

規則波・群波・不規則波を用いた三次元海浜実験について

西 隆 一 郎* ・ 佐 藤 道 郎**・ 中 村 和 夫***
矢 車 美 政****・ 又 野 康 治****

1. ま え が き

海浜変形の諸問題について二次元水路で、単一の波高・周期を持った規則波による実験で多くの知見が得られてきた。これらの実験結果と三次元性の強い不規則波の作用下での現地における海浜変形の対応について、実験結果の現地への読み替えができるのか、またどのように読み替えるのか、といった点について、近年特に自然の波に近い合成波、群波、不規則波等を用いた検討も始められているものの、解明すべき点も多いように思われる。本研究では特に、(1) 水路実験における海浜変形の二次元性が幅広い海浜においてどの程度保たれているのか、と言う点について平面水槽で一般的な斜面に一般的な波を造波して、いわば幅広い二次元水路と考えることも出来るが砂の横方向への移動が可能な条件下で砂移動の状況等の相違も含めて検討すること、(2) 波の不規則性が海浜変形にどのような影響を及ぼすか、という点について、ほぼ同じエネルギーフラックスを有する規則波と群波、不規則波を入射させ海浜変形の相違を調べることにより検討すること、を目的として行った実験結果について考察した。

波、流れ、地形変化をなんとか総合的に捉えたいと考えたが、室内実験といっても平面水槽となると二次元水路に比べて測得し処理すべきデータが圧倒的に多くなり、波、流れ、地形変化の同時測定によるそれらの経時変化を求めるのは困難になる。しかし、なんとかそれに一歩でも近づきたいと考え、波高測定や地形測定のシステム作りも行っており、後者についても簡単に触れる。

2. 実験条件

実験に用いた平面水槽は、長さ 26.7m、幅 14m、深さ 1.2m の諸元を持つ。一端には、電気油圧サーボモーター駆動のフラップ式造波板が設置してあり、これにより所定の波を起こす。他端には、粒径が 0.6mm の自

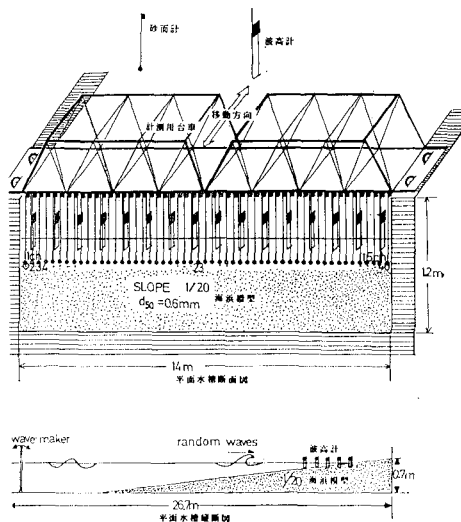


Fig.-1 Wave Basin

然海浜砂からなる 1/20 勾配の一般斜面が設置してある。地形計測は初期の 4 ケースが竹ひごを砂に立てて定規を用いて格子点上 600 ポイント余りで目視により行なった。測定は造波開始前、開始後 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 24 時間に行った。この地形測定法では測点を多く設けると測定に多く時間がかかり、波も止めなければならない。そこで、もっと簡便で安価で、出来れば、造波中でも測定できる方法はないものかと考え、図-2 に示すような砂面計を製作した。これは、砂面の高低に応じたロッドの

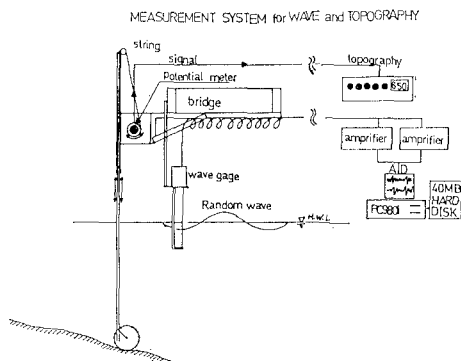


Fig.-2 Measurement System

* 正会員 工修 鹿児島大学助手 工学部海洋土木開発工学科
** 正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木開発工学科
*** 正会員 鹿児島大学技官 工学部海洋土木開発工学科
**** 学生員 鹿児島大学大学院 工学研究科

