

海浜変形に及ぼす海浜流の影響

張 善 徳*・李 宗 燮**・金 次 謙***

1. はじめに

現地海岸における海浜侵食の防止対策を樹立するためには、まず漂砂移動の外力特性による海浜変形機構を明らかにする必要がある。一般に、砕波帯近傍における漂砂移動の外力としては波と波によって生ずる海浜流が考えられる。しかし、このような外力はその不規則性と時空間的な変動性のため、水理実験あるいは数値実験だけで現地の海浜変形機構を説明することは困難である。

近年、3次元海浜変形の数値予測モデルの開発¹⁾²⁾と現地での適用性が検討されているが、その再現精度を高めるためには海浜流の計算結果に対する検証と地形変動パターンの比較が必要である。

本研究では現地海岸に適用可能な3次元海浜変形の数値予測手法を確立するために、海浜変形と外力との関係を調べた。また、E.O.F (Empirical Orthogonal Function) 法による地形変動の解析結果と海浜流の計算結果より海浜変形に及ぼす外力の影響を調べた。

2. 波浪・海浜流の現地観測

(1) 観測方法

調査対象海域は図-1に示す。韓国南東海岸に位置する長さ1.6 km、海浜幅40~50 m、平均海底傾斜1/10

~1/20の海水浴場である。最近、この海岸の海浜侵食が急速に進行し、海浜侵食防止対策の樹立が重要な問題になっている。従って、本研究では海浜変形機構を明らかにするために波浪と海浜流の調査を行なった。

波浪の測定は、図-1の中央部(zone D)で波高測定用ポールを岸から沖方向に水深1 mから3 mまで4個設置し、video cameraで記録した。一方、波向は地上約50 mの所で観測した。

海浜流の観測は図-1のzone A~Dで各々2回行なった。測定は砕波帯内外にdrogueを2~3個投入し、地上約50 mの所からvideo cameraで撮影し、VTRで分析した。

表-1 入射波の観測結果

Date	最大風速	主風向	$H_{0.1/3}$	波向	$T_{1/3}$
1987. 9. 1	4.4 m/s	SSW	0.8 m	190°	2 sec
1987. 9. 17	3.6 m/s	E	0.7 m	160°	4 sec

(2) 観測結果

表-1は海浜流の観測時における入射波の条件を示す。図-2はzone A及びDで測定された水面下約30 cm層における海浜流の流況を示す。

観測結果によると、zone A, B, Cのように等深線が汀線とほぼ平行な所では沿岸流が卓越した。一方、zone Dのように沖側にバー型の浅瀬が発達した所では波向によって海浜循環流あるいは離岸流が発生した。

測定された沿岸流速の大きさは砕波帯外 $X/X_b \div 1.3$ の所で平均10 cm/s程度であった。これは、Sonu³⁾による砕波帯内外での沿岸流速分布を考えると砕波帯内での最大流速は40~50 cm/sになると推定される。一方、zone Dにおいて離岸流の形成原因は

