

海浜縦断地形に対する護岸の影響に関する研究

三村信男*, 山本 穰**, 加藤始*

(平成元年 8 月 31 日受理)

Study on the effects of seawalls on the beach profile

Nobuo MIMURA*, Minoru YAMAMOTO** and Hajime KATO*

Abstract—In the present study, the effects of vertical seawalls on the beach profile have been studied through a series of experiments. Irregular waves with Bretshneider-Mitsuyasu type spectrum, as well as regular waves, were used as incident waves, and a model seawall was set at positions from the shoreline to the midpoint in the surf zone. In the experiments, beach profile changes were traced by measuring the wave height distribution and beach profiles along the flume at fixed periods of time.

Among the subject examined are the critical condition for the toe scouring, classification of scouring and deposition at the toe of seawalls, changes in beach profiles and cross-shore sediment transport rate. New criteria were suggested for the toe scouring, and the effects of the wave reflection due to the seawall and wave irregularity on the beach profile change were determined.

The most significant effect of the presence of seawalls is the formation of partial standing waves in the surf zone in front of them. All the phenomena associated with the beach profile change are mainly caused by this partial standing waves. In order to adapt the existing formula for the cross-shore sediment transport rate to beaches with a seawall, a method were developed to evaluate bottom shear stress by the partial standing waves. It was certified that the bottom shear stress is effective to express the cross-shore sediment transport rate even for the beach with a seawall, if the partial standing waves were taken into account through the present method.

1. 緒 言

主要な河川におけるダムの建設によって、海岸への漂砂の供給が減少し、各地で海浜の侵食・欠潰が進行しつつある。更に、最近では、地球の温暖化にともなう海面が上昇し、今後数十年の間に全世界で海岸への脅威が広がるのではないかと懸念されている。こうし

た事態に対処するために、海岸を有効に保全・防護する方策の確立が求められている。

海浜の侵食・欠潰が顕著になって以来、海岸構造物の海浜保全機能と影響について多くの検討が行われてきた。護岸もその代表的な対象の1つであるが、護岸を建設したために逆に堤脚部が洗掘されたり、前浜の消失を助長した例も数多く報告されている。Photo 1

* 茨城大学工学部建設工学科(日立市中成沢町)

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316, Japan

** 茨城大学大学院工学研究科建設工学専攻(日立市中成沢町)

Graduate Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316, Japan



Photo 1 Seawall failure on Oarai Coast

は、大洗海岸において護岸が倒壊したときの状況である。護岸をめぐる従来の研究^{1),2)}の多くは、このように護岸の倒壊等の被害が相次いだ事から、前面の洗掘に集中していたが、近年、護岸自体の保護のためにも前面に砂浜が存在していることの重要性が認識されてきている。汀線の近くに構造物を設置した場合の影響として、堤体直前だけでなく海浜全体の応答の重要性が認識されてきたわけであるが、海浜縦断面全体を見渡した影響に対する検討は緒についたばかりである^{3),4),5)}。

そこで、本研究では、波動水槽において模型海浜を用いた実験を行い、種々の波浪条件の下で前面の洗掘・海浜縦断面地形の変化・岸沖漂砂量分布の変化等、護岸の海浜地形に対する影響を検討した。

2. 実験方法

実験は、Fig. 1 に示されるような、長さ21m、幅60cm、高さ55cmの両面ガラス張りの造波水槽で行った。模型海浜には、中央粒径0.23mmの砂を用い、それを1/20の勾配を持つ斜面上に18cmの厚さで一様に敷いて、初期海浜とした。実験としては、この初期海浜上の所定の位置に模型護岸を設置し、波浪を作用させながら、所定の時間間隔で波高の岸沖分布と海浜縦断面地形を測定し、地形変化を追跡するというものである。この測定結果から、種々の入射波条件の下で護岸の存在が波浪場と海浜地形、岸沖漂砂量分布にどのような影響を及ぼすかを検討した。そのため、対照として護岸のない自然海岸のケースでも同様な測定を行った。

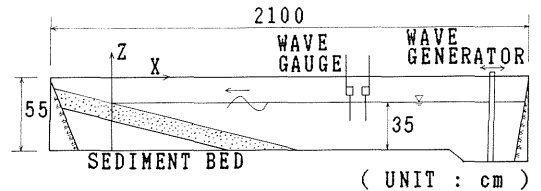


Fig. 1 Experimental facility

海浜縦断面地形は、水路上の台車に砂面測定機を設置し、一定速度で走行させることにより測定した。護岸がある場合、その前面は激しく変化する。この護岸前面の地形変化については特に注意し、ものさしでより頻繁に測定した。

波高の測定には容量式波高計を用いた。測定の空間の間隔は水槽軸に沿って20cm間隔とし、時間間隔は、波高データがその前後に測定された海浜地形に対する代表的な外力となるような時点で設定した。

現地の波浪は不規則波でありながら、実験室における従来の研究では、ほとんどの場合規則波が用いられてきた。そこで、実験波としては、規則波と不規則波を用い、波の不規則性の影響を検討することにした。不規則波としては Bretschneider・光易型のスペクトルを持つものを用い、規則波との対応は、大塚らの研究⁷⁾に基づいて平均波の諸元によってとることにした。水槽中で観測された不規則波のスペクトル一例を Fig. 2 にしめすが、充分目標スペクトルが再現されていたと思われる。波浪条件としては、堀川・砂村^{8),9)}のCの値で、侵食・中間・堆積型の地形変化を生成する幅広い条件をとった。護岸の位置は汀線から碎波点近くまで変化させたが、汀線付近に護岸がある場合の海浜縦断面の応答を主たる対象とした。

