

港湾周辺における地形変化の典型的パターンについて

田 中 則 男*

1. はし が き

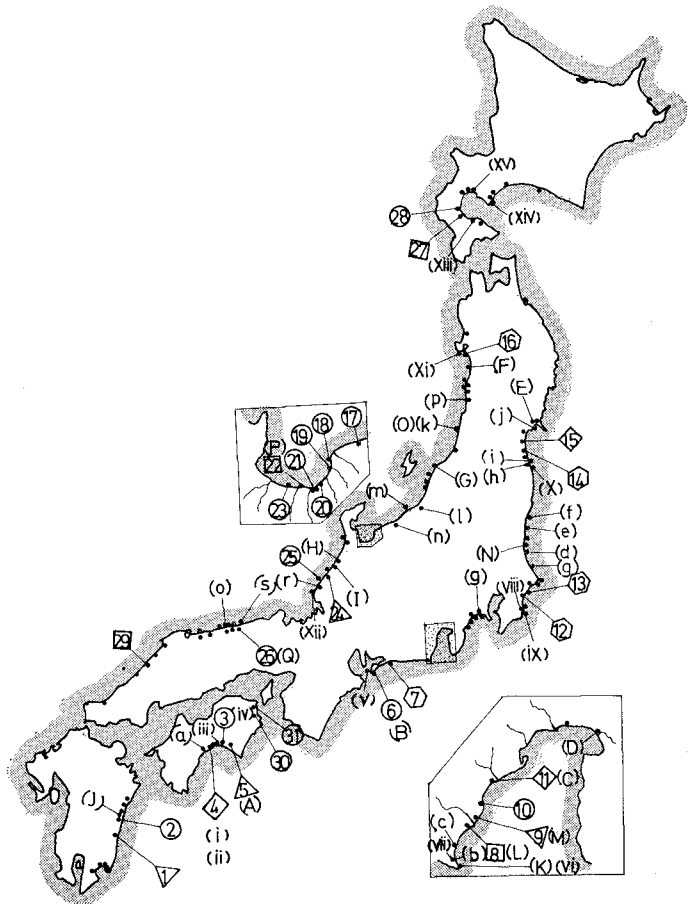
過去数年来、著者らは航空写真を資料として全国の海浜変形の実態を調査してきた^{1),2)}。これらの調査を通じて砂浜に築造された港湾・漁港等の周辺における地形変化に関する多くの事例を知ることができた。これらの事例を整理して見ると、海浜変形の形態は典型的な幾つかのパターンに分類することができ、意外な事例は比較的少数にすぎないことが明らかになった^{3),4)}。更に、ある種のタイプの地形変化は、防波堤等の法線形が似通っていても地域の特性に左右されて、様々な現れ方をすることがわかってきた。本報告は、このような港湾等の周辺における海浜変形に関する症状論的な知見について述べるものである。

本報告における議論の資料となる事例は、図—1 に示す 120 余例であり、大港湾から小漁港まであらゆる規模の施設が含まれている。図中の各種符号については後述されるであろう。

2. 構造物による沿岸漂砂の阻止に伴う海浜変形

このタイプの海浜変形は、古くから最も典型的なものとされ、構造物に対して漂砂の上手側汀線が前進し、下手側汀線が後退するのが最も一般的な形である。しかし、実際にはこうした典型的な形ばかりが現われる訳ではない。今、港湾等の片側に明らかな汀線の前進、後退が生じており、このタイプの変形以外の原因の考え得ないケースを抽出すると表—1 のとおりである。これに見るように上手前進、下手後退というケースは全体の 31 ケース中 15 ケースにすぎない。上手および下手の汀線変化の組み合わせに対

してその事例数を示すと表—2 の通りとなる。表中に注書きしたように、典型的な形態を示さない事例のすべてが河川の近傍に位置し、河川と港湾との位置関係、さらに河川の流下土砂量の変化等に応じて図—2 に模式的に示したような各種の形態をなしている。すなわち、図中(A-2-1)に示す上手前進、下手不変の事例のすべては小規模な河口港において生じ、(A-2-2)に示す兩岸後退の事例は流下土砂量の減少の著しい河口の下手海岸に、さらに(A-2-3)に示す上手不変、下手堆積の事例は河口上手側海岸に港湾等が設けられた場合に生起している。また、兩岸に前進の現われる(A-3)のパター



