

드럼형 원심력 재하 모형실험장치를 이용한 항만시설의 안정성 평가방법

김 하 영*

1. 서론

원심력 재하 모형실험장치는 일반적으로 다음과 같은 두가지 형식으로 분류할 수 있다. 보편적으로 잘 알려진 형식으로 "빔형 원심력 재하 모형실험장치"를 들 수 있다 (그림 1 참조). 빔형 원심력 재하 모형실험장치는 특성상 모형탑재가 간편하며 다양한 장치를 탑재하기에 용이하다. 그러나, 토조의 크기에 제한이 있으므로 실제 지반을 모델링 하는데 있어서 경계조건 문제가 발생한다. 이러한 경계조건 문제를 해결할 수 있는 장치가 "드럼형 원심력 재하 모형실험장치이다" (사진 1 참조).

드럼형 원심력 재하 모형실험장치는 원주 전체를 토조로 사용할 수 있기 때문에 경계조건의 제약이 빔형에 비해 상당히 개선될 수 있다. 그러므로, 대규모 지반-구조물을 모델링 하는데 보다 적합하다고 할 수 있다. 특히, 대규모 구조물에 대한 모형 실험 및 "파랑-지반-구조물의 상호 작용"과 같은 경계조건의 영향이 큰 문제인 경우에 효과적이라 할 수 있다.

본 기사에서는 드럼형 원심력 재하 모형 실험장치의 특징을 소개하고, 현장적용 사례를 소개하고자 한다.

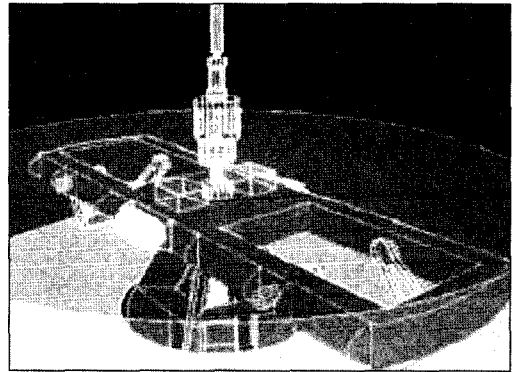


그림 1. 빔형 원심력 재하 모형실험장치



사진 1. 裝置 遠景

2. 실험장치의 특징

드럼형 원심력 재하 장치 내부구조가 그림 2에

* 삼성물산 건설부문 기술연구팀, 선임 연구원
(hy05.kim@samsung.com)

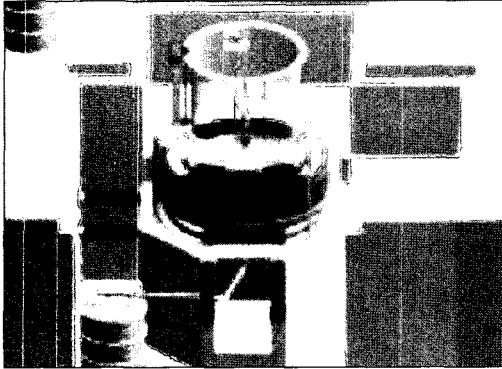


그림 2. 장치의 내부구조

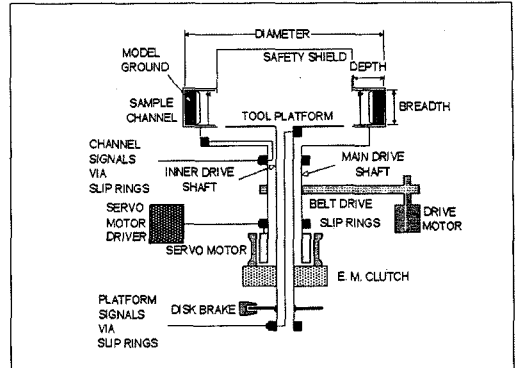


그림 3. 장치 상세 단면도

나타나 있다. 이 장치는 내/외 2개의 독립된 구동축(Main Drive Shaft 와 Inner Drive Shaft)을 裝備하고 있어 (그림 3 참조), 지반부분의 원심가속도를 일정하게 유지한 상태에서 (일정 G레벨)에서, 지반작성 장치 및 재하장치 등 각종 실험 장치의 교환이 용이함으로, 시공 과정 및 지반의 응력 이력을 충실히 재현할 수 있다.

