

海浜変形に及ぼす scale effect の研究

岩垣 雄一・野田 英明

SCALE EFFECTS IN HYDRAULIC MODELS FOR BEACH PROCESS

by Dr. Eng. Yuichi IWAGAKI and Hideaki NODA

Synopsis

In order to disclose the essential relationship between beach process and wave characteristics, two dimensional model tests are often performed for beach profile changes due to incident breaking waves normal to the beach. In applying results of such experiments to the prototype of beaches, the scale effects of waves and sediments on beach process with equilibrium beach profiles should be considered.

In this paper, as an approach to solve this problem in two dimensional beach studies, the effects of wave height and sediment size on the beach line movement and equilibrium beach profiles are discussed based on the results of experiments made by the authors and other experiments with smaller and larger scales by some reserchors. It is found that the ratio of sediment diameter to wave height is a very significant factor in this problem, especially when the ratio becomes smaller than a critical value. In addition, the changes in the characters of breaking waves during the time period of wave action varied from the beach having an initial constant slope to that with equilibrium profiles are presented.

1. ま え が き

海岸侵食の問題を正しく理解するためには、波浪による複雑な海浜変形の現象を十分に把握しなければならない。一般に海岸侵食現象を取り扱う場合には、

1. 波浪の直接作用による汀線と直角方向の砂の移動と、
2. 波浪によつて引き起された沿岸流による沿岸方向の漂砂、

の二つに分けて考える必要がある。前者はいわゆる短期間の海浜変形をもたらす、来襲波の特性がこの現象に大きな影響を与えることが知られており、また後者は長期間の海浜変形を左右するもので、海岸に沿う沿岸漂砂量の分布が問題となる。こうした観点にたつて、京都大学では多くの研究を進め、前者に対しては平衡勾配の問題を中心とした海浜断面の変化を^{1), 2), 3)}、後者に対しては海岸侵食機構の解明を目標とした沿岸漂砂量の算定について^{4), 5), 6)}、水理実験のみでなく実際の海岸においても観測を行なつて、この問題の究明に努力してきた。しかし、多くの場合、現地海岸で自然条件のもとで観測し、これから海岸侵食機構を明らかにしようとする方法は、現象が余りにも複雑で、その主要な各因子の効果を明確に分離して解析することが困難であるため、限られた条件のとき以外ではその成果を期待することができない。そのため、しばしば模型実験が行なわれ、一応水理学的な相似を考慮して、実際海岸におこる諸現象を説明し、あるいは予測してその対策を講ずることになるわけである。したがつて、こうした水理模型実験において最も重要なことは、実物と模型、この場合には現地海浜におこる現象と実験室で行なう実験の結果との相似性の問題であつ

て、両者の相似法則が確立されなければ、実験室での研究成果も実際海岸へ適用することができないし、これを無視すると間違つた解釈を下すことになりかねない。ここでは、第1の汀線と直角方向の砂の運動による海浜変形の問題を取り上げ、実験の scale の効果、とくに底質の粒径と波の scale との相対的な大きさが、現象にどのように影響するか注目して研究を進め、興味ある結果を得たので、ここに現在までの成果を発表したい。

海浜の平衡勾配については、1949年に発表された J. W. Johnson⁷⁾ の研究があり、沖波の波形勾配 H_0/L_0 の値によつて、海浜の断面形状が変化し、とくに波形勾配が小さいときには正常海浜 (normal beach) となり、波形勾配が大きくなると暴風海浜 (storm beach) にかわつて沿岸砂州が発生すること、両者の限界波形勾配は0.025~0.030であることを明らかにした。その後、岩垣・榎木^{1),2)}は砕波による砂の移動とともに三種の粒径の砂について平衡勾配の実験を行ない、栗原・篠原・椿・吉岡⁸⁾は比重の小さい石炭粉を用いて同様な実験を試み、砂の場合との比較をした。また Beach Erosion Board の R. L. Rector⁹⁾ 及びカリフォルニア大学の T. Scott¹⁰⁾ によつて多くの実験が行なわれ、最近では T. Saville¹¹⁾ の実験がある。とくに、Scott の結果では波形勾配が0.019, Saville の場合には0.0064のときでも暴風海浜が発達することが指摘された。Saville の実験は実際海浜にほぼ近い状態で、大きな波高の波に対して実施されたもので、小さい波で行なつた従来の実験結果と著るしい相違を示していることは注目すべきである。すなわち、こうした砂の移動をともなう現象には scale effect が非常に大きいのではないかということが推定され、このことが著者らのこうした研究を始めた第一の理由である。

なお、同様なことが海浜の変形についても考えられるわけで、上記の平衡勾配に対する考察とともに、一定の勾配をもつ海浜が平衡勾配に変化したときの汀線の前進後退量を一例として取り上げ、実験の結果からその scale effect を調べてみた。また同時に海浜変形過程における砕波の特性と時間的変化についても若干の資料を得たので、これについても報告したい。

