

深浅測量の精度およびデータの分析方法に関する一考察

A study on accuracy and analysis method of sounding data

宇多 高明*・戸川 光司**

Uda, T. and Togawa, K.

Accuracy and analysis method of sea bottom sounding data were studied based on the field data gathered from many coasts in Japan. A method selecting optimum length of beach survey is introduced with referring to the critical depth for beach changes. Nationwide distribution of critical depth for beach changes obtained from the comparison of beach profiles is shown. Effectiveness of usage of offshore distance to some contours is briefly discussed in order to distinguish the real beach changes with noise in the sounding.

Keywords: Sea bottom sounding, Accuracy, Beach profiles, Critical depth for beach changes, Offshore distance.

1. はじめに

近年、全国各地で海岸侵食が進んでいるが、海岸侵食対策の検討に際しては基礎データとして深浅データが必要とされる。また、深浅データは海浜変形予測の基礎データとしても非常に重要である。このため各地の侵食性海岸では毎年測量が繰り返し行われ、それらの結果は一般に深浅図として整理されている。しかしながら深浅測量に要する多大な経費の割に測量精度のチェック法や、データの分析法についての議論は少ないのが現状である。また、現場ではしばしば深浅図の重ね合わせ比較が行われているが、こうした方法では深浅測量のノイズと、波による有意な地形変化を見分けることは非常に難しい。こうしたことから、本研究では深浅測量における測線長や測量回数の設定法、測量結果の表示法と測量の精度についての考え方、さらには深浅データの分析法と期待する成果の関係について考察し、海浜変形予測の精度向上や海岸侵食対策の立案に役立てようとするものである。

2. 深浅測量の時期と測線長の選択

深浅測量に関してしばしば問題となるのは、測量時期（測量回数）や測量範囲の決め方である。まずこれらの問題について考える。一般に、深浅測量の仕様はそれによって明らかにしようとする現象の種類によって異なる。例えば、漁港等の防波堤により沿岸漂砂の連続性が断たれた場合において、構造物下手側の侵食状況を定量的に分析する場合、侵食は数年～十数年の期間で経年的に進むので、こうした条件では毎年1回の測量で十分である。一方、波浪の季節変動が明瞭に表われる日本海側などにおいて、離岸堤や人工リーフ等の海岸構造物の安定性調査などを行う場合には、冬期風波時に局所的に掘られたとしても、その後静穏波が来ればその箇所は再び埋め戻されるから、より短い時間間隔での測量が必要とされる。

日本海に面した海岸における海浜の季節変動の実例として、石川海岸の場合があげられる。例えば、武藤ほか(1992)によると離岸堤と人工リーフの開口部を通る測線No.94+50の断面形は図-1に示すようである。これによると、1987年にY≒500m付近にあった比高1.5mの低いバーは1989年までに比高4mの大きなバーへと発達した。バーはその後1990年8月まではほぼ安定状態にあったが、1991年2月

