西湘海岸の侵食と高波浪による 西湘パーキングエリアの護岸の被災

本郷 廷悦¹・石川 仁憲²・宇多 高明³・三波 俊郎⁴

¹中日本高速道路株式会社 東京支社小田原保全・サービスセンター副所長
(〒250-0863 神奈川県小田原市飯泉352)

E-mail: t.hongo.aa@c-nexco.co.jp

²正会員 一般財団法人土木研究センター (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

E-mail: ishikawa@pwrc.or.jp

³正会員 一般財団法人土木研究センター常務理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋
建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

E-mail: uda@pwrc.or.jp

⁴海岸研究室(有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301)

E-mail: GGB01566@nifty.ne.jp

過去、西湘バイパスの西部に位置する西湘PAは広い砂浜により守られていた。しかしながら、近年、侵食が急速に進んで西湘PAを防護する護岸が波に曝されるようになり、さらに高波浪と洗掘により護岸が破壊された。本研究では、西湘PA付近の海岸侵食の原因と西湘PAの護岸の被害について、空中写真に基づく汀線変化解析や、NMB観測の結果を用いて分析し、施工条件や景観を考えると、今後の対策として現位置での護岸防護を行うことが妥当なことを示した。

Key Words : *Seisho Bypass, beach erosion, damage, Seisho parking area, submarine canyon*

1. はじめに

相模湾岸に沿って東西に伸びる西湘バイパスの二宮地先は、2007年9月6日に襲来した台風9号時の高波浪により著しく侵食され、長さ約1.1 kmにわたって道路護岸の崩壊が起きた¹⁾。その後、西湘バイパスの施設の大部分は波浪災害を受けずに推移してきたが、西湘バイパス西部にある西湘パーキングエリア(PA)では、2012年9月3日、護岸の西側端部の水たたき部分が陥没し、またPA西側のモルタル杭が2.5 m露出した。さらに2012年9月30日に襲来した台風17号の高波浪(最大有義波高: $H_{1/3}=5.1$ m, $T_{1/3}=10$ s)により、PA西側の護岸の被災の危険性が高まった。元々西湘PAは、十分広い前浜を有する砂礫浜の後浜に造られたが、汀線が著しく後退したため結果的に施設が海に突き出ることになった。このように近年西湘PA前面の砂浜は狭くなっていたが、そこに台風時の高波浪が作用することにより護岸の陥没が起きた。本研究では、既往深浅測量データ、NMB(ナローマルチビーム)測量データ、および現地踏査結果などを基に護岸の被災原因について分析し、今後の西湘PAの防護方策について考察した。

2. 西湘パーキングエリア(PA)の被災前後の状況

西湘パーキングエリア(PA)は、図-1に示すように西湘二宮ICの西5.8 km、森戸川河口右岸に位置する西湘バイパス唯一の休憩施設である。このPAの沖合では急深な海底谷が汀線近傍まで迫っている。当地区では酒匂川からの流出土砂が東向きの沿岸漂砂によって運ばれているが、一部の土砂は森戸川河口沖の海底谷を経由して深海へと落ち込んでいる²⁾。このような特徴を有する西湘PAでは、過去長らく護岸前面が砂礫で覆われており、護岸は被災することなく安定であった。例えば、2008年7月12日に撮影した傾斜護岸前面の礫浜の状況を図-2に示す。右端に見える施設が西湘PAである。当時、大量の礫が堆積してバームが形成されており、西湘PAの護岸ののり先は砂礫に埋まっていた。ほぼ3年後の2011年9月28日に西湘PAの護岸上から西向きに望んだ写真を図-3に示す。この時既に西湘PAの張り出し部分を防護するために打たれたコンクリートの現場打ち杭の露出が起きていた。なお、この写真の撮影時1週間前の2011年9月21日には台風15号が襲来し、静岡県浜松市に上陸した後、日本列島を縦断した。この台風に伴う高波浪により

図-1 西湘PA周辺の海底地形（2009年1月神奈川県測量）

図-2 傾斜護岸前にあった広い砂礫浜（2008年7月12日）

図-3 西湘PA西端から1号突堤方面を望む（2011年9月28日）

西湘海岸の各所で越波被害や護岸の破壊が起きたことから、西湘PA付近の侵食にはこの時の高波浪の影響が強く残されていたと推察される。この時、西湘海岸の南南西約82 kmに位置する伊豆半島の石廊崎波浪観測所では観測史上最大の $H_{1/3}=10.6$ m, $T_{1/3}=12.7$ sが記録されており、西湘海岸では波の遡上痕跡より7～8 mの波高が作用した