沿岸方向の水深変化による砕波波向と砕波波高の分布によるものと考えられ、これはShepard and Inman⁴⁾と

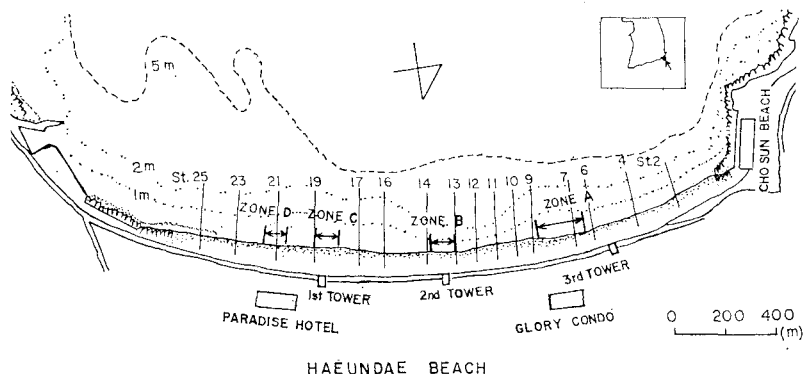


図-1 海雲台海岸の地形図

* 正会員 理博 韓国釜山水産大学教授 海洋工学科

** 正会員 工博 韓国釜山水産大学助教授 海洋工学科

*** 工修 韓国釜山水産大学海洋工学科大学院

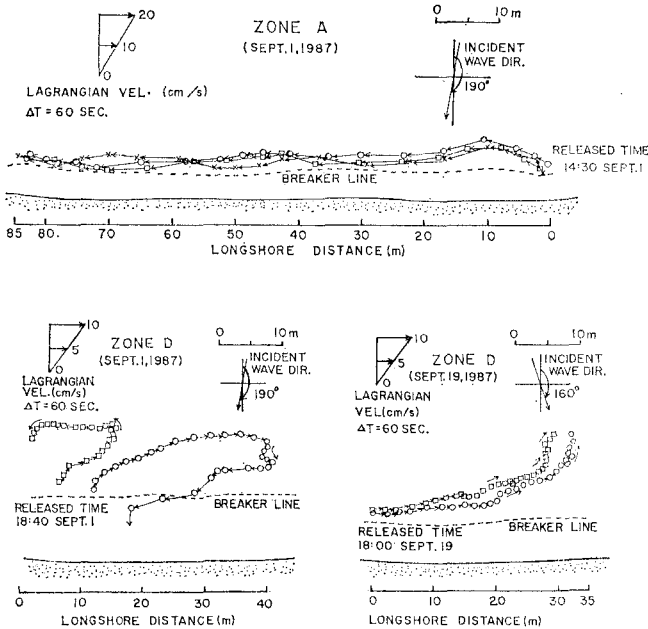


図-2 海浜流の drogue 実験結果

Bowen⁵⁾によって説明された地形的要因であると考えられる。

3. 波浪変形・海浜流の数値計算

(1) 波浪変形の計算

本研究では mild-slope equation を放物型近似方程式に変形し、水深変化と波高の空間的分布による波の屈折・回折を考慮した Ebersole⁶⁾によって提案された式において波と流れの干渉効果を考慮した次式を用いた。

$$|FS|^2 = k^2 + \frac{1}{H} \left[\Delta H^2 + \frac{1}{CC_g} \{ (FH \cdot F C C_g) - 2\sigma \bar{U} F S + 2\sigma_0 \bar{k} \bar{U} \} \right] \quad (1)$$

$$F(H^2 C C_g |FS| + 2H\sigma \bar{U} F H) = D \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (|FS| \sin \theta) - \frac{\partial}{\partial y} (|FS| \cos \theta) = 0 \quad (3)$$

ここに、 H は波高、 S は波の位相関数、 θ は波向である。また、波浪変形においては波と流れの干渉効果を考慮するために(1)式の中の波数 k などは(4)式より求めた。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_0^2 &= gk \tanh kh \\ \sigma &= \sigma_0 + \bar{k} \bar{U} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

数値計算においては(1)～(3)式を差分化し、収束条件を満たすまで反復計算した。格子は 0.6×2.0 kmの海域を岸沖方向 $\Delta x = 15$ m、沿岸方向 $\Delta y = 30$ mにした。碎波条件は(5)式を用い、碎波後は碎波条件を満たしながら沖側の波高より大きくならないようにした。

$$H_b = r(h + \eta) \quad (5)$$

ただし、 $r = 0.8$, h ; 静水深, η ; 水位変化量

(2) 海浜流の計算結果

海浜流の基礎式は浅水方程式として、その内容は前報¹⁾に発表されている。

海浜流の計算は大体40分後にはほぼ定常状態に達した。図-3は入射波の波高0.8 m、周期3 sec、入射波向 $\theta = 160^\circ, 180^\circ, 200^\circ$ の場合における計算結果である。図に示したのは波と流れの干渉効果と汀線での移動境界を適用した場合の結果として、全ケースにおいて波と流れの干渉効果によって流速の絶対値自体は小さくなる。

計算結果を見ると、 $\theta = 160^\circ$ の場合 Paradise Hotelの前面では強い海浜循環流を形成している。砂場の中央部では沿岸方向の流れが卓越し、碎波帯内で約60 cm/sec程度の沿岸流速を示した。

$\theta = 180^\circ$ の場合は沿岸流はほとんど見られなく、Paradise Hotelの前面と砂場の中央部で弱い循環流の形成が見られる。

$\theta = 200^\circ$ の場合はParadise Hotelの前面で微弱な海浜流セルが形成される以外には卓越な沿岸流を示した。

以上の結果を図-2の観測結果と比較して見ると、現地観測結果より推定される碎波帯内での沿岸流速の大きさは計算結果とはほぼ一致している。また、zone DであるParadise Hotelの前面では入射波向に関係なく離岸流が生じたが、これは図-3の計算結果と良く一致している。これから、海雲台海水浴場の代表的な入射波向に対する海浜流のパターンが図-3のように得られ、本モデルの適用性が認められる。

