

駿河海岸における台風来襲時の波浪特性と越波実態

佐藤慎司* ・河野龍男** ・諸田 勇**
桜庭雅明*** ・加藤俊夫****

1. はじめに

高波浪に起因した沿岸域に発生する長周期波に着目した研究は盛んに行われるようになり、近年では港湾の副振動(田端ら, 1995)や係留船舶の長周期動揺(菅沼ら, 1995)などの報告の他に、越波被害(佐藤ら, 1998)や海岸侵食(加藤ら, 1989)などの海岸災害を増幅する要因に関連したものも報告されるようになってきている。しかしながら、実際の台風来襲時における現地データと長周期波の発生機構及び海岸災害の関連性を検討した事例は現状では少なく、高波対策の観点から長周期波の影響を取り入れた対策検討を行うことが今後必要とされている。

本研究では、1997(平成9)年9月に来襲した台風9720号および1998(平成10)年9月に来襲した台風9805号における駿河海岸での越波浸水被害実態を調査するとともに、その発生機構を現地で得られた観測データを基にして、長周期波等の外力特性を考察して明らかにすることを目的とした。

2. 越波浸水被害の実態

2.1 来襲台風の特性

駿河海岸に越波浸水被害が生じたときの台風経路(台風9718号, 9720号および台風9805号)を図-1に示す。図に示すように、台風9720号は1997(平成9)年9月18日午後9時に八丈島の南南東330kmを中心気圧965hPaと大型で強い勢力を保ちながら通過した。本州に最も近づいたのは、9月19日の午前9時(銚子市の南東約230km付近)である。同時刻の中心気圧は970hPaであり、その後、房総半島沖を北東に進んでいった。台風9805号は、1998(平成10)年9月15日に太平洋岸に接近、9月16日午前2時に御前崎に上陸、その後急速に速度を上げて関東、東北地方を通過した。中心気圧は9月16日午前3時で975hPaである。なお、図中には9720号の前に来襲した9718号の経路も示してある。

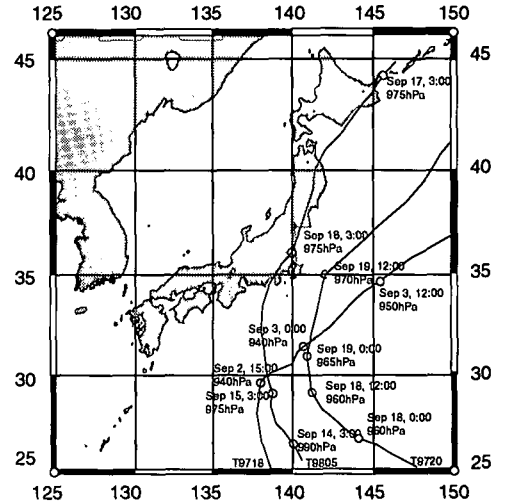


図-1 台風9718号, 9720号, 9805号の経路と中心気圧

2.2 駿河海岸における被害状況

台風9720号の来襲によって生じた越波浸水被害は、1997(平成9)年9月19日午前7時頃をピークとして発生した。浸水範囲は、図-2に示すように藤守川左岸1kmの範囲と栃山川左岸200mの範囲となっている。また、台風9805号の来襲による越波は1998(平成10)年9月16日午前10時頃をピークとして測線No.26付近で生じている。図-2に示すように、越波の範囲は台風9720号で非常に広範囲なものとなっており、台風9805号では比較的狭い区間となっている。

台風9720号で発生したときの越波状況を写真-1に示す。(a)は測線No.26付近での越波状況、(b)は藤守川河口付近で波が遡上している様子を示したものである。(a)の写真から越波の状況は一定のフロント形状を保っていることが確認され、また越波範囲はある一定の区間で任意に発生していることがわかる。台風9805号での越波状況を写真-2に示す。この状況から、越波の様子は台風9720号に比較して堤防天端をわずかに通過する程度のものであることが確認できる。また、現地の聞き取り調査結果では、台風9720号の越波状況は、13波に1波程度の周期性を持って堤防天端を越えていることが報

* 正会員 工博 東京大学大学院助教授 社会基盤工学専攻
** 建設省静岡河川工事事務所
*** 正会員 工修 日本工営株式会社 情報システム部
**** 正会員 工修 中日本建設コンサルタント(株)

