

防波堤周辺における海浜流の研究

——仙台新港南海岸における観測例——

田中 則男*・小笹 博昭**・加藤 一正***

1. ま え が き

1960年代以降, radiation stress および edge wave の海浜流形成機構への導入によって, 海浜流の理論的取り扱いが活発に議論されるようになった. それと同時に, これらの理論的取り扱いに刺激され, 海浜流の現地観測が各国で行なわれ始め, 我が国においても堀川・佐々木等¹⁾によって数々の貴重な資料が積み重ねられている.

このような海浜流に関する知見の急激な進歩は, 沿岸漂砂あるいは沿岸地形に関して新しい視点を開いたと言える. このような段階にあって, 港湾の建設に伴う沿岸地形あるいは沿岸の諸海象の変化を常に問題としている著者等にとって, 海浜流に関連した新しい知見と認識を現実的諸問題にどの様に生かして行くかが重要な問題である.

防波堤等の構造物は, 沿岸における諸現象にとって明瞭な境界としての意味を持つばかりでなく, 現象の不均一性を生む強烈な impact であるはずである. したがって, その周辺には, 防波堤等の存在によって誘起される特殊な現象が存在しているであろう.

著者等は以上のような問題意識に基づいて, 現地観測あるいは模型実験等によって, 構造物の周辺における海浜流の研究を進めている. 本報告は, その内から昭和51年11月21日~24日の間, 宮城県の仙台新港南海岸で行なった現地観測結果について述べるものである.

2. 観測の方法と観測期間中の一般的諸状況

観測地点は図-1に示す通り仙台新港の南防波堤の南側延長はば0.7km程度の範囲である. 当海岸は, ほぼ50余kmに渡って続く仙台北岸の北端に当る. 海底勾配は浜の中央部から北に向って次第に緩やかになり, 調査対象地域では前浜で1/10~1/15, 水深-6m程度で浅で1/30~1/40, 水深-10~15mの範囲で1/100程度となる. 観測対象地域, 特に南防波堤から500m程度の範囲は, 浜が欠壊傾向にあり浚渫土砂の投棄が行なわれている. このため干潮時汀線の背後10~20mの位

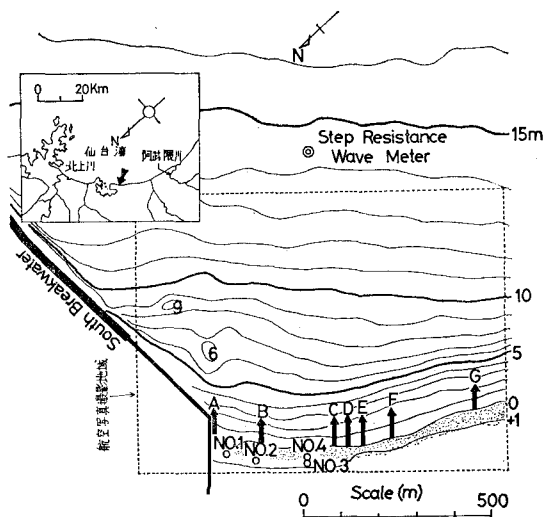


図-1 調査地域一波高計配置・離岸流発生位置

置に, 高さ2~3m余の浜崖が存在し, 満潮時には打寄せて来た波が浜崖に達することもあった. 底質は前浜部で $d_{50}=0.3\sim0.4$ mm程度の中砂であるが, 沖に向って急激に細くなり, 水深-16m程度以深ではシルト質になる. なお調査海岸一帯は, 北側を金華山で遮蔽されており, したがってSE~SSE方向からの波が年間を通じて卓越する²⁾. なお, 図-1中の等深線の値は港湾工事用基準面(D. L.)を基準とした値であり, 平均水面(M. W. L.)を基準とした水深はD. L.基準の値に1.25mを加えることによって求めることができる.

観測項目とその配置は図-1中に示した. 各項目の観測方法は以下の通りである.

沖波波浪: 調査対象地域に到達する沖波の観測は, 水深-15.4m地点に設置されたステップ式波高計によった.

砕波帯内の波浪: 図-1に示したNo. 1~No. 4点に直立させた測量用スケールを3台の8mmメモモーションカメラで同時撮影した. 撮影は1コマ/秒のスピードで行ない, 調査期間中の毎日9時から16時の間で1時間連続撮影の後1時間休止することを繰り返した.

