

台風 9807 号通過地点で観測した異常波浪特性と既往推算法に 基づくその再現性に関する検討

北野正夫* ・角谷孝義** ・殿最浩司***
佐藤広章*** ・高山知司****

1. はじめに

台風 9807 号は、紀伊水道の中央を北北東に進み、9 月 22 日 13 時ごろに和歌山県御坊市に上陸した台風である。上陸時の中心気圧は 960 hPa, 中心付近の最大風速 40 m/s で、規模的には中型であったが、強い勢力の台風であり、近畿地方各地で記録的な強風が観測され、それが原因と考えられる大きな被害が生じた。また、この台風の進行速度は上陸前後で約 50~60 km/h で、非常に速かった。この台風の中心が通過した御坊市の沖合には超音波式の波高計(水深約 36 m)を設置しており(図-1 参照)、台風の中心が通過した 13 時に有義波高 $H_{1/3}=10.2$ m ($T_{1/3}=15.2$ s) の観測史上最大クラスの高波浪を観測した。しかも、この波高は 2 時間で $H_{1/3}$ が約 8 m 上昇するという急激な変化を示した。しかしながら、波高計の真上を台風の中心が通過し、このような高波浪が発生し、しかも短時間に急激に増大したような観測例はこれまでほとんど報告されていない。

したがって、本研究では、周辺海域での気圧、風、波浪観測結果およびこの台風による波浪災害を調査し、台風 9807 号の異常波浪の特性を検討するとともに、既往の推算法に基づいた波浪推算を実施し、その再現性について検討したものである。

2. 台風 9807 号通過時の気象・海象の変化

台風 9807 号は、フィリピンの西海上で発生し、その後図-2 に示すように北北東に進み、9 月 22 日 12 時には紀伊水道のほぼ中央に位置し、13 時ごろに和歌山県御坊市に上陸した台風である。この台風 9807 号の通過時の気象・海象の変化を調べるため、表-1 および図-1 に示す気圧、風、波浪の観測データを収集・整理した。

図-3 は、この台風の通過時に御坊発電所で観測した平均風速(10 分間平均)と瞬間風速の経時変化を示したものである。この観測結果は図-1 中に示す位置で計測

表-1 収集した気象・海象データ

観測点	管理者	収集した気象・海象データ
御坊発電所	関西電力(株)	気圧(ピーク時のみ)、風向・風速、波高・周期・波向
白浜海象観測所	京大防災研究所	気圧、風向・風速、波高・周期
和歌山下津港(北港)沖	関西電力(株)	波高・周期・波向
和歌山地方気象台	気象庁	気圧、風向・風速
室津	運輸省	波高・周期・波向

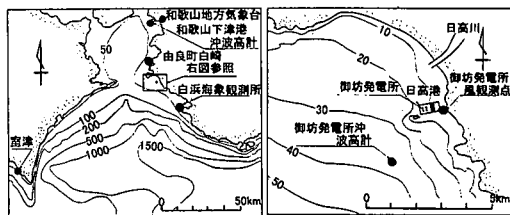


図-1 対象地点と観測所の位置

したものであり、発電所の建屋や周辺地形等の影響をかなり受け、その値自体は障害物のない海上風の特性と異なるものと考えられるが、台風の中心が通過した 13 時ごろに風速が急激に低下し、約 30 分間風速が小さい時間が続いている。また、風向も台風通過前には東寄りであったのに対し、通過後には西寄りに変化している。これらのことから、台風の中心がこの地点を通過したことが確認できる。

図-4 は、図-3 と同様に、御坊発電所沖と白浜海象観測所(高潮観測塔)で観測した波高・周期・波向の経時変化を示したものであり、台風の中心が真上を通過した御坊発電所沖で観測した有義波高 $H_{1/3}$ は、台風が上陸した 13 時に $H_{1/3}=10.2$ m ($T_{1/3}=15.2$ s) の高波浪を記録した。また、11 時には $H_{1/3}=1.8$ m, 12 時には $H_{1/3}=3.9$ m であり、2 時間で $H_{1/3}$ が約 8 m 上昇し、その立ち上がり部が非常に急激であった。それに対し、御坊から南に約 30 km 離れた白浜では、14 時に $H_{1/3}$ の最大 6.0 m を示しているが、御坊ほど急激な波高の変化はみられなかった。

