

手取川河口における導流堤延伸に伴う 河口部地形応答と石川海岸の海岸侵食

Topographic changes off Tedor Rivermouth associated with elongation of
jetties and coastal erosion of Ishikawa coast

宇多高明¹・中田真一郎²・山形 宙³

Uda Takaaki, Shin-ichiro Nakata and Hiroshi Yamagata

¹正会員 工博 建設省土木研究所河川部長 (〒305 茨城県つくば市大字旭 1 番)

² 建設省北陸地方建設局黒部工事事務所 (〒938 富山県黒部市天神新 173)

³正会員 日本建設コンサルタント(株)技術一部 (〒141-0022 東京都品川区東五反田 5-2-4)

Topographic changes off the mouth of the Tedor River flowing into the Ishikawa coast facing Sea of Japan were investigated by using sea bottom sounding data collected between March 1986 and March 1989. Twelve sets of contour maps off the rivermouth were compared including the ones obtained during the elongation period of rivermouth jetties, which had been extended by November 1988. Extension of jetties caused large scale scouring around the jetties. On the Ishikawa coast extending between the Tedor rivermouth and Kanaiwa Port north of it, southward longshore sand transport dominates and countermeasures using many detached breakwaters had been conducted. Development of southward longshore currents carrying sand off this rivermouth jetties implies that this coast is still being eroded since there are no large rivers supplying sediment to this coast.

Key Words : rivermouth, jetty, topographic changes, longshore sand transport, coastal erosion.

1. まえがき

比較的規模が大きく流出土砂量の多い河川の河口での沿岸漂砂の方向は、(a)河口部で一方向からの沿岸漂砂が卓越し、河口隣接海岸から河口へと漂砂が流入する場合と、(b)河口両側で河口から遠ざかる方向に沿岸漂砂が発達する、すなわち河川流出土砂が河口両側海岸を養う場合に分かれる。これらのタイプの河川で河口に導流堤が伸ばされて沿岸漂砂の移動が阻止されると、(a)では漂砂の下手側海岸で、また(b)では河口の両側で侵食が起こる。規模の大きな河川があると、一般にタイプ(b)のように土砂が移動すると誤って速断されることも多いが、実際にはタイプ(a)の河川も数多く、その場合には導流堤の漂砂下手側での侵食と同時に導流堤の先端を回り込んだ河道内への堆砂が起こる。したがって河口処理においては、河川の特性格と同時にその河川が流入する海岸の漂砂特性について十分な検討が必要である。本研究では、石川海岸に流入する手取川河口を具体例として選び、この河口がタイプ(a)に属していること、そして河口沖では導流堤の延伸によって沿岸流の蛇行現象と局所洗掘が生じていることを実態データから示す。また離岸堤群により守られた石川海岸がなお侵食され、漂砂の供給が絶たれた海岸として今後も侵食について十分注意すべき

状況にあるが、手取川の河口処理もそれとのリンクにおいて考えていくべきことを論じる。

2. 手取川河口部の概況

手取川は、図-1 に示すように石川海岸において日本海に流入する流域面積 809km²の一級河川である。手取川の流入する石川海岸の海岸線形状について宇多¹⁾は、5 万分の 1 地形図から海岸線形状を読みとり、沿岸方向と離岸方向のスケールを変え、沿岸方向距離を大きく縮小した座標系で示した。図-2 がこの結果であって、これによれば手取川河口は河口デルタ状に大きく突出している。また、各地先での海浜地形変化の分析によれば、この河口デルタ状に突出した海岸線上に位置する徳光地先と金石港ではいずれの地先でも南下する方向(図中左方向)の沿岸漂砂が卓越することが明らかにされている¹⁾。

手取川では、河口部の河道内右岸に美川漁港があり、漁船は河口を通過して漁港または海へ達している。一方、河口には規模の大きい河口砂州が発達し、洪水や波浪による河口部地形変動がかなり大きいため、河口を固定するとともに航路を確保するために中導流堤方式の河口処理が行われ、現在では左岸より 288m の長さで伸びる砂州の先端部に長さ 323m の左岸導流堤と、163m の右岸導流堤が伸びている。