海浜流の測定: 観測期間中毎日, 図-4の凡例に示す

* 正会員 運輸省港湾技術研究所 水工部 漂砂研究室長
 ** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 水工部 主任研究官
 *** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 水工部 漂砂研究員

ボールフロートを砕波帯内に投入し、その移動を1分間隔で陸上に据えた2台のトランシットにより追跡した。

航空写真による海浜流の観測：11月22日11時18分より12時23分までの65分間、ヘリコプターを用いて図-1に示す地域を5秒から60秒間隔で撮影し、同時に図-5中の凡例に示したフロートを投入しその移動を測定した。

これらの他に、観測期間中の毎日、浜の地形および浮遊砂の濃度測定を行なったが、これらについては別の機会に報告する。

各観測の実施時刻等は図-2に示す通りである。同図中には観測期間中の沖波の波高、周期および潮位変化(仙台新港潮汐記録による)も示されている。観測期間中11月22日午後から夜にかけて波高が増大し $H_{0.1/3}$ が1.1mに達し、23日はほぼ $H_{0.1/3}=0.7\sim 0.8\text{m}$ 、 $T_{0.1/3}=7\sim 9$ 秒、22日および24日は $H_{0.1/3}=0.4\sim 0.6\text{m}$ 、 $T_{0.1/3}=9\sim 10$ 秒の波浪条件であった。

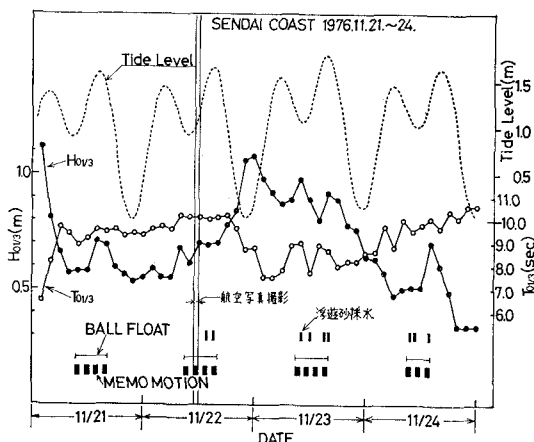


図-2 観測期間の $H_{0.1/3}$ 、 $T_{0.1/3}$ 、潮位および観測実施時刻

3. 調査対象地域における海浜流の一般的状況

航空写真撮影期間について、離岸流を写真に認められる濁りの状況に基づいて読み取り、その発生位置を図-1中に(A)~(G)の矢印で、また各位置における離岸流が認められた時刻を図-3に示した。砕波帯において巻

き上げられた底質の濁りは、離岸流によって沖に流出するものと考えられる。しかし、濁りは離岸流の発生直後に沖に流出するのではなく、また、離岸流が消滅した後もしばらくの間は一見すると流れが存在するかのごとく残存し、離岸流の変化に遅れて変化するものと考えられる。したがって、濁りの濃度が次第に薄れ、かつその分布が変化しない場合には、離岸流はすでに消滅したものと判別した。

図-1に示す(A)位置の離岸流は、この付近での底質の巻き上げが顕著でなく、際立った濁りの沖への流出は見られなかった。(B)位置はほぼNo.2の波高計の設置位置に当る。次章に述べるボールフロートによる海浜流観測によって流れの状況を詳細にとらえているのはこの離岸流である。(C)~(E)位置における離岸流は、同時に発生することではなく、同一の離岸流の発生位置がこの間で変動しているものと考えられる。この離岸流は調査対象地域で最も規模の大きなものであるが、特に11時51分~11時57分の間に発生した離岸流においては、その離岸流頭は沖において分散せず反時計回りの渦を形成した。この離岸流の詳細も、一部ではあるが図-4および5中に示されている。(F)および(G)位置における離岸流は発生頻度が低い。

図-3において明らかなように、これらの離岸流は定常的に存在するのではなく、数分間隔で間欠的にほぼ定まった位置に発生しており、一度発生すると1~5分程度持続されている。また、次章に述べるボールフロートによる調査結果でも明らかなように、4日間の調査期間を通じて、これら離岸流の発生位置は概して大きく変化することは少なく、特に、(A)(B)位置の離岸流の位置はきわめて安定性が高いものと思われた。なお航空写真撮影期間中における波浪は、沖波で波高 $H_{0.1/3}=0.66\text{m}$ 、周期 $T_{0.1/3}=10.2$ 秒程度であり、崩れ波的な砕波状況をしていしていた。砕波帯幅は、航空写真上から最も沖側の砕波線から汀線までの距離を読み取るとほぼ80m程度であり、堀川³⁾等に習ってこの75%を取ると60mとなる。

