

鮫川河口部の短期的な地形変化に関する現地調査

清水 琢三*・横山 博実**・野谷 斎**
 近藤 浩右***・鍋木 宏****

1. ま え が き

河口部の漂砂現象は、波による岸沖漂砂、沿岸漂砂、swash zone の漂砂ならびに河川を遡上・流下する潮汐流と河川流による漂砂が同時に複合して生じるため、極めて複雑な現象である。これまで著者らは、福島県鮫川河口を対象として、主として月1回の汀線測量と最狭部における河口断面測量をもとに、大出水後の河口断面縮小過程について検討を行ってきた。その結果、長期的な河口断面変化については、断面縮小に伴う潮汐流の通過流量の低減効果を考慮して河口通過流による漂砂量を適切に評価すれば、河口部の漂砂を波による流入作用と流れによる排除作用が独立に作用するものとしてマクロ的に取り扱えることがわかった¹⁾。しかしながら、河口閉塞の問題を考えると、河口部全体で同時に閉塞が生じるわけではなく、波の作用の大きな海側の一部でまず生じるものと考えられるので、短期間の平面的な砂州変動を水深変化を含めて予測することが不可欠となる。そのためには冒頭で述べた種々の漂砂の短期的な地形変化への寄与について明らかにする必要があるが、これまでのようにせいぜい月1回の地形測量データでは短期的な地形変化と外力の関係を議論するには不十分である。そこで、波、流れ、砂移動と地形変化に関する集中観測を実施した。

2. 現地調査の概要

2.1 調査項目と調査方法

昭和61年3月14日から30日までの17日間にわたり、図-1に示す福島県鮫川河口部において以下の現地観測を実施した。図-1には各調査の調査地点も示されている。

(1) 入射波調査

河口前面の沖合水深-15m付近と-5m付近の2地点に、電磁流速計と超音波波高計をそれぞれ同期させて設置し、調査期間中の入射波を観測した。

(2) 河口部地形測量

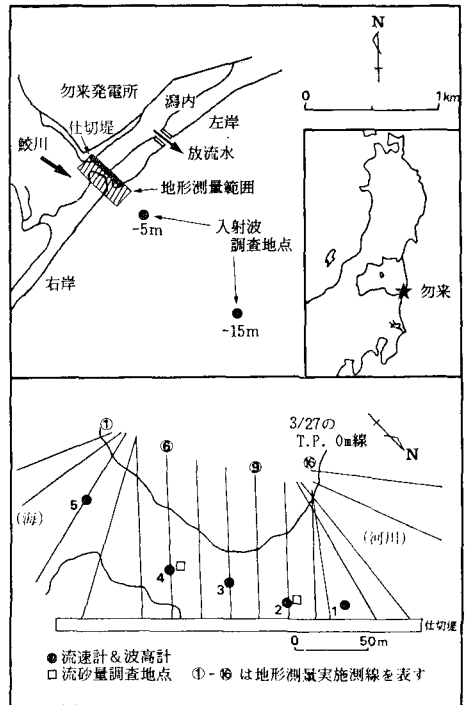


図-1 調査地点位置図

調査期間中に8回、代表16測線において測点間隔2.5mで断面測量を実施した。

(3) 河口部水位・波浪・流速調査

河口部の代表5地点に、容量式波高計と電磁流速計を設置し、砂移動の外力である波と流れの場を測定した。基本的には昼間のみ30分間毎に10分間計測したが、3月18、20、26～28日の5日間は昼夜連続観測を実施した。また、1日1～2回、容量式波高計の絶対高さと傾きを測量して波高計の出力を補正した。

(4) 流砂量調査

波と流れが共存する河口部での砂移動を定量的に把握するため、上げ潮時(26、27日)と下げ潮時(18、29日)の計4回、バケット式トラップおよび吹き流し式トラップを用いて流砂量を直接測定した。上流側と下流側の2つの調査地点において合計144試料を得た。なお、1回の計測時間は流れの速さに応じて1～5分とした。

* 正会員 工修 五洋建設(株)土木設計部

** 正会員 五洋建設(株)土木設計部

*** 正会員 工修 五洋建設(株)技術部技術企画課

**** 正会員 常務共同火力(株)取締役土木建築部長

2.2 調査期間中の外力

水深 -15m 地点の有義波高, 有義波周期と主波向, 小名浜港と河口部 No. 3 地点の実測潮位, 河口部 No. 3 地点の平均流速ベクトル, 河口部 No. 3 および No. 4 地点の有義波高ならびに河川固有流量 (沼部ダム放水量) の経時変化を 図-2 に示す. 地形測量および流砂量調査の実施時期も併せて示されている.

