

# ナローマルチビーム測量による沖合養浜時の土砂移動観測

## Observation of Sand Movement after Offshore Sand Nourishment by Sea Bottom Survey using Narrow-multi-beam Measurement

宇多高明<sup>1</sup>・田代洋一<sup>2</sup>・長山英樹<sup>3</sup>

Takaaki UDA, Yo-ichi TASHIRO and Hideki NAGAYAMA

Offshore beach nourishment using  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$  of dredged sand was carried out off the Ichino-miya coast on south Kujukuri Beach, and subsequent movement of sand was investigated through the filed observation using a narrow-multi-beam measurement. After the beach nourishment, sand movement was traced for three months, despite the attack of rough waves generated by typhoons. Nourishment sand was gradually transported shoreward with gradual diffusion alongshore, implying the effectiveness of offshore sand nourishment as a method for shore protection. Meandering of offshore contours around the tip of the artificial headlands was also observed by this measurement.

### 1. まえがき

養浜に際してわが国で一般的に用いられてきた砂の輸送方法はトラックによるものである。この方法は、確実ではあるが砂の輸送コストが高いことから、限られた予算の中での継続の実施にはかなりの困難が伴う。砂のトラック輸送に代わって輸送コストを一挙に下げるには、大量の土砂を運ぶことのできる底開バージでの輸送が考えられる。とくに漁港や港湾の航路障害となっている土砂の浚渫による発生土砂を、侵食海岸の沖合に投入してサンドリサイクルを行う場合、この手法を導入すれば事業の総コストの低減に大きく寄与すると考えられる。その際、沖合投入土砂が波の作用で岸向きに運ばれ、海岸保全効果を発揮できるかどうかが問題となる。このことから、宇多ら(2005)は、沖合投入土砂の挙動予測手法について検討し、土砂投入前の海底形状を固定床として扱い、かつ投入土砂の粒径に応じた平衡勾配を仮定することにより、投入土砂の移動予測が可能なことを明らかにした。しかし、計算で仮定された固定床扱いの手法の妥当性や、実際に沖合に投入された土砂の挙動が予測結果と合致するかどうかの検証は今後の課題であった。このことから、本研究では侵食が進んできている南九十九里浜の一宮海岸沖で約 $2 \text{ 万 m}^3$ の浚渫土砂を用いた沖合養浜の現地実験を行い、上記課題について検討した。

### 2. ナローマルチビーム測量による試験養浜の追跡

図-1に示すように、九十九里浜南部に位置する一宮海

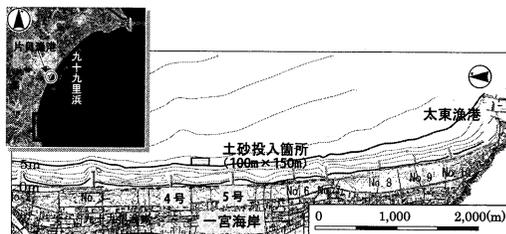


図-1 一宮海岸の4,5号ヘッドランド沖の試験海域

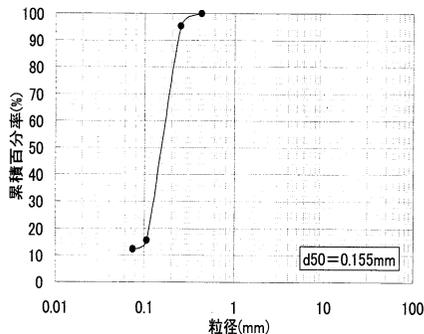


図-2 浚渫土砂の粒径加積曲線

岸の4,5号ヘッドランド沖の、水深5-6mに設定した岸沖方向に100m、沿岸方向に150mの矩形状区域において試験養浜を行った。試験養浜では、まず2007年3月9日、積載容量約 $510 \text{ m}^3$ の土運船を用いて投入地点の北20kmに位置する片貝漁港における浚渫土砂約 $1,000 \text{ m}^3$ を投入し、投入直後に最初の観測を行った。その後5月2日までに土運船の往復により合計 $20,460 \text{ m}^3$ の土砂を投入し、投入完了後の5月9日以降追跡調査を実施した。図-2は浚渫土砂の篩い分け分析によって求めた粒径加積曲線を示すが、投入土砂の中央粒径は $0.155 \text{ mm}$ の細砂である。

