

緩傾斜護岸の波の打ち上げ高および越波に及ぼす 長周期波の影響に関する現地調査

平石 哲也* ・末松 忠敬** ・楠瀬 洋***・島元 民男****
鈴木 善光*****・榊原 弘*****・殿最 浩司*****

1. はじめに

平成 9 年 9 月に来襲した台風 9720 号により、高知県中村市の四万十川の河口に位置する下田港海岸(図-1 参照)では、緩傾斜護岸を越波し、背後地が浸水する被害が生じた。この台風は、小笠原諸島付近を通過し、本地点に最も近づいた時でも約 1,000 km 離れており、過去に何度か直撃あるいは周辺を通過した台風が来襲しているにもかかわらず、このような浸水被害が発生したのは、今回が初めてであった。

一方、被災時の越波状況の目視観測およびビデオ撮影結果では、全ての波が越波するわけではなく、数分間隔で数波が繰り返し越波(越流水深約 0.5~1.0 m)していたことが確認されている。そのようなことから、この被災時には周期数分の長周期波による平均水位の変動が打ち上げ高や越波に影響を与えているものと考えられた。しかしながら、これまでこのような被災例が報告されたものは非常に少なく、また、打ち上げ高や越波に及ぼす長周期波の影響について研究された例は、山本ら(1996)のものを除いてはあまりない。

したがって、本研究では、被災状況および周辺海域での波浪観測結果から長周期波の特性を調査し、それが打ち上げ高や越波量に及ぼす影響について検討し、被災原因を究明するとともに、それらの評価法について考察した。また、被災直後の深浅測量結果では、被災前に比べ前浜が侵食されていることが確認されており、その影響も被災原因の一つであると考えられ、この影響についても併せて検討した。

2. 被災状況

台風 9720 号による下田港海岸での越波による浸水被害は、平成 9 年 9 月 18 日~平成 9 年 9 月 19 日に発生し、

* 正会員	工博	運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室長
..		高知県南国土木事務所技術次長
...		高知県港湾局港湾課建設第二班長
....		高知県中村土木事務所工務第二課長
*****	理修	(財)日本気象協会調査部部長代理(前(財)沿岸開発技術研究センター波浪情報部課長)
*****	正会員	(株)ニュージェック河川海岸部次長
*****	正会員	工修 (株)ニュージェック河川海岸部

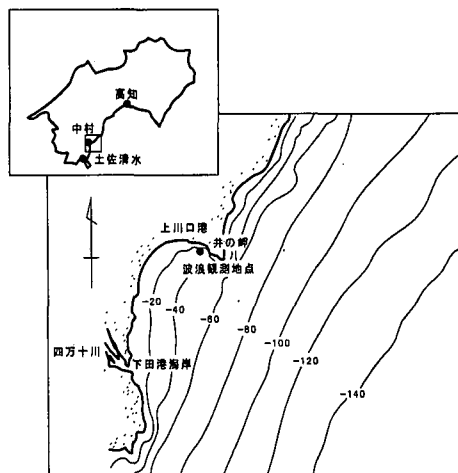


図-1 調査位置図

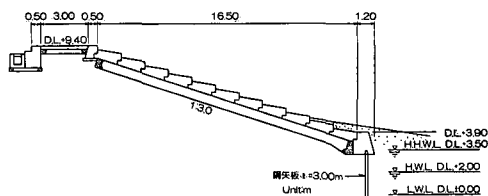
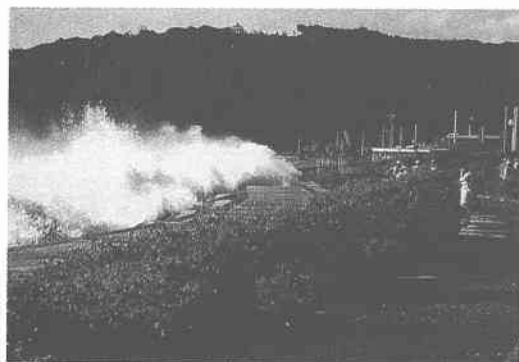


図-2 緩傾斜護岸の標準断面図

特に越波が著しかったのは、潮位が高かった 18 日の 17:00~19:30, 19 日の 6:00~10:00 であった。この海岸に建設されている緩傾斜護岸は、図-2 にその標準断面図を示すように、天端高 D.L.+9.4 m, のり勾配が 1:3 の階段式護岸である。