(1) 入射波浪

水深 -15m 地点では3月15~16日, 23~24日および30日に有義波高 2m 以上の高波浪が来襲しており, 最大は24日3時の 2.94m である. 有義波周期は約 8 秒で, 波向は SE~SSE がほとんどであるが, 21~26 日には東寄りの波浪が続いている. 図には示されていないが, 水深 -5m 地点では高波浪時に碎波による気泡混入のため欠測が多く, また, 波向屈折により -15m 地点に比べて汀線直角方向にそろうことが確認されている.

(2) 河口部への侵入波浪

河口部への侵入波はすでに碎波しており, 上流側ほど波高が小さくなる傾向にあるが, No. 3 地点よりも上流側では高波浪時を除いてほぼ 0.1m 以下である. また, 河口部の波浪は入射波が大きい程大きいのは勿論であるが, 潮位変動に伴う水深変化の影響を大きく受けており, 波と流れの干渉による波高変化の影響は水深変化の影響に比べて顕著ではなかった.

(3) 河川固有流量

3月19日までは約 $6\text{ m}^3/\text{s}$ と平常通りであったが, 20日未明の集中豪雨により最大 $67.25\text{ m}^3/\text{s}$ を記録した. その後も28日までは約 $10\text{ m}^3/\text{s}$ を記録し, 23~24日には低気圧の通過に伴い $25\text{ m}^3/\text{s}$ を超えた.

3. 短期的な地形変化と外力の関係

河口部地形測量調査の結果得られた深浅図ならびに隣り合う2回の測深データを比較した侵食・堆積分布図を 図-3 に示す. また, 図中には隣り合う2回の測量間の外力 (有義波高 $H_{1/3}$, 有義波周期 $T_{1/3}$, 主波向 θ_p , 沿岸方向の波浪エネルギーフラックス P_L , 堀川・砂村の C パラメーター, 河川固有流量) の平均値も併せて示されている. ただし, 沿岸方向の波浪エネルギーフラックスは, 水深 -5m 地点の波浪条件をもとに右岸の平均的な汀線に直角方向を 0 とし, 河口向きを正として求めた.