上下の動きをポテンションメーターの回転に変え、砂面の高低を電氣的な量の変化に変換するという簡単なものである。ロッドの先端にはカゴ状の車がついている。これは波のあるところでも水の動きを阻害せず、洗掘しないようにということで試行錯誤の結果選んだ。また、この車の大きさを選ぶことにより、例えば砂漣のような細かい変化にも追従させるか、これらを平滑化した地形に追従させるかを決められる。本実験では砂漣の波長 10 cm 程度のところで 15 cm の径の車をつけたので砂漣に関しては幾分平滑化した地形を測っている。ロッドの重量がそのまま砂面にかかると車が砂面に食い込み動きも悪くなる。そこで、カウンターバランスを用い砂面への接地圧が小さくなるようにしている。これも余り小さくすると砂面から離れ易くなるので試行錯誤で決めた。

後半 3 ケースは、この砂面計 46 台を台車に取り付けて、岸に平行な測線に沿ってスキャンしながらデータをパーソナルコンピュータに取り込み 30 cm 間隔の格子点上 1820 ポイント余りで地形計測を行った。計測時間は造波開始前、造波開始後 0.5, 1, 4, 8, 12 時間である。

なお、実験結果の考察は、上記計測システム等の違いのため、前者 4 ケースと後者 3 ケースに分けて行う。

沿岸波浪場については、製作した 30 台余りの容量式波高計のうち 15 台を横方向 1 m 間隔で計測用台車に取り付け、5 ケース目から計測を始めた。

海浜流系については、染料と蛍光浮子（ケミホタル）をトレーサーとして観察し写真撮影した。

地形の三次元性については、各計測時間毎に砂の移動状況を写真撮影し、次いで碎波帯沖合に浮子を投入しその軌跡と砂移動の方向の対応関係について調べた。

また、用いた波の条件は表-1 に示す通りである。最初の 3 ケースにおいては、海浜に作用するエネルギーフラックスが、ほぼ等価になるように試みた。

次いで、規則波の実験であるケース 4 では、ケース 3 で用いた不規則波の有義波高とほぼ同じ波高を用いている。ケース 5 からケース 7 までは、それぞれ有義波高が、大、中、小になるような、不規則波を用いていた。但し、ここで用いた不規則波は、Bretschneider-光易型

スペクトルを持つ波である。

3. 実験結果と考察

3.1 岸—沖断面形状

二次元水路と異なって平面水槽では特に規則波において海浜循環セルが形成されやすく、離岸流域、向岸流域で地形変化も若干異なってくる。各ケースにおける離岸流域、向岸流域での代表的な岸—沖縦断面形状と全測線の岸—沖平均縦断面形状を、図-3 に示す。図 3 (a), (b), (c) から、ほぼ等価なエネルギーフラックスを持つ

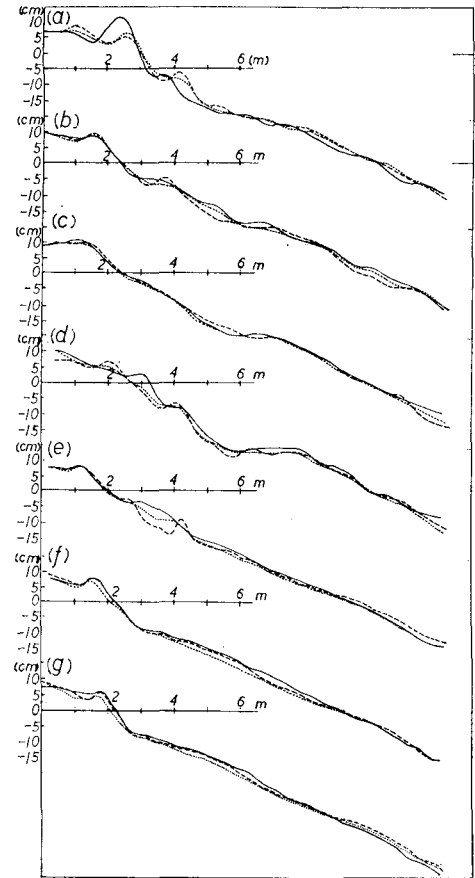


Fig.-3 Beach Profile

規則波、群波、不規則波を作用させても現れる平衡海浜形状において、特に波の及ぶ範囲の違いにより前浜部分や、碎波点あたりでかなり異なることが分かる。また、不規則波による実験であるケース 3 (図-3 (c)) の縦断面形状は、前のケース 2 の結果と比べて、平滑化されており、これは主として、不規則波では個々の波の碎波地点がかなり広い範囲にあることによる波の不規則性の影響によるものと考えられる。つぎに、図-3 (c), (d) はそれぞれ、不規則波実験と、この不規則波の有義波高にほぼ等し