写真-1 は、その時の越波の状況を撮影したものである。このような越波は、全ての波についてあるいはランダムに起こるのではなく、数分間隔で数波が繰り返し越波していることが目視観測およびビデオ撮影結果から確認されている。なお、その時の護岸天端上の越流水深は約 0.5~1.0 m であった。

被災直後(平成 9 年 9 月 29 日)には、図-3 に示す測線で深浅測量を実施した。図-4 は、図-3 に示す No.2,



写真一1 台風9720号による越波の状況
(9月19日10:00ごろ撮影)

No. 4, No. 8の測量断面を被災前と比較して整理したものである。これによると、最も北の測線であるNo. 2の測線で最も前浜が侵食され(最大約2m, 平均的には約1m), 汀線が約20m後退し, 被災直後には護岸の基礎矢板が露出している状態であった。しかしながら, 南側の測線に行くにしたがって侵食量は小さくなり, No. 4より南側の測線では逆に堆積しており, No. 8の測線で最も堆積量が大きくなっている。以上のことを勘案すると, 被災時には沿岸漂砂が卓越し, その移動方向は北から南であったことが推察できる。また, 目視観測およびビデオ撮影結果から, 場所的に越波が著しかったのは測線No. 4より北側であり, 前浜の侵食の特徴と概ね一致していることから, この前浜の侵食も被災原因の一つであったことが推察できる。

3. 被災時の海象の変化

被災時の海象の変化を把握するため, 当地点の周辺の実測潮位と実測波浪を収集・整理した。潮位については, 土佐清水港(管理者: 気象庁), 波浪については当地点から北に約12km離れている上川口港(管理者: 運輸省第三港湾建設局)の実測値(水深約25m)を用いた(位置については図-1参照)。

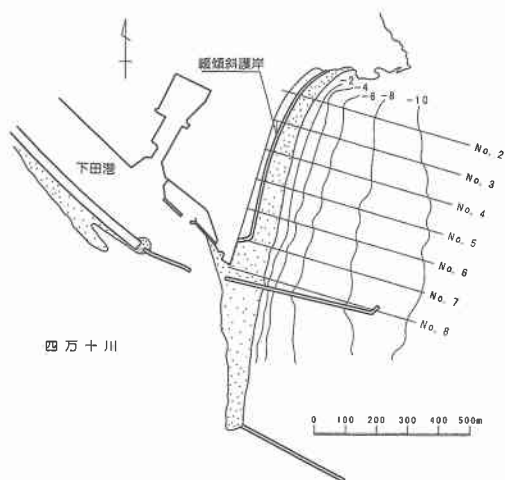


図-3 下田港海岸平面図と深浅測量の測線

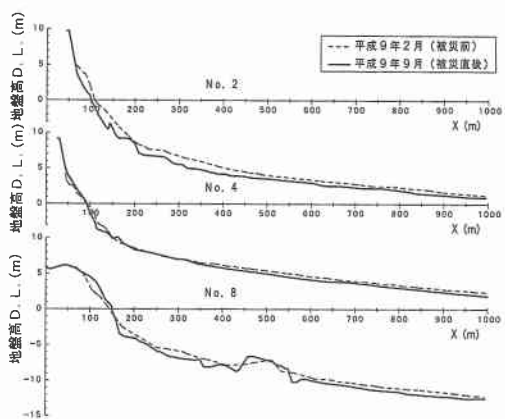


図-4 各測線の海浜断面の比較

図-5は, 台風9720号の経路図を示したものである。前述したように本地点に最も近づいたときでも約1,000kmも離れている。図-6は, この台風来襲時の上川口港の有義波高 $H_{1/3}$, 有義波周期 $T_{1/3}$ の変化を示したものである。被災時, 上川口港での $H_{1/3}$ の最大は2.84mで, その時の $T_{1/3}$ は16.4sであり, 非常に周期の長いものであった。また, この被災時の $H_{1/3}$ を過去のその他の台風来襲時と比較したが, それほど大きいものではなかった。しかしながら, 被災時の来襲波の波向は, 目視観測であるが, 下田港海岸にほぼ直入射しており, ほぼESEの方向の波向であったことが確認されている。その場合, 上川口港の波浪観測地点は井ノ岬の遮蔽領域となり, 波高が減衰しているものと考えられ, この観測結果をそのまま下田港海岸に適用することはできないと判断される。したがって, エネルギー平衡方程式による波浪変形計算(高山ら, 1991)を実施し, 下田港海岸前面D.L.-10.0m

