

東播海岸の潮流について

樋口 明生・中村 重久

ON TIDAL CURRENTS AT EASTERN HARIMA COAST (TOBAN COAST)

by Haruo HIGUCHI and Shigehisa NAKAMURA

Synopsis

A tidal observation was carried out along a line of 1 km perpendicular to the Eastern Harima Coast (Toban Coast), where the beach erosion is remarkable. Profiles of tidal currents are investigated: (1) Horizontal profiles along the line, (2) Vertical profiles at 20 stations on the line, and (3) Time change of vertical profiles at a station 0.2 km off the coast where the mean water depth is 4.3 m. Besides the tidal current, a remarkable component of current was found which is caused by seiche in Harima-Nada. Referring to the result of the observation, bottom friction and vertical eddy viscosity are reduced.

1. 緒 論

東播海岸は明石海峡の西、播磨灘の東北に位置する。この付近は一部で堆積しているところもみられるが全般的に海岸浸食がはげしく、海岸線が時とともに後退し、海底地形も変化している。この付近における潮流および波浪^{1) 2)}、海水交流³⁾および海岸浸食⁴⁾などについてはこれまでも研究されている。とくに海岸浸食に関しては長年にわたる調査がつけられている。ここでは東播海岸の潮流観測の結果およびそれから導かれる潮流の諸特性、とくに海底摩擦および渦動粘性について述べる。

2 潮流について

潮流観測を行なった水域は東播海岸の谷八木地区の東に位置するところである。すなわち Fig. 1 に示されるような測線 A—A' について、潮流の垂直分布および時間変化を観測した。観測は昭和40年2月13日から19日までのうち風のほとんどない時期をえらんで行なった。

この水域における流速は海岸からの距離とともに変化し、流向は 110° および 290° であって、ほとんど潮流が主成分であると考えてさしつかえない。潮流流速が最大にちかい時の、海岸より約 1 km までの範囲の水面下 1 m における流速を Fig. 2 に示す。この流速はそれぞれ一回の観測値であり、全測点の観測に要した時間は東流は約50分、西流は約30分であった。海岸から約 1 km までの海底勾配は大位1/100である。流速の水平分布には海底地形および海底勾配の効果もあると思われるが、大まかにみて流速は岸からの距離の対数に比例している。

また海岸から約0.2km、水深4.3mの測点における潮流流速の時間的变化は Fig. 3 のようになる。図には海面下 1, 2, 3, および 4 m の流速の10分毎の値を示す。また、曲線は明石瀬戸における予報潮流流速⁵⁾ ⁶⁾で、ここでは転流時と東流流速最大時の間を正弦曲線で近似した。正確には半日周潮以外の成分をも考慮すべきであるが、それに関する資料が得られなかったので用いていない。しかし、図にみるような観測結果

については上述の近似曲線が適用できると考えてよいであろう。したがってこの測点における潮流の主成分は半日周潮であると言える。そして潮流流速の最大値は約70cm/secで明石瀬戸の予報値の約 $\frac{1}{2}$ である。また位相は明石瀬戸より約2時間すすんでいる。

3. 海底摩擦力について

海水の運動にともない、その境界の一つをなす海底では海底摩擦力がはたらく。海底摩擦力は海水の運動あるいは掃流砂の問題をとりあつかう場合に必要である。

海底摩擦力をもとめるには従来ある流速分布を仮定し、この仮定にもとづいて海底摩擦速度あるいは海底摩擦力をもとめる方法をとっている。他方、海底付近の流速の乱流成分から、Reynolds 応力の形で計算する方法による例もある⁷⁾。

潮流流速の垂直分布はかならずしも対数分布則であらわされるとはいえないが、Prandtl の考えにもとづいて、海底付近の流速は準定常状態であり、流速の垂直分布は対数分布則にしたがうとしている研究例は多い^{8)~10)}。また最近、梶浦は時間的に向きを変え流れるについても流速の垂直分布が対数分布則が理論的に導かれることを示した¹¹⁾。

ここでは流速の垂直分布が海底の付近では

$$u = \frac{1}{\kappa_0} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \ln \frac{z}{z_0} \dots \dots \dots (1)$$