Table-1 Wave Conditions

Wave type	Case No.	Wave height	Period	C value
Regular waves	case 1	9.5 cm	1.2 sec	4.7
Grouping	case 2	2~13.5 cm	1.2 sec	4.0
Random	case 3	13.2 cm	1.2 sec	6.5
Regular	case 4	13.0 cm	1.2 sec	6.4
Random waves	case 5	18.3 cm	1.0 sec	10.1
	case 6	12.1 cm	1.0 sec	6.7
	case 7	7.6 cm	1.0 sec	4.2

い波高を持つ規則波実験の結果を示したものである。不規則波実験の方では全般的に、横方向に一樣なステップ地形を示しているが、規則波実験の方では、砕波点の少し岸側に発達した弧状沿岸砂州を持つ地形が現れており、両者の断面形状の類似性はあまり無い。これらの結果より、等価なエネルギーの波、あるいは有義波高を有する不規則波を作用させても規則波と不規則波で海浜変形の様相は基本的に異なると考えられる。

ところで、ケース4までの実験では、規則波を作用させた場合には、弧状沿岸砂州が発生したのに対し、不規則波実験の場合にはそれが現れなかった。しかし、不規則な波浪の作用下にある現地海岸では、実際に沿岸砂州等の地形が現われる。よって、不規則な波を用いて行った実験によっても、沿岸砂州等の地形が現われるかどうかを確認するためと、不規則波による三次元的な海浜変形の現象をもう少し詳しく調べるために、更に不規則波による実験を3ケース行った。その結果を図-3(d), (e), (f)に示す。有義波高が18.3cmのケース5では、顕著な弧状沿岸砂州が現われている。有義波高が12.1cmと7.6cmのケースでは、横方向にも一樣で滑らかな地形が現れている。これより、沿岸砂州が、有義波高12.1cmから18.3cmの間で発生することが分かる。これに、規則波のものと比較するとかなり大きいことが分かる。

海浜流系と海浜変形の対応について考える。実験の行われた条件内では、沿岸砂州が発達するとき、離岸流域と向岸流域の地形は互いに異なっており、流れと地形の相互作用が強いことが分かる。また、二次元水路実験では断面変化は岸沖方向の砂移動に強く依存するが横方向への砂移動の自由な平面水槽では、たとえ、二次元的と考えられる場合でも断面変化が岸沖だけでなく沿岸方向の砂収支によりまかなわれているところが大きいようである。

3.2 水深変動量の分布

図-4は、各ケースにおける岸-沖方向の水深変動量の分布を示したものであり、点線が全測線の平均水深変動量、破線が離岸流域の代表的な測線、実線が向岸流域での代表的な測線での分布を表している。4ケースまでの沿岸方向に平均した水深の変動量分布では、岸側のピークの位置は規則波に比べ不規則波、群波の方がより岸の方にあることが分かる。これは、不規則波、群波中には規則波に比べ大きな週上波が数多く含まれているためと考えられる。また、沿岸砂州の発達したケース1, 2, 4では4m付近に水深変動量の負の部分と正の部分が対を成している。さらに、離岸流の発生している場所での水深変動量(破線)をみると、岸側から2番目のピークがバーの発生している位置に、明瞭に現れている。

