

외해 구조물 배후의 표사이동에 관한 실험적 연구

신승호^{1†} · 홍기용¹

¹한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양개발시스템연구본부

An Experimental Study of Sediment Transport Patterns behind Offshore Structure

Seung-Ho Shin^{1†} and Keyyong Hong¹

¹Ocean Development System Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KORDI, Jang-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-343, Korea

요 약

최근 육지영역에서 새로운 넓은 용지의 확보가 어려워짐에 따라, 이를 해역에서 찾으려 하는 경향이 나타나고 있으며, 이러한 개발은 개발이 예정된 주변 연안역에 광범위한 해빈변형문제를 야기할 위험이 있다. 따라서 인공섬 등과 같은 외해 구조물을 계획할 경우에는 구조물 건설이 인접 해역의 해빈변형에 미치는 영향을 사전에 적절히 예측할 필요가 있다. 본 연구는 연안역의 침식을 포함한 해빈변형예측모델의 개발을 목적으로, 3차원 이동상 실험을 수행하여 외해 구조물 배후의 표사이동 양상을 분석한 것이다. 실험을 통하여, 외해 구조물 배후의 해빈변형에서 해안선측과 수심역의 해빈변형 기구가 상호 독립되어 있음을 밝혔다. 구체적으로는 소상대를 포함하는 해안선측은 등심선에 대한 파의 입사방향에 대응하는 표사이동이 탁월하며, 수심역에서는 파의 왕복운동에 의한 소류 및 부유사가 해빈류에 지배되어 이동하고, 양자는 해빈에서 형성되는 부분 중복파와 연관된 특정 경계를 기준으로 서로 분리되어 이동함을 규명하였다. 이들 실험 결과는 해빈변형모델의 개발에서 중요한 열쇠를 제공하리라 사료되며, 또한 기 개발된 모델의 검증자료로서도 활용될 수 있으리라 기대된다.

Abstract – Recently, securing a vast land in the land region becomes more difficult and efforts to seek its alteration in the sea area have been increased. As a consequence, the coastal region has been faced to extensive beach erosion problems. In planning offshore structures such as artificial islands, it is necessary to forecast the influence of the structure construction exerting on the beach erosion of the adjacent coast. In the present study, the sediment movement pattern behind offshore structure was examined through a series of three dimensional movable bed experiments, so as to develop the numerical model which forecasts morphological change including beach erosions. The experimental results reveal that the sediment movement patterns of the beach line side and the depth region are separated at a certain boundary line. In details, at the beach side including swash zone the sediment movement becomes dominant, which is governed by a relation between depth contours and incident wave directions, while at the depth region the bed load and suspended load due to the orbit motion of waves are carried by nearshore currents, and both movements are clearly separated at a specified boundary that is related to partial standing wave from the beach. It is expected that these results can be effectively used for verification of a numerical model on morphological change of the coast.

Keywords: Offshore structure(외해 구조물), Beach deformation model(해빈변형모델), Movable bed experiment(이동상 실험), Fluorescent sand(형광사), Sediment transport pattern(표사이동 양상)

[†]Corresponding author: shinsh@kriso.re.kr

1. 서 론

근래 여러 연안역에서 문제가 되고 있는 해안 침식 등의 바람직하지 못한 해빈변형은 그 대부분이 토사 수지(收支)의 불균형에 기인하는 것이며, 토사 수지의 불균형은 해당 연안역의 하구 혹은 해안으로부터의 토사 공급 감소나 해안 구조물에 의한 연안 표시의 차단 및 변화에 의해 야기된다.

최근, 대단위 개발을 위한 용지를 육지에서 새로이 확보하기 어려워짐에 따라 이를 해역에서 구하려 하는 움직임이 대두되고 있다(예를 들면, 해상공항 등). 이와 같은 해상 구조물은 주로 외해에 거대한 형태로 존재하게 되는데, 이는 건설 입지 주변에 있어서 파랑 및 흐름장의 광역에 걸친 변화와 연결되어 특히 자연 해안을 가진 인접 연안역은 그에 수반된 광범위하고도 심각한 해빈변형문제의 위험성이 발생하게 된다.

이들 문제에 대처하기 위해서는 우선 구조물 건설이 인접해역의 해빈변형에 미치는 영향을 적절히 예측하고, 건설에 수반되는 악영향을 최소한으로 억제하기 위한 대책을 강구해야하며, 이는 개발에 따른 충격의 완화(mitigation)라는 관점으로부터도 중요한 과제가 된다.

주로 해안 침식방지를 목적으로 쇄파대내에 건설되는 이안제와 그 배후의 해빈변형 문제에 대해서는 이미 많은 연구자들에 의해 검토되어 왔다. 하지만, 비교적 대수심역, 즉 쇄파대 외곽에 건설되는 대규모 외해 구조물 배후의 해빈변형은 申 등[2000]에 의해 지적된 바와 같이 구조물 배후에 있어서의 파랑 차폐역 증대와 해빈류의 발달 등에 의해 이안거리에 따라서는 침식량이 극대화되는 경우가 있어, 커다란 재해를 야기할 위험이 있음에도 불구하고 이에 관한 연구는 실험·계산 모두 충분치 못한 실정이다.

본 연구는 대규모 외해 구조물 배후의 해빈변형을 예측하는 3차원 해빈변형모델의 개발을 위하여, 관련 표시이동 기구를 명백히 할 것을 목적으로 한 것이며, 외해 인공섬의 이안거리에 대한 申 등[2000]의 실험 가운데에서 해빈의 변형이 가장 크게 나타났던 표준 조건(구조물의 연안방향 길이:이안거리=1:1)을 선정하여, 상세 이동상 실험을 수행하고 결과를 분석한 것이다.

2.3차원 이동상 실험

외해 구조물 배후의 해빈현형에 대한 상세한 실험과정은 申 등[2000]에 기술하고 있으므로 여기서는 실험의 개략만을 소개하고, 그 중 외해 구조물의 연안방향 길이와 이안거리(3 m)가 1:1이 되는 실험조건(Fig. 1의 case 2)의 경시지형변화 과정을 서술하기로 한다.

