

# 子吉川河口部地形の変遷と変化特性

松 富 英 夫\*・川 島 照 史\*\*

## 1. ま え が き

河口部は、河川としての固有さはもちろん、波浪、河川流、潮汐、沿岸・離岸流、風等の多種の外力にさらされており、その個性は多様である。そのような河口部での諸問題解決には、各河口部の特性を検討する過程が是非とも必要である。これまで、海岸工学的観点に立った秋田海浜の特性に関する総論は2～3存在するが（例えば、田中ら、1973）、詳論、特に河川毎の河口問題と関連付けた詳論は皆無に等しい。

そこで、本研究は、子吉川河口部での諸問題解決や河口問題での共通点・今後の検討課題（東北地方の日本海側に限定）等の抽出の一助とすべく、既存資料の解析と若干の現地調査により、対象河口部の特性の解明を試みるものである。

## 2. 河口部の概況

子吉川は、鳥海山に源を発し、幹川流路延長69 km、流域面積1190 km<sup>2</sup>を有する一級河川（1971年指定）である。図-1に対象河口の位置を示す。河口部での計画高水流量（1987年策定）は3000 m<sup>3</sup>/sである。表-1に由利橋地点での計画高水流量の変遷を示す。流量記録（二十六木橋）は1975年から存在し、これまで（1975～1986年）の特性は、最大1939 m<sup>3</sup>/s、豊水65 m<sup>3</sup>/s、平水37 m<sup>3</sup>/s、低水27 m<sup>3</sup>/s、渇水16 m<sup>3</sup>/s、最小1.7 m<sup>3</sup>/s、平均60 m<sup>3</sup>/sである。

河口部の特徴を列挙すれば、①河床は砂と礫（平均粒径  $d_m$ ：河道内約1 mm、400 m、沖約0.2 mm）で構成されている（運輸省第一港建新潟調設、1971）。②流砂

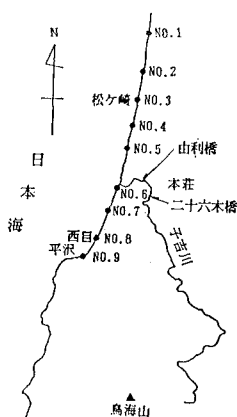


図-1 河口位置

表-1 計画高水流量の変遷（由利橋）

| 改訂年  | 流量                    | 備 考               |
|------|-----------------------|-------------------|
| 1933 | 1800m <sup>3</sup> /s | 芋川を不考慮            |
| 1971 | 1800m <sup>3</sup> /s | 一級河川指定、据置、芋川を不考慮  |
| 1987 | 3000m <sup>3</sup> /s | 年超過確率を1/50から1/100 |

(回数)

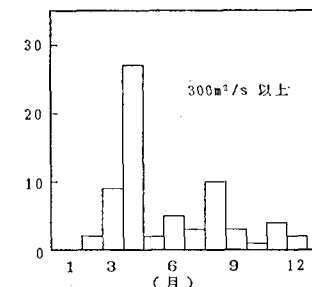


図-2 月別洪水頻度

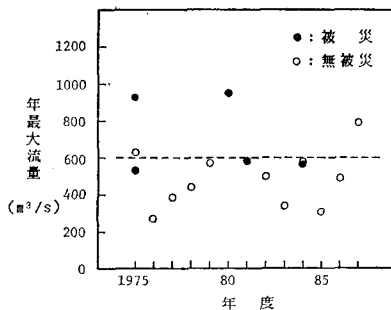


図-3 洪水災害発生流量

は掃流形式で、1971年当時で10～20万 m<sup>3</sup>/yr 程度（運輸省第一港建新潟調設、1971）である（算出方法に若干疑問がある）。現在はダム・砂防工事等により、これより少なからう。③融雪期と夏季に洪水が多い（図-2 参照）。④日平均流量（二十六木橋）が600 m<sup>3</sup>/sを超える時、堤内地で何等かの災害が生じる（図-3 参照）、等である。図-3において、年によってデータが複数個あるのは、被災時流量以上のものを全て列挙しているからである。