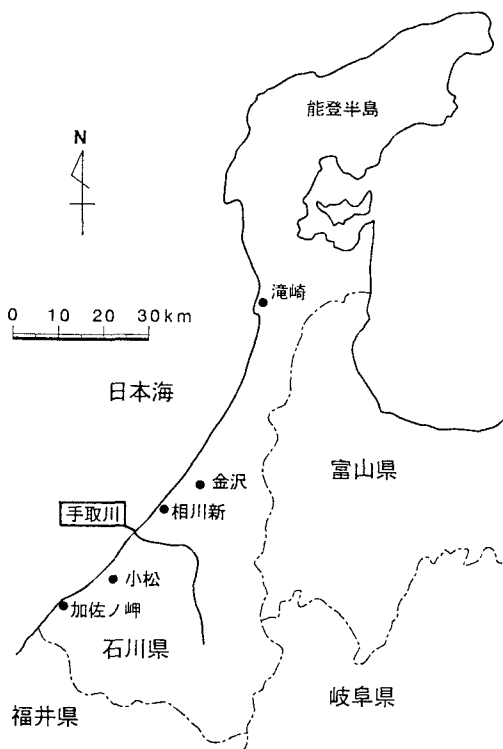


図-1 手取川と石川海岸の位置

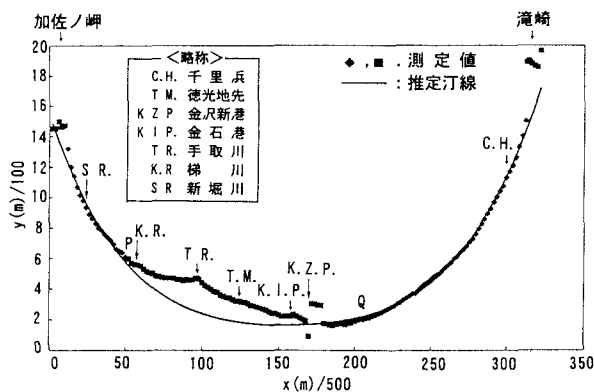


図-2 石川海岸の海岸線形状と手取川河口デルタ

これらの施設はあるが、最近でも河口では堆砂が著しく航路維持に支障が出ている。手取川の河口部では経年的に深浅測量がくり返して行われてきている。本研究では、1986年3月9日から1989年3月14日まで3カ年の間に収集された12組の深浅図をもとに、河口導流堤の延伸に伴う河口沖の海底地形変動について分析する。なお、手取川河口のある石川海岸では河口の北約7kmの徳光地先で波浪観測が行われており、例えば1990～1994年の5年間の冬季(12～2月)における最多頻度の有義波高・周期は0.5～1.0m, 6～7s, また10%出現波高・周期はそれぞれ2.6m, 8.6sである。また、河口砂州は細砂からなり中央粒径は約0.3mmである。

3. 導流堤の延伸に伴う河口部地形変化

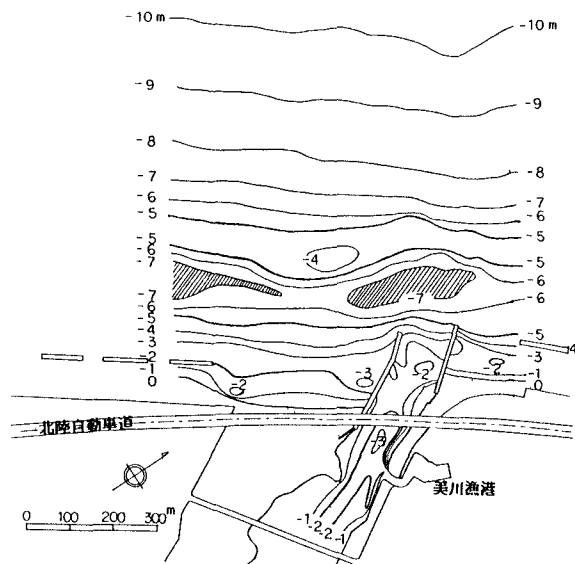


図-3 手取川河口部の深浅図(1986年3月9日)

