

羽幌港周辺における地形変化の考察

CONSIDERATION OF BEACH CHANGES AROUND THE HABORO PORT

戸巻 昭三¹ ・ 竹沢 三雄²

Shozo TOMAKI and Mitsuo TAKEZAWA

¹正会員 工博 株式会社クマシロシステム設計(〒060-0807 札幌市北区北7条西2丁目8)

²フェロー会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科(〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8)

Beach changes around the Haboro port was analyzed by some aerial photographs of the Haboro river mouth and soundings for researching the cause of the harbor siltation. And the cluster analysis was done by using sediments and wave conditions. As a result, it was clear that the harbor siltation of the Haboro port was caused by the sediment discharged from the Haboro river.

Key Words: river mouth bar, harbor siltation, cluster analysis

1. はじめに

本研究は, 航空写真による羽幌港に隣接する羽幌川河口の周辺地形の経年変化と, 羽幌港周辺から採取した底質の粒度組成, 中央粒径, 比重の3つの要素のほか波高, 水深, 海底勾配などを加えたクラスター分析等から, 羽幌川の流砂と羽幌港周辺の漂砂による港口埋没の原因を検討することを目的とする。

2. 羽幌海岸の概況と羽幌川移設の経緯

(1) 羽幌海岸の概況

羽幌海岸は, 北海道の日本海に面する天塩沿岸にあって, 半径2,100mと4,600mの連続した約4kmの弧状からなる海岸である。羽幌港をはさんで北部と南部には, 10~20mの高さの海岸段丘が繋がっている。北端の滝の下及び南端の中ノ滝の海岸段丘層は海底下にも分布し, 凹凸の激しい岩盤が露出し, 北部崖と羽幌港との間に河川低地の沖積層があり, この低地を羽幌川が流れ, 羽幌港はその南側に位置している。

(2) 羽幌川移設の経緯

羽幌川は北海道天塩山地を水源として西流し, 10数河川を合流し, 流域面積269.6km², 流路延長51.2km, 計画高水流量900m³/s, 比流量3.3m³/s/kmの日本海に注ぐ中規模の2級河川¹⁾である。



図-1 羽幌港の1974年の現況

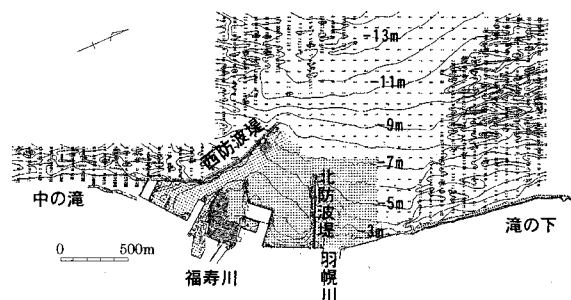


図-2 羽幌港位置図(1999年11月現況)

一方羽幌港は, 河口港として1935年に開港したが, 流出土砂による港内埋没が顕著であったため, 1939~1944年羽幌川を切替え, 河口を北側へ約150m移設した(図-1参照)。その後, 1980年より北防波堤の新設と, 西防波堤の延伸工事をすすめるにあたり, 羽幌川からの流出土砂と沿岸漂砂による港内埋没を防止するため, 1986年2月羽幌川を再度北側へ約800m移設した(図-2参照)。なお羽幌川の年間流出土砂量は, 約40,000m³である。

3. 現地調査と波浪

(1) 現地調査

調査対象区域は、図-2 に示すように滝の下より中の滝までの4kmの範囲の海岸で、羽幌川については、河川流量調査、航空写真による河口砂州の変遷、さらに1994年6月、1997年9月、1999年9月実測の深浅測量図ならびに1990年1月31日～2月1日羽幌港周辺海域から採取した底質粒径調査を行った。

