

仙 台 湾 沿 岸 の 漂 砂 に つ い て

佐 藤 昭 二*・庄 司 忠 夫**・田 中 則 男***

1. は し が き

仙台湾沿岸のほぼ中央、福島県鶴ヶ尾崎から宮城県飛ケ崎まで、ほぼ 50 km に渡って続く砂浜海岸の北端部に掘込式港湾の計画が進められている。この仙台新港は仙台湾臨海新産業都市の中核をなすもので、その平面計画は図-1 に示すとおりである。すなわち、約 600 万坪の臨海工業地帯を造成し、10万 t 級船舶の入航を目的とするものである。

この計画に資するために、昭和 39 年度から 40 年度にかけて、第二港湾建設局および港湾技術研究所は R.I. 調査を含む一連の漂砂調査を実施し、この海岸の漂砂特性について考察を加えた。本文は、これらの成果の要点について報告するものである。

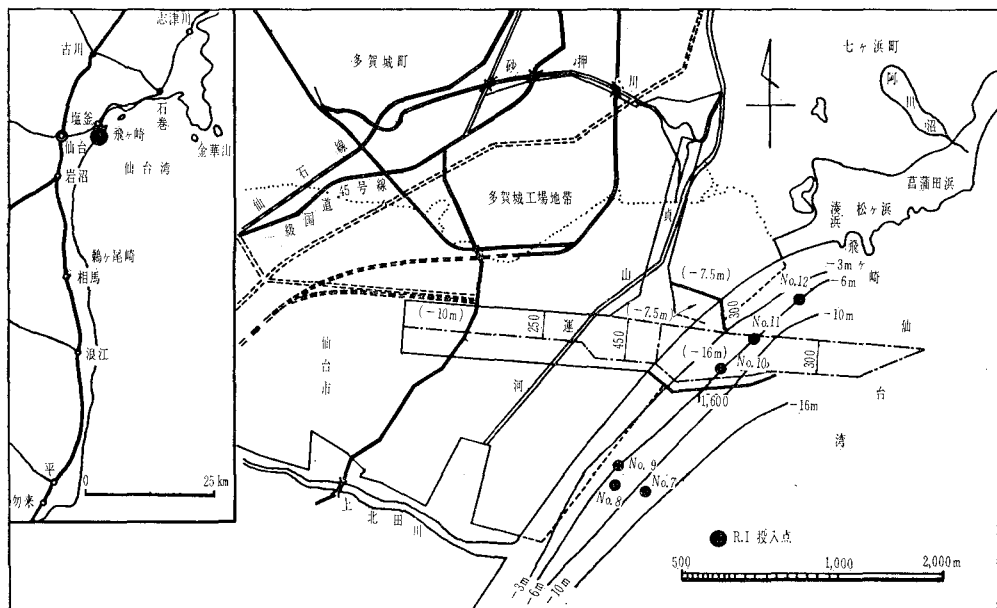
2. 漂砂の供給源および卓越方向

仙台湾沿岸は、図-2 の宮城県地質図に示すように、南端部の磯以南の部分を除いて、阿武隈川および名取川等から排出された土砂によって形成された沖積地であ

る。これらの各河川の排出土砂量は明らかでないが、図示した各河川の洪水流量から考えて、本海岸全域を考えると、阿武隈川が最も卓越した土砂供給源であり、名取川がこれについているものと思われる。七北田川以下の河川は洪水期には河口閉塞が見られるほどで、土砂供給の観点からは重視するに当たらない。

この図には、東北大学奥津教授による沿岸砂の重鉱物分析の結果に基づいて、水深 -2m から -10m の地域の重鉱物物に含まれる岩石の含有率が示されている。紫蘇輝石および磁鉄鉱類は、阿武隈川および名取川流域に広く分布する第 3 系の火山岩、凝灰岩および第 4 系の火山岩に起因し、一方ジルコンおよび柘榴石は主として阿武隈川流域に分布する花崗岩に起因するものである。図によると、比重の大きい岩石は阿武隈川から北に向って減少し、岩石片および紫蘇輝石等の比較的軽い岩石は、北に向って増加する傾向を示している。特に七北田川と名取川の間地点以北の部分には軽鉱物の集積がいちじるしい。また明らかに阿武隈川の排出土砂に起因するジルコンおよび柘榴石は、名取川の多少北側までにはしかおよ

図-1 仙 台 新 港 計 画 図



* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 水工部漂砂研究室長
*** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部研究員

