

砂 堆 に つ い て

京都大学防災研究所助教授 足 立 昭 平

砂堆は海岸の縦断形を特徴づけるものであつて、その規模も大小さまざまである。湾口などに見受けられる長大な砂堆はほぼ固定した位置を保っているが、多くのものは波浪の盛衰とともに絶えず変形、移動している。前者は風による海水の吹寄せにともなう静振によつて形成され、また後者は浅海波による水分子の前後運動の前進性と離岸流などによる反対方向の流れとの平衡関係から生ずるものと考えられている。

これらの砂堆が海岸の浸蝕または堆積に対して演ずる役割は直接的ではないけれども、漂砂輸送の方向を決定づけるものとして見逃がすことはできないように思われる。筆者の課題はこの砂堆の発生、発達 の過程を追究することにある。以下この問題の足掛りとして行つた観測、実験について述べてみたい。

1. 定常波による砂堆

定常波による砂の移動については H. Lettau,¹⁾ 野満隆治先生²⁾ の研究があり、実験によると定常波の腹および特に節のところに砂堆が発生する。定常波のような不等流の場合の砂の輸送は流れの前面に相対的な洗掘や堆積が起り、これによつて海底勾配は局所的に変化するから、流れの前面に洗掘の起る場合には掃流力が増加し、堆積の場合には掃流力が減少する傾向を生ずると考えられる。従つて不等流の掃流砂量 G' は等流の掃流砂量 G における補正項 δ を加えなければならない。補正項の形はよく分らないが野満先生は $\delta = k\partial|G|/\partial x$ (k は比例常数) と仮定しておられる。

いま平均海面から下方に測つた水深を h とすれば、流砂の連続式は

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial G'}{\partial x} = \frac{\partial G}{\partial x} + k \frac{\partial^2 |G|}{\partial x^2}$$

である。これに等流の掃流砂量

$$G = Ku(u^2 - u_c^2) \quad ; (u_c \text{ は限界掃流流速})$$

および n 節の定常波による流速

$$u = u_0 \sin \frac{n\pi}{L} x \cos \frac{2\pi}{T} t \quad ; (T \text{ は波の周期, } L \text{ は波長})$$

を代入して積分し、振動項を除去すれば

$$h = h_0 - \frac{3}{4} k \cdot K u^4 \left(\frac{n\pi}{L} \right)^4 \cos \frac{4n\pi}{L} \cdot x$$

が得られる。こゝに h_0 は最初の水深を表わす。これが定常波による砂堆の式であつて、定常波の4倍節の起伏をとり、定常波の腹と節に山を生ずることを示している。

定常波による砂堆発生の実例として、鳥取県東伯郡の泊湾の調査資料がある³⁾。泊湾は湾口約 4km 奥行 400m の巾広い矩形状の湾であるが、湾口に顕著な第一砂堆が発達し、さらにこれと岸との中間、距岸 150 ~ 200m に第二砂堆を認めることができる。第一砂堆は湾の静振の節に当り、第二砂堆は原振動の3倍節振動の節の位置、あるいは第一砂堆と海岸との間に発生するタンク振動の節に相当している。平均水深約 4m であることに着目して予想される静振の周期を概算すると、まづ湾口を節とする基本振動は約 4 分、砂堆と海岸との間のタンク振動は約 2 分でありそれぞれの2倍節、3倍節振動は1分前後の値と推定される。実際に観測した結果はこれらの概算値と全く一致しており、さらに観測された静振の減衰から推算した渦動粘性係数の値と同湾における底質砂の粒度から、この湾には静振がかなり発達し、その擾乱運動は砂粒を移動するに足る程度であり、砂堆は静振によつて発生したものと認められる。

防波堤で囲まれた港内水域の定常振動は珍しくなく、ちよつとの風でも発生するものであるが、港内の限られた水域面積における風の吹き寄せだけによる振動の擾乱運動は小さく、港内海底の砂を輸送する程の能力のないのが普通である。しかしながら、湾内に設けられた港では湾口において湾の定常振動が強制振動として付加されるから、港内の固有振動周期が湾の卓越した定常振動周期に近いときには、共鳴作用によつてかなり強烈な振動を生じて港内の漂砂を局部的に集積する傾向をもつことが考えられる。このような特殊な場合には定常波による砂堆発生が港内埋没の要因となり得る。泊港の埋没の原因は主としてこのような過程によるものと推定されたのである。

