

相良沿岸における2019年台風19号時の 急激な侵食とその後の砂浜回復

宇多 高明¹・大井戸 志朗²・柴田 直紀³・竹内 由衣⁴・
花田 昌幸⁴・石橋 さくら⁵

¹正会員 (一財) 土木研究センターなぎさ総合研究所兼日本大学理工学部海洋建築工学科 (〒110-0016
東京都台東区台東 1-6-4)

E-mail:uda@pwrc.or.jp

²静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課 (〒420-8601 静岡県静岡市葵区追手町9番6号)

E-mail:kasenki@pref.shizuoka.lg.jp

³静岡県交通基盤部島田土木事務所企画検査課 (〒427-0019 静岡県島田市道悦5丁目7-1)

E-mail:shimada-kikaku@pref.shizuoka.lg.jp

⁴八千代エンジニアリング (株) (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー)

E-mail:yi-takeuchi@yachiyo-eng.co.jp (Corresponding Author)

⁵正会員 八千代エンジニアリング (株) (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー)

沿岸漂砂と高波浪時の急激な冲向き漂砂が重なった場合の海浜変形, およびその後の砂浜の回復について, 駿河湾西岸の御前崎～勝間田川河口間の長さ16 km区間を取り上げて検討した. この沿岸では, 2019年10月12日に襲来した台風19号時の高波浪時の冲向き漂砂により著しい地形変化が起きた. しかし, 相良港により沿岸漂砂が阻止され, ほぼ閉じた漂砂系を有する相良港海岸須々木地区では, 高波浪後の通常波浪の作用とともに砂は汀線へと戻り, 砂浜の復元が進んだ. 一方, 北部の相良片浜海岸では, 高波浪後に襲来した通常波浪時の岸向き漂砂による汀線への砂の回帰と, 波向の反転による南向きの沿岸漂砂による地形変化が同時に起きていたことが分かった.

Key Words : erosion, shoreline change, cross-shore sand transport, longshore sand transport, recovery of beach, bathymetric survey data

1. はじめに

自然海浜では, 暴浪時に前浜が削り取られ, その後静穏波の作用時には前浜に砂が再び堆積することはよく知られている¹⁾. しかしながら, 高波浪時の急激な砂移動と, その後の前浜回復時の波浪条件や, 前浜の回復に要する時間などの実態はこれまで十分明らかにされていない. このことから, 石川ら²⁾は, 相模湾に面した茅ヶ崎海岸を対象に, Narrow Multi-Beam測量を繰り返すことにより, 波浪作用に伴う海浜変動の現地観測を行った. これによると, 2019年10月12日に襲来した台風19号 (T1919号) 時も含め, 高波浪時には急激な冲向き漂砂が生じ, 砂が冲向きに運ばれてバー・トラフが形成されたが, その後, 静穏波の作用により時間経過とともにバー・トラフは均され, 数ヶ月から1, 2年で再び緩勾配の縦断形に戻ることが明らかになった. 茅ヶ崎海岸に著しい地形変化をもたらしたT1919号は, 伊豆半島に上陸す

るコースをたどったため, 相模湾のみならず駿河湾沿岸にも高波浪の作用をもたらした. 駿河湾西岸に位置し, 御前崎港の北側に位置する相良沿岸では, T1919号時の波浪により, 従来からの沿岸漂砂バランスの崩れに起因する海浜変形に加え, 急激な冲向き漂砂による地形変化が起きた. 本研究は, このような沿岸漂砂と高波浪による急激な侵食が重なった場合の海浜変形と, その後の砂浜の回復に着目し, 駿河湾西岸の御前崎～勝間田川河口間の長さ16 km区間 (図-1の矩形域) を取り上げて検討した. なお, この地域では, 波の作用による海浜変形だけでなく, 地盤沈降による汀線変化も起きている³⁾. しかし, 本文で述べるように, 御前崎に近い相良須々木海岸の1995年から2022年での汀線変化は変動のみ大きいことから, この間の地盤沈降による汀線変化は大きくないと見られる. そこで, 地盤沈降による地形変化については無視した.



