

不規則波による海浜変形に関する実験的研究 (第一報)

西 隆一郎*・佐藤 道郎**・又野 康治***
牧野 一正***・安井 広宣***

1. ま え が き

海浜変形過程については単一周期の規則波を使用した移動床実験により、従来より数多くの研究がなされ多くの知見が得られている。しかしながら、これら多くの実験結果を現地海岸に読み替えていく上でまず解明されるべき問題として、(i)外力として作用している波浪の不規則性の効果、(ii)碎波帯付近の諸過程の三次元性、があるように思われる。問題を二次元に絞れば、波の不規則性を考慮すれば良く、これについては、『海浜変形を支配する代表波』という概念を用いて、渡辺ら¹⁾、柴山ら²⁾は不規則波による数多くの二次元海浜変形実験を行い興味ある知見を述べている。更に、柴山³⁾は数値シミュレーションにより不規則波による海浜変形の代表波の考察を行っている。また、大型水路を用いて急勾配斜面に対する実験が、Dette, H. H. ら⁴⁾により成されている。理論的な取扱としては、Hsiang Wang ら⁵⁾により、不規則波の作用下での浮遊砂の機構について研究が成されている。また、不規則振動流を用いた、佐藤ら^{6),7)}の実験的研究が続けられている。これらが不規則波を用いたのとは異なり、二つの波高を持つ波を不規則波のモデルとして採用し、海浜変形に対するこの波の効果を検討した服部ら⁸⁾の研究もある。この様にして、不規則波による二次元海浜変形に関する研究が行われているが、現地海岸は、三次元的な広がりを持つ上、二次元実験ではなかなか把え難い海浜流による地形変化等への寄与もあり、二次元実験結果との対応を見るためにも、三次元実験を行う必要があると思われた。よって本研究では、平面水槽を用いて不規則波による三次元海浜変形実験を行い、不規則波による海浜変形特性と、海浜変形に対する代表波ということについて考察を進める。特に規則波と不規則波の海浜変形を比較する場合においては、樁木による模型底質の選定条件⁹⁾等を参考とし、海浜断面形状の等価性、砂の移動限界水深、汀線位置、砂の移動形態等が重要であると考えられたが、本論文においては砂の

移動形態についての観測、考察は行えなかった。

当面、代表波としては、1/10 最大波、有義波、平均波を用いて、整理を行った。

2. 実験方法

実験は、長さ 26.7 m、幅 14 m、深さ 1.2 m の平面水槽に、中央粒径 0.6 mm の海浜砂を用いて 1/20 勾配の一樣斜面を設置し、波を 24 時間ないし 12 時間作用させ、その海浜過程を測定した。実験の詳細については西らの研究¹⁰⁾に準ずるものであり、それを参照されたい。波の条件は表—1 に示す通りであり、不規則波における一般的な代表波高である、1/10 最大波高、有義波高、平均波高がそれぞれ規則波の波高とほぼ等しくなるように条件を設定してある。実験に用いた不規則波は、Bretschneider—光易型のスペクトル形状を持つ波である。但し、表—1 において不規則波の周期は有義波周期を表している。

3. 実験結果と考察

規則波、不規則波における最終地形の一例をそれぞれ図—1 に示す。(a)がケース 4、(b)がケース 8 のものであり、沿岸方向に非一樣な三次元性の含まれたデータとなっている。図中、測線番号 1 から 46 まだが沿岸方向 30 cm 間隔の海浜縦断面形状であり、一番下のものが全測線の平均縦断面形状である。図—2 には、各ケース

表—1 波の条件

規則波	ケース	波高 $H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}	周期
規則波	ケース 1	4.0 (cm)			1.0 (sec)
規則波	ケース 2	5.0 (cm)			1.0 (sec)
規則波	ケース 3	9.0 (cm)			1.0 (sec)
規則波	ケース 4	12.5 (cm)			1.0 (sec)
不規則波	ケース 5	9.7 (cm)	7.6 (cm)	4.8 (cm)	1.0 (sec)
不規則波	ケース 6	13.3 (cm)	10.5 (cm)	6.6 (cm)	1.0 (sec)
不規則波	ケース 7	15.4 (cm)	12.1 (cm)	7.6 (cm)	1.0 (sec)
不規則波	ケース 8	18.0 (cm)	14.2 (cm)	8.9 (cm)	1.0 (sec)
不規則波	ケース 9	23.2 (cm)	18.3 (cm)	11.4 (cm)	1.0 (sec)

