

皆生海岸におけるトンボロと海底変形

豊 島 修*・定 道 成 美**

1. はじめに

適当な条件のもとに設置された島堤式離岸堤の背面には、舌状の土砂堆積物、いわゆるトンボロが形成される例が多い。このトンボロを構成する土砂の供給源については種々議論されてきている所であるが、いくつかの模型実験等によって、トンボロの両側の海浜がその供給源とみなされる例がかなりあった。

著者は昭和40年以来、現地に設置された数10個所の離岸堤の計画に参画し、その大部分は当初予想したようなトンボロが発生した。これらの中には、従来の実験結果のように、その両側あるいは離岸堤開口部正面位置の海浜が侵食されて汀線が後退し、離岸堤背面部の汀線が前進してトンボロが形成されるという例もあったが、その大部分は離岸堤の沖側の海底土砂が離岸堤背面に運搬され沈積してトンボロを構成したものと考えられるものであった。

特に、北海道函館の銭亀沢海岸、山形県の温海海岸、静岡県の大相模海岸における離岸堤の場合¹⁾は、いずれも離岸堤は海底岩盤上に設置され、離岸堤周辺および汀線付近に砂はなく、沖合1~3キロメートル、水深4~10メートル前後の海底から沖側にしか海底砂の存在は認め

られなかったものが、離岸堤設置後、台風あるいは冬期風浪などの際の高波によって、徐々にあるいは一挙にトンボロが発生したものであり、明らかに沖合海底砂が運搬されたことが証明されたものであった。

鳥取県米子市の皆生海岸では、昭和46年度から毎年度1基、合計3基の離岸堤が砂質海底上に設置され、**図-1**に見られるようにそれぞれにトンボロが形成されている。ここでは、この離岸堤背面に堆積した砂の量と、その周辺海域の砂の変動量および海底変形について報告する。

2. トンボロの形成とその土量

皆生海岸の離岸堤は、既設護岸の前面約110メートル、水深5~6メートルの海底に設置され、第1号堤は昭和46年9月、第2号堤は47年8月、第3号堤は48年8月にそれぞれ竣工した。

1号および2号堤の場合は、竣工後しだいに背面の海底が浅くなり、その年の冬には冬期風浪による高波によって一挙に砂が堆積してトンボロが出現し、その砂の堆積厚は護岸前面で3~4メートル、離岸堤付近で5~6メートルにも達し、その後多少変化しながらもトンボロは存在している。