일본 東洋(Toyo)건설 나루오 연구소의 실험 용기(직경2.2m, 원주6.8m)는, 실존하는 드럼형 원심력 재하 모형실험 장치 중에서는 세계에서라도 최대급의 스케일이며, 최대 가속도(440G)일 때에는 전장 3041m의 실물영역을 모사할 수 있다. 드럼형 원심

력 재하 모형 실험 장치의 주요 제원이 표 1에 나타나 있다.

3. 항만 현장적용 실험 사례

3.1 해안 구조물의 건전성에 대한 파랑/조위의 영향 예측

최근에 해안 구조물은 방재면에서의 안정성과 함께 친수성 및 생물의 생식환경으로써의 환경 면의 높은 품질도 함께 요구되므로 보다 높은 수준의 건설 기술이 필요하다.

드럼형 원심력 재하 장치의 넓은 실험 영역에 대한 원심력장 파랑 실험법에서는, 파랑-지반-구조물에 대한 실험상사척이 동시에 성립한다 (Sassa and Sekiguchi, 1999; 馬場 외, 2002). 따라서 실 규모 실험에서만 재현할 수 있었던, 파랑에 대한 지반 응답을 고속척의 모형실험에서 행할 수 있다. 이 기술을 활용함으로써 호안 배면의 흡출 현상 뿐만 아니라 인공 해안의 안정문제와 같은 대규모 지반-구조물 문제를 해석할 수 있는 것이다. 원심력 장치의 가

표 1. 드럼형 원심력장치의 주요 제원

최대가속도		440G(600rpm)	
		모형	실물환산(최대가속도시)
용기제원	직경	2.2m	3041m(연장)
	폭	0.8m	352m
		0.3m	132m
깊이	0.3m	132m	
최대 탑재질량	3.7ton	1628G-ton	
구동방법	동심2축		
슬리핑 극수	계측용	50	
	전원용	6	

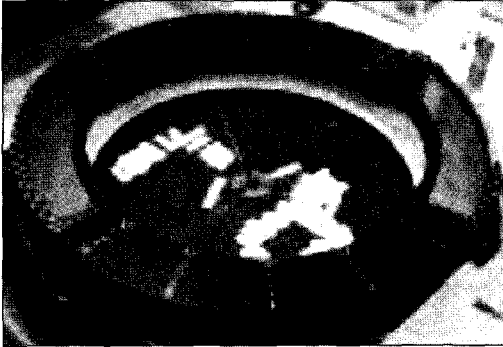


그림 4. 가시화 용기

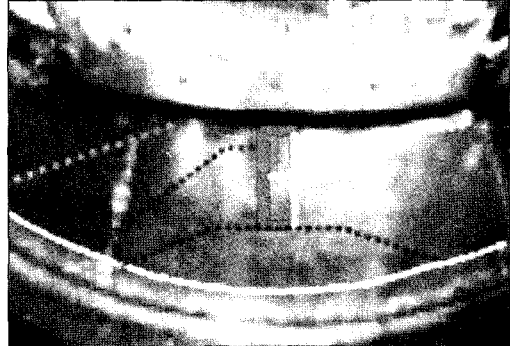


그림 7. 호안 모형에 대한 파랑재하 형상

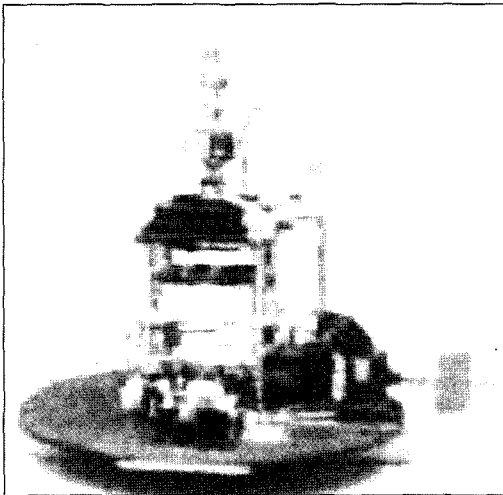


그림 5. 장치 탑재부

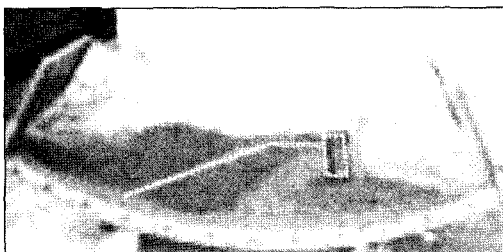


그림 6. 모형지반

시화 용기(그림 4)의 창 위에는 CCD 카메라를 설치하여, 원심력장에서의 수로 실험 상황을 관찰할

수 있다. 장치 탑재부(그림 5)는 조파장치/계측장치/영상기기를 탑재하는 부분으로써 원격 조작이 가능하다.