深浅図の作成に当っては, 図-1 に示す 16 測線の断面測量の結果を補間して, 仕切堤方向 10m 間隔, それ

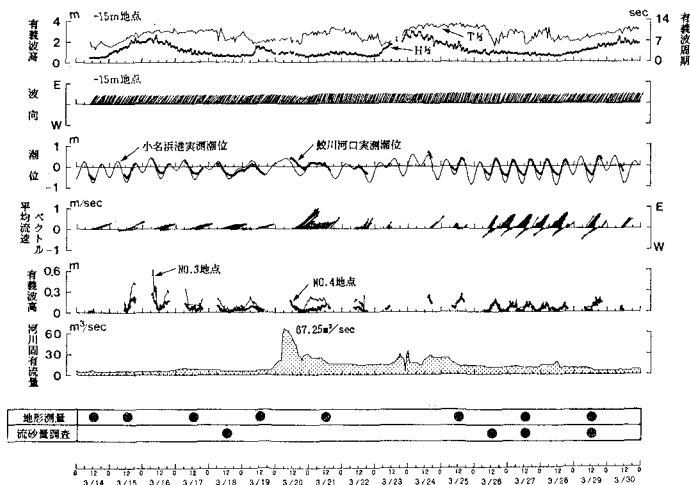
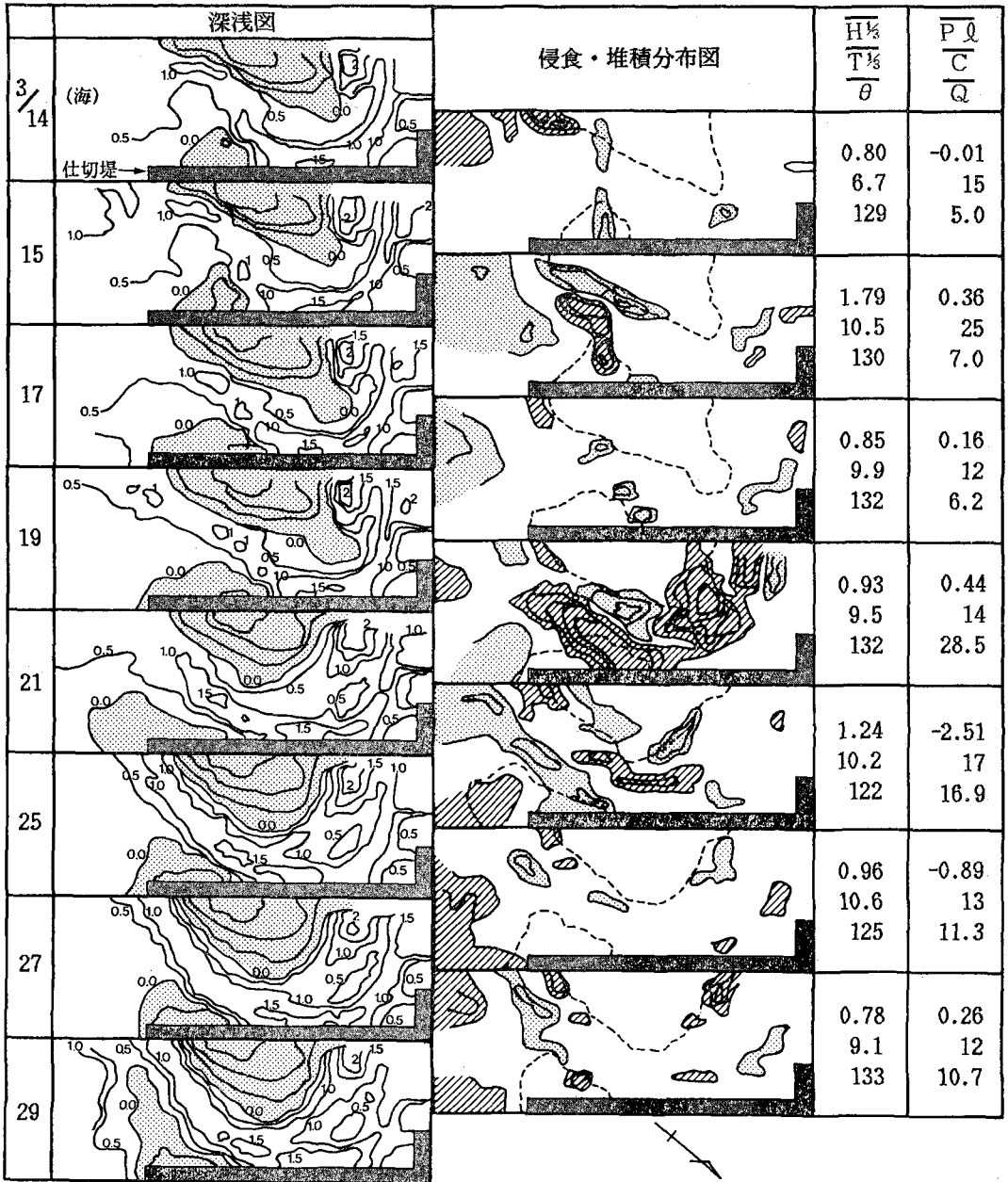


図-2 調査期間中の外力の経時変化

と直角方向 5m 間隔の格子データに変換した. 補間は, 格子点を中心として仕切堤方向 $\pm 20\text{m}$, それと直角方向 $\pm 10\text{m}$ の範囲の全測量データを格子点からの距離の 2 乗で重み付け平均することにより行った. スプライン法による補間も試みたが, 河口断面の急変をうまく再現できなかった.

