해운대 해수욕장의 해빈변형기구에 관한 고찰

(Studies on the Beach Deformation Mechanism of Haeundae Beach)

이 종섭 부산수산대학 해양공학과 조교수

김 차겸 부산수산대학 대학원 해양공학과

요 약

현지해안의 해빈변형을 연구하기 위해 해운대 해수욕장에서 파랑과 해빈류를 관측하였으며, 또한 파랑과 흐름의 간섭효과를 고려한 파랑변형 및 해빈류를 수치계산하여 관측결과와 비교하였다. 지형변동은 경험적 고유함수법에 의해 해석했다. 해운대 해수욕장의 해빈변형을 해빈류의 유황과 지형변동의 해석결과에 의해 분석하였다.

남서풍이 탁월할 때는 종단방향의 표사이동에 의해 침식이 일어났으며, 이 때의 표사이동 양상은 입사각이 180° 일 때의 해빈류의 유황과 거의 일치하였다. 북동풍이 탁월할 때는 연안방향의 표사이동에 의해 침식이 일어났으며, 이 때의 표사이동 양상은 입사각이 160° 일 때의 해빈류의 유황과 거의 일치하였다. 즉, 현지의 해빈변형은 입사파의 특성과 파랑에 의해 일어나는 해빈류에 의해 크게 좌우되는 것으로 나타났다.

1. 서 론

현지해안에 있어서 해빈침식의 방지대책을 수립하기 위해서는, 우선 표사이동의 외력특성에 의한 해빈변형기구를 밝힐 필요가 있다. 일반적으로, 쇄파대 근처에서 표사이동의 외력으로는 파랑과 파랑에 의해 생기는 해빈류이다. 그러나, 이와 같은 외력은 불규칙적으로 변동하기 때문에 현지의 해빈변형기구를 수리실험 또는 수치실험만으로 설명한다는 것은 곤란하다. 근래에 와서 3차원 해빈변형의 수치모델의 개발과 현지에의 적용성이 검토되고 있지만, 그 재현성도를 높이기 위해서는 해빈류의 계산결과에 대한 검증과 지형변동패턴과의 비교가 필요하다. 본 연구에서는 현지해안에 적용 가능한 3차원 해빈변형의 수치예측수법을 확립하기 위해 해빈변형과 외력과의 관계를 조사했다. 또한, E.O.F.(Empirical Orthogonal Function) 법에 의한 지형변동의 해석결과와 해빈류의 계산결과에 의해 해빈변형에 미치는

외력의 영향을 조사했다.

2. 파랑, 해빈류의 현지관측

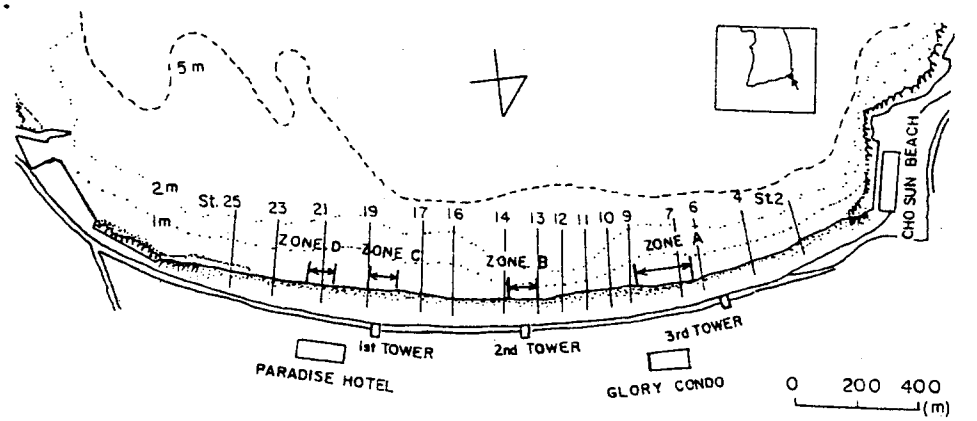
1) 관측방법

파고는 Fig.1 에 나타낸 해운대 해수욕장의 중앙부(Zone B)에서 파고측정용 폴을 외해방향으로 수심 1m 에서 3m 까지 4개 설치하여 비데오카메라로 기록했으며, 파향은 지상 약 50 m 에서 관측했다.