とあらわされるものとする。ここに u は海底上 z における流速、また κ_0 , ρ , および z_0 はそれぞれ von Kármán の定数、海水の密度および roughness parameter である。また τ は海底摩擦力である。

海底摩擦力と海面から海底までの平均流速 $\bar{u}$ との関係は次式であらわされる。

$$\tau = k\rho\bar{u}^2 \dots \dots \dots (2)$$

ここに k は海底摩擦係数である。ところで、一般に流速が海面から海底まで複雑な分布をしている場合には、平均流速 $\bar{u}$ の物理的意味が明確でなくなるおそれがある。このようなことをさける意味からも、近年おこなわれているように $\bar{u}$ のかわりに海底上 1 m における流速 $\bar{u}_1$ を用いることは妥当であると思われる。これは流速の垂直分布が複雑であっても、海底上 2 m 位までは対数分布をしている例が多いことにもとづくも

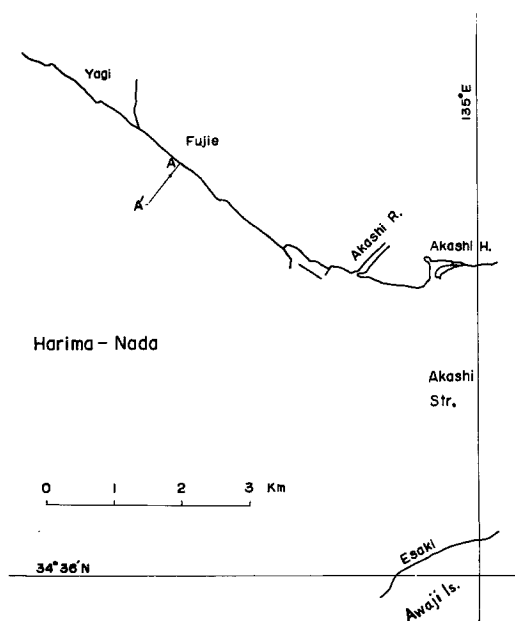


Fig. 1 Location of the tidal observation, north-eastern part of Harima-Nada near Akashi Straits.

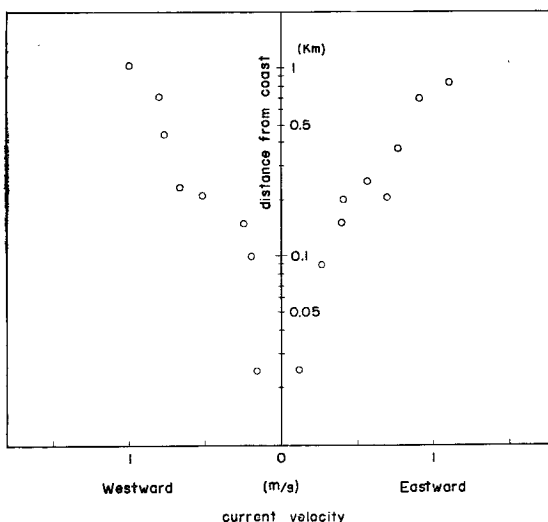


Fig. 2 Horizontal profile of maximum velocities of tidal currents on the line A—A', at the coast of Eastern Harima.

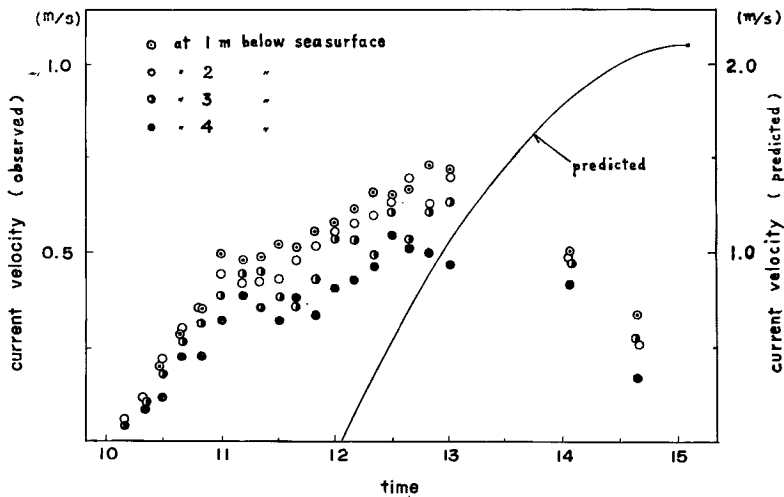


Fig. 3 Time change of tidal currents at 0.2km off on the line A—A', in which the current velocities at 1m below the sea surface are marked by a dot in a circle, at 2m below the sea surface by a circle, at 3m below the sea surface by a semi-circle and at 4m below the sea surface by a dot. The predicted tidal current at Akashi Straits drawn also.