調査期間中の河口部の地形変化を外力と結びつけながら追っていくと以下ようになる.

- ① 14~15日 わずかではあるが, P_L が反河口向きであり, しかも河口付近で主流線が湾曲していることに対応して, 右岸の最も下流付近で側方侵食が著しく, 逆に仕切堤先端部の砂州が右岸側に伸長している.
- ② 15~17日 侵食性の高波浪 (堀川・砂村のパラメーター $C > 18$) により河口下流側で著しく侵食している. 一方, ① で侵食を受けた右岸下流付近で堆積が著しく, また上流側へも砂州が舌状に伸長している. これは, 河口向きの P_L を有する高波浪により, 主として右岸砂州の汀線に沿って砂が運ばれたためである.
- ③ 17~19日 外力条件が穏やかであったため顕著な地形変化はみられないが, 堆積性の波浪により全般的に堆積傾向を示す. 右岸砂州はさらに舌状に伸びる傾向がみられる.
- ④ 19~21日 20日に比較的大きな出水があったため地形は大きく変化した. まず, 右岸上流の舌状に張り出した砂州, 仕切堤側の砂州など, 流路に沿ってほとんどの地域が著しく侵食し, 主流線上で海浜部まで侵食している. 一方, 右岸砂州の中央および仕切堤先端では堆積がみられる.
- ⑤ 21~25日 平均主波向がかなり東寄りで P_L も反河口向きであるので, ① と同様に河口付近で左岸が堆積, 右岸が侵食している. 仕切堤先端付近が侵食されたのに



■ T.P. 0m以上

■ 0.2m以上の堆積域

■ 0.2m以上の侵食域

----は比較した初期地形のT.P. 0mコンターを表す。

ただし、 $H\%$: 有義波高(m), $T\%$: 有義波周期 (sec), θ : 波向 (deg),
 PQ : 沿岸方向波浪エネルギーフラックス ($\times 10^4$ ton·m/day/m, 河口向きが正),
 C : 堀川・砂村のパラメター (海底勾配 1/100, 中央粒径 0.25mm),
 Q : 河川固有流量 (m^3/sec), — は平均を表す。

図-3 調査期間中の地形変化

対し、仕切堤側の砂州が回復の様子がみられる。最狭部の主流線上では、依然河川固有流量が多く、侵食が著しい。また、洪水で大きく侵食された右岸上流部も再び堆積を始めている。

⑥ 25～26日 河川固有流量が徐々に減少したため主流線上での侵食はみられない。27～29日は波向が南寄りに変化したにもかかわらず、河口下流付近では右岸で侵食、左岸で堆積という傾向が続いている。堆積性の波浪による岸向き漂砂によって汀線部に砂が戻り、その結果として仕切堤側の砂州の伸長が促されたものと考えられる。このことは、前面海浜では侵食が続いていることから裏付けられる。

今回の調査から明らかになった短期的な地形変化と外力の関係をまとめると次のようになる。

- ・沿岸方向波浪エネルギーフラックスが反河口向きのとき右岸で侵食、左岸で堆積傾向を示し、河口向きのときはその逆になる。
- ・侵食性の高波浪時に沖向き漂砂により河口下流側では侵食、右岸砂州の汀線に沿った swash zone の漂砂により右岸砂州上流側では堆積する。
- ・河川固有流量の増大に伴い河口断面は拡幅するとともに、主流線上で著しく侵食する。
- ・洪水あるいは侵食性波浪により一旦沖に運ばれた土砂が、堆積性波浪時の岸向き漂砂により汀線部に戻り、二次元的な砂州の発達を促す。

4. 河口部の水位・流量変化

4.1 水位および流量変化

過去の調査によれば、河口水位は満潮時は外海潮位とほぼ同一であるが、下げ潮時に水位が下がりきらず最干時刻も遅くなること、また、このような現象は河口幅が60m以下のとき顕著になるが、河口部の摩擦、流入、流出、曲がりの損失を考慮した線形長波理論により定量的な評価がある程度可能であることがわかっている。しかしながら、このモデルでは満潮時になっても水位が上がりきらず、満潮時は外海潮位とほぼ同一でしかも同一時刻に生じるという現地調査結果は再現できないので、計算潮位が最低になるかあるいは外海潮位と同じになったところから次の満潮までは便宜的に5次関数で近似している。

