

仙台湾南部海岸におけるヘッドランド周辺の地形変化に関する研究

東北大学工学部 鈴木惇彦

東北大学災害制御研究センター 有働恵子・真野明

1. はじめに

近年、日本各地で海岸侵食が問題となっている。侵食をもたらす外力としては、汀線を変化させる波の侵食作用の他、潮汐、海流、沿岸流、地盤沈下などが挙げられる。また、土砂補給源が失われることで海岸においてこれまで築き上げられてきた土砂収支のバランスが崩壊して侵食が生じる。これまで河川から流れてくる土砂や海岸崖の崩壊による土砂が沿岸流によって砂浜に運ばれ供給されていたが、ダム建設や河道整備により河川からの土砂流出が止まり、海岸に港湾・漁港の防波堤や海岸堤防などの構造物を設置することで沿岸漂砂が遮断されたことでバランスの崩壊に至ったのである。

海岸侵食に関してはまだよく分かっていない部分が多い。現在に比べ海岸の利用度が低く近くに住む人も比較的少なかったため汀線後退について関心が薄く、また地方の問題として放置または無視していたためせいぜい50年程度の資料しかなく現象も学問も新しいものである。また、潮位と波向き、波高、周期などの外力の組み合わせが時間・空間的にかなりの範囲で変化するので各時刻毎の外力の変化を有義的に把握して海岸地形の変化と組み合わせて考えることは難しく、荒天時には海底土砂が最も多量に移動し海底変形が最も大きく現れるが、調査・観測は著しく困難なため期間中は実施できずその前後を比較することしかできない。

また、海岸侵食によって砂浜が失われることで高潮や津波などによる波のエネルギーが直接海岸に到達し、越波や堤防崩壊などの防災上の影響が指摘されている他、生態系への影響、景観の悪化、利用の不便性など様々な弊害も生じる。この対策として離岸堤や突堤などの構造物を建設してきた。季節によって波向が変化するような海岸に対してはヘッドランド工法により、海岸線をいくつかに分割してポケットビーチ化を図る手法がとられている。しかしその土地それぞれの特性によって効果は変化し、施工後の調査も不十分なため未だ最適な工法はわかっておらず試験的に施工しているのがほとんどである。本研究の目的はヘッドランド周辺の海岸地形変化解析を行い土砂移動に対し波浪および構造物がどのような影響を及ぼすかを明らかにすることである。

2. 研究対象地域

仙台湾南部海岸は、仙台市から福島県境まで総延長約65kmに及ぶ長大な砂浜海岸である

で海岸線とほぼ平行で年平均波向き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が、冬季は北東方向からの波も卓越しており波向が季節的に変動する海岸である。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50m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等が挙げられる。本研究では、仙台湾南部海岸の中でも侵食や越波が特に顕著で、既にヘッドランドが設置されている山元海岸を対象領域とした。(図-1) この海岸では、1997年よりこれまで8基のヘッドランドが1km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偶数番号のヘッドランドが500m間隔で設置される。現時点のヘッドランドの長さは、1~11号については長さ100m、S4号については200mであり、最終的には全長200mのヘッドランドが全部で17基設置される予定である。

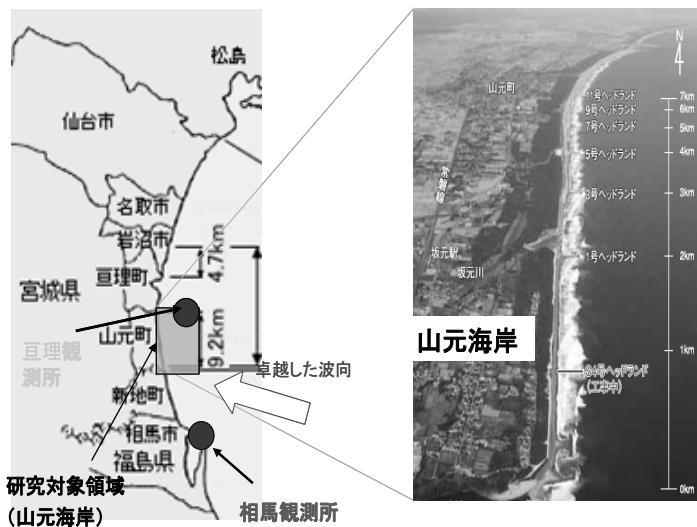


図-1 研究対象地域

3. 研究方法

3. 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2003年2月から2009年2月までの地形データを用いて、山元海岸全体の広域地形変化について解析した。広域の地形変化は、沿岸方向7.9km×岸沖方向1kmの領域に沿岸方向200m毎に設定された測線のデータを用いた。本研究における原点としては測線Co130 (HL1 1号)上の測量基準点とした。ここで2009年2月時点における山元海岸の海底地形を図-2に、山元海岸の側線位置を図-3に示す。また、ヘッドランド周辺の詳細な地形変化を見るためにHL5号周辺の測量データも用いた。このデータは測線8本に沿って、沿岸方向約200m×岸沖方向約250mの領域に沿岸方向20m、岸沖方向10m毎に設定されている。(図-4)