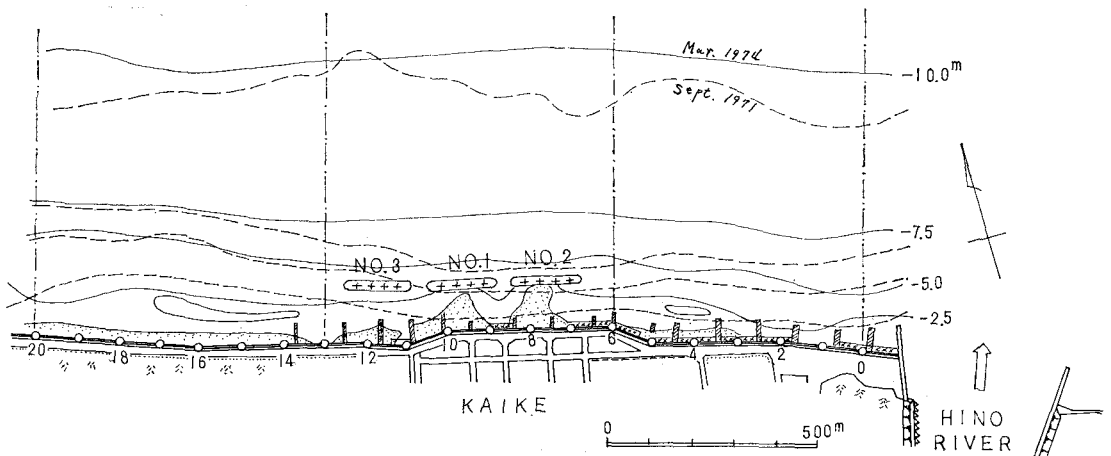


図-1 皆生海岸

* 正会員 工博 建設省河川局海岸課長

** 正会員 建設省河川局海岸課長補佐

図-2 は、離岸堤の着工当時から最近までの間の海底変化を示したもので、図(a)は1号堤施工当時の昭和46年9月と翌47年3月との比較、図(b)はその翌年48年8月で3本目の離岸堤竣工直後の状況、そして図(c)はさらに一冬越えた49年3月の状況を、いずれもその前回と比較して示したものである。

図-2(a)に見られるように、1号堤施工当時の46年9月には、-2.5mのコンターは岸近くに迫り、護岸前面の大部分は砂浜もなく、離岸堤設置位置の水深は5mをこえていた。

離岸堤竣工後一冬をすぎた翌年3月には、図の実線で示したコンターのよう、トンボロが発生するとともに、-2.5mコンターがもとの-5mコンターの位置まで前進し、-5m、-7.5mのコンターもそれぞれ沖側へ移動し、沖側も浅くなっている。

一方、測点10から12付近までの砂浜はやや後退している。この部分の砂はトンボロの形成に関係があると思われる。

図-2(b)はそれから1年半後の48年8月、3号堤竣工当時の状況である。2号堤にもトンボロが発生しているが、1号堤のトンボロの一部が2号堤に回った印象を受ける。開口部は少し掘れて深くなっているが、沖側は前回よりさらに浅くなっている。

図-2(c)は49年3月の状況である。1号、2号ともトンボロは成長し、護岸付近の標高は+3mをこえている。

1号、2号のトンボロにくらべて3号堤のそれはあまり大きくない。皆生海岸の漂砂の卓越方向はやや西向き(図の左方向)といわれており、上手の2本の離岸堤の影響によるとも考えられる。