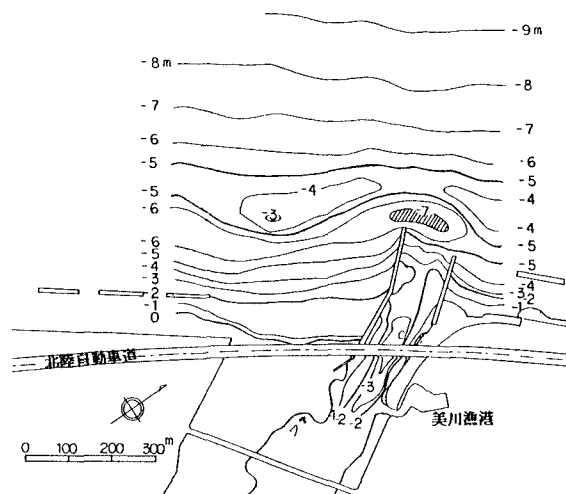


図-4 手取川河口部の深浅図(1986年12月14日)

3.1 河口沖に-5m 以浅の連続バーの存在した時期の地形変化

導流堤沖の海底地形変動は大きく2時期のタイプに分かれる。第1期は河口沖に-5m 以浅の連続バーが存在した1986年3月9日～1987年12月10日の地形変化であり、第2期はこのような連続バーが消失し、河口沖が深くなった1988年1月20日より1989年3月14日までの地形変化である。ここではまず第1期の地形変化について述べる。

1986年3月9日の深浅図を図-3に示す。この時点において手取川河口部には平行導流堤が設置されていた。左岸導流堤は中導流堤方式であって、洪水疎通を図るのみではなく、河口右岸にある美川漁港への航路確保の役割も果たしている。河口部では、導流堤のすぐ沖には-7mの等深線で囲まれた深みが存在し、この深みは左岸導流堤の先端沖より南側で

なだらかに岸方向に接近している。この深みより沖では-7m 以深の等深線は沿岸方向にほぼ平行に伸びている。また、左岸導流堤と河口左岸にある離岸堤の間では等深線がほぼ平行に伸びていた。その後、1986 年には左岸導流堤が 45m 延伸され、左岸導流堤は右岸導流堤よりも 35m 長くなった。図-4 は延長後の 1986 年 12 月 14 日の深浅図である。左岸導流堤の延長後ただちに著しい地形変化が現れた。図-3 では河口導流堤沖でなだらかに岸向きに伸びていた-7m の等深線で囲まれた深みが、導流堤の延伸によってその南端部が河口より離れる方向に持ち上げられるかのように移動した。しかしこの時点でも左岸導流堤と離岸堤の間の等深線はほぼ平行に伸びている。

ほぼ 1 ヶ月後の 1987 年 1 月 22 日には、図-5 に示すように左岸導流堤の先端を中心として形成された深みが導流堤の南側で大きく岸に接近している。このため図-4 と比較して導流堤と離岸堤の間の区

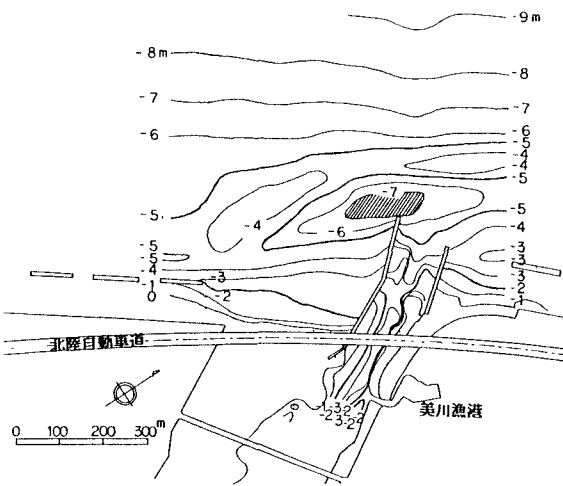


図-5 手取川河口部の深浅図(1987 年 1 月 22 日)