養浜は狭い範囲で集中的に行われることから、通常の音響測深による方法では投入土砂の詳細な移動状況の観測は困難と考えられる。このため、本研究では、海底の

1 正 会 員 工博 (財)土木研究センター理事なごき総合研究室長  
兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科  
2 正 会 員 (財)土木研究センター河川・海岸研究部  
部長  
3 修(工)(財)土木研究センター河川・海岸研究部

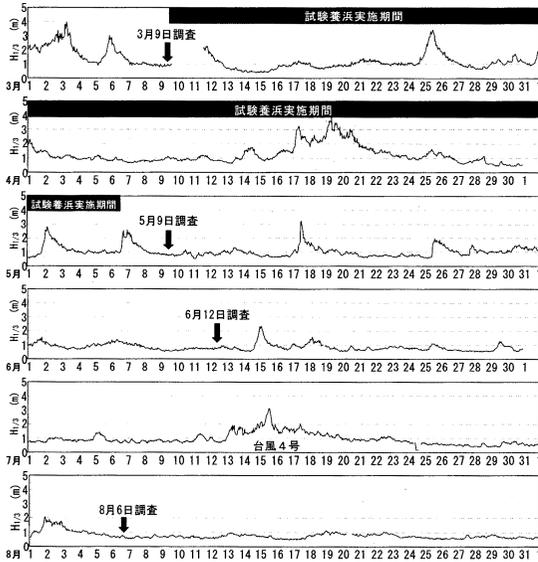


図-3 片貝漁港沖での波浪観測結果

凹凸を面的に観測可能なナローマルチビーム測深機を用いて投入土砂の拡散状況を観測した。使用したナローマルチビーム測深機 (SeaBat8125型) の仕様として、周波数は455Khz、ビーム数は240本、スワ幅が120°、分解能が±0.1m以内の測深機である。観測に先立って、潮位補正は、太東漁港に設置した水圧式水圧計を用いて行った。また精度チェックについては、観測に使用したのと同じ機材を大原漁港地先の特定の岩礁上に設置して測深し、測深データに差異がないことを確認した。

調査区域での観測においては、測線間隔は10mを基本とし、未測域がないように測線間隔を調整した。測線はほぼ南北方向に配列した。観測はバックグラウンド観測も含めて5回実施した。調査区域は沿岸方向に850m、岸沖方向に250mの区域である。観測は、土砂投入を開始した2007年3月9日の土砂投入前後の観測と、追跡調査として5月9日、6月12日、8月6日の3回実施した。図-3には観測期間中の片貝漁港沖での波浪観測結果を示す。1、2回目の観測の間の4月17日から20日には低気圧が通過し、3.8mの高波浪が観測された。2,3回観測の間の5月17日には3.2mの高波浪が観測された。さらに6月12日から8月6日の間、6月15日には2.4m、7月16-18日の台風4号により3.1mの高波浪が出現した。

### 3. 等深線形状の比較

観測区域は、図-4に示すように4,5号ヘッドランド沖の、沿岸方向に850m、岸沖方向に250mの矩形領域である。ただし3月9日に実施した1,2回観測は1日間の観測であり、短時間で観測を終了させねばならなかったことから、観測区域の岸沖方向の幅は250mと一定に保ちつつ