2. 実験装置と方法

実験は Fig. 1 に示すように、防災研究所宇治川水理実験所における長さ70m、巾1.0m、深さ1.5mの

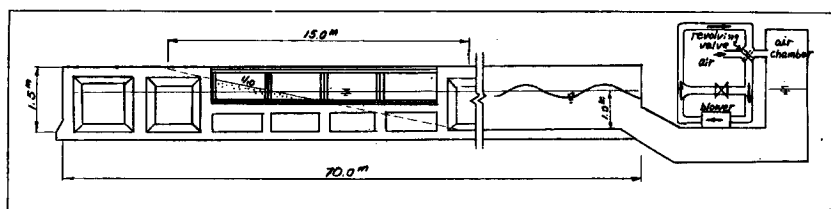


Fig. 1 Experimental apparatus

コンクリート製片面一部ガラス張りの長水槽を用い、その一端に勾配 1/10 の傾斜部を 15m の長さにわたつて設け、その上に砂を 20 cm の厚さに敷いて模型海浜とした。用いた砂は平径粒径が 0.36 mm の網野海岸のほぼ均一のもので、比重は 2.70 である。また、水槽の他端には 7.5HP のブローアを用いた減圧式造波機が取り付けられており、波高の変化はバルブを開閉して吸出空気量を調節することにより行ない、周期は無段変速機によつて変えられるようになっている。しかしこの種の造波機は周期の小さい場合の造波機能が悪く、波高が大きかつ波形勾配が大きい波を発生させることができない。したがつて、Table 1 に示すように波形勾配が 0.0231 より大きい波については実験ができなかつた。実験に用いた波の特性は、周期が 2.0~4.3 sec, 沖波波高は 9.0~28.2 cm である。波高の測定は水深 1m の水平部分で電気式ポイントゲージを用いて行ない、沖波に換算した。沖波波長 L_0 は周期 T を測定し $L_0=1.56T^2$ (m-sec 単位) の関係から求

Table 1 Wave characteristics for large scale tests
(Initial slope=1/10 : Mean diameter of sand=0.36mm)

Test run No.	Deep water wave height H_0 (cm)	wave period T (sec)	Deep water wave steepness H_0/L_0	Duration time (hrs)
1	21.1	2.52	0.0213	20
2	20.4	2.93	0.0153	20
3	20.3	3.58	0.0101	12
4	19.3	4.28	0.0067	13
5	28.2	3.58	0.0141	18
6	24.5	3.26	0.0147	17
7	14.9	2.52	0.0150	15
8	9.9	2.07	0.0148	13
9	17.6	2.19	0.0231	17
10	9.0	2.54	0.0090	18
11	11.6	2.69	0.0103	15
12	19.8	3.58	0.0100	18

Table 2 Wave characteristics for small scale tests (Initial slope=1/10)

Test run No.	Deep water wave height H_0 (cm)	wave period T (sec)	Deep water wave steepness H_0/L_0	Duration time (hrs)	Mean diameter of sand d_m (mm)
1	6.3	0.72	0.0770	18	0.52
2	6.4	0.80	0.0680	16	0.52
3	6.5	0.85	0.0574	15	0.52
4	6.6	0.92	0.0498	15	0.52
5	6.9	0.98	0.0457	12	0.52
6	6.5	1.12	0.0331	14	0.52
7	3.4	0.96	0.0234	7	0.52
8	2.4	1.29	0.0092	6	0.52
2'	5.8	1.07	0.0326		0.30
3'	5.4	0.84	0.0488		0.30
4'	4.8	0.71	0.0594		0.30
5'	3.9	0.88	0.0325		0.30
6'	2.1	1.21	0.0093		0.30
7'	2.7	0.98	0.0185		0.30
1''	2.4	1.29	0.0093	5	1.00
2''	3.7	0.97	0.0250	5	1.00
3''	4.0	0.89	0.0322	5	1.00
4''	6.4	0.98	0.0426	6	1.00
6''	5.2	0.80	0.0524	8	1.00
7''	4.7	0.72	0.0580	7	1.00
8''	6.4	0.71	0.0815	7	1.00

めた。

なお、scale effect を調べるために、この水槽よりずっと小さい実験水槽を用い、小さい波高で行なつた岩垣・榎木^{11,12)}の実験結果を参照したが、この場合砂の平均粒径は 0.30 mm, 0.52 mm 及び 1.00 mm の 3 種類、沖波波高 H_0 は 2.1~6.9 cm, 周期 T は 0.7~1.3 sec, 初期浜勾配は著者らの場合と同じく 1/10 であつて、その詳細は Table 2 に示す。

海浜の断面形は実験開始後 15 min, 30 min, 1.0 hr, 2.0 hr……に、ポイントゲージを用いて測定し、平衡勾配に達したとみられるまで実験を続けた。その場合反射波が顕著となり入射波の測定が困難なので、Healy¹²⁾の方法により最大波高 H_{max} と最小波高 H_{min} を測定し、 $H=(H_{max}+H_{min})/2$ から入射波高 H を求めた。また海浜断面形の測定直後には 35 mm カメラを用いて碎波の形状を撮影した。

3. 実験結果と scale effect の考察

(1) 海浜変形における波高及び底質の大きさの効果

実験の開始前1/10であつた浜勾配は、波の作用をうけて漸次変形するが、実験開始後数時間までは汀線付近の変化は急激で、それ以後は緩慢となり、侵食堆積がくりかえされて、大体 15~20 hrs で海浜断面は平衡に達し落ちついた。ここでは、1/10勾配から平衡状態に達するまでの汀線の前進後退量を取り上げて、それに及ぼす波高や底質の粒径の効果について論ずるが、もちろんこのような汀線の移動だけで海浜変形に対する全般的な結論を下すことは危険である。しかし、波高及び底質粒径の効果をみる上の海浜変形の代表的な量として、汀線の移動量を取り上げることは許されるであろう。

