

仙台湾南部海岸における構造物周辺の土砂移動観測

田中茂信* ・佐藤慎司** ・小関賢次***
佐々木健一**** ・大谷靖郎***** ・橋本 新*****

1. はじめに

長大な砂浜を有する仙台湾南部海岸では、全域において北向きの沿岸漂砂が卓越するため、漁港等の海岸構造物の南側の海岸では、沿岸漂砂の遮断に起因する激しい侵食が生じている。また、田中ら（1995）によると、漁港防波堤に沿う沖向き流れに伴う土砂移動が著しく、沖合の水深 20 m 付近でも有意な地形変化が生じている。

当海岸のように沿岸漂砂量が大きく、沖合でも顕著な土砂移動が生じている海岸において、効果的な侵食対策を計画するためには、海岸構造物周辺および沖合の土砂移動を含めた漂砂機構を明らかにし、その保全効果と周辺海域に与える影響を十分に検討することが必要となる。また、これまでの海岸侵食対策は、沿岸漂砂の活発な水深 5 m～8 m 以浅を対象として進められてきたが、今後の侵食対策では、総合的な土砂管理の考え方を導入することも求められており、沖合の土砂移動を含めた広域的な土砂移動機構を解明することが課題となっている。

本研究では、当海岸における土砂移動機構の実態および砂浜海岸に建設された海岸構造物の周辺海域に及ぼす影響を把握することを目的とし、当海岸北部の閑上漁港周辺を主な対象域として現地観測を実施した。

2. 観測内容

現地観測を実施した閑上漁港は、図-1 に示すように仙台湾から相馬港に至る延長約 40 km の砂浜海岸（仙台湾南部海岸）北部の名取川河口南側（右岸側）に位置している。水深 10 m 以浅の海底勾配は、1/30～1/40 であるが、水深 20 m～40 m の海底地形は 1/1,000 程度の緩勾配となっている。閑上漁港では、1982 年から本格的な漁

港施設の建設が始まり、現在では防波堤の先端水深は 12 m に達している。田中ら（1995）によると、閑上漁港南側では、防波堤の延伸とともに北向きの沿岸漂砂による土砂の堆積が顕著となり、汀線の最大前進量は 100 m に達している。また、閑上漁港周辺海域の底質は細砂であり、中央粒径は、汀線付近では 0.5 mm 程度、水深 5 m 付近では 0.2 mm 程度、水深 15 m 付近では 0.15 mm 程度となっている。

現地観測は、主に閑上漁港周辺海域を対象として 1995 年および 1996 年の 2 ヶ年にわたり実施している。図-1 に現地観測を実施した観測地点の位置を示す。1995 年の観測では、秋季の高波浪時における閑上漁港周辺の土砂移動の実態を把握することを目的として、漁港周辺の 7 地点（st. 1～st. 7）において、波浪・流況・砂面の 1 ヶ月間の連続観測を行うとともに、観測前後の深浅測量を実施した。一方、土砂移動機構の解明においては、年間を通じた実態把握も必要であることから、1996 年の観測では、漁港周辺の 2 地点（st. 2, st. 6）において、8 ヶ月間の波浪・流況・砂面の連続観測を行った。また、1996 年には、水深 15 m 付近の 3 地点（st. 8～st. 10）において、冬季に約 1 ヶ月間の砂面観測を実施しており、st. 10 では、波浪・流況観測も同時に行った。

波浪・流況観測では、自記式の水圧式波高計および電磁流速計を設置し、毎偶数時（2 時間毎）に 20 分間の測定を行った。なお、水深 15 m 付近の 2 地点（st. 1, st. 10）では、超音波式波高計も併設している。砂面観測では、自記式の砂面計を設置して毎正時（1 時間毎）に測定を行った。

深浅測量は、閑上漁港周辺の沿岸方向：1,450 m、岸沖方向：1,300 m の範囲を対象とし、1995 年の観測では、観測前後の 2 回実施し、1996 年の観測では、1997 年 2 月に実施した。

3. 観測結果

3.1 閑上漁港周辺の波・流れと土砂移動

1995 年の観測では、秋季の高波浪時を対象として 11 月 8 日～12 月 8 日の 1 ヶ月間にわたり閑上漁港周辺の 7 地点（st. 1～st. 7）において、波高・流況・砂面の連