4. 海浜変形の現地調査と解析

(1) 調査内容及び方法

漂砂移動と海浜変形機構を調べるために、1987年3月から9月まで海浜幅を7回、断面測定を3回行なった。

図-4は調査期間中における日別最大風速と風向を示したものである。南風系の風が強かった7月15日～16日は台風「セルマ」の通過が、北東風の風が強かった8月30日～31日には台風「ダイナ」の通過があった。従って、本調査は台風によって海浜が侵食されてから南西風系の風によって海浜が復旧される過程と、その後北東風の風が卓越した8月26日から9月19日までの海浜変形過程を含んでいるものと考えられる。

図-5は7月20日の汀線を基準とした8月と9月の汀線の位置を示している。この図から、7月～8月では全沿岸にかけて汀線が前進したが、8月～9月では局部的

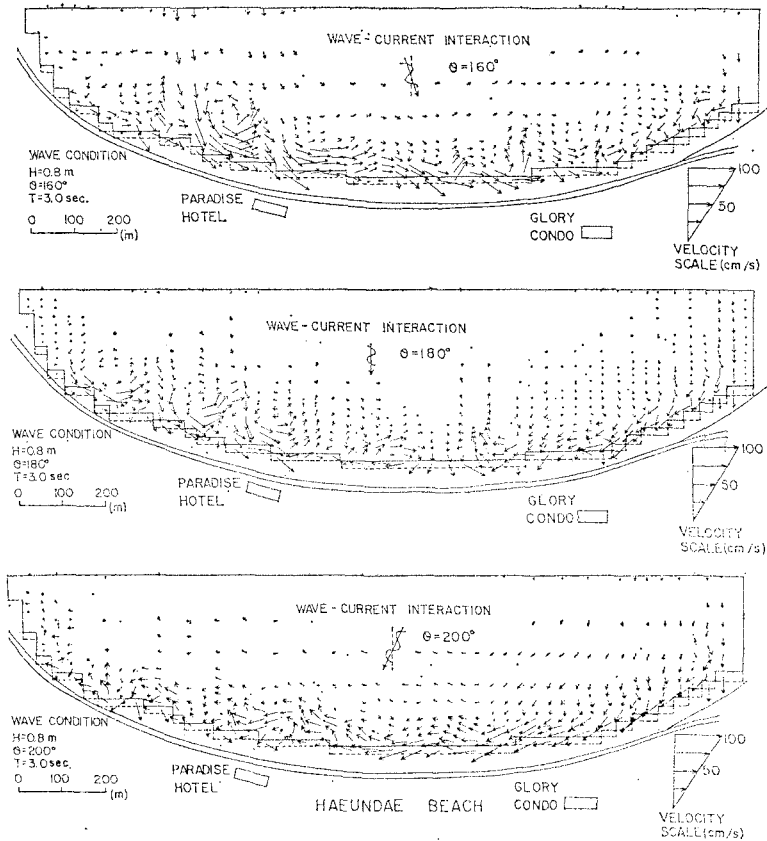


図-3 入射波向による海浜流の数値計算結果

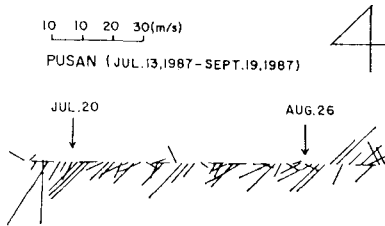


図-4 日別最大風向風速度図



図-5 沿岸方向の汀線変化量

に汀線が後退されている。従って、本研究では各々砂浜の堆積期と侵食期の漂砂移動パターンを示す。

(2) 断面変化及び汀線変化特性

図-6 は 7 月～8 月, 9 月における断面別汀線変化量と断面積変化量との関係を示す。St. No. は図-1 の測線の番号を示す。

7 月～8 月の間は St. 2～St. 13 ではある程度線型性を示したが, St. 14～St. 25 では線型的な $A-l$ 関係が見られない。一方, 7 月～9 月の間では全領域にかけて線型的な $A-l$ 特性を示した。