図-4 西湘PAの傾斜護岸から森戸川河口導流堤を望む（2011年9月28日）

図-5 露出した現場打ちコンクリート杭（2011年9月28日）

(a) 2012年の台風4号襲来時

(b) 2012年の台風17号襲来時

図-6 2012年の台風4,17号時の波浪（平塚波浪観測塔）

と推定された。

また、護岸上から東側を望むと、図-2に示したように2008年7月12日には全面的に砂礫に埋まっていた傾斜護岸前面の砂礫浜が消失してコンクリート杭に波が直接作用し、護岸上への越波が生じるようになった（図-4）。同日、汀線から現場打ち杭の状況を撮影したのが図-5である。従来砂礫に埋まっていたコンクリート杭が長さ約1 m露出していた。また、西湘PAの西端部では水深の増大により護岸上への越波が起きていた。図-2に示したよ

うに、砂礫に埋まっていた西湘PAの西端部が著しく侵食されたことが明らかである。

その後、2012年6月と8月末には当地の東北東13 kmに位置する平塚波浪観測塔での波浪観測結果(図-6)に示すように、台風4号と17号によりそれぞれ有義波高5.5 m(周期10.5 s)と5.1 m(9.9 s)の高波浪が作用し、これらにより護岸の陥没が起きた。図-7は、2011年9月28日撮影の図-3とほぼ同じ場所の2012年9月7日の海岸状況を示す。H鋼製の栈橋前の海浜が著しく狭まり、図-3では砂礫に埋まっていたコンクリート杭が露出するとともに、汀線が栈橋に大きく近づいた。なお、右下隅の砂山は護岸陥没箇所の復旧用に仮置きされた土砂の一部である。図-8、9は露出した現場打ちコンクリート杭と護岸の陥没箇所を示す。傾斜護岸の陥没箇所では仮復旧のための大型土嚢の投入が行われていた。

3. 西湘PAを含む区域の汀線の長期的変化

護岸陥没が起きた西湘PAのある西湘海岸では、古池ら³⁾が粒径を考慮した等深線変化モデルを用いて検討したように、酒匂川の流出土砂量は自然状態では20万 m^3/yr と見積もられたが、現況では流出量が激減し⁴⁾、また、その土砂の大部分は森戸川河口沖の海底谷を経由して深海へと失われている。これらにより侵食が経年的に進み、これが西湘PAの護岸の露出、被災へと繋がったと推定される。このことから、西湘PA周辺の局所的な地形変化のみならず西湘PAを含む西湘海岸の長期的変遷について調べる必要とされた。そこで、1947～2011年に撮影された6時期の空中写真を基に汀線の変化を調べた。これらの空中写真を一括して図-10に示す。

1947年では森戸川河口の両側では幅約150 mの砂浜が広がっていた(図-10(a))。図には後に建設される西湘バイパスの外縁線を破線で示す。道路は後浜と背後地の境界線付近に造られたが、建設当時には少なくとも幅50 mの前浜が存在していた。1973年までには海浜上に西湘バイパスと西湘PAの建設が進められた(図-10(b))。道路建設により砂浜が狭まったが、この頃までは1947年と比較して明らかな侵食は見られなかった。1999年には道路を防護するために3基の突堤が伸ばされ、同時に森戸川河口導流堤も建設されたため、これらの突堤の東西で汀線位置にずれが生じ、突堤の東側汀線が西側汀線より後退した(図-10(c))。このような汀線変化より、当地では東向きに沿岸漂砂の卓越が確認できる。当時、西湘PA西端の地点Aでも幅約30 mの前浜があった。

2007年9月6日には台風9号が襲来し、西湘バイパスに大きな被害が出た。台風後の2007年11月では森戸川河口導流堤の先端約20 mが壊れたため、1999年と比較して導

図-7 西湘PA西端から1号突堤方面を望む(2012年9月7日)

図-8 露出した現場打ちコンクリート杭(2012年9月7日)

図-9 陥没した傾斜護岸(2012年9月7日)

流堤の西側直近に堆積していた土砂が東向きに流出した(図-10(d))。しかしA点の前面では幅20 mの前浜が残されていた。2009年2月でも2007年とほぼ同様な前浜状況が見られ、A点前面には25 mの前浜が残されていた(図-10(e))。最終的に、2011年の空中写真を図-10(f)に示す。図には1947年当時の汀線を破線で示す。1号突堤の東側直近における突堤先端と汀線との距離は侵食により次第に増加し、2009年2月の20 mから2011年3月の40 mまで増加し、地点A前面の浜幅も2009年の25 mから2011年の10 mまで狭まった。このようにして、森戸川河口導流堤の復旧工事に伴い堤長が約20 m短縮された後、導流堤の上手側からの砂礫の流出が起き、その西側に形成されていた砂浜が徐々に狭まった。1947年当時の汀線と比