著者らの実験の結果では、波形勾配 H_0/L_0 が約 0.015 の波の場合、沖波波高 H_0 が 24.5 cm のとき汀線は後退し、一方 H_0 が 20.4 cm, 14.9 cm 及び 9.9 cm のときには汀線は前進した。このことは、沖波の波形勾配や底質粒径が一定でも、波高が変化すれば海浜変形の様子も非常に変わることを意味している。

Rouse¹³⁾ は、模型実験に普通用いられる幾何学的相似を sediment に適用するとき、粒径と波高の比が実験と実際の海岸で等しいと考えれば、実験に用いられる砂は大洋に面する海岸に存在する礫に対応し、実際の海岸に普通存在する砂に対応するものとして模型実験では silt を使う必要があるが、この場合 silt の凝集効果を十分に考慮に入れなければならないことを指摘している。また Inman¹⁴⁾ は水理的要素に比して粒径がことなると、底層物質は非常に違った挙動をすることを強調している。

いま、底質砂の粒径として平均粒径 d_m を用いその水中における比重を s 、水槽の水平部分の水深を h 、波の特性として沖波波高を H_0 、波長を L_0 、周期を T 、初期浜勾配を i_0 、汀線の移動量を x_{SL} (前進の場合を正、後退の場合を負とする) 波の作用時間を t であらわせば、 $L_0=gT^2/2\pi$ の関係があるから、次元解析により

$$\frac{x_{SL}}{L_0} = f_1\left(\frac{h}{L_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{d_m}{H_0}, \frac{t}{T}, i_0, s\right) \dots\dots\dots(1)$$

とあらわせる。この場合粘性の影響は省略した。ここで、 h/L_0 の効果は砂の移動範囲が 1/10 勾配の斜面内にあれば無視して差支えないと考えられ、また平衡に達した後の議論では t/T を落すことができ、砂の比重を一定とすれば s もとることができる。したがつて、(1) 式はつぎのようにかきかえられる。

$$\frac{x_{SL}}{L_0} = f_2\left(\frac{H_0}{L_0}, \frac{d_m}{H_0}, i_0\right) \dots\dots\dots(2)$$

なお、栗原ら¹⁵⁾は砂の水中比重の効果をも d_m/H_0 と一緒にして sd_m/H_0 であらわしている。(2) 式にもとづいて、実験の結果を i_0 ごとに H_0/L_0 をパラメーターとして、 x_{SL}/L_0 と d_m/H_0 との関係でプロットしたものが Fig. 2 である。この図には著者らの初期浜勾配 i_0 が 1/10 の場合の実験結果のほか、同じく i_0 が 1/10 の岩垣・榎木の小水槽による実験、 i_0 が 1/15 の Saville の実験及び i_0 が 1/30 の場合の Rector の実験によるそれぞれの結果が含まれている。ただし Rector の実験結果においては、平均粒径 d_m の代りに

中央粒径 d_{50} が用いてある。Saville の実験では平均粒径 d_m は 0.22 mm, 沖波波高 H_0 は 45.8~171.0 cm, Rector の実験は d_{50} が 0.22, 0.47, 0.90 及び 3.44 mm で, H_0 は 9.0~12.0 cm の範囲である。図中の実線は波形勾配の等しい点を通るよう実験結果を参照して描いたもので, これからつぎのような興味ある

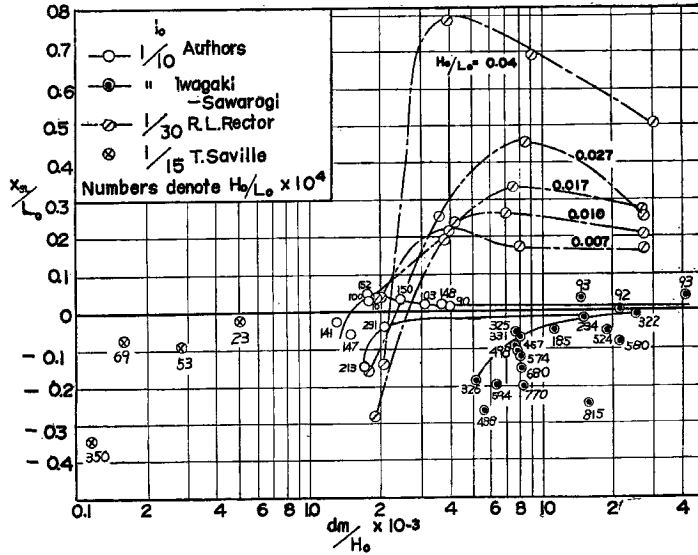


Fig. 2 Dimensionless plots of beach line movement x_{SL}/L_0 against sediment size d_m/H_0 with a parameter of deep water wave steepness H_0/L_0 and different

(3) 初期浜勾配 i_0 が 1/30 の場合にも, 上述の d_m/H_0 の限界値が存在し, その値は $H_0/L_0 < 0.02$ のとき, $i_0 = 1/10$ の場合と同様 $d_{50}/H_0 = 0.002 \sim 0.004$ である。 H_0/L_0 が 0.027 より大きいときには, $i_0 = 1/10$ の場合にも若干その傾向がみられるが, x_{SL}/L_0 の値に極大があらわれ, 限界の d_{50}/H_0 の値がはつきりしない。