図-1 駿河湾西岸の調査対象区域

2. 2019年台風19号時の波浪条件

T1919号は、日本の南海上を北上し、2019年10月12日19時頃に伊豆半島に上陸した。この台風時、NOWPHAS御前崎と気象庁（御前崎）で波浪と潮位が観測された。これらの観測結果のうち、2019年10月6日～10月16日の波浪と潮位の観測結果を図-2に示す。最大有義波高は2019年10月12日17:00に11.25 m（周期14.8 s）を記録した。また、有義波高の最大値が出現した時刻には波向は欠測であったものの、その直前の10月12日12:00と直後の10月12日18:20の波向はN139° E（ほぼSE）であった。この台風時の波浪は、過去の高波浪時と比べやや東寄りからの入射であった。さらに御前崎での最高潮位はT.P.+1.62 mまで高まった。

3. 相良沿岸の長期的海浜地形変化と沿岸漂砂量

(1) 汀線変化

御前崎港の北側に隣接する地頭方漁港より、勝間田川に至る延長約12 kmの相良須々木海岸と相良片浜海岸を対象として、1995、2010、2019年撮影の空中写真より汀線位置を定めた。ここに、2019年の空中写真はT1919号襲来前の2019年1月3日の撮影である。汀線位置の測定では、空中写真より写真撮影時の潮位と前浜勾配1/15～1/30を基に潮位補正を行った。その上で、護岸もしくは保安林の外縁線から汀線までの距離を浜幅と定義し、その沿岸方向分布を求めた。さらに1995年基準での、2010年とT1919号時の高波浪を受ける直前までに起きた汀線変化を算出した。このようにして得られた浜幅の分布、1995～2010年および1995～2019年の汀線変化を図-3に示す。

まず、図-3(a)には御前崎港の北側に隣接する地頭方漁

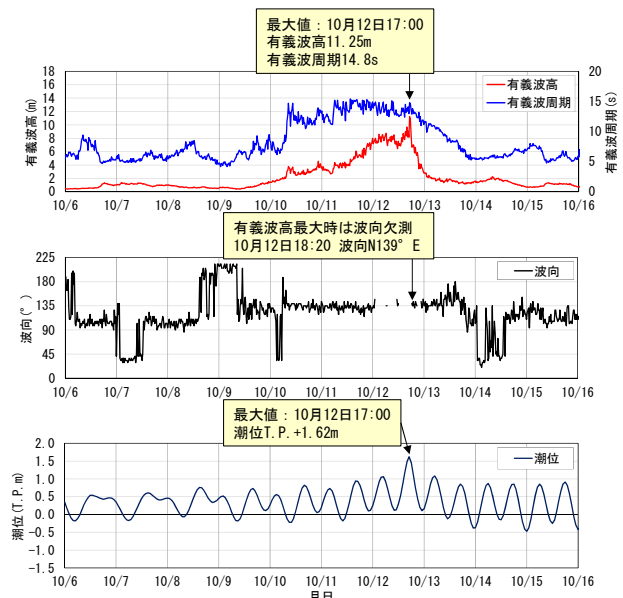
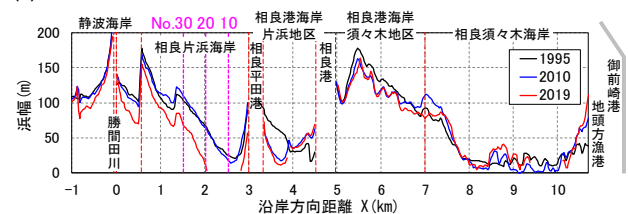
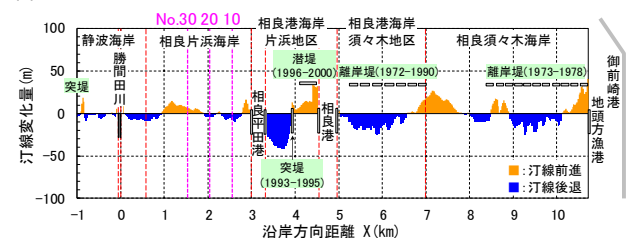