のである。この場合 (2) 式は次のように書きかえられる。

$$\tau = k_1 \rho u_1^2 \dots \dots \dots (3)$$

ここに k_1 は k に相当する係数である。岸から 0.2 km の測点における k_1 は Fig. 4 に示されている。いま、海面から海底までの平均流速をとることができてそれが潮流流速の平均とみなせるとし、つぎのようにあらわすことにする。

$$\bar{u} = \frac{1}{\xi + H} \int_{-H}^{\xi} u(z, t) dz = \bar{u}_0 \sin \omega t, \quad \left(\omega = \frac{2\pi}{T} \right) \dots \dots \dots (4)$$

ここに ξ は平均海面から実海面までの高さ、 H は平均水深、 $\bar{u}_0$ は潮流流速最大時の流速の海面から海底までの平均値、そして T は 12 時間をあらわすものとする。この $\bar{u}$ を使って転流時から t 時間後までの tidal excursion¹²⁾ x をつぎのようにあらわす。

$$x = \int_0^t |\bar{u}| dt \dots \dots \dots (5)$$

この x を用いて $(\pi \bar{u}_0 \cdot x / \nu)$ なる量を導入し、これを Fig. 4 の横軸にとる (ν は海水の動粘性係数)、さらに潮流流速が最大時の海底摩擦係数を他の水域におけるものと対比して、それを Fig. 5 に示す。

上に述べたような条件のもとで、東播海岸における海底摩擦力の最大値は、海岸から約 0.2km では約 30 dyne/cm²、約 0.8km では約 100 dyne/cm² である。

底質が潮流によって輸送されているかどうかの判定を下すには、限界掃流力と海底摩擦力との大小関係を

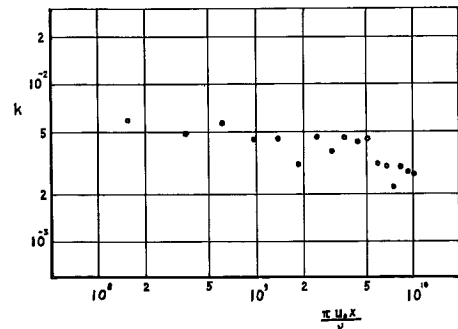


Fig. 4 Relation of tidal excursion and coefficient of bottom friction.

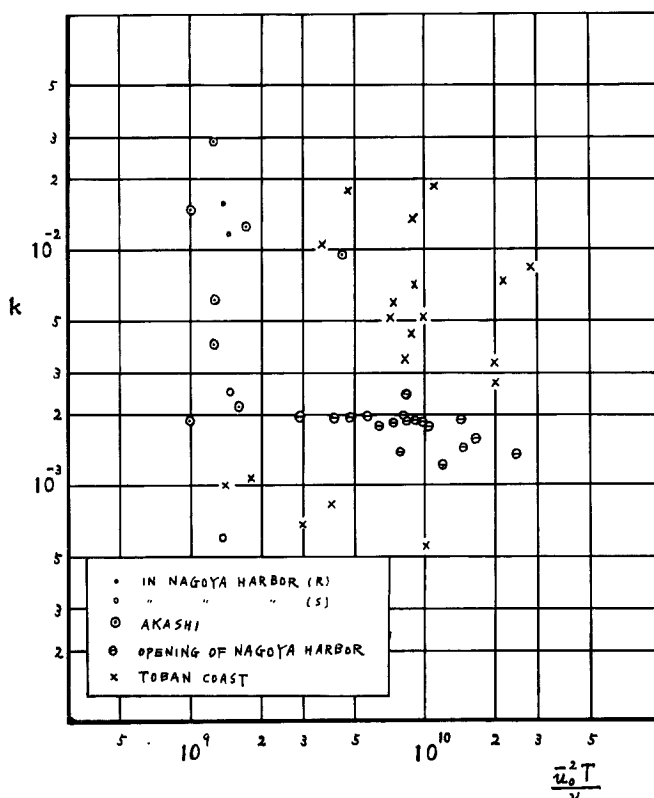


Fig. 5 Coefficient of bottom friction for the maximum tidal current velocity.

