

축소모형 플로팅 구조물의 손상탐지

† 박 수용 · 김 한샘*

† 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수, *한국해양대학교 대학원

요약 : 구조물의 동적특성인 모드형상을 통해 국부적인 손상을 탐지하는 손상평가 기법은 많은 연구자에 의해 발전되고 있다. 하지만 플로팅 구조물에 대한 손상탐지 기법은 그 사례를 찾아보기 힘들다. 본 논문에서는 콘크리트제질의 플로팅 구조물의 축소모형을 제작하고 손상을 모사하여 손상 전, 후 구조물의 모드형상에서 얻을 수 있는 모달 변위로 나타난 손상지수를 통해 플로팅 구조물의 손상을 탐지하였다.

핵심용어 : 손상탐지, 손상지수, 모드형상, 모달 변형에너지, 플로팅 구조물

연구 개념

연구 목표

연구목표

핵심 플로팅 구조물의 축소모형을 통한 건전도 평가기술 검증

주요 연구 내용

플로팅 구조물의 축소모형 제작	<ul style="list-style-type: none"> 플로팅 구조물의 축소모형 디자인 검토 플로팅 구조물의 축소모형 제작
축소모형의 동적 거동 분석	<ul style="list-style-type: none"> 축소모형의 구조시험을 통한 가속도 응답 계속 계속한 데이터를 바탕으로 축소모형의 동적 거동 분석
축소모형을 이용한 건전도 평가기술 검증	<ul style="list-style-type: none"> 손상탐지기법을 통한 손상 확인을 통하여 손상 위치 및 손상도를 추정할 수 있는지 검증

주요 연구내용

Modal Impact Test

- 가진 위치를 고정시키고 이에 따른 응답을 구조물의 여러 위치에서 계속하는 방법
- 충돌위치를 고정시키고 웨이브 가력 로인트를 이용하는 방법

실험 장비

노트북

데이터 로거

임팩트 해머

가속도계

주요 연구내용

플로팅 구조물의 축소모형 제작

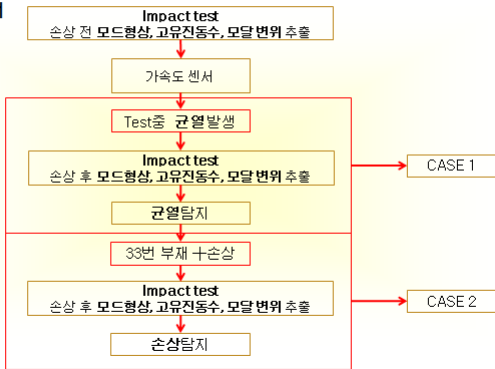
—플로팅 구조물 축소모형 제작 순서

계류시스템

돌린계류시스템을 형상화, 원형 고리를 설치하여 수평동작임을 제한

주요 연구내용

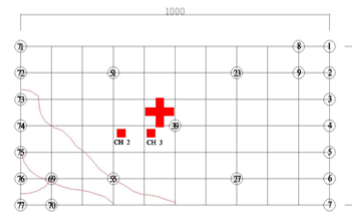
실험 순서



축소모형의 동적 거동 분석

- 축소모형의 수조실험을 통한 가속도 응답 계측

- 계측 센서 부착 위치 및 손상 CASE



Ch 1. 임팩트 해머
Ch 2, Ch3, 가속도 센서

- 손상 CASE

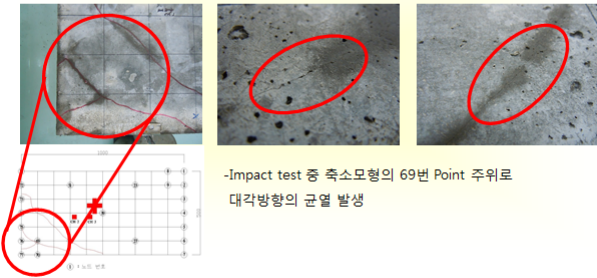
CASE 1. 균열
(74~42번 Node,
75~63번 Node)
CASE 2. 모의 손상
(+자 모양)

