

千代川河口における波と流れによるダイナミックな 地形変化の観測

宇多高明*・福井次郎**・竺原章之**

1. まえがき

河口地形は波による堆砂作用と、河川流の掃流作用とによってダイナミックに変化している。とくに日本海側に面した河川においては、波浪条件と、河川流量が季節的、周期的に変わるので、河口地形も周期的に変化する事例が多い。すなわち冬季には冬季風浪によって河口に土砂が堆積してしばしば河口閉塞をもたらすが、融雪や梅雨、台風に伴う出水により河口砂州は大きくフラッシュされる。このような現象は日本海側の各地で見られ、河口閉塞の防止や河口導流堤の設計を行う上ではこの現象を十分理解する必要がある。

本研究は、近年河口付け替えが行われた鳥取県の千代川河口を例として波による堆砂と河川流によるフラッシュの過程を明らかにしようとするものである。このため1985年2月より1987年3月までの間に延べ10回、河口部の深浅測量を繰り返して行い、地形変化と波浪、流量観測データとの比較検討を行った。これにより、河口部地形が波浪と河川流量の変化とともにダイナミックに変化する過程が明らかになった。

2. 鳥取海岸の波浪特性と千代川の流量特性

流域面積 1,190 km²、計画高水流量 5,500 m³/s を持つ千代川は、延長約 15 km の鳥取海岸のほぼ中央に流入している。その河口部には鳥取港が、また河口より東側約 3 km には鳥取砂丘がある。近年千代川の河口の付け替えが行われ、現河口の位置は鳥取港の東側へと移された(1983年1月～新河道付け替え)(図-1)。河口の移動とともに千代川の左右岸には特殊堤及び導流堤が建設中である。また鳥取港については現在沖合防波堤が建設中であり、1986年までに長さ 631 m が完成している。

鳥取海岸の波浪観測は、建設省鳥取工事事務所によりストレーンゲージ式波高計を用いて、鳥取砂丘の沖合約 1 km の水深約 12 m 地点で行われている。河口調査を開始した1984年1月から1987年3月までの観測値より、日平均有義波高と周期を求めて経時変化としてまと

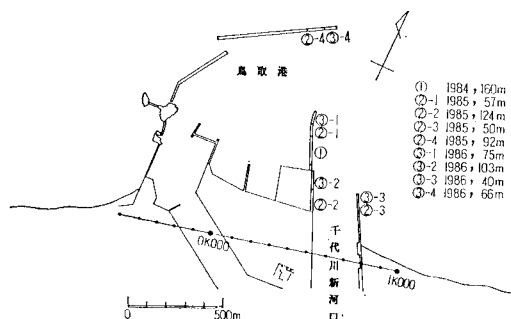


図-1 千代川河口位置と構造物の建設経緯

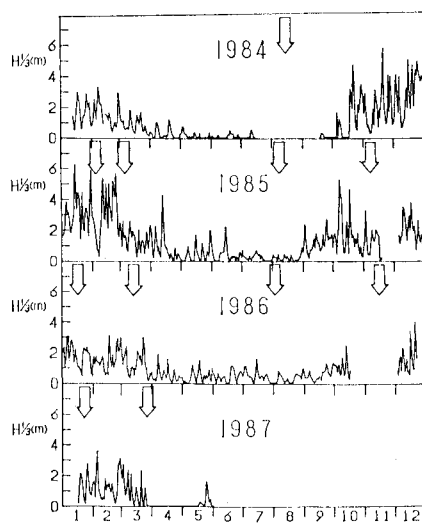


図-2 鳥取海岸の波浪特性

めると図-2となる。なお、図中の矢印は深浅測量を行った時期を示す。途中欠測期間はあるものの、有義波高は特徴ある変化を示す。例年、9月または10月以降季節風により波高が高くなり、2月までが高いが、その後は静穏となる。とくに夏の6～8月は静穏であり、有義波高は約 1 m 以下となる。このように有義波高は1年周期で変化しているのが特徴である。一方、ここでは図示することは省略したが、周期は変動が大きく、主として4～8秒の間で変化している。