図-2 NOWPHAS御前崎と気象庁（御前崎）によるT1919号時の波浪と潮位の変化

(a) 浜幅



(b) 1995～2010 年の汀線変化



(c) 1995～2019 年の汀線変化

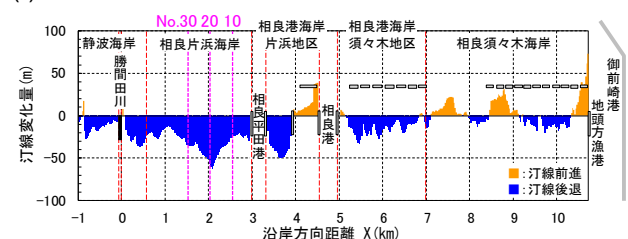


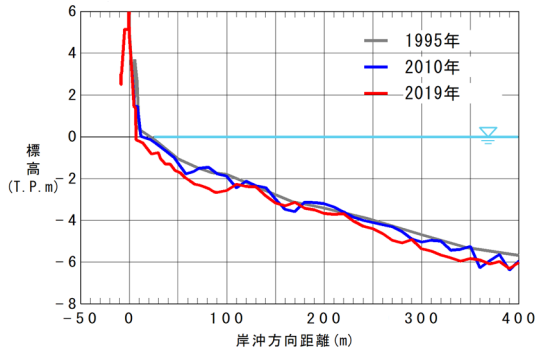
図-3 相良海岸の浜幅分布と汀線変化（1995～2019年）

港から湾奥の静波海岸までの浜幅の分布を示す。この沿岸では、駿河湾が南に開口しているために全体的に北向きの沿岸漂砂が卓越しており、したがって漁港・港湾防波堤により沿岸漂砂が阻止された場所の上手（南）側では浜幅が広く、下手側では狭いという特徴がある。地頭方漁港の北側隣接部は、御前崎港の防波堤による波の遮蔽域に入るために局所的に浜幅が広がっているが、その北側では浜幅が狭まる。しかし相良港に近づくとも浜幅は

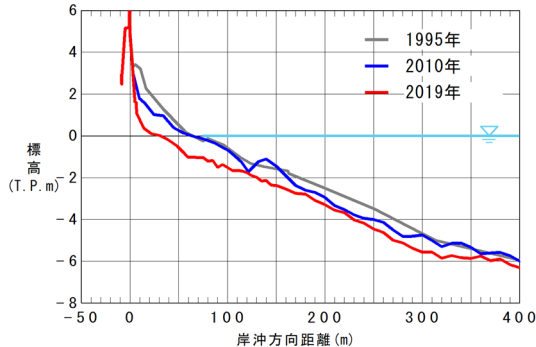
広がる。相良須々木海岸は、北端を相良港の防波堤で塞がれているため、近年では浜幅の変化は小さく、汀線はほぼ安定状態に近づいている。相良平田港北側の相良片浜海岸でも、北向きの沿岸漂砂により砂が運び去られたため、相良平田港の北側直近で浜幅が狭まっていたが、とくに2010～2019年には汀線が著しく後退した。

図-3(b)(c)には1995～2010年と1995～2019年の汀線変化を示す。相良須々木地区ではこれら2時期の汀線変化はよく似た分布となっていることから、近年、汀線がほぼ安定状態にあったことが分かる。これに対し、相良港海岸片浜地区では汀線後退が進み、1995～2019年では50 mもの汀線後退が起きた。相良平田港を挟んで北側の相良片浜海岸では、1995～2010年には汀線変化はわずかであったが、2019年までには相良平田港から勝間田川に至る区間で著しい侵食が生じ、相良片浜海岸での1995年からの最大汀線後退量は60 mにも及んだ。

(a)測線 No. 10



(b)測線 No. 20



(c)測線 No. 30

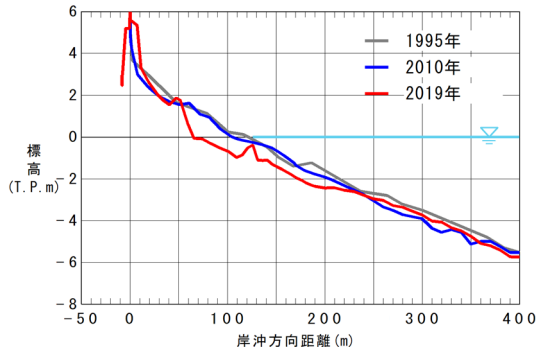


図4 相良片浜海岸における海浜縦断形変化(測線No.10, 20, 30)

(2) 縦断形変化と沿岸漂砂量の推定

図-3に示したように、相良片浜海岸では顕著な汀線後退が起きたが、そのような汀線変化に対応した海浜縦断形の変化を調べるために、相良平田港の北側の汀線後退域に位置する図-3に示す測線No.10, 20, 30における縦断形変化を調べた(図-4)。測線No.10では1995年以降2019年まで全体的に侵食傾向にあり、汀線からほぼT.P.-2 m間と、4～6 m間で侵食が進んでいる。相良平田港の北約1 kmに位置するNo.20でも、陸上部の+2 mを上限として-6 mまでの間が削り取られ、凹状の縦断形が形成された。断面内で侵食のみが進み、堆積域が存在しないことから沿岸漂砂起源の地形変化が起きたことが分かる。さらにNo.20の北500 mに位置するNo.30では、1995年基準での汀線の後退量が55 mと一層増加し、1995年当時の汀線では-1.3 mまで侵食され、また+2 mから-3 m付近で顕著な侵食が起きた。

