

東播海岸の西島地区における礫養浜の追跡調査

坪 香 伸* ・ 宇多高明**・ 谷 宗彦***
大杉広徳****・ 伊藤弘之*****

1. ま え が き

近年、海岸環境に対する関心が高まりつつあり、従来のように機能性・経済性のみを追求した海岸護岸と消波工を設置する方法から、環境や海岸利用にも配慮した海岸保全工法が重視されつつある。その一つとして、養浜工が各地で進められつつあるのは衆知のとおりである。しかしながら、比較的急勾配の海岸では、細砂による養浜では養浜砂の一部が沖へ流出し、養浜砂の損失が大きかったり、あるいは流出した土砂が沿岸の漁場の障害となる可能性がある。こうしたことから、細砂の代わりに礫を用いる養浜が考えられる。礫浜は砂浜に比べて透水性が高いため消波効果は劣るものではなく、また、安定性もはるかに良好であるが、碎石を用いる限り利用上不利な点をもつことも確かである。このように礫養浜は利点と欠点を併せ持つが、現地海岸での礫の挙動については十分明かでないのが現状であり、わずかに青森海岸(村岡ほか, 1990)や東播海岸(門松ほか, 1991)での現地試験の結果が報告されたに過ぎない。そこで、本研究では東播海岸での礫養浜の現地実験の追跡調査を行い、新たに沿岸漂砂による礫浜の地形応答について新しい知見を得たのでここに報告する。

2. 台風9119号による高潮と高波浪の発生

礫養浜の実施された東播海岸の西島地区は、播磨灘に面している。この海岸の各方向に対するフェッチは図-1に示すようであって、WSWが70 kmと最も長く、次いでSWの65 kmとなる。一方、S方向は淡路島により、W方向は家島諸島により遮られるためWSW～SW方向に比較してフェッチははるかに短い。

1991年9月13日、マーシャル諸島の東で発生した台風9119号は我が国各地に多くの被害をもたらした。この台風は、27日18時に北九州市付近に達した後、山口県を経て加速しつつ日本海に進み、再び北海道に上陸するコー

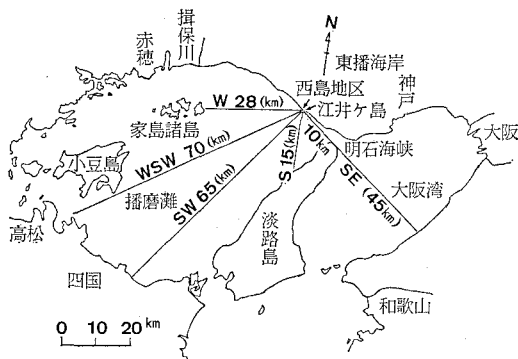


図-1 東播海岸西島地区の位置とフェッチ

スをとった。北九州市付近における中心気圧および最大風速はそれぞれ 940 mb, 50 m/s であり、極めて大型の台風であった(気象庁予報部, 1991)。

図-2 には、西島地区に隣接する江井ヶ島沖において観測された台風来襲時の9月26日～27日の有義波高 $H_{1/3}$ ・周期 $T_{1/3}$ 、神戸と姫路における風向・風速・気圧、そして調査地点の西3 kmに位置する東二見における潮位の経時変化を示す。 $H_{1/3}$ は、9月27日10時までには0.2 m以下と静穏であったが、12時以降急激に増大し、9月27日22時には最大値の1.9 mに達した。その後波高は低下し、9月28日の20時には再び静穏な条件に戻った。この間、 $T_{1/3}$ は約3.8 sより、最大波来襲時の6.3 sへと長くなったあと、再び3.3 sのレベルに戻った。風向については、9月27日の10時以前はE方向であったが、次第にS方向に変わり、9月27日20時にはほぼS方向に、その後9月28日2時以降はW方向となった。同様に、神戸と姫路の風速記録によれば、風速のピークは姫路で9月29日20時の22.7 m/s、神戸で23時の17.3 m/sであって、10 m/s以上の強風が約13時間も継続した。さらに、気圧も9月27日の20時頃を中心として約25 mb低下した。図-1によれば、当海岸はS～W方向のフェッチが長いから、9月27日の20時頃を中心として風波が非常に発達するとともに、吹き寄せと気圧低下による潮位の上昇が起こった。図-2に示す潮位には姫路に

