

西湘バイパスの被災原因の検討

INVESTIGATION OF CAUSES OF DAMAGES OF SEISHO-BYPASS HIGHWAY

宇多高明¹・今井雄二²・三波俊郎³・石川仁憲⁴・古池 鋼³・芹沢真澄⁵

Takaaki UDA, Yuji IMAI, Toshiro SAN-NAMI, Toshinori ISHIKAWA, Kou FURUIKE
and Masumi SERIZAWA

¹ 正会員 工博 (財) 土木研究センター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 台東区台東1-6-4 タカラビル)

² 神奈川県平塚土木事務所長 (〒254-0073 平塚市西八幡1-3-1)

³ 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)

⁴ 正会員 工修 (財) 土木研究センターなごさ総合研究室 (〒110-0016 台東区台東1-6-4 タカラビル)

⁵ 正会員 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)

The Seisho-bypass highway runs along the Seisho coast facing the Sagami Bay. On September 6, Typhoon 0709 attacked this coast with rough waves, and the road of this highway was severely damaged over 1.1 km length, resulting in full traffic stoppage. During this typhoon, maximum significant wave height reached 6 m with a wave period of 14 s. Damages of the road were investigated through the field observation. Strong waves attacked the coastline from the Southeast, which is in contrast to the ordinary wave direction of the Southwest. Due to this oblique wave incidence, westward longshore sand transport was developed. Along this coast, the submarine canyons develop at several locations, and part of sand transported by longshore sand transport is considered to be flowed out of the submarine canyons, causing net loss of sand.

Key Words : Seisho-bypass, damages, Typhoon 0709, longshore sand transport, loss of sand

1. はじめに

2007年9月6日未明, 相模湾に襲来した台風9号に伴う高波により西湘バイパスが崩壊し, 交通止めを余儀なくされた. この台風は, 8月29日15時に南鳥島近海で発生し, ゆっくりと北から西に進み9月4日父島付近に達した. 5日9時には中心気圧965hpa, 最大風速35m/sまで発達し, 6日から7日にかけて強い勢力を保ったまま時速約20kmで伊豆諸島の西から伊豆半島の東を北上し, 7日2時前に神奈川県小田原市付近に上陸した. これによって発生した高波が相模湾沿岸を襲い, 西湘バイパスの大磯IC付近において延長約1kmにわたって擁壁が倒壊し, 被害が大きい場所では4車線のうち海側2車線の路体が流出するなど, 甚大な被害が発生した. 被災前には道路の海側に少なくとも幅20m程度の前浜があったが, この前浜が一挙に侵食され道路が崩壊した. 本研究ではこの災害状況を明らかにするとともに侵食機構について検討する. なお, 台風襲来時における各所での波浪観測によると, 平塚沖では $H_{1/3}=6.1\text{m}$ ($T_{1/3}=14.2\text{s}$), 波浮では $H_{1/3}=8.3\text{m}$ ($T_{1/3}=13.1\text{s}$)の波が観測された. また波浮での波向は SSE 方向であった. また湘南港の潮位はT.P.+1.27mに達し, さらに台風に伴う潮位偏差は岡田



図-1 西湘バイパス被災区間の位置

で42cm, 石廊崎で59cmとなっており, 大潮には重ならなかったものの波浪・潮位ともほぼ計画外力相当の外力が作用した.

2. 西湘バイパスの被災後および被災前の状況

西湘バイパスの走る西湘海岸は相模湾に面し, 大磯港から早川河口までに広がる延長約17kmの砂浜海

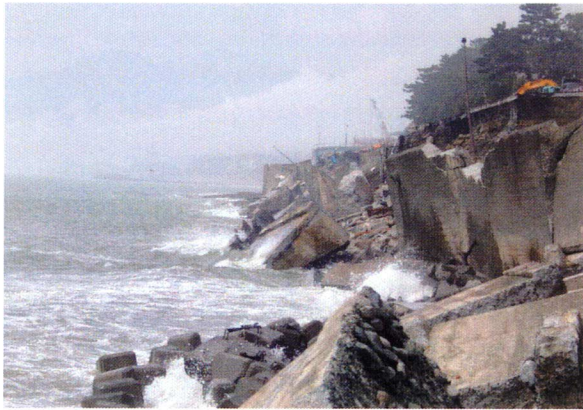


図-2 西湘バイパスの被災状況 (9月9日撮影)