\* 正会員 工博 秋田大学助手 鉱山学部土木環境工学科

\*\* 和歌山県庁

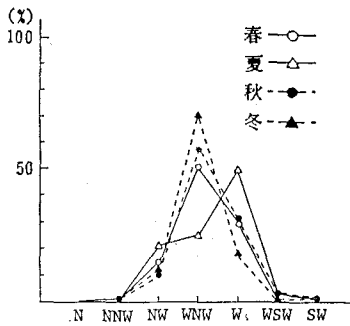


図-4 波向の季節変化

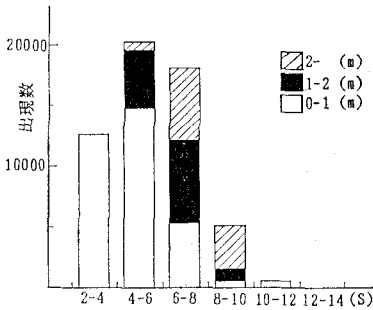
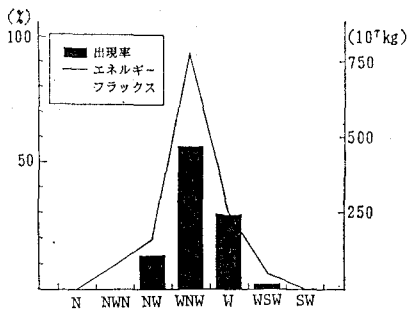


図-5 波高と周期の結合分布 (通年)

図-6 波向と  $E_f$  の分布

### 3. 気象と海象

対象域での気象と海象の特徴を列挙すれば、①卓越風向(強風)はWNW~NW(強風全体の61.7%)。②卓越波向は、夏はW、冬はWNW(図-4参照)。③季別平均の有義波高と周期は、冬(2.03m, 6.65s), 春(0.98m, 4.99s), 夏(0.45m, 4.04s), 秋(1.12m, 5.43s)(図-5参照)。④エネルギー・フラックス  $E_f$  の卓越方向はWNW(図-6参照), 等である。

### 4. 河口部地形の変遷

対象河口は、図-1に示すように、ほぼN15°E方向に向いたなだらかな砂丘海岸の南部に位置する。過去、流砂・漂砂(飛砂を含む)により、河口閉塞を来したこ

とがある。河口部汀線は、1890年頃より1971年までで約100m後退した(運輸省第一港建新潟調設, 1971)。この後退は平沢から雄物川付近までという。後退例を図-7に示す。国土地理院発行の地形図から求めたものである。現在はほぼ安定的である。

河口地形の変遷は、人工的営力の付加程度(河口部に限定)により、次の3期に分けられよう。

#### (1) 1952年以前

図-8(A)~(D)に示すように(興味深いことに、地形図の河口部での等深線は侵食的に記入されている)、無堤状態では、左右岸から砂嘴が形成されていた。1948年から、河口部に人工の手が加えられ始めた。

#### (2) 1953~1975年

1953年に右岸導流堤の築造が始まり、右岸からの砂嘴の形成は抑えられた。河川流量が比較的豊富なので、卓越沿岸漂砂は南からと判断したことになる(野田・橋本, 1981)。しかし、図-9に示すように、左岸からの砂嘴はもちろん、河口幅は冬季に縮小、融雪期と夏季(図-2参照)に拡大というパターンも変わらず、ついに1964年に左岸防砂堤の築造に至った。低水護岸と防砂

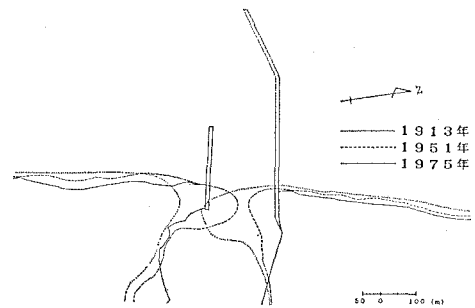


図-7 汀線変化例 (1913~1975)

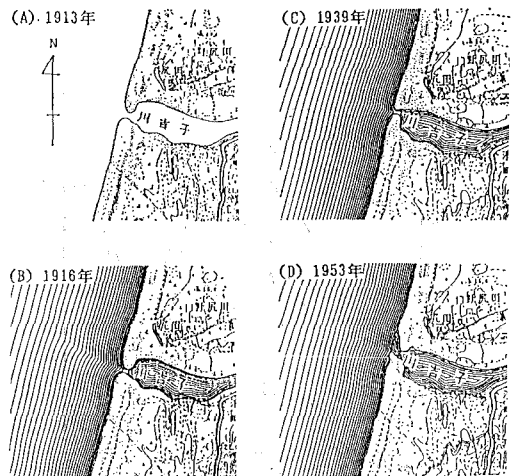


図-8 河口砂嘴の変遷 (1913~1953)