(2) 波浪

羽幌海岸における波浪は、北海道開発局²⁾が羽幌港西防波堤の沖合、水深9mの位置で1987年4月～1991年3月までの4ヶ年間のデータを用いた。

図-3は、波向別波高頻度図であり、また図-4は波高2.0m以上の有義波高と有義波周期を示したものである。

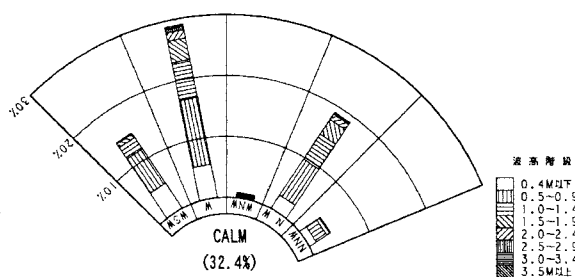


図-3 波向別波高頻度図

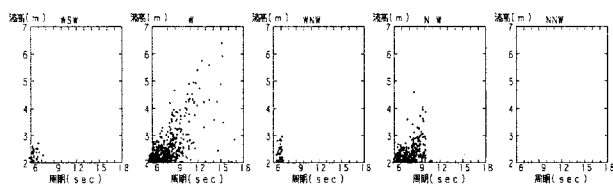


図-4 波浪(有義波高2.0m以上)の出現特性

図-3から、卓越波向はW波の29%、次いでNW波の19%で、この2波向で48%を占める。

4. 河口砂州の変遷と地形変化

1986年羽幌川河口の切替え後、西防波堤の延伸、北防波堤の新設などにより羽幌川河口砂州がどのように地形変化したかについて検討した。

(1) 河口砂州形成と外力

河口砂州の経時変化の地形情報を捉えるために、羽幌上空を通過した際に撮影した1990年4月～2003年3月まで13年間23葉の航空写真を用いた。

撮影時間は不明のため潮位変化等は考慮していない。なお、羽幌港のH.W.L.は、D.L.+0.4mである。

図-5は、航空写真23葉から読み取った河口砂州の状況を3葉毎に重ね合わせ、その河口砂州形成に影響を及ぼしたと思われる羽幌港西防波堤沖合いの最大有義波

($H_{1/3}$, $T_{1/3}$)と羽幌川の最大日流量³⁾を写真撮影1～2ヶ月前のデータから抽出して併記したものである。

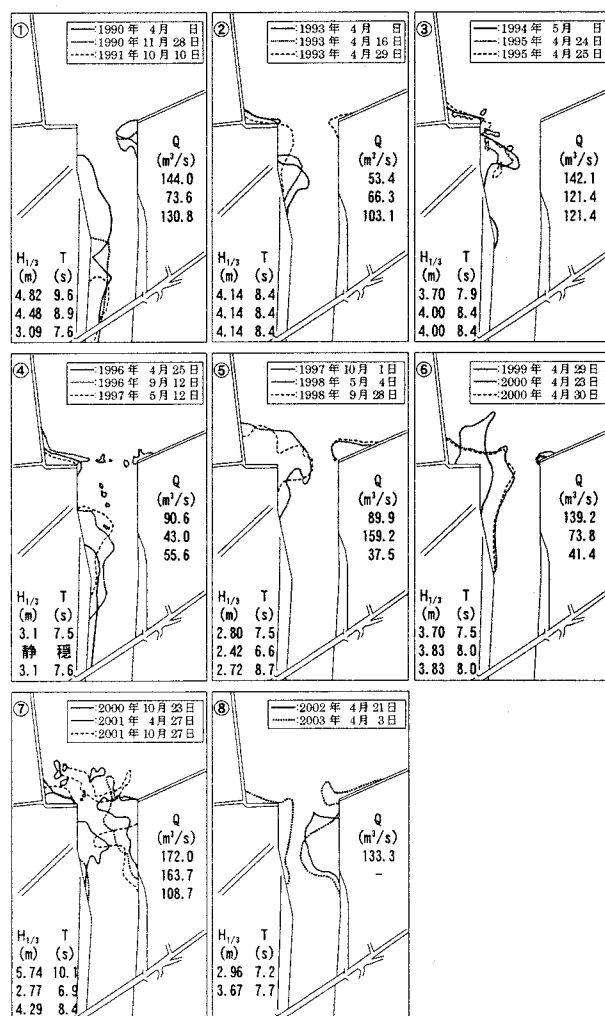


図-5 河口砂州変遷と波浪・河川流量との関係

図-5から、河口砂州の変遷を考察すると次のとおりである。

①では1990年4月と1990年11月の $H_{1/3}=4.82\text{m}$ および $H_{1/3}=4.48\text{m}$ の波により羽幌川左岸側河口砂州は河川上流に押し戻されたが、1993年4月には、②のように河口砂州は小さくなり、さらに③に示すように1994年5月には左岸河口付近まで流下して河口砂州を形成した。そして④に示すように1997年5月まで左岸側で砂州が上流に形成されたり、河口付近に形成されるという状況が繰り返された。

