

鼻栗瀬戸航路の拡幅工事に伴う潮流の変化について

武岡 英隆*・河内 隆秀**

1. まえがき

瀬戸内海の芸予諸島内にある鼻栗瀬戸(図-1)は、本州と四国を結ぶ重要な航路であるが、その最狭部は幅200m余りと狭い上に潮流は速く、船舶の衝突や座礁が懸念される。このため、昭和58年度から60年度にかけて、航路の拡幅のため岸近くの浅瀬が撤去された(図-2)。本研究では、工事の前後の潮流調査の結果から、浅瀬の撤去によって潮流に生じた変化を明らかにする。これによって、将来も予想される強潮流水路内での浚渫等の工事による地形変化が、潮流にどのような影響をおよぼすかについての基礎的な知見を得ることが本研究の目的である。

2. 潮流の変化の概要

現地調査は、剝離による後流域の形成等の特異な潮流の見られる下げ潮について行った。その結果明らかとなった潮流の変化は、以下の2点に大別される。

第1は、陸岸突起部(図-2(a)中央部)から北に延びた浅瀬の直上および近傍の潮流の変化である。図-2(c)に、多数の浮子の流下の写真追跡から求めた撤去前後の大潮の下げ潮最強時の流速ベクトルを示す。破

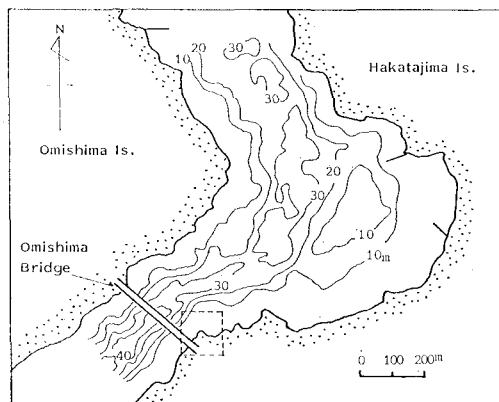


図-1 鼻栗瀬戸の海底地形

線が撤去前、実線が撤去後のものである。浅瀬撤去前は浅瀬の上流側で流れが弱く、浅瀬直上から下流にかけて流速が最大となっていた。これに対し、撤去後は全般に旧浅瀬付近の流速は均一化した。また最大流速は、撤去の前後で大きな変化はなく、流向が撤去前は水路内の主流方向と大きく交差する向きであったのに対し、撤去後は主流方向に沿う向きに変化した。