2. 波浪による砂堆

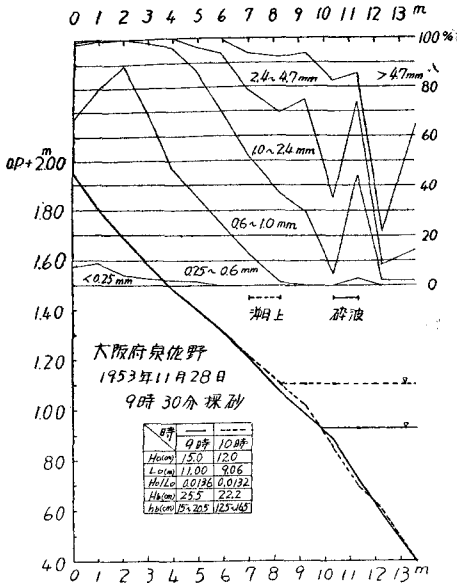
海岸の平衡勾配に関する実験の結果、押し寄せる波浪の特性によつて海岸の様相は正常海岸と暴風海岸に分れ、砂堆は後者の場合に発生することが知られている。このことを最初に指摘したのは J. W. Johnson 氏

であり、氏は沖波の波形勾配 H_0/L_0 にその特性を求め、 $H_0/L_0 < 0.025$ のとき正常海浜が $H_0/L_0 > 0.030$ のとき暴風海浜が、また $0.025 < H_0/L_0 < 0.030$ のときその中間状態が出現すると述べている⁴⁾。さらに岩垣氏等は波の屈折や回折の影響を除くために、沖波の特性でなくて砕波点における特性を用いると実測の海浜勾配とよく合致することを示した⁵⁾。

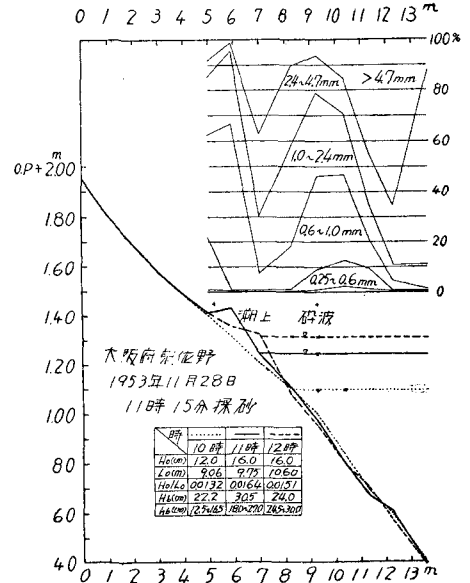
砂堆が波形勾配の大きい暴風海浜の場合に発生し、波形勾配の小さい正常海浜に発生しないことは、実際海浜の観測からも肯定されているけれども、この砂堆発生の限界点を機構的に説明することはまだできていない。

正常海浜の場合には顕著な海底地形の変化がなく海浜は全く無活動のように見えるけれども、波浪に伴って水の流れが存在し、小規模ながらも海底砂礫の移動も認められるのであるから、砂堆のような顕著な地形変動はなくとも、水分子の運動に対応する何等かの反応が底質砂礫に残されねばならない。このことを確め

