

학동 해빈의 침식에 관한 조사·연구 An Investigation-Study on the Erosion at Hak-Dong Gravel Beach

함계운* · 김진홍** · 장대정*

Gye Un Ham*, Jin Hong Kim**, and Dae Jeong Jang*

요 旨 : 해안의 침식, 하구 및 항로, 항내매물 등에 관한 저질이동에 기인한 해저지형 변동현상은 해안재해라는 측면에서 오래전부터 사회문제로까지 확대되어 그 문제점이 지적되어져 왔으며 최근에는 해안환경의 보전이라는 관점에서 환경영향평가의 중요 항목으로 인식되어 문제의 재현 및 예측과 대책방법이 철저히 요구되고 있는 중요한 과제이다. 본 연구의 대상지역인 학동해빈은 1996년 기존 돌제형식의 선착장을 연장한 이후 해안선 부근에서 침식현상이 진행되고 있다. 따라서, 학동 자갈해빈의 침식원인을 규명하기 위하여 현장관측을 통한 단면측량 결과 및 One-line 모델을 사용하여 침식원인을 규명하고자 하였다. 그리고 Sonu와 Beek(1971)가 제시한 해수면상 저류표사량 산정모델이 자연해빈뿐만이 아니라 해안 구조물이 설치된 학동 자갈해빈에도 유용한 모델임을 입증하였다.

핵심용어 : 돌제, 자갈해빈, one-line 모델, 저류표사량

Abstract □ The changes of sea bottom configuration, which may cause the coastal disasters, have been considered as social problems. It is obvious that the beach deformation is attributable to the sediment transport associated with erosion and siltation in coastal areas such estuaries, channel and harbors. The prediction method and countermeasures for them, however, are not on the level of satisfaction, which indicates that make efforts should be made on developing them. Groin was constructed at Hak-Dong gravel beach to embark ship at 1996, as a result region of right of groin, severe erosion of beach is proceeding till now 1999. In this study, based on the field measurements, involved the one-line theory model which was selected for the prediction of shoreline change to prepare coastal protection methods of Hak-Dong gravel beach. Author found that the stored sediment estimation model by Sonu and Beek(1971) is useful model at the Hak-Dong gravel beach by the use of topographical survey data from September, 1998 to September, 1999.

Keywords : groin, gravel beach, One-line model, stored sediment

1. 서 론

본 연구대상 지역인 학동 해빈은 경남 거제시 동부면 학동리에 위치한 자갈해빈으로 수려한 자연경관을 지닌 휴양지로 널리 알려져 왔다. 학동 해빈은 해안선 길이 1.2 km, 해변폭 40~50 m로서 1996년 학동 해빈의 활성화를 위하여 기존 25 m 길이의 유람선 선착장(돌제)을 45 m로 연장하고 해수의 순환을 원활하게 할 목적으로 25 m 지점에 2×2 m의 구형 통관 2개를 설치하였다. 이후 선착장

우안부에 급격한 침식현상이 발생하여 저층이 노출되면서 자갈 해빈으로서의 기능을 상실하고 있는 상태이다. 학동 해빈만이 아니라 최근 국내의 해변중 여러곳은 표사의 균형을 상실하여 안정해빈을 이루지 못하고 해변면적의 급격한 감소로 인하여 휴양지로서의 기능을 상실하고 있는 실정이다. 또한 삼면이 바다에 접해 있는 국내의 실정을 감안하면 국토의 효율적인 이용과 보전의 측면에서 해변의 침식원인은 규명되어야 할 것이며 그 대책 또한 반드시 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

*경상대학교 공과대학 토목공학과(Corresponding author: Gye Un Ham, Dept. of Civil Eng., College of Eng., Gyeong-Sang National University, 660-701, Korea. guham@nongae.gsnu.ac.kr)

** (주)삼안건설기술공사(Saman Eng. Consultants Co., Ltd.)

出口一郎 등(1988)은 파고와 파의 처올림을 예측하기 위하여 자갈층 및 자갈해빈에서 발생하는 유체운동에 대한 비선형 부등류 Darcy 법칙과 쇄파에 따른 와류의 Boussinesq 방정식을 이용한 수치모델을 수립하여 투수층상의 파랑 변형에 대해서 연구하였다. 榑木 후 등(1990)은 투수층이 파랑 및 해빈류에 미치는 영향에 대해서 실험적으로 검토하고, 투수층내 유체운동의 에너지 일산을 이용한 에너지 플락스 보존법칙을 이용하여 투수층 주변의 파랑 변형을 예측하였다. Van Hijum 등(1982)은 자갈해빈에 있어서 입사파에 따른 평형단면 형상을 실험적으로 규명하였으나 자갈이동의 원동력인 파력에 대해서는 고려하지 않았다. 자갈해빈에서 평형단면의 형성기구를 파악하기 위한 역학적인 문제의 필요성 때문에 Deguchi 등(1996)은 수리실험을 수행하여 입사파에 대한 단면변형 현상을 측정하였다. 荒木進歩 등(1996)은 역학적인 해석을 이용하여 자갈의 동적 거동을 규명하고, 그에 따른 거동의 파괴 기구를 규명함과 동시에 그 해석방법을 이용하여 자갈 호안이 자갈 해빈으로 환산되는 경우의 자갈 이동에 관하여 해석하고자 하였다. 이를 토대로 出口一郎 등(1996)은 자갈 해빈의 변형에 대한 2차원 실험 및 호안으로서 시행된 인공 자갈해빈에 관한 현지 실측 결과를 토대로 자갈해빈의 특성 및 그 예측 수법에 대해서 연구하였다.

기존의 연구가 자갈층의 투수성에 기인한 파랑변형 및 자갈해빈에서의 변형에 대한 실험적·수치적인 연구가 주를 이루고 있으나 현장자료와 연관된 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 침식이 진행되고 있는 학동 해빈에서 관측한 현장데이터를 중심으로 자갈해빈의 단면변형에 대한 원인을 제시하고자 하였다.

본 연구는 1998년 6월부터 1999년 10월까지 6차례의 현장관측 기간동안 학동 해빈의 계절적인 단면변화 및 저질특성 조사, 동기간 내습파랑의 특성, 선착장 주변의 해빈류 패턴, 그리고 Tracer 추적실험을 실시하여 해빈의 침식진행에 대한 원인을 규명하고자 하였으며 Bernard-Considere (1956)가 제시한 해안선 변형모델을 사용하여 입사파고에 따른 해안선 변화를 해석하였다.