(4) いずれの場合でも, d_m/H_0 あるいは d_{50}/H_0 の値が限界値より小さくなると, 汀線の変動に及ぼす d_m/H_0 あるいは d_{50}/H_0 の影響は急激に顕著となり, 汀線の後退が著るしくなる。

(5) d_m/H_0 あるいは d_{50}/H_0 の値が大きい場合には, $i_0 = 1/10$ のとき $H_0/L_0 < 0.015$, $i_0 = 1/30$ のとき $H_0/L_0 = 0.007 \sim 0.040$ において汀線は前進しているが, d_m/H_0 あるいは d_{50}/H_0 の値が限界値にはほぼ等しい値より小さくなると波形勾配の値に関係なく汀線は後退するようになる。 $i_0 = 1/15$ の場合の Saville の実験結果では, 資料が少ないので他の場合のように明確な結論は見出すことができないが, d_m/H_0 の値が小さいと H_0/L_0 が 0.0023 のような非常に小さい値のときでも汀線は後退することがわかる。

以上のように d_m/H_0 の限界値を境として, 汀線の変動に及ぼす粒径の効果が著るしく異なるのは, たとえ H_0/L_0 の値が一定でも, d_m/H_0 の値が限界値より大きいのか小さいかによって, いそ波帯における底質の移動機構が異なることに基因するのではないかと考えられる。すなわち, 限界値より大きい場合には主として掃流形式によって移動するが, 小さいときには浮遊による底質の運搬が卓越してくるのではないかと想像される。これらの点については, さらに詳細に研究して明確にする必要がある。

(2) 平衡断面形

一定勾配の砂浜に一定の特性をもつ波が長期にわたって作用すると, 海浜の断面形は時間とともにある定まった形に変化して安定し, これ以上波を作用させても変わらないという海浜勾配が形成される。これを海

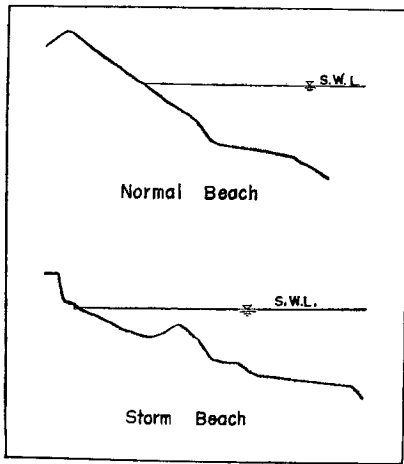


Fig. 3 Schematic drawing of normal and storm beaches in equilibrium beach profiles

浜の平衡勾配といっている。この勾配になつたときが、一定の特性をもつ波による浸食堆積に関して最も安定した海浜の姿である。前述したように、Johnson⁷⁾ は波の特性が平衡勾配に及ぼす影響を明らかにし、波形勾配によつて Fig. 3 に示すような暴風海浜と、砂州の発達しない正常海浜とに大別できることを示した。Rector⁹⁾ は沖波波長 L_0 で割つて無次元であらわした断面形を波形勾配 H_0/L_0 と d_{50}/L_0 との関数として表わす試みを行ひ、G. M. Watts¹⁵⁾ は波の周期を変化させた場合の平衡断面形、とくに沿岸砂州の発生、消滅について興味ある論文を発表している。しかし、これらの実験やわが国で行なつた岩垣・榎木及び栗原・篠原らの実験も、すべて現実の海岸にくらべて非常に小さい scale のものであるが、1957年に Saville が行なつた実際の海岸に近い大きい scale の実験結果では、これまでの小 scale の結果とはかなり異なり、非常に小さい波形勾配の波の場合でも、その平衡断面形は沿岸砂州をもつ暴風海浜となつてゐる。このような理由から、著者らは平衡断面形に及ぼす scale effect を調べるため、実験結果をつぎの三通りに分けて考察した。

(i) 波高及び底質粒径を一定に保ち波形勾配を変えた場合 Fig. 4 は $H_0 \approx 20$ cm, $d_m = 0.36$ mm の場合の平衡断面形を汀線からの距離 x 及び水深 h と沖波波長 L_0 との比 x/L_0 及び h/L_0 で無次元化したもので、 d_m/H_0 がある一定の値の場合、 H_0/L_0 によつて平衡勾配がどのように変わるかを示している。この図から d_m/H_0 が一定のとき、平衡断面形に波形勾配が非常に影響することがわかる。また波形勾配が 0.0213 の場合は暴風海浜となつており、この値が Johnson の限界値である 0.025~0.03 より小さいことに注目すべきである。