* 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

*** 学生会員 鹿児島大学 工学研究科

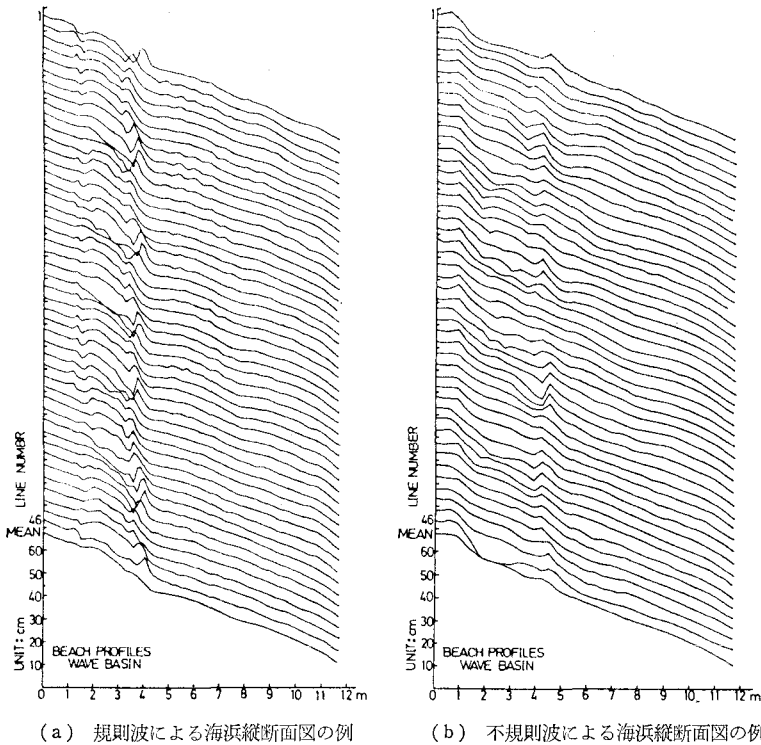


図-1

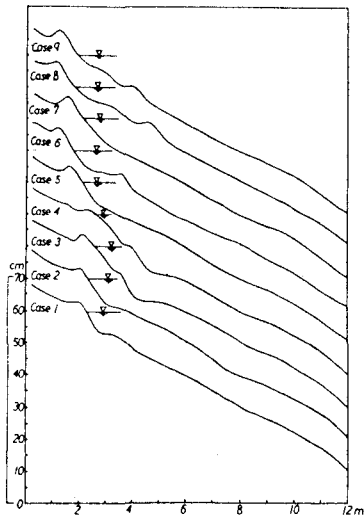


図-2 各ケースにおける46測線の平均縦断面図

における平均縦断面形状を示してある。図-3 には平均水深変化量と漂砂量を示してある。図-2, 図-3 より、不規則波における海浜地形は一般的に遡上波の影響のために岸側の変形がより奥まで進み、また沖側の沿岸砂州発生位置もより沖側にあることが読み取れ、既に報告されている。従って、砕波帯間隔は不規則波の方が広くなっている。また、この平均地形は、孤状の沿岸砂州が発

達せず沿岸方向に一樣な断面形状を持つ場合は、この平面的な地形を良く代表している。しかし、孤状沿岸砂州が発達して、沿岸方向に

一樣でない場合には、バー、トラフ地形といったものがかなり平滑されたものとなる。実際、海浜流等の影響のために、沿岸方向の縦断面形状の非一樣性が起きると考えられ、二次元水路で行った実験結果と、どの測線が対応が効くのか、あるいは、平均地形と対応するのか等については、まだ良く分かっていない。

3.1 三次元海浜地形の代表波による比較

さて、規則波による海浜地形と不規則波による海浜地形を比較するときの指標としてはまず、規則波高と1/10最大波高、有義波高、平均波高をそれぞれ等しくすることが考えられる。波の周期に関しては、不規則波の1/10最大波周期、有義波周期、平均周期はそれぞれあまり変わらないものと見なし、ここでは Bretschneider-光易型スペクトルを用いる為に有義波周期を代表周期として、規則波の周期と等しくなるようにしてある。