図-6に示されるように、1996年より1997年にかけて西防波堤が15m延伸され、北防波堤基部の隅角部分が静穏域となり、土砂が北防波堤基部の隅角部に堆積するようになった。この状態が、⑤の1997年10月から⑥の2000年4月まで続く。

次いで、⑦に示されるように、2000年9月2日 $172.0\text{m}^3/\text{s}$ の河川流量と2000年10月18日 $H_{1/3}=5.74\text{m}$, $T_{1/3}=10.1\text{sec}$ の波浪、それに伴う隅角部からの反射波⁴⁾や北防波堤からの沿い波、さらに河口に向う右岸側護岸

の沿い波などが加わって、河口前面には大小の砂堆が散見され、右岸側に河口砂州の発達が著しくなった。そして、2002 年から 2003 年にかけて⑧に示すように右岸護岸先端部に河口砂州が発達した。

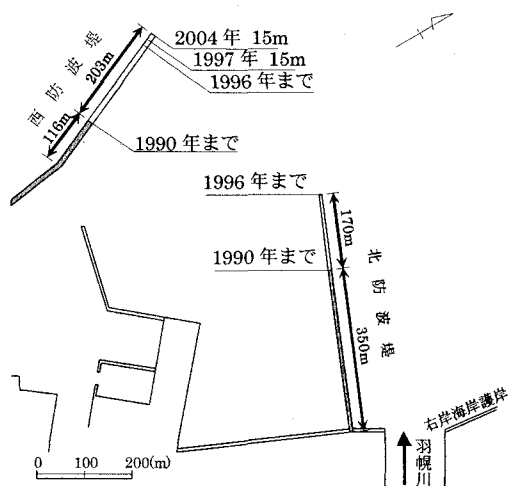


図-6 羽幌港西防波堤と北防波堤の延伸経過

(2) 河口前面の海底地形

先に述べた航空写真撮影時の 1990～2003 年に 3 回 (1994 年 6 月, 1997 年 9 月, 1999 年 9 月) 行った深浅測量図を図-7 に、さらに測線 1～4 の海底断面地形を図-8 に示す。

特に 1999 年 9 月 22 日実測の地形図は、1999 年 7 月 29 日の羽幌川日平均流量 344 m^3/s 、ピーク流量 1143.6 m^3/s に達した洪水後に作成されたものである。

洪水によって堆積したとみられる砂州は、図-8 に示すように河口中心の測線 2 の断面にだけ存在し、その砂州の高さは最大約 2m にまで達している。この堆積土砂は、図-7 の平面図に示すように水深-2m～-3m の等深線に沿って最初北防波堤側に移動し、その後図-5 の⑥に示されるように 2000 年 4 月には羽幌川左岸の河口砂州⁵⁾を形成したものと考えられる。