주요 연구내용

축소모형의 동적 거동 분석 (Case 1)

- Impact test 중 균열 발생

- 균열에 의한 손상



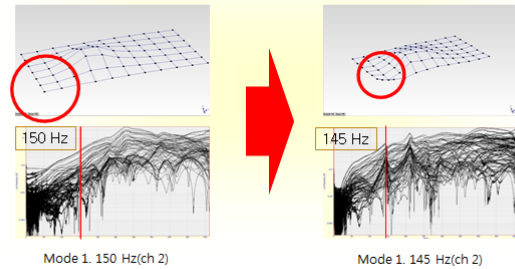
- Impact test 중 축소모형의 69번 Point 주위로 대각방향의 균열 발생

주요 연구내용

축소모형의 동적 거동 분석 (Case 1)

- 축소모형의 수조실험을 통한 가속도 응답 계측

- 손상전의 모드 형상 및 고유진동수
- 손상후의 모드 형상 및 고유진동수



주요 연구내용

- 손상탐지 기법

$$\beta_j = \frac{D_j}{D_j^*} = \frac{\int \int (x_i) dA \sum_{k=1}^N \left[\int \int (x_i^*) dA + \int \int (x_i) dA \right]}{\int \int (x_i) dA \sum_{k=1}^N \left[\int \int (x_i) dA + \int \int (x_i) dA \right]}$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$\chi_i = \left(\frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_i}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w_i}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w_i}{\partial x \partial y} \right)^2 \right]$$

β : 손상지수

D: 필강성

w_i : 바닥판 전직방향 모드

손상탐지
기법
절차

- 손상 전과 후의 모드형상을 이용하여 부재별 손상지수 계산
- 손상지수의 평균값(μ) 과 표준편차 (σ)를 구하여 정규 분포와
- 가설 검정법(Hypothesis Testing)으로 손상이부 판단

$$Z_j = \frac{\beta_j - \mu_\beta}{\sigma_\beta}$$

$Z_j \geq \eta$ 일 경우, j 부재에 손상이 있음
 $Z_j < \eta$ 일 경우, j 부재에 손상이 없음을 판단

여기서 η 는 가설 테스트의 신뢰도를 확률적으로 반영하는 지수로 $\eta=1$ 일 경우 84%, $\eta=2$ 일 경우는 98%의 신뢰도를 나타낸다.

주요 연구내용

Modal Assurance Criteria(MAC)

- 손상 전의 모드형상과 손상 후의 모드 형상이 같은 모드인지 판단

- MAC

- 일반적으로 MAC값이 0.8 이상이면 같은 모드로 간주한다(Allemang, Brown, 1982)

$$MAC(E, F) = \frac{\left| \sum_{k=1}^N (\Phi_E)_k (\Phi_F)_k \right|^2}{\left(\sum_{k=1}^N (\Phi_E)_k (\Phi_E)_k \right) \left(\sum_{k=1}^N (\Phi_F)_k (\Phi_F)_k \right)}$$

Φ_E : 손상 전의 모드형상

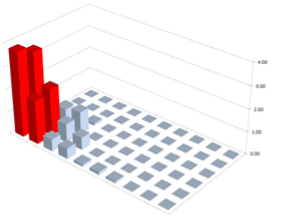
Φ_F : 손상 후의 모드형상

N: 자유도의 수

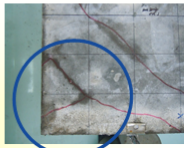
주요 연구내용

축소모형의 손상탐지 결과(Case 1)