해빈류의 관측은 Fig.1 의 Zone A ~ D에서 각각 2회 실시하였으며, 측정방법은 쇄파대 내외에 drogue를 2 ~ 3개 투입하여 지상 약 50 m 에서 비데오카메라로 촬영하여 VTR 로 분석했다.

2) 관측결과

파랑과 바람의 관측결과는 Table 1 과 같다. Fig.2 는 Zone A 및 D 에서 측정된 수면하 약 30 cm층에서 해빈류 유황을 나타낸다. 관측결과에 의하면 Zone A, B, C처럼 등심선이 정선과 거의 평행한 곳에서는 연안류가 탁월했고, Zone D처럼 외해측으로 bar 형의 shoal 이 발달한 곳에서는 파향 및 파고분포에 의해 해빈순환류 또는 이안류가 발생했다. 측정된 연안유속의 크기는 쇄파대 밖인 x/x_b =1.2~1.3 (단, x_b= 정선에서 쇄파선까지의 거리) 인 곳에서 평균 10cm/s였다. 한편, Zone D에서 이안류의 형성요인은 연안방향의 수심변화에 의한 쇄파파향과 쇄파파고의 분포에 의한 것이며, 이것은 Shepard and Inman (1951)과 Bowen(1969) 에 의해 설명된 지형적 요인이라 생각된다.



HAEUNDAE BEACH

Fig.1. Location map of Haeundae beach.

Table 1. Observed wind and wave data at Haeundae beach. $H'_{o1/3}$ denotes the significant height of the equivalent deep sea wave

DATE	WIND		$H'_{o1/3}$(m)	DIR(°)	$T_{1/3}$(sec)
	MAXIMUM SPEED(m/s)	DIR.			
APRIL 17, 1987 14:50	6.7	SSW	0.8	190	3
JUNE 3, 1987 14:00	8.5	SW	2.3	210	4
JUNE 19, 1987 14:30	2.7	NNE	0.4	170	3
SEPT. 1, 1987 15:40	4.4	SSW	0.8	190	2
SEPT. 17, 1987 14:20	3.6	E	0.7	160	4