結局、実験は入射波の条件と護岸の位置を組み合わせ合計32ケース行った。このうち、規則波と不規則波とが対応している実験ケースの一覧を Table. 1 に示す。

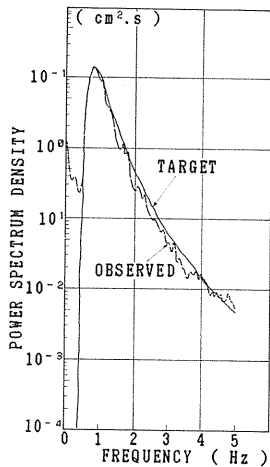


Fig. 2 Target and observed spectra of irregular waves

Table 1 Experimental conditions

ケース		H (cm)	T (s)	I/I₀	C	波況条件
AK1	RE	6.56	1.04	0	7.32	侵食型
AF1	IR _{1/2}	9.90	1.11	0	11.01	侵食型
	IR _{II}	6.80	1.04	0	7.73	侵食型
AK2	RE	5.44	1.26	0	5.38	中間型
AF2	IR _{1/2}	7.92	1.37	0	7.36	中間型
	IR _{II}	5.19	1.26	0	5.97	中間型
AK3	RE	2.97	1.65	0	2.39	堆積型
AF3	IR _{1/2}	3.82	1.89	0	2.69	堆積型
	IR _{II}	2.39	1.56	0	2.00	堆積型
AK4	RE	8.69	1.43	0	7.81	侵食型
BK1	RE	6.22	1.06	0.05	6.88	侵食型
BF1	IR _{1/2}	9.72	1.15	0.05	10.22	侵食型
	IR _{II}	6.48	1.02	0.05	7.31	侵食型
CK1	RE	6.21	1.05	0.1	7.73	侵食型
CF1	IR _{1/2}	9.75	1.15	0.1	10.26	侵食型
	IR _{II}	6.44	1.03	0.1	7.22	侵食型
DK1	RE	6.21	1.05	0.25	6.90	侵食型
DF1	IR _{1/2}	9.905	1.113	0.25	10.52	侵食型
	IR _{II}	6.707	1.012	0.25	7.19	侵食型

3. 護岸前面の洗掘

海浜地形に対する護岸の影響として最初に注目されたのは護岸前面の洗掘である。護岸前面の地形は波の作用時間とともに変化するが、榎木・川崎⁴⁾は、この変化のパターンが Fig. 3 に示すような4つのタイプに分けられるとした。この4つのタイプは今回の実験でも確認されたが、その特徴は次の通りである。

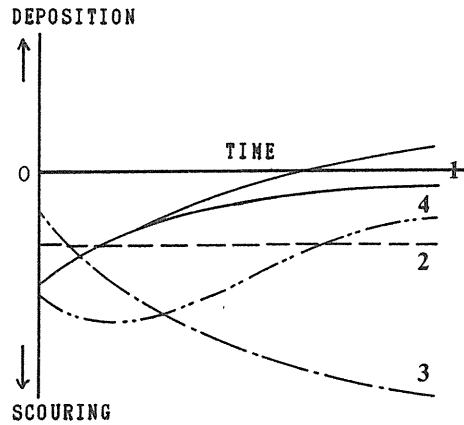


Fig. 3 Schematic diagrams of scouring

- タイプ1：最初急激に掘れた後、埋め戻される。
今回の実験では、最初から徐々に堆積する場合や、埋め戻しが初期砂面以上に生じる場合もこれに含めた。
- タイプ2：最初急激に掘れた後、そのままの状態が続く。
- タイプ3：最初急激に掘れた後、引き続き徐々に掘れる。
- タイプ4：しばらくして最大洗掘深に達した後、埋めもどされる。

これらの中では、洗掘が継続するタイプ3が最も危険な洗掘形態であると考えられる。

前面の洗掘の形態と程度とは、入射波の条件とともに護岸の位置によっても変化する。そこで、一定の入射波条件の下での護岸の設置位置と前面の最終洗掘深・堆積高との関係を調べた。その結果を Fig. 4 に示す。これを見てわかるように、堆積・洗掘の境界の位置は、規則波で $X/X_0=0.05$ 、不規則波で $X/X_0=0.1$ 程度である。ここで、 X は汀線から測った沖方向の距離、 X_0 は砕波点までの距離である。この結果より前面洗掘が生じるのは、護岸が汀線よりやや沖側に出た場合、すなわち前面に一定の水深があるような条件が生じた場合であることがわかる。また、波の特性としては、規則波の方が汀線付近における洗掘傾向が大きいことがわかる。

近年、佐伯¹⁰⁾は、こうした護岸前面の洗掘と堆積を判別・推定する上で、入射波の条件とともに run-up、底質の粒径、護岸法面の傾斜を考慮したパラメタと反射率 K_r とが有効であることを示した。佐伯らのパラメ

