

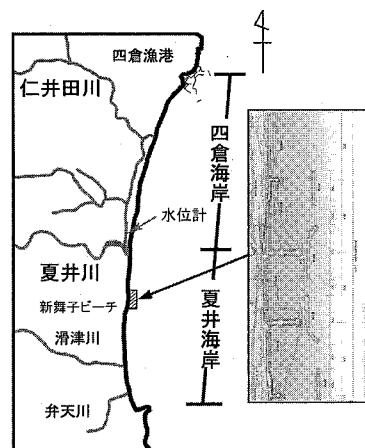
夏井川河口における河口変動特性と河口維持対策工としての人工開削工の効果について、ハンドヘルド GPS による現地計測と自記式水位計及び監視カメラの記録をもとに検討した。その結果、本河口においては、左岸側が閉口する場合は、開口幅は広く安定化すること、河口砂嘴の発達と堆積方向の変化は 2 週間程度の比較的短時間で生じること、前浜の前進と後退は C 相メーガの変化に対応することなどを明らかにした。さらに開削工の観測と開削記録、河口内水位及び海象データから良好な人工開削の条件を提案し、水理海象データの収集及びカメラ等による河口地形の監視の有効性を示した。

中小河川は自己流量が少なく、河口部容量が小さいために入退潮による河口維持効果が弱く、波浪等の外力により河口閉塞を生じ易い。閉塞傾向が強まり低平地への浸水や魚類の遡上障害などが危惧される場合、人工開削工による河口維持が多くの河川で行われている。開削は河口状況と河口内水位、潮位等をもとに担当者の判断により実施されている。小山ら（2005）は高瀬川における監視カメラによる河口状況の観測と現地データにもとづく河口の維持管理手法を提案している。中小河川における河口状況は多様であり、人工開削を含む有効な河口維持管理手法については多くの研究事例の蓄積を必要としている。これまでに寺中ら（1990）、長林ら（1994）は東北の太平洋沿岸 121 の中小河口の変動特性を調査して、海岸形状と河川位置との関係に河川掃流力と波浪条件を加味した河口変動指標を提案している。さらに、山崎ら（1998）：Nagabayashi・Sakai（2003）はこの指標を用いた導流堤などの建設に伴う河口処理工法の効果の評価法に関する提案を行った。その中でポケットビーチ中央に位置する河川の河口変動は頻繁に生じ、時として完全閉塞に至る河川が多いことを指摘している。本論文は福島県夏井四倉海岸の中央部に位置する夏井川河口を対象に現地調査を行い、河口内水位の観測と簡易監視カメラによる測定から、河口変動特性を検討し、さらに人工開削工の事例を示し、その効果に関する検討を行った。

図-1に夏井川の概要を示す。夏井川は流域面積 748.6 km²，流路延長 67.1 km で，海岸延長約 11 km の夏井四倉海岸のほぼ中央部で太平洋に注ぐ 2 級河川である。夏井川は横川により河口付近で仁井田川と連結されており，

夏井川の河口調査は1990年から約2ヶ月間隔に河口位置と最狭川幅、砂嘴形状及び海岸周辺の粒径分布の観測を行っており、河口変動特性の検討を行ってきた。1998年からは自記記録式水位計による5分毎の河口内水位を計測している。また、2003年5月からはハンドヘルドGPS (GARMIN社 etrex Venture) を用いて河口部の形状測定を実施している。潮位及び波浪データは小名浜港で観測されたものを使用している。これらのデータをもとに夏井川河口の砂嘴形状の変化と河口内水位、潮位、波高及び降水量との関係、砂嘴発達と河口閉塞と自然開口との関係について検討している。

この海岸における漂砂源は主として夏井川である（長林，1999）ことが示されている。図-1の海岸中央部の新舞子ビーチは1985年から傾斜護岸の建設が開始されており，1995年には約200m程度沖合に向って突堤が建設されている。突堤の建設後，約4年間程度は漂砂系



1 正 会 員 博(工学) 日本大学教授工学部土木工学科
2 フェロー 工博 東北大学大学院教授工学研究科土木工学専攻
3 PHD Lund University, Professor