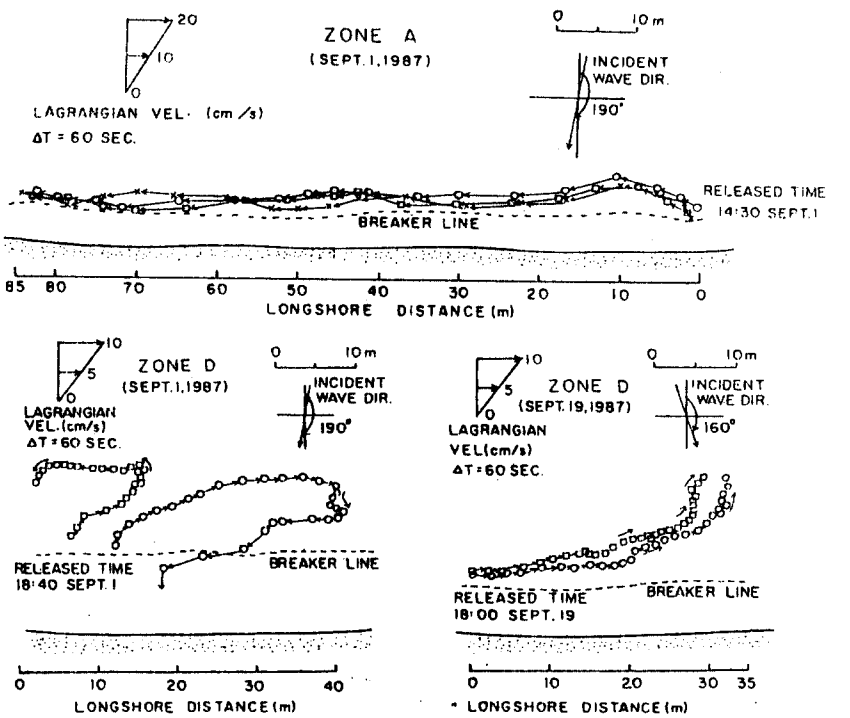


Fig.2. Observed results of wave-induced current by drogue tracking.

3. 파랑변형. 해빈류의 수치계산

1) 파랑변형의 계산

본 연구에서는 Ebersole(1985)이 mild-slope equation 에 복소

속도potential $\phi = ae^{is(x,y)}$를 대입하여 굴절, 회절효과를 고려하여 제안한 다음식을 사용했다.

$$|\nabla S| = k^2 + \frac{1}{H}\left[\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{1}{CC_g}\left(\frac{\partial H}{\partial x}\frac{\partial CC_g}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y}\frac{\partial CC_g}{\partial y}\right)\right] \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(H^2 CC_g |\nabla S| \cos\theta) + \frac{\partial}{\partial y}(H^2 CC_g |\nabla S| \sin\theta) = 0 \quad \cdots\cdots (2)$$

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

여기서, H 는 파고, S 는 파의 위상함수, θ 는 파향이다. 또한, 파랑과 흐름의 간섭효과를 고려한 파수 k 는 식(4) 로 부터 구한다.

$$(gk \tanh kh)^{1/2} + Uk\cos\theta + Vk\sin\theta = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

수치계산은 식(1) ~ (3) 을 유한차분법에 의해 반복계산 하였다.

2) 해빈류의 수치계산

해빈류계산은 천수방정식을 사용하여 계산했다. Fig.3 은 입사파의 파고 0.8m, 주기 3sec, 입사파향 $\theta=160^\circ, 180^\circ, 200^\circ$ 인 경우의 계산결과이다. 그림에 나타낸 것은 파랑과 흐름의 간섭효과와 정선의 이동경계를 적용한 결과이며, 전반적으로 파랑과 흐름의 간섭효과에 의해 유속의 절대치가 작게 나타났다. 계산결과에 의하면, $\theta=160^\circ$ 인 경우는 파라다이스호텔 앞에서는 강한 해빈순환류가 형성되었고, 해수욕장의 중앙부에서는 연안방향의 흐름이 탁월하게 일어났다. $\theta=180^\circ$ 인 경우는 연안류는 거의 나타나지 않았으나, 파라다이스호텔 앞과 사장의 중앙을 기준으로 좌우에서 약한 순환류가 형성되었다. $\theta=200^\circ$ 인 경우는 파라다이스호텔 앞에서 약한 해빈순환류가 형성되었고, 전반적으로 연안류가 강하게 일어났다. 수치계산결과에 의하면 Zone II인 파라다이스호텔 앞에서는 입사파향에 관계없이 이안류가 형성되어 Fig. 2 의 관측결과와 잘 일치하였으며, 또한 본 모델의 현지 적용성이 입증되었다.