それでは離岸堤の設置によって、離岸堤の岸側と沖側の海底はそれぞれどのように変化したのであろうか。

表-1は、図-2の昭和46年9月と49年3月の深浅図(いずれも原図のコンター間隔は0.5m)から各コンター

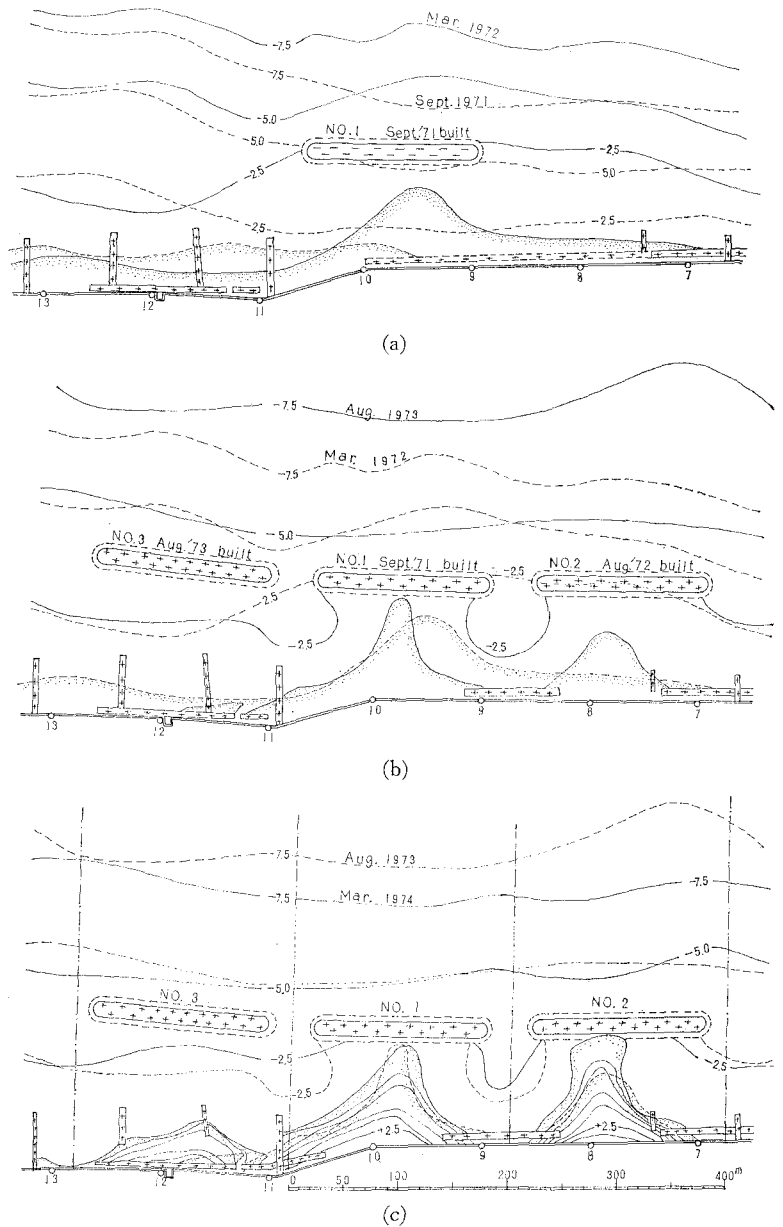


図-2 離岸堤設置と海底変化

ごとに面積を求めて土量を積算したもので、計算の区域は、沖側の範囲を-10mおよび-12mのコンターまで(したがって計算された土量は-10mおよび-12m以上の全土量を示す)とし、沿岸方向には図-2の下図に一点鎖線で示したように、各離岸堤を中心にそれぞれ200mの範囲とした。

この計算結果によると、いずれの区域においても土砂量は増加しており、沖側もかなり大幅に増加しているのが注目される。

離岸堤岸側の堆砂量では一番東側の第2号堤の区域が

最も多く、離岸堤施工前にくらべて $45\,700\text{ m}^3$ 増加しており、この区域の面積 $17\,200\text{ m}^2$ に対して平均 2.7 m の堆積厚となる。中央の1号堤の区域は2号区域にくらべるとやや堆積量が少ないが、それでも $37\,200\text{ m}^3$ の堆砂量はこの区域面積 $18\,000\text{ m}^2$ に対して平均 2.1 m の堆積厚に相当する。この区域では 図一2 の上の図の測点 10 から 11 にかけて砂浜が存在していたため、見かけの堆砂量が2号堤の場合より少なくなったものと思われる。

1, 2号にくらべて、3号堤の区域ではその堆砂量はほとんどない。これは先にも述べたように、始め存在していた砂浜が消失したことで、3号堤のトソボロの発達が見られ、2号のそれに比べて芳しくないためである。

一方、沖側における変化量を見てみると、 -12 m コンターまでの場合と -10 m コンターまでの場合とではかなり異なっていることが注目される。このことは、 -10 m から -12 m までの間における海底変化量が相当大的ことを意味している。

3. 離岸堤周辺における海底土量変化

下の表一は離岸堤設置区域についての岸側と沖側との土量変化をみたものであるが、いずれの区域も増加した形となっている。このため、離岸堤領域の周辺部の海域について土量変化を調べてみた。