図-5 は、御坊発電所沖で $H_{1/3}$ の最大値を示した 9 月 22 日 13 時に観測した水位の変化を示したものであり、

* 工務 関西電力(株)土木建築室副調査役
** 正会員 工務 関西電力(株)土木建築室原子力・火力地点チーム課長
*** 正会員 工務 (株)ニュージェック河川海岸部海岸室
**** フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所

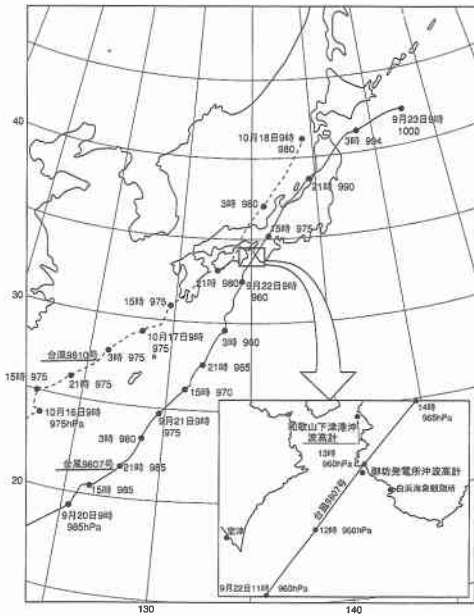


図-2 台風9807号と台風9810号の経路図

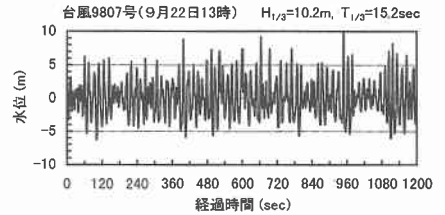


図-5 御坊発電所沖波高計の観測水位 (9月22日13時)

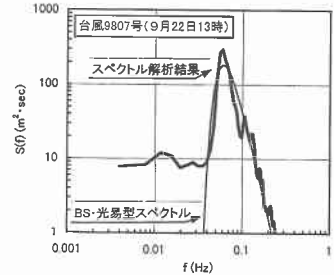


図-6 周波数スペクトル (9月22日13時)

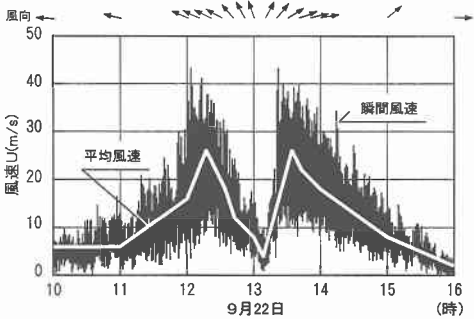


図-3 台風9807号の風観測結果 (御坊)

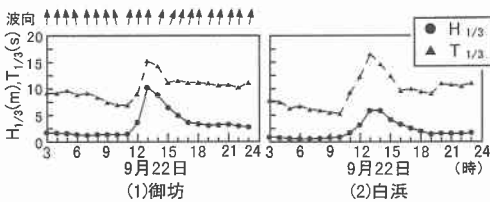


図-4 台風9807号の波浪観測結果

3. 周辺海域での波浪災害の調査

台風9807号による波浪災害を調査した結果, 台風の中心が通過した御坊から北に約12 km離れた由良町白崎 (位置については図-1参照) では, 写真-1 に示すような非常に高い岩礁部の天端を越波し, その背後のマリンレジャー施設が被災していることがわかった。また, 越波が生じたのは9月22日13時~14時で, 数波の波が岩礁部を越波していたことが目撃されており, 図-4に示した $H_{1/3}$ が最大となった時間と一致している。また, 過去にこの地点で越波が生じててもこのような被災は生じておらず, 台風9807号時のこの被災が初めてであった。