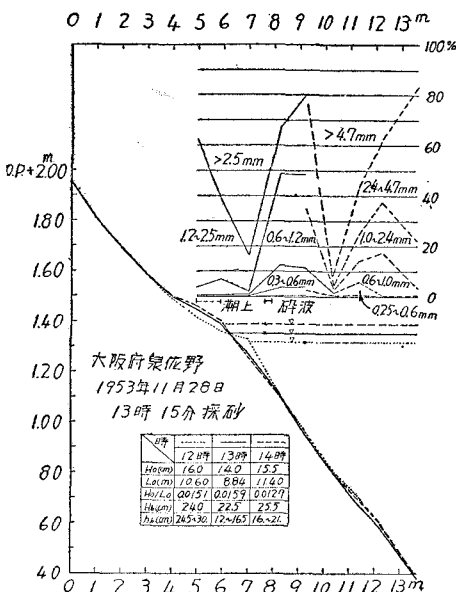
図一 正常海浜における海底勾配と砂粒組成



図二 正常海浜における海底勾配と砂粒組成



図三 正常海浜における海底勾配と砂粒組成



図四 正常海浜における海底勾配と砂粒組成

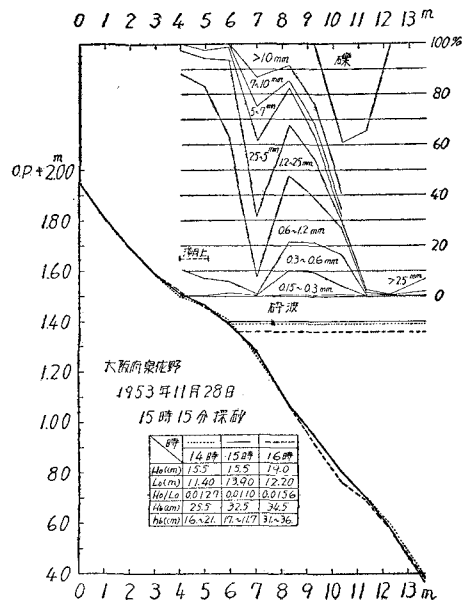


図-5 正常海濱における海底勾配と砂粒組成

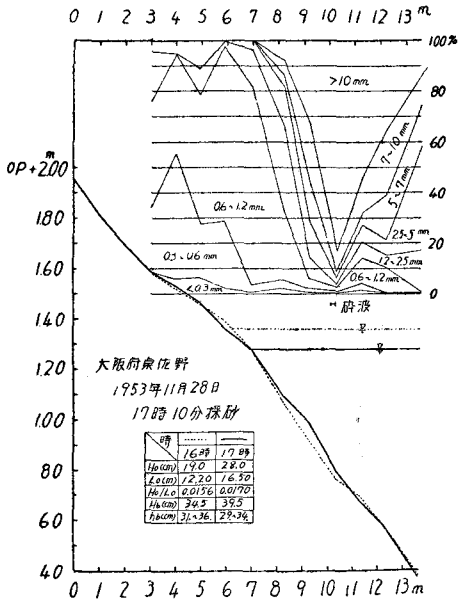
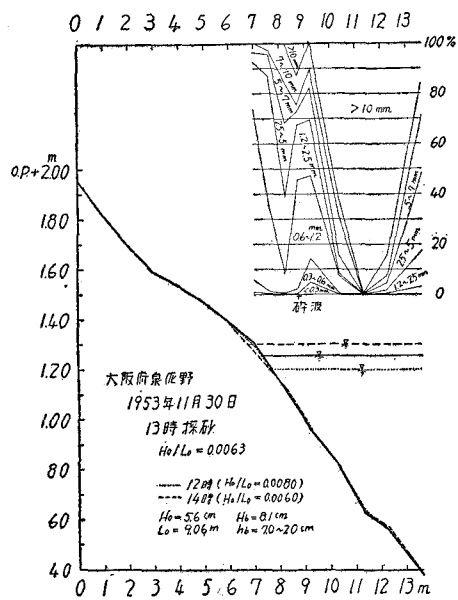


図-6 正常海濱における海底勾配と砂粒分布

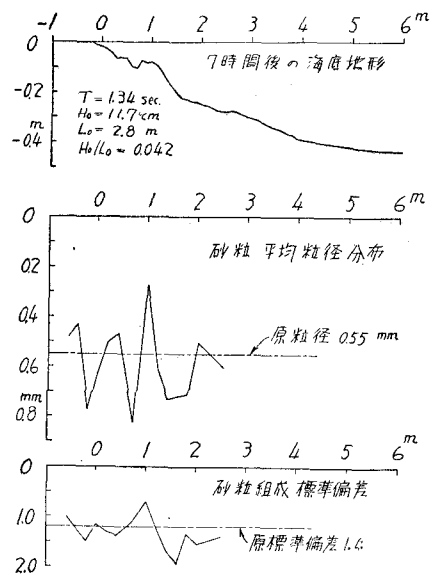


るために大阪府泉佐野市海岸において海浜底質砂粒の組成分布を調査した結果は図-1乃至6に示すようであった。観測当日は沖波の波形勾配は0.02以下で砂堆は認められず、典型的正常海浜と言えよう。図に示された砂粒の組成分布の特徴は砕波点を挟んで粗粒点が2ヶ所出現していることである。岸側の粗粒点は砕波点によって投出された水塊が落下する地点であるから粗粒砂の多いことは容易に肯けるのであるが、沖側の粗粒点がこのように顕著に出現していることは予想外のことであつた。この沖側粗粒点の位置が各時刻とも基点から10米～12米の間であることから、観測前日の波浪の残した遺物であると考えられることでもできるのであるが、潮汐による平均海面の変動に伴って粗粒点も移動しているから、一概に前日の波の遺物として放置することはできない。一般に海浜の漂砂堆は前浜部分が最も多く砕波点の沖側では少ないものであり、正常海浜の場合にはとくにその傾向が強いのであるが岩垣氏等が実測と実験から整理せられた資料から⁶⁾漂砂移動限界水深をこの場合に適用すると、沖側粗粒点附近はほぼ限界水深内にある。従つて極めて緩慢ではあるが砂の輸送があると考えられる。このことから沖側粗粒点は浅海波の前後運動の前進性が強くなつて海底砂を掃流し始める点と考えてもよいであろう。二つの粗粒点の間にある細粒部分は、この区域に浮遊砂の多いことを示しており、このような砂粒の配列は浅海における水分子運動の化石としてその様相を見事に物語っているように思われる。

