

海底掘削にともなう海浜変形

宇多高明*・上森千秋**・中條徳翁***

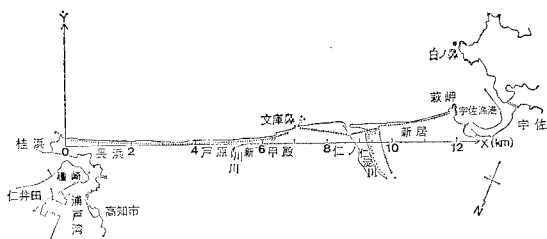
1. まえがき

一般に、外洋に面した波浪条件の厳しい海岸において海底に掘削穴が形成されると、漂砂の掘削穴への落ち込みによる土砂損失が生じたり、波高や波向が沿岸方向に変化することによって汀線付近の地形変化がひき起こされる可能性がある。しかし、この種の漂砂による埋戻しや周辺地形への影響に関する研究はあまり行われていないのが現状であって、わずかに Horikawa ら¹⁾が数値計算および水理実験によって検討を加えているのみである。しかも現地海岸で定量的にデータが収集された例はない。

本研究は土佐湾に面した桂浜から萩岬までの海岸における海底掘削の実態を把握しようとしたものである。このため掘削穴を含む領域でたくさんの深浅図と航空写真の解析を行った。この結果、浅海域に形成された掘削穴が漂砂によって埋め戻される状況が明らかになるとともに、掘削穴の背後では汀線が後退傾向を持つことがわかった。特に後者の結果は Horikawa ら¹⁾の予測値と逆の傾向となった。また、一連の調査により、当海岸での沿岸漂砂の移動高さが 7.5 m であり、高知港の桂浜防波堤によってトラップされた漂砂量が昭和 22 年より昭和 58 年までの平均で約 6080 m³/yr であることなども明らかになった。

2. 調査方法

調査の対象としたのは、図—1 に示すように土佐湾に面した高知海岸の桂浜より萩岬までの延長約 12 km の海岸である。調査は主として航空写真と深浅測量データをもとに行ったが、種々の解析に便利のように図—1 に示す座標系を設定した。X 軸は沿岸方向に、また、これと直角方向に Y 軸がとられている。座標軸の原点は桂浜の三角点に置き、N 方向より時計回りに 247.5° の方向に X 軸をとった。この対象区域の東端には高知港の桂



図—1 海岸位置図

浜防波堤があり、また、西端には萩岬がある。X=9 km には仁淀川が流入しており、また、X=6.6 km には新川の河口導流堤がある。さらに X=7 km には文庫鼻の小岬がある。

この区域では表—1 に示すように昭和 22 年から昭和 58 年までの間に 11 回の航空写真撮影が行なわれているので、これより汀線の場所的、時間的変化を調べた。また、深浅測量は昭和 41 年より昭和 49 年までと、昭和 57 年から 58 年までの 2 期間において延べ 16 回行われているので、これを利用して掘削穴の形状変化を調べた。

3. 調査結果

3.1 海岸線の場所的、経年的変化

まず最初に航空写真によって桂浜から萩岬までの範囲の海岸線の変化を明らかにする。当地域で昭和 22 年より昭和 58 年までの間で利用可能な航空写真は表—1 に示したように 11 回分ある。写真縮尺は 1/40000 から 1/8000 までかなり幅がある。ここではこれらの写真より汀線位置を読みとり、さらに潮位による汀線変動の補正を行った。すなわち、当海岸では昭和 41 年より深浅測量が行われているため、深浅図より前浜勾配を求め、それによって潮位変化による汀線の移動を補正した。ただし、航空写真には昭和 41 年よりも古いものがあるが、これには昭和 41 年の測量結果を準用した。

図—2 は、昭和 22 年を基準としたときの昭和 37 年、49 年、56 年、58 年までの汀線の変化を示したものである。図の横軸は図—1 の X 軸方向の距離である。また、