4. 해빈변형의 현지조사와 해석

1) 조사내용 및 방법

표사이동과 해빈변형기구를 조사하기 위해 1987 년 3월부터 9월

까지 해빈목을 7회, 단면측정을 3회 실시했다. Fig.4 는 조사기간중의 일별 최대 풍향과 풍속을 나타낸 것이다. 남서풍이 탁월한 7월 15

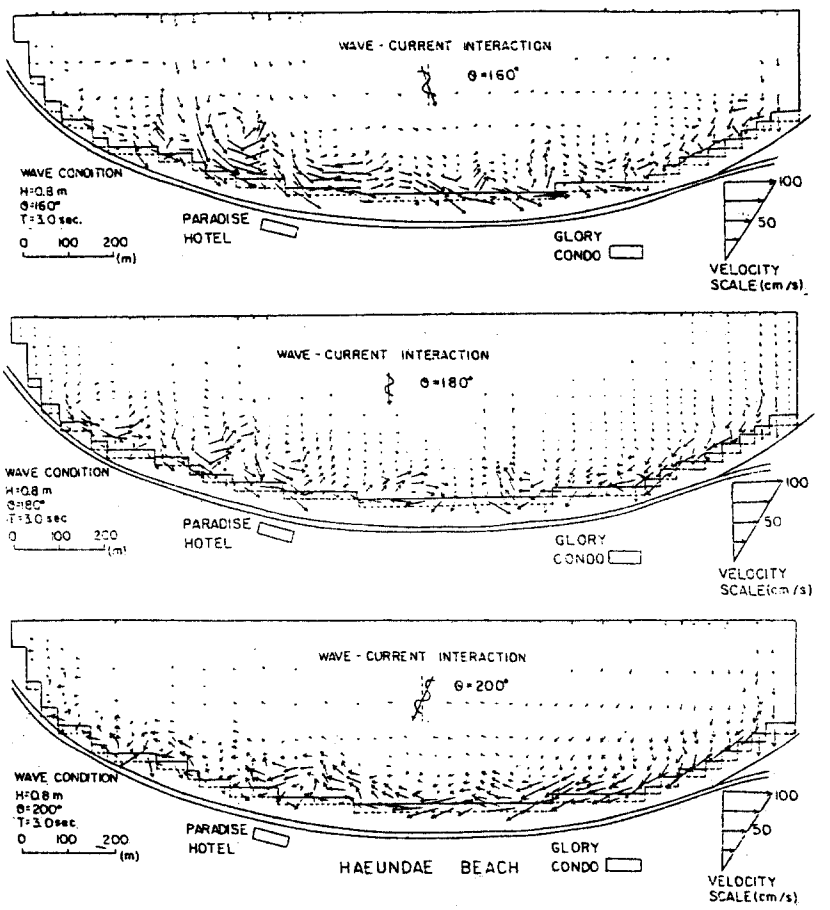


Fig.3. Computed results of wave-induced current considering the wave-current interaction.

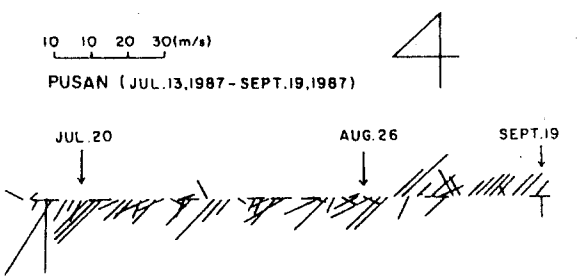


Fig.4. The stick diagram of the observed daily maximum wind speeds and direction in Pusan Meteorological observation.

일~16 일은 태풍 셀마호가 통과했고, 북동풍이 탁월한 8월30일~31 일에는 태풍 다이너호가 통과했다. 따라서, 본 연구는 태풍 셀마호에 의해 해빈이 침식되었다가, 남서풍계의 바람에 의해 해빈이 복귀되는 과정과 그 후 북동풍의 바람이 탁월한 8월 26 일부터 9월 19일까지의 해빈변형 과정을 다룬다.

2) 단면변화 및 정선변화 특성

측정된 단면형상에 의하면, 7 월~8월은 St.2~St.13에서 퇴적형을 나타내고, St.14~St.25 에서는 변화가 없었다. 8 월~9월은 전단면에 걸쳐 단면형상의 변화가 거의 나타나지 않았다. Fig.5 는 7월을 기준으로 한 8 월, 9 월의 단면별 정선 변화량과 단면적 변화량과의 관계를 나타내며, St. No. 는 측선의 번호를 표시한다. 7월~8월 사이의 A-1 특성은 St.2~St.13에서는 어느정도의 선형성을 나타냈지만, St.14~St.25 에서는 선형적인 관계가 나타나지 않았다. 한편, 7 월~9월 사이의 A-1 특성은 전 영역에 걸쳐 거의 선형성을 나타냈다.