* 正会員 工修 (財)国土開発技術研究センター調査第一部次長
(前土木研究所海岸研究室長)

** 正会員 工博 建設省 土木研究所 海岸研究室長

*** 建設省 仙台工事事務所 調査第一課長

**** 建設省 仙台工事事務所 調査第一課 洪水予報係長

***** 正会員 (株)アイ・エヌ・エー 海岸環境部

***** 水修 (株)アイ・エヌ・エー 海岸環境部

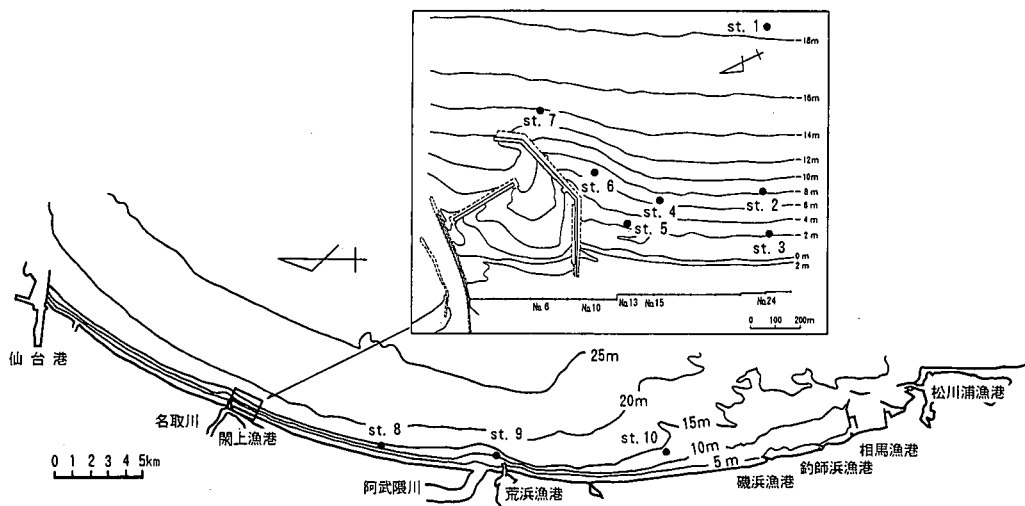


図-1 仙台湾南部海岸における現地観測位置図

続観測を実施した。図-2に観測期間中のst.1(水深18m)における波浪の経時変化および各地点における平均流速ベクトルの経時変化を示す。なお、st.4では、波浪および流況の観測は実施していない。

観測期間中には、有義波高で1.5m~2mの高波浪が3回来襲しており、時化の初期には波形勾配の大きい波が来襲している。平均波向は、観測期間の前半にはやや南寄りから入射するSE方向が多く、後半には北寄りのE方向からの頻度が高くなっている。平均流速ベクトル

を見ると、砕波帯外のst.1, 2, 6, 7では顕著な流れは見られないが、高波浪時には砕波帯内に含まれるst.3, 5では北向きの沿岸流が発達しており、最大流速は1m/sに達している。

観測期間中の各地点における海底地盤高の経時変化を図-3に示す。なお、海底地盤高の変化は、砂面計の設置時の地盤高を基準とする変化量で示してある。

海底地盤高の変化は、st.1, 2, 5では堆積傾向であるが、st.3, 4, 6, 7では侵食傾向となっている。特に、水深2m~3mの高波浪時の砕波点付近に位置するst.3, 5では、50cmに達する変化が生じており、st.3では砂面計の計測範囲の50cmを越える地盤低下が生じている。