2. 침식진행에 관한 조사 · 연구

2.1 단면의 천이주행

학동 해빈의 해안선 및 단면 변화 과정을 파악하기 위해 1998년 6월부터 1999년 9월까지 단면을 8부분으로 나누어 6회에 걸쳐 단면변화를 측정하였으며, 동기간에

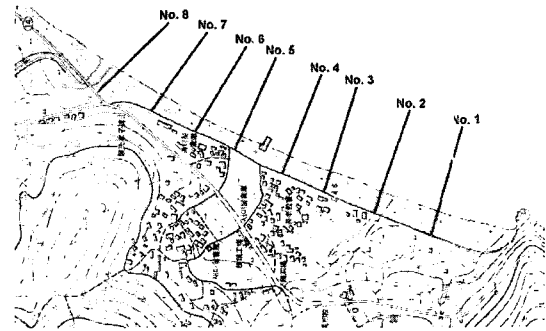


Fig. 1. Position of profiles.

수심 측량을 2회 실시하였다. 1998년 6월의 측정 결과는 당시 해빈 배후의 호안 공사로 인한 단면의 불안정이 발생하여 결과의 분석에서 배제하였다. 또한, 매년 7월초에는 해빈 개장을 앞두고 인위적인 일정 경사의 단면으로 정형작업이 이루어지고 있음이 현장조사 결과 확인되었다.

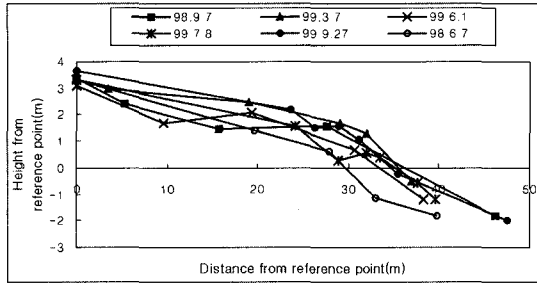
Fig. 1과 같이, No. 1단면은 선착장을 중심으로 우안 280 m지점, No. 2단면은 180 m지점, No. 3단면은 80 m 지점, No. 4단면은 30 m지점에서 해안선 방향, No. 5 단면은 선착장을 중심으로 좌안 30 m지점, No. 6단면은 130 m 지점, No. 7단면은 230 m지점, No. 8단면은 330 m지점에서 해안선방향으로 측선을 설정하였다.

Fig. 2는 확정된 단면의 각 측선별 단면의 변화양상을 도시한 것이고, Fig. 3은 시간의 경과에 따른 해안선변화를 도시한 것이다.

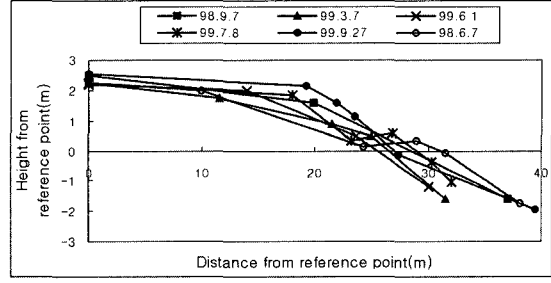
Fig. 2와 Fig. 3에 의하면 1년간의 해안선의 변동량은 No. 1, No. 6, No. 7 그리고 No. 8단면에서 비교적 작은 것으로 조사되었고 No. 2, No. 3, No. 4 그리고 No. 5 단면에서 비교적 큰 해안선 침식현상을 나타내는 것으로 조사되었다. 그리고 1998년 9월 7일과 1999년 6월 1일의 단면측량 결과를 통하여 No. 1단면을 제외한 전 단면에서 계절적인 변동양상이 큰 것으로 조사되었으며 특히 No. 2, No. 4, No. 7 그리고 No. 8단면은 타단면에 비하여 변동양상이 큰 것으로 조사되었다.

상기의 단면측량 결과를 통하여 타단면보다 선착장의 좌 · 우해빈인 No. 2, No. 3, No. 4 그리고 No. 5단면에서 비교적 많은 양의 침식현상이 발생하는 것으로 판단되었다.

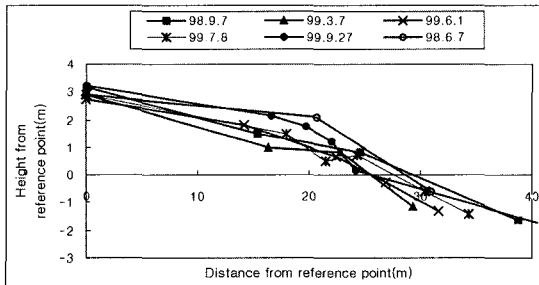
각 단면의 해빈 경사와 저질 입경사이의 상관관계를 규명할 목적으로 입도분석 실험을 실시하였다. 입도분석을