図は示していないが, 測定された断面形状は 7 月～8 月では St. 10～St. 25 の所では堆積型の断面型を示し, St. 2～St. 9 では断面型の変化がなかった。また, 8 月

～9 月では全断面において断面型の変化が見られなかった。

(3) E. O. F 法による地形変動の解析

地形変動のパターンを解析するために 3 回にかけて測定した断面別水深資料を用い, 経験的固有関数法によって分析した。

ここでは, ある点の水深変化量を (6) 式のように定義した。

$$\Delta h(i, j, t) = h(i, j, t+1) - h(i, j, t) \quad \dots\dots (6)$$

ただし, i は岸沖方向の測点番号, j は沿岸方向の測線番号, t は観測月を示す。

そして, 水深変化量 Δh を (7) 式のように岸沖方向と沿岸方向に分離した。

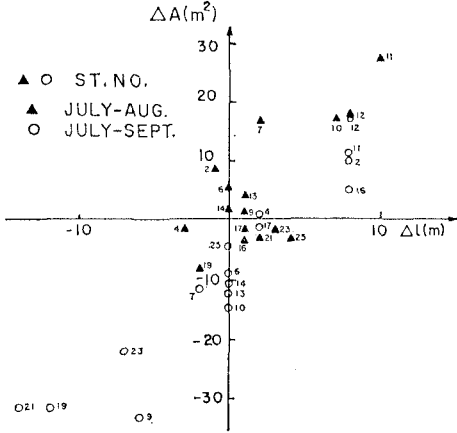


図-6 断面別 A-1 特性

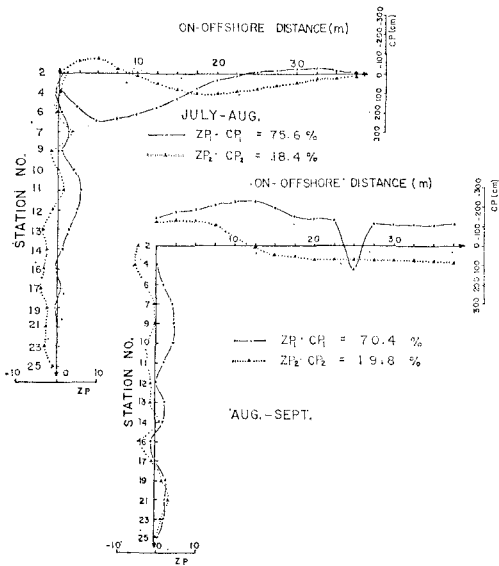


図-7 E. O. F 法による地形変動の解析結果

$$\Delta h(i, j, t') = \sum_n ZP_{nx}(i, t') \cdot CP_{ny}(j, t') \dots (7)$$

図-7 は各々 7 月～8 月, 8 月～9 月の解析結果を示す。両方とも 1st mode の値が 70% 以上となり, 2nd mode までは 90% 以上を示している。ただし, ZP と CP の積が正ならば堆積, 負ならば侵食を表わす。

この図より, 7 月～8 月の 1st mode は St. 2～St. 14 では沖で負, 岸で正として, 沖から岸方向への漂砂移動様相を示す。一方, 2nd mode は汀線付近で St. 2～St. 11 では負, St. 13～St. 25 では正として, 沿岸方向の漂砂移動を示す。

8 月～9 月においては 1st mode の値が全領域では負の値を示し, 沿岸方向に不均一なことから, 主として沿岸方向の漂砂移動を示す。また, 2nd mode も沿岸方向の漂砂移動パターンを示す。

以上の結果より, 7 月～8 月では主として岸沖方向の漂砂移動によって堆積が進行し, 8 月～9 月では沿岸方向の漂砂移動によって侵食が進行しているものと考えられる。

5. 海浜変形機構について

現地調査及び数値計算結果より海雲台海水浴場の海浜変形機構についてまとめると, つぎのようである。

(1) 堆積期の漂砂移動

南西風系の風が卓越した 7 月～8 月の海浜変形は St. 2～St. 6 では岸沖漂砂による流入量より沿岸漂砂による流出量が多くて汀線の後退が生じた。

St. 6～St. 13 では主として岸沖漂砂と沿岸漂砂によって汀線の前進が生じた。

St. 14～St. 17 の中央部では岸沖漂砂による流入量と沿岸漂砂による流出量がほぼ平衡をなしていると考えられる。

St. 21～St. 25 では岸沖漂砂による流入量が沿岸漂砂による流出量より多くて汀線が前進したが, St. 19 附近では沿岸漂砂による流入量より岸沖漂砂による流出量が多くて汀線が後退していると考えられる。