第2は、後流域の変化である。図-2(c)に示すように後流域は撤去後狭くなり、さらに撤去前は微弱であ

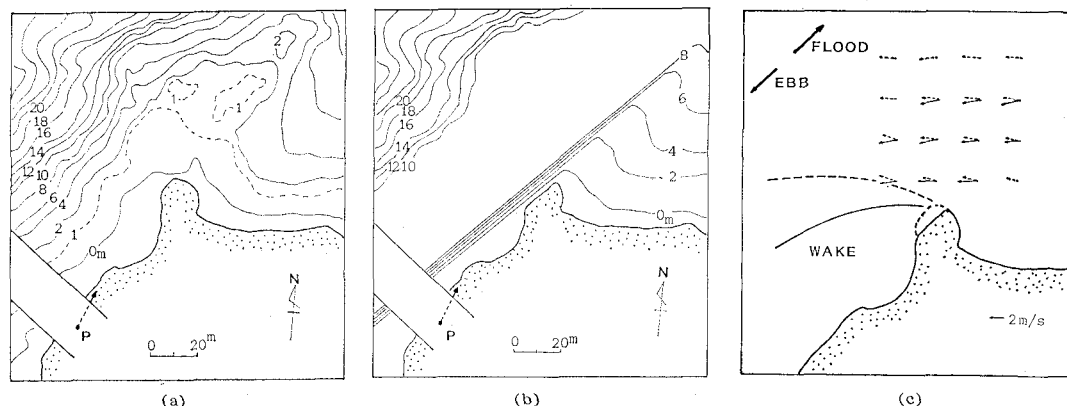


図-2 (a) 浅瀬撤去前の海底地形、(b) 浅瀬撤去後の海底地形、(c) 浅瀬付近の潮流の変化の模式図

* 正会員 理博 愛媛大学助教授 工学部海洋工学科

** 正会員 運輸省第三港湾建設局松山港工事事務所長

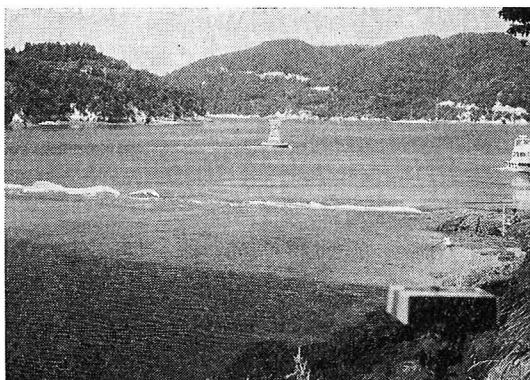


写真-1 浅瀬撤去前の後流域の海面状態



写真-2 浅瀬撤去後の後流域の海面状態

った流動が(写真-1, 図-2のP点から撮影), 撤去後は激しい乱流状態を呈するようになった(写真-2)。ここでは全般的には海面での発散が観察され, この領域に



写真-3 浅瀬撤去後に生じた渦

強い上昇流が存在することが推測された。また, 後流域と主流の境界では強い収束が観察され, 下降流が存在することが推測された。さらにこの境界部には中心部で強い吸い込みを持つ渦列(いわゆる渦潮)が発生するようになった(写真-3)。

この第2の変化は顕著な変化であり, そこでの流動の構造や発生機構を解明することは潮流の変化を明らかにするうえで極めて重要と考えられる。このため, 後流域での鉛直流の観測と, 鉛直流の形成機構に関する水理実験を行った。これらの結果を以下に述べる。

3. 後流域における鉛直流の観測

観測は, 大潮期の1986年12月2日に行った。使用した流速計は, アレック電子製 ACM-4 型電磁流速計で, この流速計は3次元の流速, 流速計の方向と傾斜, 水深, 水温を最小0.5秒間隔で測定し, 内蔵のメモリーに

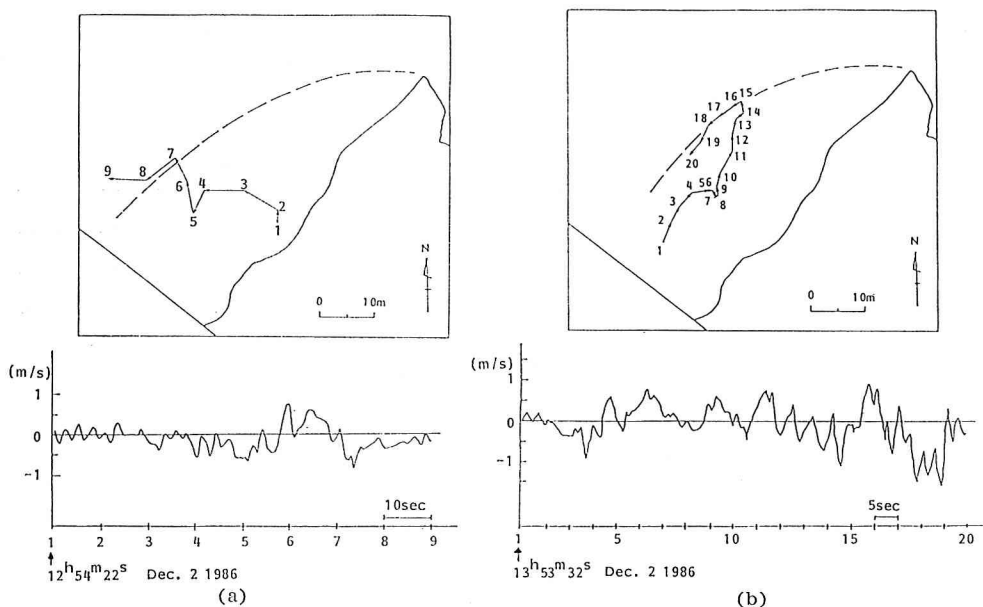


図-3 鉛直流速(下段)と測定位置(上段)(下段の横軸の番号が上段の番号の位置に対応する)