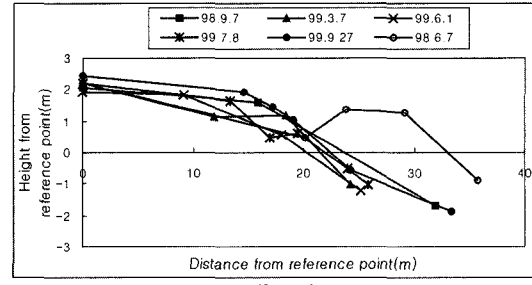
(a) No. 1



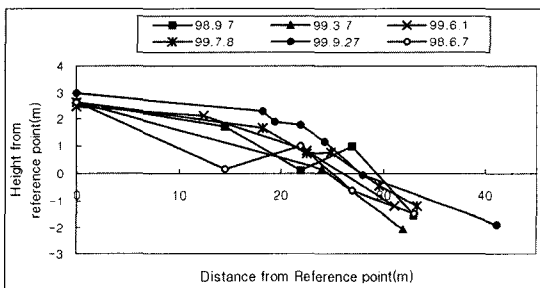
(e) No. 5



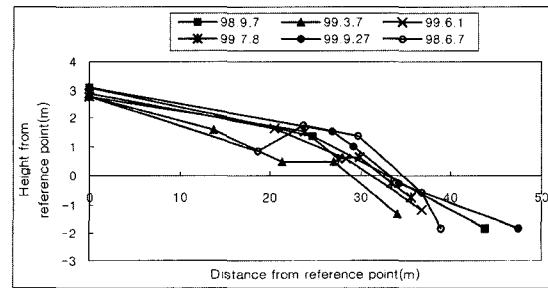
(b) No. 2



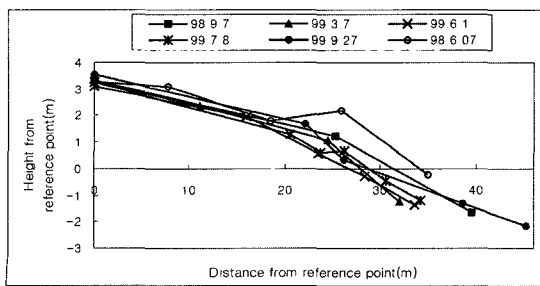
(f) No. 6



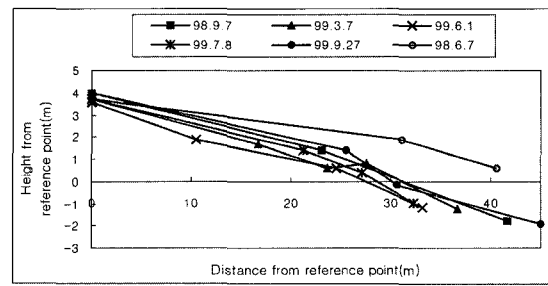
(c) No. 3



(g) No. 7



(d) No. 4



(h) No. 8

Fig. 2. Beach profiles change with time intervals at Hak-Dong beach (a)-(h).

Fig. 2. Continued.

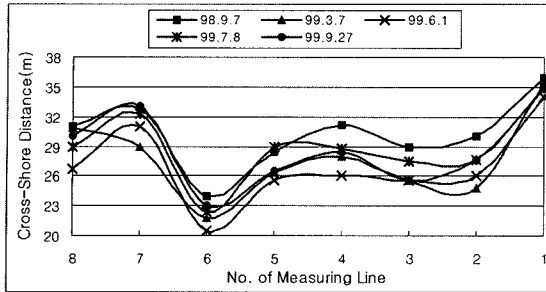


Fig. 3. Shoreline changes with time intervals.

위한 시료의 채취는 각 단면의 기준점에서 해안선의 수직방향으로 40 m지점에서 시료를 채취하여 분석하였다. 입도분석 실험을 통하여 얻어진 저질의 중앙입경(d_{50})과 각 단면별 해빈경사와의 관계를 Table 1에 제시하였다.

Table 1에서 1999년 9월 27일의 입경분석 결과에 의하면 선착장 우안 No. 4단면의 중앙입경(d_{50})이 10.56 mm로서 가장 작은 분포, 선착장 좌안의 No. 5단면에서 중앙입경(d_{50})이 28 mm로서 가장 크게 조사되었으며 해빈경사는 전 단면에서 1/4~1/5의 분포로 급경사의 경향을 나타내었다.

실제의 해빈 단면 변화는 파에 의한 임의적인 자극에 의하여 지배되고 있으며 해빈 단면의 변화가능성은 모든 가능한 상태에서 발생할 수 있다. 이러한 사실은 해빈 단면의 시간적인 주행들이 완성된 하나의 순환과정을 이룩하는 데는 동시에 동일하게 이중이라고 할 수 있는 침식

진행이나, 퇴적진행이나, 하는 천이분포 가능성을 가지고 있으며, 이 때 가장 단순화된 천이 가능성은 1/2로서 해빈의 단면진행은 양자의 천이 가능성 중에서 어느 한 가지의 양상을 보이게 됨을 의미하는 것이다. 해빈 단면의 변화과정이 통계학적이란 단정지어 말할 수 있는 의미는 시간적인 경과에 따른 해빈 단면의 변화가 최종시간에 구축되어진 결정적인 임의시간 현재의 단면현상이 부분적으로 선행단면의 영향을 받는다는 사실이다. 다시 말하면, 선행단면의 종속함수라는 의미를 포함하고 있으며, Markov의 1차항으로서 해빈단면의 변화과정을 나타낼 수 있는 것이다.

실제 해빈단면의 변화를 해석하기 위해서는 무엇보다도 선행단면의 변화를 확정짓기 위한 천이모델의 수립이 절대적이다. Monte Carlo에 의한 수치적인 해석방법으로서 random number의 문제, noise의 처리, 그리고 power spectrum의 통계처리문제가 발생하여 해석과정이 매우 까다롭게 되고 거기에 불충분한 현장자료의 문제까지 겹치게 되면 완전한 해석을 기대하는 것은 어려워지게 된다.

이러한 이유 때문에 이론적인 접근방법으로서 현장의 관측결과를 사용한 천이 가능성모델을 선택하여 단면의 천이주행을 추정하는 방법이 가장 효과적인 해빈단면의 변화과정을 파악할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

Sonu와 Beek(1971)는 미국 North Carolina의 Outer Bank의 자연해빈에서 8개월 동안 반일조 간격으로 매일의 해빈단면의 변화과정을 관측한 결과 6가지 주요단면의 천이 형상을 1순환과정으로 하는 규칙적인 천이주행

Table 1. Beach profile slope and mean diameter at representative point(unit: mm)

Date	No.	D.S							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Dia.	Dia.	Dia.	Dia.	Dia.	Dia.	Dia.	Dia.
		Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope
98. 6.7		15	41	26	10.2	26	27	6.2	14
		1/10	1/2	1/4	1/5	1/4	1/3	1/2	1/5
98. 9.07		11	13	6	3	12	10	20	23
		1/5	1/5	1/6	1/5	1/5	1/5	1/6	1/6
99. 3.07		15	16	11	21	29	9	14	39
		1/3	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/4	1/4
99. 6.01		32	19	21	12	29	26	32	33
		1/4	1/4	1/5	1/5	1/4	1/4	1/5	1/5
99. 7.08		29	17	24	7	34	31	11	25
		1/4	1/5	1/5	1/5	1/3	1/4	1/5	1/4
Total Ave.		20.4	19.24	17.56	10.56	28	20.6	16.64	26.8
		1/5	1/4	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/5