が南北間で分断され河口変動特性は大きく変化した、現在は海岸全域における漂砂移動系へと回復している。図-2に03年5月から05年10月までのGPSによる夏井川河口の平面形状の変遷を示す。このGPSは市販の経路記録用のもので河口形状の把握程度には利用可能である。03年5月には左岸から細長い砂嘴が伸張していたが、7月には右岸からの大きな面積を有する砂嘴へと変化する。例えば03年9月から11月の約2ヶ月間で右岸からの広大な砂嘴は消滅し、左岸から伸びる細長い砂嘴へと移行しており、比較的短時間で砂嘴堆積方向が変化することが認められる。この観測期間中、03年5月24日と04年8月6日には河口が完全閉塞していた。また、右岸側からの砂嘴は大きく年間を通じて多く出現しており、河口開口部は左岸寄りに位置することが多い。

(2) 河口砂嘴の発達と開口特性

河口砂嘴の発達状況と開口特性の関係を調査する目的で04年1月からは右岸堤防上にデジタルスチルカメラ(Kadec21-EYE)を接地し、左岸近くの河口及び砂嘴状況を定点にて1時間間隔に記録している。この観測によって図-2の04年2月6日から7月5日の間の河口砂嘴

の発達と開口状況との関係が把握された。写真-1に左岸からの河口砂嘴の発達と高波浪による左岸付近が再度開口するまでの様子を示している。図-3はその時期の夏井川の河口内水位と小名浜港の潮位及び1/3有義波高と波向きとの関係である。河口内水位は、約2年間の長期的データから河口開口時には潮位とほぼ水位が等しくなり、連動するものとして値を補正している。図-3において2月6日から2月12日までは波高1m程度の1日2回潮の東の波が生じている。その間の2月8日には左岸からの砂嘴が海側前面に伸張する様子が写真で確認できる。2月16日までは左岸砂嘴が伸張しており、このとき入退潮を含む河川流は右岸砂嘴の海側前縁部を侵食するので、右岸の砂嘴幅は狭まり、河口は蛇行形状を呈するようになる。2月14日から波高が増大して1.5mを越え、南からの波に変わると、河口内水位の上昇が起り、波によるセットアップ(田中ら, 1998)が観測される。2月17日から18日にかけての3m程度の高波浪が生じた後、河口内水位は一気に低下し、潮位と連動を保つようになる。この高波浪時には2月17日の写真に見られるように右岸砂嘴は水面下に没している。2