みなくてはならない。底質の平均粒径に対する限界掃流力を、一樣粒径に対する岩垣公式を適用できるとして推算し¹³⁾、これがこの水域における限界掃流力になると考える。底質の平均粒径は測線に沿って変化していて、0.15mmから20mmの値をとっているが、全体的にみて平均粒径は0.5mmである。潮流流速が最大の場合、二、三の測点については海底摩擦力と限界掃流力とがほぼ同じ値となるが、ほとんどの測点で海底摩擦力は限界掃流力よりも小さい。したがって平均粒径をもつ底質については潮流のみによる輸送はほとんどないとみてよいであろう。さらに厳密を期するならば底質の堆積の状態および海底の凹凸をも考慮しなくてはならないが、このような状態を正確に知ることは容易ではない。潮流観測時の目視観測によれば水深約5m以浅では海底の顕著な凹凸は認められなかった。なお、(1)式の z_0 の値は $10^{-3} \sim 10^{-1}$ cmの範囲であるから、この z_0 は底質の平均粒径に近い。このことは海底を平坦であるとみなすことができるということに対する根拠を与えるものとおもわれる。

4. 垂直渦動粘性係数について

海水の運動や漂砂を考える場合、海水の内部摩擦力がどのような大きさであるかを見積もっておくことはいろいろの意味で必要であるとおもわれる。この内部摩擦力は渦動粘性力という言葉でもあらわされる。渦動粘性力 τ は流れの速度こう配に比例すると考え、比例係数 η を導入すれば、この関係は

$$\frac{\tau}{\rho} = \eta \text{ grad } u \dots \dots \dots (6)$$

であらわされる。流れの垂直方向の速度こう配による渦動粘性力 τ_z は

$$\frac{\tau_z}{\rho} = \eta_z \frac{\partial u}{\partial z} = \overline{u'w'} \quad \dots\dots\dots (7)$$

であらわされる。ここに η_z は垂直渦動粘性係数とよばれるもので、時間と場所との函数である。また u' および w' は流速 u に対して同じ方向および垂直方向の乱流成分であり、 $u'w'$ は u' と w' との積の平均をあらわす。 u' および w' が知られていないとき τ_z を見積ることは容易ではない。その一つの試みを前に行ったが¹⁴⁾、ここでは u' および w' は知ることはできないが u の垂直分布が与えられているとき (7) 式によって τ_z あるいは η_z をもとめる一便法を考える。いま、垂直方向に δz 距ったところでの流速の差を δu とし、

$$w' \sim \alpha u', \quad u'^2 \sim (\delta u)^2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

なる近似が成立つようなとき、(7) 式より

$$\eta_z \frac{\partial u}{\partial z} \sim \rho \alpha \overline{u'^2} \sim \rho \alpha (\delta u)^2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

α は比例係数で、どのような数値をとるかは明確ではないけれども、ここでは $\alpha \sim 1/2$ ととる。また $\partial u / \partial z \sim \partial u / \partial z$ と書けるならば

$$\eta_z \sim \frac{1}{2} (\delta u \cdot \delta z) \quad \dots\dots\dots (10)$$

を得る。

海岸から約 0.2 km における流速の観測結果によると播磨灘の静振によるとと思われる流速の変化が潮流に

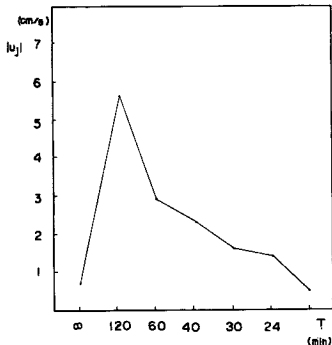


Fig. 6 The result of harmonic analysis of the residual component of current, which is reduced by subtraction of tidal current from the observed current.

