0423号における潮位偏差および波浪は大きな値となっている。これらの結果からもわかるように、台風の進路により波浪・潮位偏差の発生状況は異なり、当時来襲した両方の台風においては、駿河湾の北側を通過した場合、台風の進行方向の右側の風が卓越した場合により波浪が発達することが明確となっている。

(4) 富士海岸における台風来襲による被害状況

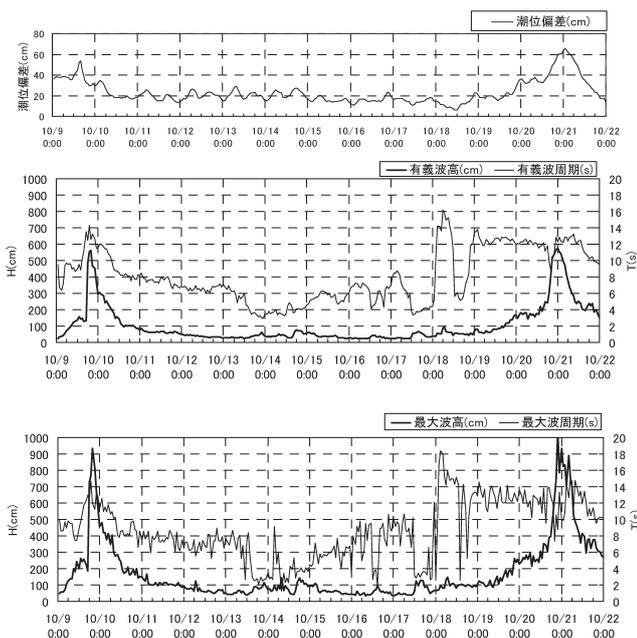
台風0423号通過後、富士海岸吉原工区（田子の浦港～昭和放水路付近）では、高波浪の来襲により一部海岸被害が生じている。この工区では、消波ブロックが設置されているが、そのうちの5基が一部散乱する被害を受けている。田子の浦港～昭和放水路のおおむね中央の位置にある消波ブロックの被災状況を写真一1に示す。この写真から波浪来襲により前面のブロックが沈下・散乱している状況が伺える。また、その東側では、ブロックの背後の海岸において浜崖が形成されており、その状況を写真二2に示す。台風0423号の来襲の影響により、ブロックの沈下・散乱だけではなく、海岸侵食被害が生じており、その影響は背後の堤防直前まで迫っていることがわかる。



写真一1 富士海岸における台風来襲後のブロック散乱状況 (富士海岸吉原工区)



写真二2 富士海岸における台風来襲後の浜崖の形成状況 (富士海岸吉原工区)



図一3 波浪・潮位偏差の時系列

3. 富士海岸における波浪の来襲状況

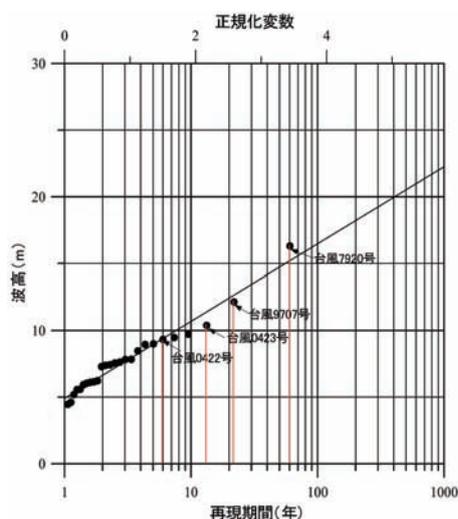
台風0422号および0423号の波浪の特性については、先に述べたとおりである。これまで観測された田子の浦の波浪観測データから、最大波高に関して上位10番目までの生起年月日を示したものを表一1に示す。台風0423号は過去20年以上の観測において上位3番目となっており、非常に高い波浪であったことが確認されている。また、台風0422号は、台風0423号に比べると低い結果となっているが、上位6番目となっており、近年来襲した波浪のなかでは比較的大きな値といえる。

さらに、台風0422号、0423号が既往の高波浪と比べてどれくらいの規模であったかを確認するために、これまでの波浪の観測結果から最大波に関して極値統計解析（確率期間30年、ワイブル分布関数により推定）を行った。最大波高に関する再現期間をプロットしたものを図一4に示す。この結果より台風0422号では6年程度、台風0423号では15年程度の再現期間となった。なお、富士海岸における代表的な被害を与えた台風7920号は約60年の再現期間と推定された。