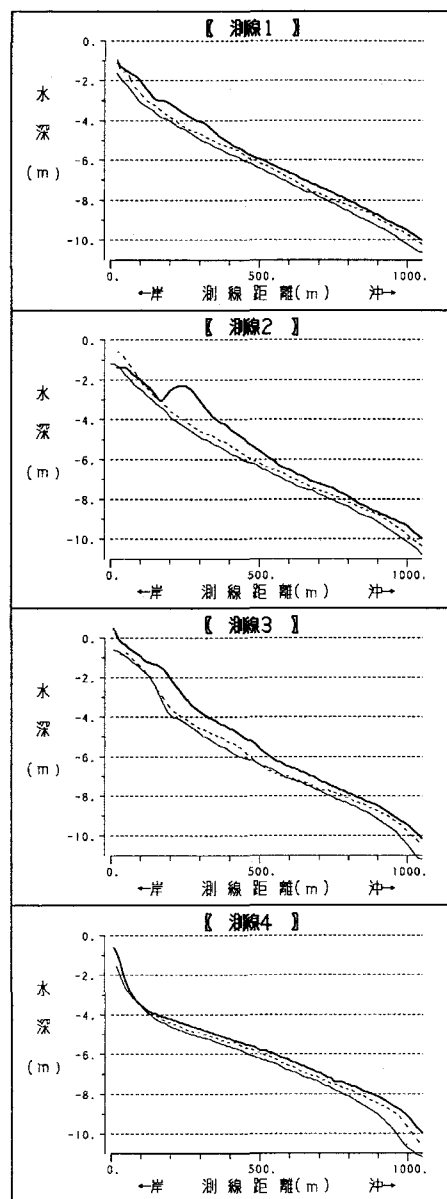


図-8 断面地形図

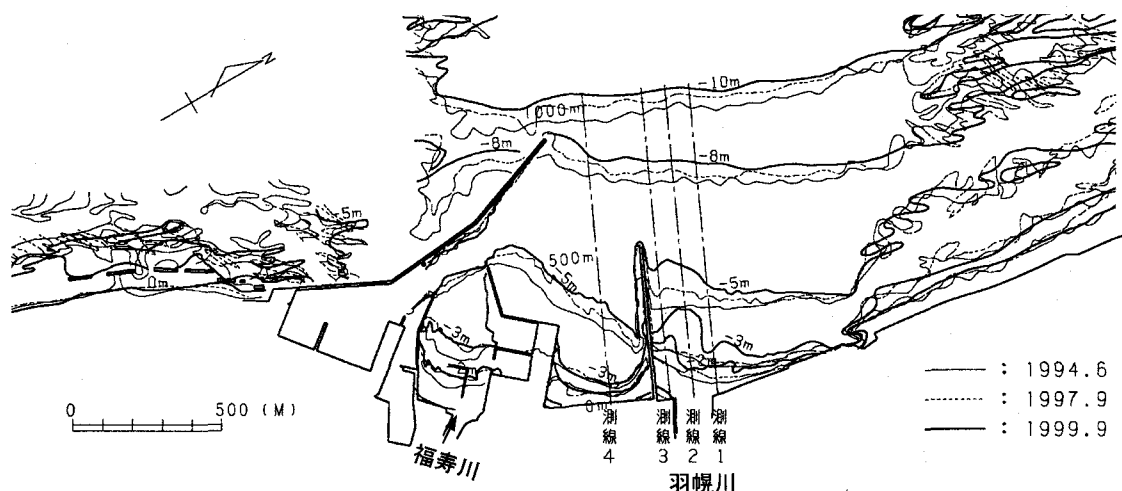


図-7 羽幌港深浅測量平面図

5. 羽幌港周辺の漂砂移動

(1) 底質の諸量を変量値としたクラスター分析

1990年1月および2月に羽幌港周辺から底質を採取し、粒度組成については、粗砂以上、細砂、シルト以下とし、中央粒径、比重の5つの変量値を用いてクラスター分析⁶⁾を行い、羽幌港の港内埋没の原因となる漂砂源の検討を行った。