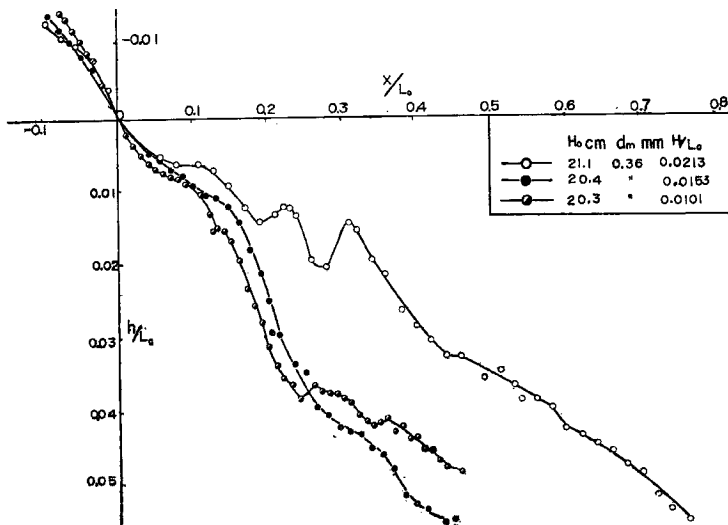


Fig. 4 Dimensionless expression of equilibrium beach profiles for case of approximately constant d_m/H_0 and different wave steepnesses

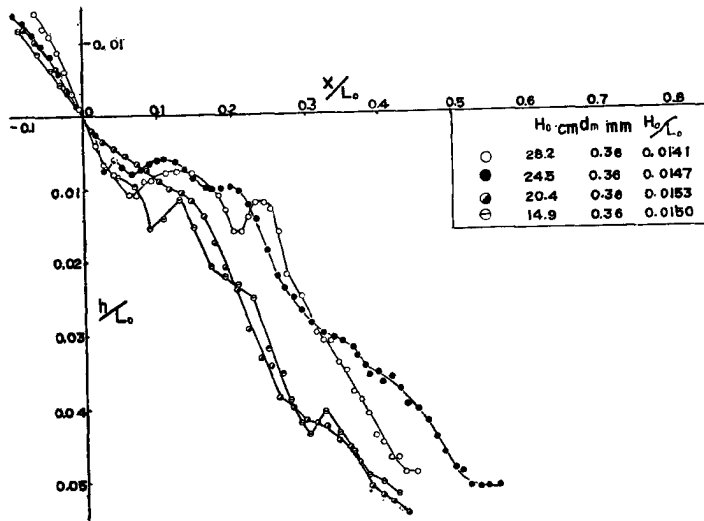


Fig. 5 Dimensionless expression of equilibrium beach profiles for case of approximately constant wave steepness, constant sediment size and different wave heights

(ii) 波形勾配及び底質粒径を一定に保ち波高を変えた場合 Fig. 5 は沖波波形勾配がほぼ一定で、かつ底質粒径も一定であるが、沖波波高が変化する場合の平衡断面形を比較して示したもので、この図から波形勾配も底質粒径がともに一定であっても、波高の大小によつて平衡勾配が非常に異なること、また、波高が大きいときには波形勾配が小さくても、沿岸砂州が発生し、暴風海浜となることが見出される。すなわち、この場合 H_0 が 24.5 cm より大きいときには顕著な砂州があらわれるが、20.4 cm 以下の波高の場合にはこのような大きな砂州は発生せず、したがつて正常海浜とみなされる ($H_0=14.9$ cm の場合に小規模の沿

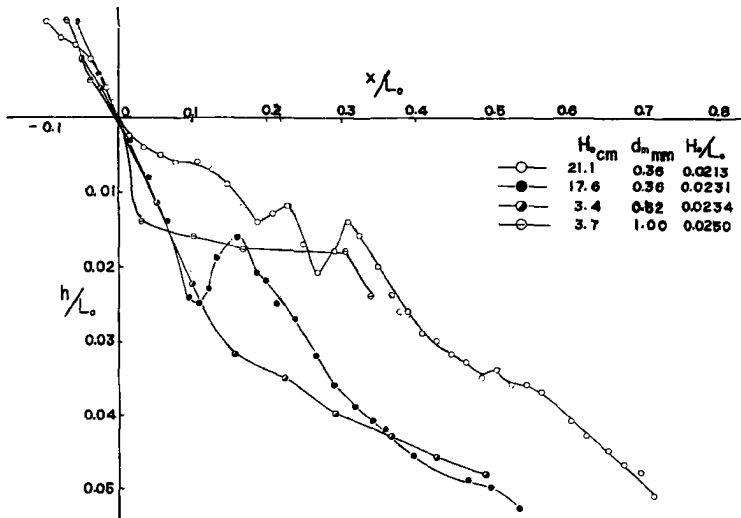


Fig. 6 Comparison of equilibrium beach profiles between cases of approximately constant wave steepness and different sediment sizes and wave heights

岸砂州らしきものが見られるが、これは平衡時の真の沿岸砂州ではなく、波の作用時間をさらに長くすれば消滅する性質のものである)。そして、暴風海浜である $H_0=28.2\text{cm}$ 及び 24.5cm のときの断面形状と、正常海浜である $H_0=20.4\text{cm}$ 及び 14.9cm のときの形状とは全く性格が異なっていることがわかる。

(iii) 波形勾配が一定で波高も底質粒径も異なる場合 Fig. 6 は沖波波形勾配をほぼ一定に保ち、底質の平均粒径と沖波波高をともに変えた場合の平衡断面形を比較したもので、 H_0/L_0 は $0.021\sim 0.025$ ではば一定、 d_m は $0.36\sim 1.00\text{mm}$ 、 H_0 は $3.36\sim 21.1\text{cm}$ の範囲で変えている。この場合も (ii) の場合と同様、波形勾配が一定でも、底質粒径や波高が異なると平衡断面形が著るしく違うことを示している。とくに d_m/H_0 が小さい $d_m=0.36\text{mm}$ のときの実験結果は明らかに暴風海浜の様相を呈しているが、 d_m/H_0 の値が大きい $d_m=0.36\text{mm}$ 以外の場合には沿岸砂州は発生せず正常海浜であることがこの図から見出せる。