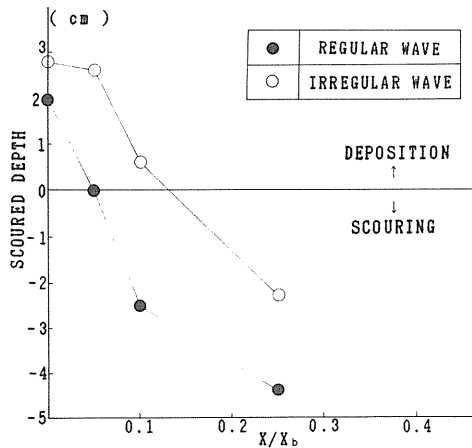


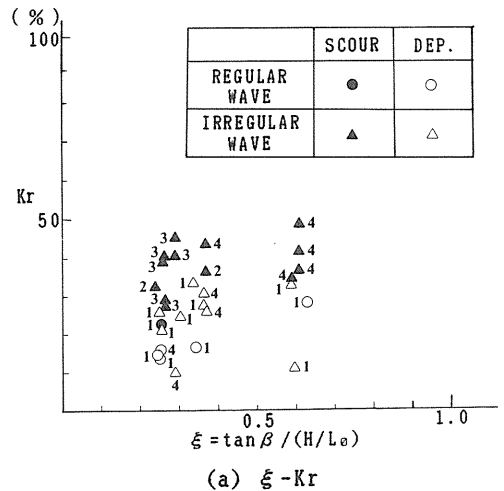
Fig. 4 Critical positions for scouring

タは、広範な実験結果に基づいて提案されているが、従来から用いられてきた海浜変形を支配するパラメタとの連続性がうすく、他の海浜変形現象との関連をつけにくいらいがある。又、反射率は護岸を設置した後に初めてわかるものであり、前面洗掘を事前に推定するために用いるパラメタとしては不適切である。そこで、これらを他のパラメタで置き換えることを試みた。

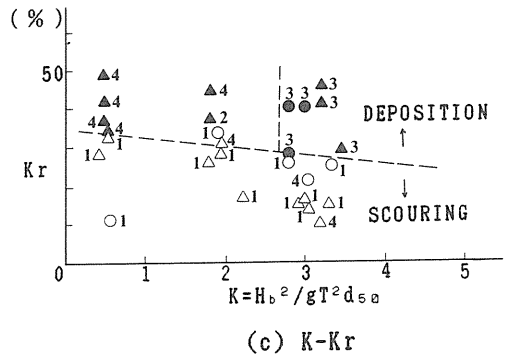
まず、佐伯らのパラメタの代わりに、surf similarity parameter¹¹⁾ $\xi = \tan\beta / (H/L_0)^{1/2}$ と砂村の提案したパラメタ¹²⁾ $K = H_b^2 / gT^2 d_{50}$ をとった。ここで $\tan\beta$ は海浜勾配、 H/L_0 は波形勾配、 H_b は碎波波高、 T は周期、 d_{50} は底質砂の中央粒径である。surf similarity parameterは、一様勾配斜面上での碎波形式や反射率などの碎波帯の大局的な特性を支配するパラメタである。一方、砂村の K は堀川・砂村によって海浜変形の分類に用いられた C と $K = C^{1.5} / (2\pi)$ という関係にあり、これによって碎波帯内の標砂の卓越方向を規定できるとされている。

一方、汀線近傍の波打ち帯に護岸がある海浜での波の反射についてはほとんど研究されていないのが実状である。そのため、反射率をそのまま用いるか、あるいは初歩的なパラメタとして堤体の位置 X/X_b を用いることにした。

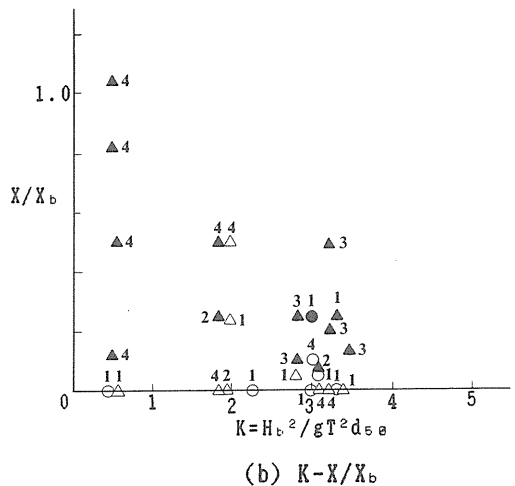
これらのパラメタを組み合わせると、護岸前面の洗掘・堆積を判別した結果を Fig. 5 (a)~(c)に示す。これらの図中で記号の横に添えられた数字は Fig. 3 に示した洗掘のタイプを表している。



(a) ξ - Kr



(b) K - Kr



(c) K - X/X_b

Fig. 5 Classification of deposition and scouring

Fig. 5 (a) は surf similarity parameter ξ と反射率 Kr とをとった場合であるが、ある程度洗掘と堆積の区別

ができることがわかる。しかし、 ξ が小さくなる、すなわち入射波の波形勾配が大きくなるにつれて、小さな反射率でも洗掘が生じるようになり、洗掘と堆積の境界が曖昧になっている。Fig. 5(b) は K と X/X_0 とをとった場合であるが、上下の分離が悪く、反射率の代わりに X/X_0 をとるのでは不適当であることを示している。Fig. 5(c) は、 K と Kr とをとった場合で最もよく洗掘と堆積とが分離されている。しかも、 $K=2.8$ を境界に最も危険なタイプ3の洗掘形態が生じる領域も区別された。 $K=2.8$ とは、堀川・砂村の C の値にして6.8であり、この結果は自然海浜で中間型から侵食型の地形が生じるような侵食性の波が侵入したとき、タイプ3の洗掘が生じることを示している。

以上のように、砂村の K と反射率 Kr とを用いることによって、洗掘のタイプも含めて、護岸前面の洗掘と堆積が判別・推定できることがわかった。現状では前面洗掘の判別・推定のためには反射率 Kr を用いざるを得ない。これは、前面洗掘が護岸による入射波の反射と強く関連していることを示しているが、反射は単に護岸の位置といった単純な条件で決まるわけではない。したがって、これを代表する他のパラメータを見出すことが今後の課題である。