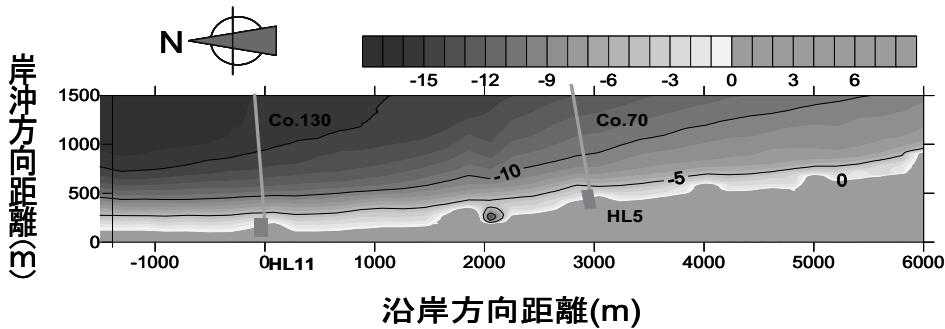


図-2 山元海岸の海底地形（2009年2月）

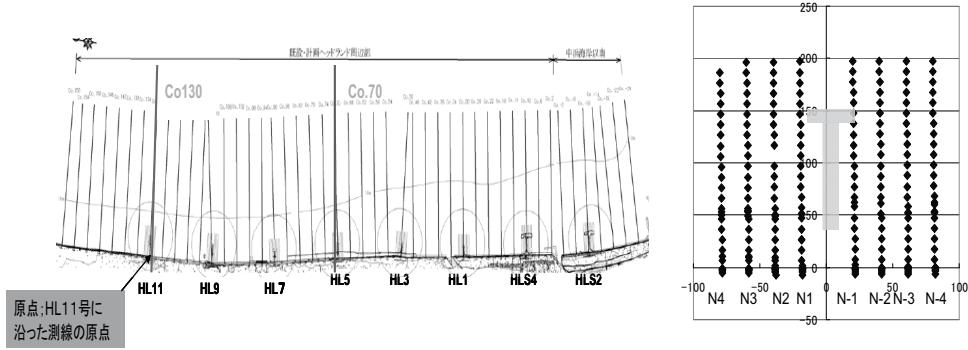


図-3 山元海岸の測線位置

図-4 HL 5号周辺の測線図

3. 2 波浪データ解析

対象領域に最も近い亘理観測所では、波浪データの欠損や異常値が多いためデータの欠損の少ない相馬観測所のNOWPHAS（全国港湾海洋波浪情報網）データを用いて対象領域の沖波およびエネルギーfluxについて解析した。使用したデータは2時間毎に計測された有義波高、有義波周期、波向きで、波向きは真北を0度として時計回りにとられている。次に、波浪データの解析方法を示す。次式から沖波における波長、波速、及び相馬観測所における波長、波速を求めた。

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$$

L_o : 沖波波長 (m)

c_o : 沖波波速 (m/s)

$$c_o = \frac{L_o}{T}$$

L_s : 相馬観測所における波長 (m)

c_s : 相馬観測所における波速 (m/s)

$$L_s = L_o \tanh \frac{2\pi h}{L}$$

T : 有義波周期 (s)

g : 重力加速度 (m/s^2)

$$c_s = c_o \tanh \frac{2\pi h}{L}$$

さらに相馬観測所における波高を用いて、沖波波高を求める。

$$H_o = \sqrt{\frac{2ncH^2}{c_o}}$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh \frac{4\pi h}{L}} \right)$$

H_o : 沖波波高 (m)

H : 相馬観測所における波高 (m)

また、沖波周期 T_o は観測された有義波周期 T を用いた。

さらにエネルギーflux E_f は以下の式によって求めた。

$$E_f = \frac{1}{16} \rho g c_o H_o^2$$

ρ : 海水の密度 (g/m³)