図-9(a), (b)は、クラスター分析の結果である。

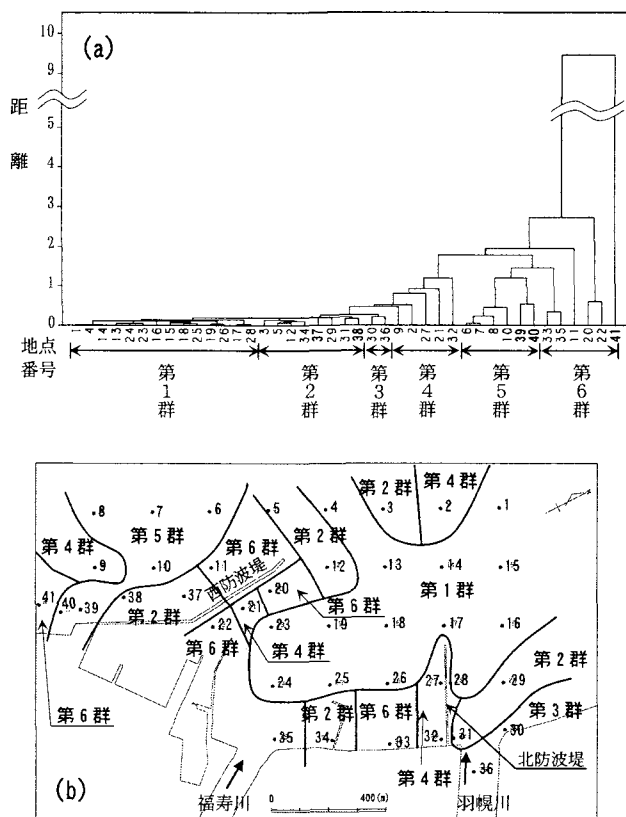


図-9 クラスター分析結果(第1回)

図-9(a)の樹形図において、粒径の極めて小さい底質が多く存在し、しかもその性質の類似性が高く、距離(図における高さ)が非常に短いので、樹形図を切り分けるにあたって距離の短い所に重点をおき、0.69で切り分けたが、さらに標本数の多い第4群以下の標本を0.26の距離で切って分類を多くし、クラスターの関係を明瞭にさせた。そして全体の標本を第1群から第6群までの6つのグループとした。

図-9(b)は、羽幌港平面図にクラスターを分布させたもので、羽幌川からの流砂が羽幌港の港内とその沖方向に広く分布していることが認められる。そして、この区分により羽幌港の南側である中の滝付近からの漂砂移動は、羽幌港の港内に大きな影響を及ぼしていないものと考えられる。

しかし、西防波堤先端沿いの港内と港外側に南側との関連性の強い第6群が存在するのは、港内側

は、毎年実施する航路維持浚渫(50,000m³)の範囲であり、港外側は、西防波堤からの反射波により海底地形がかく乱されて粗砂を多く含んだ底質が存在する。したがって、同じクラスターでもそれぞれの発生理由が異なっている。

また、北防波堤と福寿川の間に第2群と第6群が存在するのは、羽幌川の切替え前に堆積した流砂と新設中の物揚場護岸工事の掘削によるものと考えられる。

なお、福寿川は切替え前の羽幌川で、現在は羽幌川合流点での洪水調節と周辺地域の排水のための河川となっている。

(2) 波高、水深、海底勾配の要素を加えたクラスター分析

現在、羽幌海岸においては、沖から岸にかけて底面流速の変化に対応した海底地形が形成されている。そこで、底質の諸量を変量値としたクラスター分析に波高、水深、海底勾配の3つの要素を加えて再度クラスター分析を行い、底質の移動過程を追跡した。

a) 設定条件

(河川流量)

底質採取日(1990年1月31日~2月1日)の2か月前からの羽幌川の河川流量は、月平均日流量は3.3m³/sであり、これは図-8に示す1994年6月実測の海底断面における月平均日流量22.5m³/sに比して極めて少ないことから河川流量による地形変化はないものと想定した。

(波浪)