- Impact test 중 균열발생
- 균열에 의한 손상위치 추정 결과



ch 2번에서 계측된 데이터를 이용 손상위치 추정 결과

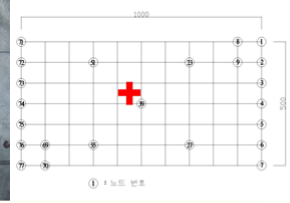


	고유진동수 (Hz)	MAC
손상 전	150	0.8529
손상 후	145	

주요 연구내용

축소모형의 동적 거동 분석 (Case 2)

- 33번 부재(十모양의 모의 손상)
- 모의 손상 위치

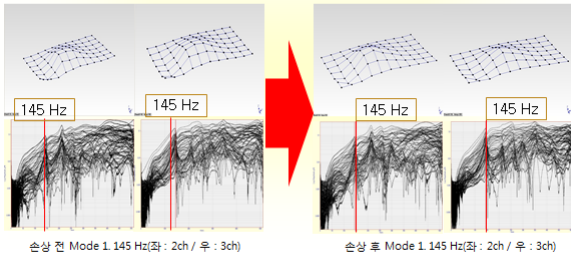


33번 부재 十모양의 모의 손상

주요 연구내용

축소모형의 동적 거동 분석 (Case 2)

- 측정한 가속도 응답을 이용, 모드형상 및 고유진동수 추출
- 손상전의 모드 형상 및 고유진동수
- 손상후의 모드 형상 및 고유진동수



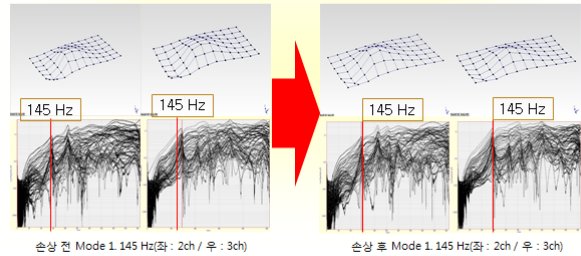
손상 전 Mode 1. 145 Hz(좌: 2ch / 우: 3ch)

손상 후 Mode 1. 145 Hz(좌: 2ch / 우: 3ch)

주요 연구내용

축소모형의 동적 거동 분석 (Case 2)

- 측정한 가속도 응답을 이용, 모드형상 및 고유진동수 추출
- 손상전의 모드 형상 및 고유진동수
- 손상후의 모드 형상 및 고유진동수



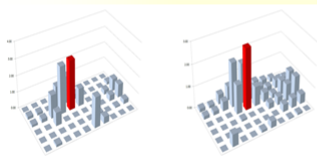
손상 전 Mode 1. 145 Hz(좌: 2ch / 우: 3ch)

손상 후 Mode 1. 145 Hz(좌: 2ch / 우: 3ch)

주요 연구내용

축소모형의 손상탐지 결과 (Case 2)

- 모드형상 및 FRF 값을 이용하여 손상위치 추정
- 손상위치 추정 결과
- 손상 전/후의 MAC



Ch 2

Ch 3

	ch 2		ch 3	
	고유진동수 수(Hz)	MAC	고유진동수 수(Hz)	MAC
손상 전	150	0.9854	150	0.9903
손상 후	145		145	

▪ 본 연구를 통해서 손상경우 1, 2의 모든 경우에서, 손상위치를 정확히 추정해냄으로써, 모달 변형에너지를 이용한 플로팅 구조물의 손상탐지 기법은 구조물의 손상부위를 추정함에 있어서 유용함을 알 수 있었다.

▪ 축소모형 실험을 통한 플로팅 구조물의 손상탐지는 실험을 함에 있어 계류 장치 등 경계조건의 영향에 의한 동적인 특성이 가변적으로 변하므로 경계조건의 설정이 중요하다.

▪ 본 연구의 결과는 향후 실제 플로팅 구조물의 손상탐지에 있어서 중요한 기초 자료가 될 것이다.

결론

후 기

본 논문은 2011년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술 혁신 사업(과제번호 : 10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.