* 建設省近畿地建姫路工事事務所長
** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
*** 建設省近畿地建姫路工事事務所
**** 建設省近畿地建河川工事課海岸係長
***** 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室

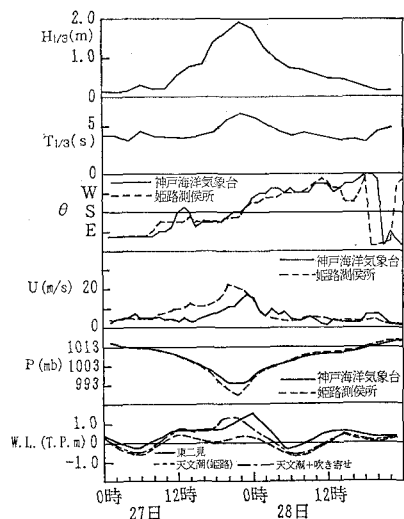


図-2 台風 9119 号来襲時の有義波高・周期，風向・風速，気圧，潮位の経時変化

おける天文潮と実測潮位を示したが，最大約 126 cm の偏差が発生した．気圧降下量と吹き寄せによる海面上昇量の概略式（海岸保全施設築造基準連絡協議会，1987，p. 102）を用いて計算した潮位も図-2に併せて示すが，これにより潮位偏差はかなりよく説明される．ただし，計算値の位相が遅れている点は，ここで用いた手法が概略式によるものであり，高潮の発達時間が考慮されていないためである．以上のように台風9119号の通過により高波浪が発生するとともに，満潮時が最大波の出現時刻と重なり，さらに高潮が発生したことは礫浜の大きな変形原因となった．

3. 海浜地形変化

(1) 深浅図の比較

20~30 mm の碎石を用いた 西島地区での 礫養浜の詳細については，既に門松ほか（1991）に述べられているが，前報の場合の海浜地形変化は主として岸向き漂砂によるものであった．ところが，台風9119号の来襲により海岸線の法線に対して大きく傾いた方向から波が入射したため，沿岸漂砂による著しい地形変化が生じた．

1991年3月と1991年10月の深浅図を図-3，4に示す．1991年3月では，西側に比較して東側の汀線がやや沖に位置し，しかもバームの標高の高い部分が中央より東側にあった．これに対し，西突堤近くの測線 No. 7 ではバーム高も低く，汀線が凹状にくぼんでいた．また，-2.5 m 以浅の等深線は汀線とはほぼ平行であって，しかも等深線間隔が狭い．しかし，-2.0 m と -3.0 m の等深線の間隔は西突堤の近くで広く，東側ほど狭くなる．1991年10月の高波浪作用後の海浜形状を示す図-4で

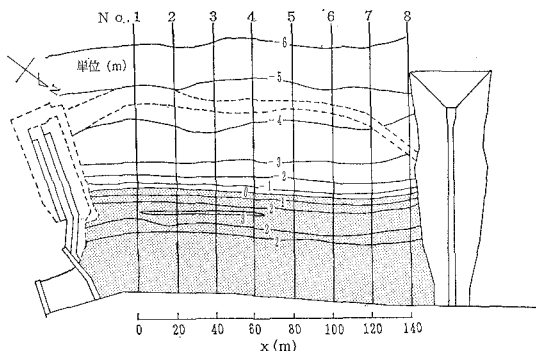


図-3 西島地区の深浅図 (1991年3月)