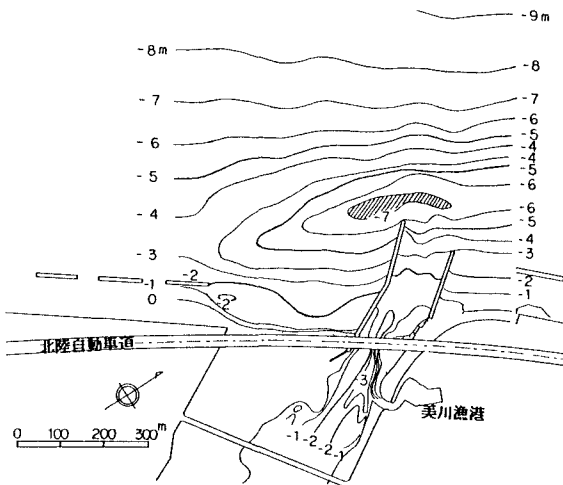


図-6 手取川河口部の深浅図(1987 年 2 月 21 日)

域が侵食され全体に深くなった。特に-2m の等深線の後退は著しい。このような深みの発達と、導流堤の南側区域での等深線の後退状況は、あたかも北側から導流堤の先端を越えて南向きに流れる沿岸流によってもたらされたように見える。手取川は日本海に面した石川海岸に流入しているため、毎年強い冬季風浪の作用を受ける。図-6 に示す 1987 年 2 月 21 日の深浅図では、1 ヶ月前と比較して導流堤沖の深みの発達が著しい。導流堤と離岸堤の間ではこの深みが大きく岸向きに移動している。これに対して、右岸導流堤より北側の等深線は海岸線とほぼ平行に伸びており、右岸導流堤の北側では土砂が堆積して等深線が平行に伸びたことが分かる。このように導流堤を挟んだ南北海浜地形の著しい非対称性は、手取川河口では南向きの沿岸漂砂が卓越しており、それが左岸導流堤の延伸によって阻止されて導流堤の北側で堆積が、そして南側で侵食が生じたことを明瞭に示している。また、導流堤周辺の地形変化が主に波浪を起源とすることを意味している。

1987 年 10 月 27 日の深浅図を図-7 に示す。この時点では導流堤の北側より平行に伸びてきた等深線が左岸導流堤の先端を境に大きく向きを変え、導流堤の先端より河口左岸にある離岸堤方向へと直線的に伸びている。一方、導流堤内では左岸導流堤が長いために、例えば-4m の等深線に見られるように導流堤を境に等深線位置がずれており、北側に対して南側の等深線位置が後退して段差がついている。このことも不透過導流堤により南向きの沿岸漂砂が阻止されていることを示している。導流堤延長以前の 1986 年 3 月 9 日の状況(図-3)と比較すると、左岸導流堤と離岸堤の間の区域での侵食が著しくなったことが明らかである。また、左岸導流堤の先端に-8m の等深線で囲まれた著しい深みの形成が始まった。

1987 年 12 月 10 日の深浅図(図-8)では、左岸導流堤の北側での海底地形は図-7 の場合とよく似ているが、左岸導流堤の南側では-7m の等深線で囲ま

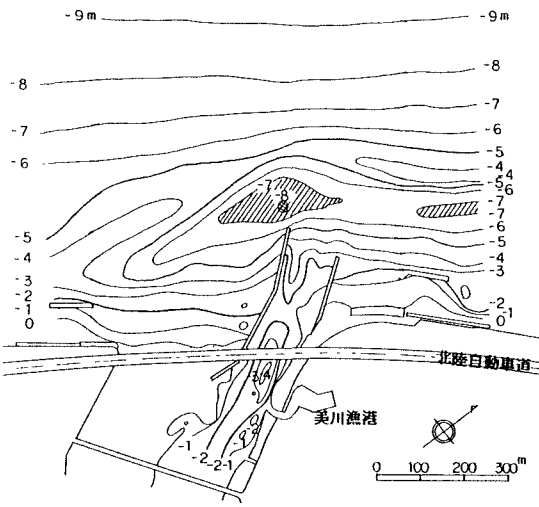


図-7 手取川河口部の深浅図(1987 年 10 月 27 日)