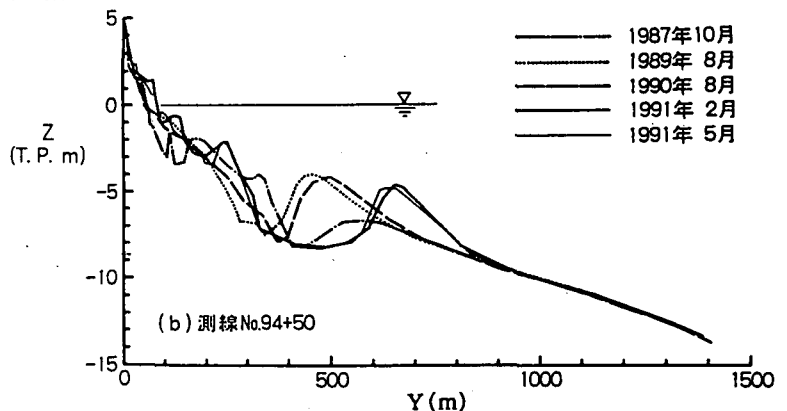


図-1 石川海岸における冬期風浪による沿岸砂州の移動

* 正会員 建設省土木研究所河川研究室（茨城県つくば市大字旭1番地）

** (株)建設技術研究所大阪支社

までに大きく沖方向へと移動した。そして 3ヵ月後の1991年 5月にはバーの沖側斜面が削られ、岸側斜面で堆積する状況が見られる。以上のように、バーの発達や減衰を調べようとするときには年数回の割合で深浅測量を行うことが必要とされる。ところで、図-1によればこの断面では沖合の-9m以深では地形変化はほとんど見られず、顕著な地形変化の収束する限界水深（地形変化の限界水深）はほぼ9mにあることがわかる。また、バーの発生領域は、測量範囲の十分岸側にあるから、図-1に示した測線の長さは十分であったと言える。以上の例より明らかなように、深浅測量では測線長を最初に決めるのではなく、第一義的には水深より測量範囲を定めるべきである。

次に、深浅測量の陸側限界について考えてみる。海岸侵食に伴う浜崖の形成や海岸での土砂収支を定量的に分析しようとする場合、深浅測量を文字通り解釈し、海面下の深さのみを調べればよいと考えるのは誤りであり、侵食性海岸では陸側の侵食限界を越えた高さまで測ることが必要とされる。例えば図-2を参照すると、陸上部で形成された浜崖は次第に後退したあと、汀線付近には非常に緩い勾配の斜面が形成されるから、海底地形のみを測量しても浜崖形成については何ら情報が得られず、あたかも地形変化がないように見える。しかも図示するように、この断面内での断面積の変化量は陸上部で大きいこ

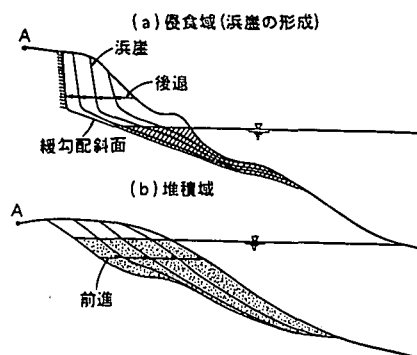


図-2 侵食域、堆積域の海浜断面変化の模式図

とから、侵食土砂量が過小評価されることは明らかである。一方、堆積域では、土砂が前浜上にうちあがる高さは2m程度と限られており、むしろ沖合に土砂が堆積するから、例えば陸上部の地形測量が行われなかったとしても大きな誤差を伴わずに堆積土砂量を計算できる（図-2参照）。結局、海底地形のみを測定する深浅測量では土砂収支の計算は不可能となる。侵食状況を正確に調べようとするのであれば、図-2の点Aより汀線までの間の地形測量を深浅測量と併せて行わねばならない。この点は、深浅測量を行う場合陸側限界の定め方に注意を要することを示している。

3. 測量結果の表示法と測量の精度

深浅測量の結果は最終的に図面として整理される。現場ではそれらを非常に大きな図に整理することが多いが、海岸侵食等の現象を説明しようとする場合には、コンパクトな図が必要である。また、一般に、水平スケールに比較して鉛直方向の地形変化量ははるかに小さいから、こうした図面を作る場合には縦横比を変え、水平スケールを大きく縮めて表示することが必要とされる。次に問題となるのは、深浅測量の精度である。深浅測量は碎波帯付近ではダイバーによる水準測量により、また沖合では音響測深機を用いて行われる。沖合部の測量における精度の低下は主として観測船の位置決めの際の誤差による。例えば、図-3に示す駿河湾に面した駿河海岸の海底地形を例にあげる（宇多・山本，1989）。図の上半分の等深線は汀線とはほぼ平行であるが、下半分の等深線は非常に複雑であって海底谷が発達している。したがってもし下半分のような等深線を持った海域で測量を行う場合、測線の方がわずかにずれたり、あるいは船の位置決めの精度が低ければ、見かけ上大きな地形変化が生ずることになる。例えば測線Aの方向をわずかに誤り、測線Bの方向としたとすれば、両者の測深データを比較すると沖合ほど大きな変化が生じたように見えることとなる。しかしこの変化は実際には測線方向のずれによって生じたのである。深浅データで沖合ほど地形変化量が多いものについてはまずこの点をチェックする必要がある。一般に、急勾配の海岸で、しかも海底勾配が沿岸方向に大きく変わる海岸でこのような誤りが発生し易い。

