

파랑유발 상시진동을 이용한 케이슨 방파제 구조물의 진동응답분석

Dynamic Response Analysis of Caisson-Type Breakwater Using Wave-Induced Ambient Vibration

이 소 영* · 이 진 학** · 응 각 유이*** · 이 포 영**** · 김 정 태*****

Lee, So-Young · Yi, Jin-Hak · Nguyen, Khac-Duy · Lee, Po-Young · Kim, Jeong-Tae

요 약

본 연구에서는 실제 케이슨 방파제 구조물의 진동기반 안정성 평가를 위한 기초연구로서, 현장실험을 통해 케이슨 방파제 구조물의 진동응답을 분석하였다. 이를 위해 첫째, 대상구조물로서 부산항 오류도 케이슨 방파제를 선정하였다. 둘째, 파랑에 의한 상시진동 가속도응답을 계측하였다. 마지막으로, 계측된 가속도신호로부터 파워스펙트럼밀도함수, 고유진동수 및 모드강성도 분석을 통해 케이슨 방파제의 진동특성을 분석하였다.

keywords : 상시진동, 케이슨식 방파제, 파랑유발 미진동

1. 서 론

케이슨식 방파제를 포함한 국내 기존 해안/항만 시설은 10년 이상 노후화된 구조물이 많고, 설계파랑 이상의 파랑 내습 시 재해위험에 노출되어 있는 상태이며, 태풍 매미 및 사오마이 등에 의해서 공용중인 항만시설의 피해가 발생한 바 있다(황인섭 등, 2007; 항만 및 해안위원회, 2003). 이러한 케이슨식 방파제를 비롯한 중력식 해안/항만구조물은 외력에 대하여 자중으로서 저항한다. 그리고 해저 지반위에 사석기초를 깔고 그 위에 구조물이 거치된다. 그리고 구조물 전체 또는 일부가 해수 중에 잠겨 있으며, 주요 외력에는 파랑, 바람 등이 있다.

케이슨식 방파제의 손상은 크게 구조물 자체의 손상, 구조물을 지지하는 기초부의 손상으로 구분할 수 있다. 기존의 국내 해안/항만 시설물은 비파괴검사 및 육안검사를 통한 구조물 손상 조사, 수중육안검사를 통한 기초부(사석부) 손상 조사를 통해 주기적으로 구조물의 안전도평가를 수행하고 있다(국토해양부와 한국시설안전관리공단, 2006). 그러나 이러한 방법은 대형시설물에 대해 조사하기에 시간이 많이 걸리고, 육안으로 확인할 수 있는 부분에서만 손상 조사가 가능하다. 따라서 기존의 방법 보다 신뢰도 높은 안전도 평가기술에 관한 연구가 필요하다. 한편, Boroschek 등(2011)은 잔교식 해안 구조물을 대상으로 파랑 등에 의한 상시진동실험데이터를 이용하여 구조물의 동적특성분석에 관한 연구를 수행하였으며, 미세진동(micro vibration)을 이용해서 모드 특성치 추출이 가능함을 보였다.

* 학생회원 · 부경대학교 해양공학과 박사과정 lsy84@pknu.ac.kr

** 정회원 · 한국해양연구원 연안개발에너지연구부 선임연구원 yijh@kordi.re.kr

*** 부경대학교 해양공학과 박사과정 duyronan@gmail.com

**** 부경대학교 해양공학과 석사과정 niceguy40@naver.com

***** 정회원 · 부경대학교 해양공학과 교수 idis@pknu.ac.kr

본 연구에서는 실제 케이슨 방파제 구조물의 안정성 평가를 위한 기초연구로서, 현장실험을 통해 케이슨 방파제 구조물의 진동응답을 분석하였다. 이를 위해 첫째, 대상구조물로서 부산항 오류도 케이슨 방파제를 선정하였다. 둘째, 파랑에 의한 상시진동 가속도응답을 계측하였다. 마지막으로, 계측된 가속도신호로부터 가속도신호, 파워스펙트럼밀도함수, 고유진동수 및 모드형상 분석을 통해 케이슨 방파제의 진동특성을 분석하였다.

