

仙台湾南部海岸における海浜変形特性

Beach Deformation around Headlands in the Southern Sendai Coast

三浦佑輔¹・有働恵子²・真野 明³

Yusuke MIURA, Keiko UDO, and Akira MANO

This study investigated beach deformation in the vicinity of the headlands using yearly bathymetric data from 2002 to 2005 in this area, in order to understand the effects of the headlands on beach stability. Furthermore, to calculate the longshore sediment transport rate, we compared the longshore wave energy flux with the sediment change volume at the breaking point in this area. The results showed that notable sand deposition occurred around the seaward edge of the headlands, and that the proportionality coefficient of the longshore sediment transport was 0.0028 in the vicinity of one of the headlands with a length of 100 m.

1. はじめに

近年, 沿岸における構造物の建設や河川からの土砂供給の減少などによって沿岸漂砂の土砂収支バランスが崩れることにより, 日本各地で海岸侵食が問題となっている. この対策としてヘッドランド工法が多く用いられているものの, ヘッドランド周辺の地形変化やその効果については十分な知見が得られていない.

本研究は, 8 基のヘッドランドが設置され現在もヘッドランド建設が進められている仙台湾南部の山元海岸において, 地形変化を調べるとともに土砂変化量と波のエネルギーフラックスの関係より沿岸漂砂量係数を算定し, ヘッドランド周辺の海岸地形変化特性およびヘッドランドの効果を把握することを目的とする.

2. 調査対象地域

仙台湾南部海岸は, 仙台市から福島県境まで総延長約 65 km に及ぶ長大な砂浜海岸であるとともに, 日本でも有数の海岸侵食地帯である (図-1). この領域における等深線は水深 30 m 以浅で海岸線とはほぼ平行な海岸であり, 水深 10 m 以浅の海底勾配は 1/30 ~ 1/40 である (田中ら, 1995). また, 年平均波向が東方向であることから, 北向きの沿岸流が卓越している.

この海岸では 1970 年代初めから徐々に侵食され始め, 近年その度合いが急激に進み, 堤防の倒壊などの災害をもたらしている. 汀線の変化が著しい箇所では 50 m も後退している. このような急激な侵食の原因として, 最大の土砂供給源であった福島の崖海岸での侵食防止対策や, 福島県の重要港湾に指定された相馬港の整備が進んだことにより, 沿岸流の上手側である南方からの土砂供給が激減し, 土砂収支のバランスが崩れてしまったこと

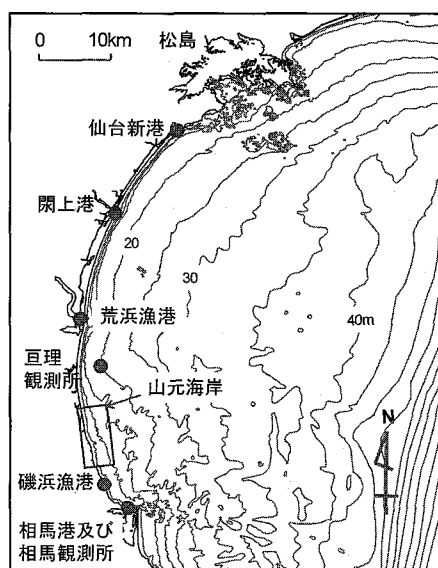


図-1 仙台湾沿岸の海底地形

等が挙げられる.

対象領域である山元海岸は仙台湾南部海岸の中でも侵食や越波が特に顕著で, 1997 年よりこれまで 8 基のヘッドランドが 1 km 間隔に設置されており, 将来的には既存のヘッドランドの中間地点にヘッドランドが設置される予定である. 2005 年 11 月時点のヘッドランドの長さは, 1 ~ 11 号については 100 m, S4 号については 200 m であり, 最終的には全長 200 m のヘッドランドが全部で 16 基設置される.