告されている。

2.3 遡上波の分類

台風 9720 号来襲時では浸水被害範囲周辺での波浪遡上に関する考察が十分にできなかったことから、台風

9805 号来襲時に現地でのビデオ撮影による波浪観測を行った。観測日時は、台風が駿河海岸に来襲している 1998 (平成 10) 年 9 月 15 日の午前 11 時から午後 5 時、および 9 月 16 日の午前 7 時から午後 5 時とした。観測地点は、台風 9720 号での被害が顕著であった測線 No. 26 付近として、ビデオ撮影で遡上波の様子を考察した。撮影は、毎正時から 20 分間において、観測地点で波浪が消波堤に衝突した波について個々に定義した。なお、考察方法は以下のように行った。

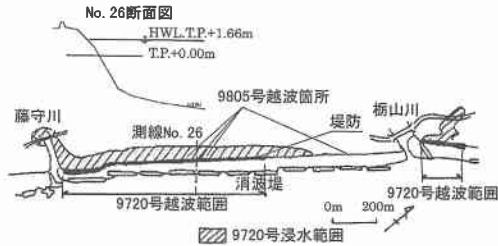


図-2 台風来襲による越波浸水範囲

(1) 観測地点周辺の遡上範囲を確認するために、汀線から堤防までの距離を 10 分割して、堤防直前 1 割を越える遡上波について抽出した。

(2) 遡上波の形態を把握するために、①以前に遡上した波の上を滑走するように遡上するもの、②以前の遡上波が引き波になっている上から遡上するもの、③引き波は完全に消えて遡上波のみが存在するもの、に分類した。

(3) 遡上の平面的な広がりやを把握するために、①消波堤開口部から侵入する遡上波、②消波堤を一部越える遡上波、③消波堤を完全に越えて平行に侵入する遡上波、に分類した。分類パターンは図-3 に示すとおりである。

(1)~(3)の方法で観測したものを頻度で示したものが図-4 になる。なお、上図は観測期間中の焼津港における潮位、中図は遡上の形態について分類した頻度であり、下図は平面的な遡上形態を分類した頻度を示している。消波堤を越える波が来襲する回数が 20 分間で 100 波程度であるのに対して、堤防直前まで波が遡上するものは最大で 80 波程度となっている。頻度と潮位を対比すると、観測を行っている期間の潮位は低く、越波を誘発するには外力が比較的少ないことが確認できる。また、9 月 15 日から 16 日の期間において来襲した波浪の影響によって消波堤背後の地形変化が生じて堤防天端付近まで砂が溜りついている結果が得られている。この結果によって 16 日の遡上波が大きくなっていることが確認できる。遡上の形態は以前の遡上波が引き波に変わるところで新たに遡上波が乗りかかる傾向が多い。なお、平面的な遡上波の分類を見ると全体的に平行に波が遡上するパターンが最も多いが、消波堤の沈下の影響や開口部の平面的な形式を考えると、遡上の大きさは平面的に若干の違いがあることが確認されている。この観測結果



(a) 測線 No. 26 付近より望む



(b) 藤守川河口部より望む

写真-1 台風 9720 号による越波浸水被害状況



写真-2 台風 9805 号による越波浸水被害状況

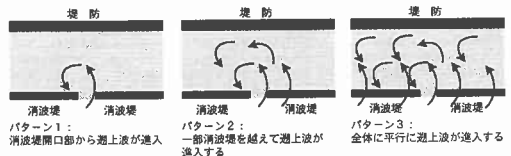


図-3 遡上波のパターン分類

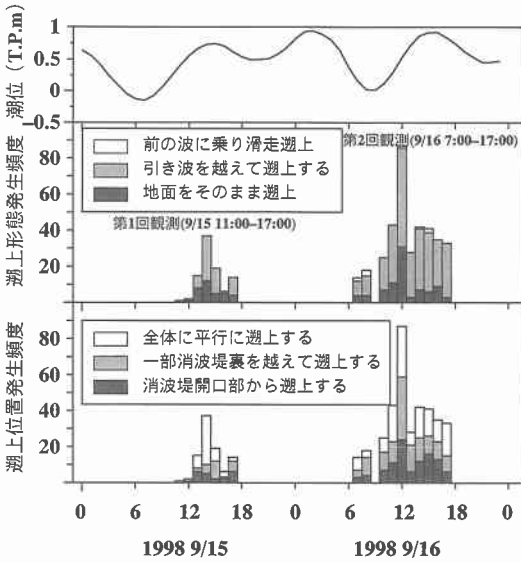


図-4 台風 9805 号来襲時における越上波の分類

より、現地での越上波は消波堤を介して波が越上して地形変化を起こし、その影響によって地形が平坦化するため、越波に対する外力が増大する可能性があることが示された。

3. 台風 9720 号来襲時の外力特性

台風来襲時における現地での外力特性を明らかにするために、台風 9720 号来襲時の観測諸量を解析した。観測地点は大井川左岸の水深 25 m 地点である。台風 9720 号が来襲した 1997 (平成 9) 年 9 月の観測諸量の経時変化を図-5 に示す。また、台風来襲時の特性を比較するために、台風 9718 号来襲時の観測諸量についても検討した。