실험은 Fig. 1에 제시한 바와 같이 길이 20 m, 폭 9 m, 깊이 0.6 m의 평면 수조를 이용하여 수행하였다. 수조의 내부에는 1/20의 일정 사면을 만들고 중앙입경 0.16 mm의 세사(細砂)를 두께 약 0.06 m로 균일하게 덮어 초기 단면을 형성시킨 후, 직각입사 조건으로 파를 작용시켰다. 실험에 있어서 외해의 일정 수심부의 수심은 0.3 m, 입사파는 규칙파로서 외해 파고 0.05 m, 주기 1.0 sec의

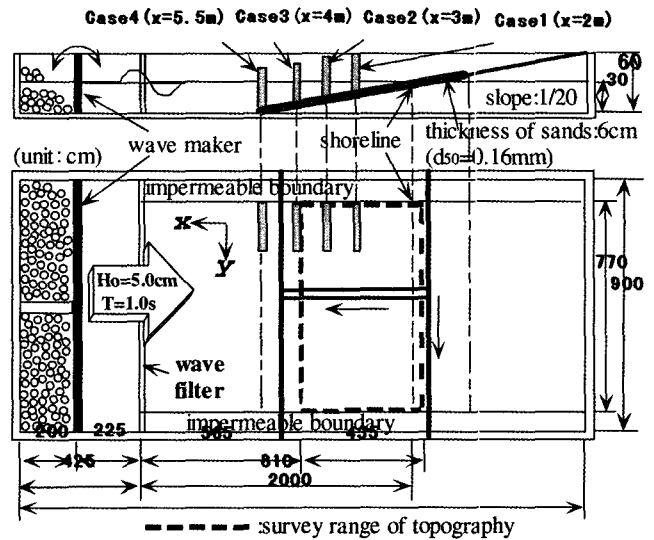


Fig. 1. Experimental setup for three dimensional movable bed experiments.

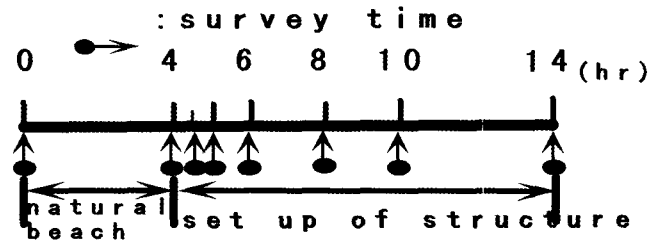


Fig. 2. Topography measuring intervals for 3-D movable experiments.

조건으로 고정하였다. 좌표계는 외해(on-offshore) 방향으로 축, 연안(alongshore) 방향으로 축을 설정하였으며, 측정 영역은 Fig. 1에서 점선으로 둘러싸인 영역으로서 축 방향 4.35 m, 축 방향 7.7 m로 하였다. 지형의 측정은 연속식 사면계를 사용하여 Fig. 2의 시간 간격으로 수행하였으며, 연안방향 0.1 m 간격으로 설정된 77개의 측선에서 행하였다.

본 연구에서 대상으로 하는 것은 외해 인공섬 또는 해상공항과 같은 대규모 해상 구조물에 의한 배후의 해빈변형이므로 외해 구조물을 상정한 이안제의 연안 방향 길이는 3 m가 타당하지만, 물리적 현상의 대칭성을 이용하여 이안제의 중심에 해당하는 선을 고정벽면으로 처리하여 1.5 m 길이로 설치하였으며, 구조물의 전면은 입사파의 반사에 의한 수조내 파랑장의 교란을 억제하기 위해 흡수체를 설치하였다. 또한, 구조물 설치에 의한 지형변화만을 추출하기 위해, 초기 1/20 경사의 사면에 4시간 조파시켜 준평형상태의 해빈(이후 자연해빈으로 칭함)을 형성시킨 후, 해저 지형에 손상을 입히지 않도록 주의하여 구조물을 설치하고, 이후 10시간까지 조파하였다.

2.1 외해 구조물에 의한 파의 운동과 순환류의 발생

Fig. 3은 본 실험에서 관찰한 대규모 외해 구조물 배후의 해빈

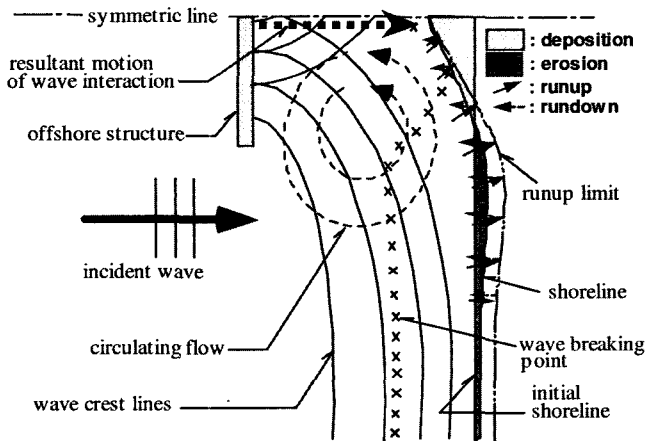


Fig. 3. Beach process behind offshore structure.

변형과정을 나타내고 있다. 당초 자연해빈에 거의 직각으로 입사하여 천수변형만을 일으키던 파는 구조물의 설치 후에는 회절에 의해 구조물 첨단으로부터 동심원을 그리며 배후의 차폐역으로 퍼져 나간다. 이와 같은 동심원 상의 회절파는 구조물의 배후로 갈수록 진폭이 지수함수로 감소되어 진행하지만, 대칭이 되는 반대측으로부터 진행되는 회절파와의 상호 간섭에 의해 구조물 중심(본 실험의 경우 대칭 중심이 되는 벽면) 부근의 파봉선은 망상(網狀)으로 되며 연안 방향으로 직각인 파가 형성된다.

구조물 설치역을 벗어난 영역에서의 파는 천수변형에 의해 파고가 증폭되면서 진행하다가 결국 쇄파되어 보아(bore) 형상으로 쇄파대를 통과하고 해안선 부근에서 해안선에 직각으로 쳐올려진다(소상대 3-4 cm). 하지만 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 구조물 배후로 접근함에 따라 입사되는 파의 파봉선이 해안선에 대해 특정 각도로 기울어지게 되어 전빈(前濱)에서의 쳐올림(runup)은 경사를 가지게 되지만, 처내림(rundown)시에는 이와는 달리 전빈 사면의 최대 경사 방향으로 향하게 되므로 전빈 영역 및 해안선 부근에서는 파의 지그재그 운동이 활발해진다.