河口幅 (m)

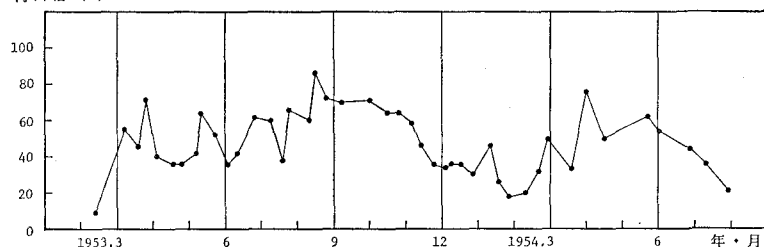


図-9 最小河口幅の経時変化

堤のすり付けが終了(1976年)するまで、砂嘴の形成は見られた。右岸導流堤築造後、その基部での砂州の発達は見られない。よって、卓越沿岸漂砂が北からとは考えにくい。

### (3) 1976年以降

河口は完全に固定され、その幅は約 200 m である。河口の方向は WSW で、過去の自然の向きと比べると(図-8 参照)、やや不自然さを感じる。現在、直河口は夏季に堆積、冬季に侵食だが(以前と逆)、経年的変動は殆どない。ただし、河道内では毎年のように浚渫が行われている(表-2 参照)。第6章で、対象海域の海底地形の支配波を検討するが、その波諸元と堀川他の式(土木学会, 1985)を用いて海浜形状の分類を行うと、

$$C \approx 33 \sim 42 \dots\dots\dots (1)$$

の侵食型海浜となる。以上のことより、導流堤等により河口位置が沖に移動させられても、河口の海浜形状特性は変わらないことが判断され、上記の直河口での変化パターンは納得いくものである。

図-10 から判るように、左岸防砂堤築造後、その基部はゆるやかな堆砂傾向にある。1981年8月から1990年3月までで、防砂堤沿いは 138 m、汀線沿いは約 550 m 部分で砂州の前進が見られる。バーム高を約 2 m、移動

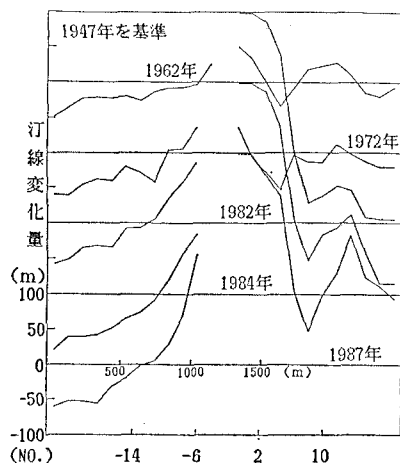


図-10 汀線変化量図 (1947~1987)

限界水深を約 9 m とすると(第6章参照)、約 4.9 万  $\text{m}^3/\text{yr}$  の堆砂があったことになる。

航路・泊地の水深は浚渫により 3 m に維持されている。浚渫例を表-2 に示す(秋田県, 1986)。1973 年から平均的に 2.2 万  $\text{m}^3/\text{yr}$  程度が浚渫されている。河道での砂利採取は禁止されていない。

表-2 河口内での浚渫例

| 年       | 場所      | 量( $\text{m}^3$ ) |
|---------|---------|-------------------|
| '58-'72 | 航路(-3m) | 11000             |
| 1975*   | 航路(-3m) | 89200             |
| 1982    | 泊地(-3m) | 19550             |
| 1983    | 泊地(-3m) | 127500            |
| 1984    | 泊地(-3m) | 15650             |

(\*マリナー着工年)