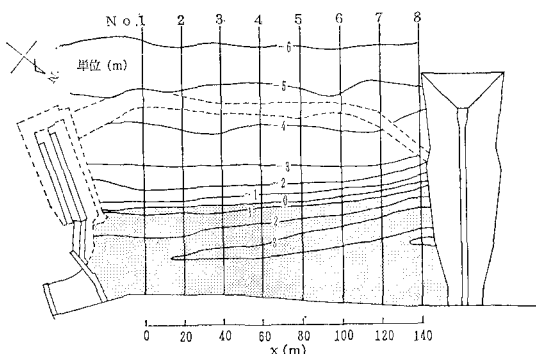


図-4 西島地区の深浅図 (1991年10月)

は，図-3 に示した特性が東西で逆転した．すなわち，①汀線は西側ほど沖向きに突出し，②バームの標高の高い部分が西突堤の近傍に形成され，③ -2.5 m 以浅の等深線も全体に西側ほど突出した．以上の地形変化は，あたかもシーソーのような変動であって，こうした地形変化は，卓越波の入射方向が測線方向に対して時計回りの方向より反時計回りの方向へと変化したため，それに伴って生じたと考えられる．また，図-4において，-3.0 m と -2.0 m の間の等深線の間隔は東側ほど広く，逆に西突堤の隣接部では非常に狭い．このことは汀線が前進した所では間隔が狭く，後退した所では広いことを示している．図-3，4とも -2.5 m 以浅の等深線は汀線と一体的に変動していることを考慮すると，上述の点は，沿岸漂砂による地形変化が生ずる場合における地形変化の限界水深がほぼ -3 m にあり，これ以深では顕著な地形変化が生じないことを意味する．

(2) 汀線変化

深浅測量のデータをもとに突堤間の汀線変化をまとめると図-5となる．高波浪の作用前，汀線は東側で前進，西側で後退する特徴を示していたが，高波浪の作用後，特性が大きく逆転した．これらの汀線変動は，波の入射

方向が西寄りから東寄りに大きく変わったため生じたものである。このような波向変動は、同じ東播海岸の江井ヶ島地先でも見られており（門松ほか，1990），これと非常に一致を示す。一方，図-5 によると，汀線の前進域の面積 166 m^2 に対し，侵食域の面積は 466 m^2 と侵食域の面積の方が約 180% 大きい。また汀線が前進も後退もしない中立断面は，突堤間の中央ではなく，それより 31m 西側にある。以上の点は，海浜変形が沿岸漂砂によるものだけでなく，岸向きまたは沖向きの漂砂が存在したことを示唆する。この点については断面形の変化よりさらに検討が加えられる。

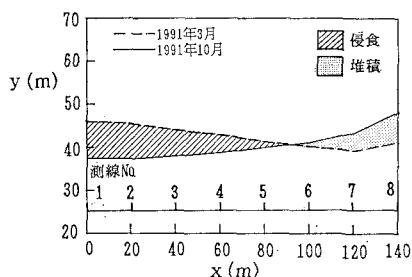


図-5 汀線変化図 (1991年3月～10月)

(3) 海浜断面形の変化

東突堤に隣接する測線 No. 1，西突堤に隣接する No. 8，そして汀線が前進も後退もしない中立的断面を挟む No. 5, 6 の断面変化を図-6 に示す。図-5 に示したように，中立断面は突堤間の中央の No. 4 よりも 31m 西側にある。測線 No. 1 では，高波浪の作用前 $h=3.0\text{ m}$ の高さをもつ高いバームが発達し，汀線付近の勾配が約 $1/2.7$ の断面形を有していたが，高波浪の作用によりバームは大きく削られた。このときの侵食範囲の沖側限界は $Z=-2.9\text{ m}$ にある。旧バームは大きく削られたが，陸側には高さ 3.0 m の新バームが形成された。このとき，新旧バームの高さは，ともに 3.0 m と変わらないことが特徴である。中立断面に近い，No. 5, 6 では，汀線付近の断面形はほとんど同一であって，前浜勾配にも変化が見られない。汀線変化を示した図-5 によれば，No. 5 はわずかに侵食域に，そして No. 6 は堆積域に入