図-4 に、a) 規則波高と1/10最大波高、b) 規則波高と有義波高、c) 規則波高と平均波高がそれぞれほ

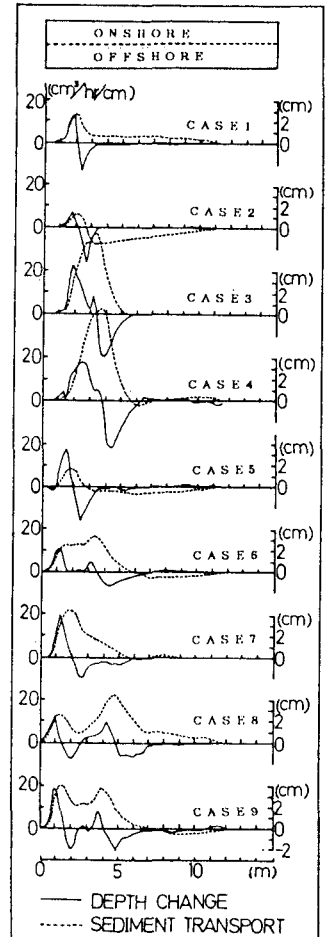
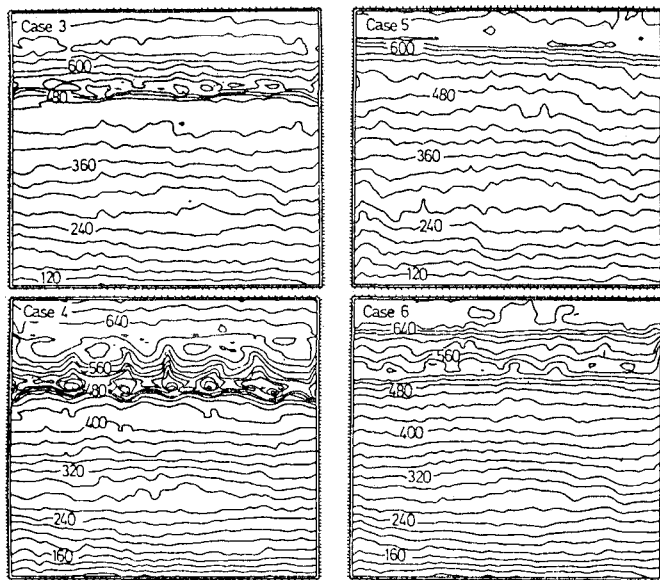
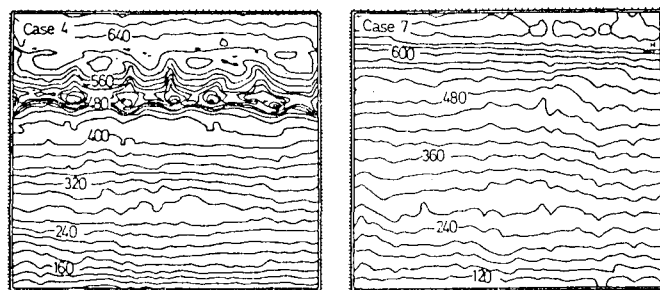