한편, 구조물 배후에는 반시계 방향의 순환류가 형성되어 있다. 순환류의 형성 기구는 둘로 나누어 생각해볼 수 있다. 첫째로, 전빈 영역이나 해안선 부근에서 일어나는 지그재그 운동을 들 수 있다. 쇄파대를 보아 형상으로 통과한 수파는 소상대에서의 경사 방향 쳐올림 및 처내림이 만들어 내는 지그재그 운동에 의해, 해안선 부근에서 구조물 배후의 내부 방향으로 연안류를 만들어 낸다. 연안류는 구조물의 중앙부에서 대칭역으로부터의 연안류와 조우하여 구조물 방향으로 흐르게 되어 배후의 순환류 형성에 직접적인 영향을 미친다. 둘째로, 평균 수위차를 들 수 있다. 입사되는 파가 해저면에 형성된 경사면을 타고 외빈대(外濱帶)로 진행하면, 천수 변형이나 쇄파에 의해 파고가 국부적으로 변화하게 되어, 쇄파선을 중심으로 한 외측에서는 평균수위가 저하하고(wave setback), 쇄파대 내에서는 급격히 상승(wave setup)하는 현상이 발생한다. Fig. 3에 제시한 바와 같이 구조물에 의한 차폐역이 존재하는 경우, 평균 수위는 파에 의한 수위 상승이 생긴 쇄파대가 가장 높고,

다음으로 구조물 배후의 차폐역, 그리고 구조물 외측의 쇄파선 외측의 수위가 가장 낮게 되는 순으로 수위에 대한 단차가 생긴다. 본 실험에서 평균 수위는 계측하지 않았지만, 같은 조건의 고정상 실험에서 파 및 흐름을 상세히 조사한 申 등[1999a; 1999b; 2000]의 실험 및 해빈류 계산에서도 상기 내용이 확인된 바 있다. 이와 같은 평균 수위의 국부적인 경사는 구조물 배후에서의 흐름을 야기하는 중요한 외력으로 작용함으로써, 수파의 지그재그 운동에 의한 순환에 추가하여 구조물 배후의 순환류를 더욱 발달시키고 있다고 사료된다.

2.2 시간 경과에 따른 외해 구조물 배후의 해빈변형

Fig. 4는 자연해빈에 구조물을 건설하고 Fig. 2에서 정해진 시간 간격으로 10시간까지 계측한 지형 가운데에서 설치후 1, 3, 6, 10시간의 결과를 나타내고 있다. 그림의 가로축은 외해 방향(x), 세로축은 연안 방향(y)으로서 좌측은 등수심도, 우측은 자연해빈으로부터 지형 계측시간까지의 수심변화도이다.

구조물 주변의 모래는 조파시작 직후 정상상태에 달한 파 및 흐름에 의해 움직이기 시작하였다. 조파 초기 단계부터 구조물 첨단을 잇는 선상에 위치한 소상대에서 지그재그 운동에 의한 빈표사(浜漂砂, beach drift)와, 해안선 부근에서의 연안류에 의해 $x=30\sim90$ cm, $y=50\sim300$ cm 영역의 모래가 구조물 중앙의 해안선을 향해 이동해 가고, 이동한 모래는 구조물 중앙 $x=50\sim170$ cm, $y=50\sim300$ cm 영역의 해안선 가까이에 퇴적하여 수면하에 설상사주 형상으로 성장한다.

한편, 구조물 외측의 쇄파대내($x=100\sim300$ cm, $y=200\sim300$ cm)에서 부유한 모래는 주로 내외해 방향의 왕복운동을 하면서 구조물 배후에서 형성된 반시계 방향의 순환류를 타고 서서히 이동해 가지만, 유속이 약해지는 순환의 중심 부근($x=160\sim270$ cm, $y=40\sim140$ cm)에서 침강하여 퇴적된다. 이들 모래의 퇴적은 우선 이안제 중앙의 해안선 부근 수면하에서 일어나며, 어느 정도 퇴적이 진행된 후, 계속해서 공급되는 빈표사에 의해 수면 위의 설상사주로서 나타난다(Fig. 4(a)).

이와 같은 설상사주의 성장 과정은 본 실험의 모든 실험조건에서 일어나며, 시간의 경과와 더불어 설상사주의 발달이 일어나지만, 대체로 6시간 이후가 되면 각 해안선에 있어서 파봉선과 해안선이 이루는 각도는 영에 접근하게 되고, 이에 따라 소상대에서의 파 운동인 쳐올림이나 처내림이 거의 같은 경로를 지나게 되어, 구조물 첨단을 연결한 해안선 부근에서 야기되었던 활발한 침식 및 배후의 설상사주 성장도 약화되어 해안선 상의 변형이 안정되어 간다(Fig. 4(c), (d)). 그러나 구조물 외측의 쇄파대내(특히, $x=80\sim170$ cm, $y=210\sim320$ cm)의 영역에서 파의 케드 운동에 의해 내외해 방향의 왕복 운동을 하는 소류 및 부유사(부유 및 침강의 반복)는 구조물 배후의 순환류에 편승하여 순환류의 중심 부근($x=160\sim270$ cm, $y=40\sim140$ cm)에서 퇴적되는 현상은 계속되며, 이는 10시간까지 조파했던 계측결과에서도 아직 안정 상태에 이르지 못하고 있었다.