るから，No. 5，No. 6 断面の汀線付近でそれぞれ侵食，堆積傾向を示すことは十分説明がつく。したがって汀線が前進も後退もしない位置では主として沿岸漂砂が西向きに通過するのみであったことがわかる。しかし，前浜上のバームの形態をみると，旧バームの標高 2.9 m に対し，新バームでは 3.4 m と標高が高く，またかなり多くの礫が前浜上へうちあげられている。しかし，それに見合う侵食量は断面内には見られない。以上の点は，この付近では沿岸方向に運ばれてきた礫の一部が岸向き漂砂によりうちあげられたことを意味する。一方，海面下ではともに -2.9 m 以浅においてのみ著しい地形変化が見られる。

No. 8 では，旧バーム上に大量の礫がおり，新バームが形成された。汀線付近の勾配は高波浪の来襲前が $1/2.7$ ，来襲後が $1/4.3$ とやや緩くなったが，バームの標高は 2.7 m より 3.8 m へと 0.9 m も高まった。大量の礫が堆積したが，その沖側限界はほぼ -3.0 m にあり，小潜堤の内側でのみ堆積した。

バーム高については，しばしば Sunamura (1989) の式が用いられてきているので，ここでも同様な計算を行うと，9月27日18時～28日2時の偶数時刻におけるバーム高の最大値は 3.5 m となった。実測値の最大値は 3.8 m であるから，これよりやや低い値を与えることになる。計算値が過小評価となる点は前報の場合と同様である。

図-6 に示したように，断面形の比較によれば各測線ごとに地形変化の限界水深が読み取れるので，バーム高とともにそれらを整理すると表-1 となる。これによると，地形変化の限界水深はほぼ 3 m にあり，沿岸方向の変動も小さい。一方，高波浪作用前の旧バームでは平均標高が 2.9 m であったが，作用後には 3.3 m と平均で 0.4 m の上昇をみた。また，旧バームの高さは東突堤に隣接する No. 1, 2 で高く，西側の No. 8 で低かった，これに対し新バームでは西側の No. 8 で 3.8 m ，東側の No. 1 で 3.0 m と，東側の方が 0.8 m も低いことが

表-1 地形変化の限界水深とバーム高の一覧

測線番号	地形変化の 限界水深 (m)	バーム高 (T.P.m)	
		(旧)	(新)
No. 1	2.9	3.0	3.0
No. 2	3.0	3.1	3.1
No. 3	3.0	3.0	3.2
No. 4	2.8	3.0	3.4
No. 5	3.2	2.9	3.4
No. 6	2.9	2.9	3.4
No. 7	2.9	2.8	3.5
No. 8	3.0	2.7	3.8
平均	3.0	2.9	3.3

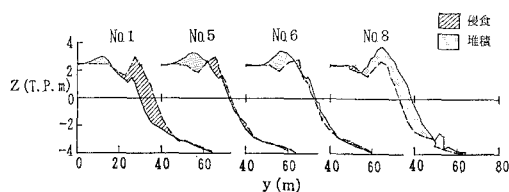


図-6 海浜断面形の変化

特徴である。先に図-5 に示した汀線変化図によれば、高波浪の作用前の汀線は東側ほど前進していたが、高波浪の作用後には西側ほど汀線が突出した。このことは、当地区への入射方向が平均的な海岸への法線方向に対し時計回りの方向より反時計回りの方向へと変わったことを意味しており、この特徴とバームの発達とはよい一致を示すことがわかる。すなわち、突堤による波の遮蔽域側ではバーム高が低く、波が集中する側ではバーム高が高くなったのである。新・旧バームで、バーム高の最大変化量を算出し、平均バーム高で割って基準化すると、旧バームでは14%、新バームでは23%の変動となる。このように新バームの方がバーム高の場所的変動が大きい。このことは、今回の高波浪の来襲では、波の入射方向が前回の高波浪の場合よりも測線方向に対して大きな角を有していたことを意味している。なぜなら、バーム高の平均値自体は海浜材料が同一である限り入射波の波高・周期に依存するが、バーム高の相対的変動は、波高の絶対値ではなく波高の沿岸方向の変化率に依存し、そしてそれは波の入射角と突堤との関係により支配されると考えられるからである。