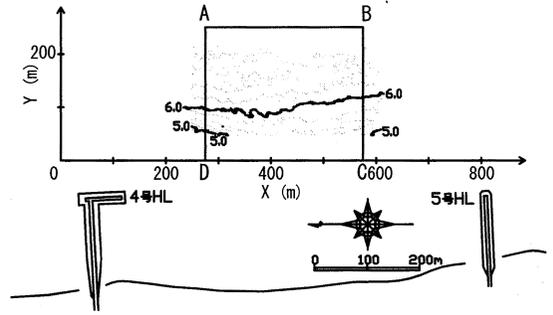


図-4 3月9日における約1,000m<sup>3</sup>の土砂投入直前の等深線形状

も、沿岸方向には300mと狭くした矩形区域 (ABCD) 内で観測を行った。図-4には、以後の解析の便を考え、矩形形状の観測区域北端の4号ヘッドランド隣接点に座標系 (X,Y) の原点Oを定め、沿岸方向にX軸を、これと直角沖向きにY軸を定めた。

backgroundの海底形状を測定するための、3月9日における約1,000m<sup>3</sup>の土砂投入直前の観測結果を図-4に示す。観測域の水深帯はほぼ5.0mから6.6mに広がっている。この海岸における波による地形変化の限界水深は約9mにある (宇多ら, 2000) ので、波による砂移動が確実に起こる水深帯に土砂が投入された。等深線形状の詳細形状を調べると、例えば水深6mの等深線形状に見られるように、X=360m付近では等深線が岸に接近しているが、X=550mでは逆に沖向きに突出している。これより土砂投入は等深線が凹状となった凹部で行われたことになる。

図-5は、3月9日の1,000m<sup>3</sup>の土砂投入直後の観測結果である。土砂投入は (450m,120m) 付近で行われた。図-4, 5の比較では、投入土砂量が小さいため有意な地形変化は見られない。また土砂投入点より離れた場所での海底形状がほとんど見分けがつかないほど似ている点は、ナローマルチビーム観測の精度が非常に高いことを示す。

図-6は5月2日までの20,460m<sup>3</sup>の土砂投入が完了してから5日後の5月7日の観測結果を示す。ABCD内の水深5.4~6.2m、沿岸方向300~500mの区域において、等深線が舌状に大きく突出している。土砂投入直前の観測結果を示す図-4にはこのような突出した海底地形は全く存在しなかったから、等深線の舌状の突出は、投入土砂の堆積によるものであることは間違いない。等深線形状は釣鐘状であり、突出度が最も大きいのは水深5.4mの等深線であり、水深6.4mの等深線も沖方向へ緩く突出している。これに対して岸側の水深5.2mの等深線には変化が生じていない。以上より、投入土砂が堆積した水深帯は岸側が5.2m、沖側が6.6mの、水深差が1.4mの間であったといえる。さらに図-6においては、南側の5号ヘッドランドの沖合において、水深6.2mまでの等深線が沖向きに突出し、ヘッドランド沖の水深5mから6mまでの海底勾配が1/45