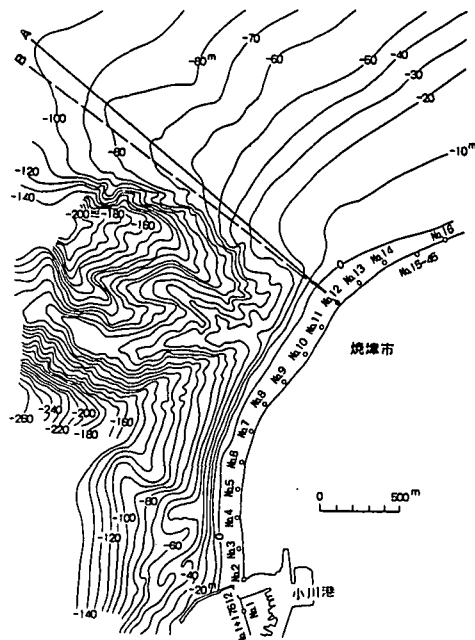


図-3 駿河海岸の和田鼻沖の海底形状

次に、深浅測量の精度について考えてみる。第1の例は新潟県の荒川河口周辺での深浅データである（宇多は

か、1990)。荒川河口沖では、1976年～1987年の間毎年1回測量が行われてきているので、これらのデータをもとに代表5測線の平均断面形と水深の標準偏差(σ)を求めると図-4となる。河口に近づくにしたがい平均河床面は上昇し、河口を通るNo.12ではいわゆる河口前面テラスが見られる。また、いずれの断面もほぼ $y \geq 600\text{m}$ の範囲の断面形は重なりを示す。一方、標準偏差の岸沖分布に関しては、浅海域では変動はあるものの、 $y \geq 600\text{m}$ 区域での標準偏差はほぼ一致し、浅海部と比較してずっと小さな値となる。そこで、図-4において標準偏差が一定と見られる $700\text{m} \leq y \leq 1000\text{m}$ の区間で各測線ごとにその平均値を求め、さらに全平均値を求めると、 σ は 0.28m となる。すなわちこの海岸ではこの値が平均的な測量精度を与えられ

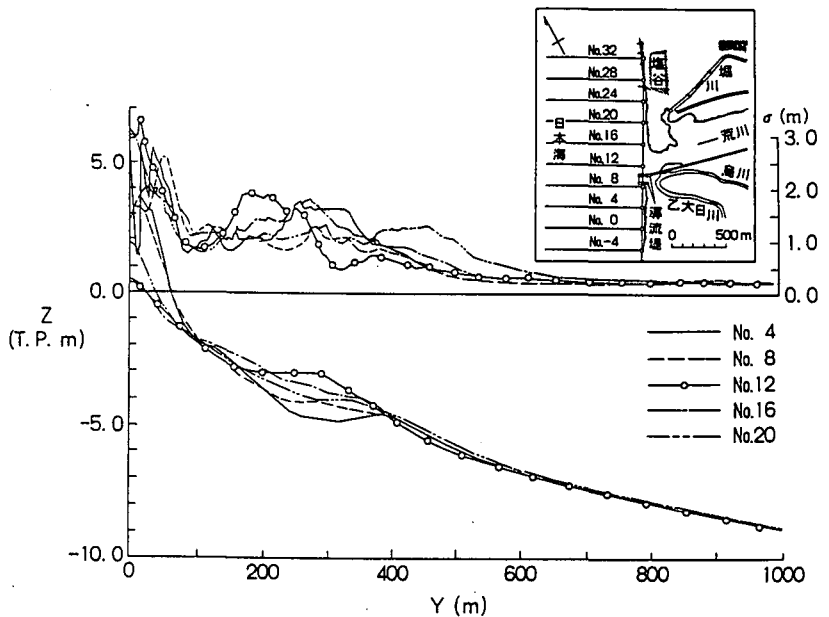


図-4 新潟県の荒川河口周辺の平均断面と標準偏差

4. 深淺測量データの分析法

4.1 等深線距離による分析

筆者は、以前より深淺測量データの分析法として、ある等深線までの水平沖向き距離（等深線距離）の時間的・場所的变化を調べる方法が有効なことを述べてきた。以下では、皆生海岸の事例について述べる。この海岸では1971年以降12基の離岸堤が建設されてきており、離岸堤の背後にはいずれもトンボロが発達している。ここでは1971年より1982年まで毎年1回、述べ14回の測量結果を用いて分析を進めてみる。測量は100m間隔で行われており、全体で26測線からなる。測線はNo.1が東端に、No.15が西端にある。そしてこの海岸では西向きの沿岸漂砂が卓越しているために、No.1は漂砂の最も上流端に位置する。