図-7は, この岩礁部の断面を模式的に示したものである。この断面について, 豊島ら (1964) の打ち上げ高の算定図を用いて, 打ち上げ高を算定した結果が図-8である。この図は, 被災時に御坊発電所沖で観測された



写真-1 越波した岩礁部

この観測水位には異常なデータが記録されておらず, 観測は正常であったことがわかる。また, 図-6は, この水位記録をもとにスペクトル解析した周波数スペクトルを示したものである。この周波数スペクトルは低周波数側 (長周期側) で, そのエネルギー密度が大きくなっているが, 高周波数側 (短周期側) では, Bretschneider・光島スペクトルとよく一致している。

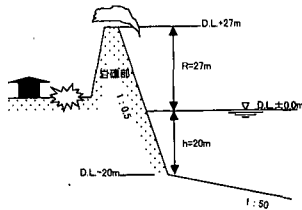


図-7 越波した岩礁部の断面の模式図

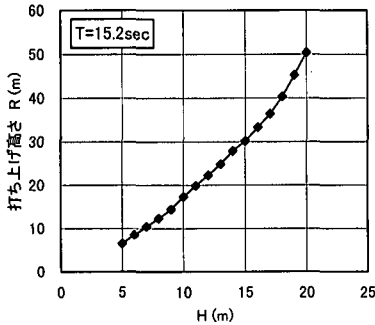


図-8 打ち上げ高の算定結果

13時の有義波周期 $T_{1/3}=15.2$ s を用い、波高を変化させた場合の打ち上げ高を示したものである。御坊発電所沖で観測された13時の $H_{1/3}=10.2$ m を用いて、この岩礁部前面の入射波の最大波 H_{max} を合田 (1975) の碎波帯内の波高変化図を用いて算定すると、 $H_{max}=15.3$ m であり、図-8 から打ち上げ高 R は約 30 m となり、最大波クラスの波はこの岩礁部 (天端高 27 m) を越える結果となる。この検討結果からも、台風 9807 号で御坊発電所沖で観測した $H_{1/3}=10.2$ m は妥当なものではないかと考えられる。

4. 既往推算法に基づく波浪推算とその再現性

この台風 9807 号の台風諸元を用いて MRI 法による波浪推算を実施し、推算値と観測値の比較を行った。また、この台風以外に 1998 年に対象地点に高波浪をもたらした台風 9810 号 (台風コースについては図-2 参照) についても同様な計算を行った。

(1) 推算方法および推算条件

波浪推算を実施するための海上風の推算は、台風を中心位置、中心気圧 P_c 、台風半径 r_0 で表される台風諸元 (台風 9807 号の台風諸元については表-2 参照) を入力データとする台風モデル法によって行った。これは、台風内の気圧分布に対して Myers 式を仮定して求めた中心対象傾度風 (風向は低圧部に偏向するように風速ベクトルを半時計廻りに 30 度補正した) と、台風の移動に伴う場の風にそれぞれ変換係数 (定数 0.65) を乗じたのち、両者の和から 10 m 高度における海上風速および風向を

表-2 台風 9807 号の台風諸元

日時 月/日/時	中心位置		中心気圧 P_c (hPa)	台風半径 r_0 (km)
	北緯	東経		
9/22/ 3	29°35'	133°20'	960	39.0
9/22/ 6	30°50'	133°50'	960	35.0
9/22/ 9	32°25'	134°20'	960	31.0
9/22/12	33°25'	134°50'	960	38.0
9/22/13	33°50'	135°05'	960	41.5
9/22/14	34°25'	135°30'	965	44.5
9/22/15	35°05'	136°05'	975	56.5
9/22/16	36°50'	137°10'	985	75.5

9/22 の代表的な時間のみ記載

表-3 計算領域

領域	範囲		格子間隔
	北緯	東経	
大領域	20.0°~35.0°	120.0°~150.0°	1°/2 (約 50 km)
中領域	32.0°~35.0°	131.0°~137.0°	1°/8 (約 12.5 km)
小領域	33.0°~34.2°	134.0°~136.0°	1°/24 (約 4.2 km)