図—1 港湾周辺での海浜変形事例の分布

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部漂砂研究室長

表一 構造物による沿岸漂砂の阻止に伴う地形変化の事例

港番号	汀線変化		河口等	海浜の状況	比較時点
	上手の状況	下手の状況			
1	後退	後退	河口港	ほぼ直線状海岸の中央	1947～1971
2	前進	後退		やや凸形海岸	1949～1967
3	前進	後退		ほぼ直線状海岸の中央	1947～1966
4	前進	不変	小河川河口港	同上	1948～1962
5	後退	後退	河口の下手海岸	同上	1947～1967
6	前進	後退		同上	1946～1967
7	前進(大)	前進(小)	湖港	長い弓形海岸の中央	1946～1970
8	不変	前進	河口の上手海岸	深い湾の側面	1946～1971
9	後退	後退	河口の下手海岸	同上	1946～1971
10	前進	後退		同上	1946～1971
11	不変	前進	河口の上手海岸	同上	1946～1971
12	前進	前進	河口港	長い弓形海岸の中央	1965～1970
13	前進	前進	河口港	同上	1948～1970
14	前進	前進	湖港, 河口上手	同上	1947～1967
15	前進	不変	河口港	同上	1947～1971
16	前進	前進	湖口	同上	1948～1971
17	前進	後退		凸形海岸	1947～1964
18	前進	後退		深い湾の側面	1947～1964
19	前進	後退	河口下手	同上	1947～1964
20	前進	後退		同上	1947～1966
21	前進	後退	河口上手	同上	1947～1966
22	前進	不変	河口上手	深い湾の湾奥	1947～1966
23	前進	後退		同上	1947～1966
24	後退	後退	河口港	ほぼ直線状海岸の中央	1947～1966
25	前進	後退	河口港	同上	1948～1966
26	多少前進	後退	河口港	同上	1947～1970
27	不変	後退		狭い弓形砂浜の中央	1948～1968
28	前進	後退		同上	1947～1969
29	前進	不変	河口港	同上	
30	前進	後退	河口港		
31	前進	後退	河口港		

表二 構造物の両側の汀線変化の組合せとその事例数

	上手海岸		前 進	不 変	後 退
	上手海岸	下手海岸			
前 進	(5 ケース) 長い弓形砂浜 中央部河口	(2 ケース) 河口の上手側 海岸			
不 変	(4 ケース) 河 口 港				
後 退	(15 ケース)	(1 ケース)			(4 ケース) 河口の下手側 海岸

岸、徳島沿岸、高知湾沿岸、内浦湾南岸等がそれである。これらはいずれも奥行き比較的長い湾の側面に当り、従って、沿岸漂砂の卓越方向が明瞭な地域である。また、集中度の特に高い富山湾および駿河湾についていうと、いずれも海底勾配が急で底質が粗く、前浜での掃流砂いわゆる浜漂砂が重要な役割をはたしている地域に当たっている。

A-1



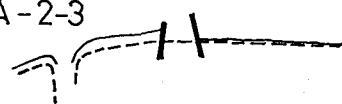
A-2-1



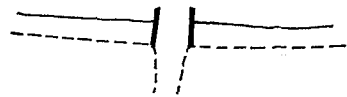
A-2-2



A-2-3



A-3



図二 沿岸漂砂の阻止に伴う海浜変形の形態

3. 構造物の築造によって海浜に作用する波を不均一にしたことに伴う海浜変形（トンボロの形成と変形）

いわゆるトンボロの形成や変形あるいはこれに類似した形の海浜変形である。この種の変形は基本的には図一3に示すような形態を取る。すなわち、第1はトンボロ

ンは、比較的長い弓形砂浜の中央部へ流出する河口、あるいは湖口導流堤の周辺に生じている。本来このような弓形砂浜では、浜の中央部へ向う漂砂が卓越しているケースが多いためであろうか。

表一に示された事例の位置は、図一1中に算用数字で示され、表と図の港番号が対応している。図一1中、番号を○印で囲んだものが図一2中のタイプ(A-1)の、□印がタイプ(A-2-1)および(A-2-3)、△印がタイプ(A-2-2)、さらに◇印がタイプ(A-3)の海浜変形を示していることを表わしている。図一1に示した事例の分布において、この章で取り扱っている沿岸漂砂の阻止に伴う海浜変形事例がかなり偏在する地域の存在することがわかる。すなわち、富山湾東岸、駿河湾西

の形成(タイプB-1-1)と既存トンボロの変形(タイプB-1-2)であり、第2が鋸形に伸長された防波堤に伴う変形(著者はこれを片トンボロと呼んでいるが)(タイプB-2-1およびB-2-2)である。タイプ(B-2-1)および(B-2-2)に示した防波堤の平面形状は、港湾の建設あるいは拡張の過程で一時的に生ずることが多い。