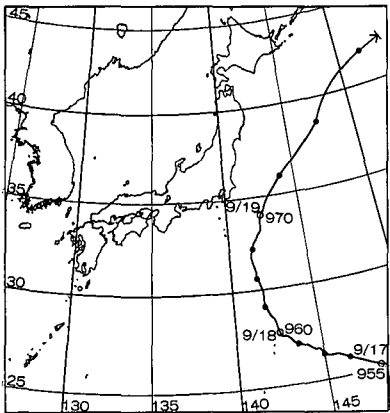


図-5 台風 9720 号の経路図

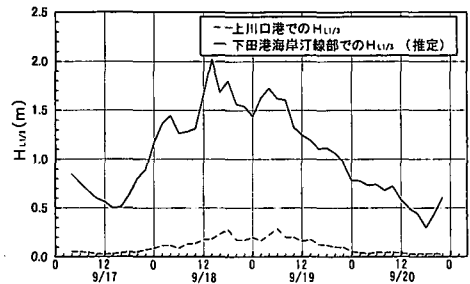


図-8 被災時の長周期波高の変化

る平均水位の変動が打ち上げ高や越波に影響を与えていたものと考えられる。したがって、ここでは被災時の長周期波の変化について検討した。

沖合における長周期波は、3. で示した上川口港の水位観測データ ($\Delta t = 0.5$ s の 20 分間観測) をスペクトル解析し、逆フーリエ変換法によって得られる周期 30 s 以上の波形から、ゼロアップクロス法を用いて算定した。図-8 の破線は、このようにして算定した被災時の沖合(上川口港)での長周期波高 $H_{L1/3}$ の変化を示したものであり、この間の $H_{L1/3}$ の最大は約 0.3 m であったことがわかる。

打ち上げ高や越波に及ぼす長周期波としては、汀線部付近のものが重要となってくるものと考えられる。その場合、本来なら長波方程式を解く数値モデルによって算定するのが妥当と考えられるが、本研究の場合、被災時の打ち上げ高および越波量を時系列的に算定する必要があり、多数の計算を実施しなければならない。そこで、ここでは、汀線部付近の長周期波高を、(1) 式で示される合田 (1975) のサーフピートの式を用いて近似的に推定した。

$$\frac{H_{L1/3}}{H_0} = \frac{0.04}{\sqrt{(H_0/L_0)(1+h/H_0)}} \quad (1)$$

ここに、 $H_{L1/3}$ はサーフピートの波高、 H_0 は換算沖波波高で、図-6 に示す下田港海岸 D.L.-10.0 m 地点の $H_{L1/3}$ を浅水係数 K_s で除することによって算定した。また、 h は水深で、 $h=0$ m として汀線部での $H_{L1/3}$ を推定した。図-8 の実線は、このようにして推定した被災時の汀線部でのサーフピートの波高 $H_{L1/3}$ の変化を示したものである。これによると、被災時の汀線部のサーフピートの波高 $H_{L1/3}$ の最大は約 2 m であったことがわかる。

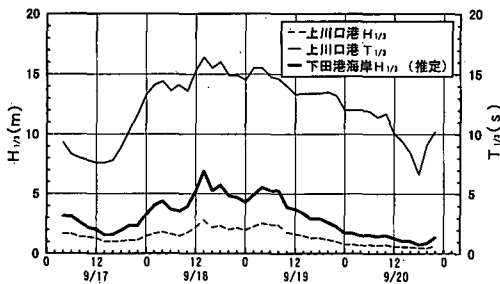


図-6 被災時の波高・周期の変化

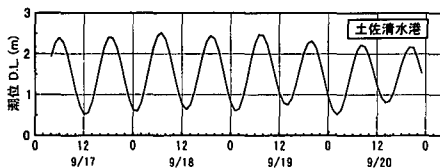


図-7 被災時の潮位の変化(土佐清水港)