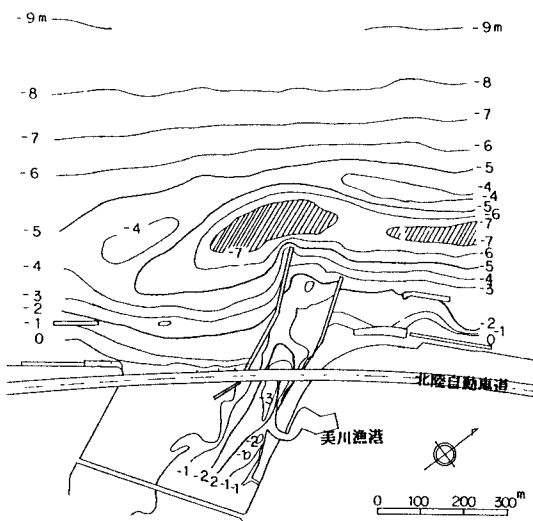


図-8 手取川河口部の深浅図(1987年12月10日)

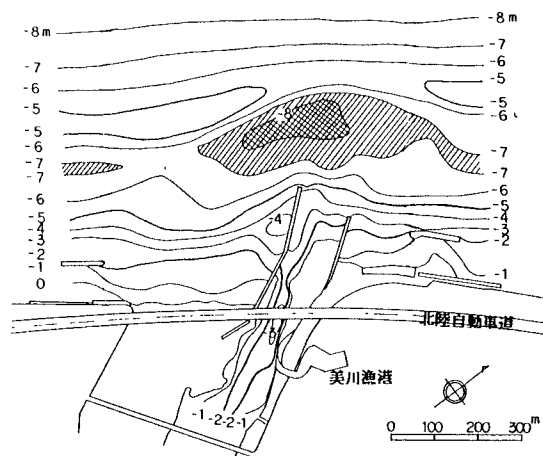


図-10 手取川河口部の深浅図(1988年3月14日)

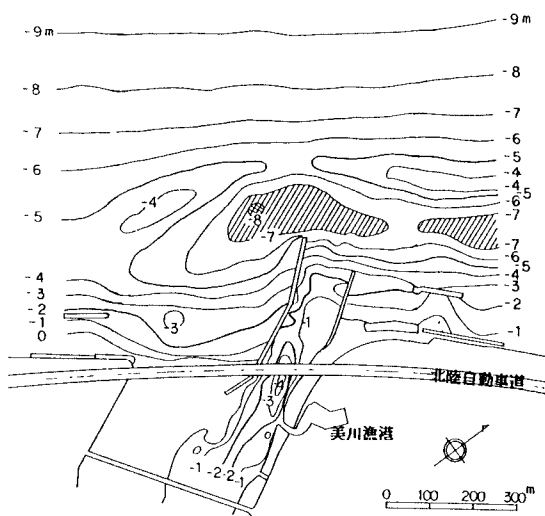


図-9 手取川河口部の深浅図(1988年1月20日)

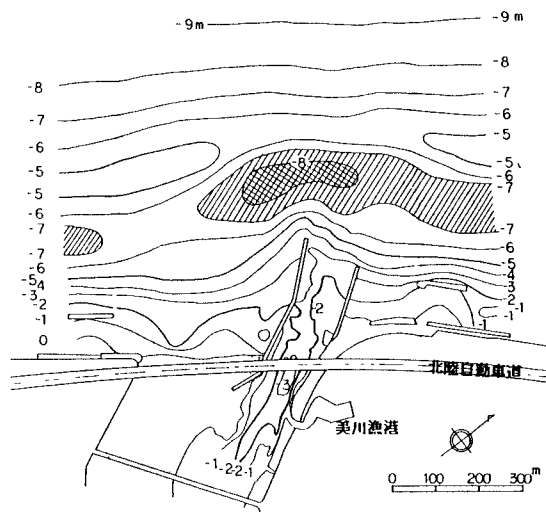


図-11 手取川河口部の深浅図(1988年11月22日)

れた深みがさらに汀線に接近し、左岸導流堤と離岸堤の間に凹状の湾入地形となった。この区域は、図-3に示したように左岸導流堤の延伸以前には沿岸方向に平行に等深線が伸びていたから、左岸導流堤の延長によって南向きの沿岸漂砂が阻止され、これによって侵食が進んだことが分かる。逆に左岸導流堤より北側では阻止された沿岸漂砂が堆積したため河口部では一層堆積傾向になったと言える。

