

西湘海岸における台風 9720 号による海岸災害とその原因

佐藤 慎 司*・小杉 俊 夫**・加藤 憲 一***・口石 孝 幸***

1. はじめに

近年, 長周期波に着目した基礎的・理論的研究が盛んに行われるようになり, その発生機構や沿岸部における挙動なども解明されつつある(例えば, 青木ら, 1997). 長周期波は, 特に港湾の副振動や係留船舶の動揺などを引き起こすほかに, 短周期波(風波やうねり)と重なった場合, 越波や海岸侵食などの海岸災害を増幅するものと考えられる. しかしながら, 実際の台風などによる海岸災害と長周期波との関連を実測データに基づいて明らかにした研究は少ない. 本研究は, 平成 9 年 9 月に, 台風 9720 号により神奈川県西湘海岸において発生した海岸災害の実態を調査するとともに, 長周期波等の外力特性との関係を解明し, 被災原因を考察するものである.

2. 台風 9720 号による被災状況

2.1 台風 9720 号の特性および調査対象地域

台風 9720 号は, 図-1 に示すように平成 9 年 9 月 18 日午後 9 時に八丈島の南南東約 330 km を中心気圧 965 hPa 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 日午前 9 時(銚子市の南東約 230 km 付近)である. 同時刻の中心気圧は 970 hPa であり, その後, 房総半島沖を北東に進んでいった. 図-1 には, 平成 9 年 9 月に日本に上陸もしくは近づいた台風 9718 号及び 9719 号の経路と中心気圧も示されているが, これらと比べると, 台風 9720 号は沖合を通過した台風で, 関東地方に最も接近し, うねり性の波浪を来襲させたと推察される.

台風 9720 号により, 千葉県外房や相模湾沿岸などでは, 甚大な災害が発生したが, 本研究では主に神奈川県西湘海岸を対象に調査した. 西湘海岸は, 図-2 に示すように神奈川県相模湾沿岸の西方に位置する, 大磯港から小田原市にかけての約 17 km の海岸である. 西湘海岸を含む相模湾内では, 科学技術庁防災科学技術研究所の平塚沖観測塔(図中, ◎印の地点)において, 水位, 波浪,

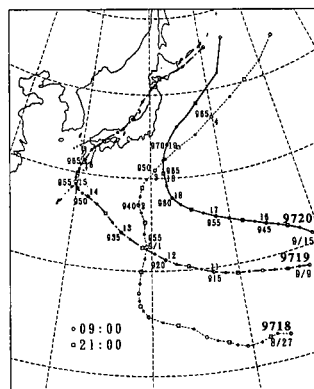


図-1 台風 9718 号, 9719 号及び 9720 号の経路と中心気圧

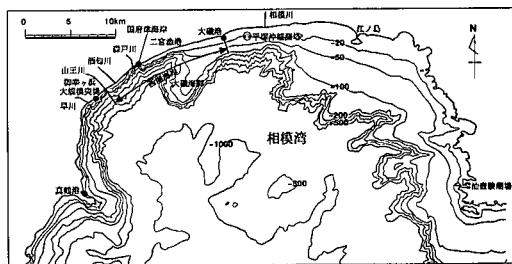


図-2 西湘海岸と観測所位置図

流速が, 建設省国土地理院の油壺験潮場において, 潮位(図中, △印の地点)が観測されている.

2.2 西湘海岸における被災状況

台風 9720 号による海岸災害は相模湾全域で発生しており, 相模湾東側(神奈川県湘南海岸)については宇多ら(1998)により既に被災状況の報告がなされている. 宇多らは, 湘南海岸の海岸災害は, 平成 9 年 6 月~7 月に生じた海岸侵食にさらに通常とは異なる東側からの入射波が作用し, 西方への沿岸漂砂により侵食が拡大したことが原因であると指摘している. ここでは, 神奈川県西湘海岸などにおける海岸災害の状況を現地調査とヒアリング調査により明らかにした.

a) 現地調査

現地調査は, 小田原市国府津海岸, 御幸ヶ浜及び真鶴町真鶴港の 3 箇所において実施した. はじめに, 越波が

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
** 前神奈川県土木部河港課副技幹
*** 正会員 工修 日本建設コンサルタント(株)技術一部