断面図によれば、地形変化の生じている範囲が明瞭に読み取れるので、各測線ごとに断面積変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)を読み取り、両者の相関を調べると、図-7 となる。両者の間には、相関係数 $r=0.97$ と非常に高い相関で式(1)が成立する。

$$\Delta A = 6.2\Delta y + 10.7 \quad \text{.....(1)}$$

ここに、 ΔA 、 Δy はそれぞれ m^2 、 m 単位である。 ΔA と Δy の回帰係数は漂砂の移動高を与えるが、式(1)では $h=6.2\text{m}$ となる。すでに表-1 に示したように、今回の高波浪時、地形変化の限界水深とバーム高の沿岸方向の平均値はそれぞれ 3.0m と 3.3m であり、両者の和は 6.3m となる。この値は上述の移動高と一致する。このことは、今回の海浜変形がバームの頂高より地形変

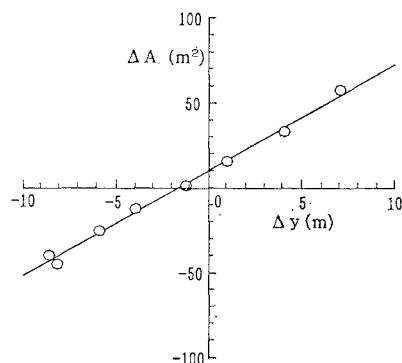


図-7 断面積変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)の相関

化の限界水深までの間でほぼ平行移動したことを意味している。さらに、式(1)によれば、 ΔA が 0 のとき、 $\Delta y \approx -1.7\text{m}$ の汀線変化が存在することになる。これは図-6 の断面図で明らかにしたように、バーム上へと岸向きに土砂が運ばれ、堆積したことを意味している。このことから、前出の図-5 の汀線変化図において汀線の後退域の面積が前進域の面積より大きかったことの説明がつく。事実、図-5 において汀線を 1.7m 沖側へ平行移動させ、各断面で一定量の岸向き漂砂があったと仮定すれば、侵食域、堆積域の面積は 262m^2 、 323m^2 となって両者はほぼ均衡する。

4. 沿岸漂砂量の算定

各測線ごとの断面積変化量に測線間隔 (30m) を乗じて、体積変化量 ΔV の沿岸分布を求めると図-8 となる。体積変化量は沿岸方向に増大し、No. 5 で最大値 2013m^3 を示したあと、再び減少する。養浜箇所は両側を突堤に囲まれており、礫はこの範囲外にほとんど流出しない。しかしながら、測線位置は突堤と完全に重なるものではないために、No. 1 の東側と No. 8 の西側にもわずかに海浜が存在し、そこでも地形変化が生じうる条件となっている。そこで、ここでは便宜上 No. 1 で $\Delta V=0$ とした。したがって実際の ΔV は図-8 に示す値よりわずかに大きくなる。ところで ΔV は、ほとんど今回の高波浪時に生じた変化であるから、その継続時間で割れば、沿岸漂砂量の沿岸分布と等しくなる。高波浪の継続時間は、 $t \approx 30\text{hr}$ であったから、No. 5 における沿岸漂砂量は $q \approx 67\text{m}^3/\text{hr}$ となる。一方、入射波高が 0.3m 以上であった30時間について、換算沖波データをもとにエネルギーフラックスの時間平均を計算し、サベージ公式により係数を逆算すると、 $f \approx 0.30$ となる。ここに、碎波角は図-5 において汀線の交差角に等しいとし、 6° とおいた。得られた係数値はサベージ公式で一般に使われている 0.217 と同じオーダーであり、しかもそれより大きな値である。このことは、礫の場合砂よりも粒径がはるかに大きいにもかかわらず、砂と同程度の動き易さをもつことを意味している。