4. 海浜流の測定

観測期間中、ボールフロートを用いて海浜流を観測した結果が図-4に示されている。仙台新港南防波堤に沿う30~50cm/sの流れは、11月22、23両日の観測でとらえられた。この流れは図-1中の(A)位置における流れにあたる。陸上の25、26基準点前面海域に存在している離岸流は、図-1中の(B)位置における離岸流にあたる。11月21、22、23日のいずれの観測においても、離岸流および離岸養流(feeder currents)がとらえられており、比較的安定した離岸流と考えられる。離岸流内の最強流速は約45cm/sであり、離岸流の横幅は約40m

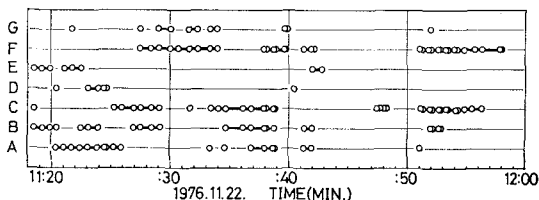
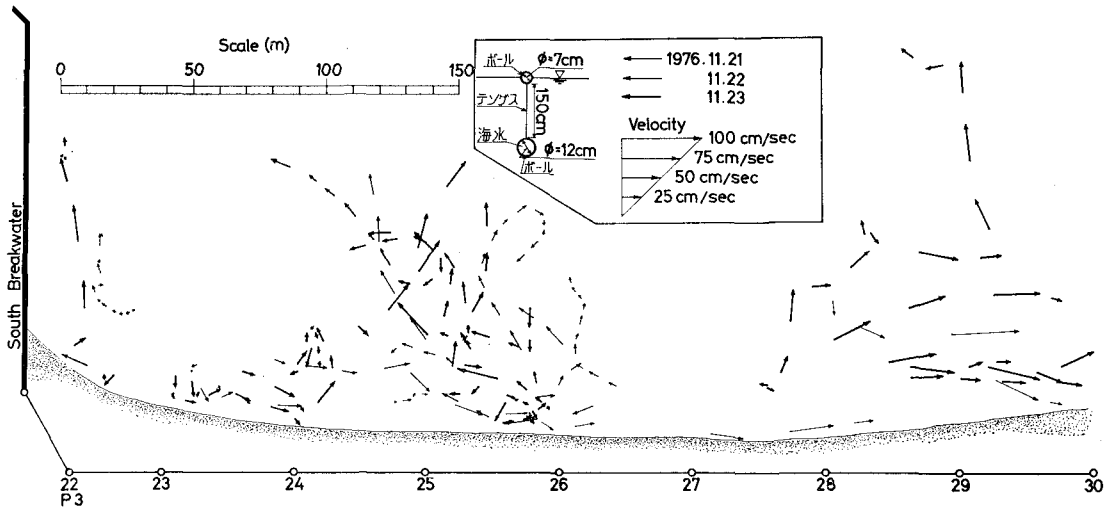
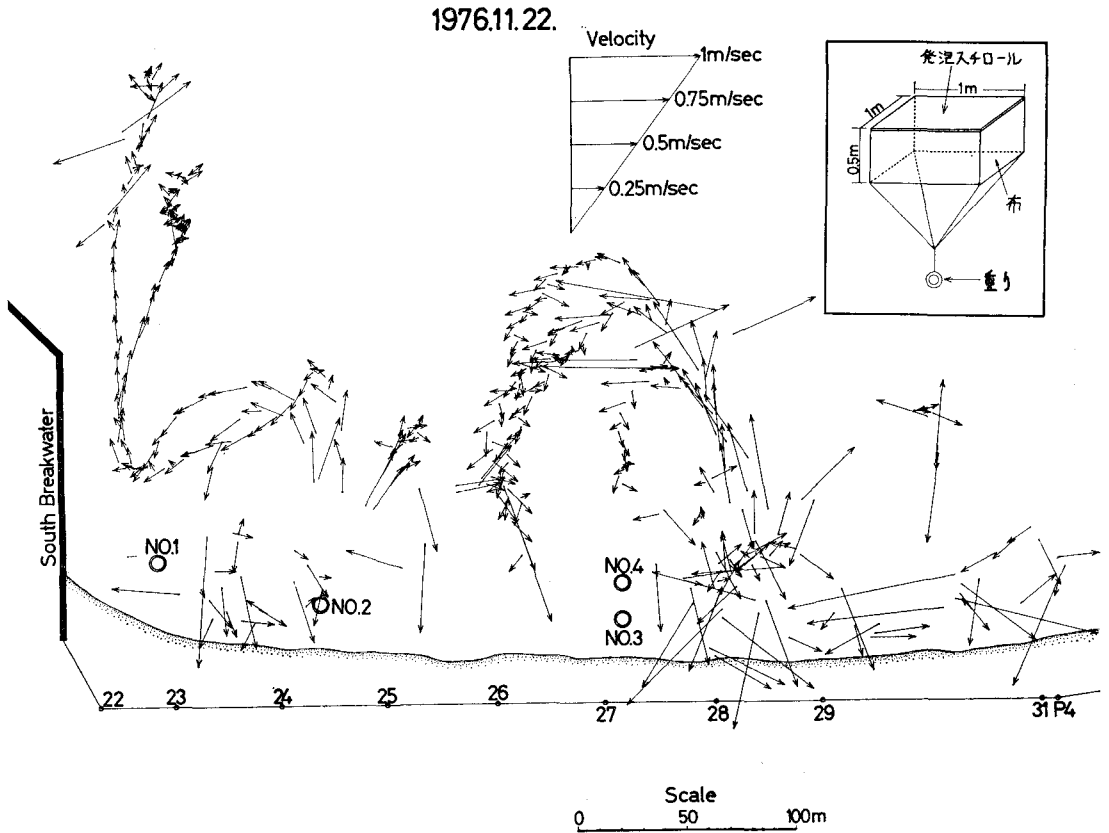