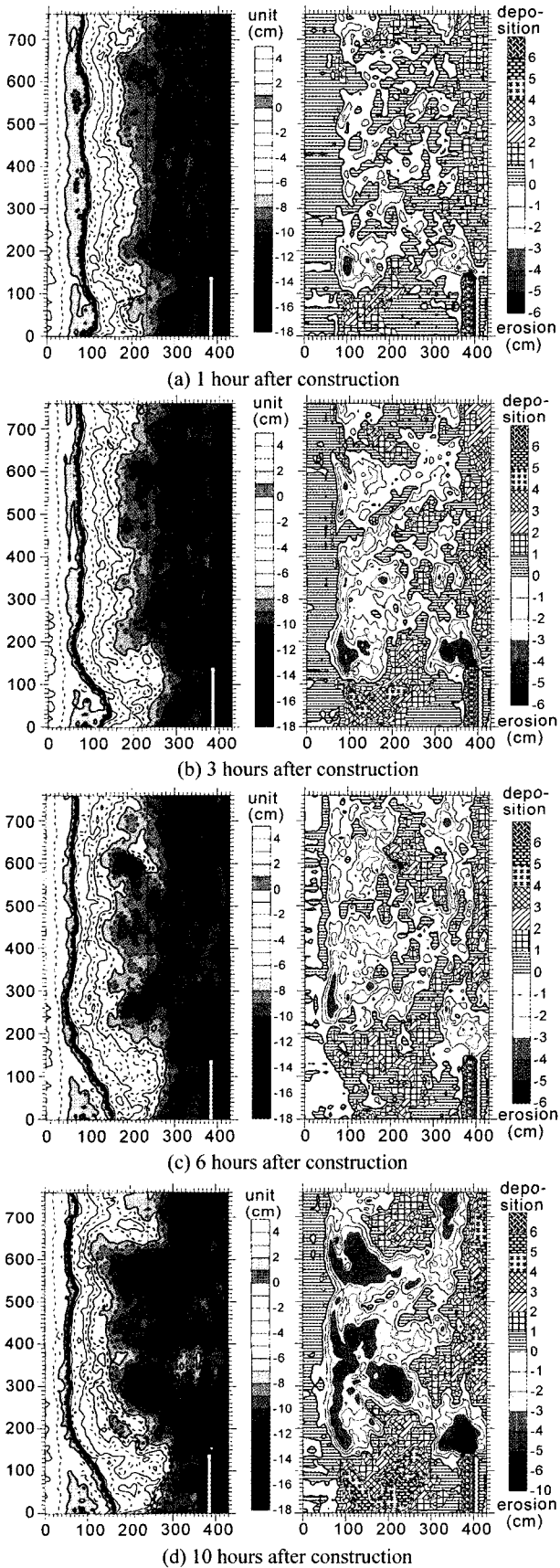


Fig. 4. Results of topographical changes.

2.3 선행 톰보로를 설치한 해빈의 변형

Fig. 5(a)는 상기 2.2절의 외해 구조물에 의한 해저 지형변화에서, 구조물 설치와 함께 10시간 동안 조파한 후에 계측된 지형을 해빈변형의 특성에 따라 영역을 구분하여 표시한 그림이다. 외해 구조물에 의한 배후의 영향범위를 연안 방향 $y=400$ cm까지로 가정하면, 배후의 변형은 톰보로(tombolo) 형성역(A), 수면하 퇴적역(B), 구조물 침단을 연결하는 해안선측의 침식역(C), 그리고 구조물 외측 수면하에 존재하는 침식역(D)으로 대별할 수 있다.

일반적으로 구조물 배후의 해빈변형 문제에 직면할 경우, 자장 주목받는 부분은 역시 해안선측이며 그중에서도 침식역(Fig. 5(a)의 C 영역)일 것이다. Fig. 5(a)의 결과에서 보이는 바와 같이 구조물의 배후에서는 파의 차폐역이 형성됨에 따라 해안측에서 구조물의 침단을 잇는 선을 중심으로 파의 차폐역 외곽에서부터 차폐역내로 향하는 연안표사가 형성되어 토사가 배후로 이동·퇴적된다. 해안측에서의 변형은, 구조물이 건설됨에 따라 변화된 입사파 방향이 해안선과 거의 직각을 이룰 때까지 변형을 계속하므로, 파봉선 형상을 따르는 형태의 침식(C 영역) 및 퇴적(A 영역)이 생긴다. 이들 해안선측의 해빈변형 특히 침식역은 건설되는 구조물의 규모가 클수록 심각해질 우려가 있어, 경우에 따라서는 10²m 차수의 해안선 후퇴도 있을 수 있다.

본 절에서의 실험은 외해 구조물의 건설에 따른 해안선 침식방지에 주목하여, 구조물의 건설과 동시에, 결과적으로 형성될 것으로 예측되는 배후의 톰보로(A 영역)를 사전에 설치(편의상 “선행 톰보로”로 칭함)하여 해안선측의 침식(C 영역)을 경감하는 기법을 검토한 것이다.

선행 톰보로 설치 실험은 2.2절의 3차원 이동상 실험과 동일한 수순으로 행해졌지만, 초기 일정사면(1/20)으로부터 4시간 조파후의 자연해빈조건에서, 외해 구조물의 설치와 동시에 선행 톰보로를 함께 설치한 것이 차이점이다(Fig. 5(b)). 선행 톰보로는 Fig. 5(a)에 제시된, 구조물 설치후 10시간 후 형성되었던 톰보로(A 영역)만을 재현하여 동일 실험사로 조형한 것이다.

해저 지형의 계측은 Fig. 2의 시간 간격으로 이루어졌지만 선

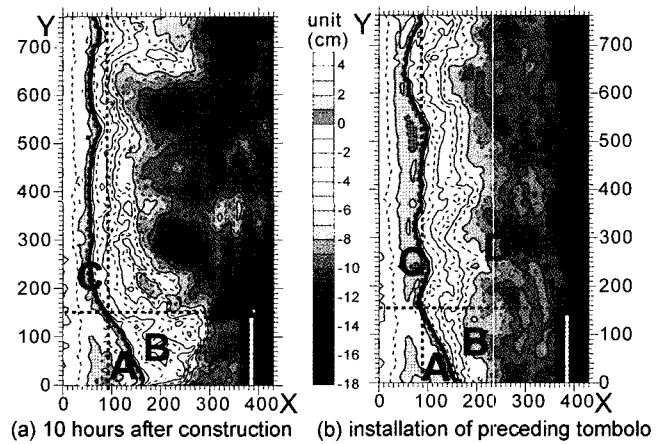


Fig. 5. Experimental setup of preceding tombolo.

