

小鳴門海峡周辺の漂砂に及ぼす潮流の影響

加藤 憲一*・森 健**・三井 宏***

1. 緒 言

徳島県鳴門市東部に位置する岡崎海岸は、鳴門海峡を望む景色の良さと交通の便利さで古くから海水浴場としてにぎわっていたが、年々海岸侵食が進み、使用不可能になっている。この原因の一つとして、紀伊水道を北西方向に進む大波が、大磯崎の沖で屈折して岡崎海岸に押し寄せ、この波でかき乱された砂が潮流により小鳴門海峡を北上して瀬戸内海に流出し、再び全量が戻ってこないことが考えられる。

本研究では、潮流および海底地形を考慮に入れた屈折計算法による波高比分布計算、台風接近時の天文潮位推算、底質調査および潮流による掃流力の計算を行うことにより、小鳴門海峡周辺の漂砂の定性的収支を明らかにする。

2. 流れおよび海底地形を考慮に入れた屈折計算

海底形状のみを考えた場合、紀伊水道を北西方向に進む波が大磯崎の沖で屈折し、岡崎海岸に入射することが扇型屈折図よりわかっている¹⁾。本研究においては、流れおよび海底形状を考慮に入れた屈折計算法により対象域を数値計算し、潮流をも考慮に入れた岡崎海岸周辺の波の屈折現象を明らかにする。なお、屈折計算法として wave action の保存則を用いた山口ら²⁾の方法とエネルギー保存則を用いた岩垣ら³⁾の方法を採用した。

計算対象領域は、図-1 に示す東経 $134^{\circ} 37' 32''$ 、北緯 $34^{\circ} 13' 11''$ を原点とする岡崎海岸周辺海域約 58 km^2 ($7.6 \text{ km} \times 7.6 \text{ km}$ の正方形領域)であり、この領域を格子間隔 200 m の格子網 (分割数 39×39) で表現した。静水時、北流時および南流時において、周期 T は 8 sec 、 10 sec 、 12 sec および 14 sec 、初期波向 θ_0 は 125° 、 130° および 135° を与え、合計 36 ケースについて屈折計算を行った。水深は、海図より読みとり、静水時では平均水面 (撫養港においては海図の水深 $+0.9 \text{ m}$)、北流時では

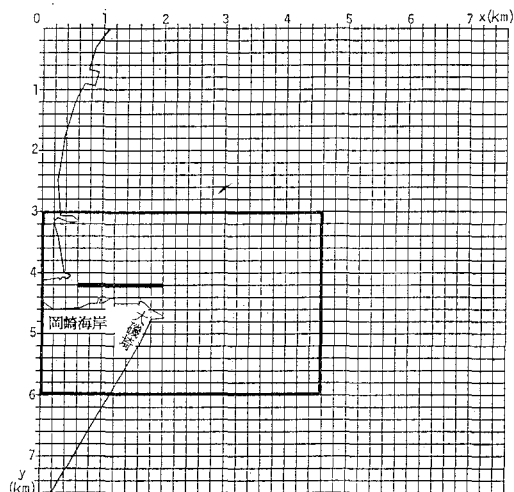


図-1 計算対象領域

大潮平均高潮面 (平均水面 $+0.5 \text{ m}$)、南流時では大潮平均低潮面 (平均水面 -0.5 m) の値とし、潮流 (流向および流速) は、海図および潮流図をもとに内挿により与えた。また、出発地点での wave ray の間隔は 5 m 、計算の時間間隔は波の周期の $1/5$ とした。

図-2、3 および 4 は $T=10 \text{ sec}$ 、 $\theta_0=135^{\circ}$ の北流、静水および南流時の屈折図であり、図-1 における $0 \text{ km} \leq x \leq 4.6 \text{ km}$ 、 $3 \text{ km} \leq y \leq 6 \text{ km}$ の領域を示している。なお、陸部に wave ray が入り込んでいるのは、陸地を含んだ格子内を海面として内挿計算しているからである。これより、北流、南流、静水を問わず、南東方向からの入射波は、大磯崎沖で屈折して岡崎海岸に入射してることがわかる。すなわち、大磯崎の沖での屈折現象は、潮流より水深変化が卓越していると考えられる。