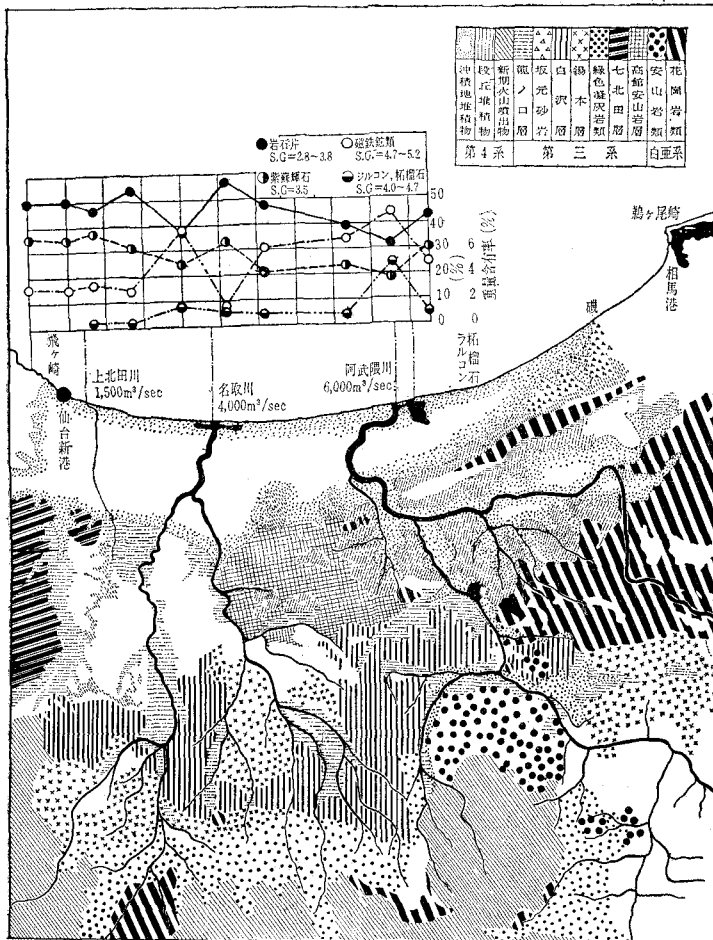
** 正会員 第二港湾建設局塩釜港工事事務所

んでいない。

図-3 は、仙台湾沿岸に沿う各地点での波向、汀線上の中央粒径および5万分の一地形図による汀線走向方向の分布を示すものである。これらの資料のうち、金華山沖の波向は、坂本・井島³⁾らによる推定値、相馬港における波向および図中白丸で示した底質分布は福島県による値⁴⁾、さらに石巻港の波向は宮城県による測定値⁵⁾を引用したものである。金華山沖では南からの波が頻度、波高共に卓越し、E~ENEの波がこれについているが、相馬港においては北から南へ漂砂を生ずるような波が卓越し、仙台新港においては南から北へ漂砂を生ずる波が卓越している。このような傾向は、北に伸びた牡鹿半島および南の福島県海岸の張り出しのしゃへいによるものである。

また、同図に示した汀線の走行は、N-S軸を0とした汀線方向の変化を示すもので、海岸の南部では北方からの波の作用を北部では南方からの波の作用をより強く受けるような走行を示し、その変向点は、阿武隈川の南5 km 付近にある。

図-2 宮城県地質図および海底砂中の重鉱物含有量



昭和 41 年 3 月の海岸踏査の結果によると、阿武隈川のわずかな鳥の海の入江にある導流堤に対しては南側の汀線が北側に比べてわずかに前進しており、名取川河口の導流堤では南側汀線が北側にくらべて約 50 m 前後の前進を示していた。さらに昭和 37 年 7 月横浜調査設計事務所が行なった踏査によると⁴⁾、阿武隈川河口には南側からのみ sand spit が延びていた。

底質粒径の分布は、阿武隈川の南北で資料採取年度が異なっているが、いずれも 7 月の分布であって、両者の境界付近における分布の傾向が一致することから、この海岸の一般的傾向を示しているものと考えられる。これによると、阿武隈川、名取川の河口で粒径の極大値が見られ、その両側に向って粒径が減少している。阿武隈川の南では、北側にくらべていちじるしく粒径が小さく、河口付近から牛橋付近までの間では粒径が大体一様で場所的变化が少ない。牛橋から磯の間では、南へ向って連続した粒径の減少が見られる。磯以南では、粒径がいちじるしく増大するが、これは現状においては阿武隈川排出土砂の影響がこの地点にまでおよんでいないことを示すものであろう。前述したとおりこの地域の地質は、北部の沖積地の外にあり、この地区の海浜砂が北部とは異なった供給源をもつものと考えられる。磯以南はいちじるしい欠壊海岸で大正年代にくらべると、200 m 前後の汀線後退が見られる地点もあるといわれる⁴⁾。