マリナーの増設計画がある。構造物先端は碎波点部に位置する(日本海海難防止協会, 1990)。周辺地形の変動が予想される。

## 5. 沿岸漂砂

対象海岸での沿岸漂砂の動向が良く判っていない。漁港等で堆砂問題が生じている。

田中ら(1973)、田中(1980)は、1964~1966 年当時で、南から北と判断している。これは、エネルギー・フラックス  $E_f$  の卓越方向と逆である(海岸線方向はほぼ  $N 15^\circ E$  で、その法線方向は  $W 15^\circ N$  となる。一方、 $E_f$  の平均方向は  $W 22.5^\circ N$  (WNW) からやや W 寄りである(図-6 参照)。よって、 $E_f$  の卓越方向が、海岸線沿いのどちらであるかを判定することは微妙である)。近辺の漁港は南から北として計画されてきた(初期の漁港の港口の方向は古老の話を聞いて決めた)。2~3 の漁港での堆砂実態を示すと、①松ヶ崎漁港(河口北に位置): 港口の方向は NW 方向。港内は堆砂傾向(0.5 万  $\text{m}^3/\text{yr}$  程度と推定)。②西目漁港(河口南): 港口の方向は NW 方向。港内は堆砂傾向(1 万  $\text{m}^3/\text{yr}$  程度浚渫)。③平沢漁港(河口南): 港口の方向は NW 方向。港内はやや堆砂傾向。これ等漁港での堆砂は、WNW (冬季)の波浪によるとと思われる。W の波浪時の漂砂は港内堆砂にあまり関係すまい。よって、北からの漂砂が卓越しているとは言えない。

今、漂砂源は子吉川のみと仮定しよう。その量を約 11 万  $\text{m}^3/\text{yr}$  とし(由利橋地点、芋川の存在を考慮、河川横断を 3 つに分割、佐藤・吉川・芦田の式を使用した時の著者等の計算では、この程度と推定された。第2章の数値と比較されたい)、河道内での浚渫、左岸基部での堆砂、漁港での堆砂を考慮すると、2.4 万  $\text{m}^3/\text{yr}$  程度が河口沖か北へ移動となる。この程度では、河口北での海岸線の変動は顕著とならず、卓越沿岸漂砂方向の判定も難しからう。

表-3 中央粒径の分布 (mm)

| 測点 | '90.10 | '90.11 | '90.12 | '91. 1 | '91. 2 | '91. 3 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 0.41   | 0.70   | 0.90   | 1.20   | 0.83   | 1.51   |
| 2  | 0.32   | 0.66   | 0.89   | 0.78   | 0.56   | 0.49   |
| 3  | 0.46   | 1.00   | 0.75   | 1.18   | 0.51   | 0.81   |
| 4  | 0.65   | 0.99   | 1.09   | 0.62   | —      | 0.47   |
| 5  | 0.51   | 0.50   | 1.16   | 0.71   | 0.49   | 0.37   |
| 6  | 0.46   | 0.48   | 0.94   | 0.89   | 0.61   | 0.84   |
| 7  | 0.30   | 1.15   | 0.92   | 0.61   | 0.36   | 0.88   |
| 8  | 0.32   | 0.28   | 0.28   | 0.45   | 0.33   | 0.28   |
| 9  | 0.26   | 0.23   | 0.33   | 0.30   | 0.22   | 0.24   |

河口部を含む海岸の汀線での中央粒径  $d_{50}$  の空間・時間分布を 表-3 に示す。河口は No. 5 と 6 の間に位置する (図-1 参照)。河口南では、南下するにつれて径が小さくなっている。河口北では、北上するにつれてやや小さくなる傾向にある (冬季は除く。これには採砂法も関係)。これ等は上記仮定を否定するものではない。

## 6. 移動限界水深

1982年以後の河口部での移動限界水深  $h_c$ 。それに対応する波諸元を求める。深浅測量の測線配置を 図-11 に示す。岸沖方向は基線から約 800 m 沖 (水深にして 8 m 程度) までしか測量されていない。

図-12 (a), (b), (c) に季別の各測線での平均海浜断面形  $h$  とその標準偏差  $\sigma$  を示す。データは1982 (1983)~1987 (1988) 年の6年分である (( ) 内は冬季)。

右岸側では、マリーナ防波堤の北側隅角部を除いて、平均海浜断面形の夏・冬の季節差は小さい。同防波堤前面で、沿岸砂州が一年中形成されている。 $\sigma$  もトラフを除いて比較的小さい。測線毎の平均海浜断面形の季節による沖での差は、最大で 0.4 m 程度である。冬季の沖での  $\sigma$  も、各測線ほぼ同じ 0.4 m 程度で、測量誤差 (0.2 m 程度と言われている) よりやや大きい程度である。よって、 $h_c$  は 7 m 強と考えられる。

河口部では、冬季に河口直内外と右岸導流堤先端部で侵食が見られる。季節に関係なく、右岸導流堤先端部で  $\sigma$  が大きい (1.5 m 程度)。これは、構造物の影響と思われるが、水深 10 m 程度までの砂が動いていると判断される。