図-5 および 6 は初期波向 $\theta_0=135^{\circ}$ の北流時における岩垣の方法および山口の方法による波高分布であり、縦軸は波高比、横軸は図-1 における $0.6 \text{ km} \leq x \leq 2 \text{ km}$ 、 $y=4.2 \text{ km}$ の地点である。図中の実線、破線、1 点鎖線および 2 点鎖線は、それぞれ周期 $T=8 \text{ sec}$ 、 10 sec 、 12 sec および 14 sec とした時の数値計算結果である。それぞれの方法において周期の違いによる波高比の変化

* 正会員 工修 日本建設コンサルタント(株)

** 正会員 工修 (株)四電技術コンサルタント

*** 正会員 工博 徳島大学教授 工学部土木工学科

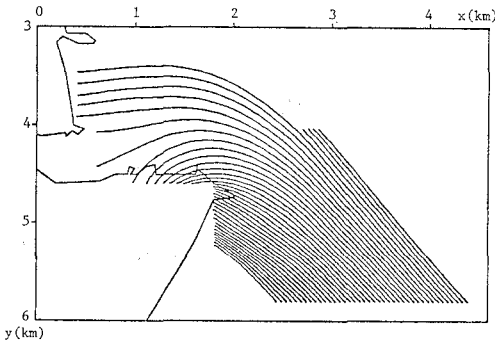


図-2 屈折図 ($T=10 \text{ sec}$, $\theta_0=135^\circ$, 北流)

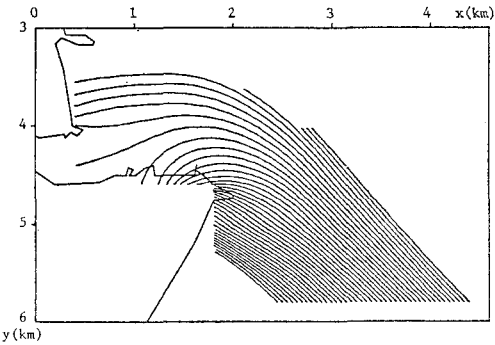


図-3 屈折図 ($T=10 \text{ sec}$, $\theta_0=135^\circ$, 静水)

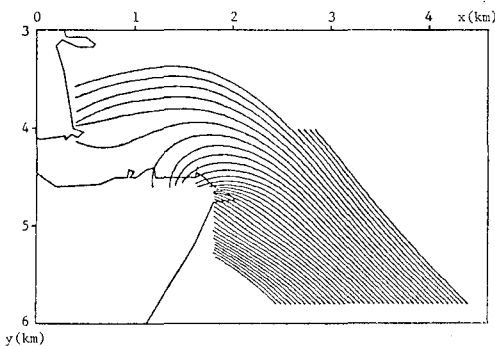


図-4 屈折図 ($T=10 \text{ sec}$, $\theta_0=135^\circ$, 南流)

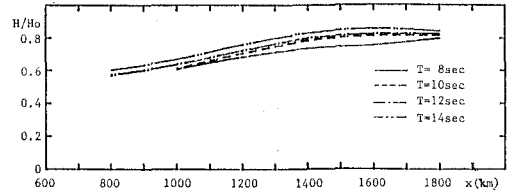


図-5 波高分布 ($\theta_0=135^\circ$, 北流, 岩垣の方法)

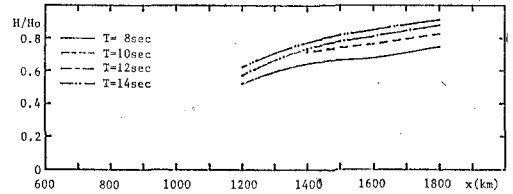


図-6 波高分布 ($\theta_0=135^\circ$, 北流, 山口の方法)