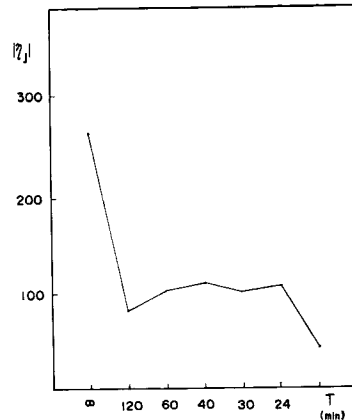


Fig. 7 The result of harmonic analysis of coefficient of vertical eddy viscosity.

よる流速に重なっているようである。流速の観測値から潮流の周期をもった成分を引き去ったものを、播磨灘の静振の周期2時間を基本周期にえらんで調和解析した結果は Fig. 6 のようである。この調和解析には各成分について海面から海底までの平均値を用いた。この図によると播磨灘の静振の周期をもった流速の成分は約 6 cm/sec であることがわかる。これは潮流流速の成分の約1/10である。(10) 式を用いて計算した垂直渦動粘性係数は深さによって異なった値をとり、時間的にも変化する。この変化には潮流が関与しているものと考えられるが、潮流流速の周期に対応した変化は顕著であるとはいえない。また、計算によって得ら

れた垂直渦動粘性係数の海面から海底までの平均について周期2時間を基本周期にとって調和解解すると Fig. 7 のようになっており、あらゆる周期の成分が同程度の大きさであるといえる。

なお、垂直渦動粘性係数の諸地域で得られたものを Fig. 8 にプロットしてみた^{8) 9) 14) 15)}。すなわち、たて軸には速度こう配、横軸は垂直渦動粘性係数、そしてパラメーターとして渦動粘性力 τ_z をとる。Fig. 8 に Mersey River 河口および Red Wharf 湾^{16) ~ 18)} における資料から τ_z の範囲を図示したが、計測法が

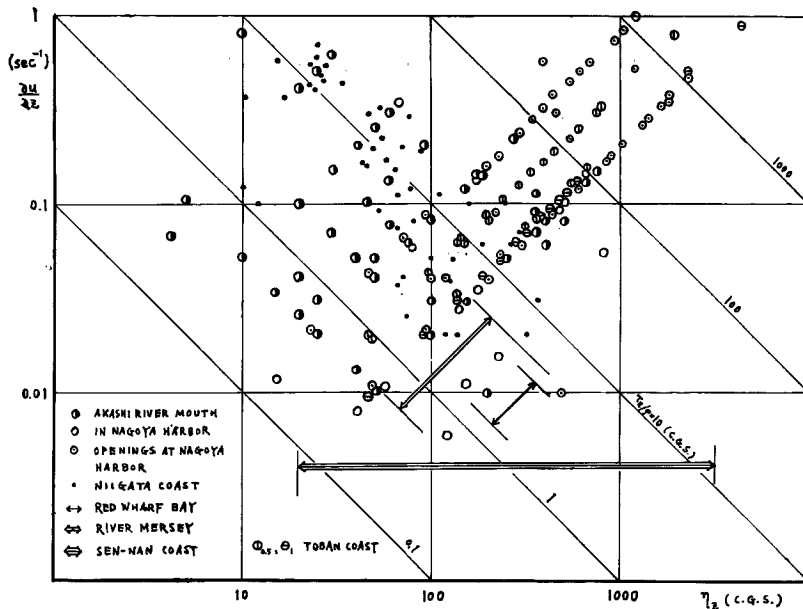


Fig. 8 The characteristics of locality in coefficient of vertical eddy viscosity.