以上のことから、2004年は、台風0422号、台風0423号と再現期間が10年前後という大きな台風が連続した異例の年であることがわかる。

表一 富士海岸における上位の高波浪

順位	年月日	波高(m)	周期(s)	発生要因
1	1979/10/19	16.3	14.0	台風 7920 号
2	1997/6/20	12.1	13.2	台風 9707 号
3	2004/10/20	10.4	8.8	台風 0423 号
4	1970/7/20	9.7	8.5	低気圧
5	1969/11/21	9.5	10.9	低気圧
6	2004/10/9	9.3	12.0	台風 0422 号
7	1997/7/26	9.0	14.0	低気圧
8	1996/1/25	8.9	6.2	低気圧
9	2001/8/21	8.5	15.3	台風 0111 号
10	1994/1/18	7.8	9.0	低気圧



図一四 富士海岸における近年の波浪再現期間

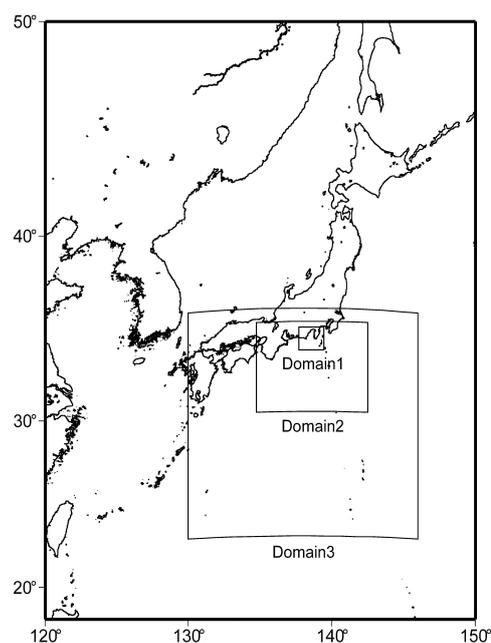
4. 富士海岸周辺の波浪の再現

(1) 波浪推算モデルによる波浪再現計算

富士海岸に來襲した台風0422号、台風0423号の波浪の発達特性を確認することおよび駿河湾内における平面的な波浪分布特性を考察することを目的として、第三代波浪推算モデルSWANにより再現計算を行った。SWANのモデルの概要に関しては文献2) に詳しいため本論では説明を省略する。計算条件としては、波浪の方向分割数を36、周波数方向の分割数を31とした。風入力の理論にはKomenモデルを採用し、底面摩擦係数にはJONSWAP型を用いた。また、SWANの条件として選択できる4波共鳴、3波共鳴、白波砕波および浅水砕波の条件はすべて考慮した。計算領域は図一五に示すように小領域～大領域でネスティングを行い、小領域での有義波高、有義波周期を評価した。表一二に波浪推算に用いる各計算範囲と用いた格子幅を示す。Domain1においては175×125分割、Domain2においては

150×100分割、Domain3においては160×130分割となる。

SWANにおける波浪推算の入力条件となる風速の計算には、気象庁のGPVデータまたはECMWFのデータなどが良く用いられるが、本検討においては比較的簡便な方法としてSchloemerの式³⁾ に基づいて観測値の中心気圧から気圧分布を求め、Blatonの式に基づき左右非対称となる傾度風分布を求めた⁴⁾。また、中心への風の吹き込み角度を30°とし、傾角を考慮した地上風速を求めた。最大風速半径の設定は観測値として得られている最大風速半径と同等になるように時間的に変化させた。



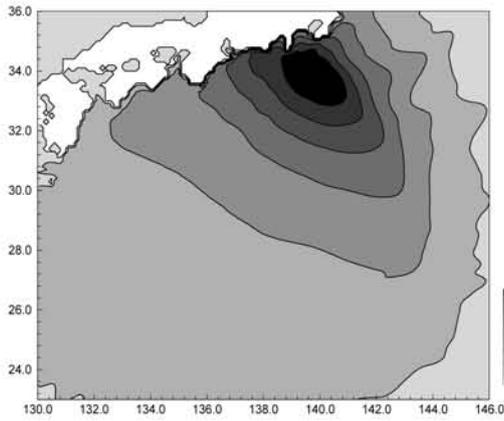
図一五 波浪推算に用いた計算範囲

表一二 波浪推算に用いた領域および計算格子

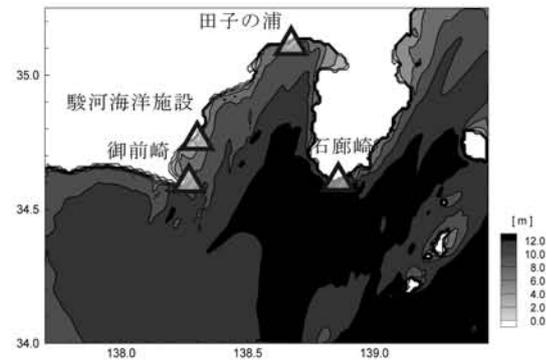
領域	経度範囲	緯度範囲	計算格子幅
Domain1	137.00° ～139.45°	34.00° ～36.25°	0.01°
Domain2	135.00° ～142.00°	30.50° ～35.50°	0.05°
Domain3	130.00° ～146.00°	23.00° ～36.00°	0.1°