地点の波高 $H_{1/3}$ を推定した。その結果を図-6 中の実線で示す。これによると、被災時の下田港海岸での $H_{1/3}$ の最大は約 6.8 m と推定できる。

図-7 は、被災時の土佐清水港の潮位の変化を示したものである。9 月 17 日が大潮であり、越波が著しかった時間帯は、大潮の満潮に近く、かなり潮位が高かったことになる。なお、その時の天文潮は D.L.+2.2 m 前後であり、実測潮位は約 D.L.+2.5 m であったことから、約 0.3 m の潮位偏差があったものと考えられる。

4. 被災時の長周期波の変化

被災時の越波の状況は、数分間隔で数波が繰り返し越波していたことや、後述するが、被災時の海象条件だけをを用いた打ち上げ高の算定では、最高到達点は護岸天端以下になること等を考えると、被災時には長周期波によ

5. 被災時の打ち上げ高および越波量の算定

被災時の打ち上げ高(最高到達点)の算定は、中村ら(1973)の改良仮想勾配法を用いて行った。その場合、潮位は図-7 の実測潮位を、短周期波高については図-6 の下田港海岸 D.L.-10 m 地点の $H_{1/3}$ を与えて、時系列的

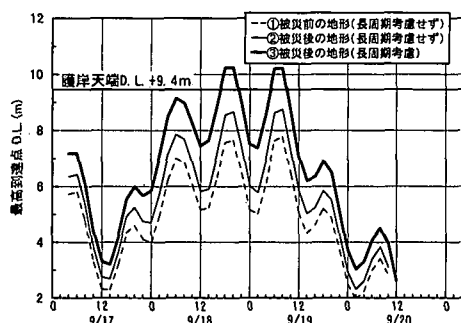


図-9 被災時の打ち上げ高の算定結果

に算定するものとするが、長周期波の影響は、山本ら(1996)の方法と同様に、4.で推定したサーフビートの波高の半分を、水面上昇量に等しいとして、潮位に加える手法を用いた。また、この打ち上げ高の算定は、被災時の侵食量が最も大きかった測線 No.2 (図-4 参照)の断面を用いて行くとともに、地形変化の影響および長周期波の影響を明確にするため、以下のパターンで行った。

- ① 被災前の地形を用いて長周期波を考慮しない場合
- ② 被災後の地形を用いて長周期波を考慮しない場合
- ③ 被災後の地形を用いて長周期波を考慮する場合

図-9は、このようにして最高到達点(水位+打ち上げ高)を算定した結果である。これによると、①および②の場合には、緩傾斜護岸の天端D.L.+9.4mを越えることがなく、被災状況を説明できない。しかしながら、③の長周期波を考慮した場合には、最高到達点は緩傾斜護岸の天端を越えていることがわかる。また、この時間は、被災時に越波が著しかった時間帯とほぼ一致し、天端を超える高さも最大で約0.8mであり、被災時の緩傾斜護岸の天端上の越流水深約0.5~1.0mともほぼ一致していることから、概ね妥当な結果を得ているものと考えられる。一方、①と②を比較すると、前浜が侵食された②のケースで最高到達点が最大で約1m大きくなっており、前浜の侵食も被災の原因の一つであったことがうかがえる。

図-10は、水位の変化が打ち上げ高にどのような影響を与えるか、前述した方法で算定したものであり、測線 No.2の断面を用いて、水位をD.L.+2.0m~D.L.+3.5mまで変化させ、換算沖波波高 H_0 との関係で示した。これによると、水位が0.5m上昇すると、最高到達点(水位+打ち上げ高)は最大で約1.2m上昇することになり、水位の上昇量に与える打ち上げ高の影響は大きく、水位上昇量分0.5mに加えて打ち上げ高が約0.7m上昇する。また、この条件では H_0 は約8mで最高到達点は極大値を示し、それ以上 H_0 が増大すると、逆に最高到達点は減少する。これは、波高が大きくなると砕波点と護