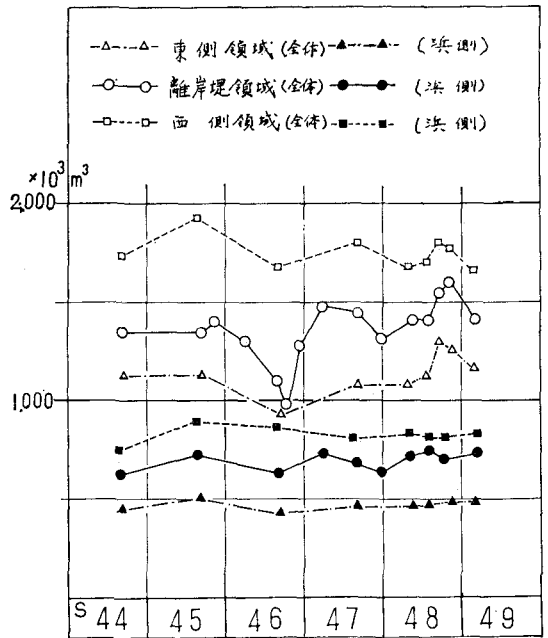
図一3は、図一1の1点鎖線で示した各領域について、各測点ごとの横断面から 図一5 に示すように沖合 600 m まで、深さ -10 m 以上の土量を計算したもので、このうち浜側とは離岸堤設置位置から岸側のみにあつての土量を意味し、各測点とも護岸から 110 m までの土量が計算してある。

この図の昭和46年9月と49年3月の土量の値を表一

1の値と異なるのは、計算方法と対象範囲が異なるためであり、この図は最近5カ年間の周辺領域の各測点ごとの横断面から土量変化を調べてみたものである。

図に見られるように、昭和46年9月は全般的に土量の少ない時期にあたり、特に離岸堤領域での落ち込みがはげしい。

46年9月以後は、全体土量（沖合 600 m までの区域）も浜側土量（沖合 110 m までの区域）も増加する傾向を見せているが、沖側は48年後半から減少する傾向にあるのに対し、浜側の領域ではほぼ現状維持ないしは少量



図一3 離岸堤周辺領域における海底土量変化

表一 離岸堤の岸側と沖側での海底土量の変化

区 分 区 域		-12 m 以上の土量			-10 m 以上の土量		
		49年3月測量	46年9月測量	差 引	49年3月測量	46年9月測量	差 引
第2号堤	岸 側	193 700 m ³	148 000 m ³	45 700 m ³	159 300 m ³	113 600 m ³	45 700 m ³
	沖 側	472 600	330 300	142 300	144 600	88 500	56 100
	計	666 300	478 300	188 000	303 900	202 100	101 800
第1号堤	岸 側	206 900	169 700	37 200	170 900	133 700	37 200
	沖 側	481 900	375 400	106 500	192 200	106 700	85 500
	計	688 800	545 100	143 700	363 100	240 400	122 700
第3号堤	岸 側	272 400	271 300	1 100	222 400	221 300	1 100
	沖 側	490 500	427 000	63 500	194 800	147 000	47 800
	計	762 900	698 300	64 600	417 200	368 300	48 900
合 計	岸 側	673 000	589 000	84 000	552 600	468 600	84 000
	沖 側	1 445 000	1 132 700	312 300	531 600	342 200	189 400
	計	2 118 000	1 721 700	396 300	1 084 200	810 800	273 400

ではあるが増加の傾向にある。

この沖側の減少傾向が今後当分の間続く傾向的なものか、あるいは一時的な現象にとどまるものかを検証するために、過去の実績を調べてみた。

まずは、今回離岸堤設置によって大幅に堆積した測点8について、過去の断面変化を調べてみたのが図-4である。

たまたま資料の整理の都合上、沖合600m、水深10mを限って各測量ごとに横断面図が整理してあったため、これをそのまま用いて、比較的断面変化の大きい時期を選んで比較対照してみたものである。

したがって、比較断面の経過期間はバラバラであるが、この図に示す比較期間の間は、その断面の変化は比較的小さく、土量変化として検討するほどの量に達しなかったということができる。

この図によれば、変化の少ない時は数年を経過してもあまり大きな変動は見られないが、大幅な変動があるときは、わずか数カ月を経ずしてぼう大な土砂移動があることがわかる。