이 실험장치에서는 복잡한 형상의 호안 모형 지반(그림 6)에 대한 파랑 실험이 가능하다. 해면 관리형 폐기물 처분장의 차수 시트에 작용하는 파압을 검토한 호안 모형에 대한 파랑재하 형상이 그림 7에 나타나 있다. 케이슨 전면부에 파랑이 발생하고 있는 모습을 관찰할 수 있다.

본 실험의 모델 단면과 계측기 단면도는 그림 8에 나타나 있다. 실험은 원심가속도 100G의 수준에서 수행되었으며, 케이슨, 사석마운드, 슬러그로 이루어진 모델은 현지단면의 1/100 축척으로 제작되었다.

용량식파고계(위치:케이슨에서 0.4m 전방)로 계측한 파고의 시계열이 그림 9에 나타나 있다. 본 실험에서는 실물환산하여 주기5.7초, 파고3.6m(수위 17.2m)의 파랑이 발생하였다.

원심력장에서 파랑작용시에 각수압계의 시계열 데이터가 그림 10에 나타나 있다. 각각의 계측위치는 그림 8에 표시하였다. 그림에서 보는 것과 같이 호안전면부에서 배면으로 이동함에 따라, 수압계의 반응에 위상차가 나타난다. 마운드 및 뒷채움 사석

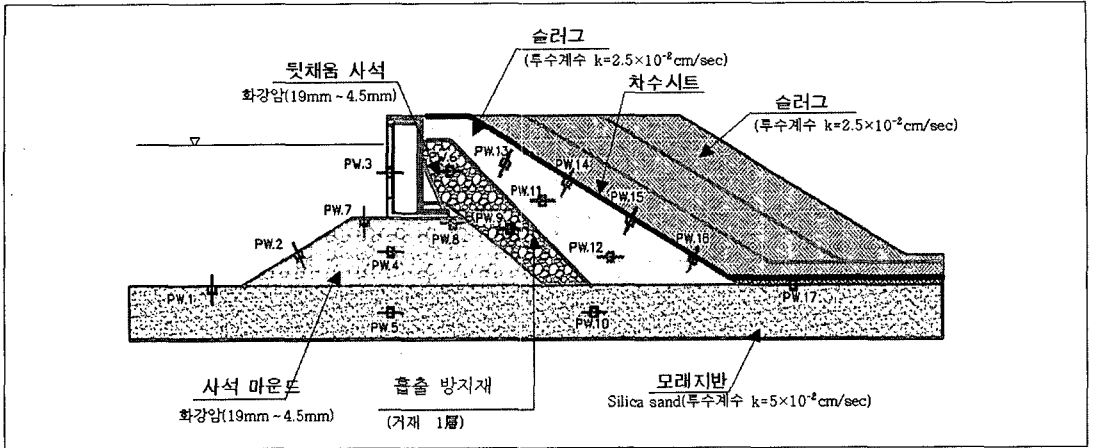


그림 8. 모델단면 및 계측기 배치도

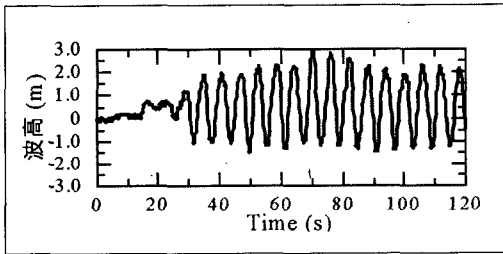


그림 9. 파고의 시계열

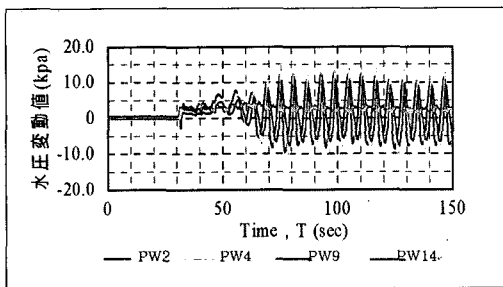


그림 10. 각 간극압계의 시계열

에서는 케이슨 직하에서 큰 압력을 나타내며 (PW4), 배면부에서는 파랑의 진폭이 감소함을 알 수 있다(PW9). 슬러그내에서는 초기에 압력이 급격히 상승하는 부분이 보이지만, 일정치를 유지하며 진폭도 크게 감소한다(PW14).