図-4は26～27日の各測点の潮位と流量の実測値を上述のモデルによる計算値とともに示したものである。実測値と計算値の対応は概ね良好である。水位変化をみると、No.1～3は下げ潮時に下流向きの、上げ潮時に上流向きの水面勾配が得られており、観測精度はかなり高いものと考えられる。なお、No.4と5の流速計は20日の出水時にケーブルが断線し欠測した。

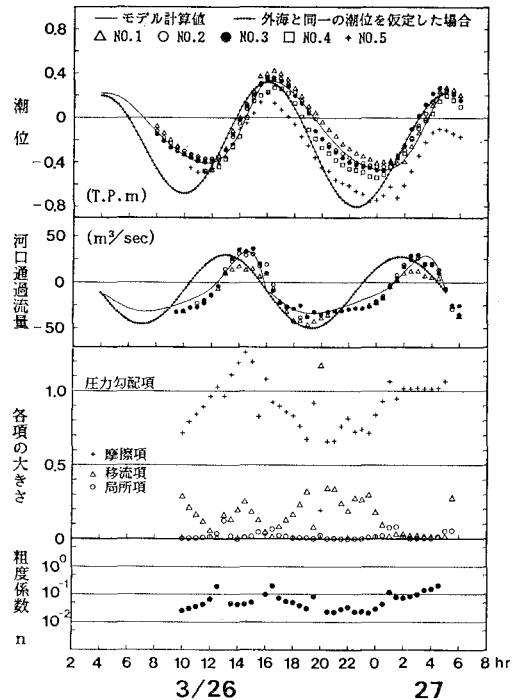


図-4 河口部の水位と流量および運動方程式の各項と粗度係数の経時変化

4.2 運動方程式の各項と粗度係数の評価

計測期間中の断面変化が小さく、観測精度が比較的良好と思われる No.2 と No.3 地点の水位・流速の実測値を用いて、局所時間項、移流項、圧力勾配項、底面摩擦項の評価を試みた。図-4の各項の大きさは圧力勾配項を1として他項の大きさを絶対値で表している。摩擦項については他項から逆算して求め、マンニングの粗度係数を評価した。

全般的に局所項と移流項は小さく、主として圧力勾配項と底面摩擦項が釣り合っている。しかし、移流項も流速が大きいために圧力勾配項の30%の大きさになるため、無視し得ない。これは主として No.2 と No.3 で断面が変化するためであり、ある時刻で考えれば不等流としての取り扱いが可能であることを示している。しかしながら、断面変化がない場合でも、一般に中小河川の河口では水深が浅く、潮汐波の振幅と同程度であるので、フーセル数 $U_b \gg 1$ となり浅水理論による取り扱いが必要になる。底面摩擦を考慮した線形長波理論でも波形の非対称性を表すことができるが、さらに移流項を考慮すれば波形の有限振幅性を精度良く表現できるので、満潮時は外海潮位とほぼ同じでしかもほぼ同一時刻で生じるといった現象も再現することができるものと考えられる。

次に粗度係数については、流速が大きくなると粗度係数が大きくなり、ある一定の流速以上になるとほぼ一定になることがわかる。これは流れが層流から乱流へと遷

移する場合の摩擦係数の一般的な変化傾向と一致する。上げ潮時には0.05, 下げ潮時には0.03程度で一定となっており, 上げ潮時の方が大きくなっている。しかしながら, 測定精度と推定精度を考えると非常に微妙な問題であり, 通常用いられる値と同程度であるというにとどめることにする。

5. 河口部の局所漂砂量

流砂量調査の結果をもとに, 波・流れ共存場の局所漂砂量について検討した。沈降速度と粒径により無次元化した漂砂量 Φ と波・流れ共存場の最大シールズ数 Ψ の関係を図-5に示す。波・流れ共存場の最大シールズ数は有義波高を用いて田中・首藤²⁾の表示を用いて評価した。