上記のように、相良平田港北側の侵食域を通る測線では、いずれも断面全体で土砂量の減少が顕著である。そこで1995年を基準として、この間のT.P.+2 m～-5 mの範囲で断面積変化量(ΔA)と汀線変化量(ΔY)を求め、 ΔA と ΔY の相関を調べた結果を図-5に示す。バラツキは大きいものの、両者の相関より $\Delta A = 6.2 \Delta Y$ ($R^2 = 0.43$)なる関係が得られ、相関係数から漂砂の移動高がほぼ6 mと推定される。

次に、図-3に示す相良片浜海岸($X = 0.575 \sim 3$ km)を対象として、1995年を基準とした海浜面積の減少量を求め、それに上記移動高を乗じて土砂量を算定した。計算結果を図-6に示す。これによれば、測定年による変動はかなり大きいものの、長期の平均で見ると1995年基準で2019年までにほぼ44万 m^3 の土砂が消失したことが分かる。相良平田港では防波堤により沿岸漂砂が阻止されているので、この地点での沿岸漂砂量を0と置き、1995～2019年(経過年数24年)に上記土砂が沿岸漂砂により北向きに運び去られたとすると、北向きの沿岸漂砂量は1.8万 m^3/yr と推定される。なお、図-6において2019～2020年に

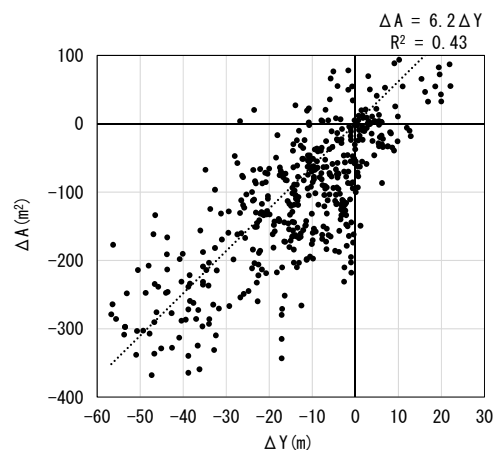


図5 海浜断面積変化量(ΔA)と汀線変化量(ΔY)の相関

海浜面積が急激に減少した後、その後回復傾向が認められるが、これはT1919号に伴う急激な沖向き漂砂と、その後の静穏波の作用による前浜の回復が含まれているためであり、よってこの間の地形変化は考慮外とし、これについては後述する。さらに図-6より、とくに近年の2012～2019年の土砂量変化について調べると、土砂変化速度は1.4万 m^3/yr とさらに低減傾向にある。以上より、相良片浜海岸では北向きの沿岸漂砂が卓越し、その量は2012～2019年で1.4万 m^3/yr と推定されるものの、近年は低減傾向にあると考えられる。

(3) 深浅データによる相良片浜海岸の土砂量変化

相良片浜海岸では、2008年以降相良平田港から勝間田川河口に至る全域（測線No.1～No.49）で深浅測量が行われてきた。そこでこのデータを用いた土砂量変化の算出も行った。土砂変化量は、陸上のT.P.+2 mから-5 m間で算出した。計算結果を図-7に示す。相良片浜海岸では2009～2019年1月までに約22万 m^3 だけ土砂量の減少が起きた。この間、相良平田港で北向きの沿岸漂砂が阻止されていたとすれば、土砂量の減少は北端の勝間田川河口付近を通過した沿岸漂砂によりもたらされたことになる。ただ図-7によれば、侵食は、2009～2012年の約3年間に集中的に起きたことから、この間の土砂量減少量約18万 m^3 を経過年数で割ると、沿岸漂砂量は6万 m^3/yr と大きい。しかしその後2019年まではほぼ平衡状態にあったことから、2012年までに大量の砂が運び去られたものの、近年では沿岸漂砂量は0に近づいていると推定できる。上記

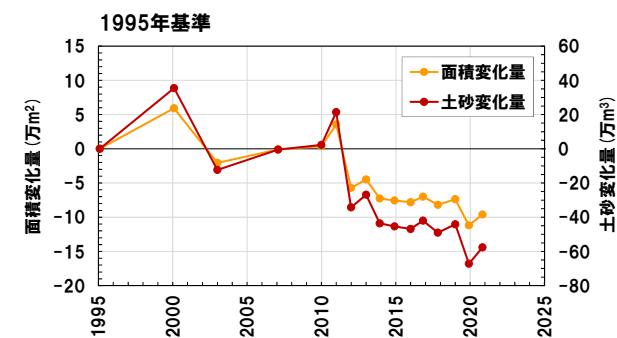


図-6 相良片浜海岸における砂浜面積および土砂量の変化 (1995年基準)