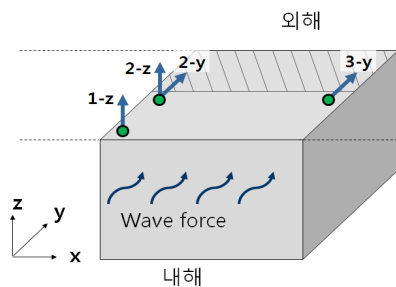
2. 현장실험 개요

2.1. 대상구조물 및 실험구성

케이슨 방파제 구조물로서 부산항 오류도 케이슨 방파제를 선정하였다. 오류도 방파제는 총 50구의 케이슨으로 구성되었으며, 방파제의 총 길이는 1,004m이다. 본 연구에서는 50구의 케이슨 중 대상케이슨으로서 최남서측 케이슨을 기준으로 18, 19, 20번째 케이슨을 선정하였다. 상치콘크리트를 제외한 케이슨의 크기는 폭 20m, 길이 20m, 높이 16.78m 이다. 케이슨의 진동응답의 계측을 위하여 그림 1(a)과 같이 3개 위치에서 파랑 입사방향(y-방향) 또는 연직방향(z-방향)에 대하여 가속도계를 설치하였다. 이때, 사용된 가속도계의 계측범위 및 민감도는 각각 $\pm 0.5g$, $10V/g$ 이다. 2축에 대한 가속도계의 설치를 위해 스틸블록을 사용하였다. 그림 1(b)는 2번 위치에 설치된 y- 및 z-방향의 센서를 보여준다.

2.2. 육안 검사

대상 케이슨의 해수면 위로 노출된 부분에서 전반적으로 그림 2와 같은 케이슨 간의 이격이 존재하였다. 케이슨 19번과 20번 사이의 이격에서는 마찰음이 청감되었으며, 케이슨간의 미세한 상대변위에 의한 것으로 추정된다.



(a) 센서 설치 위치 및 방향



(b) 가속도계의 설치

그림 1 가속도계의 설치위치 및 방법

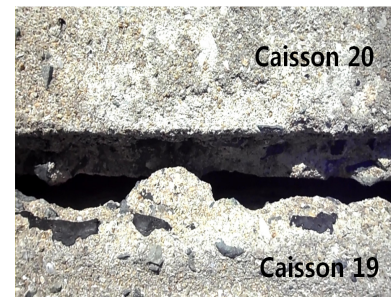


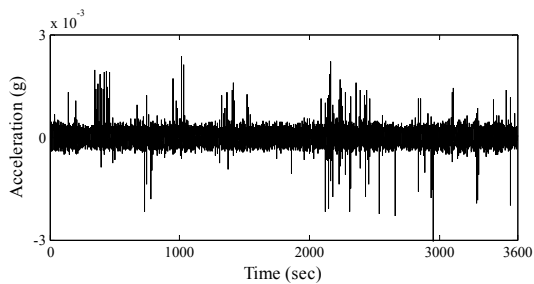
그림 2 케이슨 간의 이격손상

3. 진동응답 분석

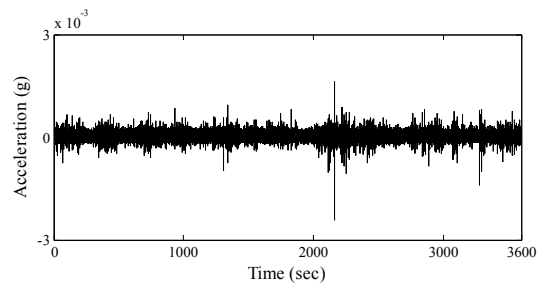
3.1. 가속도 응답 및 파워스펙트럼 밀도함수 분석

각각의 케이슨에 대하여 파랑 및 바람에 의해 유발되는 미세 상시진동을 계측하였다. 이때의 샘플링 주파수는 50Hz이며, 계측시간은 1시간이다. 계측된 상시진동응답은 그림 3과 같다. 가속도응답으로부터 파워스펙트럼 밀도함수를 구하였다. 각 케이슨의 파워스펙트럼 밀도함수는 그림 4(a)~그림 4(c)와 같다. Y-방향 진동응답의 경우, 상시진동실험 결과임에도 불구하고 5Hz 이내의 주파수 범위에서 한 개 내지 두 개의 모드