図-4 は阿武隈川以北の海岸断面について bar の沖側（水深 -5 m ~ -10 m の範囲）の平均勾配の海岸線に沿う変化を示すもので、昭和 38 年 3 月の測量結果によっている。この勾配は阿武隈川および名取川の河口付近でゆるやかで、それから離れるにつれて急になる傾向を示している。このような河口付近での緩勾配は河口からの排出土砂が波の陶太作用を凌駕する結果であろうと思われる。海岸に沿ってこの勾配が変化して行く割合は、阿武隈川、名取川の両河口の北側で小さく、南側で大きい。これは、河口の北側の方が南側にくらべて、排出土砂の影響を強く受けることを意味するものと思われる。

図-5 は仙台新港における波の特性を示すもので、昭和 39 年 4 月から 40 年 3 月までの波向出現率および有義波高 0.5 m および 1.0 m 以上の波の出

図-3 波向、汀線上の中央粒径(D_{50})および汀線走行方向の分布

- ・金華山沖の波向は昭和34年の天気図よりの推定²⁾、相馬港は昭和38年4月より昭和39年3月まで目視³⁾、仙台港は昭和39年4月より40年3月まで目視⁴⁾、石巻港は昭和36年4月より37年3月まで目視⁴⁾
- ・底質粒径のうち黒丸は昭和37年7月採取¹⁾、白丸は昭和35年7月採取¹⁾

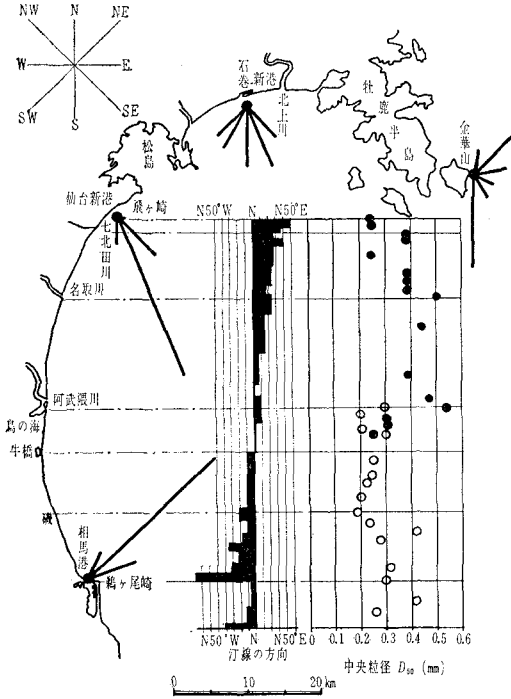
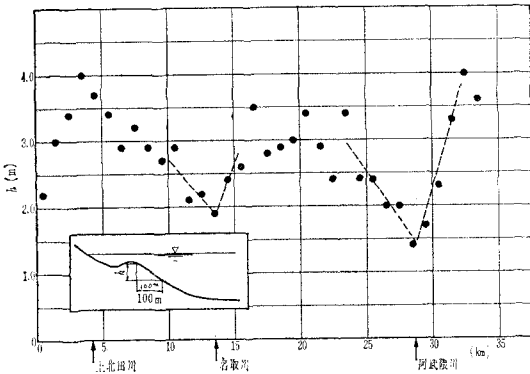


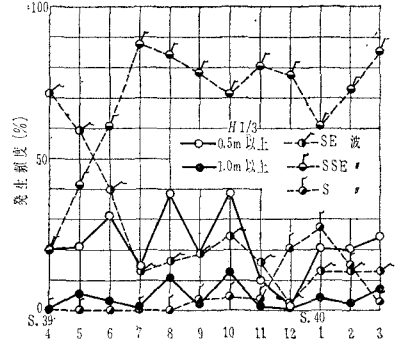
図-4 沿岸砂洲の沖側面勾配の場所的分布



現率が図示されている。波が最も激しいのは、8月から11月までの台風期で、その期間は SSE 方向の波が卓越する。新港海岸の汀線にそって北よりの SE 波は、4, 5, 6 月の春期に比較的高い出現率を示すが、その間は波高は小さい。一方南よりの S 波は8月から3月にかけて見られ、特に冬期に多いが、波高はあまり大きいものではない。