3.2 河口沖で-5m以浅のバーが消失した時期の地形変化

図-8に示した1987年12月10日の深浅図では、左岸導流堤の沖には-5m以浅の高さを有するバーが沿岸方向に連続的に伸びていた。この沿岸砂州は導流堤の延伸される以前の1986年3月9日(図-3参照)においても形成されていたものである。ところが侵食が進むにしたがいこのバーは導流堤の沖合で

切れ、本研究における最終調査時期の1989年3月14日に至るまで再び形成されることはなく、河口沖が急深となっていった。ここではこのバーが消失したあとの海底地形変化について検討する。

1988年1月20日の深浅図(図-9)を図-8と比較すると、左岸導流堤の先端部には-7mの等深線で囲まれた深みが広がっており、また-8mの等深線で囲まれた深みが規模は小さいものの出現した。図-3に示した1986年3月9日の河口部地形と比較して導流堤の北側での堆砂と南側での深掘れが明瞭に現れている。これよりさらに約2ヵ月の経過した1988年3月14日の深浅図(図-10)によれば、この段階では導流堤沖の-5m以浅のバーは完全に不連続となるとともに、-7mおよび-8mの等深線で囲まれた深みの範囲が大きく広がった。この時、-7m、-8mの等深線で囲まれた深みはともに左岸導流堤の先端部より斜め岸向きに伸びており、それと同時に浅海

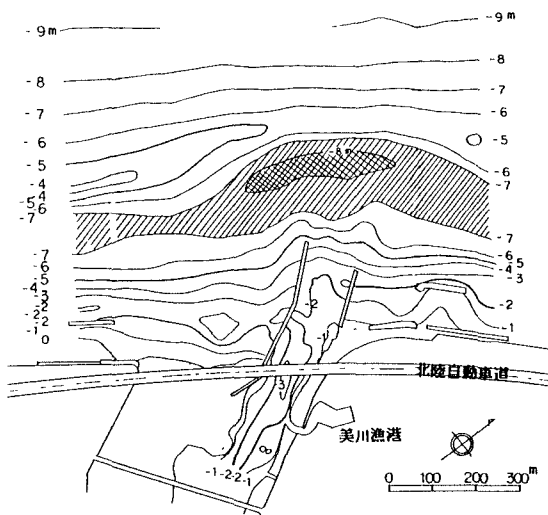


図-12 手取川河口部の深浅図(1989年1月7日)

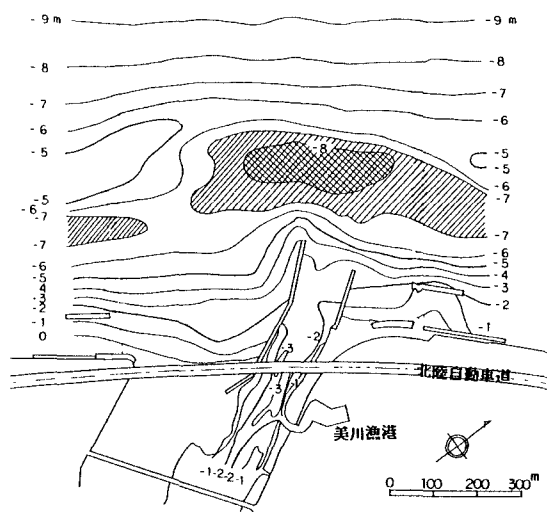


図-14 手取川河口部の深浅図(1989年3月14日)

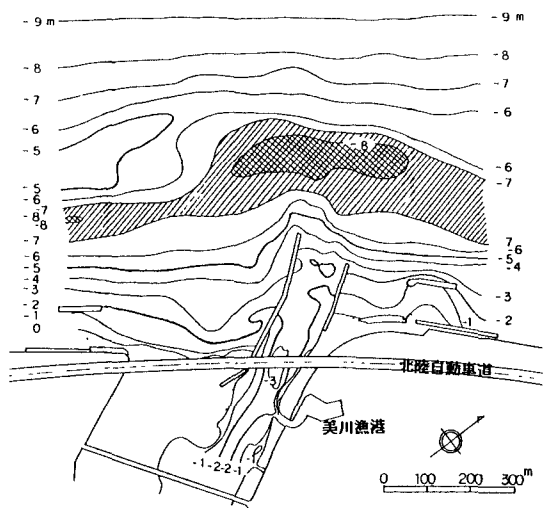


図-13 手取川河口部の深浅図(1989年2月16日)