図-4 西湘バイパス被災区間を東側から望む
(10月8日撮影)



図-3 銀波橋橋脚部の被災状況 (9月9日撮影)

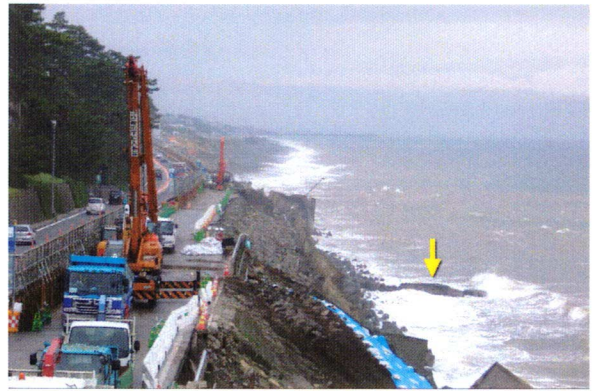


図-5 銀波橋上から被災区間を東向きに望む
(10月8日撮影)

岸である。図-1に示すように、西湘海岸東部の大磯港から二宮漁港付近まで約5kmの沖合には水深100m程度の大磯海脚が南西方向に約9km 伸びているのに対し、二宮漁港付近より西側では急深な海岸となる。西湘海岸の主な土砂供給源は酒匂川であり、河川流出土砂が東向きの沿岸漂砂によって運ばれている。西湘バイパスの被災区間は、図-1のように海岸状況が大きく変化する境界付近に位置する。被災延長は国土交通省区間が約1,000m、NEXCO区間が西湘二宮ICから西に約110mである。

台風襲来直後の9月9日午前、被災状況調査を行った。西湘バイパスが最も激しく被災した箇所付近の被災状況を図-2に示す。道路擁壁が倒壊し、砕波が壊れた擁壁に直接作用している。被災区域前面には砂浜は全く存在せず海面と直接接している。図-3は、二宮インターからの進入路にかかる銀波橋の橋脚にもたれかかった擁壁状況である。橋脚のフーチングの下には空洞ができており基礎杭が見える。後述の図-9に示すように被災前この橋脚の基礎は砂に埋まっており、この付近では地盤高がほぼ3m低下した。

被災後の10月8日には再度の現地踏査を行った。図-4は西湘バイパスの被災区間を東側から望んだものである。道路擁壁が倒壊しその一部は砂に埋まっているが、前方では倒壊した擁壁に直接波が作用している。これより写真撮影位置から西側ほど侵食が著



図-6 銀波橋上から被災区間を西向きに望む
(10月8日撮影)

しく、それに対応して道路の被災度が高まったことが分かる。図-5は銀波橋上から被災区間を東向きに撮影したものである。被災区間の東側では大磯港側から延びてきた汀線が陸側に大きく後退し、被災区間が海側に著しく突出していることが注目される。図-6は、銀波橋上から西側の被災区間を遠望したものである。被災区間の西端には○印で示す金波橋があるが、そこでも著しい地盤高の低下が起きた。10月8日当時には災害復旧のための仮設道路が捨て石で造られつつあった。



図-7 被災区間の斜め空中写真（11月13日撮影）



図-8 金波橋直下の海浜状況（2007年9月4日撮影）



図-9 銀波橋直下の海浜状況（2006年12月1日撮影）

図-7は被災後約2ヶ月の経過した2007年11月13日撮影の斜め空中写真である。被災区間では災害復旧工事が行われているが、大磯港から西向きに伸びてきた汀線は被災区間で途切れ、被災区間前面では前浜が完全に消失したままである。大磯港側からの汀線を延長するとその先に被災区間があり、それがあたかも突堤のように沿岸漂砂を阻止したように見える。