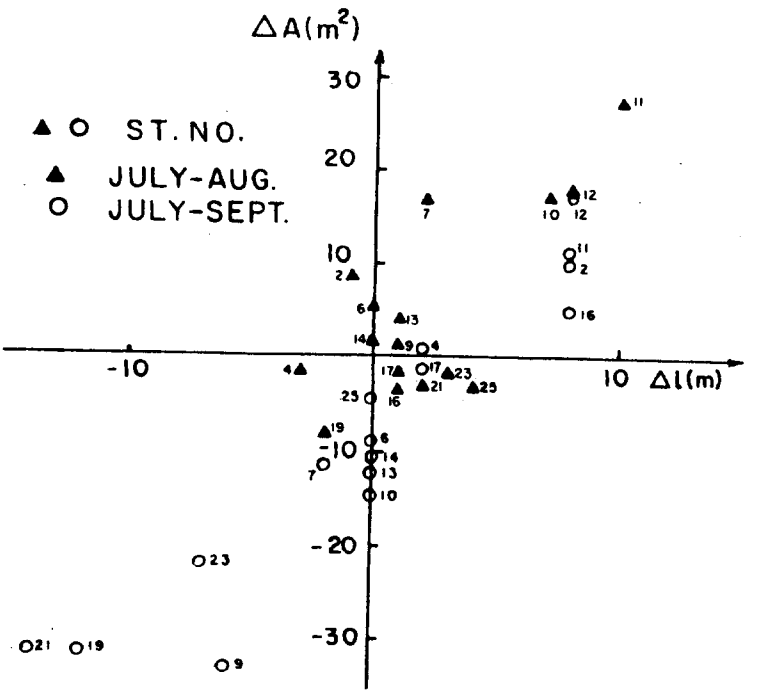


Fig.5. Relations between the changes of the sectional areas, ∆ A, and the shoreline changes, ∆ l, from July to August, 1987.

3) E.O.F.법에 의한 지형변동의 해석

지형변동의 패턴을 해석하기 위해 3회에 걸쳐 측정한 단면별 수심자료를 이용하여 경험적 고유함수법에 의해 해석했다. 임의 1점에서 수심변화량은 식(6) 과 같이 정의된다.

$$\Delta h(i,j,t') = h(i,j,t+1) - h(i,j,t) \qquad \text{----------} \quad (6)$$

여기서, i 는 종단방향의 측점번호, j 는 연안방향의 측선번호, t 는 관측월을 나타낸다.

한편, 수심변화량 $\Delta h(i,j,t')$ 를 종단방향과 연안방향으로 분리하면 식(7) 과 같다.

$$\Delta h(i,j,t') = \sum_{n} ZPn_x(i,t) \cdot CPn_y(j,t) \qquad \text{----------} \quad (7)$$

여기서, n 은 고유함수의 갯수, ZPn_x는 종단방향의 고유함수, CPn_y는 연안방향의 고유함수이다.