これらの事例の分布は図-1中に英小文字で示されている。富山湾や駿河湾等海底勾配の急な砂利浜海岸を除いて、多くの海浜に分布し、特にタイプ(B-2-1)あるいは(B-2-2)の変形は、防波堤の法線形状が条件を満たしているすべての事例で生じていた。

この種の地形変化は波が遮蔽されている地域と遮蔽されていない地域において、碎波帯内での wave set-up 量に差を生じ、このため平均水位の高い非遮蔽域から水位の低い遮蔽域に向う沿岸流が生ずること、波の回折によって波向が堤内方向に向かうように変化して堤内への砂の移動を生ずることに起因し、いずれにしても防波堤等による波の回折現象に密接に関係している。

図-3中のタイプ(B-2-1)および(B-2-2)に示した片トンボロ型の地形変化において、堤内で汀線前進を示している地域と後退の生じている地域の境界および後退量が最も大きい地点は、防波堤の伸長に伴って次第に港から遠くへ離れて行き、ある年度に著しく汀線の後退していた地点で数年後には汀線が旧に復しむしろ前進す

る場合がしばしば生ずる。この場合、防波堤々頭部において波の卓越方向から測った上記2点までの角度は、防波堤の伸長にかかわらずば一定値を示す⁹⁾。今、数港について α_1 、 α_2 の値を示すと表-3のとおりであり $\alpha_1=20\sim30^\circ$ 、 $\alpha_2=40\sim55^\circ$ 程度の値となる。前述したように地形変化の原因として波の回折現象が深くかかわっているはずであるから、これらの角度が波の方向スペクトル特性に関連する要因、例えば地域性あるいは堤頭部水深の相異等による差を示すはずであるが、現段階ではそこまでは明らかにすることができない。

図-3中の(B-2-1)および(B-2-2)のタイプに属する地形変化は本質的には局所的なものであるが、防波堤の配置形態から考えて局所的に汀線の後退する側が漂砂の下手に当るのが通常であり、このために前章において述べた地形変化と重なって汀線の後退が遠くにまで及ぶこともある。

表-3 堆積地域の境界と汀線の後退の最も激しい点の位置の事例

港番号	卓越波向	α_1	α_2
a	SSE~ESE (SE)	22.5°	42°
l	WNW~NNW (NW)	22.5	44
e	SSE~ESE (SE)	26	51
g	NE~ENE	30	45
d	ENE~NE	27~31	49~55

4. 構造物の築造によって湾の開口の条件が変化したことに伴う海浜変形

一般に小湾内の砂浜は、湾の開口方向に正対した平均的方向を持つ円弧をなすのが普通である。したがって、何らかの原因で湾口の条件が変化すると、それに応じて図-4に示したような種々の形態で変形する。ここにいる湾というのは、奥行きが小さい弓形の小砂浜(延長数km程度以下の)をも含んでいる。図-4のタイプ(C-1)においては、湾の一端に設けられた防波堤等によって、明らかに湾口の方向が α_1 だけ変化し、これに応じて砂浜が α_2 だけ変化するタイプである。 α_1 、 α_2 に関する2~3の実例を示すと表-4の通りであり、 α_1 の変化量の方が α_2 のそれより多少小さい。

一方、図-4中タイプ(C-2-1)あるいは(C-2-2)