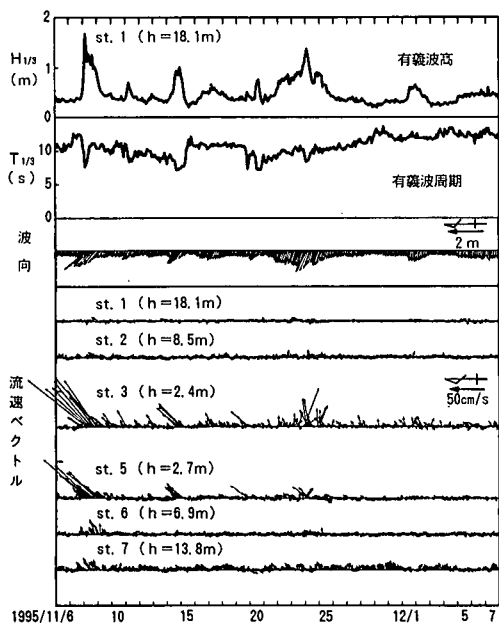


図-2 1995年秋季の波浪・流況の経時変化

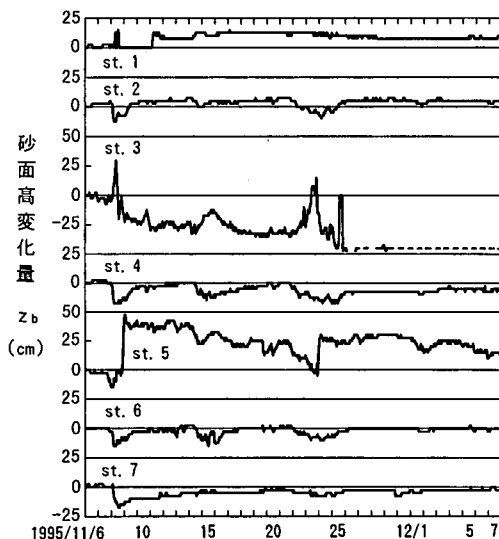


図-3 1995年秋季の海底地盤高の経時変化

また、水深 18 m の st. 1 においても最大 15 cm の変動が見られる。

海底地盤高と波浪の経時変化を合わせて見ると、水深 10 m 付近の st. 2, 4, 6, 7 では、時化の来襲初期に急激な地盤低下が生じ、その後、徐々に回復する過程を繰り返している。これらの地点は、沿岸流が発達しない砕波帯外に位置しており、地盤高の時間変化がほぼ類似していることから、岸沖漂砂による地形変動が生じたものと考えられる。すなわち、時化の初期の沖浜領域では、砕波点付近に形成されるバーへと向かう岸向き漂砂が発生するため、急激な地盤低下が生じる。その後、高波浪が続いて砕波帯が沖に広がるとともに、浮遊砂による沖向き漂砂領域も沖に広がり、やがて砕波帯内外の広い範囲で沖向き漂砂が卓越するようになり、時化の初期に侵食された沖浜の地形は徐々に回復するものと考えられる。一方、水深 3 m 付近の st. 3, 5 では、高波浪時には砕波帯外縁のバーが発達する位置となるため、岸沖漂砂によるバーの発達や移動に加えて、砕波帯内で発達する沿岸漂砂によって大幅な地盤高の変化が生じたものと推定される。このように関上漁港周辺における海浜地形は、岸沖漂砂による短期的な変動を繰り返しながら、砕波帯内では沿岸漂砂による実質的な土砂移動によって、やや長期的な変形を示すものと考えられる。

次に各地点における観測期間中のシールズ数 Ψ の変化を図-4 に示す。なお、シールズ数は、各点の有義波高と有義波周期を用いて算出し、粗度長さには、観測地点における底質の代表的な粒径として 0.2 mm の値を用いた。地盤高の変化と比較すると、 $\Psi < 0.1$ の時にはいずれ