以上のことから、平衡勾配に影響を与える要素は波形勾配のみでなく、波の大きさと底質粒径もこれに対

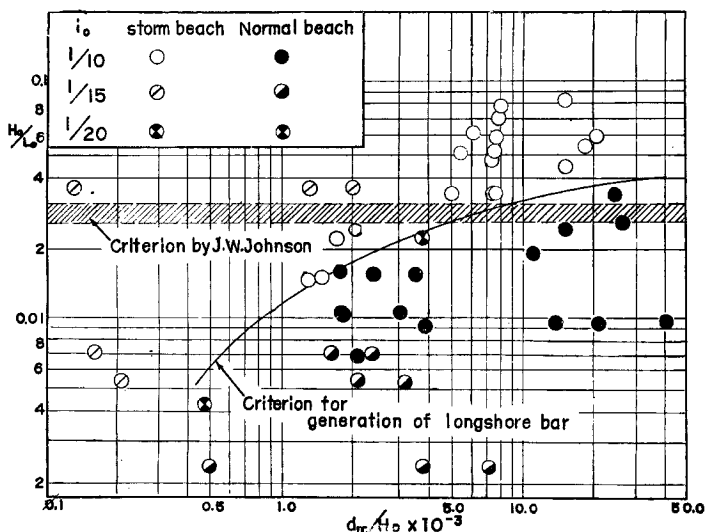


Fig. 7 Criterion for generation of longshore bar; limit between storm beach and normal beach

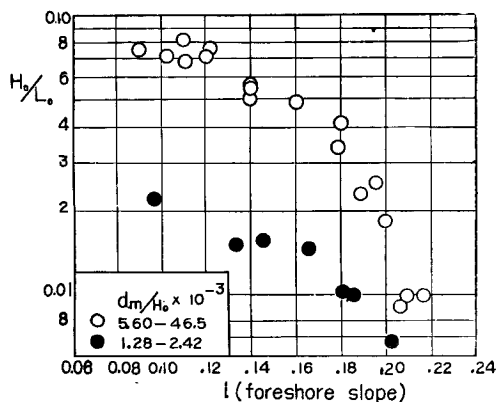


Fig. 8 Relation between mean beach face slope and deep water wave steepness for various values of d_m/H_0

して重要な役割を果すものであることがわかる。このことから暴風海浜と正常海浜との限界も H_0/L_0 のみで規定されるのではなく、 d_m/H_0 によつても左右されることになる。Fig. 7 は著者らの実験結果とともに、従来の平衡勾配に関する多くの実験の結果を暴風海浜と正常海浜とに分けて H_0/L_0 と d_m/H_0 とをそれぞれ縦軸と横軸にとつた両対数紙上にプロットしたものである。実験資料は初期浜勾配別に分けてプロットしておいたが、平衡勾配とくに沿岸砂州が発生するかしないかという限界の問題には初期浜勾配

が関係しないという前提のもとに両者の海浜の境界線と考えられるものを描くと図の実線のようになる。また図中には従来いわれてきた $0.025\sim 0.030$ という Johnson の限界波形勾配の値も斜線で記入しておいた。これから、Johnson の限界値は d_m/H_0 の値が大きいときにはほぼ妥当な値であるが、 d_m/H_0 の値が小さくなると非常に異なってくるのがわかる。とくに、 d_m/H_0 の値が $0.003\sim 0.004$ 程度より小さくなると、限界波形勾配は急激に小さくなり、底質粒径が小さく波高の大きい海岸では、沖波の波形勾配がかなり小さくても、暴風海浜となつて、沿岸砂州が発生することを示している。このように、暴風海浜と正常海浜との限界を H_0/L_0 と d_m/H_0 とによつて

あらわしたことは、重大な発見であるといえよう。

つぎに、平衡断面における浜勾配について d_m/H_0 の影響を調べてみよう。Fig. 8 は前浜における平均勾配 i と沖波波形勾配との関係を示したもので、実験の scale が小さく、 d_m/H_0 の値が 0.0056~0.042 の範囲の場合と、著者らの比較の実験の scale が大きく d_m/H_0 の値が 0.00128~0.00242 の範囲のときに分けてプロットしてある。この図からすぐわかることは、小さい scale の実験 $d_m/H_0 \geq 0.0056$ の場合には、前浜平均勾配 i は d_m/H_0 の影響はほとんどみられず、波形勾配のみによつて変化すること、実験の scale が大きくなつて $d_m/H_0 \leq 0.00242$ となると、 i と H_0/L_0 との関係が前の場合とはつきり分かれることである。またこの図にはプロットしていないが、大きい scale の Saville の実験¹¹⁾ ($H_0=168\text{cm}$, $d_m/H_0=0.00013$) では、 $H_0/L_0=0.035$ の場合に $i=0.03$ という値が得られているが、この資料も上記の事実を裏がきするものである。これらのことから、 $d_m/H_0=0.003\sim 0.004$ を境として、 d_m/H_0 の値がそれより大きい場合と小さい場合とでは、 i と H_0/L_0 との関係が異なつてあらわされるように思われる。Rector⁹⁾ は前浜勾配を

$$i = k \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^n \left(\frac{d_{50}}{L_0} \right)^m \quad \dots\dots\dots(3)$$