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 農博 高知大学農学部教授

*** 正会員 建設省高知工事事務所調査課長

表—1 航空写真の撮影状況

番号	撮影年月日	撮影縮尺
1**	S22. 11. 19	1/40,000
	S23. 1. 30	
2*	S37. 5. 2	1/10,000
	5. 6	
	8. 12	
3*	S41. 2. 2	1/8,000
	2. 5	
	2. 6	
4	S44. 5. 29	1/10,000
5*	S48. 5. 14	1/20,000
6	S49. 5. 16	1/10,000
7*	S50. 9. 9	1/10,000
8*	S52. 6. 9	1/20,000
9	S56. 10. 14	1/8,000
10	S57. 3. 28	1/15,000
11	S58. 3. 19	1/15,000

注) **印は米軍, *印は国土地理院, 無印は建設省高知工事事務所が撮影.

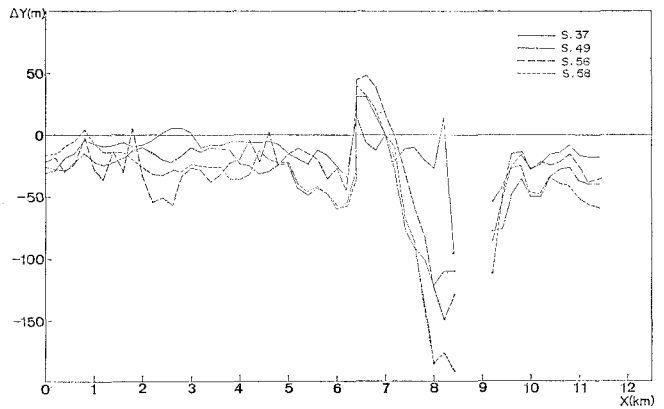
縦軸は汀線変化量であって, 汀線が前進する場合正の符号を持つ. $X=9$ km 付近で汀線が不連続となっているのは, 仁淀川の河口があるためである.

図より明らかなように仁淀川河口周辺での汀線の後退量が大きく, 昭和 22 年以後で 190 m 以上に達している. また, 最近の昭和 56 年と 58 年の 2 ヶ年の比較においてもまだ大幅な後退が生じている.

次にさらに東側領域の汀線変化に注目してみる. まず $X=6.4$ km 付近の海岸線形状を調べると, $X=6.4$ km を境にそれより西側で汀線が前進し, 東側では汀線が後退している. これはこの地点に新川川の河口導流堤が建設され, 東向きの沿岸漂砂が導流堤によって阻止されたため生じた変形である. このような汀線変化の特徴より, この海岸の漂砂の卓越方向は東向きであることがわかる. さらに $2 \text{ km} \leq X \leq 3 \text{ km}$ の範囲でもかなり大きな海岸線変化が見られ, 昭和 56 年までに 50 m 以上も後退した汀線が昭和 58 年には再び前進している. 後に詳述するように, この海岸の沖合では昭和 50 年までに海底掘削が行われ, 掘削穴が形成されたが, この穴はその後埋め戻された. したがって 図—2 の特徴は, 掘削穴の形成とともに汀線の後退が起り, 掘削穴が埋まると再び汀線が前進することを示していると考えられる.

3.2 航空写真より汀線位置を読みとる時の誤差

現地海岸において汀線の変化を調べるには, 前節で述べたように航空写真の利用が有効である. しかし, 航空写真から汀線位置を読みとるときには誤差が入り易いので, 比較に際してはその誤差の程度を知っておく必要がある. ここでは, ほとんど同時期に行なわれた航空写真



図—2 汀線の変化

(昭和 44 年 5 月 29 日撮影) と深浅測量 (昭和 44 年 5 月 22 日 ~ 5 月 27 日実施) とでどの程度誤差が生じるか検討を行った. 航空写真は 1/10000 で撮影されたものの 4 倍伸ばしの写真を, 測量の方は 1/10000 で作成された等深線図をそれぞれ使用して, 同じ座標系で Y の値を読み取った. 両者の差のばらつきの平均値は 0.74 m, 標準偏差は 3.7 m とかなりよく一致しており, 汀線変動調査には航空写真の利用も有効であることがわかる.