1990年1月23日~2月28日(36日間)羽幌港沖での波浪観測結果から、1月28日~29日における最大有義波高 $H_{1/3}=2.51\text{m}$ 、 $T_{1/3}=6.8\text{sec}$ を用いて、各底質採取地点の水深(h)で発生するときの波高(H)を計算で求めた。なお、波向は頻度が37.12%を占めるNW方向を用いた。

底質採取日における河口砂州の状況は、図-5⑥及びその前後の⑤、⑦に示すように碎波点より岸側の測点30、31には堆砂しており、さらに⑦で述べたこの付近の施設の配置状況とそれらの関連から生ずる波の影響がどの程度なのか不明であるため、クラスター分析の検討から測点30、31、36を除いた。

(海底勾配)

底質採取日前後に深淺測量が行われていないので、採取地点と汀線間における勾配をもって海底勾配とした。

(分析の範囲)

羽幌港西防波堤中央部付近より沖合は岩礁地帯であり、堆砂は認められなかった。そのため、

西防波堤中央部から南側の測線はクラスター分析から除いた。

以上の条件によりクラスター分析した結果が図-10(a)(b)である。

図-10(a)の樹形図の切り分けにあたって、0.37で切り分けたが、さらに0.26の距離(図形における高さ)で切ってクラスターの分類を多くした。以上により全体の標本を第1群から第5群までの5つのグループに分けた。

この結果を羽幌港平面図にプロットしたのが図-10(b)であり、第1回と第2回のクラスター群の分布を比較したのが表-1である。

表-1から、港内・外の24、25、26、27、28地点は第2群に分類され砕波に相当する地点であり、砕波により底質の巻き上げ作用が強く働いている地点と考えられる。そして、その沖合いは浮遊砂量の多い第1群で形成されている。これは、表-1に示されるように第1回目のクラスター分析と同様である。

さらに第1回目のクラスター分析では不鮮明で

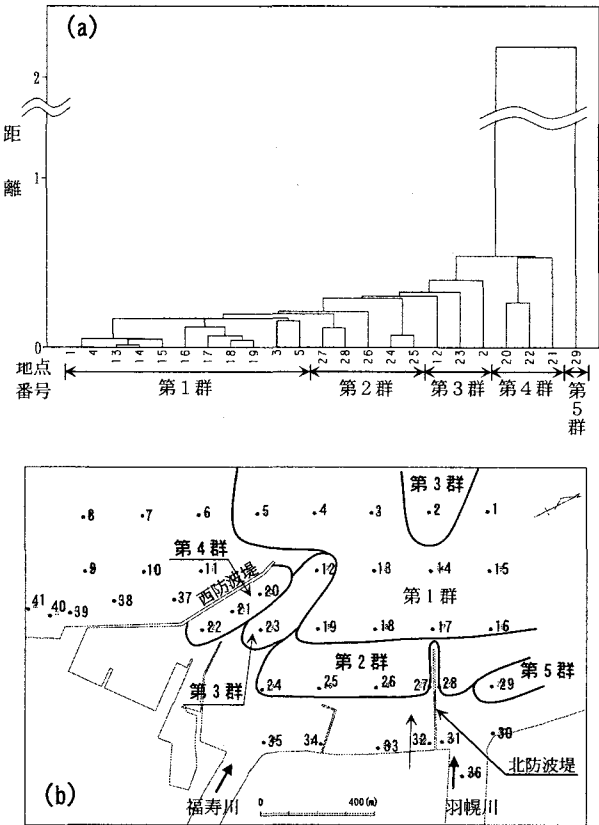


図-10 クラスター分析結果(第2回)

表-1 クラスター群の分布の比較

採取地点		2	1	3	4	5	12	13	14	15	16	17	18	19	23	21	20	22	24	25	26	28	27	29
クラスター群	第1回	4	1				2	1								4	6		1				4	2
	第2回	3	1				3	1							3	4		2				5		