千代川の流量は河口より 5.1 km の地点(行徳)で測定されている。1984年1月より1987年8月までの期間

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 建設省中国地方建設局鳥取工事事務所

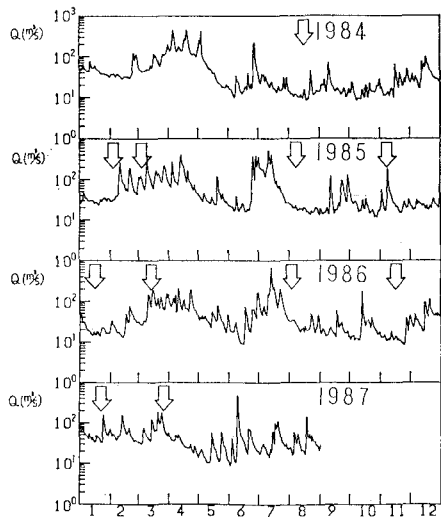


図-3 千代川の流量の経時変化

の日流量をまとめると図-3 のようである。流量の経時変化についてはいくつかの特徴が表われている。例年、2月の中旬～4月までの間は、 $100 \sim 300 \text{ m}^3/\text{s}$ の出水がある。これは融雪出水によるものである。その後は梅雨時期の6月後半から7月にかけて出水がある。8月は流量は小さくなり、9月～10月の間は時々出水があるがその規模はそれほど大きくない。

3. 河口部の地形変化

(1) 河口部の深淺図の比較

最初に、河口部の平面深淺図を示し、河川流と波浪に起因する地形変化の全体的特性を調べる。1985年8月より1986年8月まで1年間の地形変化を5回の深淺測量によって調べた結果を以下順に示す。1985年8月では(図-4)、0k150の中央やや左岸寄りに浅瀬がある。その地盤高は T.P. -2m である。河川流は 0k550 付近では左岸寄りに位置しているが、流下するにつれ、時計回りの方向に蛇行し、右岸導流堤先端より流出している。測量時期の波浪は静穏であり(図-2参照)、また河川流量も1985年6～7月の梅雨期出水以来小さい。したがって図-4は主として融雪、梅雨出水とその時期の風浪とによって形成された地形を表わしていると考えられる。また、図-4では右岸導流堤の先端部に、北西～南東方向を向いた長さ約300mの大きさを持つ局所洗掘が生じている。この局所洗掘の生じた原因を観測時に生じていた波浪条件に求めることは波が静穏であったことから判断して困難である。そこで1985年の冬季の波浪観測データを調べると、2～4月には有義波高が5mを越える波が4回出現している。局所洗掘のスケールから考えて、これらの波によって生じた可能性が大きいと推

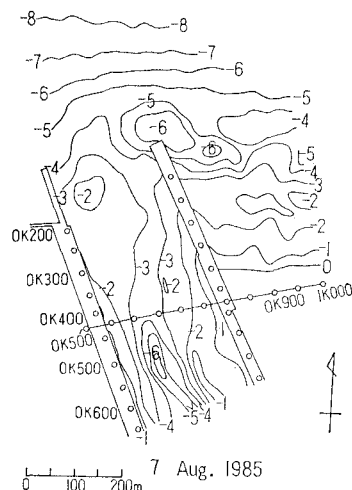


図-4 千代川河口部の深淺図 (1985年8月測量)

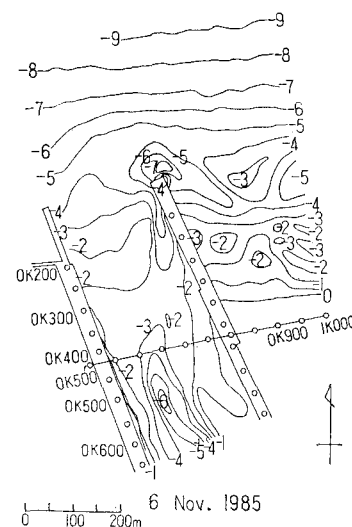


図-5 千代川河口部の深淺図 (1985年11月測量)

定される。また局所洗掘の形状が北西～南東方向に向いている理由としては、河口が鳥取港の遮蔽域にあり(図-1参照)。右岸導流堤先端付近において港内方向へと向かう海浜流が生じたためと考えられる。

3ヶ月後の1985年11月になると(図-5)、河口部を中心に地形変化が見られる。0k250を中心に T.P. -2m の等深線で囲まれた浅瀬が存在する。その面積は図-4の場合と比較するとずっと広がっており、しかも浅瀬は河川を横断する方向に伸びている。一方、0k500地点付近の最深河床付近の形状にはあまり変化が見られない。9月から11月まで3ヶ月間の波浪条件としては(図-2参照)、6～8月の3ヶ月間に比較してずっと波高が高く、10月7日には有義波高5.2mの波が出現している。これに対し、流量(図-3)は小さい。このことから8月から11月の間の主な地形変化は波浪によって生