特に、昭和38年3月から同年8月に至る間に、全断面について2mないし4m以上の大幅な海底の洗掘が認められる。

一方、離岸堤設置が始まった昭和46年9月と、この地域に離岸堤第2号が設置されて1年半経過した昭和49年3月との断面を比較すると、2~5mの砂の堆積が認められる。しかも、この49年3月の断面は、昭和33年8月の断面にくらべると、海底土量そのものはあまり大きな差は認められないが、その汀線位置については大幅な前進を示しており、単純に海岸侵食を汀線の前進後退と同列に扱うことの矛盾を示しているものということができる。

このような観点から、同じ測点8について、各位置における海底変動状況をプロットしてみたのが図-5である。

図-4にもみられるように、この皆生海岸では、汀線ならびに沖合100、200、および300m地点での変化がかなり大きいことから、図のように、汀線(S)、沖合の100m地点(A)、同じく200m地点(B)、300m地点(C)のそれぞれについて、深淺

測量成果からそれぞれの標高を各測量ごとにプロットしてみたものである。

これによれば、図-4に示された大きな変動の時期が明らかに表わされていると同時に、B点の昭和39年3月における飛躍的上昇を別とすれば、各位置、汀線ともおおむね同様の傾向を示しながら、離岸堤が設置された46年9月まで漸次侵食傾向が進行していったことがわかる。

昭和46年9月、離岸堤が設置されてからは、汀線(S)およびA点の飛躍の堆積傾向が顕著であるが、沖合のB、C点の変動はそれほど大きいものではない。しかし少なくとも、先に述べたように、沖合の土砂が離岸堤内に運搬されたと明確にいえるような状況は認められないようである。