記録するものである。この流速計を調査船の船首にロープで吊して海面下約 3 m に保持し、後流域より本流域へと低速で移動しながら 0.5 秒間隔で記録を取った。これを、下げ潮初期から下げ潮最強時にかけて数回行った。このようにして得られた流速のうち、水平流速については船の移動のため値は正しくない。鉛直流速については、(1) 船の振動、(2) 流速計の傾き、(3) ロープの傾きによる流速計の上下等による成分が真の値に加わる。(1) による成分は短周期の振動であるので、平均によって除去できる。(2) は、流速計の傾斜の値から補正できる。さらに (3) による鉛直成分は、水深の値の変化から計算できるのでこれも除去できる。なお、これらの観測と同時に陸上から写真、ビデオの撮影を行い、写真解析によって船位を求めた。

観測結果の例を図-3 に示す。これらの図は、移動した船の船首の軌跡を平面図中再現し、その時刻の鉛直流速を測器の傾斜角度等から補正して求めたものである。各図の下段は鉛直上向きの流速で、横軸は時間であり、上段は写真解析によって求めた横軸の番号に対応する測点の位置である。また、図中の点線で示される部分は本流と後流域の境界、すなわち渦潮の発生する場所の概略の位置を示す。

図-3 (a) は 12 時 54 分頃の下げ潮の初期のものである。この時期には、海面状態の視察によれば点線の付近に水平収束が起こりかけており、従って下降流の存在が推測されるが、渦の形成はまだ明瞭でない。後流域中央部において (横軸 1~4) は、2 秒程度の周期の振動があるが、これは船の振動と思われる。この付近には大きな鉛直流はない。また、ここから境界までの間では、4~6 で 0.5 m/s 程度の下降流がみられ、6~7 で 0.5~0.7 m/s の上昇流がみられる。さらに、境界部 (7) 付近でも同程度の下降流がみられる。

図-3 (b) は 13 時 53 分頃の渦潮が明瞭に形成されている下げ潮最強時の結果である。1~12 の後流域中央部では、上昇流と下降流が交錯しており、流速はいずれも 0.5~0.8 m/s に及ぶ。この時期の後流域では、写真-2, 3 のように上昇域がいくつかの cell に分かれていることが視察により認められる。この付近から境界までの間では、1 m/s 程度の下降流が存在し、その後同程度の大きさの上昇流が現れ、さらに再び下降流がみられる。境界部では、下降流速が 1.5 m/s にも及んでいる。ここで特徴的なことは、境界の内側で下降域が存在し、それから一度上昇域を

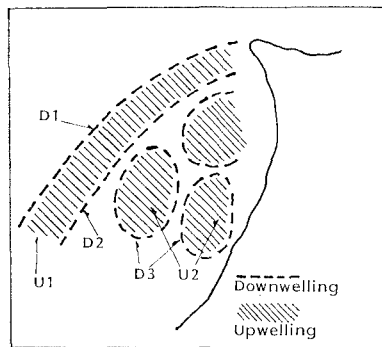


図-4 後流域における鉛直流の分布の概念図

経て境界で再び下降域が存在していることである。

以上の観測結果と現場での視察から、上昇域と下降域の分布を概念的に表したものが図-4 である。後流域にはいくつかの上昇域 (U1) が cell 状に存在し、それらの縁辺部は下降域となっている (D3)。後流域中央部での流速観測結果に上昇流と下降流が交錯して表れていたのはこのためと考えられる。また後流域と本流の間には帯状の上昇流 (U1) が存在し、この両側は下降域 (D1, D2) となっている。この帯状の上昇域は写真-3 に明瞭に認められる。この上昇域の両側の下降域のうち本流側の下降域 (D1) が特に強く、渦列は主としてこの部分に生じるが、内側の下降域 (D2) に渦が生じることもある。これらの上昇・下降流の速度は、場所により 1.5~2 m/s にも及ぶ極めて強いものである。

4. 実 験

観測で明らかになったような後流域での強い鉛直流の発生機構を検討するため、幅 50 cm の水路で簡単な水理実験を行った。実験は水路の一部に長さ 25 cm の突堤を設けた場合 (図-5 (a)) と、この突堤の上流側に斜面を設けた場合 (同 (b)) の 2 通りの地形について行った。この (b) は、図-2 (b) に見られる現況の