4. 護岸の海浜断面に対する影響

Fig. 6 に、種々の条件の下で形成された最終地形を示す。実線が護岸を置いた時のもので、破線は自然海浜における最終地形である。又、Fig. 7 はこれらのケースにおける岸沖漂砂量分布の経時変化を求めたものである。これらの図から規則波と不規則波、護岸の設置位置、更に入射波の条件の違いによる地形変化の差を見ることができる。

Fig. 6 をみると、規則波と不規則波では明らかに護岸の影響の現れ方が異なっていることがわかる。規則波をみると、bar より小さく砂漣より大きい地形の凹凸、即ち undulation が発達している。この undulation は、波高が大きいほど大きく、又、護岸の位置が沖に出るほど大きい。このことから、地形の undulation の発達は、斜面と護岸による波の反射によって部分重複波が形成されることに強く依存していると考えられる。そのため、これを反射 bar と呼ぶことにする。

この点を検討するために、護岸を設置しないケース $XK1$ (AKI と同じ波浪条件) における反射率の経時変化をとったものが Fig. 8 であり、このケースにおける

地形と波高の岸沖分布とを示したものが Fig. 9 である。Fig. 8 を見ると、同一の実験ケースにおいても時間と共に反射率が大きく変動することがわかる。この間、生じていた現象は、Fig. 9 を見ると理解できる。すなわち、反射率が增大していた3.5時間付近では、地形に顕著な反射 bar が発生している。一方、4.5時間以降反射率が減少しているが、この時期には地形の反射 bar も消滅するか、極めて弱くなっている。この事から反射 bar の発生は、表面波と地形との相互作用の結果生じるものであると考えられる。この相互作用は、Bragg 共鳴¹³⁾ と考えられるが、Bragg 共鳴が発生するような条件下では、何らかの要因で反射率が増加した場合、地形に重複波の波長に対する反射 bar が発生し、それが更に反射率を高めることになる。護岸を設置して反射率を高めると、Bragg 共鳴が助長されることになる。