(a) 1947 年

(b) 1973 年

(c) 1999 年

(d) 2007 年

(e) 2009 年

(f) 2011 年

図-10 西湘海岸の西湘PA付近の空中写真による変遷

較すると、1～3号突堤により守られた区域では汀線後退量が小さいが、その分1号突堤以東で汀線の後退が著しい。

図-11は、侵食が著しくなる前の1973年の汀線を基準とした汀線変化を示す。これによれば1号突堤の直下手側での汀線後退量は40 mに達した。また汀線後退量は森戸川河口では導流堤があるため幾分軽減されているが、汀線後退域は森戸川より東側の国府津海岸($X=10.5 \sim 12.05$ km)にまで広がっている。このような汀線変化から、森戸川河口を含む国府津海岸の侵食は、酒匂川からの流出土砂量が減少した条件の下で、上手側に突堤が伸ばされて汀線が固定されたことが大きく関与していることが分かる⁴⁾。

4. 測量データに基づく海底地形変化解析

西湘 PA 沖での侵食実態を明らかにするために、2009 年 1 月実施の NMB 測量のデータをベースに、護岸被災後の 2012 年 9 月には再度深浅測量を行い、2 時期データより地形変化量を調べた。図-12 には、2009 年 1 月と

データ：神奈川県

図-11 西湘海岸の西湘PA付近の汀線変化

2012 年 9 月の測量結果と、2 時期での地形変化量を示す。2009 年 1 月では西湘 PA 沖の水深 12 m 以浅の等深線は護岸とほぼ平行であったが、護岸被災後の 2012 年 9 月では水深 6 m 以浅の等深線が西湘 PA の西端部付近で大きく後退して等深線形状が凹状となった。また、この間の水深変化量より 1 号突堤から森戸川河口導流堤間の水深 6 m 以浅で著しい侵食が起きたことが分かる。

次に、図-12 に示す測線 No.31 と No.32 における縦断形変化を図-13 に示す。1 号突堤の上手側に位置する No.31 では顕著な地形変化は見られないが、西湘 PA の護岸被災個所の西側に近接し、海底谷を縦断する測線

図-12 NMB測量に基づく西湘PA付近の海底地形変化

No.32 では、1999 年以降汀線から水深 15 m 間で侵食が進んできた。また、2007 年 3 月から 2007 年 11 月にかけて海底谷頭付近の水深 10 m 以深が大きく侵食された。この間には、西湘海岸の金波橋、銀波橋周辺の約 1.1 km の護岸が倒壊するなど著しい被害をもたらした 2007 年の台風 9 号が来襲しており、高波浪により谷頭部で地滑りが起きている可能性を示唆する。なお、一般に測線 No.32 のように海底勾配が大きい場所で縦断形に著しい変化が見られる場合、縦断形変化が主に測量誤差に起因すると判断されることが多いが、測線 No.32 では、測量誤差では説明しにくい特徴をもった侵食が進んでいる。すなわち、まず 1977, 1999 両年の縦断形は沖合までほぼ一致していたが、その後 2005 年 3 月までには -13 m 以浅の地盤高が大きく低下した。2007 年 3 月も 2005 年 3 月とほぼ同じ縦断形が保たれていたが、2007 年 11 月までに沖合の急斜面が消失し、縦断形の大きな後退が起きた。この期間では 2007 年 9 月 6 日に台風 9 号による高波浪が作用していることから、沖合の急斜面の侵食は台風 9 号による波の作用時に起きたと推察される。地形

図-13 測線No.31とNo.32に沿う海浜縦断形変化

変化はその後も続き、2012 年 9 月まで単調に侵食が進んでいる。水深変化が測量誤差によるものであるならば、地形変化はランダムに起こるはずであるが、No.32 での縦断形変化は単調な現象として侵食が進んでいるので、実際の地形変化が起きた可能性が高いと推察される。

5. 対策に関する 2,3 の考察

現場状況を示した図-4 によれば、コンクリート杭の露出は、森戸川河口導流堤の上手(西)側の砂浜が消失した区間で起きた。森戸川河口導流堤の西側にあるこの小規模な砂浜は、導流堤が東向きの沿岸漂砂を阻止しているため安定的に存在しているので、河口導流堤を延伸し、上手側の砂浜を広げれば護岸の防護機能を高めることが可能のように見える。しかし、宇多ら²⁾が明らかにしたように、森戸川の河口導流堤を伸ばすと河口沖の海底谷への土砂落ち込みを助長する恐れがあるし、森戸川河口の東側に隣接する国府津海岸でも侵食が進んでいること⁴⁾から、下手側への漂砂の供給量を保つ上でマイナ