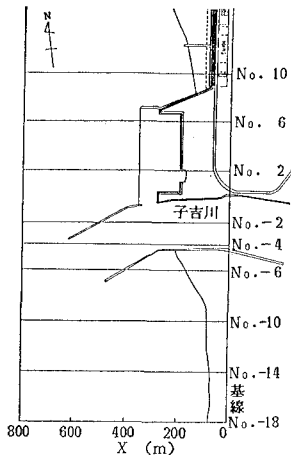
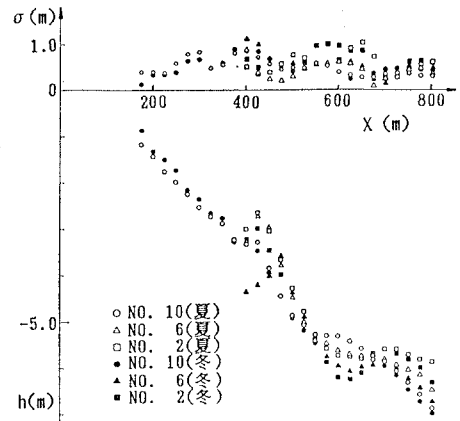
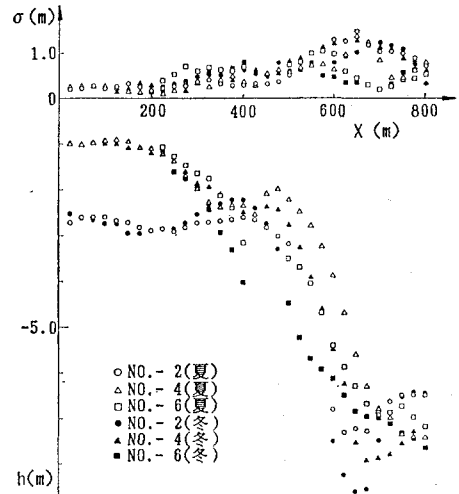


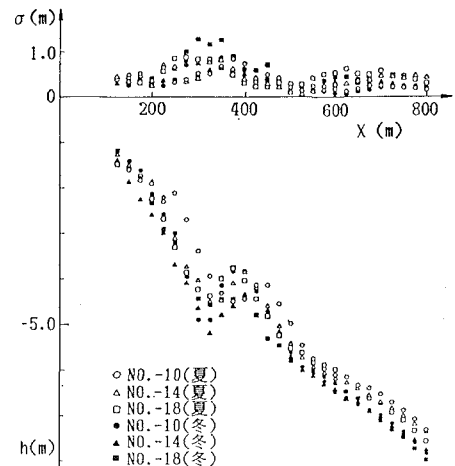
図-11 深浅測量の測線配置



(a) 右岸側



(b) 河口部



(c) 左岸側

図-12 海浜断面形

河道奥での平均海浜断面形の季節変動と  $\sigma$  は小さい。No. -6 の測線で、冬季に侵食のため、測点が一つ増えている。

左岸側では、季節に関係なく、一段の沿岸砂州が形成されている。ただし、右岸に比べて浅い所に位置している。これは、一つには、冬季風浪に対する右岸導流堤等の遮蔽作用によるものかもしれない。約 5 m 以深で、夏季に堆積、冬季に侵食の傾向がはっきり見られる。トラフで  $\sigma$  が大きい。バーより沖での  $\sigma$  はほぼ一定で、それも測量誤差程度である。水深 8 m 付近で、季節による変動が 0.5 m 程度ある。冬季の約 5.5 m 以深での  $\sigma$  が測量誤差程度であっても、 $h_c$  は 8 m 以上と判断せざるを得ない。宇多ら (1990) が提示している、年 1 回 (一季節) の経年的測量データの  $\sigma$  のみから  $h_c$  を判断することには、危険がある。日本海側では、季節的な変動も考慮すべきである。

次に、 $h_c$  を計算する。佐藤・田中の経験式 (土木学会, 1985) を用いる (表層移動に関する彼等の経験式による  $h_c$  と現地のものとの一致度は良いと言われる (宇多他, 1990))。

$$(H'_0/H) \sinh(2\pi h_c/L) \\ = 0.741(H'_0/L_0)(L_0/d_m)^{1/3} \quad (\text{表層}) \cdots \cdots (2)$$

$$(H'_0/H) \sinh(2\pi h_c/L) \\ = 0.417(H'_0/L_0)(L_0/d_m)^{1/3} \quad (\text{完全}) \cdots \cdots (3)$$