著しい被害を受けた金波・銀波橋周辺では災害前に写真撮影が行われていた。図-8は、2007年9月4日における金波橋直下の海浜状況である。台風襲来2日前の海浜状況を表す非常に貴重な写真であり、幅20m程度の砂浜が広がっていた。同様に図-9は、2006年12



図-10 葛川河口周辺の空中写真



図-11 西湘バイパス被災区間周辺の空中写真

月1日における銀波橋直下の海浜状況である。銀波橋の橋脚の基部は海浜上に並べられた平ブロックによって守られていた。写真手前側が金波橋になるが、その前面には少なくとも20m程度の前浜があったことが明らかである。

3. 災害原因の検討

3.1 災害前後の汀線変化

災害前後における汀線変化を3時期（1999年12月7日、2007年9月18日、同年11月21日）の空中写真をもとに比較した。これらのうち2007年9月18日はALOS衛星画像であり、それ以外は空中写真である。まず、葛川河口の東約270mでは従来砂礫に埋っていた基盤岩が露出した。図-10は同一区域を切り出したものである。1999年には図に矢印で示す岩盤位置で東西の汀線がわずかにずれていたものの、岩の両側の汀線は連続的に伸びていた。しかし台風直後の9月18日では岩盤の西側が著しく侵食され、広い範囲で岩盤が露出した。しかし11月には露出した岩盤が海側から

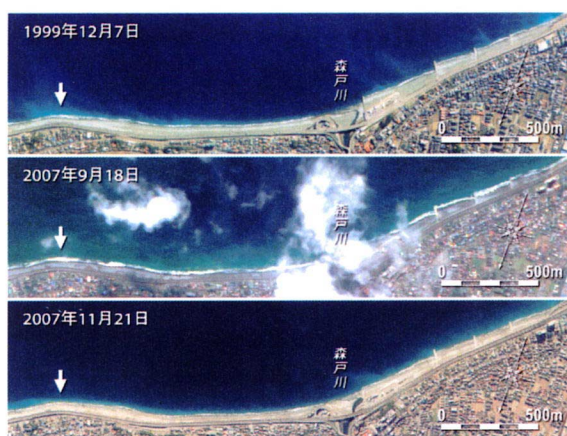


図-12 森戸川河口周辺の空中写真

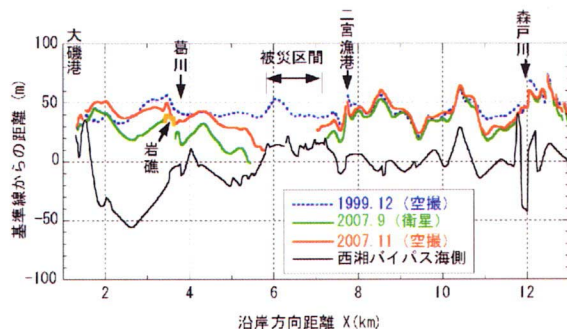


図-13 空中（衛星）写真に基づく汀線変化

砂に埋まり、東西の汀線位置のずれが小さくなった。これより当初は海浜に岩盤が埋っていたが、西向きの沿岸漂砂により岩盤の西側が侵食されたこと、また東側海浜は岩盤の突堤効果により砂礫の流出が抑制されたことが分かる。