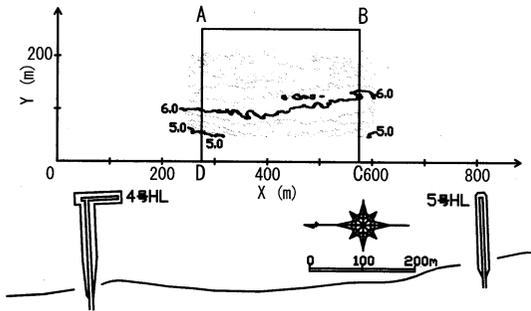


図-5 3月9日の1,000m<sup>2</sup>の土砂投入直後の等深線形状

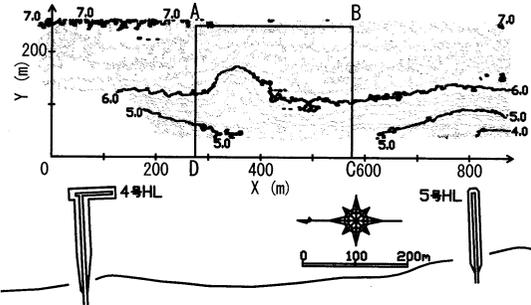


図-6 5月2日までの20,460m<sup>2</sup>の土砂投入後の等深線形状

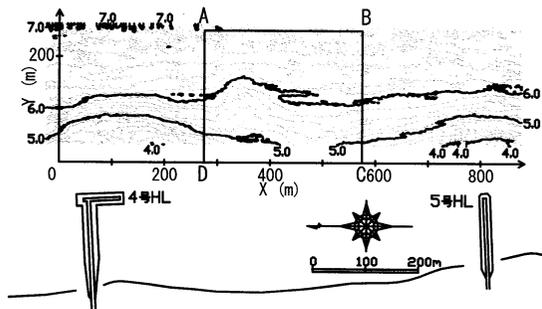


図-7 6月12日の等深線形状

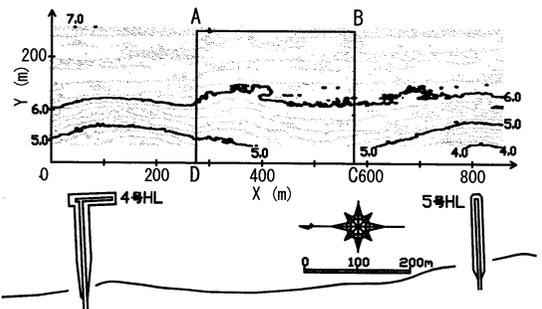


図-8 8月6日の等深線形状の比較

と急勾配となっている。北側の4号ヘッドランドの沖合では測深が行われていないが、 $X=300\text{m}$ より北側ではヘッドランドの先端へ向かい5号ヘッドランドの北側隣接部と同様等深線の突出が見られる。一般に、斜め入射波の作用のもと漂砂がヘッドランドの先端沖を蛇行しながら

流れる場合、ヘッドランドや突堤の沖では等深線の蛇行が起こる(芹沢ら, 2006)が、一宮海岸の4,5号ヘッドランド沖についても同様な現象が起きているためヘッドランド沖での等深線の突出が生じたと考えられる。

図-7は、6月12日の観測結果である。土砂投入点付近において、5月7日には岸沖方向に大きく突出していた等深線は、沿岸方向の曲率が小さくなったことから、投入土砂の拡散が起きたことが明らかである。その場合、図-6において舌状砂州の頂点を通る $X=350\text{m}$ 測線上では、水深6.2mと5.6mの等深線間の距離が25mと短かったが、図-7では同じ等深線間の距離が47mまで広がり、海底勾配は5月7日の約1/40から6月12日の約1/80と緩くなった。一方、図-6, 7において $X=450\text{m}$ 測線上の水深5.6mの等深線位置を調べると、砂が堆積した結果、等深線が16m前進している。この結果、舌状砂州の突出点と $X=450\text{m}$ 測線間での、水深5.6mの等深線の沿岸方向勾配が緩やかになった。同様な変化は、舌状砂州の最突出点の北側でも見られるが、等深線の沿岸方向勾配は投入点の南側のほうが緩くなっている。以上の点は、投入土砂は舌状砂州を形成して初期に堆積したが、その後やや北寄りの入射波の作用により南向きにより多くの土砂が運ばれたことを意味する。このように土砂投入点周辺での顕著な海底地形変化と対照的に、4号ヘッドランドの沖合では5月7日の観測結果(図-6)と6月12日の観測結果(図-7)とも等深線の突出がよく似た形で起きている。

5号ヘッドランド沖の等深線の突出状況の詳細比較を行うと、図-6では水深6mまたは6.2mまでの等深線の突出が見られたが、図-7では等深線の突出が見られる水深はほぼ5.8mと浅くなっている。これは図-3に示したように、5月7日から6月12日まで静穏な波浪条件であったことによると考えられる。さらに図-6では4号ヘッドランドの沖合の海底形状が一部しか明らかではなかったが、図-7ではヘッドランド沖での突出した等深線の全貌が明らかになっており、その南側側面の等深線形状は図-6に一部示された等深線とよく一致し、また5号ヘッドランド沖の等深線の突出とも非常によく似ている。