次に暴風海浜の場合を検討してみよう。図-7は実験水槽で得た海浜勾配の変形とその砂粒分布である。実験水槽は扇形の屋外水槽であつて、長さ18m、巾3.5mに仕切つて使用した。固定床縦断面は、岸側6mが1/10勾配、その沖側は水平で沖側水深は50cmである。この固定床に一樣に厚さ20cmで砂を敷き詰め、沖側にプランジャー型の波起し装置をおいて、波形勾配0.04～0.05の波を約7時間継続せしめ海浜勾配の変形を観察した。なお使用した実験砂は鴨川産の砂で平均粒径0.55mmの標準偏差1.4の粒度不均一なものである。

実験における波の砂粒淘汰は十分ではないが、海底勾配の凹凸と相関連した砂粒分布を認めることができる。すなわち、砂堆の前後の凹部に粗粒砂が多く、砂堆頂部に細粒砂が集積しその組成も標準偏差が小さく比較的均一な細粒砂から成っている。岸側凹部の粗粒点は砕波に

図-7 暴風海濱における海底勾配と砂粒分布の実験例



よつて最も擾乱の激しい地点であり、凹形も鋭い。一方沖側の粗粒部は砂粒組成の標準偏差も大きく砂の淘汰が悪く、凹形も浅く、砂堆頂部へ滑らかに接続している。このような砂粒分布の配列の順序は先の正常海滨の場合と全く同型であり、一般的に砕波点附近における波の前進性による流れと、その反流との交錯状態を示すものと思われる。こゝで正常海滨と異なる点は2つの粗粒部間の細粒部が砂堆として突起していることである。上にも述べたように、沖側粗粒部から砂堆頂部に至る海底勾配が比較的滑らかに続いていることから推定して、砂堆が出現する場合には砕波直前のこの区域における水分子運動の鉛直成分が大きいであろうと思われる。このことがおそらく正常海滨の場合との相異と考えられる。

正常海滨と暴風海滨との分類は沖波の波形勾配をもつてしたのであるが、さらに進めて砕波の型を考えてみよう。砕波の機構はまだ解析されるまでに至っていないのであるが、沖波の波形勾配と海滨の海底勾配とによつて砕波の型が決定され、崩れ波 (spilling breaker) と巻き波 (plunging breaker) の二種の型式のあることが知られている。速水先生は底面勾配に対応する両砕波型の臨界波形勾配を求め、例えば海底勾配 2° に対しては沖波波形勾配 $H_0/L_0 < 0.03$ の波は巻き波型の砕波をすることを示しておられる⁷⁾。さらに先生はガラス張り水槽で水と同比重のドロップを写真撮影する方法によつて、両砕波型の場合の水分子運動軌跡を追跡し、崩れ波型の砕波では速度の鉛直成分が大きいけれども、巻き波型の砕波ではほぼ底面に平行に流れることを指摘された⁸⁾。

正常海滨においては巻き波型の砕波が、また暴風海滨においては崩れ波型の砕波が出現するから両海滨の分類は、沖波波形勾配によるよりもむしろ砕波の型で分類する方が正しいように思われる。従つてこの種の砂堆の発生機構、さらにその発達消滅の過程を解析するためには、砕波の機構を明らかにしなければならないが、ともかく定性的説明として、砂堆の発生、発達は砕波型が崩れ波となつて流れの鉛直成分が強い場合にのみ起り、巻き波の型では底面に平行な流れが主となるので砂堆は消滅するものと考えることができる。

砕波による砂堆の出現は汀線に平行な一種の水路を形成するから漂砂輸送を助長すると考えられるのであるが、具体的に海岸工学上この砂堆の取扱い方についてはまだ成果を得ていない。引き続きこの問題については研究を進めたい。

文 献

- 1) H. Lettau : Stehende Wellen als Ursache umgealtander Vorgänge in Seen. Ann. d. Hydrogr. u. Mar. 60 Jahrg., 1932.
- 2) 野満隆治 : 定常波による湖海の砂堆と砂漣. 地球物理, 第7巻, 昭18年.
- 3) 速水頌一郎, 堀俊之, 足立昭平 : 泊港の埋没について. 土木学会誌, 第35巻4号, 1950.
- 4) J. W. Johnson : Scale Effects in Hydraulic Model involving Wave Motion. Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 30, No. 4, Aug. 1949.
- 5, 6) 岩垣雄一, 榎木 亨 : 海滨の平衡勾配と砕波による砂移動に関する実験. 海岸工学講演会講演集, 1955.
- 7, 8) 速水頌一郎 : 砕波の機構 (Ⅱ). 海岸工学講演会講演集, 1955.