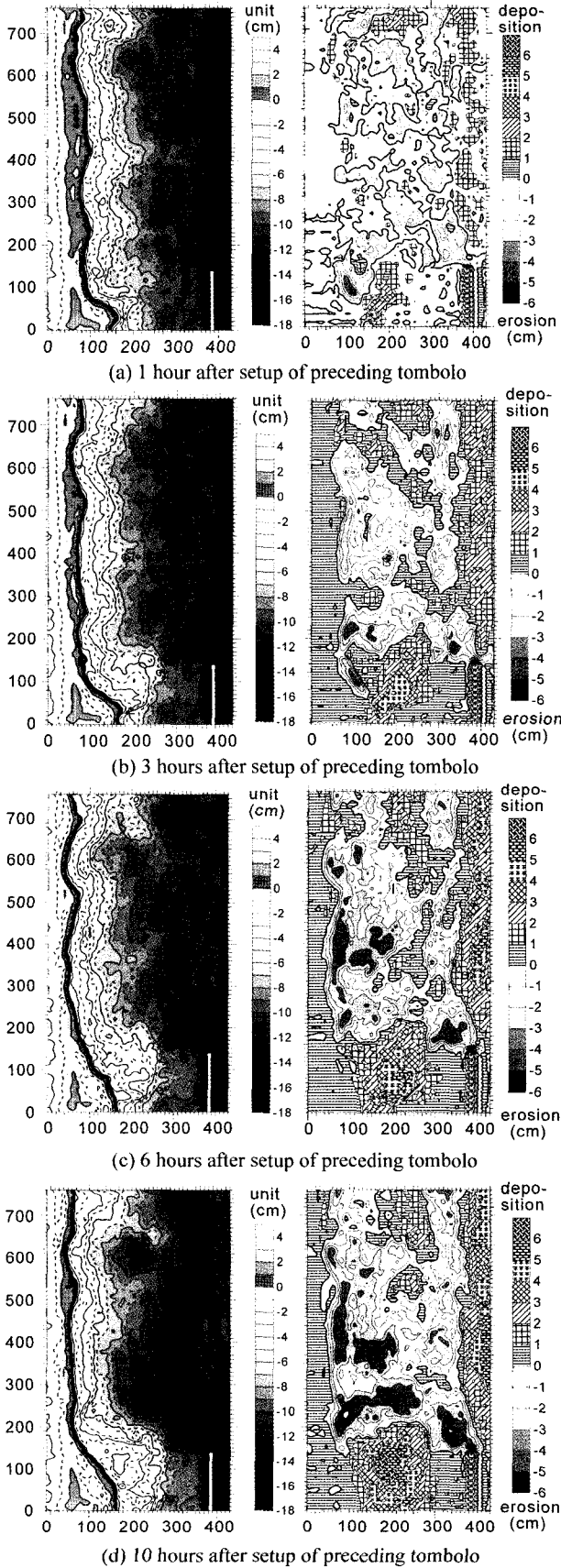


Fig. 6. Topographical changes according to setup of preceding tombolo.

행 톱보로를 설치하지 않은 경우의 경시적 결과(Fig. 4)와의 비교를 위해, 같은 시간대(1, 3, 6, 10시간)의 지형 및 수심변화도를 Fig. 6에 제시한다.

외해 구조물과 선행 톱보로를 설치하고 파를 작용시키면, 구조물 배후에서 해안선측을 제외한 전체 해빈 변형 과정은 선행 톱보로가 없는 실험과 거의 같은 양상을 보여 해빈류가 발달하였다. 그러나 이미 각 해안선에 대해 파의 입사방향이 직각에 가까운 조건이 되어 소상대에서의 지그재그 운동이 약화되어 있고, 구조물 배후의 순환류에 있어서도 그 차이만큼 약화됨을 염료 투입 실험을 통해 관찰할 수 있었다.

Fig. 6에 제시한 경시적 해빈변형 양상을 보면, 선행 톱보로는 조파 개시 전의 형상으로부터 약간 변형이 있긴 하지만, 4시간 경부터는 최초의 형으로 되돌아 가려는 경향을 보여 그 후 안정되고, 해안선측의 침식도 충분히 경감되었음을 확인할 수 있어 해안선측의 침식 대책으로서 유효한 수단임을 알 수 있다.

한편, Fig. 6에서 Fig. 5(a)의 B, D 영역에 대응하는 수면하의 퇴적·침식역에 주목하면, 선행 톱보로가 없는 경우에 비하여, 동일 시간의 조파에서 해안선측의 변화는 경감되었음에도 불구하고, 수면하의 변형 정도는 침식(D 영역)·퇴적(B 영역) 모두 거의 유사한 양상을 보이고 있는 것이 흥미롭다(Fig. 4(d)와 Fig. 6(d)). 이 현상은 후술하는 형광사 실험의 경우에도 나타나, 외해 구조물 배후에서 톱보로를 형성하는 모래와 수면하의 퇴적에 관계하는 모래의 공급원이 서로 차이가 있음을 예상하게 한다. 또한, 선행 톱보로가 없는 실험 결과인 Fig. 4의 경시변화를 시간별로 비교하면, 조파 초기단계로부터 6시간까지는, 선행 톱보로를 채용한 경우에 이른 단계부터 Fig. 5(a)에 제시한 수면하의 침식·퇴적이 발생하며, 수면하의 해빈변형은 해안선측의 변형이 뒤따라 생기고 있음을 알 수 있다. 이는 선행 톱보로가 없는 Fig. 4의 결과만을 보더라도, 해안선측이 어느 정도의 변형을 한 후, 수면하 D 영역의 변형이 발생하고 있음을 확인할 수 있다(Fig. 4(b), (c)).

3. 형광사를 이용한 3차원 이동상 실험

3.1 실험방법

실험은 Fig. 2의 평면수조를 사용하였으며, 형광사는 실험사로 사용해 왔던 중앙입경 0.16 mm의 세립사에 적·녹의 형광도료를 착색시켜 제작하였다. 형광사의 투입위치는 Fig. 7에 제시한 바와 같이, 2.2절의 3차원 이동상 실험 및 2.3절의 선행 톱보로 실험 결과에서 침식역으로 나타났던 해안선측(C 영역) 및 수면하의 침식역(D 영역)이며, C 영역에는 적색의 형광사를($x=-40\sim 20$ cm, $y=160\sim 295$ cm, 두께 2.5 cm), D 영역에는 녹색의 형광사를($x=80\sim 160$ cm, $y=220\sim 320$ cm, 두께 2.5 cm) 각각 같은 량 투입하였다.