以上記述した事実から、仙台湾海岸の漂砂の方向およ

図-5 仙台新港における波向および波高発生率の月変化



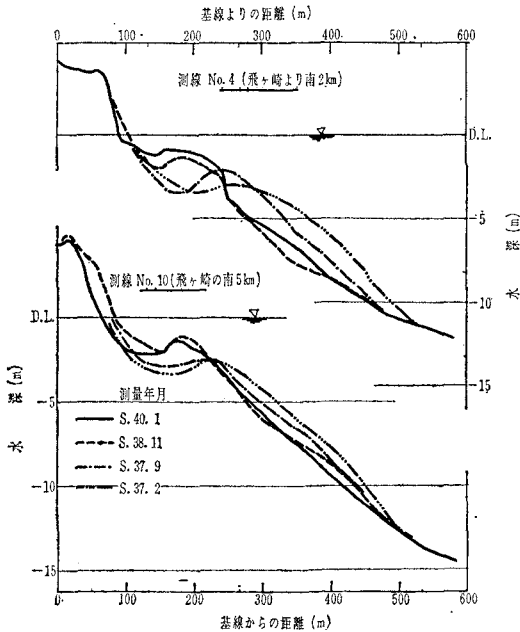
び供給源について、つぎのように考えることができよう。すなわち、現在の仙台湾沿岸は、その南端部の磯付近以南を除いて、阿武隈川、名取川の排出土砂によって形成されたものである。両河川から排出された土砂はその南北両側に広がって行くが、年間を通ずると北向きに流れるものが多い。このように北向きの移動が南向きにくらべて強い傾向は阿武隈川よりも名取川においてより顕著であろう。北部海岸について阿武隈川からの排出土砂の影響が明らかにみられる地域は、大体名取川河口付近までであり、前述した底質粒径分布や海底方向勾配の海岸線方向の変化から考えても新港予定地点付近に対しては、名取川からの土砂排出がより強い影響を与えているものと思われる。一方牛橋付近以南の海岸においては南へ向う漂砂が卓越し、磯付近以南の地域に対しては、阿武隈川の影響が弱い。

なお、本新港建設予定地点付近の平均粒径は前浜において 0.25~0.3 mm、荒天時の砕波点に相当すると思われる水深 -4 m 線上で 0.33~0.4 mm、水深 -10 m 線上で大体 0.2 mm 程度である。

2. 漂砂の機構

海底形状の変化——図-6 は飛ヶ崎から南へおのおの 2 km および 5 km 離れた地点における海底地形の時期的変化を示すものである。bar は通常汀線から 100~150 m 沖側にでき、消長をくり返しているが、その位置はあまり大きく変わらない。bar が存在する場合には、bar がない step 形の地形に比較して bar の沖側、すなわち -5~-12 m の水深の部分の深さ。阿武隈川以北の 24 km の地域を 500 m の間隔で測量した結果によると、bar 型の断面が汀線方向に続いている場合でも 3~4 測線毎に step 型の断面が現われる。このような step 型の断面は rip current の発生位置に生じ、沖向きの強い砂移動によるものであろう。一方測量時期によって、step 型の断面が bar 型断面を含みず十数 km にわたって続いている場合がある。このような場合の step の形成は rip current のみによって説明できないし、また

図—6 代表測線上における海底地形の時期変化



冬期にも起こることから、河川排出土砂が強い影響を与えているとも考えられず、やはり波の直接的作用によるものであろう。

二次元水路において、bar 型断面に flat な波を作用させると、bar の沖側の砂が岸向きに移動して trough を埋め、前浜を前進させる形で step 型の断面に変化することが知られている⁶⁾が、仙台北岸における海底断面の変化過程は明らかにこのような実験結果と相異している。

海底断面の変化と来襲波の関係が十分把握されておらず、このような地形変化の機構も明らかではない。しかし本海岸は前述した地形効果のために、規模の大きいうねりが来襲することが少なく、来襲波の steepness の変化が小さいため、海底地形の変化が波高に強く左右されているように思われる。すなわち、波高の大きい波に対しては、水深 -5~-12 m 付近も十分波の影響を受け、海底砂は岸向に動かされ、bar の形成に寄与し、bar の沖側では欠陥が起こる。一方波が小さいと、bar の沖側の海底はほとんど波の作用を受けず、bar より岸側でのみ底質の撈拌が起こり、その浮遊砂の一部が沖側に移動堆積して、-5 m~-10 m 付近を埋めるのではあるまいか。

浮遊砂——図—7 は捕砂竹による浮遊砂分布の一例を示すもので、実線は昭和 38 年 10 月、点線は 38 年 3 月の調査によるものである。調査期間中の波は図中に示すとおりで、10 月の調査では台風 17 号の最大有義波高 2.98 m を受けている。3 月の調査の時は波の資料が欠けているため波の諸元は不明であるが、相馬港⁷⁾の実測資料、天気図等から類推して最大有義波高は 1.5 m 以