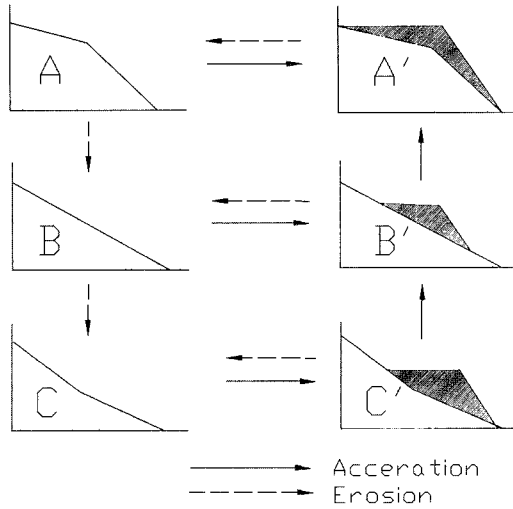


Fig. 4. Major types of beach profiles.

이 나타나고 있음을 발견하였다. 천이주행의 주요한 원인으로서는 파랑에 의하여 해변역의 전변부에서 파랑 사주가 변화하게 되는데 이 때 저질입경이라는 매개변수가 파랑특성에 따라 반응하면서 해변의 전변부에서는 파랑 사주의 형태, 육상의 해변에서는 단구의 형태로 해변단면의 형태를 지배하고 있음을 발견하였다.

Fig. 4는 Sonu와 Beek(1971)가 291개의 현장 관측자료 중 90%정도를 일치시킨 결과에서 얻은 천이주행도이다. Fig. 4의 우측 A', B', C'의 변이형상에 대하여 Sonu와 Beek(1971)는 해수면상에 노출된 단면공간을 결정하는 함수는 해변폭 S 와 단면에 퇴적된 저질표사의 양인 저류표사량 Q , 그리고 해변의 표면형상 Ω^4 에 의해 결정되어짐을 규명하였다.

단면형상으로는 앞서 언급한 A형인凸형상단면과 B형인 선형형상 그리고 C형인凹형상단면의 3가지 기본형상에 단구형상을 해변에 포함한 6가지 대표형상으로 제시하였다. Fig. 4의 단면 천이주행에 의하여 결정된 주행특성을 학동해빈에 적용하여 그 결과를 Table 2에 제시하였다.

Table 2에서 학동 해변의 1998년 9월부터 1999년 9월 까지 단면의 천이 주행특성은 No. 1과 No. 5단면은 A→A'→C'→C로 변화하는 퇴적형 형상에서 침식형 형상으로 변화하고 있으며, No. 3, No. 4 그리고 No. 6단면은 전형적인 침식형 형상을 보이고 있음을 알 수 있었다.

상기의 결과를 통하여 학동 해변의 천이주행은 정상적

Table 2. Succession of 4 or 6 major transition at Hak-Dong gravel beach profiles

	98.9.7	99.3.7	99.6.1	99.7.8	99.9.27
No. 1	A	A'	A	C'	C
No. 2	B	A	A	C'	B'
No. 3	A	B'	B	C'	C
No. 4	A	A	B	C'	C
No. 5	A	A	C'	C'	C
No. 6	A'	A'	A	C'	C
No. 7	A	B'	A	C'	C
No. 8	B	C'	A	A	C

인 천이주행의 특성이 파괴된 양상을 보이고 있음을 알 수 있었다.

2.2 자갈의 이동특성

본 연구의 대상지역인 학동 해변의 자갈이동 특성을 관측하기 위하여 현장에서 Tracer 추적실험을 수행하였다.

Tracer 추적실험은 선착장을 중심으로 양안 300 m의 범위에서 실시하였으며 각 단면의 기준점에서 해안선의 수직방향으로 40 m 지점에서 Tracer를 투하하여 10일이 경과한 후 회수하였으며 그 위치는 각 단면의 기준점에서 트랜싯을 이용하여 위치를 결정하였다. Tracer 입경의 범위는 19.1 mm 이상 38.1 mm 이하의 자갈에 페인트를 이용하여 착색하여 사용하였으며, 1999년 6월 1일(1차 조사), 1999년 9월 10일(2차 조사), 1999년 9월 15일(3차 조사) 그리고 1999년 9월 27일(4차 조사)를 실시하였다. 해안선 방향으로 4개 지점을 선정한 후 지점당 50개 이상의 Tracer를 투입하여 7일 후에 자갈의 이동 상황을 조사하였다. 2차 조사와 3차 조사에서는 태풍 앤(ANN)과 바트(BART)의 영향으로 높은 파랑이 내습하여 Tracer 추적실험에 실패하였으므로 본 연구에서는 제 1차와 제 4차의 조사 결과에 대하여 검토하였다.

Fig. 5는 제 1차 조사에서 관측된 No. 2, No. 4, No. 5 그리고 No. 7단면의 Tracer 이동경향을 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 No. 2단면에 투입된 Tracer는 심해방향 및 해변의 우안방향으로 이동량이 탁월한 것으로 관측되었다. No. 4단면에 투입된 Tracer중 일부는 선착장으로 인한 파랑의 회절이 발생하여 해변의 좌안 및 해안선방향으로 이동하였으나 전반적으로 해변의 우안부 심해측으로 이동하는 경향을 나타내었으며 최대 이동거리는 15 m로 관측되었다. No. 5단면에 투입된 Tracer는 산란의 경향을 보이고 있지만 전반적으로 해변 우안방향으로의 이동량이 탁