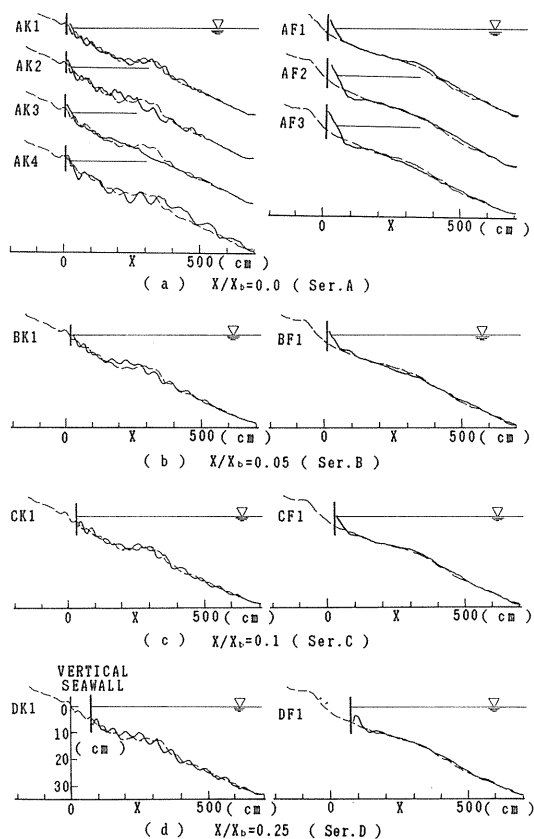


Fig. 6 Final beach profiles

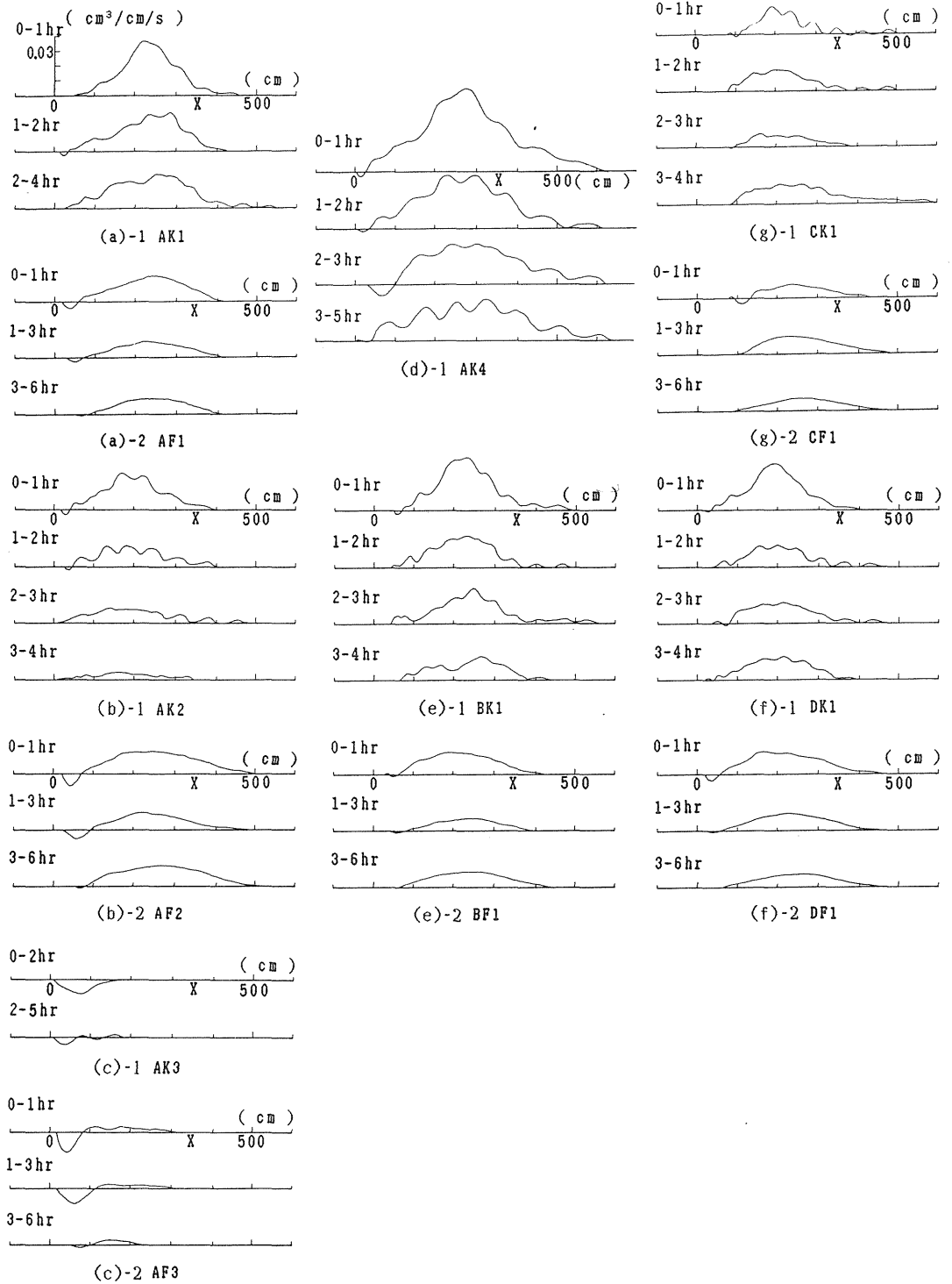


Fig. 7 Distribution of cross-shore sediment transport rate

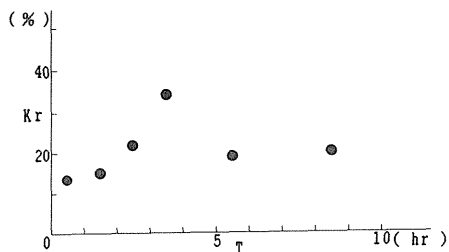


Fig. 8 Temporal change in reflection coefficient

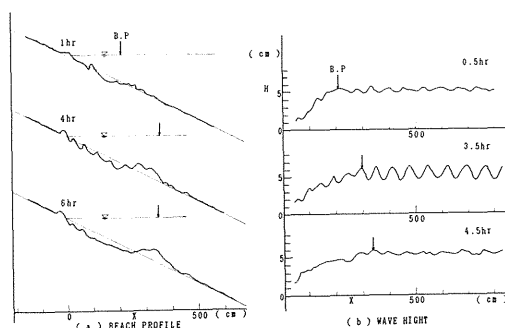


Fig. 9 Bragg resonance between beach profile and surface waves

一方, Fig. 6 において不規則波をみると護岸のごく前面でしか自然海浜との間に差異がみられない。これは不規則波が, 広い帯域の波で構成されているため反射はあるものの, 護岸から離れるにつれて入・反射波の位相の重なりが平滑化されるためであると考えられる。

次に, 護岸の位置に着目してみると, 護岸が沖に出るほど自然海浜と護岸海浜との地形の差が出る区間が長くなっている。この傾向は, Fig. 7 の岸沖漂砂量の分布にも見られる。漂砂量は, その場の局所的な流体運動によって決まるものであるので, 漂砂量分布に差が現れる区間とは, 実は流体運動が変化を受ける区間と考えられる。このことから, この区間を護岸の影響範囲と見なしてよい。即ち, 護岸は設置位置が沖に出るほど碎波帯内の流体運動に大きな影響を与え, その結果, 地形への影響範囲も長くなる。

5. 岸沖漂砂量

海浜地形の変化は, 岸沖漂砂量が場所的に異なるために生じる。従って, 海浜地形に対する護岸の影響を

定量的に明らかにするためには, 岸沖漂砂量分布の検討が不可欠である。

進行波の下で生じる岸沖漂砂量に関する理論的・実験的研究は従来数多く行われてきた。この中では, 漂砂量は, 底質の密度・粒径とともに波による底面せん断応力によって支配されることが明らかになっている。

Modsen, Grant¹⁴⁾は, 波動水槽による実験結果に一方向流下での Brown 型流砂量公式を導入し, 半周期平均の無次元標砂量 ϕ がシールズ数, つまり無次元せん断応力 ψ と次のように関係づけられることを示した。

$$\phi = 12.5 \psi^3 \quad (5.1)$$

ここで $\phi = q / (W_0 d)$, $\psi = \tau / (S - 1)gd$, q は岸沖漂砂量, W_0 は砂の沈降速度, d は粒径, τ は底面せん断力, S は砂の比重である。

一方, 渡辺¹⁵⁾はパワーモデルの概念を用いて無次元標砂量 ϕ とシールズ数 ψ との関係を次のように求めた。

$$\phi = A (\psi - \psi_0) \psi^{1/2} \quad (5.2)$$

ここで, A は実験により定まる定数, ψ_0 は底質の移動限界シールズ数である。

ここでまず, 式(5.1), (5.2)が護岸のある海岸での岸沖漂砂量に対しても適用可能であるかどうかを検討した。そのためには, 各々のケースで各々の地点における岸沖漂砂量と底面せん断応力を求める必要がある。漂砂量は Fig. 7 に示されているように, 既に各ケース毎に求められている。一方, 底面せん断応力は, つぎのようにしてもとめた。波高は, 水槽軸に沿う各地点で計測されているので, それに基づいて, 微小振幅波理論によって底面流速を算定すれば, Jonsson の方法¹⁶⁾によって底面せん断応力が計算できる。