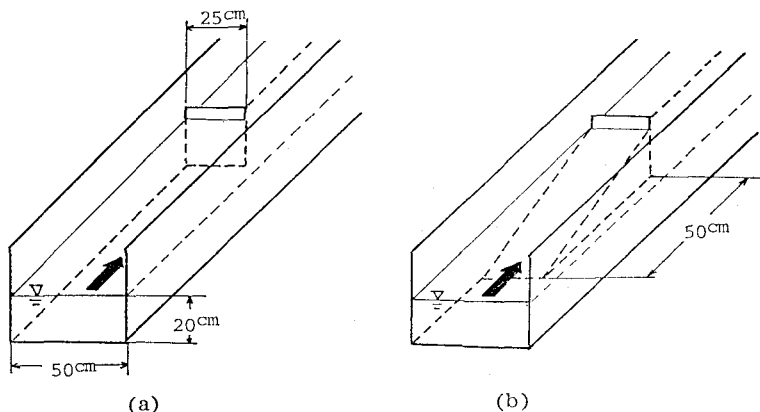
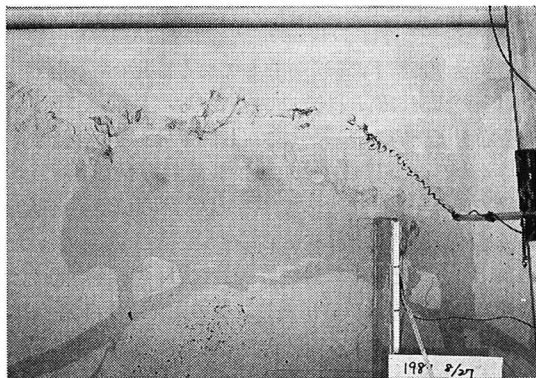


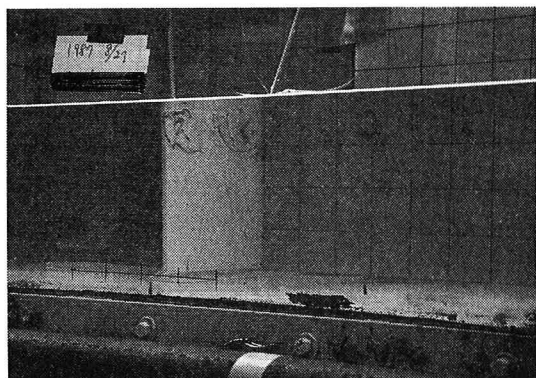
図-5 水理実験の地形

地形を単純化したものである。水深は 20 cm で、与えた流速は海峡部で約 15 cm/s である。この実験は鉛直流の発生機構についての定性的検討が目的であるので、相似律については細かく考慮していないが、Froude 数は模型と原型で大差ない。

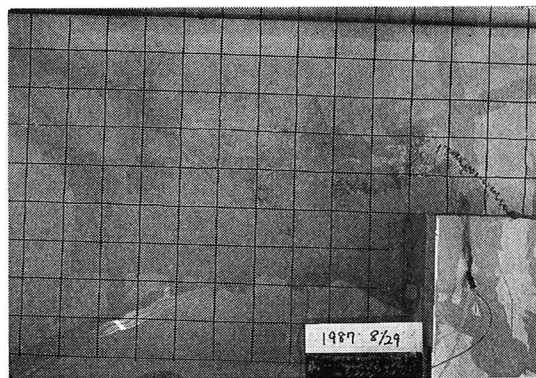
結果の例として、2色の染料によって可視化したものを写真—4~7 に示す。濃く見えるのが青色、薄く見えるのが赤色の染料で、写真のような位置から連続的に投入している。突堤のみの場合の写真—4 では、2色の染料は並行して流れ、側面から見ると(写真—5)明瞭な鉛