スとなると考えられる。実際、図-12 では 2009 年 1 月には水深 6 m と 4 m の等深線が海岸線と平行に伸びていたが、2012 年 9 月では導流堤沖でこれら等深線が沖向きに突出し、現況の導流堤の長さでも沖向き漂砂が助長されていることから、森戸川河口導流堤の維持を図ることは大事ではあるが、その延伸には疑問が残された。同様に図-11 に示した汀線変化によれば、1 号突堤以東では 1999 年から 2007 年まで汀線が後退し、2011 年までには汀線がさらに後退したが、森戸川河口左岸では汀線が逆に前進している。これより森戸川河口導流堤の先端部 20 m の短縮は、森戸川河口の西側ではマイナス効果を生んだが、東側では逆に前浜を広げる効果を有していたこと明らかで、導流堤の延伸は trade-off となる。これらより、河口導流堤の延伸を侵食への局所的対策として行うことは十分慎重であるべきと判断された。

一方、西湘 PA は西湘バイパス唯一の海の景観を眺められる休憩所であることを考慮すれば、休憩所の景観をできる限り保全することも必要であり、そのためには消波ブロックの山積みは避けたほうがよいと考えられる。また、現在既に余分な用地がないことから汀線後退と合せて施設を陸側に後退させることも困難であった。これらより、結局のところ護岸は現位置で復旧せざるを得ないが、原形復旧では水深が増加していることから再び破壊される恐れが大きい。よって水密製を高めた連壁構造の護岸によって防護する策が最終的に採用されることとなった。

他の課題として、図-13 に示したように西湘 PA を横断する測線 No.32 では、測量誤差とは考えられない沖合部での大規模侵食が起きたと推定され、沖合の深みが汀線へと近づいている。この侵食の原因は推定の域を超えないが、波による地形変化の限界水深（ほぼ 12 m）よ

りはるかに水深の大きな 20 m 以深まで侵食が起きていることから、その発生機構は不明であるが海底地すべりが起きた可能性も指摘できる。このことから、この測線付近での地形変化については今後とも注意深く見守っていく必要があると考えられる。また、護岸の被災箇所の上手側には既設の突堤 3 基があり、それらによる沿岸漂砂の阻止も被災箇所の侵食に影響を及ぼしたと考えられるが、これらの突堤は突堤間の護岸を防護していることも事実であることから、検討区域は既設突堤まで含まず、被災区域での対策検討とした。より広域での対策検討は、今後の課題としたい。

謝辞：本検討で用いた資料は、県西土木事務所小田原土木センターと神奈川県県土整備局河川下水道部砂防海岸課より提供していただいた。貴重な資料の提供に対して深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 宇多高明, 今井雄二, 三波俊郎, 石川仁憲, 古池鋼, 芹沢真澄: 西湘バイパスの被災原因の検討, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp.1285-1290, 2008.
- 2) 宇多高明, 高尾治海, 秋田和枝, 芹沢真澄, 三波俊郎, 石川仁憲, 横澤 綾: 海底谷への土砂落ち込みの予測モデル, 海岸工学論文集, 第 56 巻, pp.626-630, 2009.
- 3) 古池 鋼, 宇多高明, 細川順一, 塩入 同, 石川仁憲, 芹沢真澄, 三波俊郎: 海底谷への土砂落ち込みの定量予測モデル-国府津海岸への適用, 海岸工学論文集, 第 57 巻, pp.471-475, 2010.
- 4) 竹内勇一, 渡辺政雄, 畑澤 俊, 中西勇人, 宇多高明, 石川仁憲, 古池 鋼, 野志保仁: 海底谷が近接する小田原国府津海岸における越波対策の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, p.I_716-I_720, 2012.

DAMAGE TO SEISHO PARKING AREA TRIGGERED BY STORM WAVES AND BEACH EROSION ON SEISHO COAST

Teietsu HONGO, Toshinori ISHIKAWA, Takaaki UDA and Toshiro SAN-NAMI

The Seisho parking area is located in the west part of the Seisho Bypass running along the Seisho coast. This parking lot was protected by a wide sandy beach in the past. Recently, beach was severely eroded, and seawall protecting the parking lot was exposed to waves, and it was damaged owing to storm waves and the scouring. In this study, the causes of the beach erosion and the damage to the parking lot were investigated using aerial photographs and the Narrow Multibeam survey data along with the analysis of the shoreline changes. Future measures were also discussed.