図-5(a)は丸山³⁾と田中・首藤⁴⁾の波・流れ共存場における同様の漂砂量調査の結果も併せて示したものである。図中には, Madsen・Grant⁵⁾の式と限界シールズ数を0.08とした場合の渡辺⁶⁾の式が示されている。全体的にみれば, ばらつきは大きいものの, Madsen・Grantの式の方が適合度が良くみえる。しかしながら, 浮遊砂を取り逃しているためか, パケット式トラップによるデータは吹き流し式トラップのデータに比べて全般的に小さく, ばらつきの原因となっている。

図-5(b)は今回の調査データのうち吹き流し式トラップによるデータのみをプロットしたものである。上げ潮時, 下げ潮時にかかわらず比較的ばらつきは小さく, 渡辺の式により実測値の傾向を良く表している。したがって, 塩水楔の影響による細粒子成分の沈降・堆積現象が無視できる場合には, 海浜部の漂砂と統一的に取り扱うことができることがわかる。ただし, 波・流れ共存場における砂の移動方向の判別と限界シールズ数の評価など残された問題点も多い。

6. あとがき

今回初めて2週間余りの間, 河口部の地形変化を波, 流れとともに連続観測するという機会を得たが, 調査期

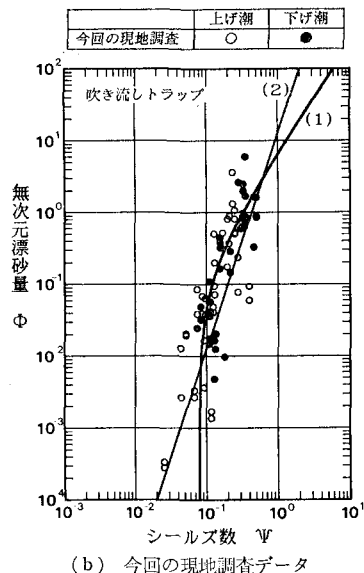
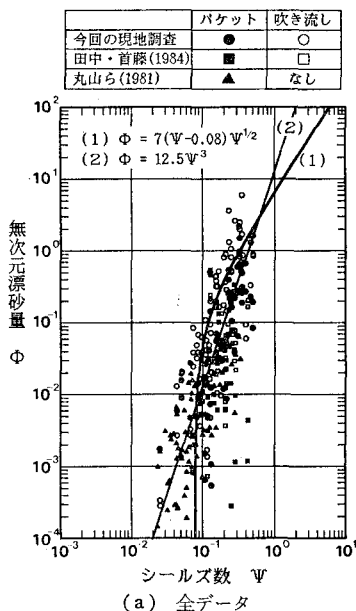


図-5 無次元漂砂量と最大シールズ数の関係

間中, 高波浪あり, 出水ありと絶え間なく外力条件が変動し, それに伴い河口部の様相もダイナミックに変化した。その間, 計器の転倒, 埋没と種々のトラブルもあったが, これまで他地点でもあまり得られていない有用なデータが蓄積されたものと確信している。

なお, 現地計測にあたり, (財)電力中央研究所所有の電磁流速計とデータ車を使用させていただいた。関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 清水琢三・横山博実・近藤浩右・錦木 宏・松原良夫: 仕切堤建設に伴う鯉川河口周辺の地形変化, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 395~399, 1985.
- 2) 田中 仁・首藤伸夫: 波・流れ共存時の底面摩擦に関する実験, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 163~167, 1980.
- 3) 丸山康樹・鹿島遼一・近藤浩右: 発電所港湾における港内堆砂に関する現地調査, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 280~284, 1981.
- 4) 田中 仁・首藤伸夫: 河口部の砂移動現象に関する実験および現地観測, 第28回水理講演会論文集, pp. 137~142, 1984.
- 5) Madsen, O. S. and W. D. Grant: Quantitative description of sediment transport, Proc. 15th Conf. on Coastal Eng., pp. 1093~1112, 1976.
- 6) 渡辺 晃: 海浜流と海浜変形の数値シミュレーション, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 285~289, 1981.