とあらわしたが、(3) 式は

$$i = k \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{n+m} \left(\frac{d_{50}}{H_0} \right)^m \quad \dots\dots\dots(4)$$

とかきかえられるので、 $i \propto (d_{50}/H_0)^m$ ということになる。しかし、Fig. 8 から単に i は (d_{50}/H_0) の m 乗に比例するという簡単な表現では、両者の関係はあらわれないということがわかる。

(3) 移動床における碎波

一般に碎波の型には崩れ波と巻き波が存在することはよく知られていることであり、これについては、波形勾配と浜勾配によつて両者の型の限界を明らかにした Iversen¹⁶⁾ 及び速水¹⁷⁾ の研究がある。また Iversen は碎波特性に及ぼす浜勾配の影響を調べている。しかし、これらはいずれも一定勾配をもつ固定床について行なわれた実験によるもので、勾配が一定でなくかつ碎波とともに砂が輸送される移動床に対してそのまま適用されるかどうか問題がある。碎波が海浜変形と重大な関連をもつであろうことは、碎波による底質の移動が漂砂の大きな部分を占めていることから、当然考えられることである。こうした点から、こ

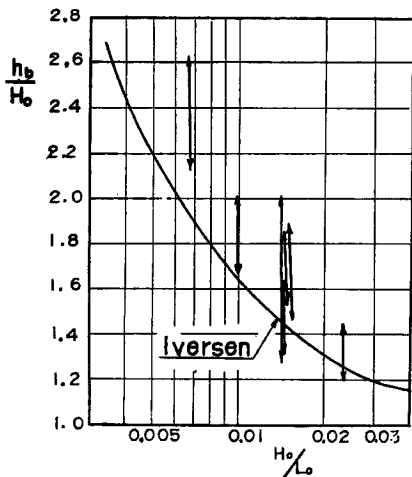


Fig. 9 Relation between breaking depth of water and wave steepness

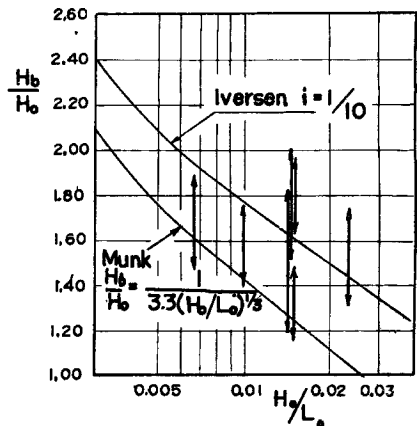


Fig. 10 Relation between breaking wave height and wave steepness

では移動床における砕波の特性を、水槽の側面からガラスを通して 35 mm カメラで撮影した砕波の形状にもとづいて考察してみよう。

Fig. 9 は沖波波高で割った無次元砕波水深と沖波波形勾配との関係、Fig. 10 は同様に無次元砕波高と沖波波形勾配との関係をそれぞれ示したもので、同時に Iversen の固定床に対する実験曲線と Fig. 10 には Munk の孤立波理論による関係をも比較のため図示してある。プロットした実験値の矢印はその変動範囲を示したもので、実験誤差も入っているであろうが、この範囲までは波形勾配が一定であつても、砕波特性が移動床の場合には変動するものであることをあらわしている。

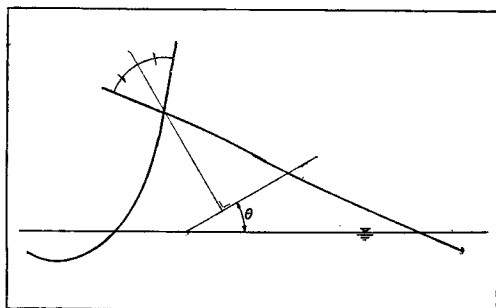


Fig. 11 Definition sketch of breaker inclination

いま、砕波特性の一つとして、Fig. 11 に示すように砕波の峯の角度の二等分線が鉛直線となす角 θ をとりあげ、 θ の変化による砕波形の非対称性の変化を検討してみた。砕波時に波が完全に対称形であれば $\theta=0^\circ$ 、非対称の極限の場合には $\theta=45^\circ$ となるはずである。すなわち、 θ が 45° に近いほど巻き波、 0° に近くなるほど崩れ波の性質をもつものと考えたわけである。Fig. 12 はこのように定義された砕波形の傾きをあらわす θ の

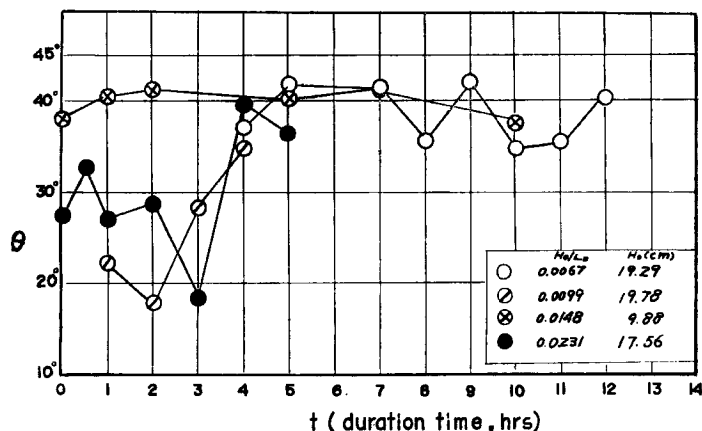


Fig. 12 Progressive changes in breaker inclination θ with time for various waves steepnesses