対象領域の海底地形を等深線海岸と仮定し、スネルの法則を用いて亘理及び相馬、2つの観測所から沖波波向きを算出し比較した。その相関関数を θ_o として用いた。

まず初めに、相馬の観測データと沖波についてスネルの法則を用いた。

$$\frac{c_s}{\sin \alpha_s} = \frac{c_o}{\sin \alpha_1}$$

α_s : 相馬観測所における入射角

α_1 : 相馬観測所から算出した沖波入射角

さらに、入射角と波向きの関係を相馬観測所の海岸線を直線と見なして考えると

$$\alpha_1 = \theta_{os} - 63.76$$

$$\alpha_s = \theta_s - 63.76$$

θ_s : 相馬観測所における波向き

θ_{os} : 沖波波向き

これを変形して θ_{os} を求める。

$$\theta_{os} = 63.76 + \arcsin\left(\frac{c_o}{c_s} \sin \alpha_s\right)$$

同様に、今度は亘理の観測データと沖波についてスネルの法則を用いると

$$\frac{c_w}{\sin \alpha_w} = \frac{c_o}{\sin \alpha_2}$$

c_w : 亘理観測所における波速 (m/s)

α_w : 亘理観測所における波向き

α_2 : 亘理観測所から算出した沖波の波向き

さらに、入射角と波向きの関係を相馬観測所の海岸線を直線と見なして考えると

$$\alpha_2 = \theta_{ow} - 93.90$$

$$\alpha_w = \theta_w - 93.90$$

これを変形して θ_{ow} を求める。

$$\theta_{ow} = 93.90 + \arcsin\left(\frac{c_o}{c_w} \sin \alpha_w\right)$$

θ_{os} と θ_{ow} を比較すると図-5 のような関係が得られ、十分相関が見られ相馬観測所のデータを亘理観測所のデータとして用いた。

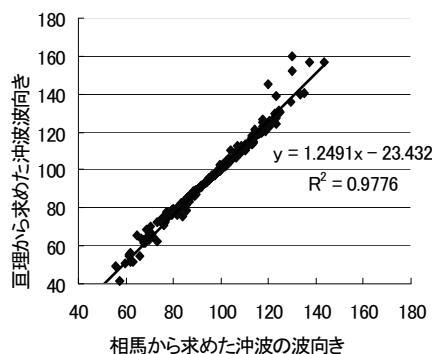


図-5 沖波波向きの相関関係

4. 解析結果と考察

2006年2月から2009年2月の3年間の広域地盤高変化とHL5号周辺の地盤高変化を図-6に示す。領域全体としては沿岸部で堆積し、そのさらに沖側で帶状の侵食域が形成されている。これは年平均波向きが東方向であることから波が海岸線にほぼ直角に入射することで岸向きの漂砂が生じ、また卓越した北向き沿岸流による沿岸漂砂が生じていることがわかる。また最近完成したHL11号及びS4号周辺では堆積が顕著にみられた。HL5号周辶では観測期間中に荒天によって侵食が起きたため侵食傾向にあったと考えられる。次に、季節毎の地盤高変化を図-7に示す。