推定する方法である。また、本研究では、傾度風に乗ずる変換係数 $G(x)$ は、supergradient wind の影響を考慮し、定数とせず、山口ら (1995) の提案した次式を用いた。

$$G(x) = G(\infty) + \{G(x_p) - G(\infty)\} (x/x_p)^{k-1} \cdot \exp\left\{-(1-1/k)[1-(x/x_p)^k]\right\} \quad \dots (1)$$

$$G(\infty) = 0.65, G(x_p) = 0.9, x_p = 0.5, k = 2.5$$

なお、藤井ら (1999) は、台風 9807 号について supergradient wind を考慮に入れた風場の推算を行い、各地の実測風と比較を行っている。その結果、風速の推算結果はそれを考慮に入れたものが比較的良好に一致することが報告されている。

波浪の推算は、波浪予測業務および港湾施設等の設計波算定に長年利用されてきた、Isozaki and Uji (1973) の MRI 法を用いた。計算領域は、表-3 に示すような大領域、中領域、小領域の 3 段階で実施した。また、計算条件は周波数分割数 22 ($\Delta f = 0.01$ Hz, $f = 0.04 \sim 0.25$ Hz)、方向分割数 16 ($\Delta \theta = 22.5^\circ$) とした。

このような波浪推算を行う場合、台風諸元を 1 時間間隔で与えて風場を計算し、波場を計算する時点でそれを線形的に時間内挿 (本研究の場合 $\Delta t = 120$ s) する方法がよく用いられる。しかしながら、台風 9807 号のように台風の中心が対象地点の近傍を通過する台風については、台風の接近に伴い風向・風速が短い時間で急激に変化するため、1 時間間隔の風場の推算ではそれを再現するのが困難であると考えられ、本研究では、台風 9807 号が対象地点に近づいた 9 月 22 日 12 時から 14 時の 2 時間については、台風諸元を 10 分間隔で与えた。

(2) 推算結果と再現性の検討

台風 9807 号の推算結果の一例として、台風が上陸した 13 時の風向・風速の平面分布および有義波高 $H_{1/3}$ の平面分布を示したものが図-9 および図-10 である。これに

よると、台風の右後方いわゆる第4象限で風速および波高が大きく、移動速度が速い台風の特徴(例えば, Uji, 1975)が現れている。

各地点での推算結果と観測結果の比較として、気圧・風・波浪の経時変化を図-11に示す。なお、白浜については、観測点が田辺湾内に位置し、屈折や岬の遮蔽の影響を受けているため、波浪推算で得られた結果を沖波として、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算(間瀬ら, 1999)を実施して補正した結果を示している。これらの結果から、台風9807号のMRI法に基づく推算結果

の再現性について考察すると以下のようなものである。

① 気圧の変化は、各地点とも推算結果と観測結果は比較的よく一致する。

② 風速の再現性については、海上で観測している白浜では、推算結果と観測結果は比較的よく一致している。それに対して、御坊では、台風通過直前の風速の変化はほぼ再現できているが、台風通過後は推算結果のほうが観測結果に比べかなり大きくなっている。これについては、前述したように発電所の建屋等の影響、特に通過後は西寄りの風向になり、発電所内の建屋(高さ約70m)

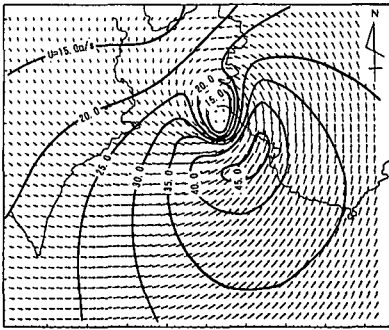


図-9 風向・風速の平面分布 (9月22日13時, 推算結果)

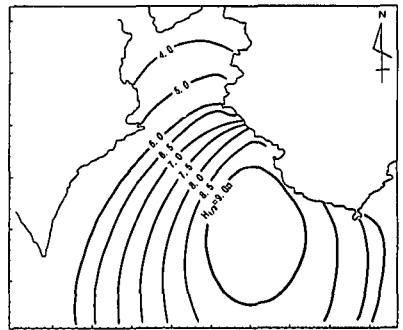


図-10 有義波高の平面分布 (9月22日13時, 推算結果)