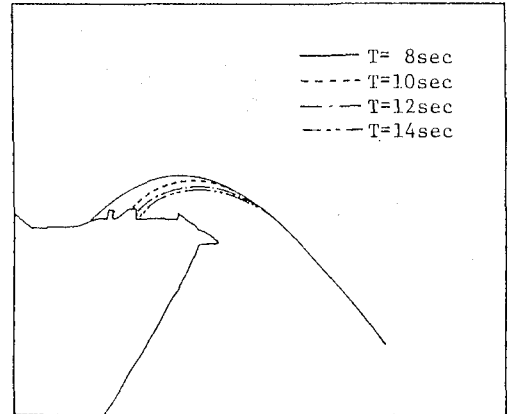


図-7 屈折図 ($\theta_0=135^\circ$, 北流, 岩垣の方法)

をみると、両者(岩垣の方法および山口の方法)とも周期が長くなるにしたがって波高比は大きくなっている。図-7 は、北流時に同一地点から $\theta_0=135^\circ$ で出発した周期の異なる wave ray を示している。これによると、周期が長くなるにしたがって波の屈折現象は激しくなり、岡崎海岸では wave ray は密集し、その結果として波高比は大きくなると考えられる。

3. 台風接近時の天文潮位推算

本研究の対象域である岡崎海岸は、過去において何回か台風による激しい侵食をうけている。そこで、過去 20

年間におよぶ台風の中から、岡崎海岸において災害および侵食を引き起こしたと思われる台風を選び出し、その台風の中心位置と同海岸における潮汐現象および侵食状況を調べた。なお、潮位 η の推算は次式より、小松島港を基準(岡崎海岸における潮時より 20 分早い)として行った。

$$\eta = \sum_{i=1}^N f_i H_i \cos(V_{0i} + u_i + \omega_i t - \kappa_i) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 f_i は分潮の指数で太陽の昇交点の平均黄経によって変化する係数、 H_i は分潮の振幅、 V_{0i} は分潮の指数で太陽の平均黄経、太陽の平均黄経および太陽の近時点の平均黄経によって変化する量、 u_i は分潮の指数で太陽の昇交点の平均黄経によって変化する量、 ω_i は分潮の角速度、 κ_i は分潮の遅角である。

潮位推算プログラムは、40 分潮の調和定数を用い、あらかじめ潮位表の値と比較して妥当性を確かめたうえで

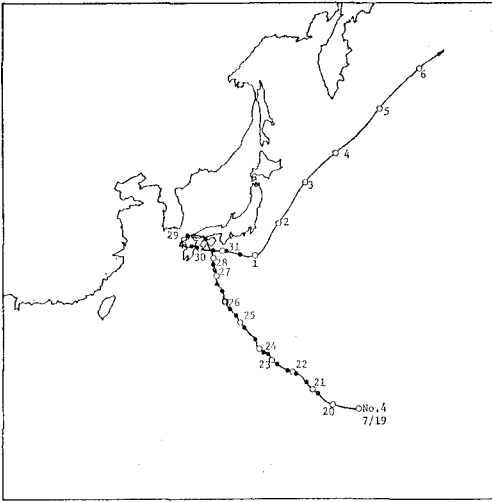


図-8 台風経路図(昭和43年)

使用した。

図-8 は、昭和43年の台風4号(台風期間7月19日～8月6日)の経路図であり、図中の○印は午前9時における台風の位置、●印は小松島港が満潮になる時刻(小鳴門海峡の北流がほぼ最強となる)における台風の位置、▲印は岡崎海岸が侵食された時刻(7月27日午前7時)における台風の位置を示す。台風4号においては侵食時刻が既知であったため、波の周期を12secと仮定して、その波の発生源を逆算すると、図中の◎印の位置(7月26日午前9時)となった。この位置からやってくるうねりは、確かに岡崎海岸へ入射すると思われるが、台風経路から考えると、この位置以後においてもうねりは岡崎海岸へ到達しているはずである。したがって、7月27日午前7時の満潮時に岡崎海岸は最初に侵食され、その後の2回ほどの満潮時に侵食が起ったのではないかと考えられる。