형광사의 투입 시점은 앞서 서술한 실험과 마찬가지로 4시간 조파후의 자연해빈 조건에서 이안거리 3 m(실체는 대청성을 이용하여 1.5 m)의 외해 구조물 설치와 같은 시점이며, 형광사를 투입

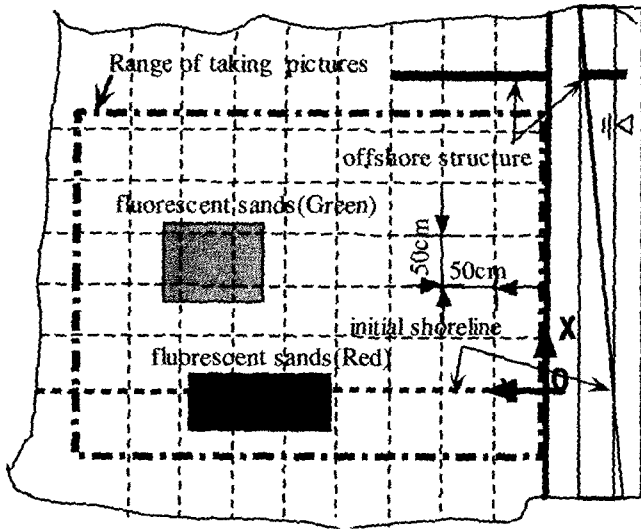


Fig. 7. Experimental setup for movable bed experiment of fluorescent sand.

하고자 하는 위치에 투입 예상량에 상당하는 모래를 파내고 사권 (sand ripple) 등 지형을 최대한 재현하면서 형광사로 대체하였다. 형광사에 의한 표시 이동 양상의 추적은 28 mm의 광각 카메라 (야간에 빛을 차단한 상태에서 블랙 라이트 조명하에 노출 10초로 촬영)로 수행되었으며, 형광사 투입후의 조파 시점으로부터 6시간까지는 30분 간격, 그후 1시간 간격으로 8시간까지 그리고 마지막 10시간째에 촬영하였다.

3.2 실험결과 및 분석

Fig. 8, 9는 매 시간 형광사의 이동을 추적한 결과로서, Fig. 7의 일점쇄선으로 둘러싸인 부분의 영상이다. 그림에서 희게 나타난 부분은 형광사가 아닌 실험사가 표현된 것이며 또한 사각 형상은 적·녹 형광사가 각각 최초 투입된 영역을 나타내고 있다.

실험의 전반에 걸쳐 각 시간 단계에서의 지형변화 속도는 2장에서 서술한 3차원 이동상 실험보다 다소 늦다. 이는 매시간 촬영을 위한 조파 중지와 수조내 물의 배수 및 양수(형광사 촬영을 위해서는 해저 지형을 수면위로 노출시켜야 함)를 빈번히 행했던 것이 원인으로서, 전체적인 해빈변형의 양상에는 큰 문제로 작용하지 않았다.

Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이, 조파의 초기단계(조파 개시후 약 30분 이내)에서부터 적·녹의 형광사는 파에 의한 분산효과로 인해 주변으로 퍼져 나가며, 특히 적색의 형광사는 이미 구조물 배후까지 달해있는 상태이다. 이 단계에서 구조물 배후까지 이른 적색의 형광사는, 파의 왕복운동 및 해안선이나 소상대에서 형성되는 격렬한 지그재그 운동에 의해 최초로 부유했던 극세립자가 구조물 배후에 형성된 해빈류를 타고 이동한 것이며, 구조물 배후의 수심변화에 기여하는 양은 극소량이다.

해안선 부근과 소상대에 투입되었던 적색의 형광사는, 해안선 측의 격렬한 파 운동(소상대의 지그재그 운동 및 해안선 부근의

해빈류)에 의해 실험의 초기 단계부터 이동하여, 구조물 배후의 해안선 형상이 파의 입사방향과 거의 직각이 될 때까지(조파후 4시간) 활발히 이동하는 양상을 볼 수 있다. 그러나, 이 적색의 형광사는 해안선으로부터 한정된 거리 이내로 구속되고 있으며, 이동 방향은 연안 방향이 주가 되어 있음을 주목할 필요가 있다.

수면하의 침식역(D 영역)에 투입된 녹색 형광사의 이동은, 부유 및 침강을 반복하며 기본적으로 파의 궤도 운동에 따른 내외해 방향의 왕복 운동을 하지만, 이때 구조물 배후에 형성된 순환류에 의해 서서히 연행되어 순환류 중심 부근까지 이동한다. 또한 녹색 형광사의 이동속도는 해안선측의 적색 형광사의 이동에 비해 늦추어져 있어, 말하자면 해안선측의 형상이 어느 정도 갖추어진 후(2시간 이후)부터, 본격적인 이동을 시작한다고 말할 수 있다.

한편, Fig. 8에서 전반적인 이동 양상을 보면, 적·녹 형광사는 실험 전반을 통해 서로 혼입되지 않고 명확히 영역이 구속된 채 이동하고 있음을 알 수 있으며, Fig. 5의 퇴적역(A, B 영역) 및 침식역(C, D 영역)이 형성과정에 있어서도, 해안선측의 퇴적·침식 변형(A, C 영역)과 수면하의 퇴적·침식 변형(B, D 영역)으로서 독립되어 있음을 알 수 있다.

이는 조파 개시후 10시간에서 모래를 채집하여 개수로 분석한 결과에도 잘 나타나 있다(Fig. 10). 형광사의 채집은 외해 구조물 배후에 있어서 연안 방향 3.4 m, 내외해 방향 3.2 m의 범위에서 20 cm 간격으로 행하였으며, 내경 5 mm의 원통관을 사용하여 채집점에 있는 모래의 표면에서부터 수조 저면까지의 모든 모래를 채집하여 색별로 분류하였다.

적 혹은 녹색 형광사의 이동 경계는 소상대 및 해안선 부근의 파 운동에 관련되어 있다고 추정된다. 소상대에서 쳐올려진 파는 처내림시 소상대로부터의 반사파로서 외해를 향해 되돌아가지만, 재차 입사되는 파와 조우하여 해안측에서 부분 증폭파를 형성하고 있다고 사료된다. 이때, 형성된 증폭파에서 포락선으로 볼때, 해안으로부터 제1의 복(envelope) 위치에 소상대의 처내림 한계가 존재하며, 제2의 복 위치에 적 혹은 녹 형광상의 경계가 형성되었다.