図-8には8月6日の観測結果を示す。6月12日までに観察された特徴が一層顕著となり、等深線の舌状の突出は益々規模が縮小し、土砂投入前の全体として凹状の等深線形状に戻りつつある。舌状砂州の頂点を通る $X=350\text{m}$ 測線上において水深6.2mと5.6mの等深線間の距離は54mであり、5月7日の25m(図-6)、6月12日の47m(図-7)から時間経過とともに長くなったこと、すなわち海底勾配が1/40(5月7日)、1/80(6月12日)、1/90(8月6日)と次第に緩くなり、土砂投入前(3月9日)の1/93に近づいたことが分かる。一方、 $X=450\text{m}$ 測線では、5.6mの等深線が一時は前進したものの、砂が沿岸方向に運び去られた

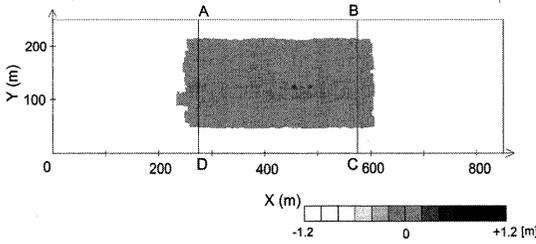


図-9 3月9日の土砂投入前の海底形状から1,000m<sup>3</sup>の土砂投入後までの地形変化量

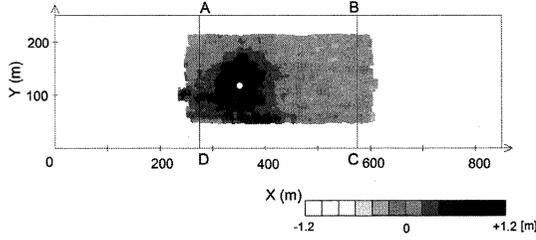


図-10 3月9日の土砂投入前の海底形状から20,460m<sup>3</sup>の土砂投入後までの地形変化量

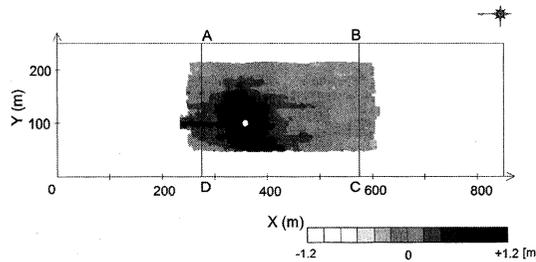


図-11 6月12日までの地形変化量

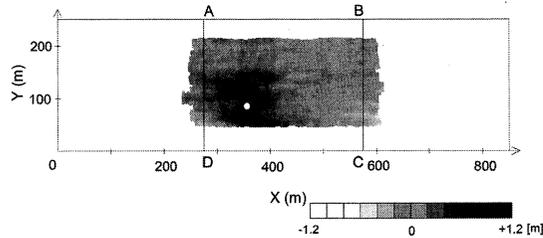


図-12 8月6日までの地形変化量

結果、再び等深線の後退が起きている。また、4,5号ヘッドランド沖での等深線の突出状況は図-7に示す6月12日の状況と非常によく一致している。緩勾配の細砂でできた海岸では沿岸砂州が発達してもよいが、沿岸砂州は波浪作用を受けて変形する。これと比較して本研究で観測した等深線の突出はヘッドランド沖に固定され、ほぼ同形を有することもまた突出した等深線を有する海底形状が、構造物起源であることを意味している。またヘッドランド沖での等深線の突出状況から判断して、先端水深が2mのヘッドランドでは、沿岸漂砂を阻止する機能は有するものの、一部の漂砂は先端を回り込んで流出する