まず、図-5には測線No.4における等深線距離の変化を示す。水深3～8mの等深線は1971年以来経年的に前進し、1978年以降はほぼ一定となった。これは1977年までは沖合に土砂が次第に堆積したこと、またその後は堆積があまり生じていないことを表している。また図-5によると水深10mの等深線には有意な変化が存在しない。さらに0～水深2mの等深線は1976年に急激に前進したが、これは測線No.4の前面に6号堤（図中⑥と表示）が建設されたことによってトンボロが急速に成長したことを表している。

同様に、測線No.20における等深線距離の変化を図-6に示す。図によると、水深4～8mの等深線は1972年より1980年まで連続的に後退し、1980年以降はほぼ平衡状態にある。このような等深線距離の減少は、測線No.4における等深線距離の増加とまったく逆傾向である。

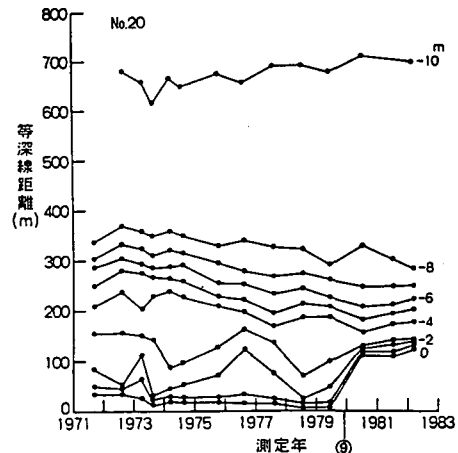
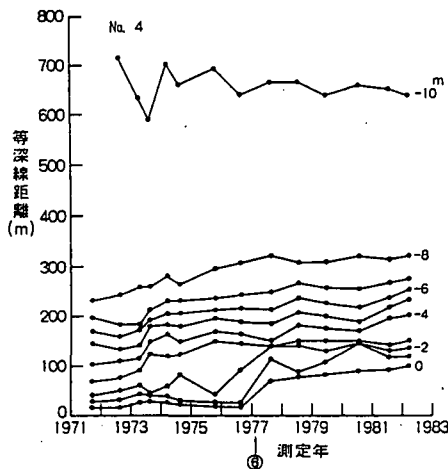


図-5 皆生海岸における海浜断面形の変化（測線No.4）

図-6 皆生海岸における海浜断面形の変化（測線No.20）

以上の等深線距離の変化を要約すると、図-7となる。離岸堤群の設置に伴い沿岸漂砂の場所的不均衡が生じ、No.14より東側では離岸堤の沖合で徐々に土砂が堆積し、その西側では侵食しつつあることが見い出される。こうした地形変化は、浅深図を単に比較したのみではなかなか読みとりにくい特徴である。等深線距離の時間的・場所的变化を調べることによってこのような地形変化を明瞭に読みとることが可能となる。また、もしある年の測量に大きな誤差があったとすれば、その年だけ等深線が急激に進退したか、その次の年には再び元に戻る動きをするので、このような図を描けば誤った等深線データの判別が容易にできる。