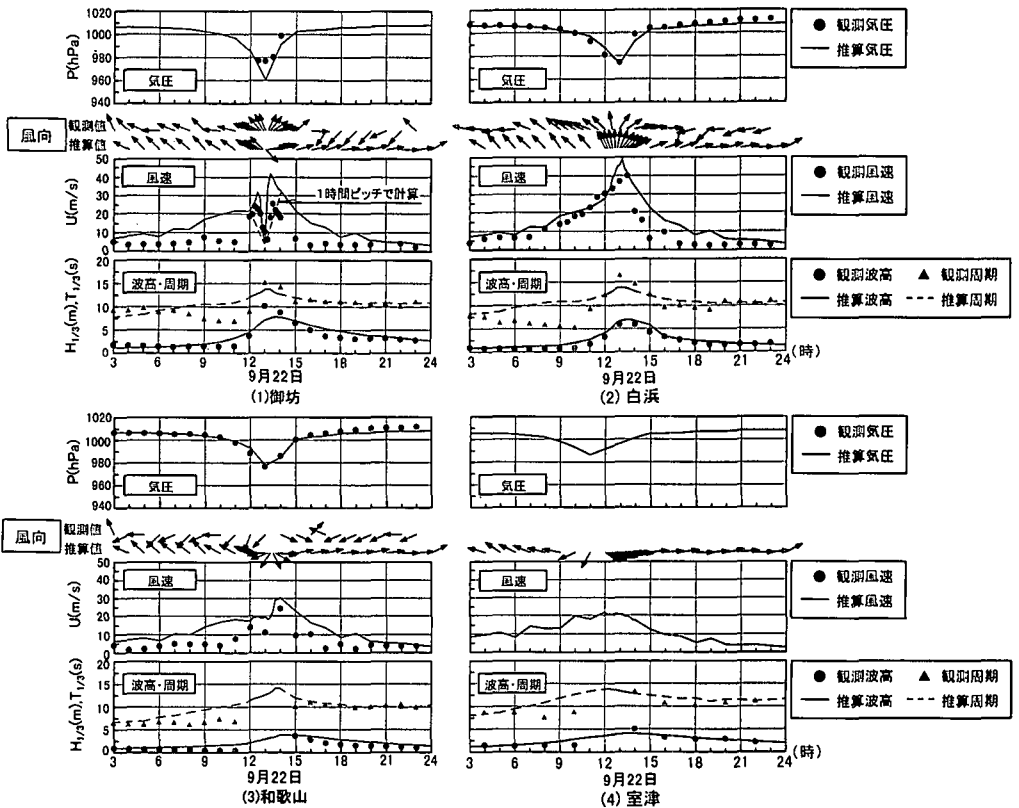


図-11 台風9807号時の気圧・風・波浪の経時変化(推算結果と観測結果の比較)

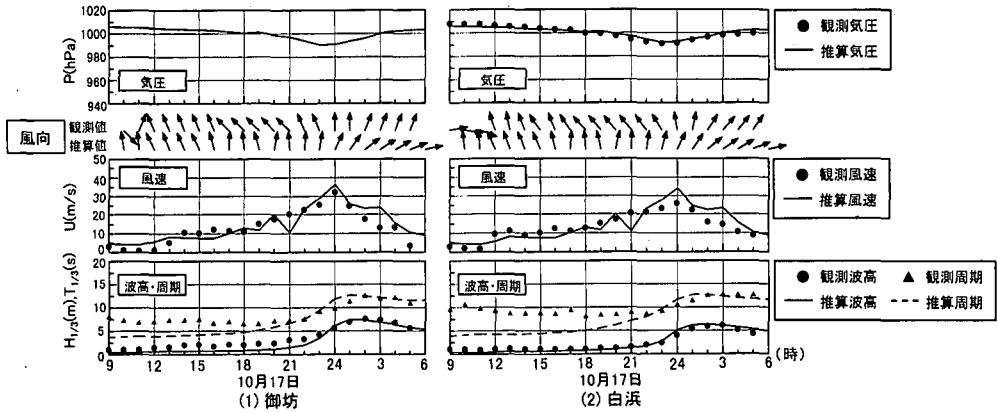


図-12 台風 9810 号時の気圧・風・波浪の経時変化 (推算結果と観測結果の比較)