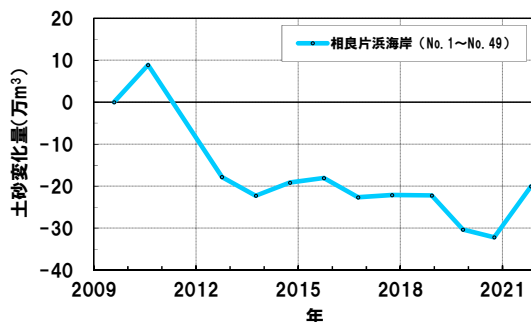


図-7 深浅データに基づく相良片浜海岸の土砂変化量

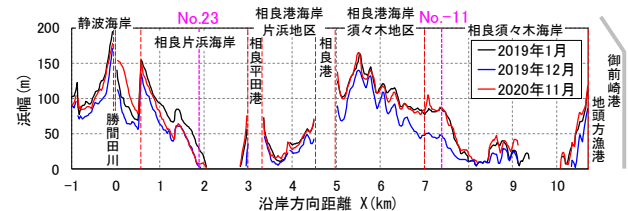
のように、沿岸漂砂量は、前浜面積の変化割合に漂砂の移動高を乗じる方法によって算出されたが、その場合漂砂の移動高の推定精度が低いことから、ここで述べた縦断形変化から算出された土砂量変化からの推定結果のほうが信頼度が高いと考えられる。よって相良片浜海岸での沿岸漂砂量は近年0に近づいていると推定される。一方、2019年以降土砂量が急減し、その後土砂量が回復しているが、これについては後述のようにT1919号時の高波浪とその後の波の作用の影響による。

4. T1919号時の急激な侵食とその後の砂浜回復

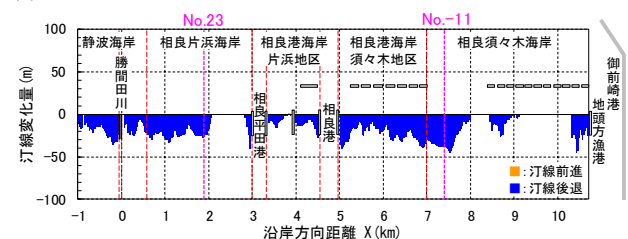
T1919号時、神奈川県茅ヶ崎海岸では高波浪により砂が沖へ運ばれ、前浜が急激に狭まったが、その後通常波浪の作用下で沖合へ運ばれた砂の大部分は岸向きに運ばれ、前浜の復元が進んだ²⁾。相良沿岸においてもほぼ同様な地形変化が観測された。以下では、空中写真に基づく汀線変化解析と深浅測量データによる縦断形変化解析によりその実態を調べた。

まず図-8(a)には、空中写真から読み取った2019年1月と、台風直後の2019年12月、および台風襲来から約1年経過後の2020年11月における勝間田川河口～地頭方漁港間の約12 km区間の浜幅の分布を示す。図-8(a)によれば、T1919号に伴う高波浪の襲来以前の段階で南端の地頭方

(a) 浜幅



(b) 2019年1月～2019年12月の汀線変化



(c) 2019年12月～2020年11月の汀線変化

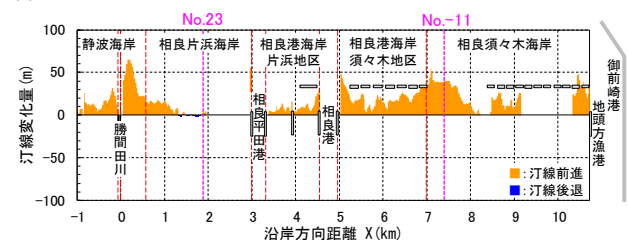


図-8 高波浪前後における相良海岸の浜幅と汀線変化 (2019年1月～2020年11月)

漁港の北側に隣接する $X=8\sim 10$ km付近では侵食が進んでいたため、浜幅は極めて狭かった。しかしその北側の相良港海岸須々木地区においては、相良港の防波堤が北向きの沿岸漂砂を阻止していたため、その南側には浜幅が最大で160 mの砂浜が残されていた。一方、相良港と相良平田港間の区域では浜幅は大きく狭まり、さらに相良平田港の北側隣接域では海浜は全く消失し、護岸が直接波に曝されていた。しかしながら $X=2$ km以北では勝間田川河口方面へと再び砂浜幅が広がっていた。このような砂浜にT1919号による高波浪が作用した。