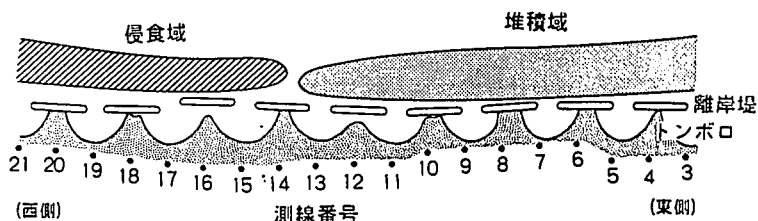


図-7 皆生海岸の離岸堤沖での地形変化パターン

4.2 地形変化の限界水深

一般に長い年月にわたって集積された深浅測量データによれば、波による地形変化の限界水深を読み取ることができる。ここでは4例を示そう。図-8は日本海に面した新潟県の親不知漁港の防波堤の東側隣接域での断面変化である(宇多・野口, 1993)。土砂の堆積とともに海浜断面が沖方向へ移動している。このとき、地形変化の

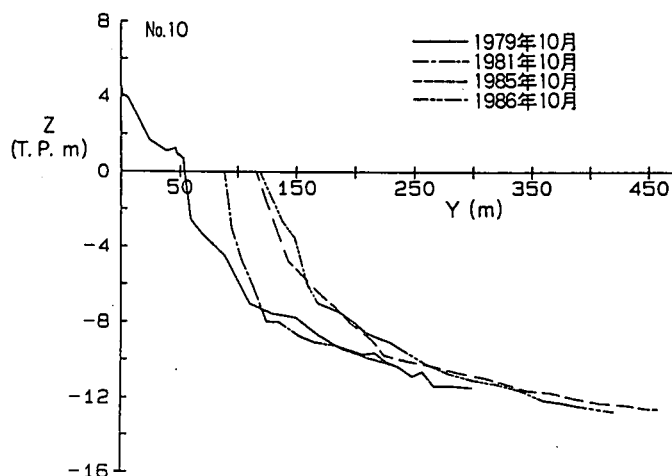


図-8 海浜断面形の変化(親不知海岸)

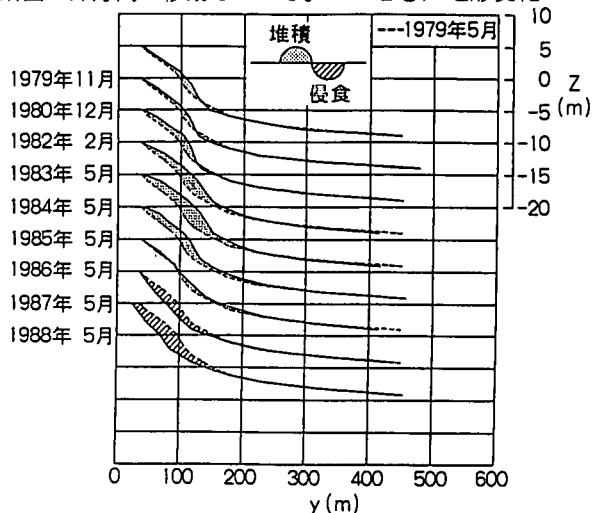


図-9 海浜断面形の変化(清水海岸)

限界水深は約9mにある。第2の例は、駿河湾に面した清水海岸の場合である(宇多ほか, 1991)。ここでは図-9に典型例を示すように、汀線の後退とともに海浜断面が次第に後退する状況が見てとれる。このときの地形変化の限界水深はほぼ水深約7mにあり、そこより沖合での地形変化量はごくわずかである。このことから、当海岸での地形変化の限界水深は約7mにあることが理解される。第3の例は、太平洋に東面する宮崎海岸の場合である(宇多ほか, 1992)。図-10に海浜断面形の変化を示す。1982年と1987年には宮崎海岸に台風が接近し、高波浪が作用したため大規模なバー・トラフが形成され、それに伴い大量の土砂が沖方向へ移動したが、その後の波の作用によりこのバー・トラフ地形はなだらかな断面形へと変化した。この断面においては、顕著な地形変化は水深約10m以浅で生じている。第4例は高知海岸の場合である(図-11)。測線No.5の1982年2月の断面形はバーが存在せず、滑らかな形状であった。ところが1983年2月までには深掘れが生じ、大きなバー・トラフ地形が形成された。しかし、その後徐々に埋め戻されてバーは消失し、1985年1月には1982年2月の地形とほぼ同様な断面形へと戻った。地盤高の最大変化