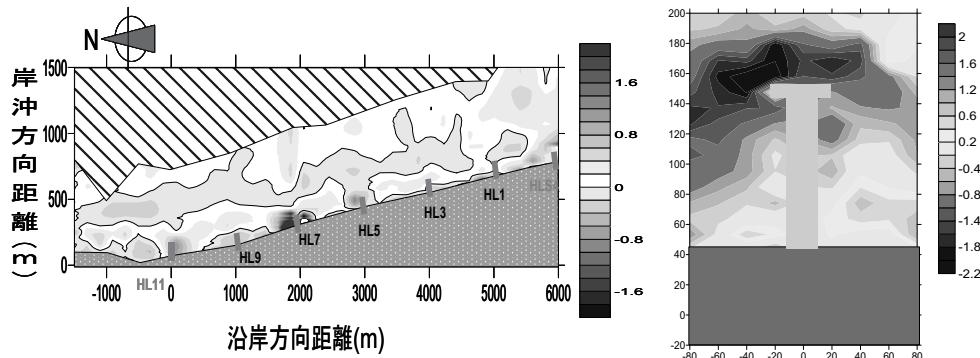


図-6 山元海岸とHL5号周辺の地盤高変化（2006年2月～2009年2月）

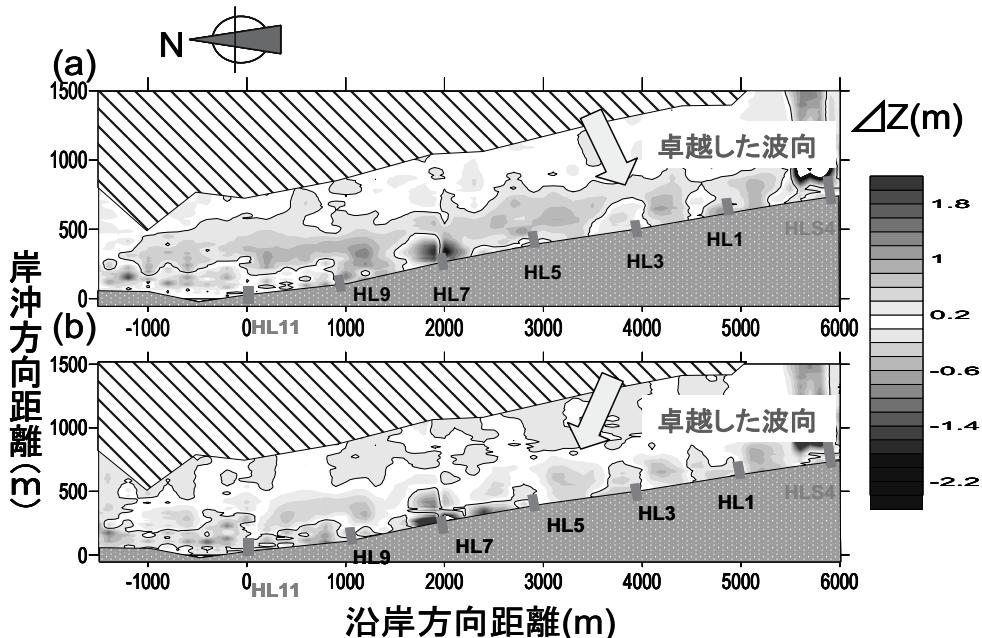


図-7 季節毎の地盤高変化 (a) 2008年11月～2009年2月

(b) 2008年2月～2008年11月

2008年11月～2009年2月の地盤高変化は北よりの卓越した波向きにより HL 北側に堆積が見られるが領域全体としては侵食傾向にあり、HL 間でもやや侵食傾向にあった。2008年2月～2008年11月の地盤高変化は反対に全体として堆積傾向がみられ、HL 南側に堆積しているが HL 間では同様に侵食がみられた。季節毎に沿岸漂砂が波向きに対し上手側に堆積していることから HL の効果が得られていると推測できる。しかし、HL 間では侵食であり、これは HL の全長が短いためと間隔が長いからだと考えられる。

また、沖波のエネルギーfluxと HL5号周辺の土砂変化量を図-8に示す。波高が6m以上になるような時化が生じた時に E_f は非常に増大しており、これに対応して土砂変化量が負になっている。これは沖向き漂砂によって汀線周辺の HL 基部から沖側に土砂が運ばれたためと考えられる。2008年2月～11月の期間では E_f は比較的小さく、この期間中は堆積傾向にあることがわかった。

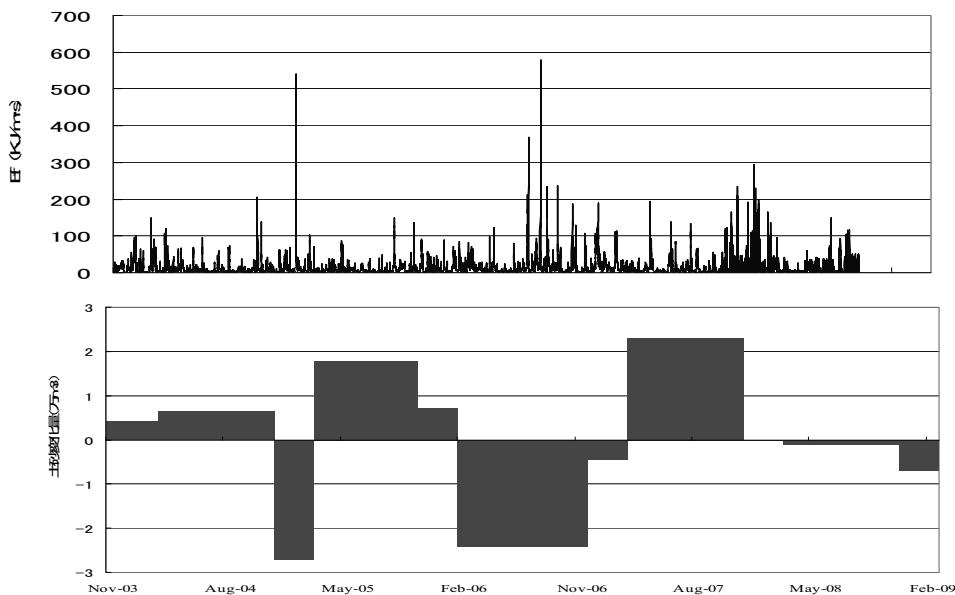


図-8 沖波のエネルギーfluxと HL5号周辺の土砂変化量

5.まとめ

ヘッドランド周辺においては季節により変動する波向きによって沿岸漂砂の堆積する側が変化していた。またヘッドランド間では侵食傾向にあり、ヘッドランドが未完成であることが原因と考えられる。波浪データから荒天時には沖向き漂砂により侵食傾向にあることがわかった。