図-9 は、岡崎海岸がもっとも激しく侵食された昭和51年の台風13号(台風期間8月1日～8月12日)の経路図である。台風13号においては、侵食時刻がわからないので、岡崎海岸を侵食した波の発生地点での台風中心位置は正確には求められない。しかし、経路図より推定して8月5日～8月7日であるとする、発生した波がうねりとなって岡崎海岸に到達するまでに、小松島港においては数回満潮および干潮を繰り返している、大波と満潮(北流最強)とは何回か岡崎海岸で一致しているはずである。なお、図-9には、台風9号、11号および12号の経路も示してあるが、9号および11号においても台風13号と同様な現象が起ったはずである。したがって、昭和51年には13号の前に来襲した9号(台風期間7月10日～7月19日)、特に11号台風(7

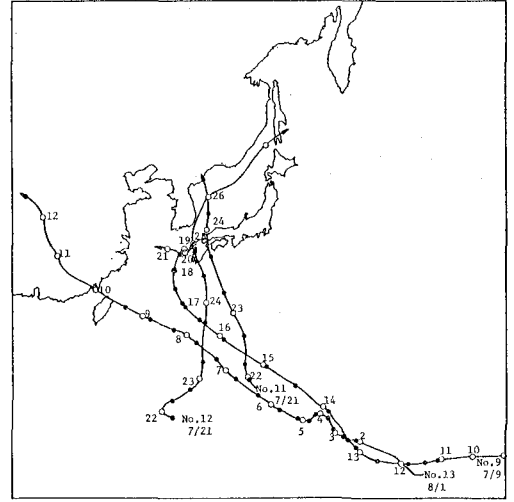


図-9 台風経路図(昭和51年)

月22日～7月24日)により、岡崎海岸はすでに相当侵食されていたものと考えられる。

4. 小鳴門海峡における掃流力

摩擦速度の算出地点は図-10に示す地点A、B、CおよびDであり、各地点における計算諸元を表-1に示す。なお、水深は平均水面下における値であり、流速は春秋大潮期の平均値である。さらに、本研究においては、北流のみを対象とする。摩擦速度の計算は、鳴門海峡における潮流の潮時を基準として南流から北流に転流してから1時間後、2時間後、北流最強時、北流から南流に転流する2時間前および1時間前の5ケースについて行った。南流・北流とも約6時間ずつ流れるので各ケースの

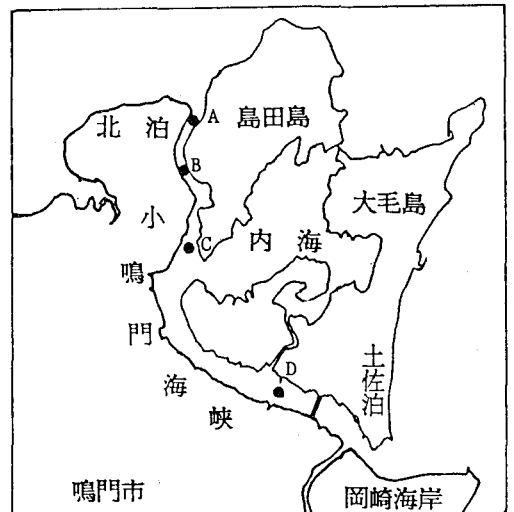


図-10 摩擦速度算出地点

表-1 計算諸元

地点 No.	水深 (m)	海峡幅 (m)	径深 (m)	流 速 (m/s)				
				転 1時間後	転 2時間後	北 流 最 強 時	転 2時間前	転 1時間前
A	5.9	126	5.39	1.18	2.57	3.29	3.24	2.83
B	10.9	144	9.46	0.41	0.93	1.13	1.03	0.72
C	16.9	198	14.44	0.15	0.46	0.72	0.62	0.05
D	8.9	486	8.59	0.66	1.34	1.54	1.34	0.67