部の-4m, -5m の等深線は北側より左岸導流堤方向にやや沖向きに伸びたあと、左岸導流堤の南側で大きく湾曲している。

図-11には1988年11月22日の深浅図を示す。図-10と図-11はいずれも1988年に測量されたものであるが、図-10は3月14日、図-11は11月22日と約8ヵ月ずれている。しかし、夏季は一般に静穏であるため海底地形には大きな違いは見られない。すなわち導流堤沖で-5m以浅のバーは消失しており、また-8m, -7mの等深線で囲まれた深みも沿岸方向に広い範囲で存在する。また、-3m~-5mの等深線は左岸導流堤位置で北側から斜めに前進し、導流堤の南側では凹状に湾曲している。

このように冬季だけでなく夏季においても冬季に形成された海底地形がほぼそのままの形態で残されていることは、手取川の河口部での海底地形変化が季節変化よりはるかに長い時間スケールで生起して

いることを示している。図-12には1989年1月7日の深浅図を示す。河口沖での-5m以浅のバーは左岸導流堤の北側ではほぼ完全に消失した。そして-7mの等深線で囲まれた深みが導流堤沖で閉曲線とならず沿岸方向に連続するようになった。また-8mの等深線で囲まれた深みの面積も大きく拡大した。図-13には1989年2月16日の深浅図を示す。導流堤沖の-5m以浅のバーは導流堤の南側に一部に残されているのみである。また-7mの等深線で囲まれた深みの形状に注目すると、この深みは北側よりほぼ同じ幅で伸びたあと、導流堤の先端でくびれ、岸向きに大きく向きを変えつつその幅が非常に狭くなっている。また、-8mの等深線で囲まれた深みの中心はほぼ左岸導流堤の先端沖にある。このことは、導流堤沖での深みの存在が導流堤の存在による南向きの沿岸流の蛇行と深く関わっていることを示す。さらにこの段階では、左岸導流堤の南側直近では-2mの等深線が大きく湾入しており、図-3に示したように左岸導流堤の延伸以前にはこの部分の等深線は沿岸方向にほぼ平行であったと考えあわせると、導流堤の延伸によってその南側では沿岸漂砂の阻止により侵食が進んだことが分かる。

図-14に示す1989年3月14日の深浅図では、河口沖には-7m, -8mの等深線で囲まれた大きな深みがある点は図-13の場合と同様である。この深みは左岸導流堤の沖で一度くびれたあと、導流堤より約300m南では一旦浅くなる。このような状況は、北側より導流堤先端方向に流れた沿岸流が、導流堤の先端部沖で縮流されて著しい洗掘を引き起こし、その下流で岸側に蛇行しつつ流速が低減するためそこに土砂が堆積したと考えれば理解可能である。

4. 考 察

手取川の河口導流堤は、強い南向きの沿岸漂砂の卓越する海岸に伸ばされた。導流堤が沿岸流場を横

断する形となったために、導流堤の突出部沖では著しい深掘れが生じた。また左岸導流堤が長いと河内には阻止された沿岸漂砂が堆積する一方、導流堤の南側では侵食が進んだ。すなわち導流堤内への堆積土砂の大部分は河川固有のものではなく、導流堤の北側の海岸より沿岸漂砂によって運ばれてきたもの（タイプ(a)）と言える。したがって美川漁港の航路維持においては河川流を対象とするのではなく、当地点で北側から流れてくる沿岸漂砂を対象とすることがまず必要である。その上で、導流堤より南側の漂砂下手側海浜に著しい侵食を引き起こさずに河口部の水深を確保する方策について考える必要がある。