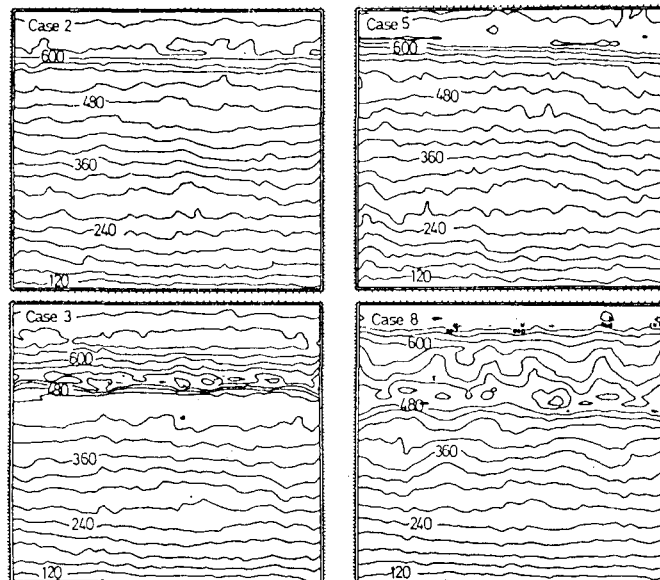
図-3 各ケースにおける46測線の平均水深変化量と平均漂砂量



(a) 規則波高と1/10最大波高がほぼ等しい場合



(b) 規則波高と有義波高がほぼ等しい場合



(c) 規則波高と平均波高がほぼ等しい場合

図-4 規則波・不規則波による地形の等深線図

ほぼ等しい場合の等深線図を示してある。

まず、図-4 a) はそれぞれ規則波高が 9 cm と 12.5 cm, 不規則波の 1/10 最大波高が 9.7 cm, 13.3 cm の場合である。規則波の波高が 9.0 cm の場合には沿岸砂州が発達しているが不規則波の方では前浜部分に砂が顕著に堆積しており、沿岸砂州の発生は見られない。波高がもう少し大きい規則波高 12.5 cm, 1/10 最大波高 13.3 cm の場合は両方ともに沿岸砂州が発達しているがその比高は規則波におけるものの方が大きく、更に孤状の沿岸砂州地形も規則波におけるものの方が顕著に現れている。但し、不規則波の方においては、前浜頂部における砂の堆積が規則波のものに比べ多くなっている。どちらにおいても、地形変化の量は規則波によるものが大きく、これは、規則波高と、1/10 波高を同じにした場合不規則波においては作用する波のほとんどが規則波に比べ小さくなってしまいう事に起因していると思われる。

次いで、規則波高と有義波高がそれぞれ 12.5 cm, 12.1 cm とほぼ等しいものについて述べる。これについても、規則波では沿岸砂州が発達しており、逆に、不規則波の方では、前浜付近に砂が堆積した形状となっており、地形変化量も規則波のものに比べ不規則波のものは小さい。

3 番目に規則波高が 5 cm と 9 cm, 不規則波の平均波高が 4.8 cm と 8.9 cm の場合の等深線図を見ると、波高が小さい方では沿岸方向に一樣なステップ地形となり、波高が大きい方ではともに沿岸砂州の発達する海浜地形を示している。しかしながら、沿岸砂州から前浜頂部までの距離は、不規則波の方が大きい。沿岸砂州の比高は規則波におけるものの方が大きくなっている。規則波高と平均波高を等しくした場合、規則波においては地形変化が狭い領域において強く現れ、不規則波においては波のエネルギーが広い領域に作用し地形変化が弱く現れていると言える。

規則波高と不規則波の各代表波高を等しくした場合の三次元海浜地形を比較した結果、各々の代表波高では海浜地形の等価性を得ることは出来なかった。

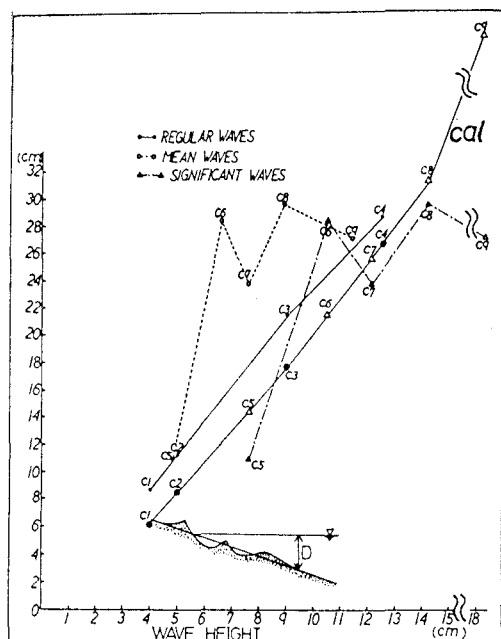


図-5 砂の移動限界水深

3.2 二次元海浜地形の代表波による比較

全 46 測線の平均としての二次元的な縦断面形状を用いて、砂の移動限界水深、汀線位置、前浜頂部の高さ等について、規則波高と有義波高、平均波高を指標として考察を行う。