3.1 潮位特性

清水港の検潮所で得られる潮位をもとに、台風 9718 号および台風 9720 号来襲時における潮位の比較を行った。図-6 は、それぞれの台風来襲時の清水港での潮位時刻歴を示す。台風 9718 号来襲時における波高の最大値は 9 月 3 日 14 時頃であり、そのときの潮位は T.P.+0.01 m

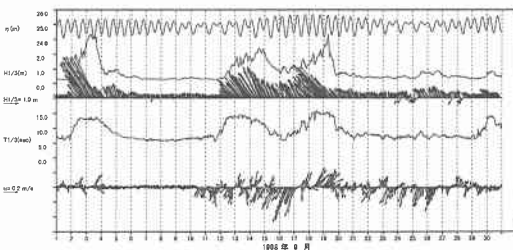


図-5 大井川左岸 (水深 25 m) における観測データ

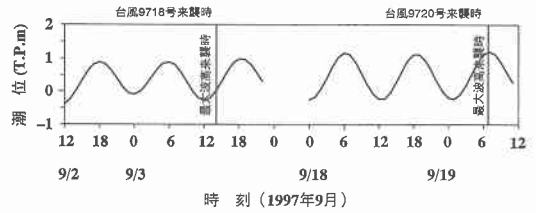


図-6 清水港検潮所における潮位変動

であり、ほぼ干潮位である。また、台風 9720 号は 9 月 19 日 7 時頃に波高が最大となり、そのときの潮位は T.P.+1.21 m でありほぼ満潮位である。このことから確認できるように、台風 9720 号で越波浸水被害が生じたときの潮位は高く、越波を誘発しやすい状況であったことが確認された。

3.2 波浪特性

次に、波浪特性を明らかにすることを目的として、波浪特性の時系列と波群に関するパラメータの整理を行った。用いた波浪データは大井川左岸の沖で水深 25 m の St.1 地点において超音波・水圧併用型の波高計により取得されたものである。図-7 に台風 9718 号および 9720 号の波浪ピーク時における周波数スペクトルを示す。また、図-8 に台風来襲時の観測データおよび波群パラメータを示す。図-8 に示す値は上から順に最大波周期 T_{max} 、有義波周期 $T_{1/3}$ 、最大波高 H_{max} 、有義波高 $H_{1/3}$ であり、観測諸量は超音波式記録の波高計で毎正時を中心とした前後 10 分の間隔から算定したものである。また、波群パラメータに関しては、波群特性を示すパラメータである波群係数 GF (Funke and Mansard, 1979)、隣り合う波の相関係数 γ_{HH} 、スペクトル形状を表すパラメータである合田の尖鋭度パラメータ Q_p (合田ら, 1974) を算定した。また、長周期波成分の定量的検討を行うため