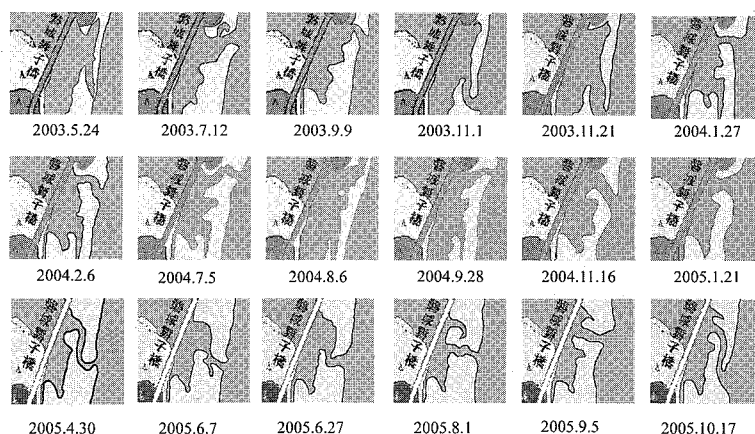


図-2 夏井川河口の砂嘴地形変化

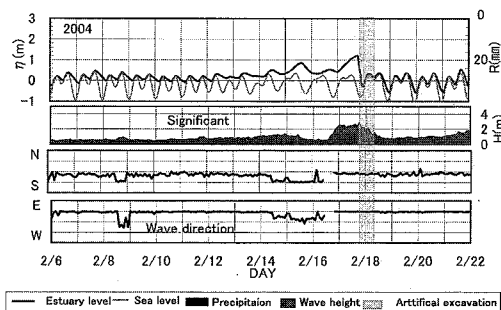


図-3 河口閉塞と開口に及ぼす河口内水位と海象条件

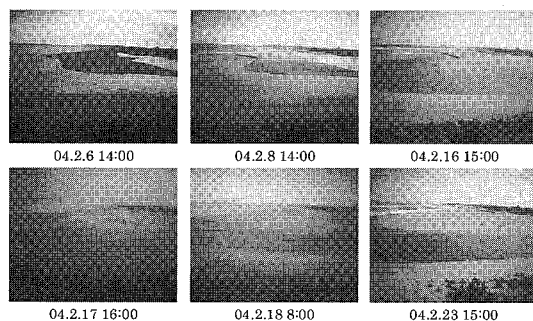


写真-1 砂嘴地形の短時間推移

月18日には左岸側が大きく開口し、水位が低下し面積の広い右岸砂嘴が出現している。記録によると人工開削が2月18日に実施されており、河道内水位の一層の低下に寄与している。以上のことより、左岸砂嘴が発達してから消滅し、右岸砂嘴への切り替えは2週間程度の比較的短期間に生ずることが示された。

(3) 汀線位置とCパラメータとの関係

05年7月21日から8月17日までの定点カメラの画像を写真-2に示す。写真からは右岸と左岸砂嘴の形状と河口位置及び左岸砂嘴始点の前浜位置が判読できる。これらの値は写真をもとにした相対位置であり、座標位置が確認できるほどの精度は有していない。図-4に写真-2の期間を含む河口内水位と潮位の関係、降水量と写真から判別した砂嘴始点の汀線位置、河口相対位置及び有義波高との関係を示す。7月27日、28日には波高3mを超える高い波が観測されている。図より7月11日から23日にかけては、前浜が前進しており、河口幅は

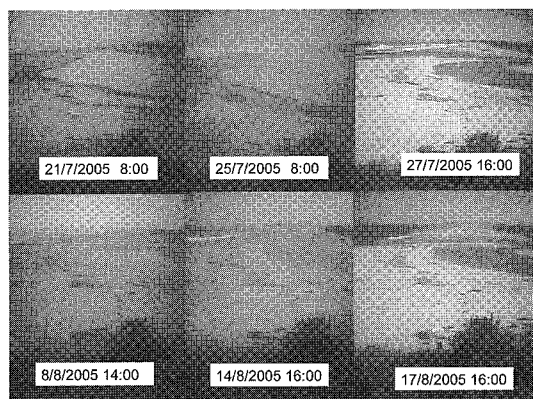


写真-2 前浜の汀線位置と河口位置の推移

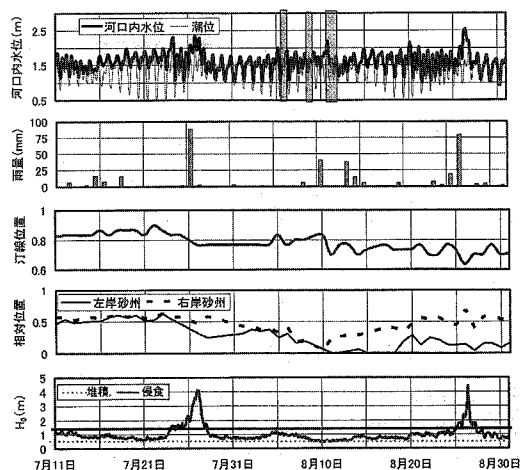


図-4 水理海象条件と汀線位置、相対河口位置との関係

狭く、河口内水位と潮位との関係から閉塞傾向であった。7月24日以降の波高1.5mを超える波とともに前浜は後退し、28日の高波浪により河口が開口して、河口位置は北上している。波高の低下により、前浜位置は微小に前進後退を示して推移する。低気圧の接近にそなえて8月6日、8月9日、8月11、12日には人工開削が行われている。その後8月7日の高波浪と降雨により、河口はさらに開口し、河口内水位は潮位によく連動している。この期間における汀線位置の変化と式(1)に示すSunamura・HorikawaのCパラメータ(例えば服部, 1987)との関係を図-5に示す。