3.2.1 砂の移動限界水深

初期断面と比較して、水深変化が現れた水深として砂の移動限界を図-5 に示す。図中には、佐藤・田中らによる表層移動限界¹⁴⁾による計算値もあわせて示してある。実線で示す規則波を用いた場合の移動限界水深は、佐藤・田中の式によるものに比べ 2 cm 程度のケースにおいても大きくなっているが、大体の傾向において、合っているといえよう。不規則波による実験結果は、規則波によるものに比べるとかなりばらつきが大きくなっている。平均波で整理したものは、規則波のものに比べて大きめの値をとるものが多い。また計算値に比べても、全ケースにおいて大きい値をとっている。有義波高を用いて整理したものは、規則波の実験値のものに比べると、やや小さめの値を与えているが、計算値と比べると、その回りにばらついており、不規則波による海浜変形の移動限界水深の計算を行うには、有義波を用いて整理の方が妥当な結果を与えることが分かる。

3.2.2 汀線変動について

図-6 に初期汀線位置からの汀線変動量を波作用時間を横軸に示してある。堀川・砂村等により提唱された海浜縦断面の分類分けに従えば、実験結果はタイプ I、タイプ IIa、IIb 型のものだけが現れており漂砂量が全断面

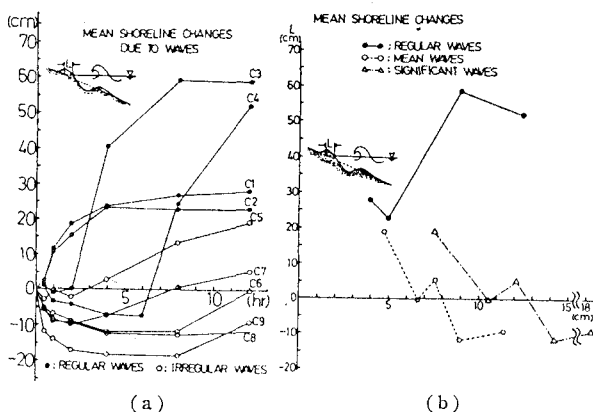


図-6 汀線変動図

において沖向きとなり汀線後退に続くタイプ III のものは再現できていない。不規則波のケースにおいては、規則波のものに比べてその変動量が小さいことが分かり、波作用後 12 時間後の汀線変動量を平均波、有義波を用いて整理したのが図-6 (b) である。これで見ると、平均波、有義波を用いて整理した場合どちらにおいても同じ不規則波の代表波高に対して、規則波の方における汀線変動量が大きいことが分かる。

3.2.3 前浜の高さ

週上波の特性を示すものとして前浜頂部の高さが考えられ、図-7 に示す。図より、汀線変動とは逆に平均波で整理すれば不規則波の方が前浜頂部の高さは高くなっている。これは、不規則波の方が大きな週上波が多く含まれているためである。

3.2.4 平均的な水深変化量について

図-8 (a) は岸側と沖側において水深変化が表れた点としての移動限界間の水平距離をプロットしたものである。規則波で整理したものは、平均波と有義波で整理したものの中間に位置することが分かる。また図-8 (b) は、各ケースにおける全計測点 (1,840 点) での初期地形に対する 12 時間後の水深変化の総和をプロットしたものである。これからデータのばらつきはあるが、平均波で整理した場合、水深変化量の総和 (地形変動量) は、規則波のものとはほぼ重なり合っている。有義波で行った場合は、規則波のものに比べかなり小さめの値をあ