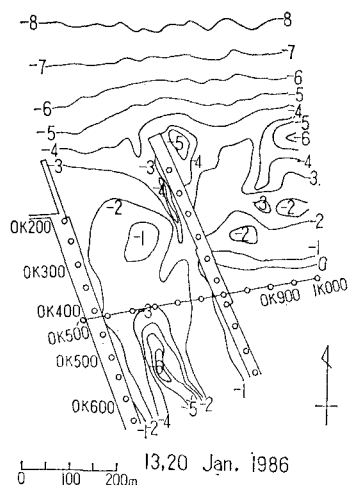


図-6 千代川河口部の深浅図 (1986年1月測量)

じたものであって、河口外から河口内へと土砂が運ばれ、堆積したと考えられる。右岸導流堤の先端にある局所洗掘は、全体的にスケールはやや小さくなったが、最大水深が T.P. -6m より -7m へと 1m 深くなった。また、河川の本筋に関しては、波浪による土砂の打ち込みにより流れが阻止されたため、右岸導流堤に沿って集中して流れている。

1986年1月になると(図-6)、11月時点と比較して更に変化が生じた。河口の浅瀬は、その深さが T.P. -2m より -1.0m と 1m も浅くなるとともに、浅瀬の中心部の位置が OK250 より OK300 へと約 50m 上流側へ移動した。これに伴って右岸導流堤に沿う本筋の幅は更に狭くなっている。一方、OK500 付近にある本筋はその位置、深さに関してあまり変化は存在しない。したがって 1985年11月より 1986年1月の間に河道内で生じた地形変化も主として波浪に起因すると考えられる。事実、図-2の波浪の経時変化によれば、一部データの欠測はあるものの、有義波高 2m 以上の高波浪がしばしば来襲している。一方、河川流量は渇水期にあるため、高々 50 m³/s 程度であり、上記の考え方が正しいことがわかる。

右岸導流堤先端にあった局所洗掘は、規模が縮小し、またその方向が北西～南東方向ではなく、導流堤と平行な向きとなっている。

冬季風浪は例年3月までには終了する(図-2)。そこで冬季風浪の終わった直後の深浅図として 1986年3月の測量結果を図-7に示す。河口の OK300 位置を中心とし、半径約 100m に円形状の浅瀬が形成された。この土砂の堆積は、河道の中央部が高く、両岸近傍が深くなっている。OK500 付近にある本筋には再び変化が見られない。結局、冬季風浪が続いたため河道内に土砂が堆積したと考えられる。ただし図-3に示した河川流

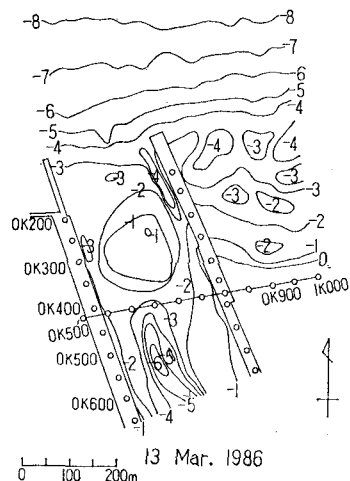


図-7 千代川河口部の深浅図 (1986年3月測量)

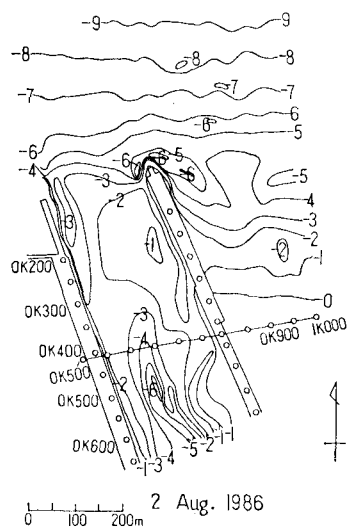


図-8 千代川河口部の深浅図 (1986年8月測量)

量の変化によれば、3月になると融雪出水が始まり、約 100 m³/s 程度の流量が保たれているから、図-7の地形形状は冬季風浪に加えて、河川流による掃流効果も多少は含まれていると考えられる。なお、この時期では右岸導流堤沖にあった局所洗掘は消失している。

初期地形として示した 1985年8月の深浅測量よりちょうど1年が経過した 1986年8月の深浅図を図-8に示す。3月に OK300 の河道中央を中心として存在した浅瀬は融雪出水及び 1986年7月の出水によりフラッシュされている。この間の波浪条件は静穏であるから(図-2参照)、地形変化の主要因は河川流にあったと考えなければならない。一方、OK500 付近にある本筋には変化がないが、河口位置での本筋は左岸寄りになっている。これは1年前(図-4)と比較すると河道中心に対してその位置が逆転している。