こともまた明らかである。

#### 4. 地形変化量の比較

前節では観測された海底地形をそのまま比較したが、土砂投入による海底地形変化をより正確に把握するために、ここでは土砂投入前の観測結果を基準とした地形変化量を算出し、地形変化量の平面分布の相互比較を試みる。まず図-9は、3月9日における約1,000m<sup>3</sup>の土砂投入前後の地形変化比較である。土砂投入量が少ないために、地形変化量は小さいが、沿岸方向に幅約15m、長さ160mの細長い堆積域が形成されている。これは底開バージが沿岸方向に移動しつつ土砂投入を行ったことによる。図-10は、3月9日の土砂投入前の海底形状から20,460m<sup>3</sup>の土砂投入が完了した直後の5月9日までの地形変化量を示す。20,460m<sup>3</sup>と大量の土砂投入が行われたことから、図-9より顕著な地形変化が見られる。投入土砂は(350m, 130m)付近にピークを持ったほぼ同心円状の堆積域を形成している。また岸沖方向の比較では、岸側で厚い堆積が生じ、沿岸方向では投入地点より南側への土砂の広がりが著しい。

6月12日までの地形変化量を示すのが図-11である。土砂の堆積は図-10では尖った分布を有していたが、6月12日には拡散域が広がった。しかし50cm以上の堆積の生じた区域より重心点を求めると、重心点は5月9日(図-10)の(351m, 118m)から、6月12日(図-11)の(358m, 100m)へと岸方向に18m移動した。このことは、沖合養浜土砂が波の作用で岸向きに移動し、少なくともヘッドランド沖周辺の水深を小さくする上で効果があることを示している。さらに沿岸方向にはやや南側への広がりが卓越している。

8月6日までの地形変化量を示すのが図-12である。波の作用が続いた結果、土砂投入によってできた小高い丘状の海底地形はほぼ消失し、なだらかな海底地形になりつつある。この場合にも50cm以上の土砂堆積が生じた区域より重心点を求めると(356m, 86m)となり、6月12日以降も岸向きの砂移動が継続したことが分かる。同様にして、全体的に南側への砂移動が見られる。以上の観測結果から、投入土砂は波の作用下で緩やかに岸向きに移動したことが分かる。

#### 5. 海浜縦断形の変化

図-13, 14, 15には土砂投入地点を切るX=350m測線と、この測線の両側にそれぞれ20, 40m離れた測線に沿う海浜縦断形の変化を示す。X=350m測線を中心軸として左右に同じ距離離れた測線の縦断形比較により、投入土砂の岸沖方向の移動に留まらず、沿岸方向の移動特性について検討する。まず図-13においては、Y=185mに