실험결과 중 수압계의 최대압력을 그림 11에 나타낸다. 수압계의 최대압력은 그림 11의 모델단면에서 점선으로 연결하여 표시한 위치의 값이다. 사석마운트 중의 압력은 케이슨 전면(PW7)에서 15kPa, 케이슨 후면(PW8)에서 10kPa 정도이다. 슬러그내 전파된 압력의 최대치를 보면, PW12, PW15, PW16의 슬러그하부의 계측기의 압력은 작고, PW13, PW14의 간극압은 비교적 크게 나타나며, PW14에서 케이슨 전면파압의 4%(6kPa) 정도임을 알 수 있다.

해저지반의 압력은 케이슨의 전면으로부터 배면부로 갈수록 점차적으로 감소하는 경향을 보이며, PW17에서는 케이슨 전면파압의 5% 정도에 해당하는 아주 작은 압력을 나타낸다. 뒷채움사석 직하의 PW10의 간극압은 PW5와 비슷한 값을 보이지만, 그 윗 부분에 위치한 슬러그내의 PW12의 압력치는 급격히 작아지고 있다. 즉, 뒷채움사석과 슬러그 경계에서 압력이 급격히 감소함을 알 수 있다.

이와 같은 실험을 통하여 케이슨 전면부의 압력에 비해 케이슨 배면부의 슬러그에서는 간극압이 현저히 저하함을 알 수 있었다. 그러나, 관리형 폐기물

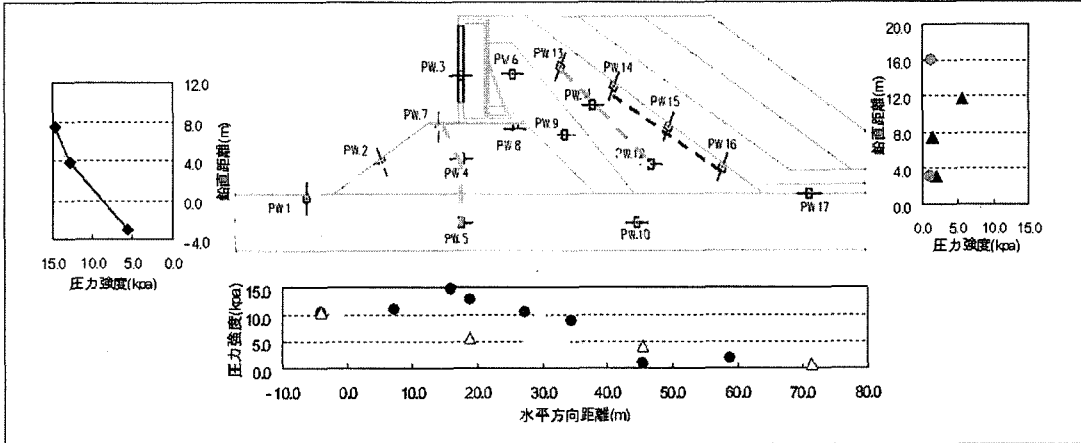


그림 11. 지반내부의 최대압력 분포

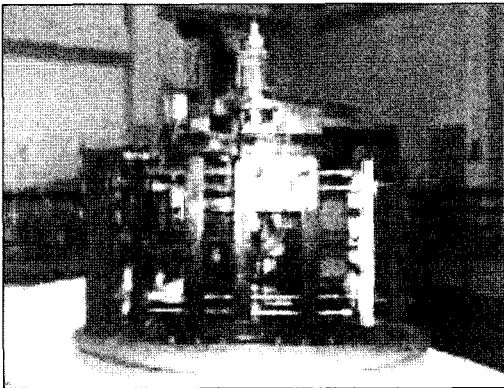


그림 12. 底開式 土運船 모형



그림 13. 퇴적형상(수심 6m, 10m, 15m)

작용하는 것으로 되어있다. 이 메뉴얼에서는 과대설 계가 불가피함을 알 수 있다. 이를 해결하기 위해 드럼형 원심력재하장치를 이용한 파랑시험 및 동적 FEM해석(金夏永 외, 2002)의 결과치를 해면관리 형 폐기물처분장의 최적설계에 이용하였다.