ここで、 $H'_0$ : 換算沖波波高、 $L_0$ : 沖波波長、 $H$ :  $h_c$  での波高、 $L$ :  $h_c$  での波長。 $H'_0$  は、屈折変形はなく、浅水変形のみとして求める。底質平均粒径  $d_m$  として 0.20 mm を採用する (第 2 章参照)。結果をまとめて表-4 に示す。表中、 $T$  は波周期である。対象海域では、20~30% 確率波による  $h_c$  が、実測値と良く対応するようである。この時、

$$H'_0/L_0 = 0.025 \sim 0.028 \cdots \cdots (4)$$

$$H'_0/d_m = 7 \ 250 \sim 9 \ 650 \cdots \cdots (5)$$

で、岩垣・野田の沿岸砂州発生条件 (土木学会, 1985) を満足しており、実測とも対応している。20% 確率波

の諸元は冬季の平均有義波のそれとほぼ同じであることも付言しておく (第 3 章参照)。

## 7. む す び

既存資料の解析と若干の現地調査に基づき、子吉川河口部地形の変遷と変化特性について検討を行った。検討結果を共通点と固有点に分けて要約すると、

【共通点】 ①融雪期と夏季に洪水が多い。②夏季と冬季で卓越沿岸漂砂方向が異なる。③導流 (防砂) 堤の河川堤防 (護岸) へのすり付けが終了して、砂嘴の形成が無くなる。④河川流砂量の減少が 1970 年代までの汀線後退の原因と思われる。⑤一季節の経年的測量データのみから移動限界水深を決めることは危険。季節変動も考慮すべきである。⑥沿岸砂州が一年中見られる。

【固有点】 ⑦日平均流量 (二十六木橋) が  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  程度を越える時、堤内地で何等かの災害が生じるようである。⑧ 1976 年頃を境に、直河口での砂の付き方が季節的に逆になった。これは、対象海浜が侵食型海浜であること、導流 (防砂) 堤により、河口位置が沖に移動したことを考えれば、納得いくことである。⑨卓越沿岸漂砂方向は南から北と思われる。これは、エネルギー・フラックス  $E_f$  の卓越方向と逆である。⑩河口部での移動限界水深は 8 m 以上と思われる。⑪対象海域の海底地形は 20~30% 確率波に支配されている。

謝 辞: 本研究を遂行するに当たり、秋田県土木部港湾課より資料の提供を賜った。ここに記して深甚なる感謝の意を表す。なお、本研究は文部省科学研究費総合研究 (A) (研究代表者 東北大学教授 澤本正樹) により行われたこと、本論文の公表に当たり小川記念基金の補助を受けたことを付記する。

## 参 考 文 献

- 秋田県 (1986): 秋田の港湾, p. 143.
- 宇多高明・斉藤健一・清水清文 (1990): 新潟県, 荒川河口周辺海岸の地形変化実態, 土木技術資料, 32-5, pp. 61-66.
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所 (1971): 本荘港調査成果報告書 第一第 3 報, p. 57.
- 田中則男・小笹博昭・小笠原昭 (1973): 海浜変形調査資料 (第 1 報), 港湾技研資料, No. 163, p. 95.
- 田中則男 (1980): 海岸工学的観点に立った我国海浜の地域区分, 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 211-215.
- 土木学会 (1985): 水理公式集 一昭和 60 年版一, p. 546.
- 日本海海難防止協会 (1990): 本荘港小型船舶航行安全対策調査報告書, pp. 75-90.
- 野田英明・橋本 宏 (1981): 漂砂と海岸保全施設, 技報堂出版, p. 157.

表-4 確率波毎の移動限界水深

| 確率  | $(H'_0)_{1/3} \text{ (m)}$ | $T \text{ (s)}$ | 表層 (m) | 完全 (m) |
|-----|----------------------------|-----------------|--------|--------|
| 5%  | 3.41                       | 8.1             | 19.4   | 10.6   |
| 10% | 2.73                       | 7.5             | 15.1   | 8.2    |
| 20% | 1.93                       | 6.7             | 9.7    | 5.0    |
| 30% | 1.45                       | 6.1             | 6.7    | 3.4    |
| 40% | 1.08                       | 5.7             | 4.6    | 2.4    |

(酒田港: '82, '83, '84, '85, '87, '88 の平均)