激しかった国府津海岸(森戸川河口東側)の状況を写真-1に示す。国府津海岸の前浜は勾配が約 1/10 と急峻で、その沖には海底谷が存在しているため(図-2 参照)、高波浪が減衰せずに来襲する。また、同海岸は西湘バイパスの橋梁区間となっており、海浜背後は天端高 T.P.+9.1m の直立護岸と所々に海浜とのアクセスのために階段護岸が設置されている。写真-1 から直立護岸を越波する状況や、高波浪が階段護岸を遡上する状況が明らかである。越波は 9 月 19 日 8 時頃に最も激しくなり、護岸背後の道路には約 1000 m の区間にわたって 100 m³ を超える大量の砂が打ち上げられた。写真-2 は、小田原市御幸ヶ浜(早川河口東側)に設置されている大規模突堤(堤

長 110 m) の被災前(a)と被災後(b)の写真である。この突堤は天端部被覆材として 20 t 型方塊ブロックを、傾斜部被覆材として 30 t 型ブロックを用いていたが、台風 9720 号がもたらした高波浪により突堤の先端から約 55 m 分が損壊し、ブロックが周辺に散乱した。

つぎに、西湘海岸より南西に位置する真鶴町真鶴港における越波及び被災状況を示す。写真-3 は、19 日午前 8 時頃の真鶴港防波堤周辺を示したものであり、写真手前側にある北防波堤先端の灯台(T.P.+12.6 m)程度の高さで来襲する高波浪の状況が確認できる。真鶴港の港口はほぼ東南東を向いており、波はこの方向から入射したと言える。写真-4 は、真鶴港南側防波堤前面に設置され



(a) 背後地から望む (9月19日8時頃)



(b) 護岸上から望む (9月19日8時頃)

写真-1 国府津海岸における越波状況



(a) 被災前



(b) 被災後

写真-2 御幸ヶ浜の大規模突堤



写真-3 真鶴港防波堤の越波状況 (9月19日8時頃)



写真-4 南防波堤消波ブロック移動、散乱状況

ていた16t型消波ブロックの移動、散乱状況である。消波ブロック下の基礎工部分には、消波ブロックが東から西へ移動し、さらに防波堤基部(南側)方向に動いたと推測される痕跡が見られる。真鶴港周辺では、19日午前7時～8時に、T.P.+5mの堤防を越える激しい越波が生じ、堤防直後の道路交通と背後家屋に影響を与えると同時に、海岸堤防前面に設置されていた5.4t型の消波ブロックが堤防天端を乗り越えて道路に打ち上げられる被害が発生した。以上の写真は、真鶴港に対して大規模な平均水位上昇を伴った高波浪が東～東南東より来襲していたことを示している。

b) 現地ヒアリング調査

真鶴港周辺の地元住民に対してヒアリング調査を実施した。その結果、台風9720号による高波浪は真鶴港周辺においてはキティ台風以来約50年ぶりの規模であり、琴ヶ浜(真鶴港南側)や湯河原(真鶴半島西側)では災害が発生していないことが明らかとなった。また、港内の副振動を表す「よた(船の横揺れ)」が9月18日から発生しており、19日早朝には津波のような高波浪が間隔をおいて2～3波来襲していたことが報告された。また、台風9720号と類似した勢力を持ち、やや南よりの経路をとった台風9718号では、このような海岸災害は発生しておらず、今回の海岸災害が台風9720号によりもたらされた海象特性の特殊性によるものであることが確認された。これらの調査結果は、台風9720号による海岸災害が、西湘海岸としては頻度が低い東方向からの波の来襲と長周期波の存在に強い関連性があることを示すものである。

3. 台風9720号来襲時の外力特性

3.1 潮位実況

科学技術庁平塚沖観測資料をもとに、台風9720号による水位変動を把握した。図-3は、水深20m地点に位置する平塚沖観測塔で観測された水位の1分間平均値(平均水位と称す)を台風来襲前の9月17日から20日の4日分について表したものである。同図には、真鶴港において推算した天文潮位も示している。図-3から同期間の天文潮位の振幅は約60cmで、ほぼ大潮の時期にあたっていたことがわかる。また、越波災害が集中した9月19日の早朝は満潮と重なっていることが確認できる。さらに、図-3の平均水位変動をみると、天文潮位に相当する変動に加えて短い周期の変動が9月17日頃から現れ、19日早朝の満潮時にはその変動の振幅が50～60cm程度に達していることがわかる。同図に示されている平均水位データが1分間平均値であることを考えると、高波の来襲とともに、1分程度の周期を持つ大振幅の水位変動が重なって発生していたことになる。図-4は、三浦半島の油壺験潮場における平均水位変動を示したもので