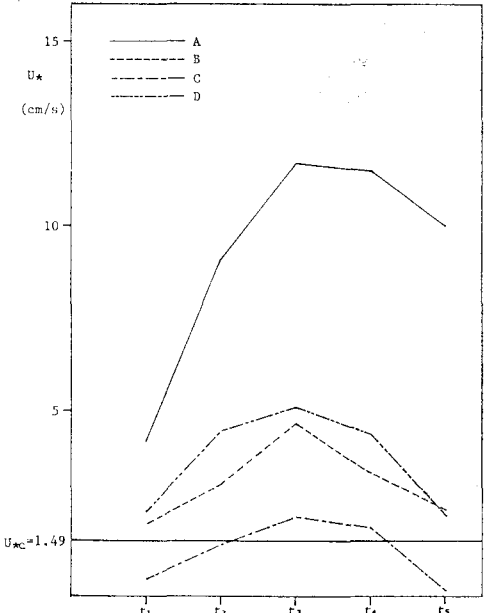


図-11 摩擦速度 (マニング $n=0.015$)

時間間隔は約 1 時間である。限界摩擦速度は、岩垣の式⁹⁾を用いて岡崎海岸の砂の中央粒径 0.211 mm に対して計算した。

図-11 は、各地点における摩擦速度と限界摩擦速度の計算結果であり、縦軸は摩擦速度、横軸は時刻を表す。ここに、 t_1 は転流 1 時間後、 t_2 は転流 2 時間後、 t_3 は北流最強時、 t_4 は転流 2 時間前、 t_5 は転流 1 時間前を示す。また、図中の太実線は岡崎海岸の砂の中央粒径から算出した限界摩擦速度 $u_{*c}=1.49$ cm/s を示す。地点 A、B および D における摩擦速度は限界摩擦速度を上回っていることより、小鳴門海峡における潮流は、岡崎海岸の砂を流送するのに十分な掃流力を持っているといえる。ところが、地点 C においては転流 1 時間後および転流 1 時間前では摩擦速度は限界摩擦速度より小さく

っている。したがって、岡崎海岸の砂は地点 C 周辺に堆積しやすいと考えられる。この地点において摩擦速度が小さい原因としては、土佐泊より北上する潮流が地点 C の手前で内海へ分流しているからであると思われる。

5. 底質調査

小鳴門海峡周辺の砂の移動状況を明らかにするために、現地の底質の採取および粒度組成分析を行い、中央粒径、ふるい分け係数および偏り度を算出した。なお、小鳴門海峡周辺を底質分析対象域とした場合、鳴門海峡を境界として砂の色に明確な違いがあることが認められている。すなわち、瀬戸内海側の砂が茶色で粒径が比較的大きいのに対し、紀伊水道側では淡い青黒色の細粒径となっている。さらに、小鳴門海峡周辺の山土が茶色であることを考えれば、砂の色も漂砂の供給源を考える上での重要な資料になった。

底質採取地点は、図-12 に示す 28 地点である。地点 1～20 および 23 は昭和 59 年 11 月～12 月に、地点 21 および 22 は昭和 60 年 3 月に底質を採取した。地点北 6～北 10 は、徳島県水産試験場鳴門分場がエクマンバージ採泥器で採取していたものを使用した。

底質の分析結果を図-13、14 および 15 に示す。なお、地点北 10～北 6 の値が存在しない理由は、これらの地点はほとんどシルトであり、ふるい分け分析ができなかったからである。図-13、14 および 15 の横軸は底質採取地点、縦軸はそれぞれ中央粒径、ふるい分け係数および偏り度である。

この分析結果と砂の色調から判断すると以下のことが言える。吉野川を供給源とする岡崎海岸の砂⁶⁾は、潮流(北流)により小鳴門海峡を北上し、北泊沖(地点 21、22; 瀬戸内海)に流出している。地点 12 より北の海峡