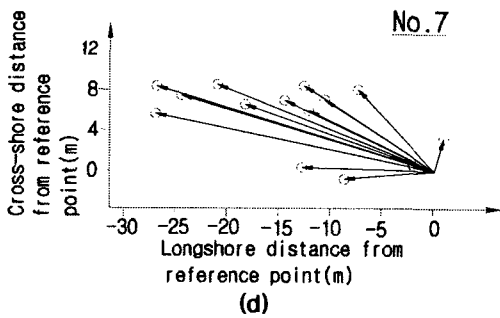
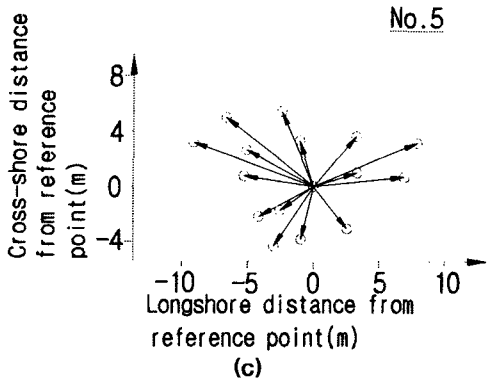
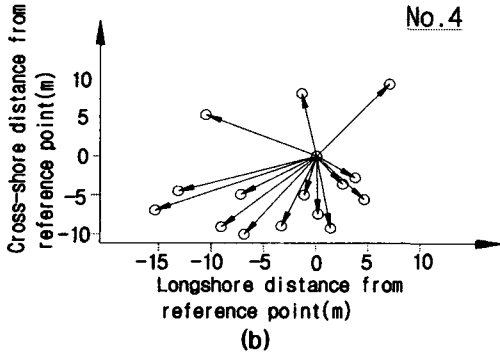
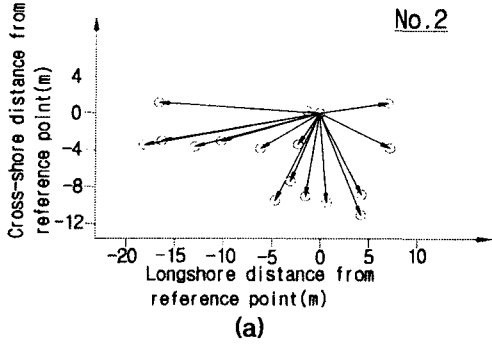


Fig. 5. Tracer movement length (a)-(d).

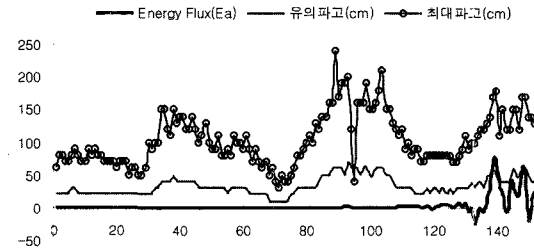


Fig. 6. Time series of maximum wave height, significant wave height, and wave energy flux.

일한 것으로 관측되었다. No. 7단면에 투입된 Tracer는 해빈의 우안 및 해안선방향으로 이동하는 것으로 관측되었다.

Fig. 6은 제 1차 조사기간 중 2일간 내습(1998년 6월 5일부터 7일)한 파랑기록 중 최대파고(Hmax)가 1 m이상 되는 파랑을 사용하여 산정한 Energy flux(Ea)로서 해빈의 좌안에서 우안으로 이동할수록 증가하는 경향을 보이고 있다.

$$E_a = EC_g \sin \theta \cos \theta = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g \sin \theta \cos \theta \quad (1)$$

여기서, ρg 는 해수의 단위체적중량, C_g 는 군속도, 그리고 θ 는 입사파향으로 학동 해빈의 해안선 방향으로부터 입사각을 180°로 설정하여 시계방향으로 (+)를 추한 각도로 변환시켜 계산하였으며 동기간 내습한 파랑의 파향에 대한 시계열을 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 8은 제 4차 조사에서 관측된 No. 2, No. 4, No. 5 그리고 No. 7단면에 대한 Tracer 이동경향을 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 No. 2단면에 투입된 Tracer는 우안으로 이동이 탁월하였으며 제 1차 조사와 비교할 때 심해방향으

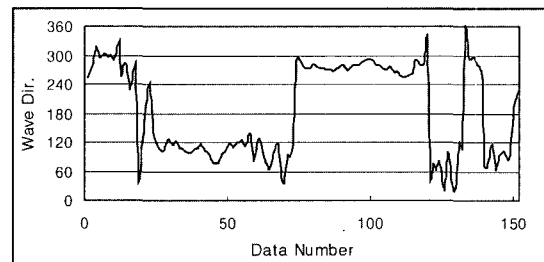


Fig. 7. Time series of wave Direction.

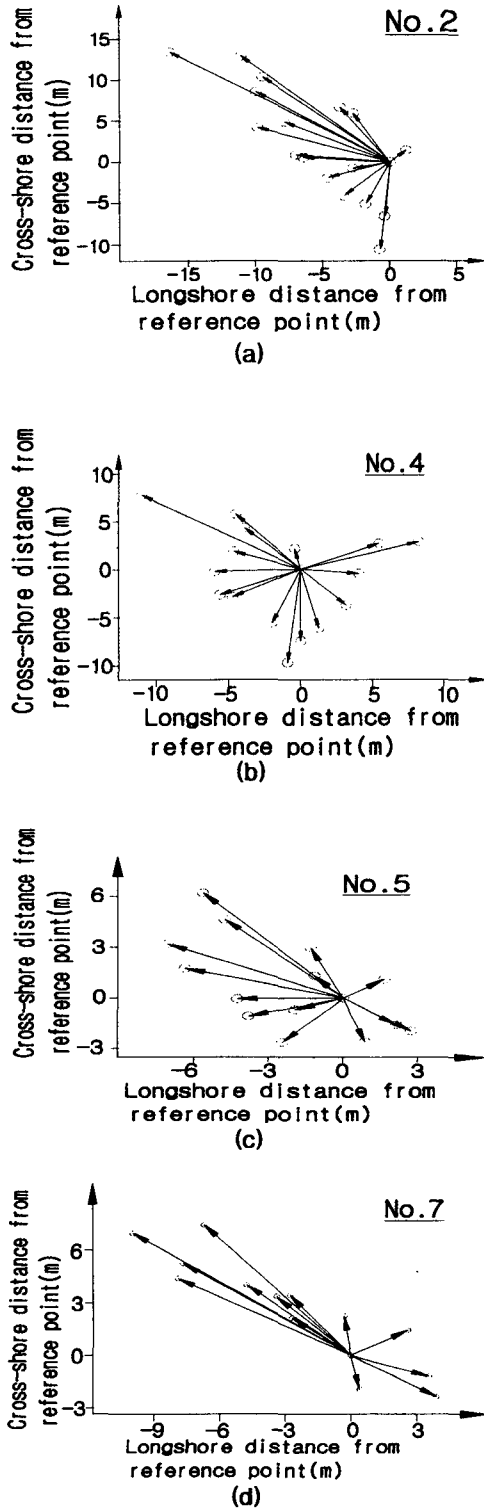


Fig. 8. Tracer movement length (a)-(d).