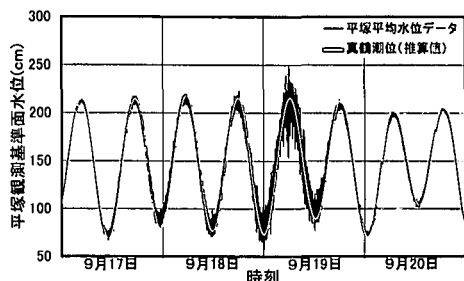


図-3 平塚観測塔の平均水位と真鶴港における推算潮位

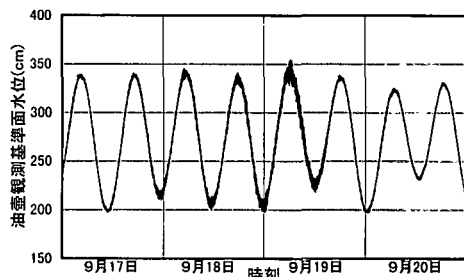


図-4 油壺験潮場における平均水位

ある。同図の平均水位データは、フロート式の験潮儀で計測された験潮井戸内の水位を30秒毎にデジタル化したものであり、図-3に示したデータとは計測器の応答特性が異なる。そのため、図-3の変動量と比べて振幅は小さいものの、ここでも台風の来襲前から水位の変動が始まっていることが確認できる。したがって、台風9720号の来襲に合わせて発達した周期1分程度の水位変動は少なくとも相模湾全体で発生した大規模な現象であると言える。

3.2 波浪特性

台風9720号の波浪特性を明らかにするために、平塚沖観測塔のデータを解析し、短周期成分と長周期成分に分けて図-5に整理した。図-5の上部には上から順に、毎正時における平塚沖の平均水位 $\bar{\eta}$ 、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ 、平均波向を示した。各種統計量は、毎正時をはさむ約20分間のデータから算出した。また、平均波向は、超音波波高計の記録とそのほぼ直下に設置されている流向流速計の記録から共分散法を用いて推定し、有義波高に比例する長さを持つベクトルとして表示してある。台風9720号の影響による波は、9月17日頃から周期の長いうねりとなって来襲し、9月19日午前8時には、波高5.01m、周期14.8sとともに最大となった。9月上旬から中旬に来襲した台風9718号及び9719号の時は、両台風による災害はなかったが、これは来襲時の潮位が比較的低く、波高が9720号に比べて小さかったためと考えられる。また、台風9720号による波向は南南東と台風

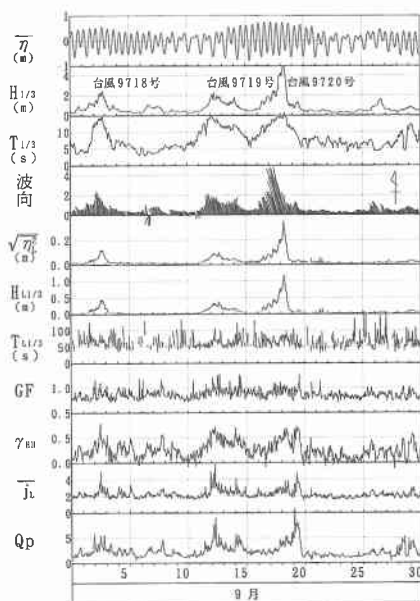


図-5 平塚観測塔における観測データと波群パラメータ

9718号や9719号に比べると、やや東方からの成分が卓越していることも特筆できる。

図-5の中段には周期30秒以上の変動成分として数値フィルターにより抽出した長周期波の水位のrms値 $\sqrt{\eta^2}$ 、有義波高 $H_{L1/3}$ 、有義波周期 $T_{L1/3}$ を示した。それぞれの台風時には、50~100s程度の周期が観測されているが、長周期波成分の有義波高 $H_{L1/3}$ は台風9720号来襲時が約1.2mときわだって大きい。