図-8(a)よりT1919号前後の浜幅の変化に注目すると、元々砂浜幅が広がった $X=5\sim 8$ km区間では、T1919号の襲来後、広域で浜幅が一挙に狭まったが、2020年11月までにはほぼ台風前の浜幅に戻った。北部の相良片浜海岸でも南部の須々木地区とほぼ同様な現象が起きた。しかし詳しく見ると、相良片浜海岸の $X=1\sim 2$ kmでは台風前

の浜幅まで回復しなかったのに対し、勝間田川の南側隣接部の $X=0\sim 0.5$ kmでは台風時に浜幅が狭まった後、2020年11月には台風前より浜幅が広がった。このような汀線変化は、高波浪時の急激な冲向き漂砂の作用による浜幅の減少に加え、北向きの沿岸漂砂により汀線の前進が起きたことによるのみ説明が可能である。

次に、台風襲来前の2019年1月から台風襲来直後の2019年12月までと、台風的作用を受けた後の2019年12月～2020年11月の2時期に区分して汀線変化を調べたのが図-8(b)(c)である。相良須々木地区では台風直後に広域で汀線が後退したが、後退した汀線は2020年11月までに元の姿に戻っている。これに対し、相良片浜海岸にあつては高波浪により $X=1\sim 2$ kmで汀線が後退したが、2020年11月までに汀線は復元せず、勝間田川の河口右岸で集中的な堆積が起きている。これは砂が冲向きに運ばれると同時に、沿岸漂砂により北向きにも運ばれたことを表していると考えられる。

以上より、沿岸漂砂が相良港の防波堤により阻止されている相良須々木海岸では、台風時とその後には冲向き・岸向き漂砂によりほぼ可逆的な汀線変化が生じたが、相良片浜海岸にあつては冲向き・岸向き漂砂に、北向き・南向きの沿岸漂砂による地形変化が重なったことが分かった。

高波浪時の冲向き漂砂とその後の岸向き漂砂による砂浜の回復過程は縦断形変化からも確認できる。代表例として、相良須々木海岸では測線No.-11を、相良片浜海岸ではNo.23を選んで縦断形変化を調べた。これらの測線の位置は図-8に示す。図-9には相良須々木海岸のNo.-11の縦断形変化を示す。2019年1月から2019年12月までの間、汀線付近の+2 m～3 mが削られ、その沖のほぼ7 m付近まで砂が堆積したが、2020年11月までの変化では縦断形は回復傾向を示すものの上記侵食・堆積傾向がいまだ続いている。同様にして相良平田港の北側の侵食区域を通る測線No.23の縦断形変化を図-10に示す。No.23では台風時汀線付近が削られ、ほぼ3 m～6 mに堆積したが、2020年11月には岸向き漂砂により汀線付近で堆積が起きたものの、前浜への砂の戻り量は少ない。

図-11には台風後の前浜回復期である2020年11月から2022年11月の汀線変化を示す。既に前浜の回復が起きて

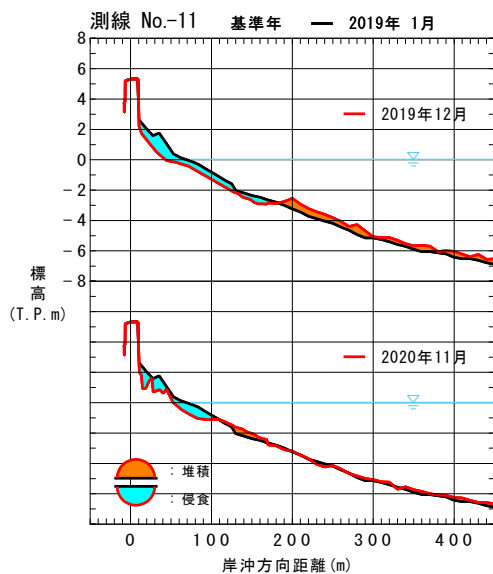


図-9 高波浪前後の縦断形変化 (相良須々木海岸：測線No.-11)

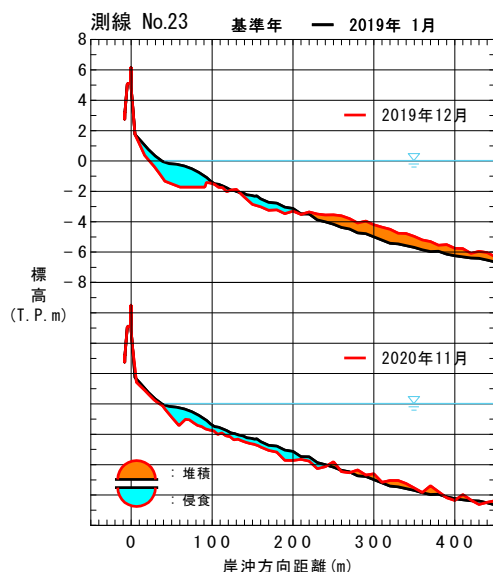


図-10 高波浪前後の縦断形変化 (相良片浜海岸：測線No.23)