このようにして求めた岸沖漂砂量と底面せん断力との関係を, 無次元化された形でプロットしたのが Fig. 10, 11 である。これらの図は, 規則波と不規則波, 及び波の作用時間毎に区別して示されている。更に図中では, 沖浜帯における漂砂量と碎波帯における漂砂量, 岸向きと沖向きの移動が区別されている。

これらの図を見ると, 規則波, 不規則波ともに, 造波初期の漂砂量は従来の表現式でよく表わせることがわかる。とくに, 渡辺の式の適合度が高い。しかも, 沖浜帯と碎波帯, 沖向きと岸向きの差がほとんどなく,

ほぼ一本の曲線で表現できるようである。

但し、時間の経過とともに式(5.2)の A の値は小さくなっていく。これは、造波時間とともに漂砂量が減少して行くためである。さらに、造波時間が経過し、不規則波で6時間以上になると、式(5.2)の関係が崩れており地形変化が平衡状態に近づいたことを示している。

Fig. 10, 11 の様に岸沖漂砂量が整理できるとしても、護岸のある海岸での漂砂量が進行波に対する漂砂量式で完全に表せるというわけではない。最大の問題は、これまでの検討では進行波を仮定して底面せん断応力を算定したのに対して、実際には護岸が存在し波の反射率が相当大きいと言うことである。とくに規則波の下では明瞭な部分重複波が形成されていた。そこで、部分重複波の下での流速場を求め、それに基づいて底面せん断応力を評価することを考える。

入射波と反射波の振幅を各々 a_i, a_r とすると、それぞれに対応する水面変動 η_i と η_r は次のようになる。

$$\begin{aligned} \eta_i &= a_i \sin(kx - \delta t) \\ \eta_r &= a_r \sin(kx - \delta t) \end{aligned} \quad (5.3)$$

ここで、 k, δ は各々波の波数と各周波数である。さらに、このような系では反射率は $K_r = a_r/a_i$ である。

入射波と反射波が重なり合い部分重複波が形成されたとするとその水面変動 η は次のようになる。

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_i + \eta_r \\ &= \{ (a_i + a_r) \sin kx \}^2 + \{ (a_i - a_r) \cos kx \}^2 \\ &\quad \times \sin(\delta t + \alpha) \\ &= a_i \left[(1 + K_r)^2 \sin^2 kx + (1 - K_r)^2 \cos^2 kx \right]^{1/2} \\ &\quad \times \sin(\delta t + \alpha) \end{aligned} \quad (5.4)$$

ここで

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{(a_i + a_r) \sin kx}{(a_r - a_i) \cos kx}$$

次に入射波と反射波各々の速度ポテンシャルを Φ_i, Φ_r とすると、各々の波に対応する底面流速 u_{bi} と u_{br} とは次のようになる。

$$\begin{aligned} u_{bi} &= - \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \Big|_{z=-h} \\ u_{br} &= - \frac{\partial \Phi_r}{\partial x} \Big|_{z=-h} \end{aligned} \quad (5.5)$$

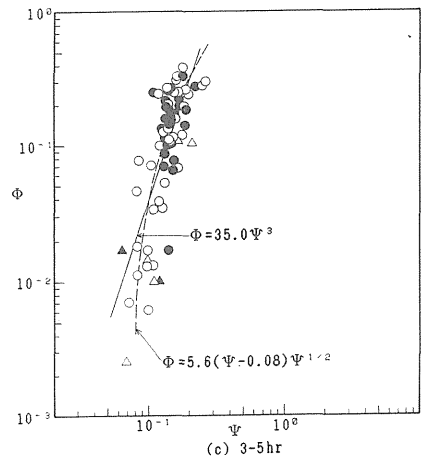
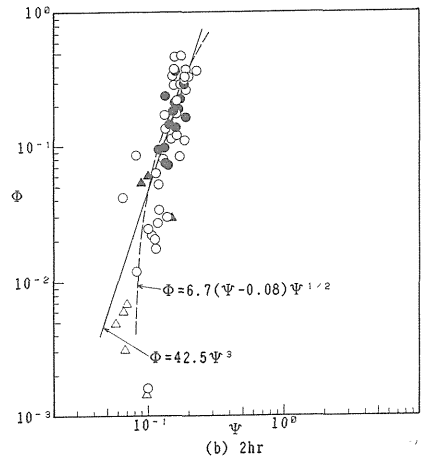
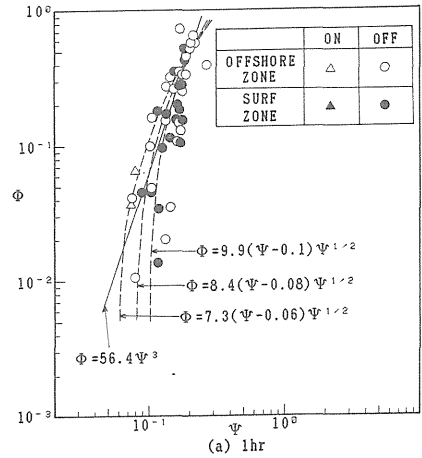


Fig. 10 Cross-shore sediment transport rate (Regular waves)