図-2 に示した海岸線形状図において、手取川河口から金石港の間の海岸線には大きな漂砂源となりうる河川は流入していない。犀川は金石港の北側に流入しているため、この海岸への漂砂源とはなり得ない。過去においては、手取川は氾濫を繰り返してきているから扇状地の外縁に沿った海岸線にも土砂が供給されたと考えられるが、現在では手取川の流路は固定されていることから、河口以北に位置する扇状地海岸への手取川からの土砂供給は存在しないはずである。したがって手取川河口から南向きに沿岸漂砂が流出し続ける限りにおいて、金石港から手取川河口までの間の海岸は次第に侵食されることになる。導流堤の延伸後も河口周辺で南向きの沿岸漂砂に起因する地形変化が生じていることは、手取川河口から金石港間の石川海岸が多数の離岸堤群を用いた侵食対策が行われてきたにもかかわらず、なお侵食が進みつつあることを意味している。このことは、離岸堤群による侵食対策の効果について再考すべきことを示唆している。同時に、手取川河口での導流堤の延伸は石川海岸全体の保全とも密接な関係を有していること、そして「流砂系」的視点で海岸の保全を図るには、これら全体を考えた上での対策検討が必要とされる。

本研究は、1986 年 3 月から 1989 年 3 月までの 3 ヶ年間に、手取川河口周辺で取得された深淺測量データに基づいて等深線の変化から河口部で生じた現象の理解を進めたものである。研究の結果、河川流と波浪の作用を受ける河口周辺での地形変化の実態が明らかになった。本研究では、過去の深淺測量データを判読する手法を取るがゆえに、数値モデルのように将来予測を行うことはできない。しかし、過去のある期間に生じた地形変化の分析を通じて、その河口周辺で実際に起きた地形変化の把握が十分なされることは、それ自身価値があると考えている。

例えば、河口での航路維持のために行われた浚渫、あるいは導流堤の延長というような行為が、十分な成果をもたらさなかった理由を理解する上で役立ったし、また、強い沿岸流の生じる場に小規模な導流堤を建設してもそこでは沿岸流が蛇行するのみであって、沿岸漂砂の移動は連続的に起こることから、実際上河口への堆砂防止効果はほとんど期待できないこと、しかし長大なものとすれば沿岸漂砂の下手

側に著しい侵食を生じる危険性が高いことを認識する上でも役立つと言える。また、将来の地形変化を数値モデルで予測するにしても、河口部で観察されたどのような時間空間スケールを持った地形変化を再現するか、との疑問が湧くが、そのような検討を行う上で実態論から問題の焦点を前もって明らかにすることは有用であり、そのことが各種モデルの予測精度の向上にも役立つはずである。現在は、対策案の検討や環境アセスメントにおいて数値モデルによる予測計算が数多く行われているが、それらを行う以前に、単に数値計算のための基礎データを得るという意味ではなく、実態論から現象の本質に迫ることは工学的には十分価値があるはずである。昨今では、研究の多くが数値モデルの開発に偏っており、現地での現象を実際のデータから認識・理解する総合的視野のレベルは必ずしも向上していない。河口部を含む海浜地形変化を 3 次元的に予測することができない現在、数値モデルの確立を待っているのでは現場では各種対策の検討ができないことにもなりかねない。

したがって全て数値モデルによって再現されることが不可能な状況下においては、本研究のような実態論的研究を積み重ねることもまた重要と考える。現象の直接的な観察結果を現場に役立てることが可能になれば、工学本来の意味からも重要であろう。また、最近では各種観測を高密度で行うことが費用の点で困難になってきているが、過去には全国各地の工事事務所などでは、ここで述べたようになりかなり高密度での観測調査も行われている。それらのデータを発掘し、できる限り生の形で記録に残して、多くの研究者に止まらずその現場を将来担当することになるであろう技術者にも利用可能とすることもまた大切と考える。

5. あとがき

手取川河口沖での地形変化が時間的に見て単調な変化であることが注目される。手取川でも洪水時には河口からの流出土砂が河口沖に堆積し、河口テラスを形成することが観測されているが、そのような地形変化は数ヶ月で消失してしまう²⁾のに対して、ここで観測された地形変化の時間スケールは長く、また単調な変化である。これらは沿岸漂砂の作用に起因して起こるものであり、河口処理の問題を考える上で海からの視点の重要性を示している。

参考文献

- 1) 宇多高明 (1997) : 日本の海岸侵食, 山海堂, p. 442.
- 2) 宇多高明・中田真一郎・内田清英 (1996) : 手取川河口における洪水流によるテラス形成と波による砂州の復元, 第 51 回年講演概要集, pp. 132-133.

(1998. 9. 30 受付)