이들 현상은 조파 초기부터 최후까지 계속되어 있어, 해빈변형의 예측모델 개발에서 중요한 열쇠로 생각된다.

4. 해빈변형 예측 모델 구축의 방향 매김

해빈변형의 수치모델은 크게 나누어 해안선 모델과 수심변화 모델로 대별할 수 있다.

해안선 모델은 해빈 단면이 그 형상을 변화하지 않은 채 전진·후퇴한다고 가정하고 있어, 해안 대표선의 변화로 지형변화를 대표시킬 수 있다고 하는 가정으로부터 만들어진 것이며, 그중에서도 하나의 해안선을 기본으로 한 해안선 모델이 대표적이다.

해안선 모델은 연안류에 의한 모래 이동을 해파점에서의 파고와 해안선과 파향이 이루는 각을 기준으로 연안 표시량을 산출하는 방법으로서, 실제의 현상을 상당히 단순화시킨 모델이다. 구조물 배후 등의 외해 방향 흐름이나 해빈 순환류가 고려되지 못하

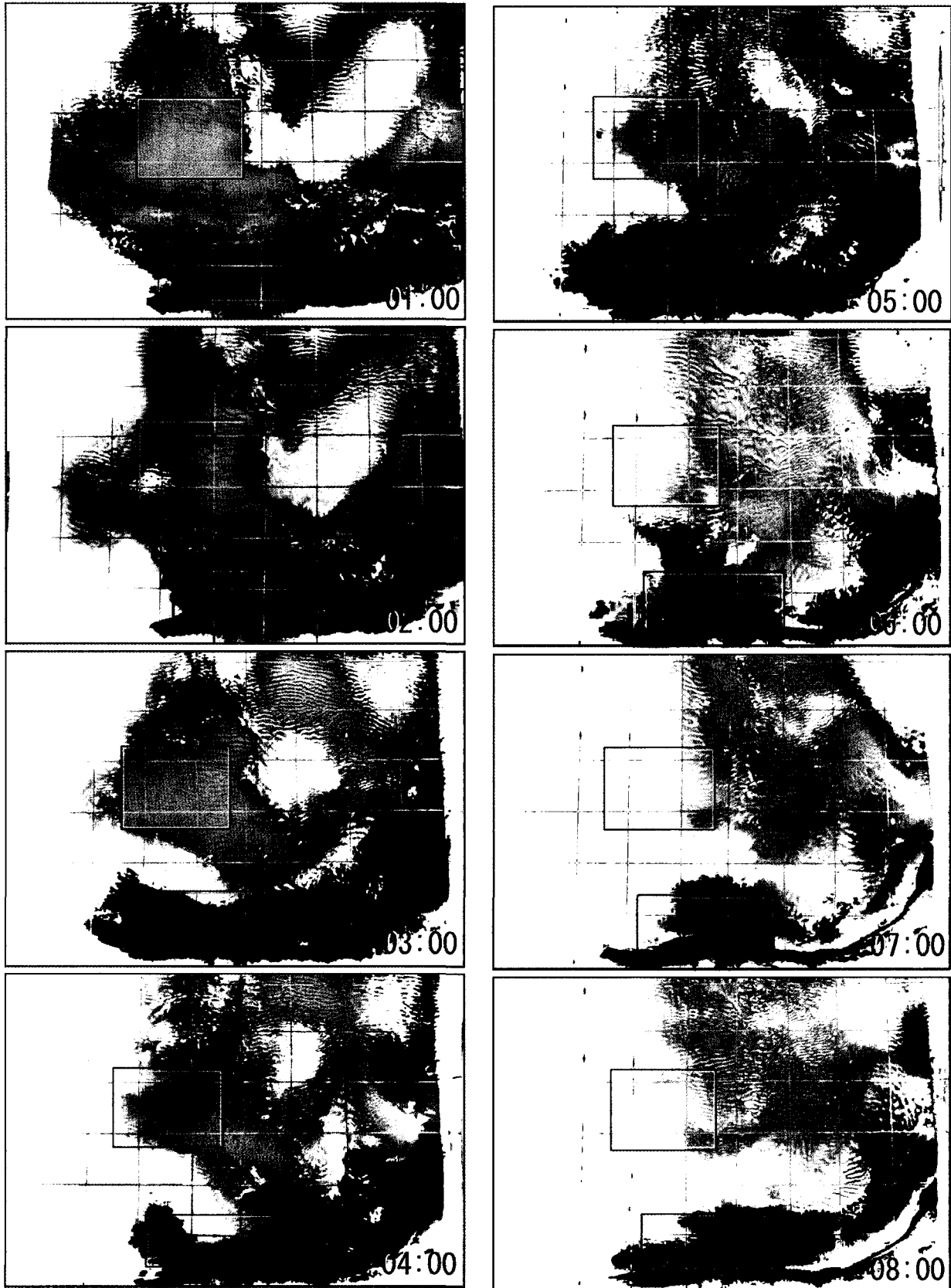




Fig. 8. Fluorescent sands transportation patterns (From 1 hour to 9 hours after construction, ; Red, ; Green)

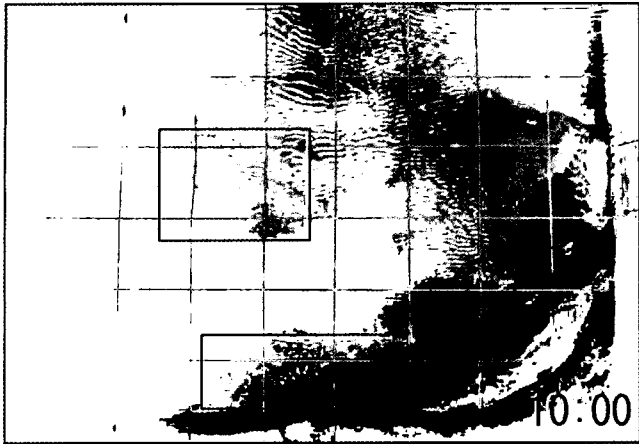


Fig. 9. Fluorescent sands transportation patterns (at 10 hours).

는 한계는 있지만, 연안표사의 차단이나 공급원 감소에 수반되는 광범위하고도 장기적인 해빈의 토사 수지를 논의하기에는 충분한 정밀도를 가지고 있다.