下と考えられる。

浮遊砂分布は一般にいわれるように、底層に集中した“L”字型をなし、底層における浮遊砂量は来襲波が大きいほど多い。しかし、海底から 2 m 以上の高さの点においては、波の規模が変わっても浮遊砂量はあまり変化せず、大体 50~60 cc/月の捕砂量を保っている。また水深が -8~-12 m 程度の間では底層の浮遊砂濃度にはっきりした水深の効果は見られない。

蛍光砂、R.I. ガラス砂等の移動——昭和 39 年 9 月および 39 年 1 月の 2 回水深 -4 m 地点に 3 cm 角程度に割ったレンガ屑のおおの 8 m³ を投入して 2 カ月に渡って漂着数を数えた。38 年 9 月の調査においては、レンガ屑の全漂着数の 98% が投入点の北側に打ち上げられた。39 年 1 月の調査でも北側への漂着が多かったが、その割合は 62% に止まった。

38 年 3 月、水深 -6 m および -10 m に投入した粒

図—7 浮遊砂分布の一例

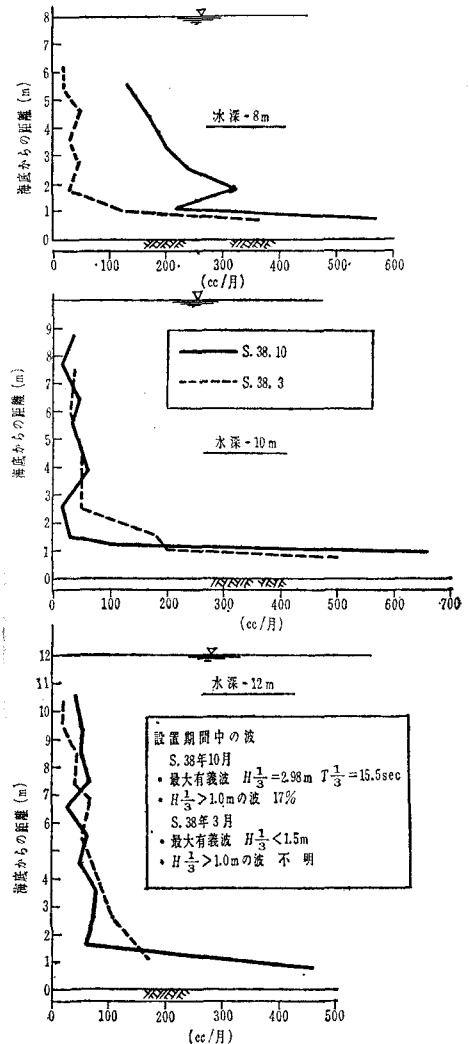


図-8 R.I. 調査結果の一例

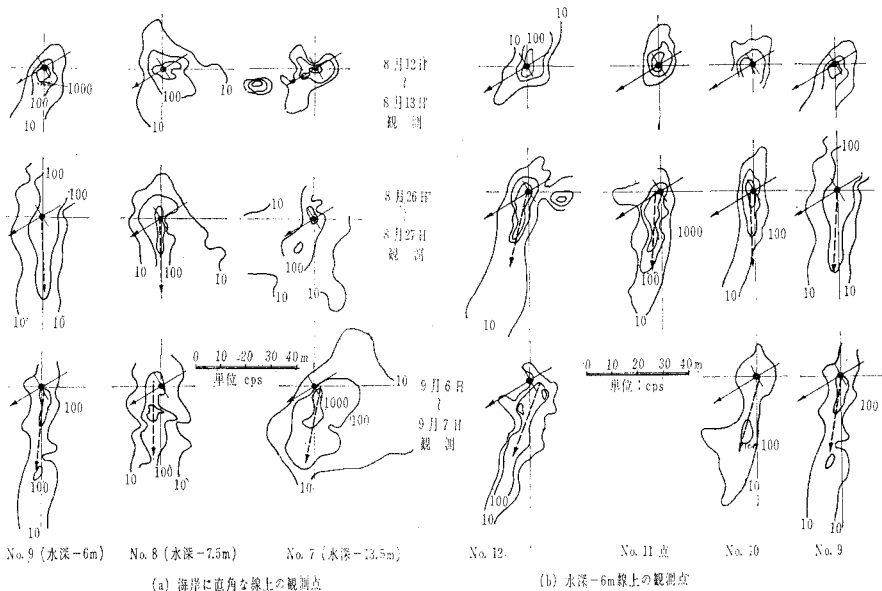
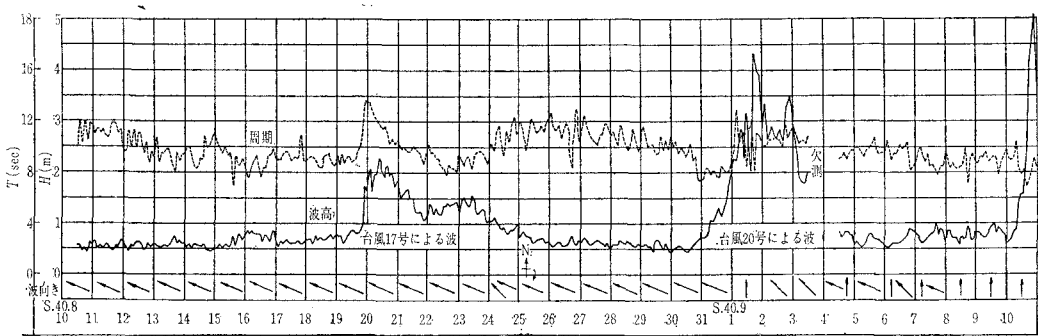