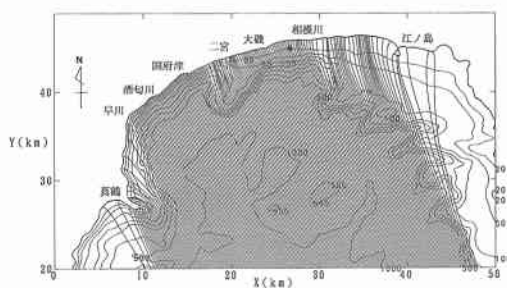
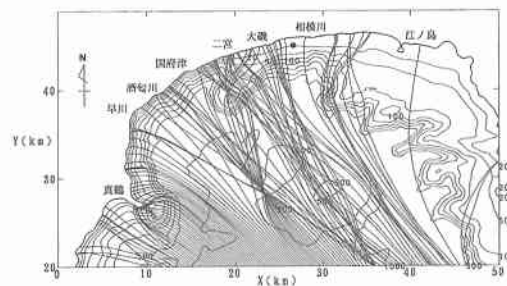
このように特徴的な長周期波の発達と波浪特性との関係を検討するため、図-5の下部には観測結果から波群特性を示すパラメータである波群係数GF (Funke and Mansard, 1979)、隣り合う波の波高の相関係数 γ_{HH} 、波の連の平均長さ $\bar{l}_1$ (合田, 1976)、スペクトルパラメータである合田の尖鋭度 Q_p (合田ら, 1974)を示した。台風9720号時において、波の連なりの程度を示す波群係数GFには明瞭な傾向が見られないものの、 γ_{HH} 、 $\bar{l}_1$ 、 Q_p といった指標は他の時期に比べてきわだって大きく、台風9719号時と同様、来襲した波浪は強い波群性を有していたと考えられる。

以上より、9月19日には満潮位に波高の大きな、しかも波群性の強い波浪が来襲し、さらに大きな振幅を持つ長周期波が加わって広い範囲で海岸災害が生じたと考えられる。

4. 長周期波が越波に及ぼす影響

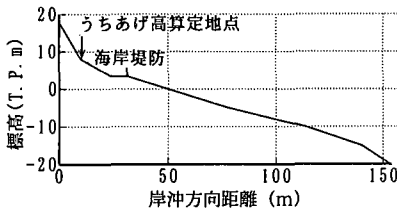
4.1 屈折計算

長周期波が越波に及ぼす影響を定量的に検討するため

図-6 屈折図 ($T=14.8$ s, α : S22.2°E)図-7 屈折図 ($T=50$ s, α : SE)

に、平塚沖観測塔の波浪データを用いて各地の海象条件を推定し、海岸堤防への波の打ち上げ高の計算を行う。まず、観測データから得られた9月19日午前8時の波浪諸元(波高 $H=5.01$ m, 周期 $T=14.8$ s, 波向 α : S16.4°E)に対して逆屈折計算を実施して、沖波の諸元を求めた。その結果、沖波波高 $H_0=4.09$ m, 沖波波向 α_0 : S22.2°Eが得られた。この諸元をもとに、波向線法による屈折計算を実施した。図-6の屈折図に示されるように、海岸災害が集中して発生した真鶴や国府津、二宮付近では波向線が集中し、波高が高くなっていることが明瞭である。真鶴では、換算沖波波高が $H'_0=5.77$ mと求められた。

前節で述べたように、台風9720号の来襲とともに、相模湾全域におよぶ範囲で振幅の大きな長周期波が発達していたと考えられる。このような長周期波の発達・伝播機構は完全に解明されていないが、台風風域周辺で発生し、波群構造の変化や地形の影響を受けながら伝播するものと考えられる。西湘海岸の沖合には海底谷が入り組んで存在するため、地形変化が長周期波の変形に支配的な影響を与える可能性がある。ここでは、このような大規模な長周期波に与える地形の影響を検討するため、長周期波に対する屈折計算を実施した。長周期波の周期は50秒とし、波向は、越波被害が集中した9月19日午前における台風9720号の位置を考えてSEに設定した。図-7は長周期波の屈折状況を示したものであり、沖合い地形の影響を受けて波向線がかなり変形し、局所的に波が



図―8 真鶴港周辺の断面地形図

表―1 うちあげ高の計算ケースと計算結果
(19日8:00, $H_0=5.77\text{ m}$, $T=14.8\text{ s}$)