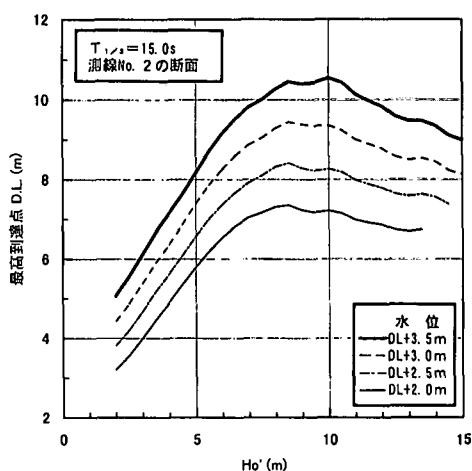


図-10 打ち上げ高に及ぼす水位の変化の影響

岸までの距離が長くなるためであると考えられる。したがって、このような緩傾斜護岸の打ち上げ高の算定時には、設計波のような大きな波よりも、それより小さい波のほうが打ち上げ高が大きくなる可能性があり、設計上留意する必要があるものと考えられる。

図-11は、被災時の平均越波流量 $\bar{q}$ を高山ら(1982)の方法を用いて、上記の3パターンで算定した結果であり、この場合も長周期波の影響は、打ち上げ高の算定と同様の方法を用いた。これによると、被災時の $\bar{q}$ の最大は長周期波を考慮した③の場合で、約 $7.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ であり、長周期波を考慮しない②の場合に比べ約6倍となっており、長周期波の影響は非常に大きいことがわかる。また、これと打ち上げ高の算定結果図-9を比較すると、最高到達点が護岸天端以下であっても、 $\bar{q}$ は0とはならない。これは、両者の算定法は、別個に求められたものであり、打ち上げ高から、越波量を推定するような連続的な検討結果でないことが原因しているものと考えられ、今後はこの点について検討する必要があるものと考えられる。

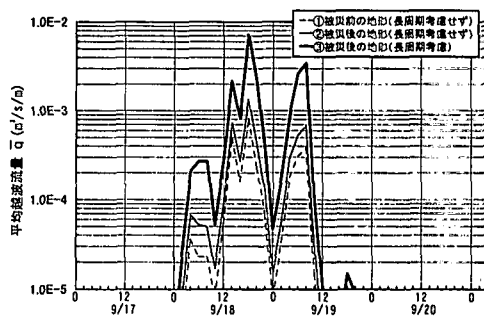


図-11 被災時の平均越波流量の算定結果

6. おわりに

以上、台風 9720 号による下田港海岸での緩傾斜護岸の越波浸水被害の原因を究明するため、長周期波の影響を考慮した被災時の打ち上げ高や越波量の算定を行った。その結果を要約すると、以下の通りである。

(1) 本地点の台風 9720 号による被災状況を説明するためには、長周期波の影響を考慮する必要がある。

(2) 本研究では、汀線部でのサーフビートの波高を合田の式を用いて算定し、その波高の半分を潮位に加える手法で打ち上げ高を算定した。その結果、被災状況と一致した妥当な結果を得ることができた。

(3) 平均越波流量についても、(2)と同様の手法を用いて算定した。その結果、長周期波を考慮した場合には、考慮しない場合の約 6 倍の平均越波流量となり、その影響は非常に大きいことがわかった。

(4) 長周期波の影響に加えて、前浜の侵食も打ち上

げ高や越波量の増大に比較的大きく影響を及ぼしていることがわかった。

(5) したがって、このような緩傾斜護岸の機能設計においては、これらの長周期波の影響および海底地形の変化を十分考慮する必要があることがわかった。

参考文献

- 合田良実 (1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港研報告, 第 14 巻, 第 3 号, pp. 59-106.
- 高山知司・永井紀彦・西田一彦 (1982): 各種消波工による越波流量の減少効果, 港研報告, 第 21 巻, 第 2 号, pp. 151-205.
- 高山知司・池田直太・平石哲也 (1991): 碎波および反射を考慮した波浪変形計算, 港研報告, 第 30 巻, 第 1 号, pp. 21-67.
- 中村 充・佐々木泰雄・山田譲二 (1972): 複合断面における波の打ち上げ高に関する研究, 第 19 回海岸工学講演会論文集, pp. 309-312.
- 山本吉道・山路功裕・浅野 剛 (1996): 越波計算における波の波群性の重要性和その工学的な評価法, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 741-744.