図-9 R.I. 調査中の波浪 (波高は下向き矢印がN波, 上向き矢印がS波である)



径 3~5mm の着色砂は、いずれも投入点から岸向きに分散し、海岸沿いにはいちじるしい分散が見られなかった。

さらに 39 年 11 月、飛ヶ崎から 2km 地点の干潮汀線上に投入した蛍光砂(現地砂と同一粒径)は海岸に沿って北向きに流された。

39 年 8 月から 40 年 9 月にかけて、新港予定地点付近の計 12 点に ⁶⁰Co を含むガラス砂を投入し、その分散を測定した。投入ガラス砂の比放射能は 80 μ c/gr, 投入量は一点当り 50~100 mc (0.6~1.2 kg), 分布の観測にはシンチレーション検出器を用いた。

昭和 40 年 8 月、前述の図-1 に黒丸で示したように、海岸に直角方向の一測線上の水深 -13.5 m, -7.5 m および -6.0 m の 3 点と、それに加えて海岸に沿って水深 -6 m 線上の 3 点計 6 点の同時観測を行なったが、図-8 はその結果を示すものである。

図中 (a) 図は海岸に直角方向の 3 点、(b) 図は海岸沿いの 4 点の分布を示している。観測期間中の波は 図-9 に、投入砂の諸元は 表-1 に示した。

図-8 (a), (b) の最上行は、おのおの投入当日あるいは投入翌日の分布であるが、分布には投入条件の影響が多分に残っているものと思われる。No. 7 点の分布に 2 つの高カウントのかたまりが見られるのは、明らかに投入の不善際によるものである。

第 2 行目の分布は、8 月 20 日に有義波高 2.0 m 前後の波に見舞われた後の分布である。水深 -6 m 線上

表-1 投入ガラス砂の諸元

投入点	投入水深 (m)	投入量	粒 径 分 布			
			0.35~ 0.25mm	0.25~ 0.177mm	0.177~ 0.125mm	0.125~ 0.088mm
No. 7	-13.5	100 mc (1.25 kg)	11.13%	36.87%	38.88%	13.12%
8	- 7.5	100 " (1.25 ")	29.41	45.50	23.05	2.05
9	- 6.0	50 " (0.6 ")	42.5	42.25	11.25	"
10	- 6.0	50 " (0.6 ")	"	"	"	"
11	- 6.0	50 " (0.6 ")	"	"	"	"
12	- 6.0	50 " (0.6 ")	"	"	"	"

の各点では、等カウント線は狭い幅で海岸に向かって伸びているが、最も移動の激しいのは No. 9 点で、1000 cps 以上の点は存在せず、100 cps 線の伸びは他点より大きい。他の点では、まだ 1000 cps 以上の部分が存在し、最大のカウント点は投入点近くにある。海岸に直角方向の No. 7 および No. 8 点でも、高カウント線は岸向きに伸びるが、低カウント線は、海岸に平行方向へも張り出しガラス砂が海岸に平行方向にもかなり分散したことを示している。これは、波によって攪乱され、それが潮流等に乗って運ばれた結果であろうと考えられるが、このような傾向は水深の深い No. 7 点において特にいちじるしい。

第3行目はこの海岸にとってはきわめてまれな有義波高 4.0 m 以上の波を受けた後の分布である。各点ともガラス砂の移動が激しく、-6 m 線上では No. 9, No. 10 点においても 1000 cps 線が消え、No. 12 点においては最大カウント点は投入点よりかなり岸側にずれている。海岸に直角方向の各点においても最大カウント点と投入点がずれているが、水深が浅い地点ほどガラス砂の移動が激しいことが明らかである。