(2) 再現計算結果および計算結果の妥当性

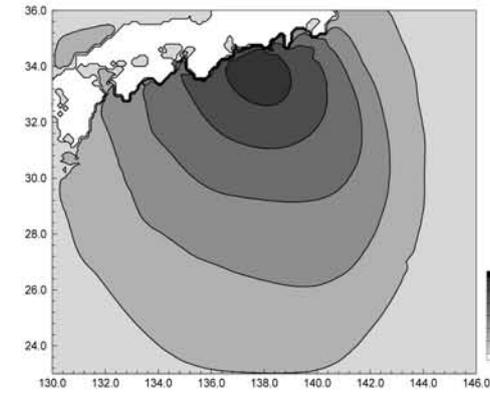
台風0422号、台風0423号の來襲時のうち、田子の浦ではほぼ波高がピークとなる時の有義波高の平面分布 (Domain3および1) を図一六に示す。台風0422号は駿河湾を北上する台風であったため、駿河湾内全体の波高分布が大きくなっている。ただし、富士海岸付近まではその大きな波高が到達していない。台風0423号は台風経路が駿河湾内を通過したのではなく、湾の北側を東向きに通過したため、外洋での波高は比較的強く、富士海岸付近でも実測とは異なり、若干波高分布が低めに得られていることが見てとれる。



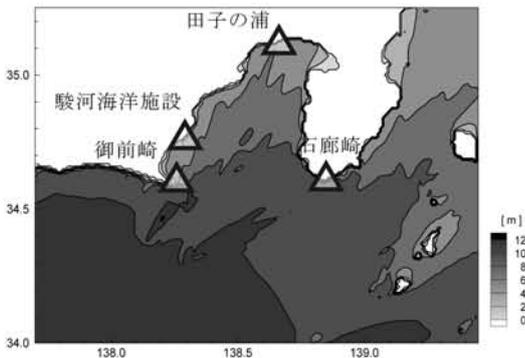
台風 0422 号 Domain3 (2004/10/9 18:00)



台風 0422 号 Domain1 (2004/10/9 18:00)

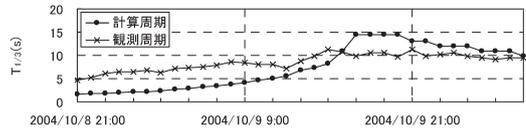
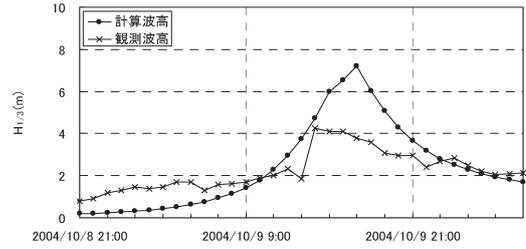


台風 0423 号 Domain3 (2004/10/20 22:00)

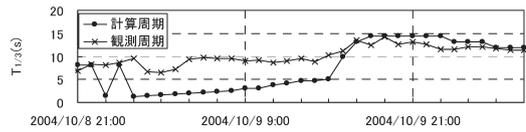
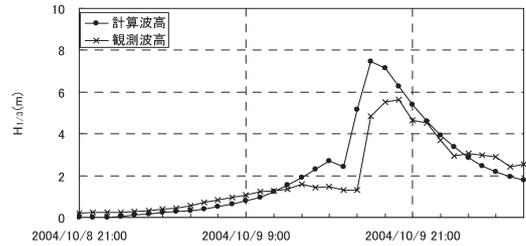


台風 0423 号 Domain1 (2004/10/20 22:00)

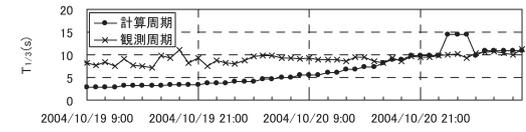
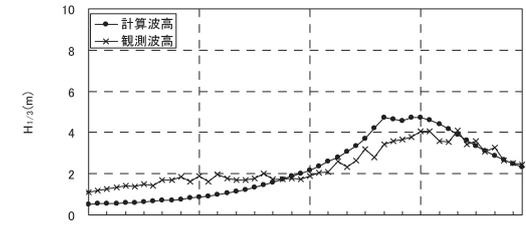
図-6 駿河湾周辺の再現計算結果 (有義波高分布)