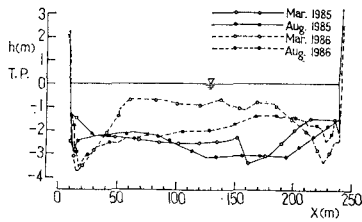


図-9 0k300 地点における横断形の変化

以上に述べたように、千代川河口では冬季風浪により河道部へ土砂が運ばれ、融雪出水や、梅雨期の降雨に伴う出水によってフラッシュされる状況が周期的に生じていることが明らかである。

(2) 代表断面形の経時変化

ここでは、平面地形において特徴が見られた断面を選びその経時変化を詳しく調べる。代表断面としては、図-7 において見られた河口部の同心円状の浅瀬の中心を横切る 0k300 断面を選んだ。0k300 m では(図-9)、河道中央部を中心に著しい地盤高の変動が生じており、その鉛直変位は 2 m 以上に及んでいる。兩岸近傍では局所洗掘が生じることが多いが、その変動量は大きくない。冬季風浪によって河道内に土砂が堆積すると、河川流は兩岸の構造物に沿って流れ易いことがわかる。

(3) 地盤変動の標準偏差の縦横断分布

河口部の地形変動量は縦断及び横断方向にかなり変化している。そこでこの状況を全体的に把握するために、1985 年 2 月より 1987 年 3 月までに行われた延べ 10 回の深淺測量データをもとに平均値と標準偏差の空間分布を求めた(図-10)。まず平均河床に注目すると、最深河床位置は 0k650 位置の $x=120$ m より次第に左岸側へと移り、0k550 において $x=80$ m と最も左岸に近づいた後再び右岸側へと移動している。全体として時計回りの

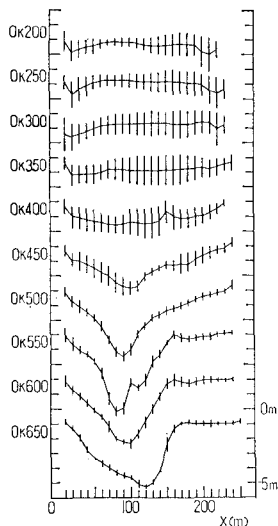


図-10 各断面の平均形状と標準偏差の分布

方向に蛇行している。一方、河口近傍の 0k200~0k300 の測線では兩岸の構造物際において、地盤高が低い。これは河川流が不透過な構造物に沿って流れ易く、そこで局所洗掘が生じていることを表わしている。標準偏差に関しては、0k450 より下流で大きく、地形変化が波による堆砂と、河川流によるフラッシュとに規定されていることがわかる。しかも 0k450 より下流側の測線でも横断方向に標準偏差がほぼ様な値をもつのではなく、0k450 の $x=100$ m 地点より 0k350 の右岸を結ぶ線と、0k300 の左岸より 0k200 の $x=110$ m 地点とを結ぶ線とに囲まれた区域で標準偏差が大きい。この部分では例えば図-4 に示したように流心が蛇行し易く、そこに海側から土砂が運搬され、堆積するため地形変化が大きかったものと考えられる。

(4) 河床断面積の縦断分布

地盤変動の標準偏差は、平均地形からの変動を知る意味では有効な指標であるが、河積の変化を知るには断面積を調べる方がより有効である。そこで各測線ごとに T.P. 0 m 以下の断面積を求め、その時間的、空間的变化を調べた(図-11)。図中、断面積は鉛直下方に目盛を付けてあり、また基準線は毎回 1 目盛ずつ下方にずらしてある。1985 年 2 月では 0k250~0k450 の区間で断面積が小さかった。これは冬季風浪によって河口に土砂が堆積したためである。1985 年 3 月には断面積は全般に増加傾向にある。この理由は冬季風浪と河川流量の相対関係に求めることができる(図-2, 3 参照)。すなわち 1985 年 3 月の有義波高は 2 月と比較して平均的には 2 m 以下とずっと小さくなっているのに対し、河川流量は 2 月半ば頃より約 10 日の周期で $100 \text{ m}^3/\text{s}$ を越える出水が頻繁に生じている。このことから河川流によるフラッシュ作用が強くなって河口に堆積した土砂量が減少したと考えられる。1985 年 8 月ではこの傾向は更に著しくなる。