図-3 離岸流の発生時刻(1975年11月22日11時18分~12時)



図—4 ボールフロートで観測された海浜流 (1975年11月21日～23日)



図—5 航空写真で観測された海浜流 (22日11時18分～12時23分)

である。陸上の 29 基準点前面海域に存在している離岸流 (図—1 中の (C)～(E) 地点における離岸流にあたる。) は、11月23日の観測ではとらえることができたが、11月21日の観測ではとらえることができなかった。離岸

流内の最強流速は約 50 cm/s である。なお、離岸流は (B) 位置における場合ほど明確にはとらえられておらず、この海域の汀線より離岸方向 50 m 以内の区域 (50 m という数字は碎波帯幅とほぼ一致する) には、流速

50~80 cm/s にも達する強い沿岸流が存在していたことが11月21, 23日双方の観測結果よりわかる。

図-5には11月22日にあらかじめ砕波帯内にフロートを投入した上で、航空写真撮影を行なってフロートの移動を追跡した結果より求めた海浜流の分布が示されている。図-1中の(A)位置、(C)~(E)位置における離岸流の流速は最大で約80 cm/sであり、沖へ流れ出た水が、26基準点前面の海域より岸に向かってかえってくる様子がわかる。なお、汀線近くにおいて、岸向きの速い流れが存在しているかのようにになっているのは、フロートが波乗りした結果である。

3個の離岸流の沿岸方向の間隔は、(A), (B)の位置の間が約140 m, (B)と(C)~(E)位置の間が約180 mである。これは砕波帯幅60 mの約2.5~3倍にあたる。

5. 砕波帯内の波浪および水位変動の測定

航空写真撮影時すなわち、11月22日11時から12時の間の沖波および砕波帯内の各点における波のスペクトルを図-6に示す。沖波のスペクトルは、周期11秒付近に際立ったピークを有し、周期21秒付近にも小さなピークが認められる。一方、砕波帯内においては周期11秒付近のエネルギーは減少し、かつ周期100秒付近に新しいピークが認められ、全体に低周波側へのエネルギーの移行が認められる。この砕波帯内における波のエネルギーの低周波側への移行は、surf beat・edge waveの存在を示していると考えられる。

砕波帯内の波形データに対して60秒間の移動平均を行なった結果を図-7に示す。図中の番号は図-1に示した波浪観測位置に対応している。図によると、潮位変化に対応する右上りの水位変動と振幅10 cm, 周期数分程度の周期的な水位変動が存在している。この周期的変動は定常的なものではなく、例えばNo. 1のデータについて述べると、10~20分および40~55分の間に特に