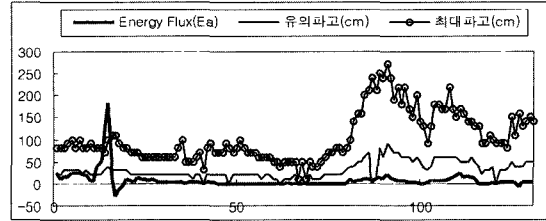


Fig. 9. Time series of maximum wave height, significant wave height, and wave energy flux.

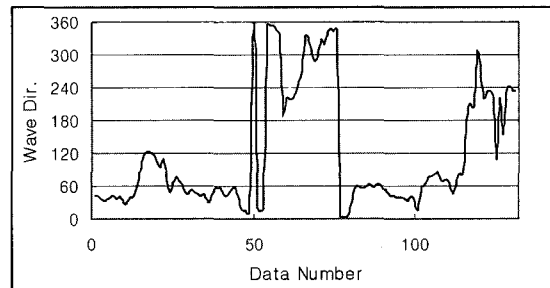


Fig. 10. Time series of wave Direction.

로의 이동량이 다소 감소한 것으로 관측되었다. 이러한 원인은 탁월파향은 동일하였으나 내습파고의 감소로 인하여 이동방향은 일치하나 이동거리는 감소한 것으로 판단되었다. No. 5단면과 No. 7단면은 우안으로의 이동량이 탁월하게 나타났으며 제 1차 조사와 유사한 경향을 나타내었다.

Fig. 9는 제 4차 조사기간 중 내습한 파랑기록 중 최대 파고(H_{max})가 1m 이상 되는 파랑을 사용하여 산정한 Energy flux(E_a)를 나타낸 것이며 Fig. 10은 동기간 내습한 파랑의 파향에 대한 시계열을 도시한 것이다.

2.3 해빈류 관측

근래에 와서 해빈류에 관한 현장관측이 행해짐으로 인하여 현지 해안에 대한 해빈류 및 해빈변형 모델에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나, 학동 해빈의 경우 침식이 진행되고 있음에도 불구하고 이러한 현장 관측자료의 부족으로 해빈류의 흐름특성이나 표시이동을 포함한 해빈 변형기구의 규명이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구대상 지역의 침식원인이라 판단되는 선착장 주변에 대한 해빈류의 현장 관측을 실시하여 흐름 패턴을 분석하고, 연안류의 원활한 순환을 위해 설치한 2×2 m 구형통관의 효용성을 밝히고자 하였다.

해빈류의 흐름 패턴은 쇄파대 내·외에 부자 20개를 투

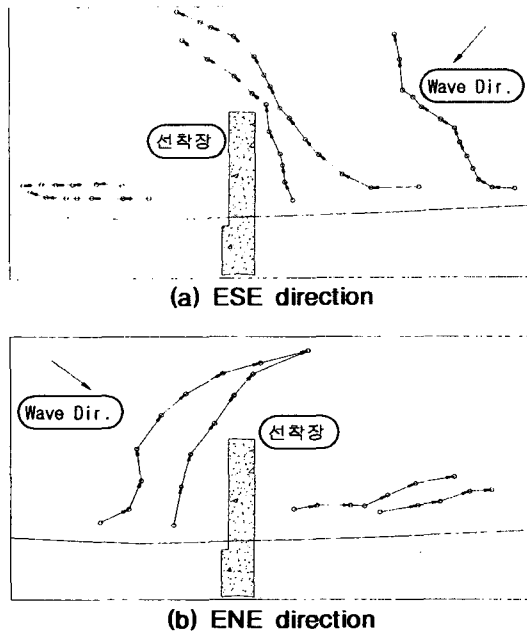


Fig. 11. Beach current pattern at vicinity of groin (a)-(b).

입하여 시간대별로 이동경로를 추적하였으며 통관을 통한 해수의 순환 유속을 측정하기 위하여 통관 입구에 유속계(VALEPORT, Model 0012B)를 설치하여 4분 10초의 간격으로 유속을 측정하였다.

Fig. 11은 학동 해빈의 주입사파향인 ESE와 ENE일 때 관측된 해빈류 일반적인 패턴을 나타낸 것이다. 입사파향이 ESE일 때는 선착장 우안에서 강력한 이안류, 좌안에서는 미약한 연안류가 발생하였고, 입사파향이 ENE일 때는 선착장 좌안에 이안류, 우안에는 연안류가 발생됨을 현장 관측결과 알 수 있었다.

해빈류 패턴에 대한 관측결과를 통하여 선착장 부근의 해역에서는 각각 상이한 해빈류계가 형성되고 있음을 알 수 있었다.

2×2 m 구형통관 입구에서 관측한 평균유속은 0.155~0.035 m/s로 통관의 설치 목적인 해빈류의 원활한 순환에 큰 기여를 하지 못하는 것으로 판단되었다.

3. 이론적 적용

3.1 One-line 모델에 의한 해안선 변화

Pernard-Consideré(1956)가 제시한 해안선 변화모델을 사용하여 파고의 증가에 따른 학동 해빈의 해안선변화를 해석하였다. 모델의 적용범위는 학동 해빈의 선착장을 중

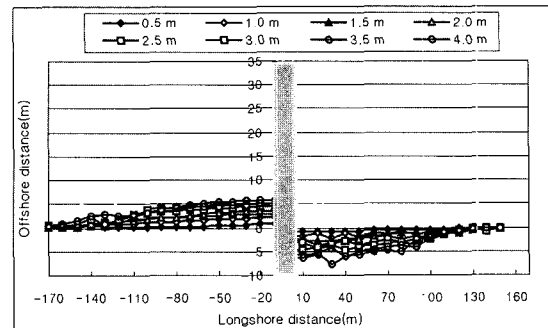


Fig. 12. Computed numerical analysis values.

심으로 좌·우안 각 170 m구간으로 설정하였다.