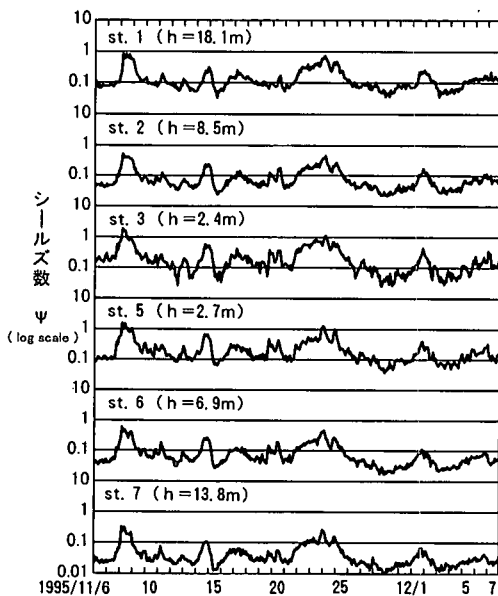


図-4 1995 年秋季のシールズ数 Ψ の経時変化

の地点でもほとんど地形変化が生じていないことから、地形変化を引き起こす底質の移動限界は、 $\Psi = 0.1$ で評価できるものと考えられる。

また、観測期間前後に実施した深浅測量の解析結果をもとに、CERC 公式 (CERC, 1984) により沿岸漂砂量の検討を行った。CERC 公式では、沿岸漂砂量は砕波点における波のエネルギーフラックスの沿岸方向成分 P_l に比例する。関上海岸における現地観測データを用いて 2 時間毎の $P_l/(\rho g)$ を計算した結果を図-5 に示す。観測期間の前半は、南寄りの波が多いため、北向きの沿岸漂砂が卓越する。後半では、波向が北寄りに変わるため、沿岸漂砂の卓越方向も南向きとなるが、この期間の波は小さいため、土砂移動量全体に対する寄与は小さい。観測期間を通しての平均値は、図中に示すように $\bar{P}_l/(\rho g) = 1.12 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ となる。

一方、観測期間前後の 2 回の深浅測量結果から求めた堆積土砂量 Q_m は、35 日間で $Q_m = 1.96 \times 10^4 \text{ m}^3$ となることから、これを沿岸漂砂量の計算値と等置することにより、 $K = 0.58$ を得る。ただし、堆積した土砂の空隙率は $\lambda = 0.4$ とした。これは、CERC 公式による $K = 0.77$ と Kraus et al. (1982) による $K = 0.28, 0.21$ との中間である。したがって、観測期間中の土砂の堆積は、主として北向きの沿岸漂砂が漁港施設により捕捉されたものと考えられる。

3.2 関上漁港周辺の長期観測結果

関上漁港周辺を対象とした長期観測では、st. 2 (水深 9.0 m) および st. 6 (水深 7.3 m) の 2 地点において、1996 年 8 月 10 日～1997 年 3 月 14 日の 217 日間にわたり波浪・流況・砂面の連続観測を実施した。図-6 に st. 2 の有義波の経時変化および st. 2, 6 の平均流速ベクトル、海底地盤高の経時変化を示す。なお、有義波と平均流速ベクトルは日最大値であり、海底地盤高の変化量は、砂面計の設置・点検時の地盤高を基準としている。

観測期間中には、有義波高で 2 m を超える高波浪が 13

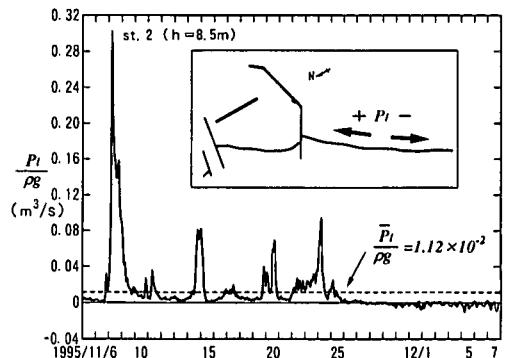


図-5 1995 年秋季のエネルギーフラックスの経時変化

回来襲しており、特に9月および10月には8回来襲している。9月23日には、台風17号による期間中最大の高波浪が来襲しており、有義波高は4mに達している。また、冬季の12月と1月にも有義波高で3m程度の高波浪が2回来襲している。有義波周期では、12月と1月に15sを越える比較的長周期の波が観測されており、夏季に比べて冬季の周期が長い傾向が認められる。平均波向は、ほぼSE~ESEの範囲にあるが、夏季では、海岸線に対して直角方向(E22°S)のESEが卓越している。

流況は、防波堤近傍のst. 6では、防波堤に沿う沖向きのE~NE方向の流れが卓越しており、特に流速が20 cm/sを超える流れはE~ENE方向に集中している。防波堤から約750 m離れたst. 2では、st. 6に比べて全体的に流速値が小さく、沖寄りで北向きのNE方向の流れが卓越している。このことは、関上漁港周辺では、高波浪時には北向きの沿岸流が発達し、防波堤近傍では、沿岸流が防波堤に沿って沖向きに流路を変えていることを示している。