3. 研究方法

(1) 地形データ解析

国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所により取得された 2002 年 ~ 2005 年地形データを用いて, ヘッドランド 8 基を含む山元海岸全体の広域地形変化と, ヘ

1 学生会員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
2 正会員 博(工) 東北大学助教 災害制御研究センター
3 正会員 工博 東北大学教授 災害制御研究センター

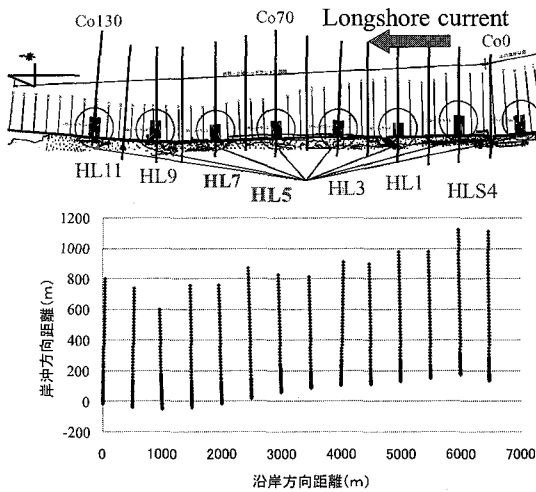


図-2 山元海岸における測点の位置

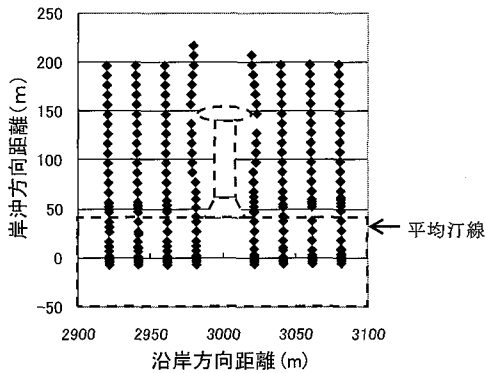


図-3 HL5号周辺における測点の位置

ッドランド5号 (HL5) 周辺の局所的な地形変化について解析した。広域の地形変化については、沿岸方向 6.5 km × 岸沖方向 1 km の領域に沿岸方向 500 m 毎に設定された測線 14 本のデータ (図-2) を、HL5 号周辺の地形変化については沿岸方向 200 m × 岸沖方向 200 m の領域に沿岸方向 20 m 毎に設定された 8 本の測線のデータ (図-3) を用いた。広域のデータは 2002 年 2 月、2002 年 11 月、2003 年 2 月、2003 年 11 月、2004 年 2 月、2004 年 11 月、ならびに 2005 年 2 月の 7 回、HL5 号周辺のデータは 2003 年 11 月、2004 年 2 月、2004 年 11 月、2005 年 2 月、ならびに 2005 年 10 月の 5 回取得されている。

(2) 波浪データ解析

対象領域に最も近い亘理観測所 (水深 20 m) の波浪データは欠測や異常値が多いことから、相馬観測所 (水深 17.1 m) の 2002 年 1 月～2005 年 12 月 NOWPHAS

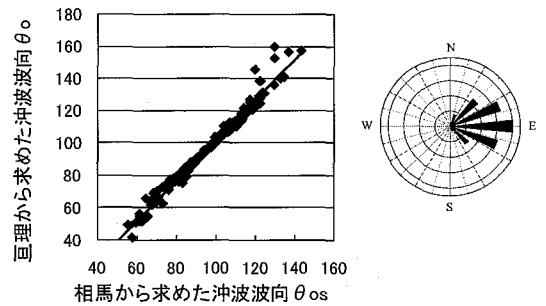
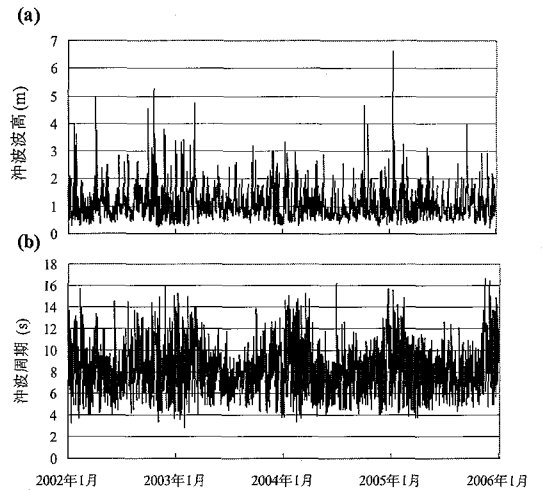