$$\frac{H_0}{L_0} = C(\tan \beta)^{-0.27} \left(\frac{d}{L_0} \right)^{0.67} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 H_0 : 沖波波高、 L_0 : 沖波波長、 β : 前浜勾配、 d : 平均粒径であり、海底勾配を $\beta=6^\circ$ 、平均粒径を $d=0.11$ cmとした。Cパラメータによる堆積及び侵食の限界値をそれぞれ、9以下を堆積、17以上を侵食として汀線位置の図に併示している。これよりCパラメータによる汀線の前進後退との対応は良い。堆積及び侵食を示すCパラメータと沖波の有義波高及び波形勾配 L_0/H_0 との関係を図-6に示す。この図より、本海岸における前浜への堆積は波高0.7mから0.8m、波形勾配0.008程度であり、侵食は波高1.6m以上、波形勾配0.014以上の波によってもたらされている。

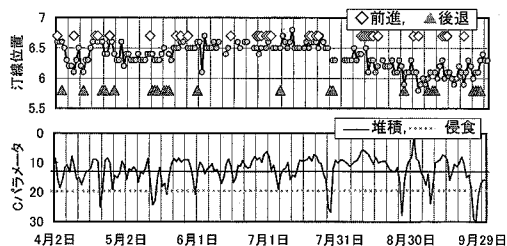


図-5 汀線位置とCパラメータとの関係

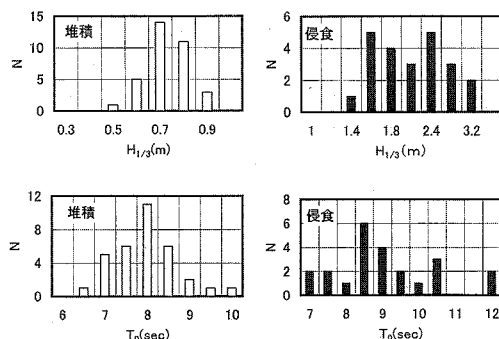


図-6 前浜の堆積、侵食と海象条件

4. 河口閉塞と人工開削工に関する検討

(1) 河口閉塞と人工開削

河口が閉塞気味になり、河口内水位が上昇すると、降雨時に周辺地域への浸水の可能性があるために、対策工として人工開削を行っている。人工開削の時期は不定期であり、福島県が委託して業者が適宜実施している。

写真-3に開削工事の様子を示す。河口は完全閉塞しており、砂嘴幅の狭い中央部付近を川側から海側に向けて開削している(写真-3(a))。水路幅は約1m、掘り始めの開削深さは水深で50cm程度である。開削開始から約1時間で水路が開通した(写真-3(b))。このときの水路状況は、開始直後と同様の幅と深さで、流速は遅く流れによる掃流や側面を侵食することはない。この後、写真-3(c)のように左岸側を約3時間に渡って拡張して人工開削を終了する。このとき、水路幅は約3m、水深は約1mであり、流速は約2m/s程度となる。その後、水流によって側面侵食し水路が拡張していく。約1時間後には水路幅が約10mまで拡張された(写真-3(d))。この時点でも、まだ側面侵食は発達している。これらより、開削開始から河川流による水路の自然拡張に至るまで5時間程度を要している。開削記録を表-1に示す。

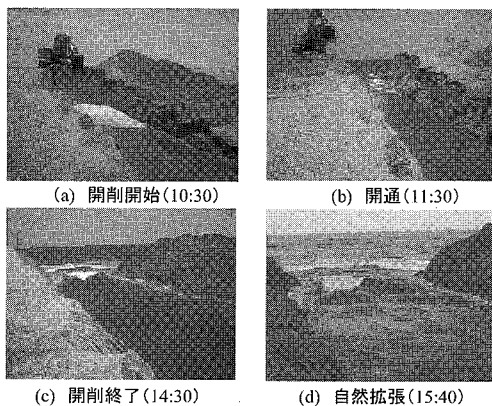


写真-3 人工開削工の状況

表-1 開削記録

項目	時刻	開削幅 b	開削長さ L	開削深 h
開削開始	10:30	—	—	—
開通	11:30	1 m	40 m	0.5 m ~ 2 m
拡張終了	14:30	3 m		
自然拡張	15:40	10 m		