観測期間中における最大の海底地盤高の変化は、台風18号による有義波高で約3mの高波浪が来襲した9月15日~22日の7日間に生じており、st. 2では約80 cmの堆積、st. 6では30 cm以上の侵食となっている。このような著しい海底地盤高の変動は、他の高波浪の来襲時には見られないが、流向がst. 2では北向き、st. 6では南向きと異なっていることが注目される。また、低気圧に

よる高波浪が来襲した12月5日では、st. 2では20 cm程度の侵食、st. 6では20 cm程度の堆積が生じている。なお、これらの観測期間以外では、st. 2とst. 6の地盤高の変動傾向は概ね一致している。

3.3 仙台湾南部海岸の観測結果

仙台湾南部海岸の中央から南部の沖合(水深13 m~15 m)の3地点において、砂面の連続観測を冬季の1ヶ月間(1996年12月20日~1997年2月2日)実施した。図-7にst. 2の有義波高と有義波周期の経時変化およびst. 2, 6, 10の平均波向と平均流速ベクトルの経時変化を示す。

観測期間中には、有義波高で1.5 mを超える高波浪が4回来襲しており、有義波高の最大値は3 mを超えている。平均波向は、いずれの地点においても海岸線に対して直角方向の波向が卓越しており、高波浪は、北寄りから来襲する傾向が認められる。平均流速ベクトルを見ると、st. 2, 10では、海岸線に沿った南北方向の流れが卓越し、st. 2では北向き、st. 10では南向きの流れが卓越している。st. 6では、漁港防波堤に沿う沖向き流れのNEが卓越している。また、st. 10では、流速値の比較的大きい流れの発生日時がst. 2, 6と異なっている。

次にst. 2, 6, 8, 9, 10における海底地盤高の経時変化を図-8に示す。st. 2, 6, 8, 9の4地点の地盤高の変動傾向は概ね一致しており、高波浪の来襲時に地盤高が大きく低下している。一方、st. 10の変動傾向は、他の4地点と異なっており、高波浪時には顕著な地盤高の変化は