에 대한 피크가 관찰되었다. 반면, Z-방향의 진동응답의 경우는 18번 케이스 1번 위치에서만 하나의 피크가 관찰되었으며, 나머지 응답에서는 5Hz이내의 주파수 영역에서 피크가 관찰되지 않았다. 그림 3(d)는 2000년도에 오륙도 케이슨방파제 구조물을 대상으로 수행된 강제진동실험결과의 일부로서 19번 케이스의 가속도응답으로부터 구해진 파워스펙트럼 밀도함수이다. 2000년도에 수행된 실험은 터그보트를 이용하여 충격가진에 의한 진동응답을 계측하였으며 센서설치 위치는 그림 3(d)와 같다(부산지방해양수산청, 2001). 본 연구에 의한 결과와 2000년도 실험 결과를 비교해 볼 때, 1차 모드 및 2차 모드의 피크의 주파수가 같거나 유사하게 나타났다. 1차 모드는 본 연구의 결과에서, 2차 모드는 2000년도 실험결과에서 뚜렷한 피크가 관찰되었다.

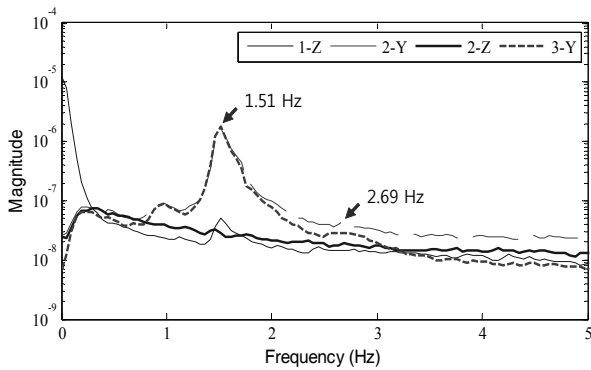


(a) Y-방향 가속도 응답

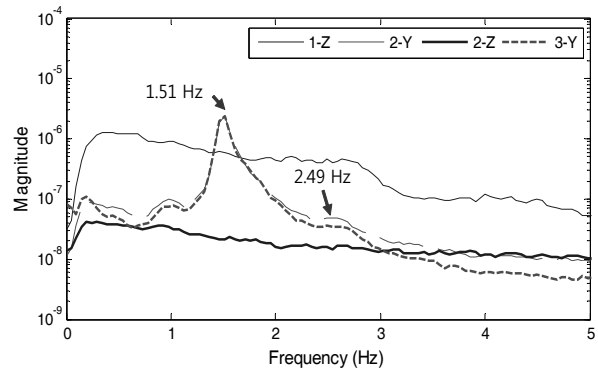


(b) Z-방향 가속도 응답

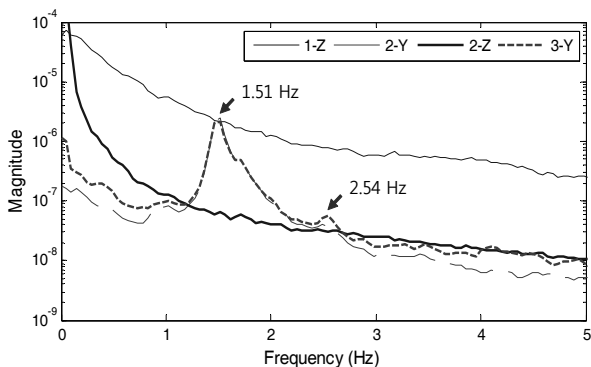
그림 3 18번 케이스의 가속도 응답(센서위치 : 2)