あった測点 20、21、22、は第4群となり、維持浚渫工事の範囲のため海底地形がかく乱されたものであり、測点 12、23 もその影響によるものと考えられる。また、測点 29 の底質粒径が特に粗くクラスターから大きく外れている。

6. 波高, 水深, 海底勾配の検証

複雑な漂砂現象を単純化し、海底地形の土砂移動に関係の深いシールズ数(ψ_m)から底質採取地点における漂砂の移動形態の遷移条件を検証した。

$$\psi_m = \tau_{bm} / (s \rho g d) \tag{1}$$

ここで、 s : 底質の水中比重、 ρ : 水の密度、
 g : 重力の加速度、 d : 底質の中央粒径

$$\tau_{bm} = f_\omega \rho u_{bm}^2 / 2 \tag{2}$$

τ_{bm} : 最大底面せん断応力
 f_ω : 摩擦係数で 0.015 とした
 u_{bm} : 海底面での流速振幅

底質の採取地点毎のシールズ数と波高(H) の出現と漂砂量に与える影響と関連性のある相対水深(h/d)の関係に、クラスター群をパラメータにして図示したのが図-11 である。

また、図-11 には底質採取地点の水深(h)、海底勾配および底質の浮遊しやすさを示すと考えられている $\sqrt{gH} / \omega$ (ω :沈降速度)を()に記入した。

なお、H は先に波高、水深、海底勾配の要素を加えクラスター分析を行った際の波高(H)である。

図-11 から、シールズ数と相対水深は反比例し、パラメータのクラスター群はシールズ数が多い第2群からシールズ数の小さい第3群そして第1群へと連続移行している。

堀川⁸⁾は、振動流場における底質の移動形態の遷移条件をシールズ数と底面水粒子速度振幅との関係から示している。そこで、このシールズ数による遷移領域を図-11 に記入し、底質採取地点の漂砂の移動形態の遷移条件を検証した。

その結果、クラスター分析の第2群の水深-3.0~-3.6m はシートフローの領域に属し、 $\sqrt{gH} / \omega$ の値は水深-3.0m より-3.6m の方が大きい値となる。さらに水深-4.0m になると浮遊・遷移領域に移行し、 $\sqrt{gH} / \omega$ の値は 532 となる。このようにシールズ数に

よる底質の移動形態は底質の浮遊しやすさを示す $\sqrt{gH}/\omega$ と関係が深い. クラスタ分析第2群は相対水深 $h/d=20,000\sim40,000$ (水深-4.0m 以下) の範囲にあり, これは沿岸砂州発生地点に相当する.

クラスタ分析第3群と第4群は, 遷移領域と掃流領域に属している. 特に遷移領域の底質採取地点23は, 西防波堤により被覆されて波浪よりも維持浚渫の影響を受けて粒度組成が細かく, 一方掃流領域の底質採取地点12は, 波浪や潮位に伴う上昇水位が港内から西防波堤に沿って港外へ流量となつて流出するため粒度組成が粗い. このように両者は共に第3群であるが, 生成過程が領域を異にさせる.

クラスタ分析第1群は, 掃流領域に属している. この領域ではシールズ数が小さくなるにつれて $\sqrt{gH}/\omega$ の値も次第に小さくなる. クラスタ分析第1群は, 相対水深 $h/d\geq 50,000$ であり底質移動の遷移領域限界の最大水深が海岸断面地形が安定する地点⁹⁾ (stable point) に相当するものと考えられる. また, 図-11 から, 無次元漂砂量(ϕ)が h/d の変化に対してどう変わるかを間接的に知ることができる.