の影響を大きく受けているためと考えられる。

③ 図-11(1)の御坊の風速については、台風諸元を全て1時間で与えた計算結果も参考に示している(図中の点線)。これによると、1時間間隔で与えたものについては、台風諸元を10分間隔で与えたものと比較して、風速の変化が荒く、再現性は良好ではない。したがって、このような台風の中心が通過する地点では、台風諸元を細かい時間間隔で与える必要があるものと考えられる。

④ 有義波高 $H_{1/3}$ の変化については、台風の中心から離れた白浜では、推算結果と観測結果はよく一致している。また、和歌山および室津については、 $H_{1/3}$ のピーク時が欠測しているため、その時間での再現性については検討できないが、その前後はよく一致している。しかし、台風の中心が通過した御坊については、ピーク時の急激な波高の増大は再現できなかった。ただし、ピーク前後の波高の変化は比較的良好に再現できている。ピーク時の波高の増大を再現できなかった理由としては、台風中心の通過時の急激な風向・風速の変化等が影響しているものと考えられるが、詳細については究明することができなかった。

図-12は、台風 9810 号の推算結果と観測結果を御坊と白浜について示したものである。台風 9810 号は、台風の中心が対象地点から離れた四国の中央を北東に進行した台風である。この波浪推算結果は図示していない地点も含めた全ての地点において、観測結果を良好に再現している。

5. おわりに

以上、本研究では台風 9807 号通過地点で観測した異常波浪の特性と、それに伴う周辺海域での波浪災害を調査するとともに、既往推算法に基づいた波浪推算を実施し、その再現性について検討した。その結果を要約すると以

下のようなのである。

- (1) 台風 9807 号時に、これまであまり報告されたことのない台風中心直下での波浪，風，気圧を観測することができ、貴重なデータを取得することができた。
- (2) 台風 9807 号時に台風の中心直下で観測された記録的な高波浪は、その観測水位の調査、スペクトル解析結果および周辺海域の波浪災害との対比からも信頼できるものである。
- (3) 既往推算法(MRI法)によって台風 9807 号および台風 9810 号の波浪推算を実施した結果、台風の中心が通過する地点でのピーク時の急激な波高の増大は再現できなかったが、台風の中心から離れた地点では既往推算法でも再現性は十分良好である。

最後に、本報告を取りまとめるに当たり、貴重な観測資料を提供して頂き、また有益な助言をして頂いた京都大学防災研究所白浜海象観測所の皆様に感謝します。

参考文献

合田良実 (1975): 浅海域における波浪の砕波変形, 港研報告, 第 14 巻, 第 3 号, pp. 59-106.
 登島 修・首藤伸夫・橋本 宏 (1964): 海岸堤防への波の打ち上げ高, 第 12 回海岸工学講演会論文集, pp. 260-265.
 藤井 健・光田 寧・奥田昌宏・五閑統一郎・門脇保雄 (1999): 台風 9807 号の気圧分布から計算した風速分布について, 日本風工学会誌, No. 79, pp. 39-40.
 間瀬 肇・高山知司・國富将嗣・三島豊秋 (1999): 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究, 土木学会論文集, (投稿中)
 山口正隆・畑田佳男・花山格章・曾我部健一 (1995): 台風波浪および高潮のリアルタイム予測システムの適用性, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 316-320.
 Isozaki, I. and T. Uji (1973): Numerical prediction of ocean waves, Papers in Net. and Geophys, 24(2), pp. 207-232.
 Uji, T. (1975): Numerical estimation of sea wave in a typhoon area, Papers in Meteorol and Geophys., 26, pp. 199-217.