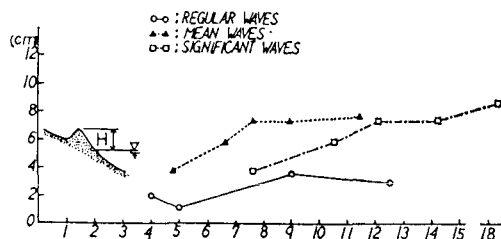


図-7 前浜頂部の高さ

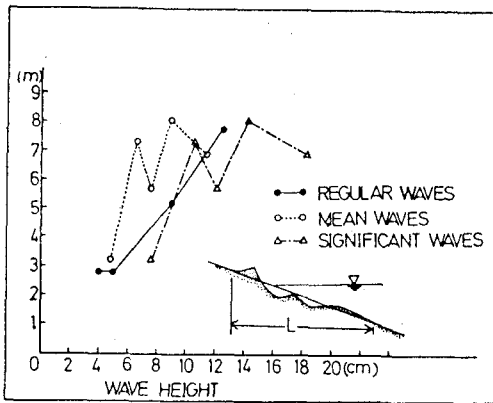


図-8 (a) 岸沖水深変動部の水平距離

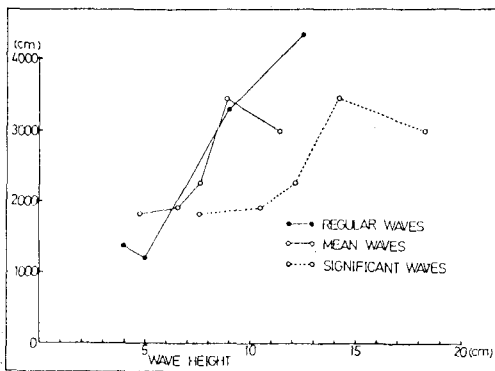


図-8 (b) 水深変動量の総和

たえている。よって、水深変化量の総和÷岸沖方向移動限界点間距離により、平均的な水深変化量を定義すれば、規則波によるものは、平均波、有義波で整理したものの方に対し大きいことが分かる。

4. 結 語

1) 三次元的な広がりをもつ平面水槽を用いて実験を行った結果、その平均的な海浜地形は、規則波に対し、不規則波の 1/10 最大波高、平均波高、有義波高を用いて整理しても、海浜地形の等価性は良くない。

2) 二次元的な、海浜地形の等価性を考える為に、沿岸方向 46 測線の平均としての平均縦断面形状を用いて種々の指標の比較を行った。これによれば、規則波による砂の移動限界水深はほぼ、平均波、有義波の間の代表波高を用いれば整理できそうである。

3) 汀線の変動に関しては、規則波のものに比べ不規則波によるものは、その変動量が小さい。更にこれについては有義波、平均波のどちらを用いても、規則波のものと同一結果を得ることはできなかった。

4) 漂砂現象の起きている区間として、岸側と沖側の水深変化の限界点間の距離について見ると、規則波によるものは、平均波と有義波を用いて整理したもの之间存在する。また、その水深変化量の総和は平均波を用いた場合、ほぼ一致している。

実験装置の故障のため、当初予定したものに比べ少ないケースしか行えなかったこと、また、使用した砂が粗い砂であるために、今後細砂を用いた実験を行うべきであること等の問題が残っており、後者については今年度の実験で行う予定である。

謝 辞

実験機器の調整については本講座中村和夫技官の指導を仰ぎここに深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大塚行則・三村信男・渡辺 晃：不規則波による二次元海浜変形と岸沖漂砂，第 31 回海岸工学講演集，pp.321~325，1984。
- 2) 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。
- 3) 柴山知也・堀川清司：不規則波による底質移動量の数値実験，第 40 回年講概要集，第 2 部，pp.305~306，1985。
- 4) Dette, H.H. and K. Ueiczka: Velocity and sediment concentration fields across surf zones. 20 th Conf. Coastal Eng., pp.1062~1076, 1986。
- 5) Hsiang Wang and S. S. Liang: Mechanics of Suspended Sediment in Random Waves. Journal of Geophysical Research, Vol. 80, No. 24, pp.3438~3494, 1975。
- 6) 佐藤慎司・美谷邦章・渡辺 晃：不規則振動流下における砂漣形状と漂砂量，第 33 回海岸工学講演集，pp.228~232，1986。
- 7) 佐藤慎司・杉浦志樹・渡辺 晃：不規則振動流中における砂移動機構と砂漣の消滅限界，第 34 回海岸工学講演集，pp.246~250，1987。
- 8) 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 回年講概要集，第 2 部，pp.617~618，1985。
- 9) 榎木 亨：移動床模型実験の相似率，1984 年度(第 20 回)水工学に関する夏期研修会講義集，B コース，1984。
- 10) 西隆一郎・佐藤道郎・中村和夫・矢車美政・又野康治：規則波・不規則波を用いた三次元海浜変形実験について，第 34 回海岸工学講演集，pp.302~306，1987。
- 11) 佐藤昭二・用中則男：水平床における波による砂移動について，第 9 回海岸工学講演集，pp.95~100，1962。