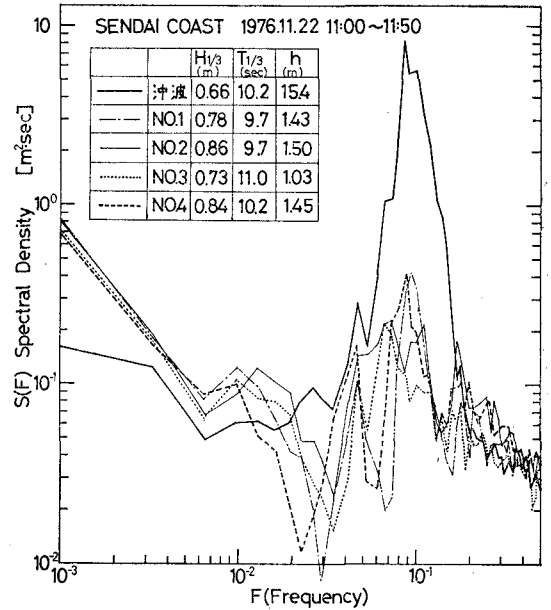


図-6 沖波, 砕波帯内の波のスペクトル

顕著になる。さらに各地点の変動には、特定な時間に限ってきわめて高い類似性が認められ、ある2点を比較して行くと類似性の高い時期と低い時期が交互に存在する。

各地点の水位変動には wave set-up の効果が含まれており、それは砕波点からの距離によって異なっている。事実 No. 1 と No. 2 の2地点における1時間平均水位は汀線に近い後者の方が9 mm 高い。沿岸方向の水位差を、砕波点からの距離が厳密には各々異なる No. 1, No. 2 および No. 3 の記録から見るとき、この wave set-up の影響が含まれていると考えられる。しかし、その値は No. 1 と No. 2 地点の例から類推して10 mm 以下であろうと推察できる。したがって、今1時間平均水位が一

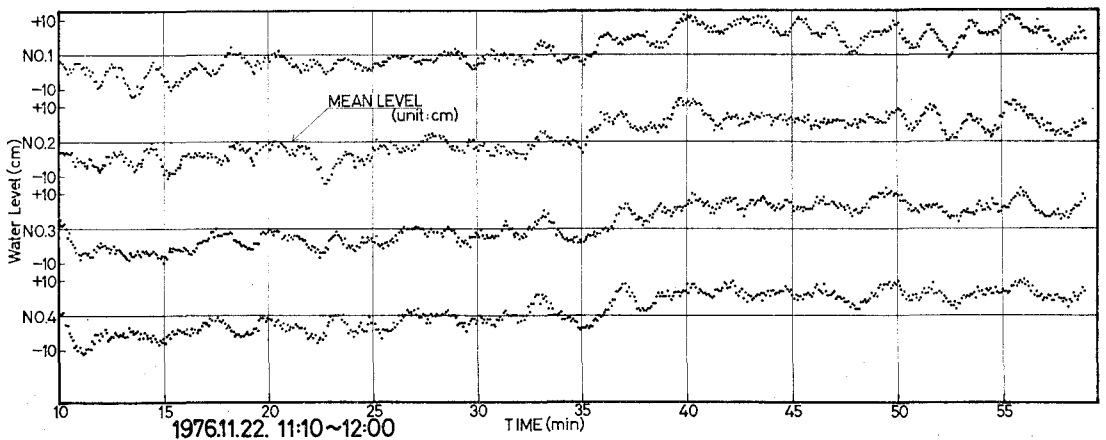
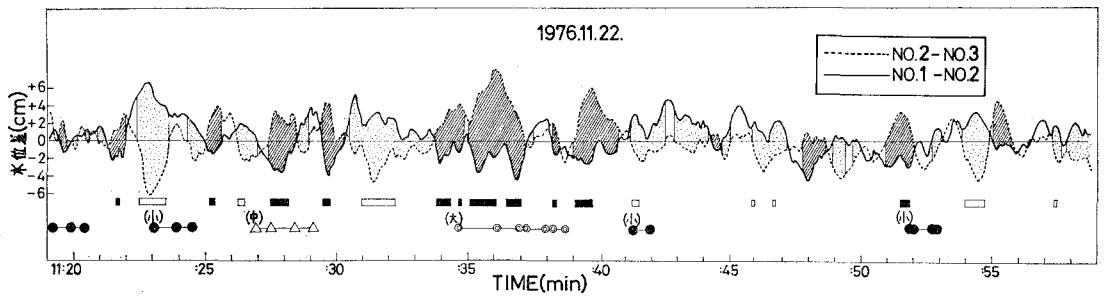
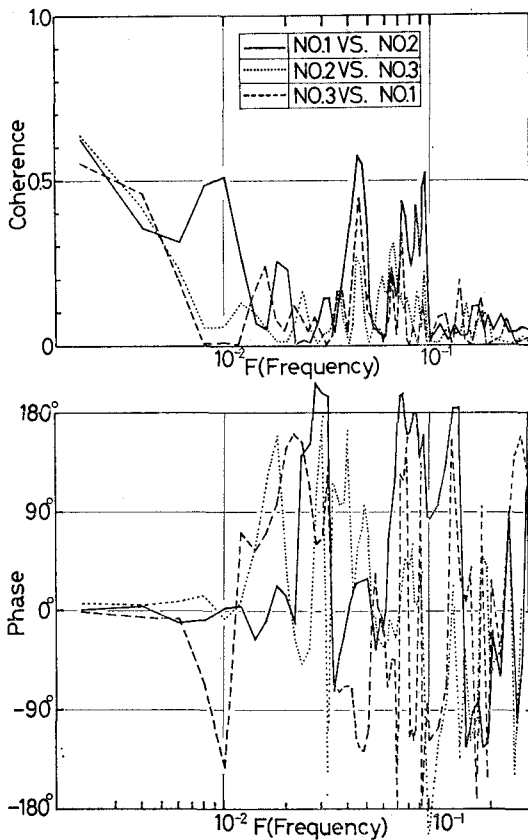