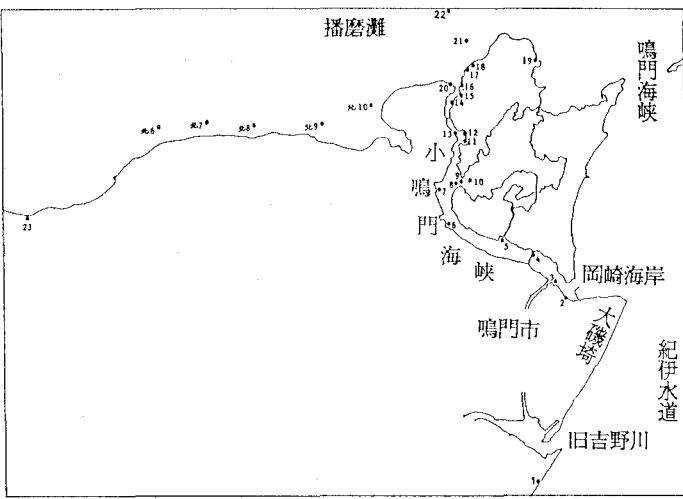


図-12 底質採取地点

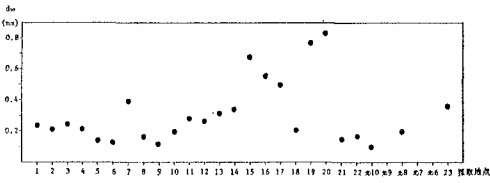


図-13 中央粒径

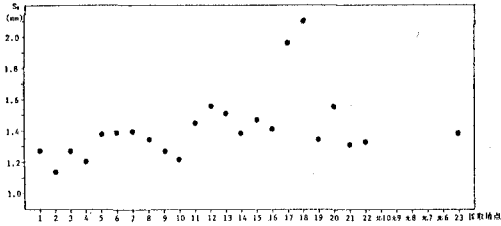


図-14 ふるい分け係数

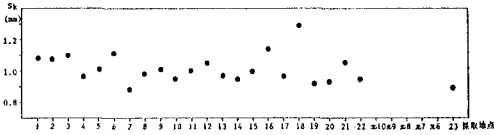


図-15 偏わい度

内において対象とする砂の堆積はみられなかったが、これは、潮流の流速が早いからである。流送された砂は、

北泊沖の急に水深が深くなっている海域で堆積している。

6. 結 言

以上を総合すれば、北流が最強流速となる紀伊水道側の満潮時刻と台風による波の来襲時刻がほぼ一致した場合、岡崎海岸の砂は瀬戸内海側へ流出して再び全量が戻ってこず、その結果、漂砂量の収支が合わなくなって侵食するものと考えられる。

最後に、本研究の屈折計算において御指導いただいた山口正隆愛媛大学工学部教授に深く感謝するとともに、この研究は文部省科学研究補助金（研究代表 近森邦英高知大学農学部助教授）によるものであることを付記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 三井 宏・加藤憲一・森 健・小泉 進：小鳴門海峡における漂砂について，第37回中国四国支部研究発表会講演概要集，pp. 201～202，1985。
- 2) 山口正隆・畑田佳男・日野幹雄・細野浩司：流れおよび海底地形による波浪の変形計算法，土木学会論文集，第357号，pp. 187～195，1985。
- 3) 岩垣雄一・酒井哲郎・岡 幸夫：流れによる波の屈折と波高変化，第24回海岸工学講演会論文集，pp. 25～29，1977。
- 4) 土木学会編：水理公式集，pp. 556～559，1985。
- 5) 椿 東一郎：水理学Ⅱ，森北出版，pp. 216～221，1981。
- 6) 三井 宏・尾島 勝・村上仁士：徳島県沿岸部における底質分布，潮位振動特性，地下水塩分の調査結果，第26回海岸工学講演会論文集，pp. 633～637，1979。