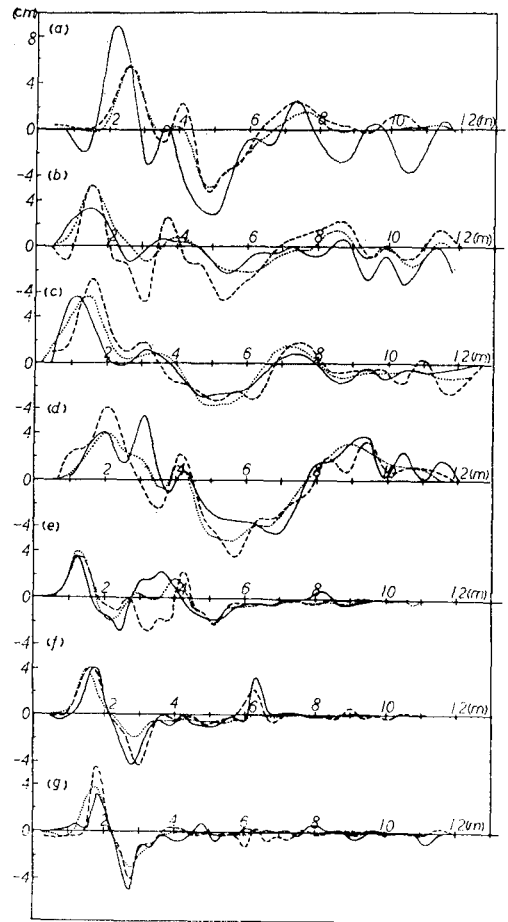


Fig.-4 Depth Change

次いで、後半の不規則波による3ケースについて考える。平均水深変動量についてみると、有義波高の大きい順にピークが岸側に存在しており、前浜頂部の位置がこの順に岸側にあることと対応している。さらに、水深の変化が有義波高の大きい順に沖側まで進んでいることがわかる。またかなり異なる有義波高を用いたにもかかわらず、岸側ピークの絶対値にそれほど相違がない。ここでも、離岸流の発生していた領域での水深変動量は、砂州発生位置付近に顕著なピークを有している。

全体的にみれば、砂州の発生した海浜では、平均水深変動量に比べて、離岸流域に対応している水深変動量の分布が砂州付近にはっきりとしたピークを持っている。

3.3 岸-沖漂砂分布

図-5に沿岸方向に平均化した各ケースにおける岸-沖漂砂量分布を示す。上側が岸向き、下側が沖向き方向の漂砂量分布を表している。前者4ケースにおいては、群波、不規則波がほぼ岸向きの漂砂量分布を持つものに対して、規則波のものは、岸側で岸向き、沖側で沖向きの漂砂量分布を持っているのが対照的である。後者3ケー

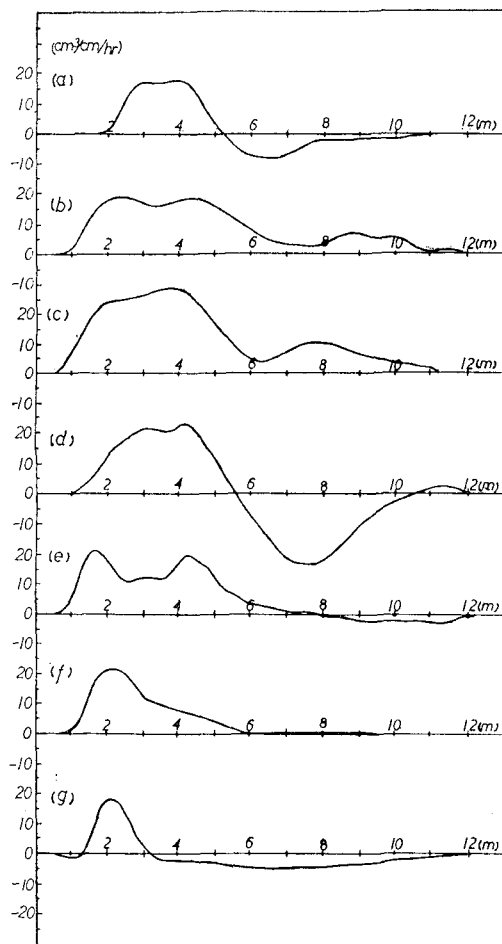


Fig.—5 Onshore Offshore Sediment Transport

スにおいては、有義波高が最大のものが、2山分布を持ち、その他2ケースのものが、1山分布を持っているのが特徴的である。

3.4 海浜変形と碎波帯の水理現象

3.1 で述べたように、弧状沿岸砂州の発生したケース1, 2, 4, 5では、測線毎に海浜断面形状が異なっている。このような地形の三次元性を考えるために、規則波実験により観察された経時的な海浜変形と砂の移動状況を図—6 (a) に、さらに、それと関連して浮子と染料により観察された碎波帯の水理現象を 図—6 (b) に示す。図—6 (a) において弧状沿岸砂州が形成されると、次第に、矢印で示されるような砂州が屈曲した部分を通して砂が集团的に碎波帯に侵入してくる。図中黒い部分が砂が密に堆積している部分であり、斜線部分は少し堆積している部分である。しだいに、その集团的に移動してくる砂のフロントが汀線に接合すると、汀線は部分的に前進し、結果として、カスプ地形が汀線付近に形成される。その後、この砂は、汀線に沿って移動し、汀線の非一様性をならしていく。このような過程から、幅広い領域内