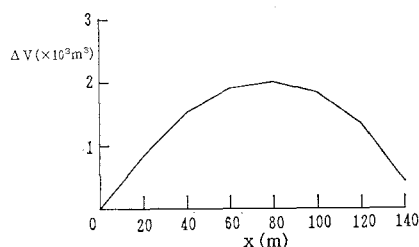


図-8 体積変化量の沿岸方向分布

5. 円形度の変化

海浜を利用する場合、碎石を用いた礫養浜では角が尖っていることが問題となる。しかし、養浜時に尖っていた礫も波の作用のもとで次第に角が取れて円みを帯びてくるはずである。このような見地より、村岡ほか(1990)は、青森海岸において礫の円形度の変化を調べ、1985年1月から1989年10月の間に円形度が0.2から0.6へとかなり増大したことを明らかにした。そこで、ここでも同様に礫とクルンバインの円形度図表を比較することにより、礫の円形度の変化を調べた。調査は1990年11月15日と、1991年2月6日に実施した。サンプリング調査では、測線 No. 1, No. 4, No. 8 の $Z=1.0\text{ m}$, 0 m , -1.0 m 付近で 1.0 kg の海浜構成材料をサンプリングし、それらをもとに円形度を調べた。結果を図-9に示す。これによると、円形度は全測線、全地点の平均で約3カ月間に0.2より0.4へと2倍大きくなり、かなり短期間で丸みを帯びることがわかった。

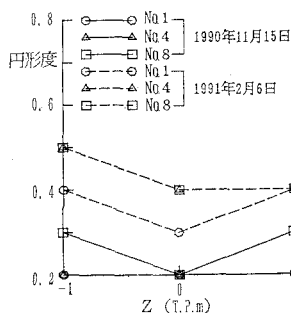


図-9 前浜堆積物の円形度の変化

6. 結 論

本研究の主要な成果は以下に要約される。

① 西島地区での礫養浜地区間では、台風9119号の気

圧低下と強風により高潮が発生して約1.3m 潮位が上昇するとともに、満潮と高波浪が重なったため著しい地形変化が生じた。そして、波が斜め入射したことにより沿岸漂砂による地形応答が生じた。前報では礫は岸向きにのみ移動し、全体として安定性が高いとしたが、今回の調査により礫浜が沿岸漂砂に対しても強い応答性を示すことが明らかになった。また、礫養浜に際しても沿岸漂砂を阻止する補助施設の重要性が高いことが示された。

② 西島地区の礫養浜区間で1991年9月下旬に発生した地形変化は沿岸漂砂と岸向き漂砂による地形変動が重なったものであり、沿岸漂砂による海浜変形では-3m ~ +3m の範囲で海浜断面がほぼ平行移動したことが見出された。また岸向き漂砂により新たなバームが形成された。

③ 礫の円形度の追跡調査によると1990年11月15日～1991年2月6日の間に磨耗により円形度が0.2より0.4と2倍大きくなり、かなり短期間で丸みを帯びることがわかった。このことは碎石も海浜材料としてかなり有効であることを示す。

参 考 文 献

- 門松 武・宇多高明・藤原 要・時沢信一 (1990): 東播海岸における養浜後の海浜地形変化, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 484-488.
- 門松 武・宇多高明・大杉広徳・伊藤弘之 (1991): 東播海岸の西島地区における礫養浜の現地実験, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 301-305.
- 村岡憲司・宇多高明・渥美雅裕 (1990): 青森海岸における礫養浜および雑石斜面の打ち上げ高・飛沫に関する現地実験, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 76-80.
- 海岸保全施設 築造基準連絡協議会編 (1987): 改訂海岸保全施設 築造基準解説, p. 269.
- 気象庁予報部 (1991): 災害時自然現象報告書, 第4号, p. 68.
- Sunamura, T. (1989): Sandy beach geomorphology elucidated by laboratory modeling, Applications in Coastal Modeling, pp. 159-213.