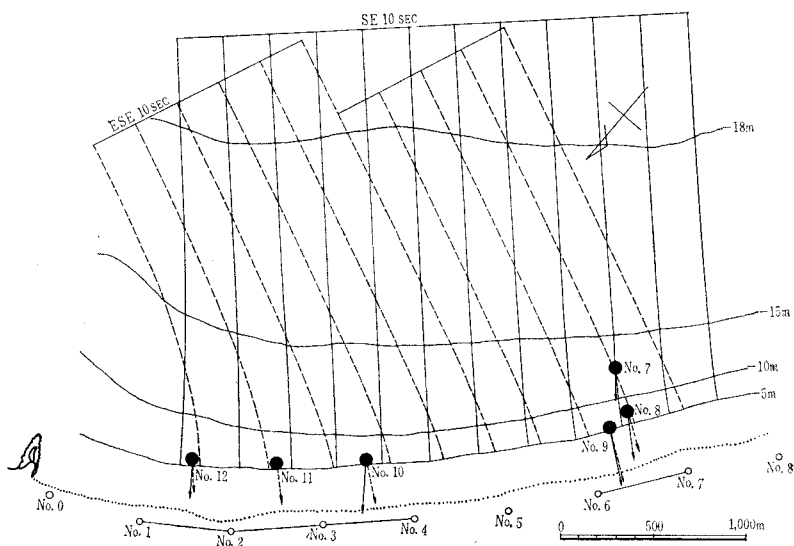
また図中矢印点線で示した分布の主分散方向が第3行目の場合2行目に比べて、いずれも北に偏する傾向がある。これは台風 17 号による 8 月 20 日の波と 20 号の 9 月 1 日の波の来襲方向の差異によるものである。今これらの波の代表周期を 10 sec として 17 号の卓越波向 ESE および 20 号の SE について波の屈折図を描くと図-10 のとおりとなり、同図に記入したガラス砂移動の主方向が各点で波の進行方向ときわめて良く一致している。また図-8 から水深 -6 m 線上に投入したガラス砂の分散が No. 9, 10, 11, そして 12 の順に弱くなって行く傾向が見られる。すなわち、北に向って飛ケ崎に近い程弱くなって行くのは表-2 に示す屈折による波高減少の傾向と一致している。

表-2 周期 10 sec の波に対する水深 -6 m 線上の各点における波高比

投入点	波 向	ESE	SE
No. 9		1.00	1.00
10		0.93	1.02
11		0.87	0.96
12		0.84	0.90

ただし No. 9 点の波高を 1 とする

図-10 R.I. ガラス砂の主分散方向と波の屈折の関係



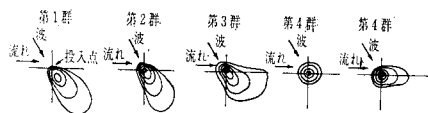
一連の R.I. 調査の結果から著者等は第9回の講演会集⁷⁾に示したごとくガラス砂の分布型を移動の激しさの順に次のように分類した。

- 第1群：カウント値が全体的にいちじるしく減少したり、最高カウント点及び全カウント線が波の進行方向に移動する。
- 第2群：すべてのカウント線が波向に一致して岸向きに伸びる。
- 第3群：高ウント線のみが岸向きに伸び、低カウント線は流れの方向に広がる。
- 第4群：カウント線に波向の影響がほとんど見られない。

R.I. ガラス砂分布を上述の4群に分けて

$\frac{H_0}{L_0} \left(\sinh \frac{2\pi h}{L} \right)^{-1} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{-1}$ と $\frac{d}{L_0}$ (ただし、 H_0 , L_0 は沖波の波高と波長、 H , L は水深 h での波高と波長、 d は底質中央粒径) によって図示すると図-12 のとおりである。

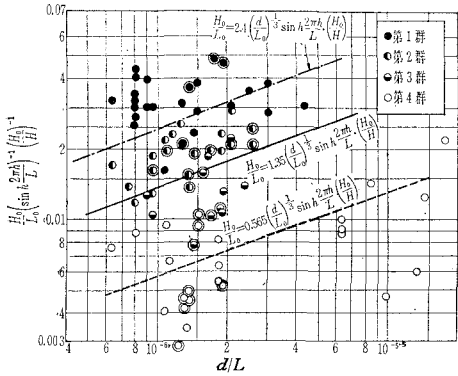
図-11 R.I. 分布型の分類



図中の点線は水路実験で得た全面移動(砂表面の第1層の砂が一様に動き出す)限界を示すものである。実験および一点鎖線はおのおの2群と3群の境界および完全に第1群である限界を示すもので、著者らは表層掃流および完全掃流限界と呼んでいる。図中二重丸で示した仙台海岸における資料も大体これらの結果と一致しているものと見なすことができよう。