そこで、同じような観点から、各測点ごとに、最も大きな変動を示してきた沖合200m地点、すなわち図-5のB地点について、各測点ごとに過去の海底変動状況を

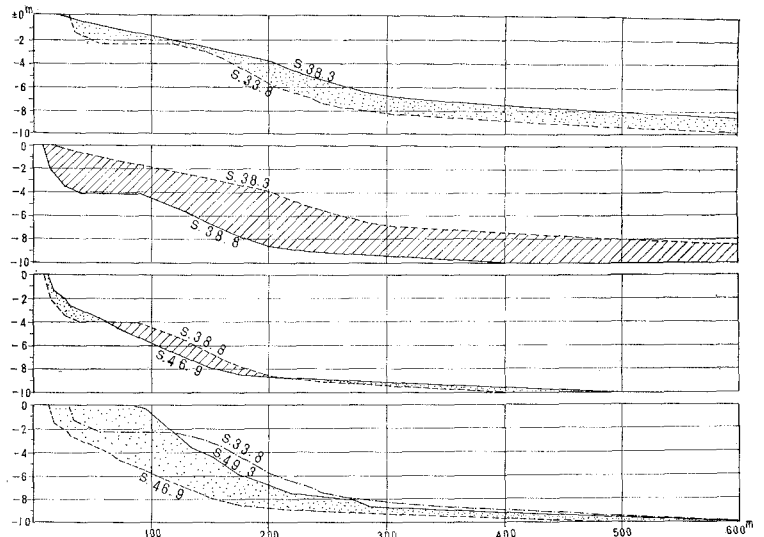


図-4 測点8における海底断面変化

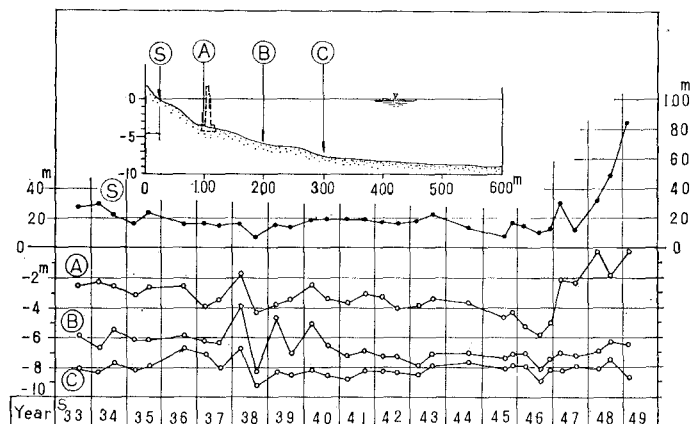


図-5 測点8における海底変化

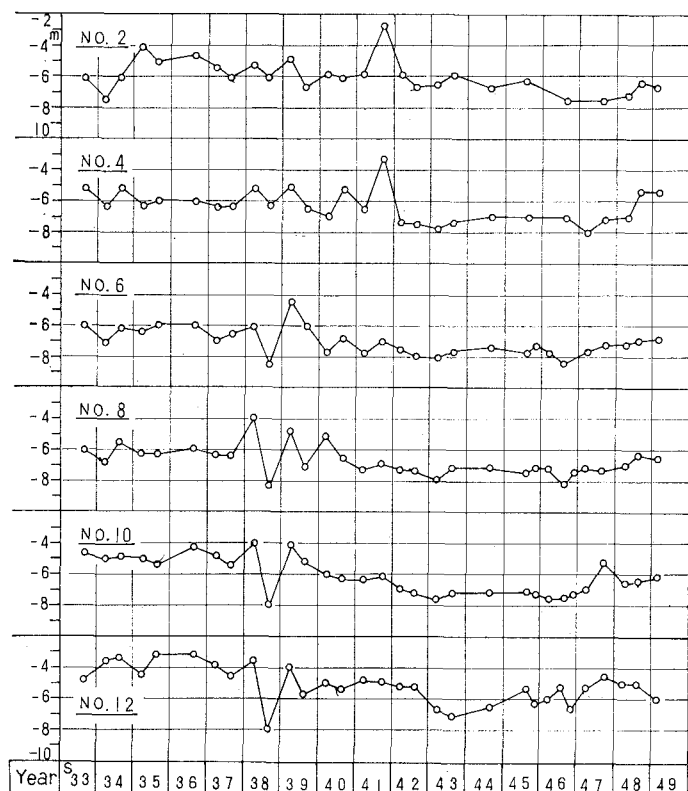


図-6 沖合 200m 地点の海底変化

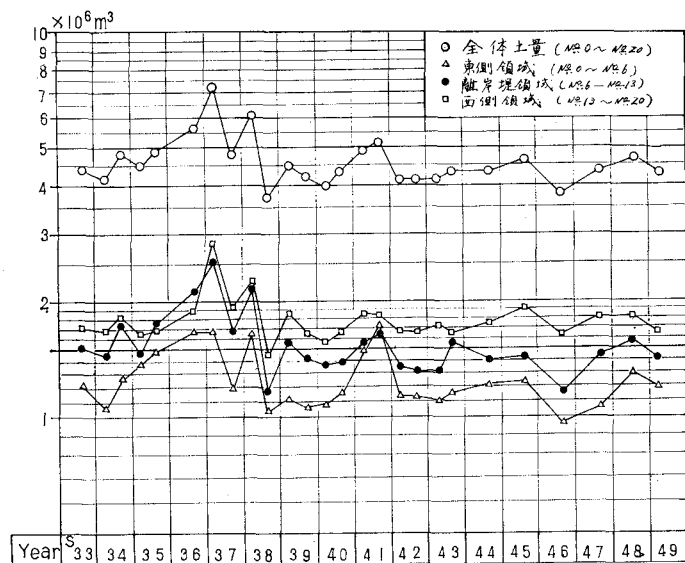


図-7 各領域の土量変化

プロットしてみたのが 図-6 である。

これによれば、著しく大きな海底変動を起こした時点が2回見られる。一つは離岸堤の東側領域である測点2および4の昭和41年のそれであり、他は昭和38年8月における測点6から12までの区域での著しい侵食である。