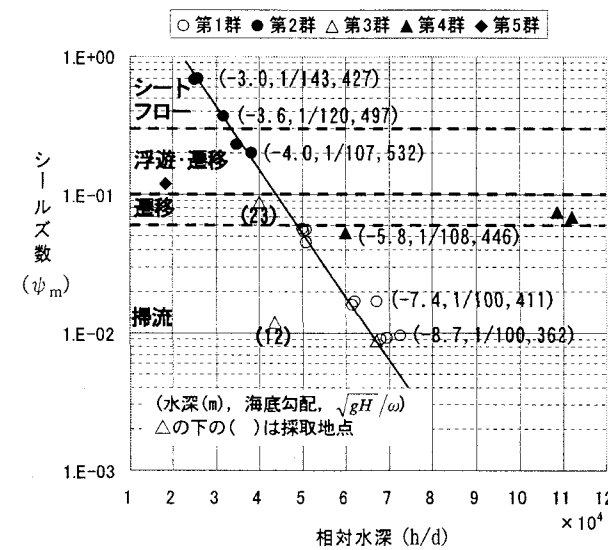


図-11 シールズ数と相対水深の関係

表-2 の外的条件の比較から, 海岸断面地形変化は底質採取時より深浅測量時点の方が激しいことが想定される.

表-2 実測 2 ヶ月前からの外的条件の比較

実測年月	最大波浪(月/日)		羽幌川		実測内容
	波高 $H_{1/3}$ (m)	周期 $T_{1/3}$ (s)	月平均日流量 (m^3/s)	累計流砂量 ($m^3/2$ ヶ月)	
1990.1-2	(1/29) 2.51	6.8	3.3	1,250	底質採取
1994.6	(5/17) 3.7	7.8	22.5	12,790	深浅測量
1997.9	(8/20) 1.0	5.5	7.0	2,940	深浅測量
1999.9	(9/14) 2.77	7.8	4.7	1,820	深浅測量

以上から, 羽幌川の流砂量の最も少ない時点で得られた第1群のクラスタ分析の範囲は, 図-10 に示すように羽幌港内に広く及んでいることから, 羽幌川から流出する土砂が港内へ流入していることは明らかである.

7. むすび

以上の結果, 以下のことが明らかになった.

1. 羽幌川が $344.0m^3/sec$ の洪水流量に達した時には, 流砂量が河口前面に砂州を形成し, その堆砂の高さが最大 2.0m となった.
2. 羽幌港周辺の底質の諸量を用いてクラスタ分析を行った所, 羽幌川からの流砂が羽幌港の港内とその沖方向に広く分布していることが認められた.
3. 底質の諸量に波高, 水深, 海底勾配の3つの要素を加えてクラスタ分析を行った結果, 各クラスタ群はシールズ数によって形成されるシートフロー, 浮遊, 遷移および掃流領域に属することが検証でき, また表-2 の外的条件から羽幌川から流出する土砂が港内流入の原因となっていることが明らかになった.

謝辞: 本研究を行うにあたり, 北海道開発局留萌開発建設部より資料の提供を頂いたことを記して謝意を表します.

参考文献

- 1) 北海道: 羽幌川改良工事全体計画書, P. 35, 1978.
- 2) 北海道開発局編: 港湾・漁港波高出現率算定資料集, PP. 68-80, 1994.
- 3) 北海道土木協会編: 北海道雨量・水位・流量年表, 1990-2003.
- 4) 小舟浩治, 大里睦男: 防波堤隅角部付近の波高分布に関する研究, 港湾技術研究所報告, vol. 15, 2号, PP. 55-88, 1976.
- 5) 須賀堯三, 石川忠晴, 灘岡和夫, 田中仁: 河口前面テラスの形成とその消長, 土木学会論文集, 第381号, II-7, PP. 227-230, 1987.
- 6) 田中豊, 脇本和昌: 多変量統計解析法, 現代数学社, PP. 229-244, 1987.
- 7) 岩垣雄一, 裴義一, 辻俊一: 掃流漂砂の net の移動速度に及ぼす要因に関する研究, 土木学会関西支部学術講演概要, PP. II-101-102, 1985.
- 8) 堀川清司編: 海岸環境工学, 東京大学出版会, PP. 158-159, 1985.
- 9) 久宝雅史, 戸巻昭三: 海浜横断面の平衡点について, 第28回海講論, PP. 247-250, 1981.