외해측 입력 경계조건에서 입사파향은 ENE를 사용하였으며, 기본수준면은 파랑의 영향을 확률적으로 가장 많이 받는 평균조석시 평균해수면을 사용하였으며 계산기간은 365일로 설정하였다. 그리고 선착장 25 m지점의 2×2 m의 구형통관은 무시하였으며, 파고 H_{ms} 는 0.5~4.0 m의 범위를 적용하여 학동 해빈의 해안선변형을 해석하였으며 그 결과를 Fig. 12에 제시하였다.

해안선변화에 대한 산정결과를 통하여 선착장 좌안에서는 퇴적현상, 우안에서는 침식현상이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 경향은 해빈류의 작용에 의한 자갈의 이동이 좌안에서 우안으로 우세하게 이루어짐을 의미하는 것으로 판단되었다. 그리고 선착장 좌안에서 퇴적의 진행은 파고와는 무관하게 거의 선형적인 형태로 이루어지고 있지만, 우안에서의 침식형태는 파고가 증가함에 따라 비선형적인 형상을 나타내었다. H_{ms} 가 0.5 m인 경우, 선착장 좌·우안의 퇴적과 침식의 차이는 1 m정도, 퇴적의 범위는 선착장의 좌안으로 약 70 m, 침식은 선착장의 우안으로 약 130 m까지 발생함을 알 수 있었다.

Fig. 6과 Fig. 9에서 학동 해빈에 입사하는 입사파의 유의 파고는 1 m미만인 것으로 조사되었으나 극한 조건일 경우의 해안선변동에 대한 해석을 위하여 H_{ms} 가 4.0 m인 경우에 대하여 해안선의 변동을 추정하였다. H_{ms} 가 4.0 m인 경우 선착장을 사이에 두고 약 10 m이상의 차이를 나타내었는데 이는 선착장으로 인한 영향이 심각함을 알 수 있었다. 선착장 좌·우안의 퇴적과 침식 범위는 퇴적이 약 170 m, 침식이 약 140 m까지 발생하였다. 그리고 침식이 최대 발생하는 지점은 선착장에서 우안으로 약 30 m 떨어진 지점으로 나타났으며 실제의 현장관측에서도 약 30 m지점에서 자갈 유실이 가장 많이 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

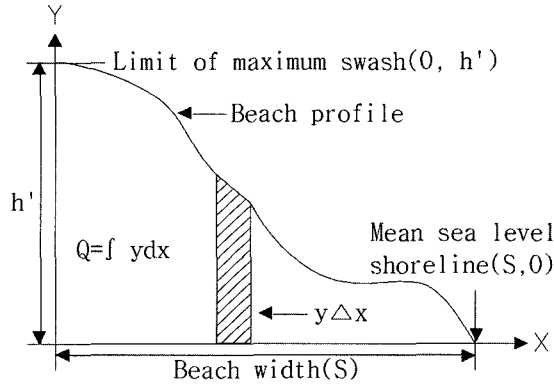


Fig. 13. Coordinate system employed for representation of beach profiles.

3.2 저류 표사량

임의 지점에서 결정되어진 단면형상에 대한 해수면상 저류표사량의 변화를 결정하기 위한 극함수는 매개변수 S, Q, Ω에 의하여 결정되며 좌표계는 Fig. 13과 같이 나타내어진다.

Fig. 13의 좌표계에서 저류표사량 Q는 해변단면(beach surface)과 X, Y축으로 경계지어진 단면적으로서 단위길

이당 저류표사량을 산정하는 식 (2)와 같이 나타내어진다.

$$Q = \int_0^S y dx \tag{2}$$

여기서, X축은 평균해수면일 때 해안선에서 후빈방향으로 직각, Y축은 연직 상향을 나타내고 있다.

단면 형상을 나타내는 변수 Ω는 해변단면의 형태가 상향으로 볼록(Convex)인가 오목(Concave)인가의 여부와 해변단면에서 단구의 형성여부와 단구를 형성하였다면 그 위치에 따라서 결정된다.

지금까지 정의된 변수를 도입하여 해변단면의 형상을 일반적인 식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$Y = ax^2 + bX + c \tag{3}$$

식 (3)에서 각 단면형상에 따른 경계조건을 고려하여 저류표사량을 산정하면 식 (4), 식 (5) 그리고 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

(1) Convex Profile Maximum Storage:

$$Q_1 = \frac{2}{3} \cdot h' \cdot S \tag{4}$$

(2) Linear Profile Intermediate Storage:

Table 3. Comparison for the surveyed result and calculated result of stored sediment on Hak-Dong beach profiles

Surveying Day	No.	98.9.7		99.3.7		99.6.1		99.7.8		99.9.27	
		Surve- yed	Calcu- lated	Surve- yed	Calcu- lated	Surve- yed	Calcu- lated	Surve- yed	Calcu- lated	Surve- yed	Calcu- lated
Storage Q=m ³ /m	1	60	61	74	78	57	51	65	58	83	89
	2	46	43	58	43	45	43	47	49	56	55
	3	48	47	39	37	43	47	46	40	55	55
	4	60	51	56	62	50	55	69	62	61	67
	5	47	47	38	40	42	37	45	44	53	46
	6	35	33	28	32	28	26	30	32	40	36
	7	60	67	34	30	54	59	57	60	67	69
	8	68	63	56	58	46	49	60	53	72	81
Deformation Q=m ³ /m	1	-	-	-14	-17	17	27	-8	-7	-18	-31
	2	-	-	-12	0	13	0	-2	-6	-9	-6
	3	-	-	9	10	-4	-10	-3	7	-9	-15
	4	-	-	4	-11	6	7	-19	-7	8	-5
	5	-	-	9	7	-4	3	-3	-7	-8	-2
	6	-	-	7	1	0	6	-2	-6	-10	-4
	7	-	-	26	37	-20	-29	-3	-1	-10	-9
	8	-	-	12	5	10	9	-14	-4	-12	-28
Total Average		53	52	48	48	46	46	52	50	61	62
Total Storage Q=m ³		63600	61865	57450	57000	54750	55050	62850	59700	73050	74700

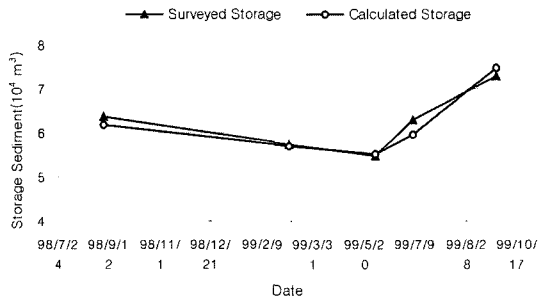


Fig. 14. Total stored sediment deformation on beach profile of Hak-Dong.

$$Q_2 = h' \cdot \frac{S}{2} \quad (5)$$

(3) Concave Profile Minimum Storage:

$$Q_3 = 0.45h' \cdot S \quad (6)$$

학동 해변과 같이 해안구조물이 축조된 경우에 Sonu와 Beek(1971)가 제시한 저류표사량 산정공식이 적합한지를 판단하기 위하여 실측된 각 단면에서 단위길이당의 저류표사량을 산정하여 그 결과를 Table 3과 Fig. 14에 제시하였다.