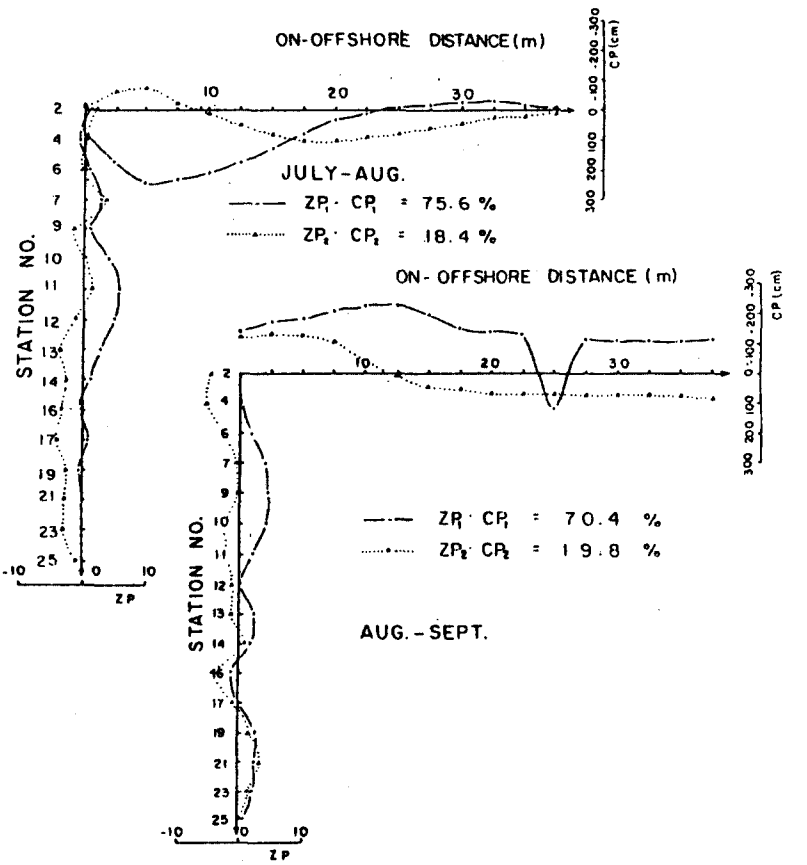


Fig.6. The analyzed results of topographic change by empirical eigenfunction method from July to August, 1987.

Fig.6 은 각각 7월~8월, 8 월~9월의 지형변동 해석결과를 나타낸다. 여기서, 두성우 모두 1st mode 값이 70% 이상이고, 2 nd mode 까지 합치면 90% 이상을 나타낸다. 단, ZP와 CP의 곱이 +면 퇴적, - 면 침식을 나타낸다. 이 그림에 의하면, 7 월~8월은 주로 종단방향의 표사이동에 의해 퇴적이 일어났고, 8 월~9월은 연안방향의 표사이동에 의해 침식이 일어남을 나타냈다.

5. 해빈변형기구에 관한 고찰

현지조사 및 수치계산결과에 의한 해운대 해수욕장의 해빈침식기구에 관하여 요약하면 다음과 같다.

1) 퇴적기의 표사이동

남서풍이 탁월한 7월~8월의 해빈변형은 St.2~St.6 에서는 종단표사에 의한 유입양보다 연안표사에 의한 유출량이 많아서 정선의 후퇴가 일어났으며, St.6~St.13에서는 주로 종단표사와 연안표사에 의해 정선의 전진이 일어났다. St.14~St.17 의 중앙부에서는 종단표사에 의한 유입양과 연안표사에 의한 유출양이 거의 평형을 이루고 있다고 생각된다. St.21~St.25 에서는 종단표사에 의한 유입양이 연안표사에 의한 유출양보다 많아서 정선이 전진하였지만, St.19 부근에서는 연안표사에 의한 유입양보다 종단표사에 의한 유출양이 많아서 정선이 후퇴되었다고 생각된다.

이와 같은 표사이동 패턴을 도식화하면 Fig.7 의 윗그림과 같으며, 이 기간의 표사이동 양상은 Fig.3 에서 입사각이 180° 일 때의 해빈류 패턴과 거의 일치하고 있다.

남서풍이 탁월한 때는 입사파가 정선에 거의 직각으로 입사하기 때문에 연안류가 잘 일어나지 않는다. 따라서, 이 때의 표사이동양상은 침식성의 파에 의해 해빈이 침식되었다가, 곧 퇴적성의 파에 의해 회복되는 것으로 사료된다.