このような漂砂の移動パターンを示すと図-8 のようである。一方, 図-8 の上図のような漂砂移動パターンは図-3 の入射波角 $\theta=180^\circ$ の場合の海浜流のパターンとほぼ一致している。

南西風の卓越な場合において, 波は屈折によってほぼ海浜の中央部に直角入射するものと考えられる。この場合, 強い沿岸流は生じないことから, 侵食性の波によって砂浜が後退しても, すぐ堆積性の波によって回復されるものと考えられる。

(2) 侵食期の漂砂移動

北東風の卓越した 8 月～9 月の海浜変形は St. 2～St. 6 では岸沖漂砂によって流入された漂砂と沿岸方向から流入された漂砂によって汀線が前進した。

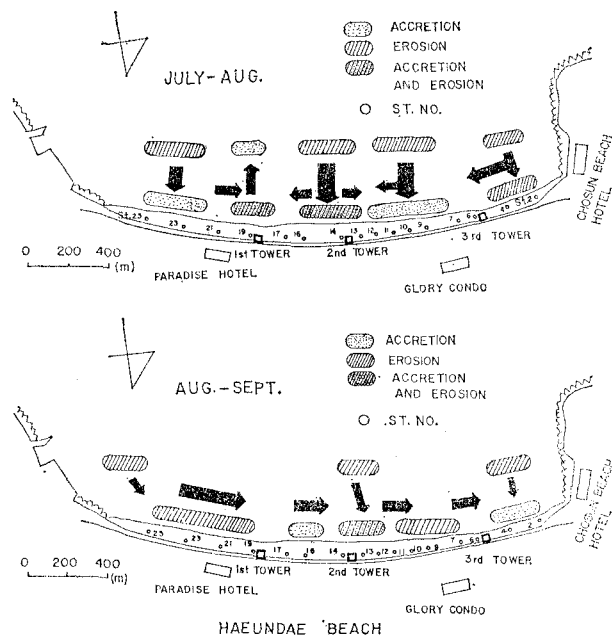
St. 6～St. 11 では東側から流入する漂砂より西側に流出される漂砂が多くて汀線が後退した。

St. 12～St. 14 では沿岸漂砂がほぼ平衡をなしていることから汀線の変化がほとんどないものと考えられる。

St. 17～St. 25 では強い沿岸流のため侵食が生じた。

このような漂砂の移動パターンを示すと図-8 の下図のようである。

北東風の場合, 入射波は汀線に達するまで十分屈折できないことから, 低い波によっても大きな入射角によって強い沿岸流速を生じさせる。これは, $\theta=160^\circ$ の場合のような海浜流によって生ずる漂砂移動パターンとほぼ一致している。



図—8 堆積期・侵食期における漂砂移動の模式図

6. おわりに

現地での海浜変形機構の解析や予測のためには、まず現地観測資料に基づいた外力と海浜変形の解析が必要である。本研究の結果、現地で2～3ヶ月程度の短期間の海浜変形においては風によって生ずる入射波の特性とそれによって生ずる海浜流系が重要な要因になることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 植木 亨・李 宗燮・出口一郎：河口周辺の海浜流及び地形変動モデルに関する研究，第31回海岸工学講演会論文集，pp.411～415，1984。

- 2) 山口正隆・西岡洋一：離岸堤群及び突堤群による3次元海浜地形変動の数値計算法，第30回海岸工学講演会論文集，pp.239～243，1983。
- 3) Sonu, C. J.: Field observation of nearshore circulation and meandering currents, J. Geophys. Res., Vol. 77(18), pp. 3232～3247, 1972.
- 4) Shepard, F. B. and Inman, D. L.: Near-shore circulation, Proc. 1st Conf. Coastal Eng. Council on Wave Research, Vol. 1, pp. 50～59, 1951.
- 5) Bowen, A. J.: Rip current 1, theoretical investigation, J. Geophys. Res., Vol. 74(23), pp. 5467～5478, 1969.
- 6) Ebersole, B. A.: Refraction-diffraction model for linear water waves, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., Vol. III(6), pp. 939～953, 1985.