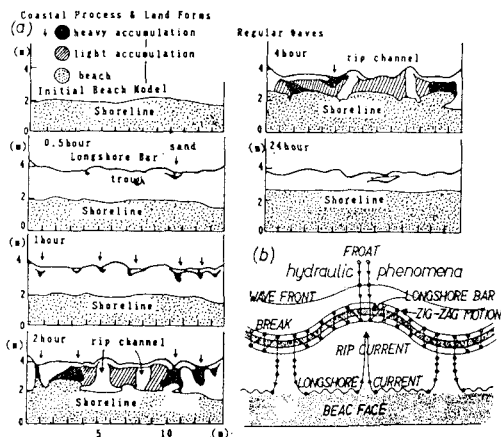


Fig.—6 Sediment Drift and Hydraulic Phenomena in Nearshore Zone

で起こる漂砂には、かなり位置的に集中して起こるものがあることが分かった。このような空間的に非一様な漂砂が起きる原因を調べるために、碎波帯に過マンガン酸カリウム溶液を投入して海浜流系を調べた後、弧状沿岸砂州の沖合いに浮子を投入し、カメラで2~3分間シャッターを開放して撮影し、その運動を調べた。碎波帯沖合いに投入した浮子は、質量輸送により徐々に碎波帯に近づいて来る。そして碎波により沿岸砂州頂部を一たん越えるが、沖側に押し返され、砂州頂部を沖側に越える。そして次の碎波により砂州頂部を岸側に越えて来るといような運動を繰り返し、結局、この沿岸砂州上をジグザグ運動をして行き、最終的には、砂州が岸側に屈曲したところを通して碎波帯内に侵入し、その後、沿岸流、離岸流によって移動して行く。このような浮子の運動は、比重、粒径は実際の砂と異なるが、このタイプの海浜変形における漂砂移動を代表していると考えられる。これは、前述した、砂の位置的に集中した移動を説明している。

4. 結 論

実験を通して、次のような結論がえられた。

- 1) ほぼ等価なエネルギーフラックスを持つ、規則波、群波、不規則波を海浜模型に作用させると、それぞれの平衡海浜形状は異なる。
- 2) 不規則波と、その有義波高とほぼ同じ波高を持つ規則波を作用させても、それぞれの平衡海浜形状は異なる。
- 3) ケース1, 2, 3, 4の結果より、不規則波による断面形状は、その他のタイプの波によるものと比べて、平滑化されており、これは波の不規則性の影響と考えられる。さらに、実験では、海浜流の強さは、不規則波によるものの方が、規則波によるものに比べてかなり弱いことが観察された。

本報告では海浜変形に及ぼす波の不規則性や二次元性についての概観にとどまったが、今後データを集積して詳しく調べていくつもりである。

謝辞

実験に当たっては、卒業生の泉誠司郎、北村司、有田征宏の諸氏にご協力を頂き、深湛の謝意を表します。

参考文献

- 1) 植村直登・服部昌太郎：合成波による海浜地形変化について，第40回年講演集，第2部，pp. 617～618.
- 2) 佐藤道郎・西 隆一郎・東 秀樹・多田好宏：海浜変形に及ぼす入射波高時間変化の影響に関する平面水槽実験，第40回年講演集，第2部，pp. 613～615.
- 3) 大塚行則・三村信夫・渡辺 晃：不規則波による二次元海浜変形と岸沖漂砂量，第31回海岸工学講演集，pp. 321～325, 1984.
- 4) 入江 靖・柴山知也・渡辺 晃：不規則波による二次元海浜変形と岸沖漂砂量，第32回海岸工学講演集，pp. 316～320, 1985.
- 5) Dette, H. H. and K. Ueiczka: Velocity and sediment concentration fields across surf zones. Abstracts. 20th Conf. Coastal Eng., pp. 83～84.
- 6) Goldsmith, V., D. Bowman, K. Kiley, B. Burdick, Y. Mart and S. Sofer: Morphology and dynamics of cres-

centic bar systems 18th Conf. Coastal Eng., pp. 941～953.

付 録

不規則波のエネルギーフラックスの算定について述べる。

規則波のエネルギーフラックスは，次式で示される。

$$W = \frac{1}{8} \rho g H^2 \cdot C_g \quad \dots\dots\dots (1)$$

これは，不規則波を構成する各成分波にも適用できると考えると，不規則波のエネルギーフラックスは

$$W_{ran} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{8} \rho g H_n^2 \cdot C_{gn} = \sum_{n=1}^{\infty} \rho g S(f_n) \cdot C_{gn}$$

ここで深海波近似を用いると，

$$W_{ran} = \sum_{n=1}^{\infty} 0.78 \rho g S(f_n) / f_n \quad \dots\dots\dots (2)$$

スペクトル関数に Bretschneider-光易型のものを $S(f_n)$ に用いると，

$$W_{ran} = 0.0854 \rho g H_{1/3}^3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式を，不規則波のエネルギーフラックスの算定に用いた。(終)