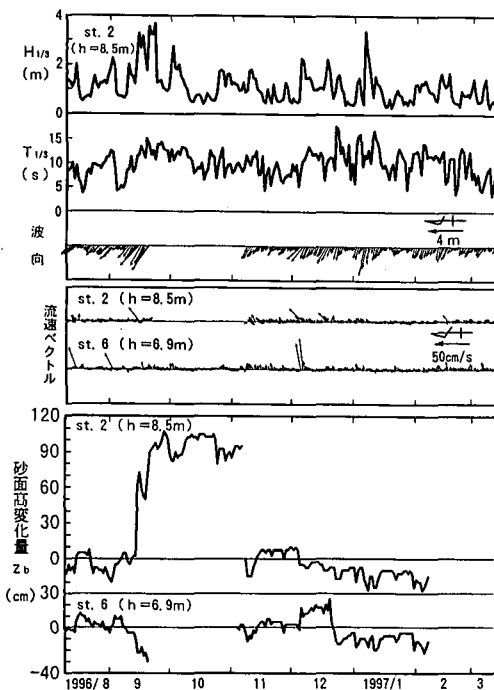


図-6 1996~1997年の波浪・流況・地盤高の経時変化

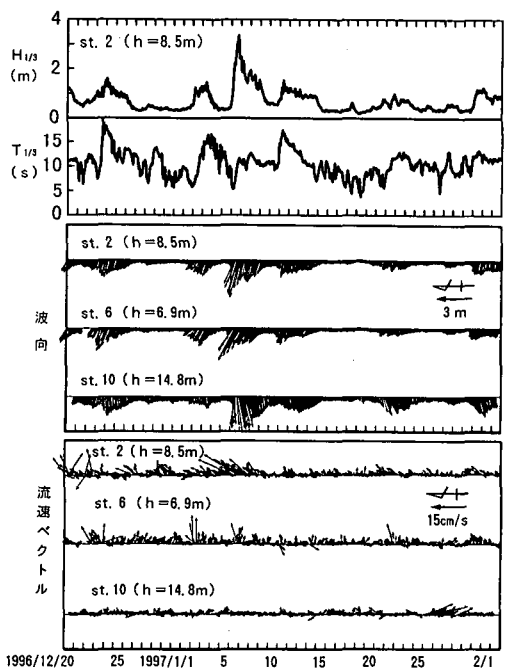
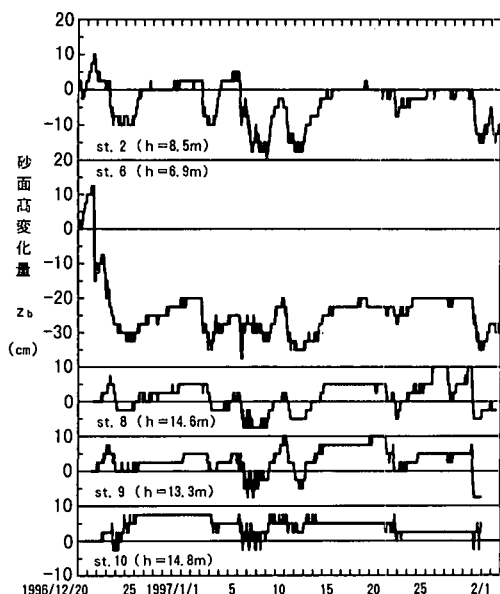


図-7 1996年冬季の波浪・流況の経時変化



図—8 1996年冬季の海底地盤高の経時変化

生じていない。また、st. 10 では、地盤高の変動に加えて流況の変動傾向も他の地点と異なっていることから、海岸線延長が約 40 km と長大な仙台湾南部海岸では、土砂移動の状況が場所によって異なるものと考えられる。このことは、広域的な土砂移動の実態を把握することが不可欠であり、このような観点からの現地観測も必要なことを示している。

4. 結 論

仙台湾南部海岸において種々の現地観測を行った結果、以下のことが明らかとなった。

① 沖浜領域では、時化の初期には岸向き漂砂による急激な侵食が生じており、発達期には沖向き漂砂による短期的な地形変動を繰り返しているが、沿岸漂砂による実質的な砂移動によって長期的な海浜変形が生じてい

る。

② 来襲波浪の特性によって沿岸漂砂の方向は変化しているが、通年では北向きの沿岸漂砂が卓越することが確認され、沿岸漂砂量は CERC 公式 ($K=0.58$) により算定可能であり、底質の移動限界はシールズ数 ($\Psi=0.1$) で評価できる。

③ 漁港近傍の水深 7.3 m 地点では、防波堤に沿う沖向きの流れが卓越し、高波浪の来襲時には平均流速が 50 cm/s を超える。一方、漁港から約 750 m 離れた水深 9.0 m 地点では、平均流速は最大でも 30 cm/s 程度であるが、1 m 近い地形変化が生じている。

④ 沖合の水深 13 m~15 m 地点においても、有義波高が 1 m~1.5 m の条件で海底地盤が 10 cm 程度変動しており、海岸の土砂収支を考える上で無視できない移動量であると考えられる。また、南部の地点では、他の地点と異なる地盤高および流況の変動傾向が見られた。

以上の観測で捉えられた現象は、現地海岸で生じている複雑な水理・漂砂現象の一部にすぎないが、現地海岸の漂砂機構を考える上では極めて貴重な情報であり、このような土砂移動機構に関する現地観測を今後も進めていくことが重要である。特に、仙台湾南部海岸のような侵食の著しい海岸において効率的な海浜保全対策を確立するためには、さらに詳細な現地観測を継続していくことが必要である。

参 考 文 献

- 田中茂信・山本幸次・鴨田安行・柳町俊章・小野松輝美・後藤英生 (1995): 仙台湾南部海岸における土砂移動機構の観測, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 666-670.
- Coastal Engineering Research Center (1984): Shore Protection Manual, Vols. 1 & 2.
- Kraus, N. C., M. Isobe, H. Igarashi, T. O. Sasaki and K. Horikawa (1982): Field experiments on longshore sand transport in the surf zone, Proc. 18 th Conf. on Coastal Eng., pp. 969-988.