3.3 沿岸漂砂の移動高さ

ここでは沿岸漂砂の移動高さについて検討する. これには経験的な方法を用いることとし, 汀線の変化量と海浜断面積の変化量との相関を調べた. 海浜断面積の算出にあたっては, 積分範囲を定めなければならないが, 積分範囲は T.P. 3 m から T.P. -5 m までとした. この理由は次のようである. すなわち, 選択する水深を 0 m より次第に深くして行ったとき, 水深 5 m までは断面積変化量と汀線変化量の間で良い相関が成立するが, これより深い水深では相関が急速に悪くなるためである. これは陸上部の波の遡上範囲から水深約 5 m までの等深線は互いにほぼ平行移動し, また, 水深 5 m より深い部分の等深線は汀線の変化とほとんど独立に変動するためと考えられる.

図—3 は T.P. 3 m から T.P. -5 m までの範囲での海浜断面積の変化量と汀線変化量の相関を示したものである. 使用した測量データは, 昭和 41, 49, 56, 58 年のものであって, 昭和 41 年を基準としたときの变化量を算出した. 両変数の間には相関係数 0.91 という良い相関関係がある. 両変数の間の比例定数は平均的な移動高さを与えるが, これは $h=7.5$ m となった. これはほぼ積分範囲の合計高さ 8 m と等しいが, このことはこの区間において海浜断面がほとんど平行移動していることを示している.

3.4 桂浜防波堤上手の堆積土砂量の経年変化

ここで対象としている海岸の東端には図-4に示すように高知港の桂浜防波堤が存在し、また、その南側には上竜頭崎がある。図はこの防波堤と岬の位置を示すとともに、航空写真より求めた昭和22年から昭和58年まで36年間の汀線変化を示している。

桂浜防波堤は昭和8年に工事が始まり、その後徐々に延長されてきたが、この間防波堤の南側の海岸線は図示するように大幅に前進し、防波堤と接する部分では昭和22年以来36年間の間に285mの汀線前進をみた。防波堤の北側は航路であって漂砂は断たれていることから、当地域の漂砂の方向が東向きであることがわかる。

次にこの部分に堆積した土量の経年変化を調べることで沿岸漂砂量を求めてみる。

移動高さと汀線変化が明らかになっているから、これらを利用すれば堆積土砂量を計算することができる。すなわち、図-4において昭和22年の汀線位置を基準とし、これより前進した汀線によって囲まれた部分の面積を求め、それに移動高さ h を乗ずれば土量に換算することができる。まず、移動高さ $h=7.5$ mを乗じて ΔV を算出する。さらに過去36年間の平均として、その変化量より上竜頭崎を回り込んだ漂砂量を計算すると、 $Q=$

$\Delta V/\Delta t \approx 6080 \text{ m}^3/\text{yr}$ となった。実際には防波堤は経年的に延長されたために、防波堤を回り込んで北側へ流れた漂砂が存在し、また、沖合で行われている海底掘削部分へと流れた土砂も存在すると考えられるので、上記の値は上竜頭崎を回り込んだ沿岸漂砂量の下限値を与えていると言える。

3.5 掘削穴の埋戻現象

図-5(a)は昭和56年11月の深浅図を示す。昭和56年時点では最大水深11mの穴ができていた。最大水深は汀線より約110mと非常に近い所にあり、汀線から最深部までは急勾配で落ち込んでいる。

図-5(b)は1年後の昭和57年11月の深浅図である。昭和57年には2回の洪水(8月27日 $8900 \text{ m}^3/\text{s}$ 、9月25日 $8000 \text{ m}^3/\text{s}$)があり、このため直線的であった河口部等深線は冲向きに大きく舌状に突き出した形状となった。この地形は川からの流送土砂が堆積してできたものである。舌状地形の最深等深線は水深8mであり、また、水深4mから8mまで1mおきの等深線はほぼ平行となっている。左岸沖の掘削穴では水深11mの等深線が消滅し、また、水深10mの等深線で囲まれた部分の面積も小さくなっていることから、掘削穴はわずかずつ埋め戻されていることがわかる。しかしながらこの掘削穴は