図-7 砕波帯内の水位変動 (22日11時10分~12時)



図—8 砕波帯内の水位差と離岸流の発生



図—9 コヒーレンス・位相差

致すると考えた場合に求められる No. 1 と No. 2, No. 2 と No. 3 の間の水位差の変化を 図—8 に示した。図において斜線部は No. 2 が No. 1 および No. 3 より高水位の時間を、斑点部は低水位の時間を各々示している。また、特に中央の No. 2 の水位が両側の No. 1 および No. 3 に比べて 15 mm 以上高い場合については下段に黒塗り、No. 2 の水位が両側より 15 mm 以上低い場合については白抜きで示してある。更に、最下段には、B 地点における離岸流の発生とその規模が大、中、小に分離して示されている。ここに、離岸流の規模(大)

というのは、離岸流頭が砕波帯の外側まで伸びている場合、(中)は砕波帯をわずかに出た程度、(小)は離岸流頭が砕波帯内にとどまっている場合を意味している。また、離岸流が時間的に連続した同一のものであると判定されるものについては実線で結んで区別されている。

図から各地点の水位差が周期的な変動を示しており、最大の水位差は ± 6 cm にも達することが明らかである。また (B) 地点の離岸流の発生は、中段黒塗りすなわち No. 2 点の水位が両側より高い場合に一致しており、特に 11 時 34 分から 37 分の間においては No. 2 の水位が長時間に渡って高く、発生した離岸流の規模は大きく継続時間も長い。

図—9 は、1 秒間隔に測定した 1 時間の水位データを用いて計算した No. 1~No. 3 の各地点間のコヒーレンスと位相を示したものである。図—7 に見られるように、数分周期の変動の間には時刻によって類似性が認められたにもかかわらず、No. 2~No. 3, No. 3~No. 1 間の低周波数におけるコヒーレンスは低い。これは数分間の変動が 1 時間にわたって定常的に持続されていないことを示している。本調査において見られたように間欠的な離岸流の解析方法について更に検討しなくてはならないであろう。

あとがき

今回の調査において第二港湾建設局調査設計事務所および塩釜港工事事務所の協力を受けた。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 堀川清司・佐々木民雄他：海浜流に関する研究 (1~4 報)，第 18, 21, 22 および 23 回海岸工学講演会論文集，1971, 1974, 1975, 1976 年。
- 2) 佐藤昭二・庄司忠夫・田中則男：仙台海岸の漂砂について，第 13 回海岸工学講演会講演集，1966 年 12 月，pp. 176~182。
- 3) 堀川清司・佐々木民雄・新田新太郎・桜本 弘：海浜流に関する研究 (第 2 報)，第 21 回海岸工学講演会論文集，1974 年 11 月，pp. 347~354。