西湘バイパスの被災区間周辺では、図-11のように1999年には汀線が緩やかに湾曲しつつ突出していたが、9月18日の画像では被災区間で前浜が完全に消失した。11月21日の写真では、被災区間の東側と二宮漁港付近には砂浜があるが、被災区間の前浜は消失したままである。大磯港側から伸びてきた汀線は、突出した被災区間が突堤効果を発揮したため、砂の流出が阻止されているように見える。さらに森戸川河口周辺の変化を図-12に示す。1999年には森戸川河口の東約1.3kmにあるわずかな海岸線の突出部（図の矢印）を除けば、汀線はなだらかに伸びていた。しかし9月18日にはこの突出部の西側で汀線が後退し、11月21日に至っても汀線は凹状に後退したままである。一方、河口西側の3基の突堤では汀線形状から判断していずれの時期も東向きの沿岸漂砂が卓越している。両者を考え合わせると、森戸川河口付近が沿岸漂砂の会合点となって汀線が前進しなければならないが、それが全く見られないことは、土砂が森戸川沖の海底谷から沖向きに流出した可能性が高いことを示す。

上記汀線変化を定量化するため、3時期の空中写真をもとに汀線変化を算出した。その際、西湘海岸では図-1のように海岸線形状が緩やかに湾曲しているの、初回の1999年の汀線に沿って平滑な曲線座標を定め、この座標を基準として汀線変化を求めた。読み取り結果については汀線の沿岸方向の変化を顕著に表すため、岸沖・沿岸方向距離を大きく歪ませて表示した。結果を図-13に示す。1999年と2007年9月の汀線変化を比較すると、大磯港以西で汀線が後退したが、葛川近傍の岩礁位置では西側の汀線後退が著しい。また被災区間では最大40mも汀線が後退し、西湘バイパスが露出している。二宮漁港付近では汀線変化は小さいが、森戸川河口の東側隣接部では再び汀線の後退が著しい。その後11月までの変化では、大磯港から被災区間の間で大きく後退した汀線がかなり戻っている。これは現地でも確認されており、高波浪により前浜土砂が削り取られて浅海域に堆積したが、それが岸向き漂砂で再び打ち上げられたことによる。両者の期間は約2ヶ月であり、岸向き漂砂が起こるに十分な期間であることから、浅海域の土砂の大部分が前浜に打ち上げられたと仮定すると、1999年と2007年11月の汀線変化から算出される前浜減少面積 $6.3 \times 10^4 \text{m}^2$ に移動高 $8.2 \text{m}^{2/3}$ を乗じた $5.2 \times 10^5 \text{m}^3$ が森戸川河口沖の海底谷からの損失になったと推定される。

3.2 深浅測量データの分析

西湘海岸では神奈川県が定期的に深浅測量を行ってきている。以下では災害前後における海浜縦断面の比較を行った。まず図-14は大磯港の西0.5kmの測線No.18の縦断面形変化である。ここでは上方に凹な縦断面形であるが、2007年3月と10月の比較では後浜が侵食され、土砂が沖向きに運ばれて水深9m以浅に堆積

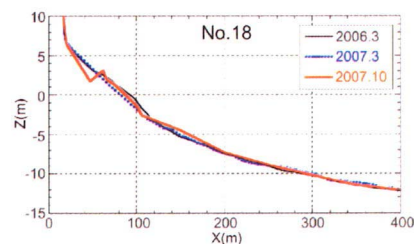


図-14 縦断面形変化（測線No.18）

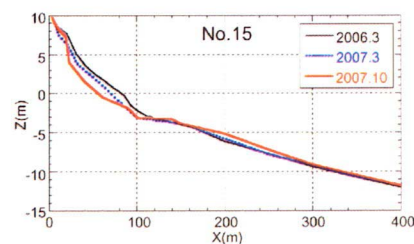


図-15 縦断面形変化（測線No.15）

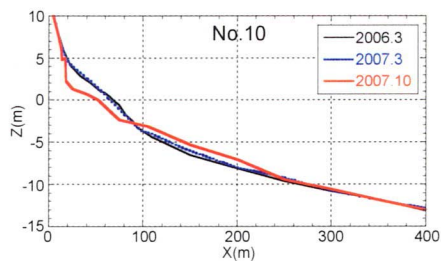


図-16 縦断形変化 (測線No.10)