Fig. 14에서 현장관측에 의한 결과와 좌표계에 의해 추정된 계산값이 거의 일치하는 경향을 나타내고 있다. 좌표계에 의한 추정은 Fig. 2에 제시한 각 단면의 형태를凸형(A), 선형(B) 그리고 凹형(C)형으로 구분하여 식 (3), 식 (4) 그리고 식 (5)에 대입하여 저류표사량을 산정하였다. 그러나 1999년 7월과 9월의 저류표사량이 많은 원인은 7월에 남부지방에 발생한 강풍과 집중호우, 그리고 9월의 태풍 앤(ANN)과 바트(BART)의 영향인 것으로 판단되었다. 따라서, Sonu와 Beek(1971)가 제시한 단면의 천이주행 모델에 의한 해수면상 해변단면의 저류표사량 산정공식은 자연해빈뿐만 아니라 해안구조물이 축조되고 자갈 해빈인 학동 해변에도 적용될 수 있는 공식임이 입증되었다.

4. 고 찰

1998년 6월부터 1999년 9월까지의 단면측량 결과와 제 1차 및 제 4차의 Tracer 추적실험을 수행한 결과 No. 4 단면에서는 해안선방향의 이동보다는 심해방향으로의 이동이 탁월하였으며, No. 7단면에서는 해안선방향의 이동이 탁월한 것으로 관측되었다. No. 5단면에서는 해안선 방

향의 이동도 일부 발생한 것으로 관측되었지만 심해방향으로의 이동이 탁월한 것으로 관측되었다. No. 4와 No. 5단면에서 심해방향으로의 자갈이동 경향은 선착장 주변 해역에서 실측된 해빈류의 패턴과 잘 일치하였다.

연구대상 지역인 학동 해변은 전반적으로 침식이 진행되고 있음을 현장조사 결과 알 수 있었다. No. 1과 No. 5단면은 Convex profile(凸형)에서 Concave profile(凹형)으로 천이가 진행되고 있는 것으로 조사되었다. No. 3, No. 4, 그리고 No. 6단면은 전형적인 침식형상인 Convex profile(凹형)의 천이주행 특성을 나타내고 있음이 조사결과 확인되었다.

연구대상 지역인 학동 해변의 천이주행 특성이凸형 형상을 나타내는 것은 해안선 부근의 자갈이 전빈의 정상부로 이동하여 전체적인 저류 표사량은 증가하였기 때문인 것으로 추정되었다.

One-line theory의 적용에서는 ENE방향이 탁월한 경우 선착장의 좌안에는 퇴적, 우안에는 침식현상이 발생하였다.

5. 결론 및 제언

1998년 6월부터 1999년 10월까지 6차례의 현장관측을 통한 학동 해변의 계절적인 단면변화 및 저질특성 조사, 동기간 내습 파랑의 특성, 선착장 주변의 해빈류 패턴, 그리고 Tracer추적을 실시하여 침식진행에 대한 원인을 조사·연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 학동 해변의 단면변화 및 저질특성을 조사한 결과, 해안선 부근의 단면은 침식중인 것으로 판단되며, 후빈부의 단면은 일부 퇴적의 양상을 나타내는 것으로 관측되었다.
2. 학동 해변의 단면측량 결과를 기초로 저류표사량을 산정한 결과, Sonu와 Beek(1971)가 제시한 저류표사량 산정 모델은 해안구조물이 축조된 사빈해안뿐만 아니라 자갈 해변에도 적용될 수 있는 모델임이 입증되었다.
3. 학동 해변의 해빈류 패턴 및 Tracer추적을 실시한 결과, 선착장의 증축으로 인한 해빈류 순환계가 변형되어 이안방향으로의 자갈 이동량이 증가한 것으로 관측되었으며 이로 인하여 해안선 부근에서 침식현상이 발생한 것으로 판단되었다.

참고문헌

- Deguchi, I., Masanobu, O.N.O. and Sawaragi, T., 1996. Wave on pebble beach and deformation of pebble beach, *Pro-*

- ceedings of the 25th International Conference Coastal Engineering*, **3**.
- Pernard-Considerere, R. 1956, Essai de theorie de l'evolution des forms de vivage en plages de sable et de galets, *IV eme Journess de l'Hydraulique*, Les Energies de la Mer, Question III, Rapport, No. 1, pp. 289-298.
- Sonu, C.J. and Beek J.L. 1971. Systemmatic Beach Changes on the Outer Banks, North Carolina, *Journal of Geology*, **79**, pp. 416-425.
- Van Hijum, E. and Pilarczyk, K.W. 1982, *Equilibrium profile and longshore transport of coarse material under regular and irregular wave attack*, Rihks- waterstaat, Ministry of transport and Public works, No. 274.
- 榎木 亨, 岡原義典, 出口一郎, 1990. 透水層を用いた 波浪及び" 海浜流制御について, 海岸工学論文集, **37**: 539-543.
- 出口一郎, 小野正順, 榎木 亨, 1996. 礫浜の變形に関する研究, 海岸工学論文集, **42**: 506-510.
- 出口一郎, 榎木 亨, 白谷宏司, 1988. 透水層上の波浪 變形に對する非線型非定常ダルシー則の適用性について, 海岸工学論文集, **35**: 487-491.
- 荒木進歩, 伊藤禎和, 出口一郎, 1996. 動的應答を考慮した捨石防波堤の平衡勾配について, 海岸工学論文集, **42**: 826-830.

Received January 11, 2002

Accepted March 8, 2002