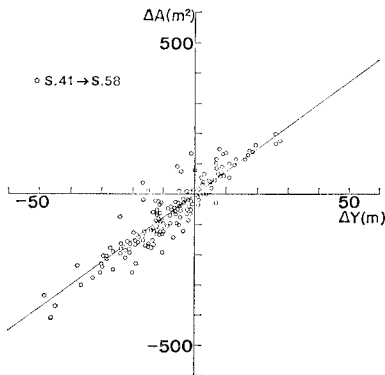


図-3 海浜断面面積変化量(ΔA)と汀線変化量(ΔY)の相関

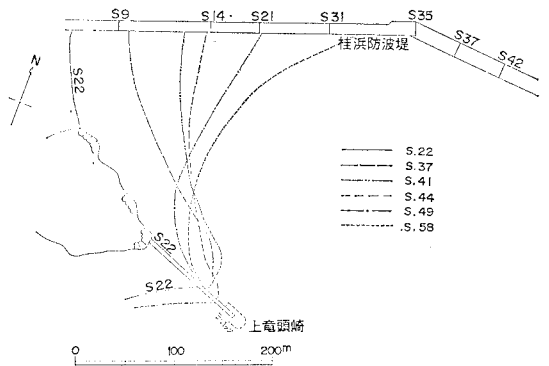


図-4 桂浜における汀線の変化

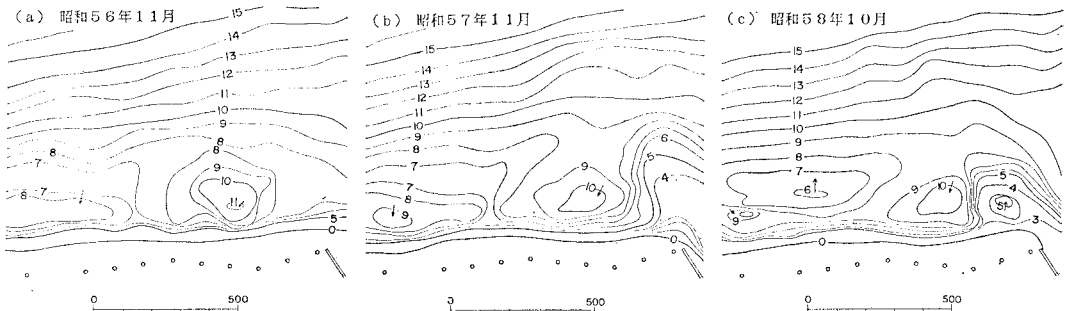


図-5 仁淀川沖の深浅図

汀線より 100 m と近い距離にあり、しかも、陸上部との間の海底勾配が急であるにもかかわらず急速な埋め戻しは起きていない。

掘削穴背後の汀線は他の部分と比較すると後退傾向を示し、海に向かって凹状な海浜形状となっている。Hori-kawaら²⁾は掘削穴がある場合、穴の背後の汀線はトンボ状に前進すると述べているが、実測値はこれと逆の傾向を示している。

次に、更に約 1 年が経過したあとの昭和 58 年 10 月の深淺図を示したのが 図-5(c) である。図-5(b) と比較すると掘削穴では東向きの漂砂によって河口より流出した土砂の掘削穴への落ち込みが生じたことがわかる。すなわち、図-5(b) では大きな舌状であった堆積地形が、その規模を減じつつ東向きに移動し、舌状地形の東端部は左岸沖の掘削穴を西側より埋め戻した形状となっている。

以上、深淺図の比較により掘削穴の変形を調べたが、これによると水深 9 m 以深において経年的に徐々に埋め戻しが進んだことがわかる。この状況をより良く把握するために水深 9 m と 10 m の等深線で囲まれた部分の面積を指標として選び、その経年変化を調べることにした。図-6 がこの結果である。図示するように、水深 9 m および 10 m の等深線で囲まれた部分の面積は時間とともに減少しており、徐々に埋め戻しが生じたことがわかる。

次に対象海岸全域における海浜変形を調べてみる。これに使用するのは昭和 41 年より昭和 58 年まで延べ 16 回行なわれた深淺測量データである。このデータを用いて各等深線までの基準点からの沖向距離（等深線距離）を求め、その時空間分布を調べた。ただし、海底にバー、トラフがあって単一的水深に対して等深線距離が 3 つ求められる場合は、最も沖合のものを代表として選んだ。