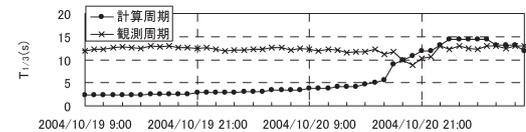
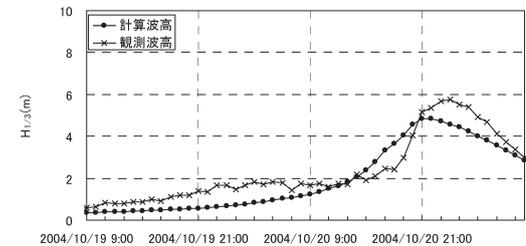
台風 0422 号: 駿河海洋



台風 0422 号: 田子の浦



台風 0423 号: 駿河海洋



台風 0423 号: 田子の浦

図-7 計算結果と観測値との比較

駿河湾内で波浪観測が行われている駿河海洋施設（駿河海岸）および田子の浦における波高・周期の観測結果と計算結果の比較を示したものが図-7である。なお、観測施設の概略位置をDomain1の結果に示した。この結果より、台風0422号では波高の傾向は捉えられているが、ピークの値を過大に評価した傾向となっている。周期についても同様であり、ピークでの周期を過大評価する傾向となっている。

台風0423号の結果においては、駿河海洋および田子の浦の両方において波高の時系列的な傾向は捉えられているが、周期に関する再現性は低い。とくに台風が来襲する約6時間前までの周期は計算結果が過小評価となる傾向が顕著である。

波浪の計算結果における実測との差異については、計算された風速に伴う波浪の発達が完全に表現できていないことが考えられる。周期については、風速が小さい時に実測との差異が大きくなる傾向となっているが、これは本検討で用いた風速場のモデルが台風の気圧勾配による風速のみを考慮したものであり、台風から離れた箇所に対する風速を過小評価することが原因であると考えられる。また、台風0422号の波高が台風0423号より大きくなった原因としては、台風0422号の中心気圧が低いために、計算した傾度風速が台風0423号よりも大きくなり、推算された波浪が大きくなっていることが影響していると考えられる。実際に観測された最大波高は台風0423号の方が大きくなっているが、これは、実際の台風経路や海底地形の影響が関係していると考えられる。富士海岸は急勾配海岸であることから、SWANの計算において屈折・浅水変形の影響を考慮しているものの、浅海域での波浪を表現することについては、さらに検討を加える必要がある。このため今後は、台風の経路、風速および当該海岸における急勾配地形条件の影響と効果を計算結果と実測値の比較を通じて、さらに詳細に検討することが課題となる。

5. おわりに

本研究では、富士海岸に来襲した台風0422号、台風0423号を中心として、その台風に起因した波浪特性と海岸の被害状況について考察した。また、波浪特性を再現するために、波浪推算モデルにより再現計算を行った。その結果、以下のような結論が得られた。

- ・台風0422号および台風0423号に起因した富士海岸の波浪は、過去の観測の中でも相当大きな規模であり、10年前後の再現期間であると推定される。
- ・台風0423号による波浪の規模は台風0422号より大きく、海岸被災も台風0423号に起因したものであった。
- ・各台風における波浪の発達状況を波浪推算モデルにより

再現した結果、波高の傾向をおおむね捉えることができた。ただし、周期に対する再現性が低いことなどのモデル上の課題が残されている。

- ・台風0422、台風0423号の波浪特性を実測と計算より検討した結果、台風の中心気圧や最大風速だけでは説明できない発達特性もあり得ることが確認された。

今後は、台風経路や富士海岸沿岸の急峻な海底地形の影響（計算格子の地形解像度に関する影響）などを踏まえて特性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 沼津工事事務所資料：扇状地河道を漂砂供給源とする富士海岸での土砂異動機構－富士海岸海岸保全計画のために－、建設省中部地方建設局、沼津工事事務所、1998.
- 2) Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen : A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation , Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. C4, pp.7649-7666, 1999.
- 3) Schloemer, R. W. : Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okechobee., Florida Hydromet Rep., U.S. Weather Bureau, No.31, p 49, 1954.
- 4) Holmbee, J., G.E. Forsythe and W. Gustin : Dynamic meteorology, John Wiley and Sons, Inc., pp. 207-209, 1945.
- 5) 藤井 健、光田 寧：台風による強風の出現確率の予測について－海上風の予測、自然災害科学、11-3、pp.125-144、1992.