 図-4 亘理および相馬の観測データを用いて算定した沖波波向 θ_o および θ_{os} の関係と θ_o の推定出現頻度


図-5 山元海岸における (a) 推定沖波波高、(b) 沖波周期

(全国港湾海洋波浪情報網) データを用いて沖波波高、周期ならびに波向を与えた。

沖波波高 H_o は相馬観測所のデータより微小振幅波理論を用いて算出し、沖波周期 T_o は NOWPHAS データの有義波周期で与えた。沖波波向 θ_o に関しては相馬観測所のデータを用いて以下のように推定した。2003 年 3 月 21 日～2004 年 8 月 16 日の亘理及び相馬のデータからスネルの法則を用いてそれぞれの沖波波高 θ_o および θ_{os} を算出しこれらを比較した。このとき対象領域の海底地形の等深線は海岸線に平行であると仮定した。沖波波向 θ_o および θ_{os} は以下の式で表わされる線形関係にあった (図-4)。

$$\theta_o = 1.25\theta_{os} - 23.43 \quad (1)$$

以上により得られた H_o 、 T_o を図-5 に、 θ_o の推定出現頻度を図-4 に示す。

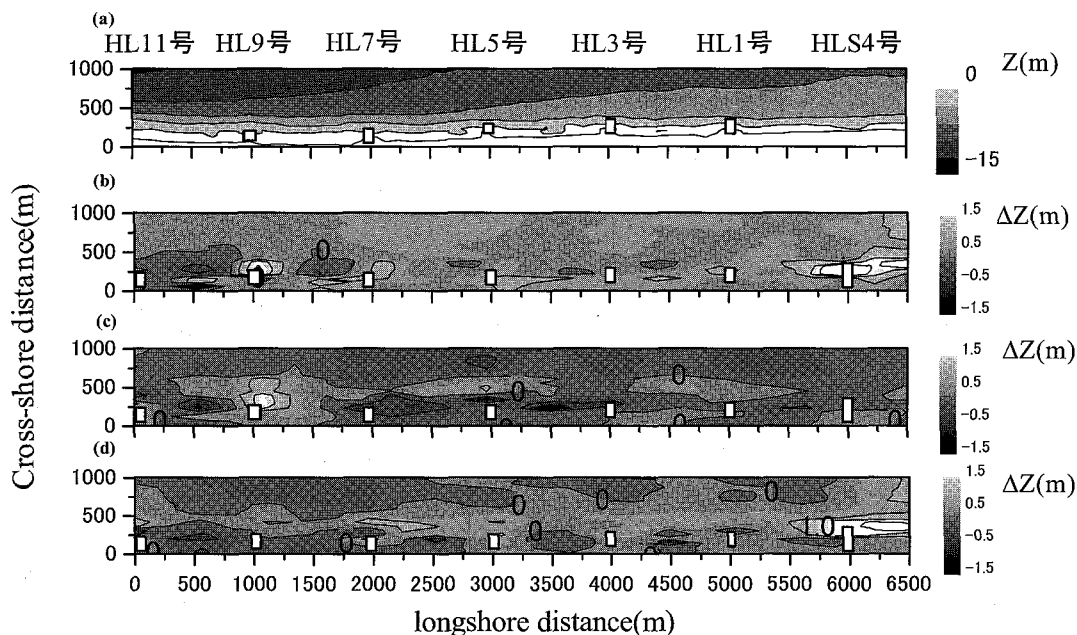


図-6 山元海岸の(a)2002年2月の平面地形と、(b)2002年2月～2004年2月、(c)2004年2月～2005年2月、ならびに(d)2002年2月～2005年2月の地形変化