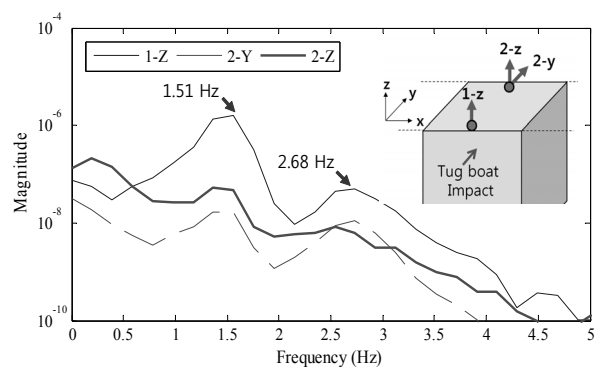
(a) 18번 케이스



(b) 19번 케이스



(c) 20번 케이스



(d) 2000년도 강제진동실험 결과(19번 케이스)

그림 4 대상 케이스의 파워스펙트럼 밀도함수

3.3. 고유진동수 및 모드강성도 분석

대상 케이슨의 고유진동수를 표 1에 정리하였다. 1차 모드의 고유진동수는 1.51Hz로 동일하게 관찰되었으며, 2차 모드는 크게 0.2 Hz 차이가 발생하였다. 1차 모드에 대한 고유진동수는 세 개의 케이슨에서 1.51Hz에서 관찰되었다. 2차 모드의 고유진동수는 최대 0.2Hz 차이가 존재하였다. 고유진동수의 변화율($\Delta f_i/f_i$) 및 모드강성도($\Delta K_i/K_i$)의 분석결과를 표 1에 나타내었다. 18번 케이슨의 고유진동수 결과를 기준으로 분석한 결과, 고유진동수의 상대변화는 2차 모드에서 최대 7.43%, 모드강성도의 상대변화는 2차 모드에서 최대 14.32%가 존재하였다. 2.2절의 육안 검사와 3절의 상시진동실험결과를 바탕으로 분석해 볼 때, 2차 모드에 민감한 손상이 존재하는 것으로 사료된다. 손상의 실제 유무의 추정을 위하여 추가 현장실험을 통하여 육안 검사로부터 발견된 케이슨간의 이격손상과 진동응답 변화의 상관관계에 대해 연구가 수행될 것이다.

표 1 고유진동수 및 모드 강성도의 상대변화 분석(Reference : 18번 케이슨)

케이슨 번호	고유진동수, f_i (Hz)		$\Delta f_i/f_i$ (%)		$\Delta K_i/K_i (= \Delta \lambda_i/\lambda_i)$ (%)	
	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2
18	1.51	2.69	-	-	-	-
19	1.51	2.49	0	7.43	0	14.32
20	1.51	2.54	0	5.58	0	10.84

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 실제 케이슨 방파제 구조물의 안정성 평가를 위한 기초연구로서, 현장실험을 통해 케이슨 방파제 구조물의 진동응답을 분석하였다. 이를 위해 첫째, 대상구조물로서 부산항 오류도 케이슨 방파제를 선정하였다. 둘째, 파랑에 의한 상시진동 가속도응답을 계측하였다. 마지막으로, 계측된 가속도신호로부터 파워스펙트럼밀도함수, 고유진동수 및 모드강성도 분석을 통해 케이슨 방파제의 진동특성을 분석하였다. 추후 연구로서 유한요소모델링 및 추가현장실험을 통해 손상에 따른 진동응답변화의 상관관계를 분석하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 지원하는 항만리모델링기반구축 연구사업 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2010-0012957)의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

- 국토해양부, 한국시설안전관리공단 (2006) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침:항만, 국토해양부 & 한국시설안전관리공단.
- 부산지방해양수산청 (2001) 부산항 오류도 방파제 정밀계측 및 외곽시설 정밀점검 용역보고서: 제 I 부 오류도 방파제 정밀계측, 부산지방해양수산청&부산항건설사무소.
- 항만 및 해안위원회 (2003) 태풍 매미에 의한 해상 및 항만 피해 현황과 대책, 토목, 51(10), pp.28~38.
- 황인섭, 홍성대, 김희대 (2007) 해외항만 태풍피해와 복구방안, 대한토목학회지, 55(10), 103~110.
- Boroschek, R.L., Baesler, H., and Vega, C. (2011) Experimental evaluation of the dynamic properties of wharf structure, *Engineering Structures*, 33(2), pp.344~356.