測点6から12までが一応離岸堤領域と考えられている

が、海底変化もわずか 200m (測点間隔は 100m) を離れるとかなり大きな変化があるということがわかるとともに、一つの気象擾乱で沿岸一帯が必ずしも同じ動きをするものではないということを示している。

しかも、その海底変動が著しい場合はわずか半年間に直高で 4m をこえる大きな変動を示すことが注目される。

図-7 は、先に示した 図-3 と同様な手法で、沖合方向に 600m、深さ方向に -10m の範囲についての土量を各測点ごとの横断面図を用いて計算し、東・離岸堤・西の各領域ごとに片対数目盛でプロットしたものであり、この場合は岸側領域についての別表示はしていない。

まず全体土量についてみると、37年3月と38年3月に異常な堆積がみられるが、おおむね平均的に推移しており、 $4 \sim 5 \times 10^6 \text{m}^3$ 程度の土量が存続している。このことは、少なくとも、沖合 600m、水深 -10m の範囲ではこの皆生海岸の前面海底変化は比較的小さく、大きな侵食現象は表われていない。

しかし、先の 図-6 にも見られるように、比較的岸に近い浅い部分は明らかに侵食現象を示しており、汀線は後退し、護岸前面の海底は深くなっていったことはまぎれもない事実であり、侵食という問題をどのような形でとらえるかということに帰着するものと思われる。

4. むすび

しだいに深刻化してきた皆生海岸の侵食に対応するため、離岸堤を設置して、沖側の海底土砂を離岸堤内側にとり込み、トンボロを形成させ、護岸前面の平均水深を浅くするという目的は、目下のところ一応達成されたかに見受けられるが、昭和33年以来的海底変化を調べてみると、その年ごとの変動量はかなり大きいものであり、水深 -10m 以浅の区域

だけについても、その土砂収支は明らかではない、まして -10m 以深の海底変化がかなり大きいものであることが判明し、従来便宜的に沖合方向 600m、水深 10m 以浅の区域について整理してきた横断測量成果図では、皆生海岸の土砂収支の全貌をつかむことはかなり困難であることが判明した現在では、深淺測量の区域の拡大とそ

の整理方法について再検討を強いられる結果となった。

今回の土量計算の結果、84 000 m³ にのぼる 3 離岸堤設置によるトンボロの土砂増量分の供給源については、結局明らかにすることができなかったが、先に示した北海道銭亀沢や温海、相良の例のように、付近に砂が存在していない場合は別としても、砂質の海底に離岸堤を設置した場合の砂の供給源については、トレーサーを用いる方法など別の方法を講じないと、単に横断測量からの土量計算だけではなかなかその解答を求めることが困難であると思われる。

また、表-1 に示した土量計算のように、トンボロの規模は比較的小さいので、100 m ビッチの測点ごとの横断図ではその土砂収支の計算誤差が非常に大きくなること、あるいは、幅 200 m の各離岸堤ごとの土砂収支計算に当り、沖合方向の土砂移動をみるとほぼ 1 200 m 程度のひろい範囲にわたって海底が変動しており、このような遠くて深い沖合の海底土砂の変動をわずか 200 m 位

の幅の中でその土砂収支を考えることに始めから無理があったこと、さらには、通念的には海岸侵食とは汀線の後退あるいは護岸前面近くの海底の洗掘などが考えられているが、経年的な汀線の後退あるいは護岸前面水深の増大にもかかわらず、水深 10 m 程度の沖合までの総土量を計算してみると、あまり一方的な変動は認められず、われわれが対処してゆくべき海岸侵食対策は、水深 10 m 程度より以浅の区域において、いかに汀線近くに砂を確保するか、あるいは護岸前面の水深をいかにして浅くしてゆくかといった方向で検討する必要があること、などの点について再確認する結果となった。

今後はこの種の土砂収支のとらえ方についてさらに有効な方法を検討してゆきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 豊島 修：現場のための海岸工学，侵食編，森北出版，昭和47年