等深線距離は水深 0 m から 1 m おきに 10 m までの水深に対応するものを求めたが、ここでは 図-7 に示されるように良く特徴の表われている水深 0 m, 8 m, 9 m の等深線距離を選んだ。図の横軸は 図-1 に示した座標上の X 軸に沿う距離であり、縦軸は基準線からの距離である。

まず 8 m の等深線距離の変化をみると、 $X=8.2$ km と $X=9.0$ km において昭和 41 年より 58 年の間にそれぞれ 300 m と 420 m も等深線が後退しており、もともと海に突き出た地形が大きく変形したことがわかる。これは海底掘削が進んだことを表わしている。一方、 $X=0.5 \sim 3.5$ km の区間では昭和 41 年には直線的であった等深線が昭和 49 年までに最大約 270 m も後退した。これも海底掘削による変化であって、もし、この穴の位置が移動限界水深より深い所にあれば漂砂によ

る埋め戻しは起らないはずであるが、図を見ると明らかにその後 56 年、58 年と次第に元の形状へと戻っている。すなわち、水深 8 m は移動限界水深で浅であることがわかる。さらに埋め戻しされるときの変化は西から東へと徐々に生じている。もし、岸沖方向漂砂によって埋め戻されるとすれば沿岸方向にはほぼ様な変化が生ずるはずであるから、埋め戻しは沿岸漂砂によって生じたものと考えられる。この場合、沿岸漂砂の方向は、地形変化の特性より判断して西から東方向であることもわかる。⁷⁾

次に水深 9 m の等深線距離の変化を調べる。仁淀川前面に位置する $X=9$ km 地点では等深線が楔状に後退している。これは既に 図-5 で明らかにした河口沖の掘削穴を表わしている。一方、 $X=1.0 \sim 3.5$ km の範囲では水深 8 m の等深線距離の場合と同様に等深線の後退が見られる。昭和 49 年までに形成された掘削穴はその後埋め戻されたが、その場合の変化パターンは 8 m の等深線距離の場合と相違している。すなわち、掘削穴は沿岸方向に様に埋め戻される傾向が強く、西側から東側へと徐々に埋め戻された傾向は弱い。

次に、汀線の変化について調べる。汀線の変化は水深

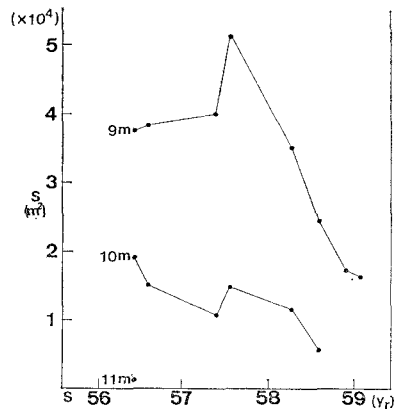


図-6 掘削穴の面積の経時変化

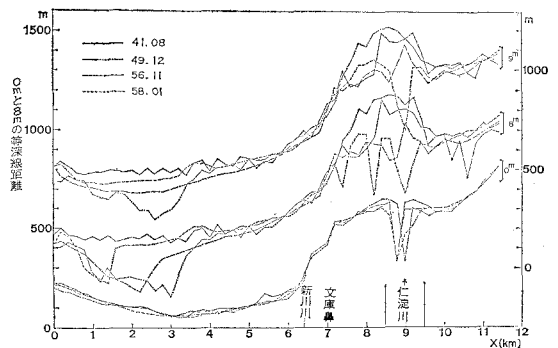


図-7 等深線距離 (水深 0, 8, 9 m) の場所的・時間変化

8, 9 m の等深線の変化と比較するとずっと変化が小さい。X=9 km 付近で楔状の汀線形状となる位置が沿岸方向に移動しているが、これは仁淀川の河口の位置が変化したためである。注目すべき場所としては X=1~3 km 区間がある。ここでは沖合で掘削穴が形成されたが、昭和49年以降掘削穴の背後に位置する $1.5 \text{ km} \leq X \leq 3 \text{ km}$ の区間では汀線が後退している。これは図-6で明らかにした仁淀川左岸沖の掘削と同様に掘削穴の背後では汀線が後退傾向になることを意味する。