Case No.	計算ケース	潮位 (T.P.m)	うちあげ高 (T.P.m)
1	天文潮位のみ	0.94	7.47
2	天文潮位+平塚沖平均水位上昇分	1.21	7.79
3	天文潮位+長周期波の半波高分 ($H_L/2$)	1.53	8.20

集中する箇所が真鶴や二宮などで見られるようである。長周期波の発達特性をさらに詳細に検討するためには、波の非線形性を考慮した計算を行う必要がある。

4.2 打ち上げ高の計算

前節で求めた換算沖波波高 $H_0=5.77\text{ m}$ を用い、図―8 に示す真鶴港周辺の断面地形に対し中村ら (1972) の改良仮想勾配法を用いて海岸堤防への波の打ち上げ高を算出した。計算は、潮位条件を天文潮位の場合 (ケース 1 : T.P.+0.94 m)、19 日午前 8 時における平塚沖観測水位の 1 分間平均値と真鶴において推算した天文潮位との差を天文潮位に加えた場合 (ケース 2 : T.P.+1.21 m)、平塚沖観測水位の生データより抽出した長周期有義波高 $H_{L/3}$ の 1/2 を天文潮位に加えた場合 (ケース 3 : T.P.+1.53 m) と 3 ケース変えて行った。計算結果を表―1 に示す。打ち上げ高は、計算ケースの順に T.P.+7.47 m, 7.79 m, 8.20 m となり、天文潮位のみ比べて長周期波を考慮した場合の方が 0.73 m 高く、長周期波の存在が越波に支配的な役割を果たしていることが確認された。ここで示した解析は、長周期波による水位上昇を静的に考慮したものであるが、実際には前節で述べた長周期波の変形に与える影響などを考慮する必要がある。

5. おわりに

神奈川県西湘海岸において平成 9 年 9 月に発生した海岸災害の実態を調査し、今回の災害発生箇所がまれであり、災害規模も非常に大きいことを明らかにした。この原因として、第 1 に上陸型の台風では通常来襲しない

東～東南東方向からのうねりが卓越したこと、第 2 に満潮位に波高で 1 m を越える長周期波が重なった上に高波浪が来襲したこと、第 3 に高波浪が 1 波のみではなく、2, 3 波と続いた波群性の強いものであったことが挙げられ、特に、長周期波が打ち上げ高に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。

本研究により得られた結論を以下に列挙する。

(1) 台風 9720 号の接近により海岸災害が発生した神奈川県西湘海岸を対象に、現地調査を実施した。その結果、小田原市国府津海岸や真鶴港では異常な越波が発生し、また御幸ヶ浜では 30 トンの被覆ブロックで構成された大規模突堤が半壊するような規模の大きな災害が発生したことが明らかとなった。

(2) 平塚沖観測塔における水位データを解析したところ、台風が最も接近する前から平均水位には、天文潮位に対する明瞭な変動が見られた。油壺験潮場においても同様な変動が確認されたことから、長周期波の発達は相模湾全体で発生した現象と推測できる。

(3) 平塚沖観測資料の波浪データを短周期成分と長周期成分に分けて解析した。その結果、9 月 19 日には満潮位に波高の大きな、しかも波群性の強い長周期波が重なり、さらに高波浪が加わって広い範囲で海岸災害が生じたと結論された。

(4) 長周期波が越波に及ぼす影響を定量的に把握するために、真鶴港周辺地形に対して屈折計算と打ち上げ高計算を実施した。その結果、長周期波の存在が越波に支配的な役割を果たしていることが判明した。

謝辞：本研究で解析したデータは、科学技術庁防災科学技術研究所から提供いただいた。貴重なデータを快く提供して下さい関係各位に謝意を表する。

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播に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 216-220.
宇多高明・内田 剛・平野浩一・西村 晋 (1998): 台風 9720 号による湘南海岸の侵食災害, 海洋開発論文集, Vol. 14, pp. 257-262.
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.
合田良実 (1976): 波の連なりの統計的性質について, 港湾技術研究所報告, 第 15 巻, 第 3 号, pp. 3-19.
中村 充・佐々木泰雄・山田隼二 (1972): 複合断面における波の打上げに関する研究, 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.