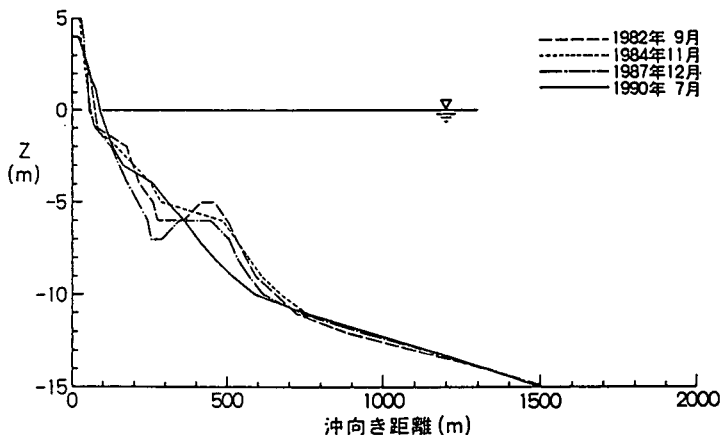


図-10 海浜断面形の変化(宮崎海岸)

量は約3.6mであった。沖合部では各断面形は重なりを示し、断面形の変化より見ると地形変化の限界水深は約10mにある。

以上のようにして読みとった地形変化の限界水深を表-1に示す。太平洋に面した海岸では10～12mであり、日本海側ではこれよりやや浅く、8～10mに限界水深がある。一方、内海・内湾に面する海岸での限界水深は2～3mとはるかに小さい。ただ、注意しなければならないのは、このような限界水深は主として自然海浜域で地形変化が生ずる場合の限界水深であり、外海・外洋に面した海岸において大規模な防波堤が延ばされた場合の地形変化では水深十数mまで地形変化が生じうることである。

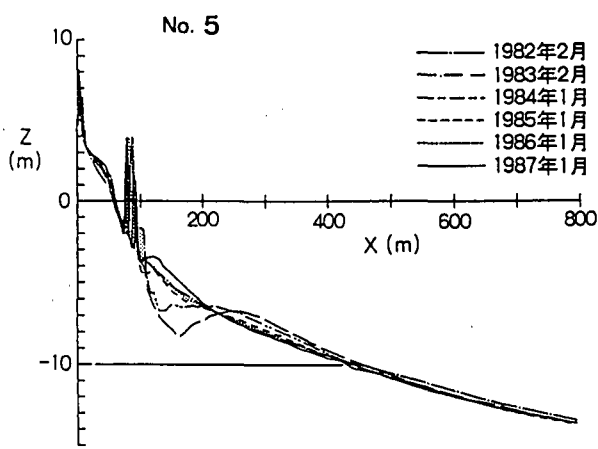
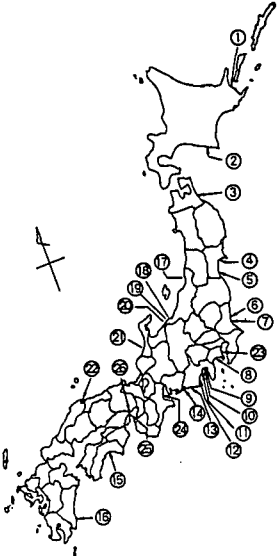


図-11 海浜断面形の変化（高知海岸）

表-1 地形変化の限界水深の一覧

位 置		所 在 県	海 岸 名	深 度 (m)	位置No.	
外 太 平 洋	オホーツク海	北海道	北 緯 緯	4	①	
			日 高	6	②	
			青 森	三 沢	10	③
			大 曲	8	④	
			宮 城	阿武隈川河口	8	⑤
			大 洗	8	⑥	
			神 岡 上	9	⑦	
			神 岡 西	5	⑧	
			静岡県	富 士	12	⑨
		濱 岡		10	⑩	
		清 水		7	⑪	
		駿 河		6	⑫	
		遠 州 (堀田)		12	⑬	
		遠 州 (今切)		13	⑭	
		日本海	高 知	高 知	10	⑮
宮 崎	10			⑯		
新潟県	神 林		7	⑰		
	根 不 知		9	⑱		
	市 場		10	⑲		
石 川	石 川		8	㉑		
石 川	石 川		9	㉒		
鳥 取 笠 生	8		㉓			
内 海	東京湾	神奈川	金 沢	1	㉔	
	伊 勢 湾	三重	鈴 鹿 川 河 口	2.5	㉕	
	瀬 戸 内 海	兵 庫	松 帆	1.5	㉖	
		熊 子 ャ 浜	2.5	㉗		