한편, 수심변화 모델은 표사의 외력인 파랑·해빈류장의 계산 결과를 토대로 산출되는 국소 표사량의 공간적인 수치로부터 평면적인 지형변화를 계산하는 것으로서 가장 본질적인 모델이라고 할 수 있다. 현재 해안선 및 소상대까지 포함시키려고 하는 시도가 진행되어(佐藤 등[1994]; 清水 등[1995]), 실용적으로 적용될 단계에 이르고 있지만, 해안선측 등의 일치도가 매우 나빠 아직 충분한 정밀도를 가지고 있다고는 할 수 없으며, 이는 현실적으로 소상대 및 쇄파대내의 극천해역에서 파랑이나 해빈류 및 표사량 계산 방법이 아직 완전히 확립되어 있지 못한 것이 그 원인의 하나로 사료된다.

본 연구에서 수행된 해빈변형에 대한 일련의 실험으로부터, 외해 구조물 배후의 해빈변형에 있어서는 해안선측과 수심역의 해빈변형 기구가 상호 독립되어 있음을 알았다. 구체적으로는 소상대를 포함하는 해안선측은 등심선에 대한 파의 입사방향에 대응하는 표사이동이 탁월하고, 수심역에서는 파의 왕복운동에 의한 소류 및 부유사가 해빈류에 지배되어 이동하고 있으며, 양자가 특정 경계를 기준으로 분리되어 이동하고 있음을 알았다. 또한 해안선측과 수심역에서의 지형변화 속도에 있어서도 서로 차가 존재하여, 해안선측의 변화가 선행되어 일어남을 확인하였다. 따라서, 소상대를 포함한 해저 지형변화가 발생하는 전 영역을 대상으로 하는 3차원 해빈변형예측모델은 양 현상의 지배영역별로 계산하는 것이 정밀도 향상에 기여할 수 있다고 사료된다.

5. 결 론

3차원 해빈변형예측모델의 개발을 위해, 일련의 3차원 이동상 실험을 수행하여, 외해 구조물 배후의 표사이동 양상을 명백히 하였다. 이들 실험 결과는 해빈변형모델의 개발에 있어서 중요한 열쇠를 제공하리라 사료되며, 또한 기 개발된 모델의 검증자료로서도 활용할 수 있으리라 기대된다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 지원으로 한국해양연구원에서 수행한 “초대형 부유식 해상구조물 기술개발”과 공공기술연구회의 지원으로 한국해양연구원에서 수행하는 기본연구사업인 “해양개발을 위한 설계엔지니어링 기술 고도화 연구”의 연구 결과 중 일부로

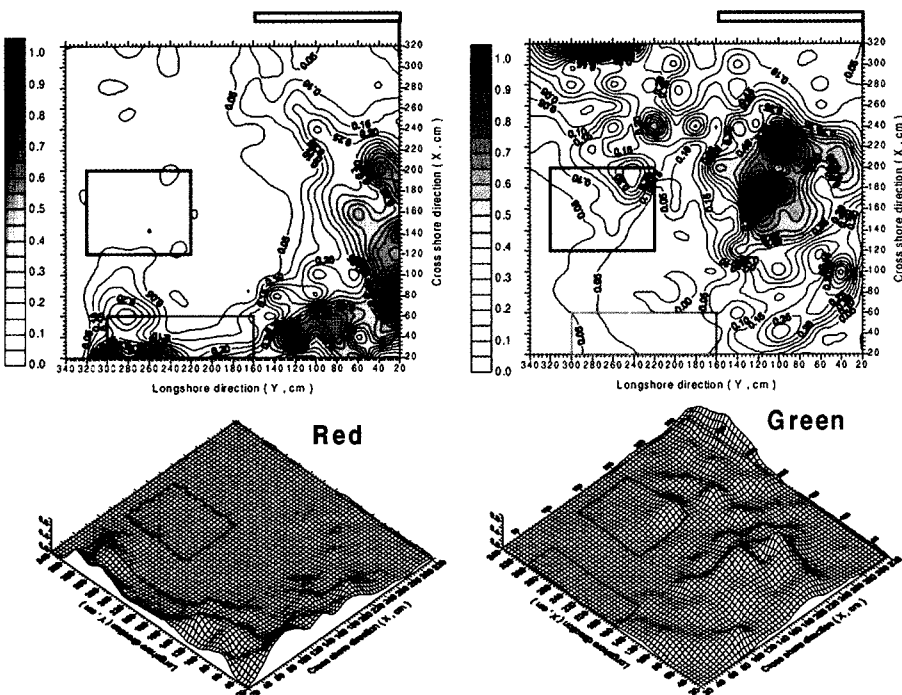


Fig. 10. Results for collection of fluorescent sands (at 10 hours).

서 연구비 지원에 감사드리며, 실험의 일부는 일본 구주대학 연안 해양공학연구실에서 수행한 것임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] 中 承鎬, 入江 功, 一田 剛, 2000, “沖合人工島の設置位置による海浜変形の相違について”, 日本土木学会 海洋開発論文集 16, 303-308.
- [2] 中 承鎬, 高畑榮治, 入江 功, 吉田明德, 1999, “Boussinesq 모델을 이용한沖合の構造物による波浪・海浜流の数値計算の適用性”, 日本土木学会 海洋工学論文集 46, 206-210.
- [3] 中 承鎬, 高畑榮治, 入江 功, 村上啓介, 1999, “非線形分散波の予測精度評価と線形モデルとの接続”, 日本土木学会 海洋開発論文集 15, 345-350.
- [4] 中 承鎬, 入江 功, 2000, “非線形分散波動理論を用いた波浪・海浜流の計算法とその適用性の検討”, 九州大学工学集報, 73(4), 319-327.
- [5] 佐藤慎司, Kabling, M., 1994, “波打ち打を含む三次元海浜変形数値モデル”, 日本土木学会 海洋工学論文集 41, 406-405.
- [6] 清水琢三, 山田晶子, 内山 一郎, 渡辺 晃, 1995, “汀線変化を考慮した三次元海浜変形モデルの現地適用性”, 日本土木学会 海洋工学論文集 42, 606-610.

2004년 8월 16일 원고접수

2004년 11월 1일 수정본 채택