これらの限界式は、R.I. ガラス砂の分布型が漂砂の

図-12 R.I. 分布にもとづく移動限界



激しさを示す一つの指標であると思なしているもので、物理的意味付けは明らかではない。しかし、漂砂の観点から見た港口水深の決定等の工学的問題において一つの目安を見出そうとする場合には十分有意なものと思われる。

既設、あるいはすでに計画の明らかにされている港湾についてちょうどその港口水深でこれらの限界式で示されるような現象を引き起こす波の生起確率を 図-13 に示す未超過確率図^{8), 9), 10), 11)}を用いて求めると 表-3 のとおりとなる。

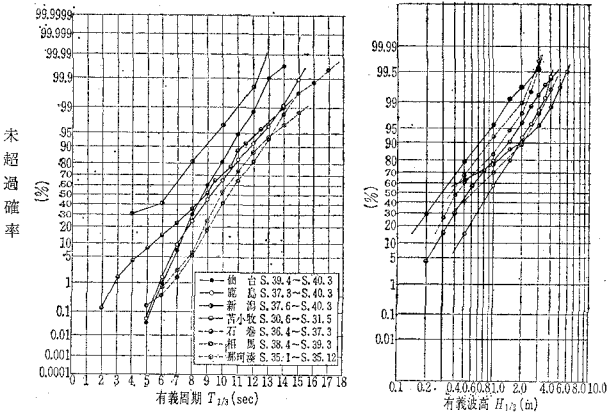
表-3 港口位置で完全掃流および表層掃流を引き起す波の発生率

港湾名	周期 (sec)	底場粒径 (mm)	防波堤先端水深 (m)	表層掃流波高 (H ₀₁) (m)	完全掃流波高 (H ₀₂) (m)	H ₀₁ に対する未超過確率 (%)	H ₀₂ に対する未超過確率 (%)
鹿島	11.0	0.15	-15	2.1	3.8	93	99.5
新潟	8.0	0.15	-14	2.1	4.0	91	98.0
相馬	12.0	0.10	-8	1.1	1.8	86	97.8
石巻	11.5	0.10	-9	1.25	2.4	95	99.7
苫小牧	10.5	0.13	-10	1.50	2.95	92	99.4
那珂湊	11.5	0.16	-6	1.0	1.85	70	87.5
仙台	10.0	0.23	-14	1.90	3.3	99.5	99.95

周期は未超過確率80%に対するものを示す。

これによると、仙台、鹿島、新潟および苫小牧等の大規模港湾では、その港口付近で完全掃流は 1%前後の発生確率をもつ波に対して、表層掃流は数%の発生率をもつ波に対して起こり、中小港湾では完全掃流が 10 数

図-13 各港における波の生起確率



%、表層掃流が 20~30% の発生率をもつ波で起こるという結果になる。

4. あとがき

本文に示された調査は、第二港湾建設局塩釜港工事々務所および宮城県仙塩開発事務所の職員諸氏のご努力により得られたものである。また隣接海岸の既設調査の結果は種々の考察において実に有益であった。関係諸機関および諸氏に深く謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 塩釜港工事事務所：「仙台湾総合開発調査報告書」その 1~7, 宮城県, 35~41.
- 2) 東北大学理学部編：「宮城県地質図」昭 37 年
- 3) 第二港湾建設局：「太平洋沿岸の波浪特性について」, 37.
- 4) 横浜調査設計事務所：「相馬港調査報告書」その 1~3, 福島県原の町土木事務所, 昭 37~39 年.
- 5) 宮城県：「石巻港(釜)調査」その 1~2, 36~37.
- 6) 佐藤昭二：「港湾建設計画に関連した漂砂の問題」 港湾技術研究所資料 No. 5, 昭 39.
- 7) 佐藤昭二・田中則男：「水平床における砂移動について」 第 9 回海岸工学講演会講演集.
- 8) 茨城県：「那珂湊調査報告書」, 昭 36.
- 9) 第二港湾建設局：「鹿島港自然条件総集編」 港湾技術研究所, 茨城県, 昭 41.
- 10) 「苫小牧港調査報告書」第 14 回港湾局直轄技術研究会資料.
- 11) 新潟調査設計事務所：「波浪台帳による観測記録の整理について」, 昭 41.