4. 結果と考察

(1) 地形変化特性

a) 山元海岸の広域地形変化

2002年2月の平面地形と2002年2月～2004年2月、2004年2月～2005年2月、ならびに2002年2月～2005年2月の地形変化を図-6に示す。2002年2月～2004年2月(図-6(b))においては概ね堆積傾向にあり、観測期間中の2002年9月に完成したHL9号周辺ではその傾向が特に顕著であった。一方、2004年2月～2005年2月(図-6(c))においては、HL9号付近を除いて全体的に侵食傾向にあった。2004年11月～2005年2月の期間の断面変化図(図-7)より、ヘッドランドの先端付近では約1～3m程度の侵食が、その沖側で若干の堆砂が認められた。これは2005年1月16日～17日の大型低気圧通過に伴う高波浪によるものと考えられる。2002年2月～2005年2月の3年間の変化(図-6(d))より、ヘッドランド周辺では堆積傾向にあるが、ヘッドランド間ではやや侵食傾向にあった。また、領域全体としては沿岸流の上手側は堆積傾向に、下手側は侵食傾向にあった。HLS4号付近では顕著に堆砂しているが、これは2003年～2005年の工事により全長200mのヘッドランドが完成したことによるものと考えられる。また、ヘッドランドの先端よりやや沖側付近で堆積傾向がみられた。

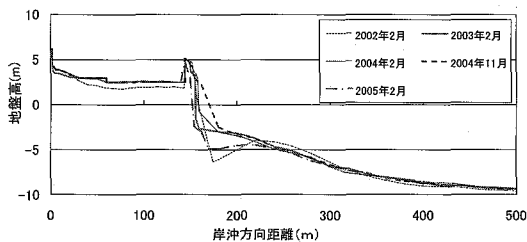


図-7 HL5上の測線Co70に沿った断面地形変化

b) ヘッドランド5号周辺の局所的な地形変化

2003年11月の平面地形と、2003年11月～2004年11月および2004年11月～2005年10月の地形変化を図-8に示す。2003年11月～2004年11月の変化については、ヘッドランド周辺で沿岸流の上手および下手のいずれにおいても堆積傾向が見られた。これはヘッド部の影響で海流に変化が生じ、循環流が発生しているためと考えられる。佐藤ら(1998)は海浜流の計算結果をもとに上手側における堆積の助長及び下手側における侵食の軽減の可能性を指摘している。また、2003年11月の地形を見ると先端付近で地盤高が若干低くなっていることから埋め戻しの影響も考えられる。ヘッド部から汀線の間の領域では上手側では全体的に堆積傾向にあったが、下手側では部分的に侵食傾向が。しかしながら2004年11月～2005年11月の変化を見ると、全体的に侵食傾向にあった。この期間は前述したように、荒天により大

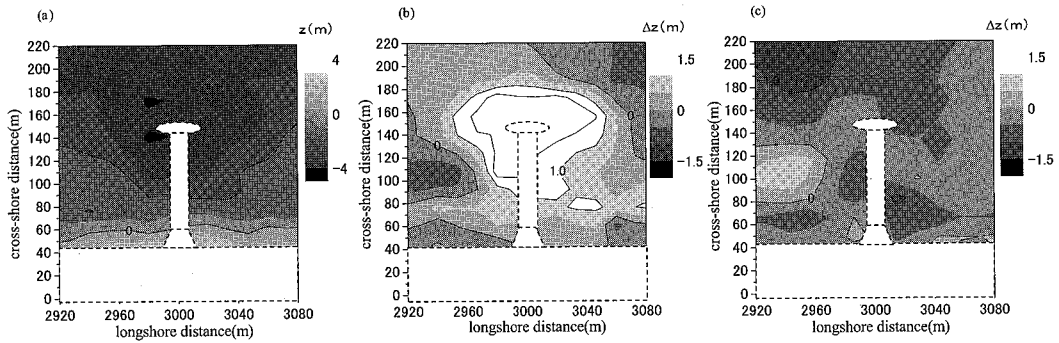


図-8 HL5号周辺における (a)2003年11月の平面地形
(b)2003年11月～2004年11月および (c)2004年11月～2005年10月の地形変化