4.3 深浅データの判読法

深浅データの判読法について、現地海岸と同様に風浪による地形変化の見られる霞ヶ浦南東部にある浮島地区の場合を例に考察してみる（宇多ほか，1987）。冬期のN方向の季節風と、春から夏に卓越するNE方向の風の吹く2時期（1986年 2月 2日と 5月 31日）の深浅図を卓越風向とともに図-12 に示す。ここでは、N方向の風では東向きの漂砂が、またNE方向の風では西向きの漂砂が生ずる。図-12(a)によると汀線と0.6～1.4mの等高線は互いにはほぼ平行であり、これらの等深線が一体として移動したことが分かる。また、右岸矢板に近接するNo.9～No.11付近を除き、一般に東側の方が前浜勾配が急である。これは東側の地形が侵食によって形成されたことを表している。更に、樋管の西側では1.4m付近に土砂の堆積によって形成された平坦面が存在する。以上より、この測量を行った時期、東向きの沿岸漂砂が卓越していたことが明らかである。

約 3ヵ月後の地形を図-12(b)に示す。(a) では矢板の東側で前浜勾配が急であったが、(b) では東側で前浜勾配が緩くなるとともに、矢板の東側ではいずれも汀線が前進した。これに対し西側のNo. 3～No. 7では汀線が後退している。更に、この地形変化が生ずる際、0.6～1.4mの範囲の等高線はほとんど平行に移動したことも特徴として指摘できる。結局、2月 2日の時点では N方向からの風に伴う波浪より東向きの漂砂が卓越し、矢板の西側

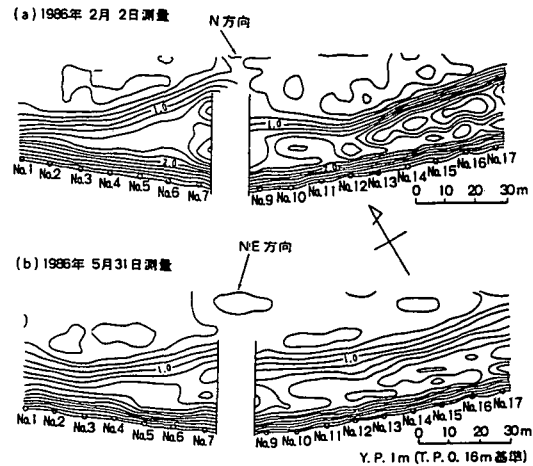


図-12 霞ヶ浦浮島1号樋管周辺の深浅図

で堆積、東側で侵食が生じたが、その後春から夏に発達するNE方向の風に伴う波浪により西向き漂砂が生じ、逆に矢板の西側で侵食、東側で堆積が生じたことがわかる。このように、深浅測量を繰り返して行えば波向変動のある海岸においても漂砂の特性をかなり良く理解することができる。

図-12 の深浅図に対応する海浜断面形の変化を図-13 に示す。矢板に近いNo. 5, No. 7では汀線が後退し、No. 1では前進している。この場合、例えばNo. 7に典型的に表れているように、海浜断面形は陸方向にほぼ平行移動したことがわかる。一方、No. 9~No.11では2月2日の時点では海浜が侵食された結果、前浜付近の勾配が急で上に凹状の地形となっていたが、その後いずれの断面でも土砂が堆積し、また海浜に土砂が堆積した後は、前浜付近の勾配が緩やかになったことが指摘される。