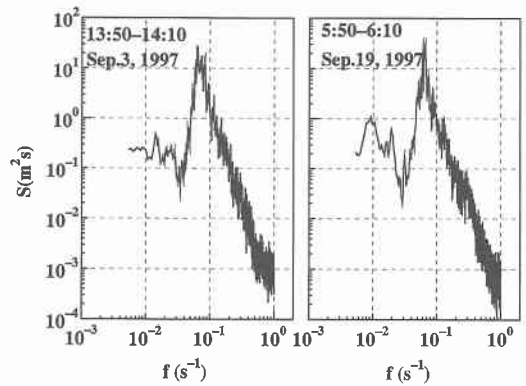


図-7 台風来襲時の周波数スペクトル

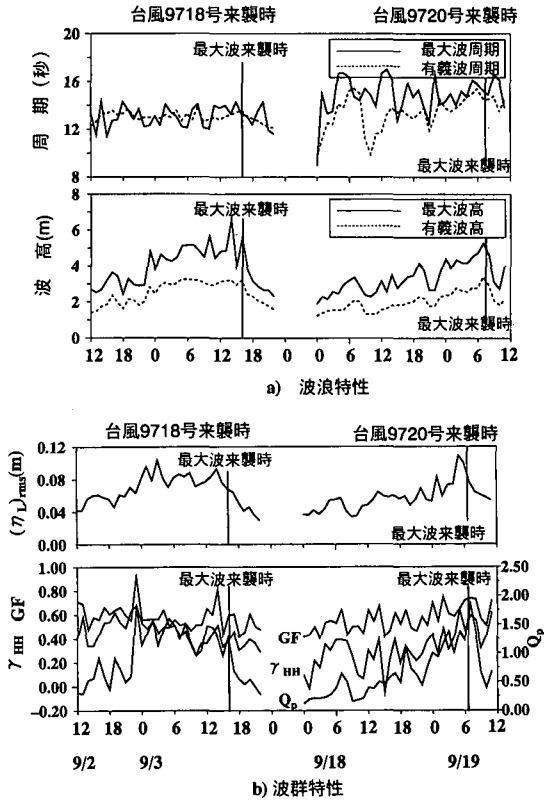


図-8 台風来襲時の観測データと波群パラメータ

に、図-7の結果から $f_c=1/30$ 程度がピークであることが確認できるため、周期 30 秒以上の成分を数値フィルターより抽出して、長周期波の水位 $(\eta_L)_{rms}$ の算定も行った。

図-8 から確認できるように、台風 9720 号の波浪は台風 9718 号と比較して、波高は小さいが周期は約 2 秒程度長い。台風 9720 号の波群性としては GF が平均的に台風 9718 号より高く、 γ_{HH} は概ね差異は認められない。図-7 よりそれぞれの台風を比較すると、台風 9720 号のスペクトル波形が台風 9718 号に比べ長周期波の周波数帯が広くピーク値が約 2 倍になっている。また、図-8 に示す尖鋭度パラメータで比較すると、台風 9720 号はピーク値が 1.8 程度になり最大の値を示している。

長周期波の特性を比較すると、 $(\eta_L)_{rms}$ 値は台風 9720 号は越波浸水被害が生じた 9 月 19 日の午前 7 時頃に極めて大きな振幅の長周期波が発達していることがわかる。

4. 長周期波が越波に及ぼす影響

4.1 汀線付近における振幅の計算

前章の検討結果より、台風 9720 号の来襲時は潮位が高く、長周期波が発達していることが確認された。このことは、先に述べた 13 波に 1 波の割合で越波が生じたこと

とも整合する。長周期波が現地での打ち上げに及ぼす影響を定量的に推定するために、線形長波理論に基づいて汀線付近での長周期波の振幅を算定した。汀線付近では海底勾配が数分の 1 程度の急勾配で、水深 5 m 以深は勾配 1/100 程度となっている。そのため、1/100 勾配の斜面の水深 5 m 付近に鉛直壁があるものと考えて、斜面上における自由長周期波の波の変形を計算した。斜面上の長周期波は次式で表される。

入射波：

$$\eta_i = a[J_0(r) + iY_0(r)] \exp(i\omega t) \dots \dots \dots (1)$$

反射波：

$$\eta_r = a[J_0(r) - iY_0(r)] \exp(i\omega(t + \epsilon)) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、下付添字 I, R はそれぞれ入射波と反射波であることを示し、 η は水位変動、 u は流速、 a は振幅、 r は原点からの距離、 J_0 は第 0 次 Bessel 関数、 J_1 は第 1 次 Bessel 関数、 Y_0 は第 0 次 Neumann 関数、 Y_1 は第 1 次 Neumann 関数を示す。

式 (1)、(2) を利用して St.1 の長周期波の振幅から汀線付近における振幅を推定した。汀線近傍での増幅率 (汀線での振幅/St.1 の振幅) は図-9 に示すとおりである。図中に台風 9718 号および台風 9720 号における長周期波の有義波周期とそのときの増幅率を示した。長周期波の有義波周期は、観測された波形から数値フィルターによって周期 30 秒以上の波形を抽出して、ゼロアップクロス法によって求めた。台風 9720 号の増幅率はこの結果より 2.20 となり、台風 9718 号の増幅率である 1.52 に比較して大きな値となっている。

4.2 打ち上げ高の計算

台風来襲時に打ち上げ高を検討するために改良仮想勾配法 (中村ら, 1972) によって打ち上げ高を算定した。また、打ち上げ高には前節で求めた長周期波による振幅を考慮したものについても算定して比較した。なお、計算に用いた海浜地形条件としては実際の被災断面である No.26 (図-1 参照) の台風来襲直後の深浅測量結果を用