最後に、掘削穴を横断する断面内での経時的地形変化特性について検討する。図-8は X=6.6 km 地点の等深線距離の経年変化を示している。横軸は経過年、縦軸は基準線より各等深線までの岸沖方向距離である。ただし図中の2本の破線で挟まれた期間では測量が行われていないので、その間を直線で結んでいる。水深6~9 m の等深線距離は昭和42年に急激に減少し、各等深線の位置は200 m 以上も岸に近づいた。これは海底掘削によるものである。この掘削穴は時間の経過とともに次第に埋め戻されていった。しかも図によるとまず水深8, 9 m の等深線が昭和45年に掘削前の位置へ復帰し、47年終りに水深7 m の等深線が、さらに昭和48年には水深6 m の等深線が42年以前の位置へと戻っている。これらはまず深い部分から埋め戻しが行われていることを表わしている。この場合、掘削穴の変化を表わす水深6~9 m の等深線距離の変化に対して、水深5 m までの等深線距離の変化はほとんど独立である。汀線は掘削穴が生じた時期、わずかであるが後退している。既に図-5により明らかにしたように、掘削穴背後の汀線は場所的に見て

後退していたが、時間的な意味においても後退傾向を持つことがわかる。また陸上部より水深5 m までの範囲の等深線は汀線と一体的に変化していることも明らかである。

4. 結 論

本研究では土佐湾に面した桂浜から萩岬までの海岸で主として航空写真と深淺測量データをもとに海底掘削の実態把握を行った。この結果次の点が明らかになった。

①航空写真による汀線比較によると、仁淀川河口周辺での汀線後退が著しく、昭和22年以来190 m 以上も汀線が後退した。

②新川河口導流堤の西側では汀線が前進し、東側では汀線が後退することから判断すると、当海岸の漂砂の卓越方向は東向きである。

③ほぼ同時期の航空写真と深淺測量によって求められた汀線位置の比較によると、両者の間には約4 m の標準偏差があった。

④海浜断面積の変化量と汀線変化量の相関より求めた漂砂の移動高さは7.5 m である。

⑤桂浜防波堤と上竜頭崎とに囲まれた領域の堆積土砂量の変化より、上竜頭崎を通過する沿岸漂砂量が求められた。漂砂量は昭和22年より昭和58年までの平均で6080 m^3/yr であった。

⑥掘削穴の変形を調べたところ、掘削穴の深い部分（例えば水深9, 10 m など）は経年的に徐々に埋め戻されること、また、海岸線近傍では汀線近傍の土砂の落ち込みが存在することがわかった。

⑦掘削穴背後の汀線は場所的、時間的に後退傾向を持つ。これは Horikawa らの予測値と逆の傾向である。

⑧沖合の水深8 m 付近の掘削穴の変化を調べたところ、この穴は西側より埋め戻されていることがわかった。これはその変化の特徴より沿岸漂砂による埋め戻しと推定される。また、沿岸漂砂の方向が東向きであることを示している。

参 考 文 献

- 1) Horikawa, K., T. Sasaki and H. Sakuramoto: Mathematical and laboratory models of shoreline changes due to dredged holes, Jour. of the Faculty of Engr., the Univ. of Tokyo (E), Vol. XXXIV, No. 1, 1977.

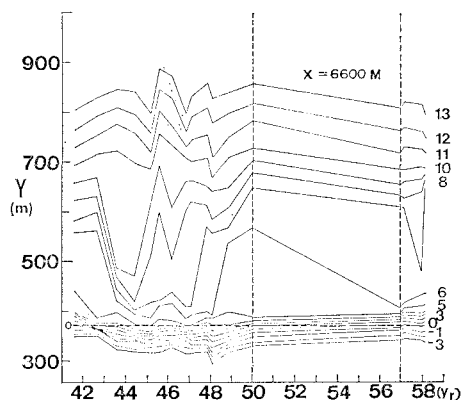


図-8 等深線距離の経年変化