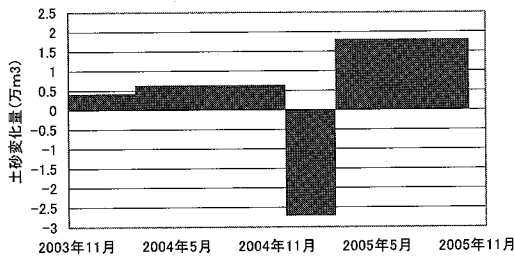


図-9 HL5号周辺における土砂変化量

表-1 β , γ の数值

	$0.0079 < H_0/L_0$	$H_0/L_0 < 0.0079$
β	0.499	0.805
γ	-0.287	-0.188

規模な侵食が起きたと考えられる。卓越した沿岸流である北向きの流れによって漂砂が下手側にも回り込んでいたと推測されるが、今後ヘッドランド建設が進められることによりこの漂砂の回り込みはくい止められると考えられる。

2003年11月～2004年2月, 2004年2月～2004年11月, 2004年11月～2005年2月ならびに2005年2月～2005年10月のHL5号周辺の土砂変化量を図-9に示す。Vは各測線における断面積の変化量と測線間隔(20m)の積を積算して求めた。2004年11月～2005年2月の期間は前述した2005年1月の高波浪により大規模な侵食が生じていた。荒天時には沖向き漂砂によって地形が急激に侵食されることから(例えば, 加藤ら, 1992), この期間には汀線周辺のヘッドランド基部から沖側に土砂が運ばれたと考えられる。この期間を除く比較的Pの小さい期間はヘッドランド周辺で堆積傾向にあり, これはヘッドランドによる効果であると考えられる。

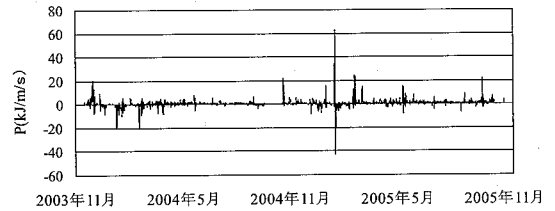


図-10 砕波点におけるエネルギーフラックス沿岸方向成分P

(2) 地形変化と波のエネルギーフラックスの関係

a) 砕波点におけるエネルギーフラックス沿岸方向成分

沿岸漂砂量係数を求めるため, 砕波点におけるエネルギーフラックス沿岸方向成分Pを推定した。真野ら(1996)の式を用いて, 北向きを正とするとPは以下の式で表わされる。

$$P = \frac{\rho g^2}{32} \beta^{\frac{3-\gamma}{2}} (2\pi)^{\frac{\gamma}{2}} H_0^{\frac{5+\gamma}{2}} T_0^{-\gamma} K_r^{\frac{1+\gamma}{2}} \sin 2\alpha \cdots (2)$$

ここで H_0 は沖波高, T_0 は沖波の有義波周期, α_0 は沖波の入射角, K_r は屈折係数 ($\cong 1$) である。 β 及び γ は H_0/L_0 に依存するパラメータで, 表-1のように与えられる。

Pの時系列を図-10に示す。2005年1月16～17日にかけてPの値が顕著に大きくなっているが, これは前述した低気圧通過による時化の影響である(図-5(a)参照)。

b) ヘッドランド5号周辺の沿岸漂砂量係数

Pの北向き成分を積算した ΣP とHL5号周辺の右半分の領域の土砂変化量を測定期間毎に比較して, 沿岸漂砂量係数を求めた。沿岸漂砂量係数はPaul D. Komar and Inman Douglas L. (1970)の沿岸漂砂量公式を用いて推定した。