2) 침식기의 표사이동

북동풍이 탁월한 8월~9월의 해빈변형은 St.2~St.6 에서는 종단표사에 의해 유입된 표사와 연안방향으로 유입된 표사에 의해 정선이 전진하였다. St.6~St.11에서는 동측에서 유입된 표사보다 서측으로 유출된 표사가 많아서 정선이 후퇴하였으며, St.12~St.14 에서는 연안표사의 이동이 거의 평형을 이루고 있기 때문에 정선의 변화가

거의 없었다. St.17~St.25 에서는 강한 연안류에 의해 침식이 일어났다. 이와 같은 표사이동 패턴을 도식화하면 Fig.7 의 아랫그림과 같으며, 이 기간의 표사이동 양상은 입사각이 160° 일 때의 해빈류 패턴과 거의 일치하고 있다.

북동풍이 탁월할 때는 입사파가 큰 각도를 가지고 입사하기 때문에, 성선에 도달할 때까지 충분히 변형하지 못하고 비스듬히 입사하게 된다. 따라서, 이 때의 표사이동 양상은 주로 연안류에 의한 연안표사에 지배된다고 생각된다.

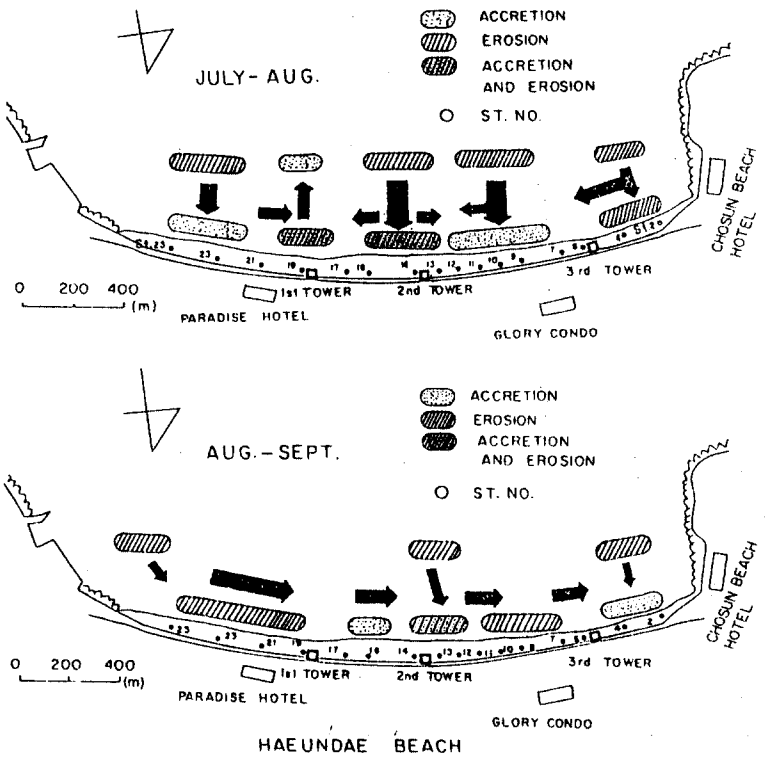


Fig.7. Deduced sediment transport patterns in July-August and August-September, 1987.

6. 결론

현지에서의 해빈변형기구의 해석이나 예측을 위해서는, 우선 현지 관측자료에 근거한 표사이동의 외력과 지형변동의 해석이 필요하다. 본 연구의 결과에 의하면, 수개월 정도의 단기간에 있어서 현지의 해빈변형은 바람에 의해 생기는 입사파의 특성과 파랑에 의해 생기는 해빈류에 의해 크게 좌우됨을 나타냈다.

참 고 문 헌

Shepard,F.B. and Inman,D.L.: Nearshore circulation, Proc. 1st Conf. Coastal Eng. Council on Wave Research, Vol.1, pp.50~59, 1951.

Bowen,A.J.: Rip current 1, theoretical investigation, J. Geophy. Res., Vol.74(23), pp.5467~5478, 1969.

Ebersole,B.A.: Refraction-diffraction model for linear water waves, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., Vol. (6), pp.939~953, 1985.