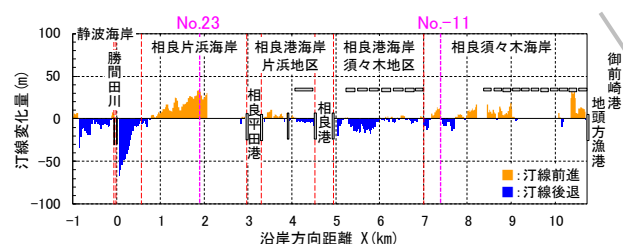


図-11 高波浪後における相良海岸の汀線変化 (2020年11月～2022年11月)

いた相良港海岸須々木地区ではこの間ほとんど汀線変化が起こらなかった。これに対して、北部の相良片浜海岸では勝間田川の河口右岸隣接部での著しい汀線後退と相良片浜海岸での汀線前進とが対になって起きている。このような汀線変化は、T1919号時においてはこの付近で強い北向きの沿岸漂砂が発生したが、その後沿岸漂砂の向きが反転し、南向きの沿岸漂砂による地形変化が生じたと考えれば説明できる。沖向き岸向き漂砂による地形変動と同時に、沿岸漂砂の方向の反転による地形変動が起きたことが特徴である。

5. T1919号時の波浪推算

T1919号時には相良沿岸に高波浪が作用し、その際急激な沖向き漂砂が起きたことが実態データから示された。本節ではその機構を解析するために、相良海岸沿岸でのT1919号時の波浪場をエネルギー平衡方程式法により推算した。相良沿岸を対象として、沿岸方向に100 km、これと直角方向に80 kmの矩形領域を定め、縦横座標とも100 m間隔のメッシュで分割し、海底地形や御前崎港の防波堤などの構造物を配置した上で、潮位をT.P.+1.62 mとして沖波波高12.8 m、周期14.8 sの波をSSE方向から入

射させることにより、T1919号時のNOWPHAS御前崎での上記観測結果の再現を行った。波浪場の計算結果を図-12に示す。計算領域の沖端での入射方向をSSEとすることによりNOWPHAS御前崎での観測波向SEの再現が可能であった。この結果によれば、相良須々木海岸では、御前崎港の沖防波堤による遮蔽を受けて波高が低減すること、また沿岸では3~4 m程度の波高となることが分かる。

さらに、波浪場の計算結果より、地頭方漁港から静波海岸までの沿岸を8区分し、水深4~5 m付近を対象に各地点の汀線に立てた法線に対する波のなす角度を求めた。計算結果を図-13に示す。これによれば、相良港海岸須々木地区では汀線に対してほぼ直角方向からの入射であるが、相良片浜海岸では汀線に立てた法線に対して右回りの方向からの入射となっており、T1919号時には北向きの沿岸漂砂の発達が促される条件であり、図-8の汀線変化を説明可能な入射方向であったことが分かる。

6. まとめ

駿河湾西岸の御前崎~勝間田川河口間の長さ16 km区間を対象に、沿岸漂砂の作用と、波浪強度の変動に伴う岸沖漂砂が重なった場合の海浜変形について検討した。この結果、この沿岸では2019年10月12日に襲来した台風19号時の高波浪時の沖向き漂砂により著しい地形変化が起きたが、相良港により沿岸漂砂が阻止され、ほぼ閉じた漂砂系を有する相良港海岸須々木地区では高波浪後に作用した通常波浪の作用とともに砂は汀線へと戻り、砂浜の復元が進んだ。一方、北部の相良片浜海岸では、高波浪時の沖向き漂砂に加えて北向きの沿岸漂砂が同時に起きて地形変化が起きたが、その後、通常時の岸向き漂砂による汀線への砂の回帰と、波向の反転に起因する南向きの沿岸漂砂の作用に伴う汀線変化が同時に起きていたことが分かった。

REFERENCES

- 1) Horikawa, K. ed.: *Nearshore Dynamics and Coastal Processes: Theory, Measurement, and Predictive Models*, 522p., University of Tokyo Press, Tokyo, 1988.