(2) 河口開削効果の検討

福島県の記録によれば1999年から2002年までの間に60回の開削工事が実施された。開削日前後の河口内水

位と潮位との対応から開削が行われても河口内水位が低下しない場合や、開削後数日で閉塞傾向となる場合が見られた。水理海象データと開削との関係を図-7に示す。2000年1月においては、1月21日頃まで1.5m以上の高波浪が卓越している。このとき河口内水位は時間の遅れはあるが、潮位に対応した変化を示す。①は降雨による河口内水位の上昇、②においても河口内水位が上昇しており人工開削を実施した。その後の高波浪による河口への入退潮のために開削効果は明らかではない。③では、波高が1m程度となり、1日2回潮の波から日潮不等が生ずると河口内水位が再び上昇している。さらに1月31日頃、東の波から南東の波に変わると一気に河口内水位が上昇して潮位との差はほぼ1.5mとなった。この時人工開削が行われ、その後河口は良好に維持されている。このように開削時期を一次的に決めることは難しく、現場の技術者の経験によるところが多い。

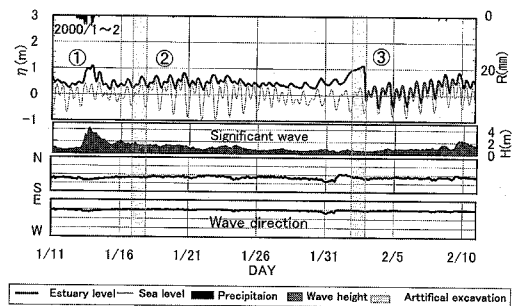


図-7 人工開削と河口内水位と潮位の関係

開削前後の河口内水位と潮位の関係の模式図を図-8に示す。開削時の河口内水位と潮位までの差を水頭 η_1 、潮位から低潮までの潮位差 h_1 、水位の極小値と潮位の差を η_3 とした。またこのときの潮位から低潮までの差を h_2 とする。 h_1 と h_2 との差を η_2 とした。さらに、開削時から再び河口内水位が上昇する間の時間を T としている。

人工開削は河口内水位が高く、周辺地域への浸水の危険性があると判断されたときに県の委託業者の判断によって行われている。従ってその判断は河口内水位が高く η_1 が大きい、下げ潮に向かう h_1 が大きいときに良好と判断して実施されるものと考えて、水頭差 η_1 、潮位差 h_1 と開削効果との関係を図-9に示す。○印は開削が良好な場合を、▲印は不良を示している。水頭差 η_1 が0.5m以上で潮位差 h_1 が正で、下げ潮の場合にはほぼ開削は良好である。 h_1 がゼロ付近のものでも η_1 が2m近くあれば良好である。また、 η_1 が0.5m以下や h_1 が負の上げ潮時において開削効果が得られていない。また