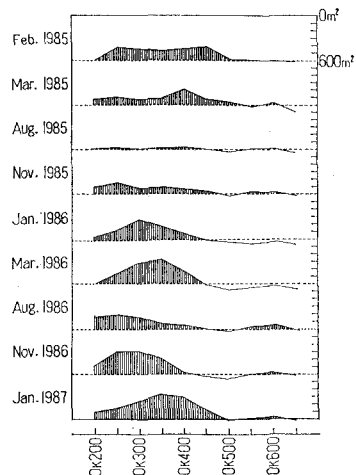


図-11 河川横断面積の縦断分布

河床の断面積は増加し、縦断方向に約 600 m^2 と一様な値となった。1985年3月より8月の変化に河川流の作用が著しいことは図-3より容易にわかる。すなわち1985年6～7月の間、 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の洪水が高頻度に発生したのに対して、波浪は図-2に示すように5～8月の間、静穏な条件が続いたためである。その後1985年11月になると再び断面積が減少し始めた。これは9月以降、波浪が高くなったのに対し、河川流量は小さな値が続き、河口内への波による土砂堆積が著しくなったためである。この傾向は1986年1月までの期間に対してもまったく同様であって、波浪によって河道内に土砂が堆積した。その後1986年3月まででは、堆積範囲は $0 \text{ k} 200 \sim 0 \text{ k} 450$ の間で変わらなかったものの、断面積は減少している。この原因はやはり多少の流量の増加はあったが、冬季風浪が長期間続いた効果の方が著しかったためと考えられる。その後、1986年8月までの変化に関しては1986年7月の洪水により土砂が流出し、河積は再び増加した。

以上のように、河川部の河床断面積は、冬季風浪による堆積作用により減少するが、融雪出水や夏季の出水により再びフラッシュされ、それらが動的に変化していることが明らかである。

土砂が波によって堆積し、河川流によってフラッシュされる現象は動的なものであり、しかも両者とも履歴効果を有している。したがって動的平衡状態をもたらす限界値を定めることは容易でない。しかしある程度の誤差を許容すれば推定が可能である。図-2、3と図-11をもとに推定を試みる。1985年1月～3月の間は河川流の作用が卓越したため断面積は増加している。波と河川流による作用の履歴効果は当然考えねばならないが、観測日に近い3月の効果が顕著であろう。この仮定のもとで図-3の流量を調べ、例えば $200 \text{ m}^3/\text{s}$ を一つの目安と考えてみる。この間に $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の洪水が3回生じている。また、有義波高については目安として 2 m としてみる。この時3月では 2 m を越える波高の出現は数少ない。3月から8月の変化は、河川流が卓越し、7月には $200 \text{ m}^3/\text{s}$ を越える洪水が5回出現し、著しいフラッシュが生じた。8月～11月では大きな洪水はない代わりに、9～10月に波高 2 m 以上の波がしばしば出現した。11月から1月までの間の流量は $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満であるが、波高は 2 m 以上の高波浪が続き、確かに土砂

が堆積した。3月では流量は大きくなったが、 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満であって、むしろこの間土砂堆積が著しい。この間も 2 m 以上の高波浪が続いている。最後に8月では土砂がフラッシュされたが、流量は $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の洪水が7月に生じている。これに対し、波高は 1.5 m 以下と静穏である。以上のように当河口では河川流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、有義波高 2.0 m が堆積、侵食を判断する一つの目安になることがわかる。当然のことながらこれらの値は一つの目安として利用できるのみであって、正確な限界値と呼ぶにはより詳細な検討が必要である。

4. 結 論

本研究によって得られた主要な結論をまとめると以下のようである。

- ①千代川河口の位置する鳥取海岸では、高波浪は冬季風浪によって生じ、また夏季は静穏である。一方、河川流量は例年融雪と梅雨時期に多い。これらは周期的、季節的に変化している。
- ②千代川新河口では河川流量が多く、波高が低ければ河口の土砂がフラッシュされて沖合の水深 $5 \sim 6 \text{ m}$ 付近に堆積する。逆に流量が小さく波高が高ければ河道内に堆積する。結局、波浪と流量の季節的変動に対応して河口周辺地形もダイナミックに変化している。
- ③河川流によるフラッシュ作用が著しくなる流量の一つの目安としては $200 \text{ m}^3/\text{s}$ が、また波による河道内への土砂打ち込みが著しくなる限界の有義波高としては約 2 m となることが推定された。
- ④河道内の断面積の変化と導流堤沖の水深 5 m の等深線位置の間には良い相関があり、河道断面積が増加する時は水深 5 m の等深線が沖へ移動し、この等深線が岸向きに移動すれば河道断面積が減少する。一方、千代川河口の位置する鳥取港の区域では近年大規模な地形変動が起き、土砂が堆積しているが、導流堤沖の区域はこの土砂堆積区域に位置する。従って河口処理を考える上では河口部の狭い領域のみに注目するのは不十分であり、鳥取海岸全体との関係において議論を進める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明・岡村 真・西村洋人：鳥取海岸の沖合部における地形変化，第33回海岸工学講演会論文集，pp. 282～286，1986。