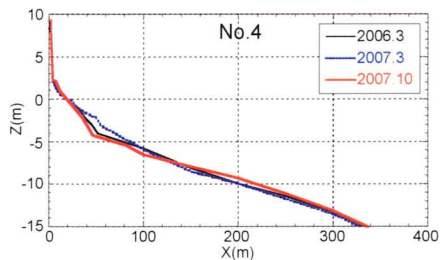


図-17 縦断形変化 (測線No.4)

したことが分かる。しかし9m以深では地形変化は生じていない。これより波による地形変化の限界水深(h_c)がほぼ水深9mにあったことが分かる。葛川河口左岸にある岩礁近傍の測線No.15でも、図-15のように汀線から陸側が大きく削り取られ、逆に水深4mから9mでは堆積が起きた。この場合も h_c はほぼ9mにある。図-16は被災区間の測線No.10の縦断形変化である。ここでは陸の地盤高が最大約2.5m低下し、侵食された土砂が水深9mまで落ち込んでいる。図-17は二宮漁港の東0.5kmの測線No.4の縦断形変化である。ここでも浅海部が侵食され、土砂が沖向きに運ばれたが、他の測線と異なり水深13m付近まで堆積が生じているように見える。

3.3 災害前後の現地踏査による侵食原因の検討

大磯港の防波堤は沿岸漂砂に対して固定境界を与えているが、災害前後にこの防波堤隣接部の写真撮影を行った。図-18(a)は2007年7月2日に防波堤に隣接する岩礁を撮影したものであるが、岩礁が消波効果を発揮したため背後には砂礫が堆積し、トンボロが形成されていた。しかし災害直後の9月12日にはトンボロを形成していた砂礫が流出し基盤岩が現れた(図-18(b))。基盤は白い部分とその海側の黒い部分に分かれており、前者は常時砂礫に埋もれていたため紫外線や波浪の作用を受けなかった部分と考えられる。そのようにして砂礫に埋っていた岩盤が露出した。写真のすぐ左側には防波堤があることから西向き(左)向きの沿岸漂砂によって砂礫が運び去られたと推定される。

3.1で述べたように、葛川河口の東約270mでは従来砂礫に埋っていた基盤岩が露出した。図-19(a)は露出した岩盤の東端から大磯港方面を望んで10月8日に撮影したものである。10月8日には岩盤の東側直近で

a. 2007年7月2日



b. 2007年9月12日



図-18 大磯港に隣接する岩礁

a. 東側



b. 西側



図-19 葛川河口東側に露出する基盤岩の状況 (2007年10月8日撮影)

はバームが形成されていた。一方、岩盤の西端部では図-19(b)のように地盤高が低下し、個々の岩が孤立していた。このように岩盤を挟んで東側では砂礫が堆積し、西側では侵食されているという事実は、高波浪時西向きの沿岸漂砂が卓越したことを示唆する。その後同じ地点の11月20日の踏査では、同じ場所がそれぞれ図-20(a), (b)のように変化し、砂礫の堆積により露出した岩盤が再び砂礫で埋まった。



図-20 葛川河口東側に露出する基盤岩の状況
(2007年11月20日撮影)

4. 考察

大磯港の西側隣接部では災害前礫が堆積して高いバームが形成されていたが、台風9号後それが侵食されて消失した。また葛川河口左岸では岩盤の露出が見られ、岩盤の西側では海浜地盤高が大きく低下した。そのほかいくつかの場所で西向きの沿岸漂砂の発達を示す証拠が得られた。次にこのような西向きの沿岸漂砂の発達の可能性を観測データに基づいて検討した。まず沖波を設定し、エネルギー平衡方程式を用いた波浪変形計算を行った。波向は大島波浮港でSSE方向であったことから、まずSSE方向の波を入射させたところ、被災区間では西向きの沿岸漂砂となったが、そのほかの地点では波向が大きく変動し、沿岸漂砂は多くの会合点を持つ結果となった。これは上記の現地状況と一致しない。