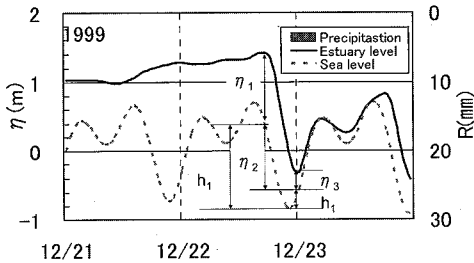


図-8 河口開削時の河口内水位、潮位との関係

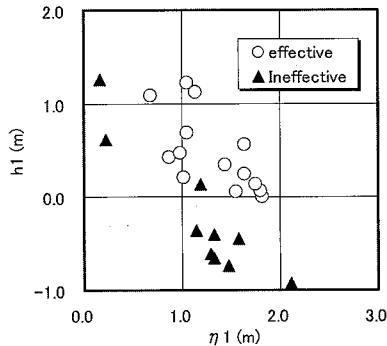
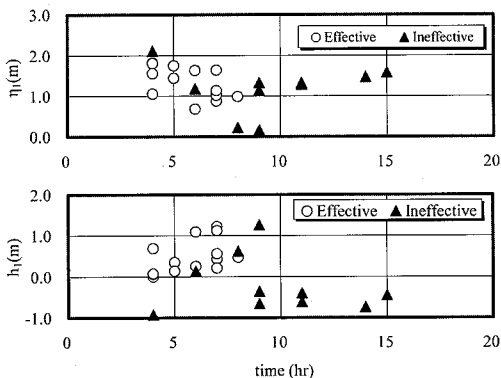
図-9 h_1 と η_1 による開削工の効果の検討

図-10 開削工の効果に及ぼす開削時間の関係

図-10 は η_1 と h_1 と開削に要した時間 T との関係を示すが、 T が 9 時間以上の場合には開削効果が得られない。これらは現地データにおいて h_1 が負のものに相当しており、上げ潮の影響を受けて排水までに時間を要している。

5. 終わりに

現地調査と水理海象データをもとに夏井川の河口変動

特性と河口開削工の効果に関する検討を行った。

(1) 夏井川の河口砂嘴は右岸堆積の面積の大きなものが形成され、安定であり、左岸付近に開口部がある場合に大きく開口する。(2) 低波浪から高波浪への変化に伴う砂嘴堆積方向の転向は 2 週間程度で生じることが示された。(3) 前浜の前進と後退は C パラメータに対応しており、本海岸では堆積は波高 0.7 m から 0.8 m、波形勾配 0.008 程度であり、侵食は波高 1.6 m 以上、波形勾配 0.014 以上の波によっている。(4) 人工開削に要する時間はほぼ 1 時間、通水してから幅約 3 m まで開削する時間は約 3 時間、計 4 時間を要する。さらに、自然拡張が終了するまでに 1 時間、合計 5 時間程度である。効果的な人工開削工は河口内水位と潮位の差 η_1 が 0.5 m 以上あり、下げ潮時に河口内水位の低下時間が 8 時間以内であれば、開削が良好であることなどを明らかにした。

謝辞：本研究の実施にあたり福島県いわき建設事務所の協力を得た。また本研究の一部は日本大学工学部学術フロンティア推進事業（研究代表：小野沢元久）及び平成 17 年度日本大学総長指定研究、水域開発と環境保全に資する工法の総合開発（研究代表：日本大学工学部、長林久夫）の援助を受けた。記して深く感謝いたします。

参考文献

- 小山幸雄・金枝富勝・畠山仁志・高木利光・藤井裕之(2005)：高瀬川河口閉塞機構の解明と維持管理方法の提案，海岸工学論文集，第 52 巻，pp. 571-575.
- 田中仁・長林久夫・山内健二(1998)：河口感潮域における wave set-up 高さに関する研究，海岸工学論文集，第 45 巻，pp. 436-440.
- 寺中啓一郎・安田禎輔・長林久夫(1990)：福島県河川の河口現地調査，海岸工学論文集，第 37 巻，pp. 349-353.
- 長林久夫・安田禎輔・寺中啓一郎(1994)：平坦な海岸にある中小河川の河口変動特性，海岸工学論文集，第 41 巻，pp. 471-475.
- 長林久夫(1999)：夏井四倉海岸における河口変動と漂砂動向に関する調査研究，第 5 回河口研究会報告，pp. 20-1-20-3.
- 萩野法行・長林久夫(2003)：夏井四倉海岸における河口特性と海岸過程の検討，土木学会第 58 回年次学術講演会，pp. 527-528.
- 服部昌太郎(1987)：海岸工学，コロナ社，230 p.
- 山崎雅洋・長林久夫・木村喜代治・堺茂樹・平山健一(1998)：東北地方における中小河川の河口変動特性，水工学論文集，第 42 巻，pp. 1135-1140.
- Nagabayashi H., S. Sakai(2003)：Characteristics of a Small River Mouth Located on the Pacific Coast of Northeast Japan, Coast & Ports Australasian Conference, Paper No.98, in CD-ROM, Auckland, New Zealand.