表-4 湾口の方向変化と砂浜の方向の変化の事例

港番号	α_1	α_2
g	15°	10°
h	17	13
r	12	10
o	3	3
s	1	2

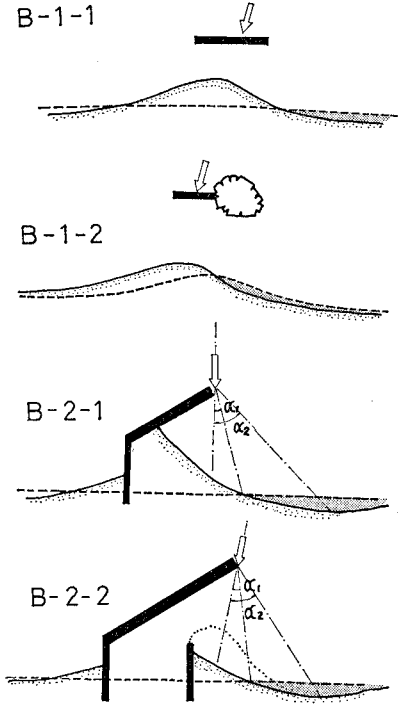


図-3 海浜に作用する波に不均一を生じたことに伴う海浜変形の形態

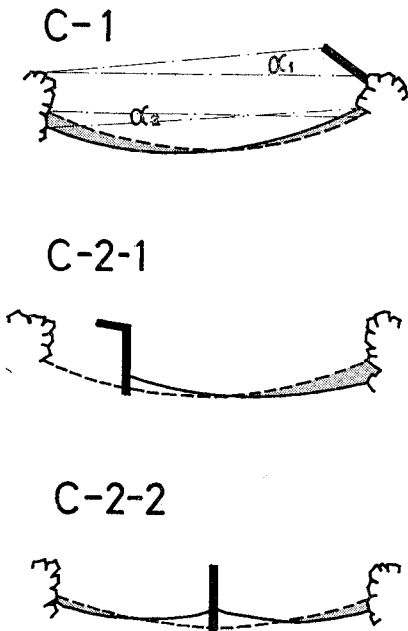


図-4 湾口の条件の変化したことに伴う
海浜変形の形態

等の形態では、湾口方向が変化するわけではないが、砂浜の分割あるいは短縮のために在来の砂浜の平均的な方向が、湾口と正対していない状態になった場合に生じている。

5. 海浜から斜めに伸長された防波堤周辺における局所海浜変形

海浜から斜めに伸長された防波堤の港外側では、局所的に汀線が後退する場合が多い。この局所的な汀線の後退は、沿岸漂砂の方向、強弱あるいは堤体の法線形あるいは構造等によって図-5に示す種々の形態を取る。タイプ(D-1-1)、(D-1-2)は漂砂の上手海岸の状況を示すものであるが、(D-1-1)のように堤体の元付部に局所的な汀線の後退の生ずる場合もあり、また(D-1-2)のように堆積の抑止される場合もある。漂砂の下手海岸では、第2章で述べた変形と重なって激しい汀線の後退が起こる。タイプ(D-2)は、汀線に対して直に伸長された防波堤が曲げられ、曲り部分の延長が長くなった場合に生ずることがある⁹⁾。一般的にはタイプ(D-1-1)および(D-1-2)の汀線の後退(D-2)はタイプに比べて局所的で、防波堤元付から海岸に沿って500m程度に止まる場合が多い。

しかし、汀線に対して斜めに防波堤等が伸長されればすべてのケースでこのタイプの地形変化が生ずるわけではない。表-5(a)および(b)は、各々斜めに伸長された防波堤に対してこのタイプの海浜変形を生じたケース

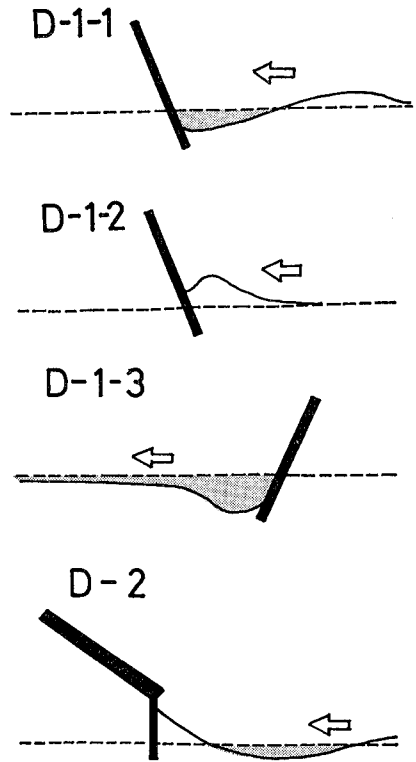


図-5 海浜から斜めに伸長された防波堤等の
周辺における海浜変形の形態

表-5(a) 海浜から斜めに伸長された防波堤等周辺
において汀線後退の生じている事例

港番号	防波堤法線		海岸状況	海浜変化	判定年
	斜出角	延長(m)			
A	120°	210	下手	局所侵食	1967
B	120	300	上手	堆積抑止	1967
C	130	180	下手	侵食促進	1971
D	120	210	上手	堆積抑止	"
	120	250	上手	堆積抑止	1967
E	110	710	下手	侵食	1969
F	100	900	上手	局所侵食	1967
G	130	1100	上手	侵食	
H	120	500	上手	局所侵食	1966
I	100	280	上手	堆積抑止	1966

表-5(b) 海浜から斜めに伸長された防波堤等周辺
において汀線後退の生じていない事例

港番号	防波堤法線		海岸状況	海浜変化	判定年
	斜出角	延長(m)			
J	140°	200	上手	不変	1967
K	130	750	上手	堆積	1966
L	120	190	上手	堆積	1971
M	140	210	上手	欠損	1971
N	130	350	下手	不変	1969
O	140	350	上手	堆積	1971
P	150	180	下手	堆積	1966
Q	150	510	上手	堆積	1970