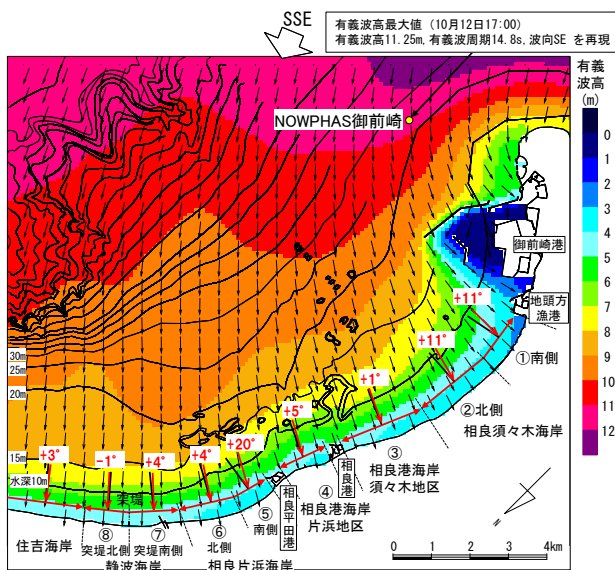


図-12 波浪推算結果 (有義波高分布)

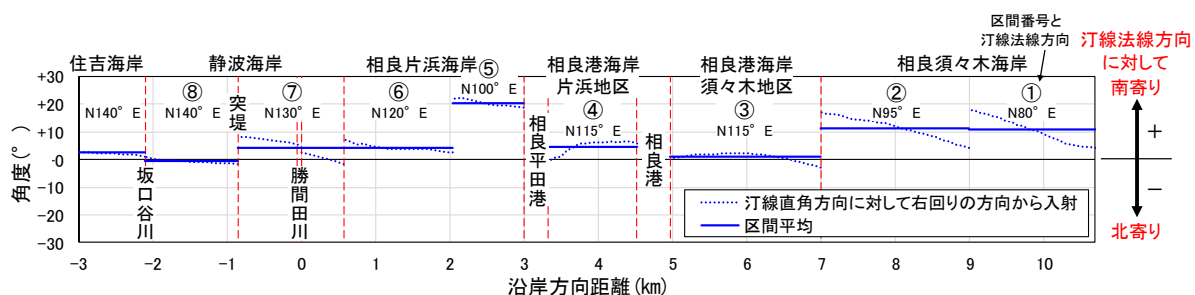


図-13 波浪推算結果 (波の入射角)

- 2) 石川仁憲, 宇多高明, 三波俊郎, 細川順一, 小金宏秋: 高波浪時の急激な冲向漂砂と静穏時の緩やかな砂浜回復応答の実測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.76, No.2, pp.I_547 - I_552, 2020. [Ishikawa, T., Uda, T., San-nami, T., Hosokawa, J. and Kogane, H.: Recovery of sandy beach after typhoon waves - case study on Chigasaki coast, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Eng.)*, Vol. 76, No. 2, pp. I_547-I_552, 2020.]
- 3) 宇多高明, 石川仁憲, 三波俊郎, 加畑勝之, 佐藤純一郎: 駿河湾西岸の御前崎～勝間田川河口間の海浜

変形に及ぼす地殻変動の影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp.I_676-I_680, 2014. [Uda, T., Ishikawa, T., San-nami, T., Kahata, K. and Sato, J.: Effect of ground subsidence associated with crustal movement to beach changes between point Omaezaki and Katsumata River mouth in Suruga Bay, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Eng.)*, Vol. 70, No. 2, pp. I_676-I_680, 2020]

(Received March 16, 2023)

(Accepted July 20, 2023)

RAPID EROSION DURING TYPHOON NO. 19 IN 2019 AND BEACH RECOVERY ALONG SAGARA COAST

Takaaki UDA, Shiro OHIDO, Naoki SHIBATA, Yui TAKEUCHI,
Masayuki HANADA and Sakura ISHIBASHI

Beach changes in an event in which rapid beach erosion due to offshore sand transport under the storm wave conditions superimposed with the beach changes by longshore sand transport, and the recovery of the beach after the storm were investigated, taking the coast with a stretch of 16 km between Point Omaezaki and the Katsumata River in Suruga Bay as an example. It was found that although the beach was severely eroded by storm waves associated with Typhoon No. 19 that hit the area on 12 October 2019, sand returned to the shoreline by shoreward sand transport during the calm wave condition after the storm in Susuki area south of Sagara Port, where longshore sand transport is blocked by the Sagara Port breakwater. On the other hand, in the Sagara-Katahama area in northern part, both seaward sand transport and northward longshore sand transport occurred during the storm wave condition, and then the beach recovered due to shoreward sand transport under the calm wave condition and southward longshore sand transport.