最後に、深浅データにおける時間-空間の変換の可能性について触れる。図-12 で明らかにしたように、0.4 ~ 1.4mの範囲の等高線はほぼ平行に海に突き出ており、また、1.4mには広い平坦面がある。この平坦面はバーム高が一定値を保って前進したために形成されたと考えられる。そこで矢板が設置される前の汀線が1.6mの等高線と平行であったと仮定し、この線を基準としてここから矢板と平行な沖向き距離を取って各測線の断面形を重ね合わせると図-14 となる。各断面形は1.4mの前浜頂と、約0.15mの海底面ではほとんど重なりあい、あたかも1断面が同じ断面方を保ったまま測線No. 2の位置よりNo. 7の位置へと次第に前進したかのような特徴を有している。各測線の断面形を重ね合わせるにより得られた図-14 の特徴は、No. 7の断面形が経時的に後退したとき得られた断面形の重なり状況と良い一致を示す。このことは、ある測線での断面形の経時変化が、ある時刻に得られた数多くの断面形の空間的変化により説明される場合があることを意味しており、地形変化に関し時間-空間の置換が可能であることを表している。この原理は全ての現地海岸に適用可能とは限らないが、最近の研究ではかなり多くの海岸でその応用の可能性が確認されている。

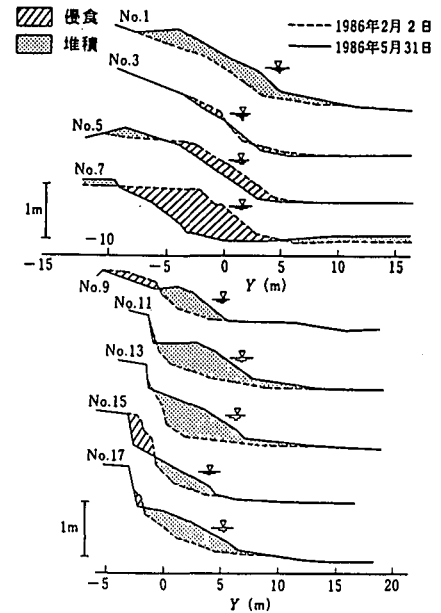


図-13 各測線の断面形状の変化比較

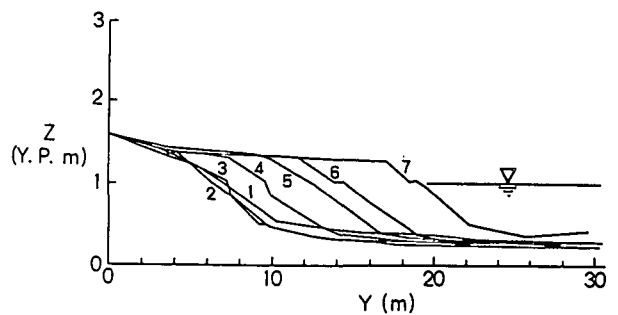


図-14 海浜断面形の重ね合わせ

5. まとめ

海岸侵食関連の調査において最も基本となる深浅測量とそのデータの分析法について述べた。海浜地形は場所と時間の関数として緩やかに変化するものであるから、時間的に非常に密でも場所的な測量密度（沿岸、岸沖方向の測点間隔）が粗ければ全体の精度は低くなる。この逆の場合も同様である。このことから、調査の目的に合わせて、全体に精度が向上するよう工夫を加える必要がある。

参考文献

- 武藤和宏・宇多高明・島 敏明・岡本俊策（1992）：高波浪によるバーの大規模変動の観測－石川海岸の離岸堤・人工リーフ沖の地形変化－，海岸工学論文集，第39巻，pp.446-450。
- 宇多高明・赤穂俊作・今井武雄（1987）：霞ヶ浦における風浪による湖浜変形の実態，土木学会論文集，No.381/II 7, pp.161-170。
- 宇多高明・野口賢二（1993）：新潟県親不知漁港周辺の海浜変形，土木技術資料，Vol.35, No.2, pp.26-32。
- 宇多高明・斉藤健一・清水清文（1990）：新潟県，荒川河口周辺の地形変化実態，土木技術資料，Vol.32, No.5, pp.61-66。
- 宇多高明・山本幸次（1989）：海岸侵食調査における2,3の留意点，土木技術資料，Vol.31, No.8, pp.60-66。
- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹（1991）：砂嘴地形周りの海浜変形－三保松原を例として－，地形，Vol.12, No.2, pp.117-134。
- 宇多高明・山本幸次・岡本俊策（1992）：宮崎海岸における防波堤の建設に伴う海浜変形，土木技術資料，Vol.35, No.10, pp.64-69。