3.2 대규모/급속시공에 의한 매립시공 시 물레이션

간사이 국제 공항 2기 건설 공사에 있어서, 코스트/건설기간의 삭감을 목적으로 대형의 底開式 土運船이 매립에 사용되었다. 공사중에 투하된 토사가 해저 점토지반에 미치는 영향을 파악하기 위하여 모형선에 의한 直投 시물레이션을 드럼형 원심력 장치를 이용하여 모델링 하였다. 실험에서는 용기의 쉘 주변에 현장 점토를 사용한 모형 지반을 자중 압밀에 의하여 작성하였고, 그 위에 底開式 土運船의 모형 선(그림 12)으로부터 토사 투하를 하였다. 이 실험에서는 지반 변형, 퇴적 형상 및 충격압 등을 계측하였다. 토사의 투하는 점토 지반 전주에 대하여 몇 차례에 걸쳐 행할 수 있으므로 효과적으로 직투 시물

매립호안 설계/시공/관리 메뉴얼(2000)에서는 케이스 전면부의 압력이 케이스 배면부의 치수시트에

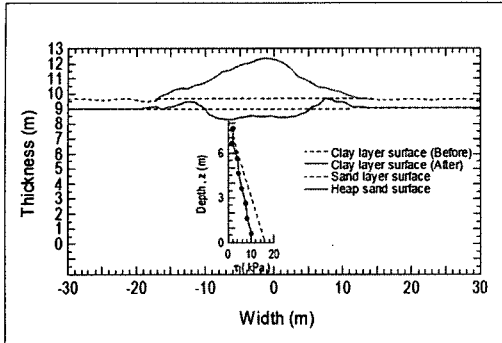


그림 14. 지반의 변형 상태와 퇴적형상

레이션이 가능하다.

기초지반의 작성은 점토 슬러리/피복모래의 층 두께를 비접촉형 변위계(레이저식 변위계)로 관리 하면서 균등하게 투입하였다. 토사 투입 후의 퇴적/ 변형/지반변형에 대하여서도 동일하게 비접촉형 변 위계로 높은 수준의 계측이 가능하다.

실험 결과로부터 얻어진 수심에 따른 퇴적형상이 그림 13에 나타나 있다. 그림에서 수심에 따른 퇴적 형상의 변화를 관찰할 수 있다. 수심이 깊을 수록 매 립사의 지형이 넓게 형성됨을 알 수 있다. 비접촉형 변위계로 측정된 지반의 변형 상태와 퇴적 형상 및 Vane전단 강도가 그림 14에 나타나 있다. 이러한 퇴적형상 및 지반 강도 분석 결과들이 토운선에 의 한 매립공사에 활용되었다 (三宅 & 柳畑, 1999).

4. 맺음말

항만공사는 조석, 파랑하중에 항상 노출되어 있으며, 또한 지반조건도 연약한 점토층에서 수행되어야 하는 경우가 많다. 이런 악조건 상에서 공사를 성공 적으로 수행하고 안정성이 확보된 항만 시설을 구축 하기 위해서는 실험 및 수치해석을 통한 충분한 사

전 검토가 필요하다. 이러한 원심모형 실험에 근거 한 연구가 고난이도의 시공이 요구되는 항만 공사를 성공적으로 수행하는데 큰 역할을 담당할 것이다.

본 논문에서는 드럼형 원심력 재하 모형 실험장치 를 이용한 모형실험법을 설명하였다. 특히, 파랑-지 반-구조물의 상호작용과 같이 대규모 공사에서 드 럼형 원심력 장치의 유효성에 대해서 설명하였으며, 시공과정을 고려한 대규모 직투실험이 가능하다는 것을 보였다. 이와 같이, 원심력 장치의 특성 및 원 리를 이해하고 적절히 이용한다면, 토목시공에 필요 한 데이터를 충분히 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 馬場新太郎, 三宅達夫, 金夏永, 鶴ヶ崎和博(2002). 波・地盤・構造物の新しい実験手法, 海岸工学論文集, 土木学会, Vol. 49, pp. 1536-1540 (in Japanese).
2. 金夏永, 三宅達夫, 馬場新太郎, 鶴ヶ崎和博 (2002). 波浪による基礎地盤および護岸背面地盤内の間隙水圧応答; 施工過程を考慮した地盤の变形・破壊予測に関するシンポジウム発表論文集'地盤工学会, pp. 115-122.
3. 三宅達夫 & 柳畑 亨 (1999). ドラム型遠心装置による直投土砂の沈下機構に関する研究, 海岸工学論文集, 土木学会, Vol. 46, pp. 971-975(in Japanese).
4. Sassa, S. and Sekiguchi, H. (1999). Wave-induced liquefaction of beds of sand in a centrifuge, Geotechnique 49, No. 5, pp. 621-638.