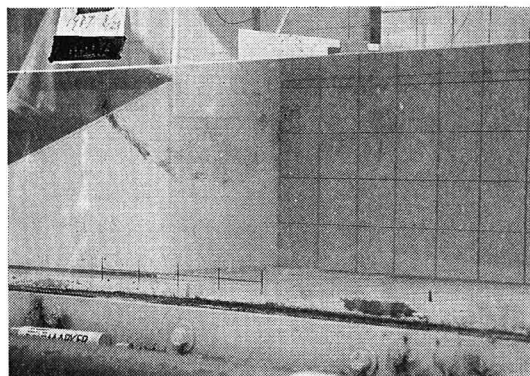
写真—4 実験結果（斜面なし、平面）



写真—5 実験結果（斜面なし、側面）



写真—6 実験結果（斜面あり、平面）



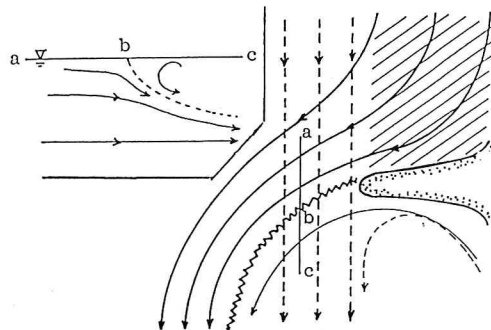
写真—7 実験結果（斜面あり、側面）

直流は認められない。一方、斜面を付けた場合の写真—6 では写真—4 とは対照的に2色の染料が交差している。側面からの写真—7 より、この交差は青色染料が大きく沈降して赤色染料の下に潜ったためであることがわかる。さらに青色染料は、後流域内部で上昇していることもわかる。これらの結果は、突堤の上流側に斜面を付けたことにより、後流域と主流域の境界で強い下降流が、また後流域内部で強い上昇流が発生することを示している。

5. 考 察

図—4 に示されるように、鼻栗瀬戸での後流域の鉛直流の構造は極めて複雑である。実験では、このような複雑な構造の流れが起こっているかどうかは定かではないが、後流域内部での上昇と境界部での下降という鼻栗瀬戸以外の海域でも観察される海峡部の一般的な流動構造は再現されている。このような鉛直流の発生機構は以下のようなものと考えられる。

図—6 のように潮流中に岬等の突起があるとし、この上流側（斜線部）に浅瀬があるとす。この浅瀬の深さより上層の流れは突起により曲げられ、突起の先端で剝離し、図の実線のようになるであろう。一方浅瀬の深さより下層の主流部の流れは突起による影響を受けず、図の破線のように直線的に流れると考えられる。この結果



図—6 鉛直流の発生機構の模式図

後流域の上層と下層には強い鉛直シアが生じ、図-6の左のように、境界部(破線)で下降流、内部ではそれを補う上昇流が発生すると考えられる。このような機構は突堤上流側に浅瀬あるいは斜面がある場合のみでなく、かなり一般的に存在すると思われる。なぜなら、岬等の海岸が平坦な海底から垂直に海面まで立ち上がっているのではない限り、先端部での曲率は下層の方が小さく、流れは下層で剥離しにくくなり、上層と下層の間に鉛直シアが生じて図-6とほぼ同様のことが起こると考えられるからである。

後流域に発生する鉛直流については、このような機構の他に渦の底での粘性境界層における収束に伴う上昇流とその縁辺部での下降流が考えられる(Wolanskiら¹⁾、大西ら²⁾)。これは、渦では回転運動により海面では中心が凹み、これによる圧力勾配と遠心力がバランスするが、底層では粘性による流速の低下のため遠心力が小さくなり、圧力勾配力が遠心力を上回って収束が生じるというものである。しかし鼻栗瀬戸の場合、観察によれば後流域全体の回転速度はあまり大きなものではない。さらに、上昇域の中心部では凹みは見られず、むしろ盛り上がっていることが観察される。したがって、このような機構による鉛直流は、鼻栗瀬戸の場合、発生している

としてもわずかなものであろう。

6. あとがき

以上、本報告では鼻栗瀬戸における浅瀬撤去により潮流に生じた変化の概要を示すとともに、撤去後の後流域に生じた鉛直流について、観測によりその構造や強さを明らかにした。さらに、簡単な水理実験によってこの鉛直流の発生機構について考察した。この実験は極めて粗い定性的なものであり、今後はより詳しい定量的な実験を行っていく予定である。

最後に、本研究を行うにあたり貴重な討論をして頂いた愛媛大学工学部柳哲雄博士、観測、実験に御協力頂いた元愛媛大学工学部学生津留浩光氏および吉井敏史氏、観測に御協力頂いた本四連絡橋公団第三建設局今治工事事務所大三島支所の関係各位に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) Wolanski, E., J. Imberger and M. L. Heron: Island wakes in shallow coastal waters, J. Geophys. Res. Vol. 89, pp. 10553~10569, 1984.
- 2) 大西外明・西村 司: 渦水域における上昇流の観測とその発生機構に関する考察, 第23回水理講演会論文集, pp. 123~130, 1979.