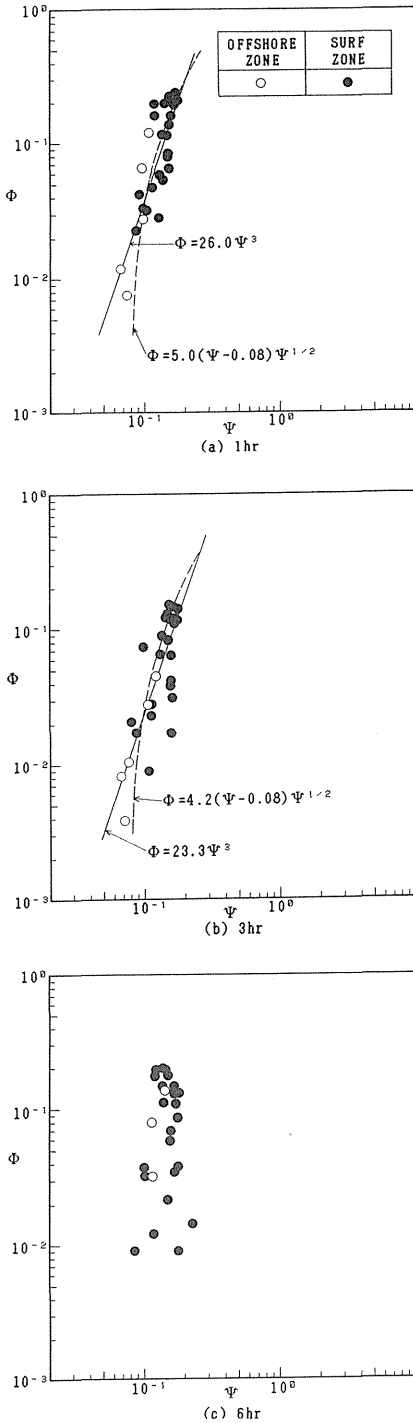


Fig. 11 Cross-shore sediment transport rate (Irregular waves)

ここで $z = -h$ は, 水底での値であることを示す。

これを合成すれば, 部分重複波の下での底面流速 u_b が得られる。

$$u_b = u_{b1} + u_{bR}$$

$$= \frac{gk}{\sigma \cosh kh} \left\{ \left\{ (a_1 + a_R) \sin kx \right\}^2 + \left\{ (a_1 + a_R) \cos kx \right\}^2 \right\}^{1/2} \sin(\delta t + \beta) \quad (5.6)$$

ここで

$$\beta = \tan^{-1} \frac{(a_1 - a_R) \sin kx}{(a_1 + a_R) \cos kx}$$

式(5.4)と式(5.6)とを比べることにより腹と節の位置における波高 H と底面流速の振幅 u_m は次のように求められる。

腹の位置では

$$H = H_1(1 + K_r)$$

$$u_m = \frac{H_1}{2} \frac{gk}{\sigma} \frac{1}{\cosh kh} (1 - K_r)$$

$$= \frac{H}{2} \frac{gk}{\sigma} \frac{1}{\cosh kh} \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \quad (5.7)$$

節の位置では

$$H = H_1(1 - K_r)$$

$$u_m = \frac{H_1}{2} \frac{gk}{\sigma} \frac{1}{\cosh kh} (1 + K_r)$$

$$= \frac{H}{2} \frac{gk}{\sigma} \frac{1}{\cosh kh} \frac{1 + K_r}{1 - K_r} \quad (5.8)$$

これらの式を見ると部分重複波の腹の位置では, 波高は最大でありながら流速振幅は最小, 逆に節の位置では波高が最小で流速振幅は最大になっていることがわかる。

このようにして求めた u_m に基づいて, Jonsson の方法によって底面せん断応力を求め, その地点における漂砂量との関係を見たのが Fig. 12 である。

まず Fig. 12 (a) は, 波をこれまで通り進行波として考えた場合の結果であるが, 腹, 節の漂砂量が二つの

グループに分離しており、明らかに節では底面せん断応力を過小評価し、腹では過大評価していることがわかる。Fig. 12 (b)は、沖合で求められた反射率を用いて、式(5.7), (5.8)によって u_m を評価した結果である。これでは、Fig. 12 (a)と比べて腹、節の漂砂量の大小関係が逆転し、しかも節の位置での漂砂量のばらつきが大きい。これは斜面上の沖波帯から砕波帯にかけて反射率の分布があるのに対して、どの地点でも一律に沖合での反射率をとったため、反射率を過大に評価したことになっているためであると考えられる。

そこで便宜的に各地点毎の反射率を算定し、それによって、その地点における部分重複波の底面流速 u_m を求めた結果が Fig. 12 (c)である。これは前二者に比べて相当程度まとまりのあるものとなっている。

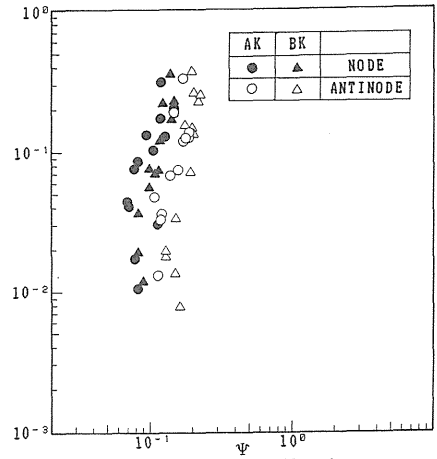
このことは、護岸のある海岸では、波の反射が地形変化や漂砂量分布に大きな影響を与えており、漂砂量を求める際にも部分重複波が形成されることの効果をとり入れなければならないことを示している。しかし、これまで斜面上での反射率の分布に対する研究はほとんど無い。又、今回の取扱では不規則波の反射や浅水変形に伴う波の非線形性等は考慮されていない。護岸があるような複雑な海岸での地形変化を精度よく評価するためには、これらの点をとり込むことが不可欠である。