$$(1-\lambda)(\rho_s-\rho_w)gQ_x = KP \cdots (3)$$

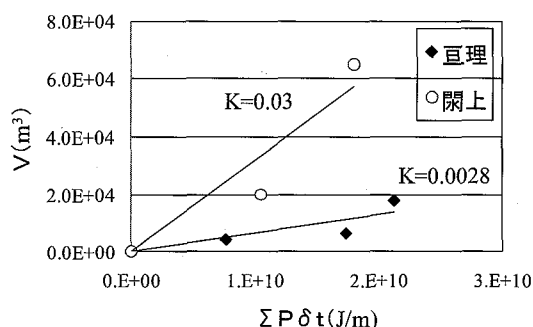


図-11 HL5号周辺の沿岸流上手側の ΣP と土砂変化量 V の関係

ここで λ は空隙率(=0.4), ρ_s は土砂の密度(=2600 kg/m³), ρ_w は海水の密度(=1030 kg/m³), Q_x は沿岸漂砂量, K は沿岸漂砂量係数である. 式(3)の左辺項は土砂変化量 V で与えた.

ここでは沿岸漂砂量係数を求めるため, 時化により岸沖方向の地形変化が生じていたと考えられる2004年11月~2005年2月期間を除いた各測定期間における北向きの ΣP と沿岸流上手側沿岸漂砂量をそれぞれ比較した.

ΣP と V の関係を図-11に示す. 漂砂量係数は $K=0.0028$ と算定され, Paul D. Komar and Inman Douglas L. (1970)の0.77よりかなり小さく, 真野ら(1996)の関上港(図-1)における漂砂量係数0.03の1/10程度となった. これは, 現時点ではヘッドランド建設が進行中であり, ヘッドランド長さが短いためと考えられる. 関上港は突堤部分が約500m沖まで延びているが, HL5号は全長100mであり, 沿岸漂砂を捕捉する構造物の面積が少ない. 槻山ら(2003)は, 漂砂捕捉率は全長約100mのヘッドランドでは約23%であり, 全長約200m以上では約90%に向上することを示している. また, 侵食により対象領域の砂が少ないため, 必然的に漂砂として沿岸方向に輸送される量が減少していることも一因として挙げられる.

5. ま と め

ヘッドランドが既設され, 現在も建設が進められている山元海岸を対象として, ヘッドランド周辺の地形変化特性およびヘッドランドの効果について調べ, 以下の結果がえられた.

- 山元海岸の広域地形変化よりヘッドランドの先端よりやや沖側付近では堆積傾向に, ヘッドランド間ではやや侵食傾向にあった.
- HL5号周辺の局所的な地形変化より, 卓越した沿岸流である北向きの流れによって漂砂が下手側にも回り込んでいたと考えられる. 今後ヘッドランド建設が進められることによりこの漂砂の回り込みはくい止められると考えられる.
- HL5号周辺の沿岸漂砂量係数0.0028と算定され, 関上港の値の約1/10となった. この原因としてヘッドランドが短いことにより漂砂の捕捉率が小さいことや, 沿岸漂砂量自体が少ないことによるものと考えられる.

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, 第42回海岸工学論文集, pp. 666-670.
- 佐藤慎司・山本幸次・和田一範・伊澤武仁・大谷靖郎・橋本新(1998): 大曲海岸におけるヘッドランド周辺の漂砂観測と海浜変形予測, 第45回海岸工学論文集, pp. 556-560.
- 加藤一正・柳嶋慎一(1992): 長周期波によるバーム侵食, 土木学会論文集, NO. 452, pp. 41-50.
- Paul D. Komar and Inman Douglas L. (1970): Longshore sand transport on beaches, J. Geophysical Res., Vol. 75, No. 30, pp. 5914-5927.
- 真野明・Muhammad Hasanudin・澤本正樹(1996): 沿岸漂砂量公式に用いる年平均波, 海洋開発論文集, vol. 12, pp. 55-59.
- 槻山敏昭・木村 晃・高木利光・橋本 新(2003): 仙台湾南部海岸におけるヘッドランドの漂砂捕捉率について, 第50回海岸工学論文集, pp. 521-525.