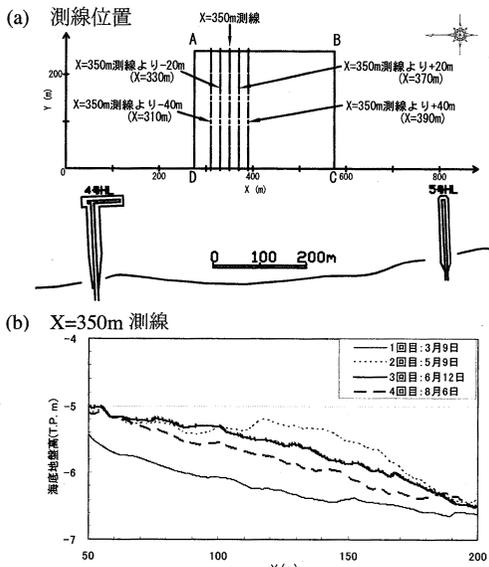


図-13 土砂投入地点を切るX=350m測線に沿う海浜縦断形の変化

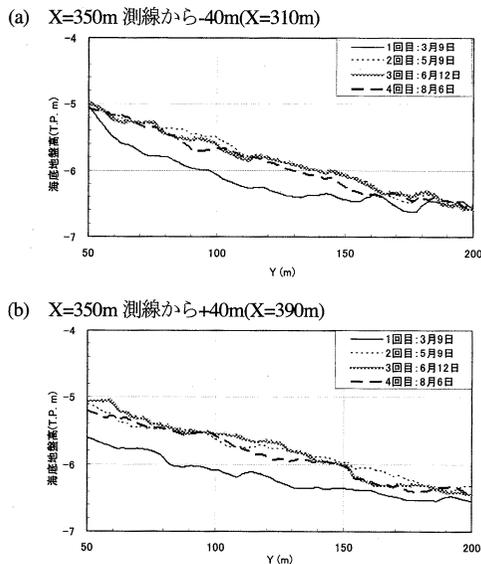


図-14 X=350m測線の両側に20m離れた測線に沿う海浜縦断形の変化

は水深変化の不動点があり、土砂投入によりこの不動点より岸側で砂が堆積した。投入後の波の作用により、この不動点と海底マウンドの沖側のり肩(Y=150m)の間では、海底が次第に削られ、海底勾配が3月9日の1/154から1/45(5月9日)、1/77(6月12日)、1/148(8月6日)と緩やかになり、土砂投入前の3月9日の1/154に近づいている。図-14に示すX=350m測線から20m離れた測線では、6月12日までに北側の測線ではY=60m付近においては縦断形には変化が全く見られなかったが、同じ期間、南側では堆積が生じており、投入土砂がやや南側に移動した

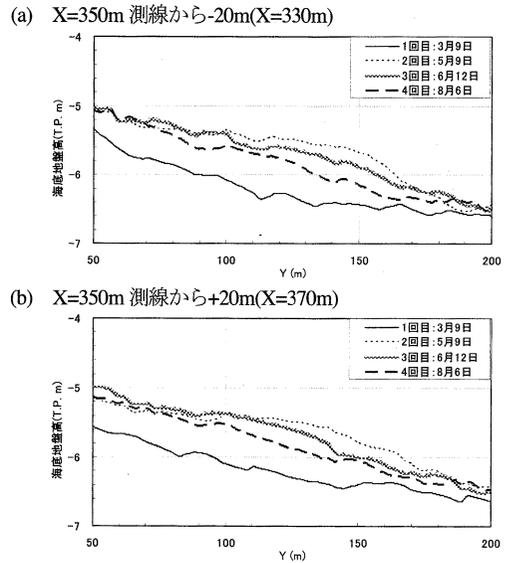


図-15 X=350m測線の両側に40m離れた測線に沿う海浜縦断形の変化

ことが分かる。全く同様な特徴は図-15にも見られる。

## 6. 結論

南九十九里浜に位置する一宮海岸沖において、約2万 $m^3$ の浚渫土砂を用いた沖合養浜を行い、投入土砂の移動状況をナローマルチビーム測深機により観測した。この結果次の結論が得られた。

- ①沖合養浜土砂の追跡には、面的地形変化を明らかにすることができる点より、ナローマルチビーム測深が有効である。
- ②約2万 $m^3$ の土砂投入後、台風による高波浪の作用を受ける中で、3ヶ月間土砂投入起源の海底地形変化を観測できた。
- ③投入土砂は沿岸方向に広がりつつ岸向きに移動することが確認された。
- ④沖合養浜にあつては土砂投入した部分の等深線変化が著しく、土砂投入しなかった場所はほぼ固定床扱いが可能である。これは宇多ら(2005)の手法を裏付ける。
- ⑤ヘッドランド沖の詳細地形観測によれば、ヘッドランド沖では等深線の蛇行が生じており、これは芹沢ら(2006)の予測結果と調和的である。

## 参考文献

- 宇多高明・高田 修・屋上幸良・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼(2000):九十九里海岸における地質年代スケールの沿岸漂砂量の推定, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.686-690.  
 宇多高明・清野聡子・大矢忠一・安田武夫・高橋 功・古池 鋼・屋上幸良(2005):沖合投入土砂の養浜効果予測手法の開発, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.641-645.  
 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼(2006):Bagnold概念に基づく海浜変形モデル, 土木学会論文集B, Vol.62, No.4, pp.330-347.