2005年12月22日撮影の西湘海岸の空中写真によると、平均的な海岸線への法線方向は大磯港から二宮漁港間ではS15°E、二宮漁港から森戸川河口の東側にある海岸線のふくらみの頂点(図-12の矢印)までがS28°Eであり、海岸線の方法線方向は13°ずれている。この区域全体で右(西)向きの沿岸漂砂が卓越したことは現地踏査により明らかになっているので、これを考慮すると海岸線への入射方向はSSEではなく、少なくともS28°Eより反時計(左)回りに傾いていなければならない。波の入射方向は方位別に示されているが、32方位であることからSSEはS11.25°EからS33.75°Eを代表している。これを考慮すると、実際にはより東寄

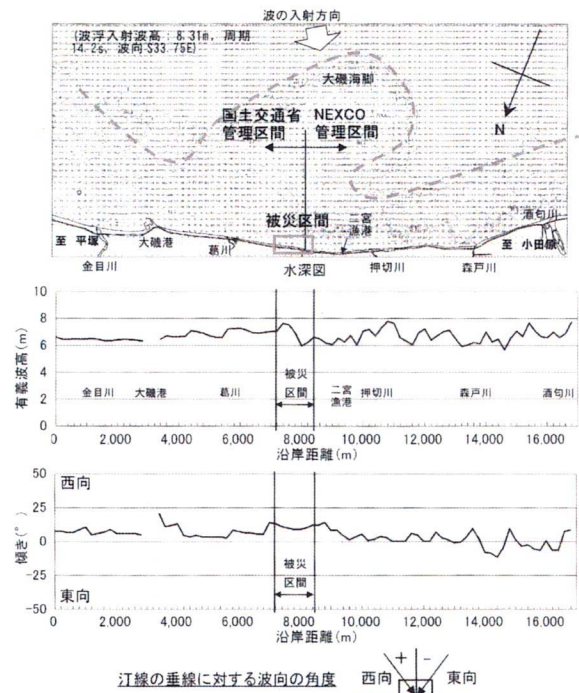


図-21 波浪変形計算結果

りの方向から波が入射したと考えると矛盾しない。そこで、波の入射方向をSSEより11.25°東寄りから入射させ、その条件で海岸線各地点の碎波点における波向を求めた。波高8.3m、周期14.2sの波(波高:波浮港の6日22:20の観測値、周期:平塚6日11:00の最大周期)をS33.75°Eの方向から入射させた結果が図-21である。この場合、潮位は湘南港における6日24:00の潮位を用いた。

これによれば、大磯港～森戸川河口で全体的に西向きの沿岸漂砂が生じるが、森戸川河口西側では東向きの沿岸漂砂が卓越することとなり、汀線変化解析の結果をうまく説明できる。またとくに被災区間では大きな波向角となるとともに、二宮海脚による屈折により波高の増大も起きている。これより、被災区間が集中的に侵食され、森戸川河口へと東側から移動してきた砂礫は海底谷への損失に繋がったと考えられる。今回の高波では沖向き漂砂も起きたが、沖向きに運ばれた砂礫はほぼ $h_c=9\text{m}$ 以浅に堆積し、その後2ヶ月で前浜の復元が進んだことから、急勾配海浜を除けば深海への土砂損失とはなりにくく、結果的に土砂損失は主に森戸川河口沖の海底谷を経由した沖向き損失であったと考えられる。

参考文献

- 1) 宇多高明:「日本の海岸侵食」,山海堂,p.442,1997.
- 2) 宇多高明,矢野 滋:相模湾西湘海岸の侵食実態について,地形,Vol.8,pp.1-19,1987.
- 3) 宇多高明,川崎俊太,見附敬三:西湘海岸小八幡地区に建設された突堤の漂砂阻止率の検討,海岸工学論文集,第42巻,pp.671-675,1995.