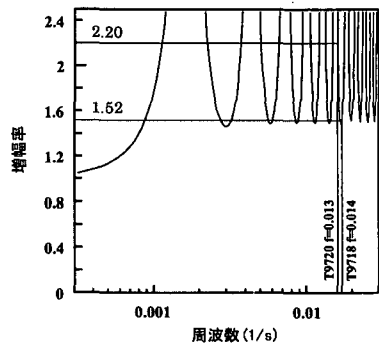


図-9 汀線近傍における周波数と増幅率の関係

表一 長周期波の振幅と打ち上げ高計算結果

	台風 9718 号	台風 9720 号
卓越周期	70 s	80 s
最大振幅	0.31 m	0.35 m
増幅率	1.52	2.20
汀線付近での振幅	0.47 m	0.77 m
清水港での潮位	T.P.+0.01 m	T.P.+1.21 m
打ち上げ高 (潮位のみ)	T.P.+2.56 m	T.P.+4.76 m
打ち上げ高 (潮位+長周期波)	T.P.+3.38 m	T.P.+6.43 m
堤防天端高	T.P.+6.20 m	

いた。計算結果を表一に示す。この表から確認できるように、台風 9720 号では潮位が T.P.+1.21 m であり、長周期波による振幅が 0.77 m であり、打ち上げ高は T.P.+6.43 m となるため、長周期波を考慮すると現況の堤防高 (T.P.+6.20 m) を越える結果となる。また、台風 9718 号では潮位が T.P.+0.01 m で長周期波の振幅が 0.47 m であり、打ち上げ高は T.P.+3.38 m となるため堤防高を越えない結果となる。このことから、台風 9720 号の影響による越波浸水被害は、潮位と長周期波の影響が支配的な役割を果たしていると確認できた。

5. おわりに

本研究では、駿河海岸に襲撃した台風 9720 号と台風 9805 号の越波被害の実態とその発生原因を明らかにするために、現地調査、関係者の聞き取り調査および写真等による解析を行った。台風 9805 号では遡上波の形態に関する観測を行い、越波を誘発する要因について検討した。また、台風 9718 号と台風 9720 号襲撃時の実測データを利用して、長周期波特性の解析を行い、被災地点における打ち上げ高を計算して比較検討を行った。

現地調査の結果および観測データの解析結果より得られた駿河海岸での波浪特性と越波実態を検討した結論は

以下ようになる。

(1) 越波浸水被害の実態は、波高・潮位だけでなく、来襲波の波群特性、海浜地形変化、消波堤背後の打ち上げパターンに密接に関係していることが確認された。

(2) 強い波群構造を有した波とともに来襲する長周期波の発達は、越波浸水被害に支配的な影響を与えている。

(3) 台風襲撃時の打ち上げ高を定量的に検討した結果、台風 9720 号の打ち上げ高は潮位と長周期波の影響が現況の堤防天端を越えるような結果を得た。

現在は消波堤の沈下を確認した結果より、越波浸水被害の生じた箇所の周辺で消波堤嵩上げによって対策を行っている。今後は現地のデータを更に検討することによって、越波実態について調査する予定である。

謝辞：現地調査および調査結果の検討には、日本海洋調査株式会社の外山大輔氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 青木伸一・喜岡 渉・山村易見・舟橋 香・相川久紀 (1997): 台風の通過に伴う沿岸長周期波の増幅と伝達に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 216-220.
- 加藤一正・柳島慎一・栗山善昭・磯上知良 (1989): 荒天時のバーム地形の侵食—長周期波に注目した現地観測—, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 354-358.
- 合田良実・永井康平 (1974): 波浪の統計的性質に関する調査・解析, 港湾技術研究所報告, 第 13 巻, 第 1 号, pp. 3-37.
- 佐藤慎司・小杉俊夫・加藤憲一・口石孝幸 (1998): 西湘海岸における台風 9720 号による海岸災害とその原因, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 326-330.
- 菅沼史典・神谷昌文・渥美洋一・小泉信夫 (1995): 現地観測による長周期波の発達頻度と船体動揺発生予測の検討, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 951-955.
- 中村 充・佐々木康雄・山田譲二 (1972): 複合断面における波の打ち上げに関する研究, 第 19 回海岸工学講演会論文集, pp. 309-312.
- Funke, E. R. and Mansard, E. P. D. (1979): On the Synthesis of Realistic Sea State in a Laboratory Flume, National Research Council Technical Report LTR-HY-66.