6. 結 語

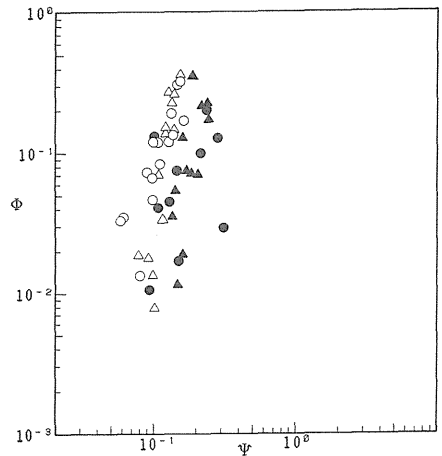
本研究は、有効な海岸保全・防護の方策を確立する一環として、護岸のある海岸の海浜地形変化を実験的に検討したものである。

この中では、護岸前面の洗掘の開始条件、洗掘・堆積の判別・推定、海浜地形と岸沖漂砂量分布に対する護岸の影響、部分重複波の下での底面せん断力の評価法等に検討を加えた。

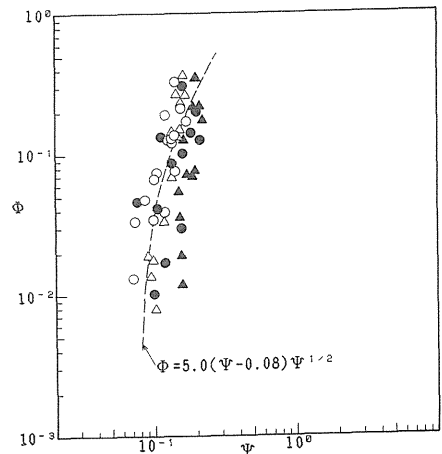
護岸、一般に海岸構造物が設置された場合の特徴は、砕波帯において自然海浜に比べてより強い反射が生じることであった。実験でみられた特徴的な地形変化に関連した現象は全て、波の反射に強く関連していた。しかし、砕波と反射が同時に生じるような複雑な波の場は、これまで理論的検討の対象にされたことはない。従って、護岸のある海岸の海浜地形変化を内部のメカニズムにたち入って解明するためには、この点の研究に進まなければならない。更に、今回の研究は、波の不規則性の影響も大きいことを明らかにした。この点



(a) Assuming no reflection



(b) Employing reflection coefficients in offshore region



(c) Employing local reflection coefficients

Fig. 12 Effect of partial standing waves on cross-shore sediment transport rate

もまた残された課題である。

最後に、本実験や資料の整理に協力を惜しまなかった卒業生の加藤岳人・佐藤啓司の両君と、卒論生の児嶋幸子さんに心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 榎木亨・川崎芳一: 海岸堤防堤脚部の洗掘について, 京大防災研究所年報 4 号, PP. 198-209, 1960.
- (2) 佐藤昭二・田中則男・入江功: 海岸構造物の堤脚部洗掘に関する研究(第 1 報)——直立壁堤脚部の波による二次元的洗掘実験——, 港湾技術研究所報告, 1966.
- (3) Kraus, N, C : The effect of seawalls on the beach : An extended literature review, J. of Coastal Research, Special Issue No. 4, PP. 1-28, 1988.
- (4) Barnett, M. R : Effects of a vertical seawall on profile response, Proc. 21st Coastal Eng. Conf., Vol. 2, PP. 1493-1507, 1988.
- (5) 加藤始: 不規則波による海岸護岸前面の洗掘に関する研究, 茨城県における自然災害に関する総合的研究, 茨城大学, PP. 13-32, 1988.
- (6) 三村信男・加藤始・山本穰: 砂浜に対する護岸の影響の再検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 2 部門, pp. 656-657 1989.
- (7) 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量, 第31回海岸工学講演会論文集, PP. 321-325, 1984.
- (8) 堀川清司・砂村継夫・鬼頭平三: 波による海浜変形に関する一考察, 第20回海岸工学講演会論文集, PP. 357-363, 1973.
- (9) 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右: 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 第21回海岸工学講演会論文集, PP. 193-199, 1974.
- (10) 佐伯浩・佐藤俊哉・小野敏行・浜中建一郎: 海岸護岸堤脚部の洗掘に関する実験的研究, 第32回海岸工学講演会論文集, PP. 440-444, 1985.
- (11) Battjies, J. A : Surf similarity, Proc. 14th Coastal Eng. Conf., PP. 446-480, 1974.
- (12) 砂村継夫: 海浜地形の変化, 第21回水工学に関する夏期研修会講義集, 土木学会, PP. B-7-1-B-7-17, 1985.
- (13) Hara, T. and C. C. Mei : Bragg scattering of surface wave by periodic bars : theory and experiment, J. Fluid Mech., Vol. 178, PP. 221-241, 1987.
- (14) Madsen, O. S. and W. D. Grant : Quantitative description of sediment transport, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., PP. 1093-1112, 1976.
- (15) 渡辺晃: 海浜流と海浜変形の数值シュミレーション, 第28回海岸工学講演会論文集, PP. 217-221, 1981.
- (16) Jonsson, I, G : Wave boundary layer and friction factors, Proc. 10th Coastal Eng. Conf., PP. 127-148, 1966.