時間的変化を示したもので、1/10 という一定の浜勾配から断面形が変化して遂に平衡勾配となるまでの θ の変化の様子が明瞭にわかる。この図から見出される興味ある事実はつぎのようである。すなわち、砕波型はすべて巻き波とみなされるが、実験の開始時に θ の値がどうであろうと、継続時間が 5 時間程度に達すると、 θ の値はほぼ $35^\circ \sim 40^\circ$ に落ちつき、それ以後はあまり変化しない。ある時間経過して砂浜が平衡断面形になると、砕波形の傾きはほぼ一定値をもち、これは実験範囲内では波形勾配に関係なく、また d_m/H_0 の値にも無関係のようである。しかし、このような明確な結論を下すには実験資料が十分でなく、今後さらに実験資料を多くして、正しい結論を見出し度いと考えている。この結論が正しいとすれば、海浜の平衡勾配ないしは変形と砕波との関係の一つの手掛りを得たことになり、非常に意味深い発見であるといえる。

4. 結 語

以上、海浜変形に及ぼす scale effect、とくに底質粒径と波高との比 d_m/H_0 が汀線の変動量、平衡断面形及び暴風海浜と正常海浜との限界に及ぼす影響について、著者らが行なつた実験結果と米国における実験の結果にもとづいて論じ、 d_m/H_0 が波形勾配とともに非常に重要な要素であることを見出した。また移動床における砕波特性が一定勾配の固定床の場合と異なり、波形勾配が一定でも砕波水深及び砕波高がかなり

変動すること、砕波形の傾きは海浜断面が平衡勾配に近づくとほぼ一定値をとることなど、非常に興味深くかつ重要な事実を発見することができた。しかし、前述したように、実験資料が十分でなく今後資料がととのつてから、以上の結論をさらに明確に裏付けたいと考えている。

最後に、この研究に対して終始御激励を賜わつた京大工学部長石原藤次郎教授、及び実験に熱心に協力して頂いた久下元一氏に深謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一, 榎木亨: 海浜の平衡勾配と砕波による砂移動に関する実験, 第2回海岸工学講演会講演集, 昭 30.11, pp. 99-105.
- 2) 岩垣雄一, 榎木亨: 海浜の平衡勾配に関する二, 三の問題について, 京都大学防災研究所創立5周年記念論文集, 昭 31.10, pp. 233-240.
- 3) 速水頌一郎, 石原藤次郎, 岩垣雄一: 泉南海岸の浸食に関する基礎的研究, 第6報汀線砕波とこれによる砂礫の移動について, 泉南海岸浸食調査報告書第3報(昭和27.28年度), 昭 29.1, pp. 1-21.
- 4) 榎木亨, 村上正: 沿岸漂砂量の推定について, 第4回海岸工学講演会講演集, 昭 32.11, pp. 41-49.
- 5) 石原藤次郎, 岩垣雄一, 榎木亨: 明石海峡北岸の浸食調査について(第2報), 神戸市明石海峡調査会報告書, 昭 33.5, pp. 1-10.
- 6) 岩垣雄一, 榎木亨: 沿岸漂砂量の新算定法について, 第7回海岸工学講演会講演集, 昭 35.11, pp. 59-67.
- 7) Johnson, J. W. : Scale Effects in Hydraulic Models Involving Wave Motion, Trans. Amer. Geophy. Union, Vol. 30, 1949, pp. 517-525.
- 8) 栗原道徳, 篠原薩爾, 椿東一郎, 吉原益雄: 波による海浜の砂移動, 第3回海岸工学講演会講演集, 昭 31.11, pp. 151-159.
- 9) Rector, R. L. : Laboratory Study of Equilibrium Profiles of Beaches, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 41, 1954, pp. 1-38.
- 10) Scott, T. : Sand Movement by Waves, Beach Erosion Board, Tech. Memo., No. 48, 1954, pp. 1-37.
- 11) Saville, T. Jr. : Scale Effects in Two Dimensional Beach Studies, Proc. 7th General Meeting, I.A.H.R., Vol. I, A, 1957, pp. 1-10.
- 12) Healy, J. J. : Wave Damping Effect of Beaches Minnesota Intern. Hydraulics Convention, 1953, pp. 213-220.
- 13) Rouse, H. : Fluid Mechanics for Engineers, McGraw-Hill Book Co., Ltd., New York, 1938, p. 30.
- 14) Inman, D. L. : Sorting of Sediments in the Light of Fluid Mechanics, Jour. Sed. Petrology, Vol. 19, 1949, pp. 51-70.
- 15) Watts, G. M. : Laboratory Study of Effect of Varying wave Periods on Beach Profiles., Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 53, 1954, pp. 1-19.
- 16) Iversen, H. W. : Waves and Breakers in Shoaling Water, Proc. 3rd Conf. on Coastal Eng., 1952, pp. 1-2.
- 17) 速水頌一郎: 砕波の機構Ⅱ, 第2回海岸工学講演会講演集, 昭 30.11, pp. 13-15.