および生じないケースを一覧したものである(事例の分布は 図-1 中に大文字英字で示されている)。両者の相異は、(a) 表に示すケースで斜出角(汀線方向と防波堤の法線のなす角度)が $100\sim 130^\circ$ の範囲にあり、(b) 表に示すケースでは $120\sim 150^\circ$ と大きいことである。すなわち、防波堤が極端に斜めに伸長されたケースでは、汀線の局所の後退は生じていないようである。防波堤が海岸線に対して直に伸長された場合であっても、防波堤の延長および構造によっては、水中部で等深線の局所の後退が生ずることがあるが、このような場合であっても、汀線までが後退を示す場合はほとんどない。

このタイプの海浜変形は、防波堤等に沿って波が走る(いわゆる沿波)ことに起因する防波堤に沿う流れの発生、あるいは防波堤等による反射波の防波堤元付附近への集中によって起こされるものと考えられている。しかしこれらの機構の詳細については未だ不明な点が多い。

6. 岬等の背後に設けられた防波堤上手への堆積

図-6 に示したように岬などの突出した地形の背後に防波堤等が設けられると、岬と防波堤との間の地域で著しく汀線が前進することが多い。表-6 は、このような海浜変形事例の一覧を示すものであるが、この結果からも明らかなように、このタイプの変形の発生頻度も相当に高いものである。岬の背後に設けられながら汀線の前進の生じていない4事例のうち、2事例は α_1 の値が大

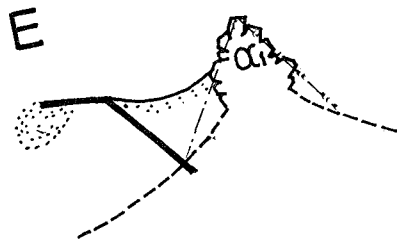


図-6 岬と防波堤の間での汀線の前進

きく岬の突出しが少ない。他の2事例では、岬に続いて長い岩礁地帯が続いている。

防波堤上手の汀線の前進は、港湾の埋没問題に結びつく場合が多い。サンタ・バーバラ港やマル・デル・プラタ港で報告されているような防波堤を廻った砂が港口に砂州を形成する事例は、このタイプの海浜変形と関連している場合が多い。

7. あとがき

本報告に述べたような症状論的な議論であっても、港湾の計画等に生かされることによって不用意な海浜変形の多くを防止することが可能である。また、近年盛んに論じられている海浜変化の数値モデル化に際しても、その前提作業として、現実現象の系統的な把握は欠くことができない。そのような意味で本文が多少とも参考となり得ることを願っている。

紙数の関係で、議論の基礎になっている各事例の海浜変形の詳細には一切ふれることができなかった。それについては文献 3)、4) を参照されたい。

参 考 文 献

- 1) 田中則男・小笹博昭 他: 海浜変形調査資料(第I報~第II報), 港湾技研資料, No. 163, No. 192, No. 266, June, 1973, Mar., 1977.
- 2) 運輸省港湾局, 港湾技術研究所: 全国海浜変形地図, March, 1977.
- 3) 田中則男・沢本正樹: 砂浜港湾周辺における海浜変形—航空写真による現状把握と海浜変形々態類型化の試み, 港湾技研資料, No. 180, Mar., 1974.
- 4) 田中則男: 砂浜港周辺における海底および海浜の変化, 昭和49年度港湾技術研究所講演会, 講演概要, Nov., 1975.
- 5) Tanaka, N. and S. Sato: Topographic change from construction of harbours on sandy beach, Kashima Port, Proc. 15th Conf. Coastal Eng., pp. 1824~1843, July, 1976.

表-6 岬の背後に設けられた防波堤上手の汀線前進の事例

港番号	海浜変形	漂砂の方向との関係	α_1	岬に続く海岸の状況	判定年
i	汀線前進	上手	100	砂浜	1966
ii	汀線前進	上手	60	砂浜	1966
iii	汀線前進	下手	90	砂浜	1962
iv	不変	下手	140	砂浜	1962
v	汀線前進	上手	110	砂浜	1967
vi	汀線前進	上手	80	砂浜	1966
vii	不変	上手	130	砂浜	1966
viii	多少前進	不明	130	砂浜	1970
ix	不変	不明	60	岩石海岸が続く	1971
x	汀線前進	上手	95	砂浜	1969
xi	汀線前進	下手	90	砂浜	1971
xii	汀線前進	下手		岩石海岸が続く, 河口港	
xiii	汀線前進	不明	120	岩石海岸	1969
xiv	不変	不明	70	岩石海岸が続く	1967
xv	多少前進	不明	130	砂浜	1963