異なるので速度こう配および垂直渦動粘性係数を明示できなかった。また泉州海岸¹⁹⁾ における資料も計算法が異なるので、垂直渦動粘性係数のとる範囲のみを図示した。この Fig. 8 から、地域、計測法、あるいは計算法が異なっても、海岸付近の垂直渦動粘性係数は $1 < \eta_z < 5000$ なる範囲にあるとみてよい。さらに言うならば、東播海岸の垂直渦動粘性係数は名古屋港高潮防波堤開口部における値とよく似ている。

5. 結 論

東播海岸における潮流の最大流速は海岸からの距離の対数にほぼ比例している。潮流流速の時間的変化は明石瀬戸の予報潮流流速にくらべて約2時間位相がずんでいる。

海底摩擦係数は、従来いわれている値よりも大きく、平均として 5×10^{-3} である。また海底摩擦力は底質の平均粒径に対する限界掃流力と同程度か、それより小さい。

観測された流速には潮流の成分以外に播磨灘の静振によると思われる流速の成分も含まれているが、垂直渦動粘性係数には特定の周期の成分が卓越するという傾向はみられない。

また垂直渦動粘性係数の値に地域差があると考え、東播海岸は名古屋港高潮防波堤開口部とよく似ているといえる。

この研究を報告するにあたり、終始御激励、御指導いただいた岩垣雄一教授、有益な討論をいただいた東京大学梶浦欣二郎教授、ならびに観測に際していろいろと御便宜をはかっていただいた建設省近畿地方建設局に深甚なる謝意をあらわす次第である。

参 考 文 献

- 1) 樋口明生, 中村重久: 東播海岸における潮流の二, 三の特性について, 第2回災害科学総合講演会論文集, 1965, pp. 39~42.
- 2) 市栄誉: 東播海岸の潮流および波浪について, 中央気象台海洋報告, 第2巻第2号, 1957.
- 3) Hayami, S., Y. Fukuo and D. Yoda: On the ex-change of the watermasses between the Seto Inland Sea and the open sea through the Akashi Strait and the Naruto Strait, Rec. Oceanogr. Works in Japan, Sp. No. 1, 1957, pp. 27~33.
- 4) Ishihara, T., Y. Iwagaki and M. Murakami: On the investigation of beach erosion along the north coast of Akashi Strait, Coastal Eng. Japan, vol. 1, 1958, pp. 97~110.
- 5) 海上保安庁編: 昭和40年潮汐表第1巻(書誌761), p. 205.
- 6) 防災ハンドブック編集委員会編: 防災ハンドブック, 第6編海岸防災, 1964, p. 611.
- 7) Bowden, K. F., and M. R. Howe: Observations of turbulence in a tidal current, J. Fluid Mech., vol. 17, pt. 2, 1963, pp. 271~284.
- 8) 樋口明生, 中村重久: 名古屋港および明石川河口付近における潮流の二, 三の特性について, 京大防災研究所年報第8号, 1965, pp. 439~457.
- 9) 中村重久: 防波堤開口部の潮流にともなう海底摩擦および垂直渦動粘性係数について, 第11回海岸工学講演会講演集, 1965, pp. 94~97.
- 10) Charnock, H.: Tidal friction from currents near the sea bed, Geophys. J. Roy. Astro. Soc., 2, 1959, pp. 215~221.
- 11) Kajiura, K.: On the bottom friction in an oscillatory currents, Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. of Tokyo, vol. 42, 1964.
- 12) 防災ハンドブック編集委員会: 防災ハンドブック, 第6編海岸防災, 1964, p. 586.
- 13) 岩垣雄一: 限界掃流力に関する基礎的研究, 土木学会論文集第41号, 1956, pp. 1~21.
- 14) 樋口明生, 中村重久: 名古屋港の潮流観測について, 京大防災研究所年報第7号, 1964, pp. 410~419.
- 15) 新潟港技術調査委員会: 新潟港の埋没並びに海岸欠損について, 新潟港技術調査報告書第1報, 1958, pp. 32~57.
- 16) Bowden, K. F., and M. R. Howe: Observations of turbulence in a tidal current, J. Fluid Mech., vol. 17, Pt. 2, 1963, pp. 271~284.
- 17) Bowden, K. F.: Measurements of turbulence near the sea bed in a tidal current, J. Geophys. Res., vol. 67, No. 8, 1962, pp. 3181~3186.
- 18) Bowden, K. F., and L. A. Fairbairn: Measurements of turbulent fluctuations and Reynolds stresses in a tidal current, Proc. Roy. Soc., A, 237, 1956, pp. 422~438.
- 19) Ichie, T.: A short note on energy transfer from wind to waves and currents, Oceans Mag., Vol. 4, No. 3, 1953.