

경사식 방파제의 중간피복용블록의 비파괴검사

Non-destructive Inspection of the Half-loc of rubble mound breakwater

강보순 · 김광호 · 이갑중 · 권혁민 · 조성호
Kang, Bo Soon Kim, Kwang Ho Lee, Gab Joong Kweon, Hyuck Min Joh, Sung Ho

ABSTRACT

Occurrence of crack in the Half-loc of rubble mound breakwater under T.T.P (Tetrapod) can cause serious problems in structural safety. There, probing of such cracks in marine structures is an important process in evaluating the overall integrity of structures. Ultrasonic, SASW(Spectral-Analysis-of-Surface-Waves) and Impact-Echo methods were used for the inspection of pilot concrete and SFC (Steel Fiber Concrete) block in this study. The advantage and limitations of these methods for non-destructive inspection in concrete blocks are investigated. As a result, it has been verified that these methods proved to present effective solution for detecting the crack of the pilot concrete block.

1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 효율적인 건전성 평가를 위해 비파괴실험의 활용도가 높아지고 있다. 여러 가지 비파괴실험중에서 국내·외에서 사용되고 있는 방법들을 선택하여 종합적으로 평가하고자 한다. 일반적으로 구조물의 안전진단에는 육안진단과 정밀진단으로 나눈다. 먼저 육안진단으로 외관검사를 통하여 콘크리트피복블록의 외부균열상태 및 손상도를 평가한 후 정밀진단으로 콘크리트 블록에 대하여 비파괴검사를 수행하고자 한다. 반발경도실험, 초음파실험, 콘크리트 압축강도실험, 탄성계수실험 및 내부균열깊이를 측정하여 반발경도 실험과 초음파 실험을 사용한 조합법으로 추정압축강도를 산출하고 최근에 지반 및 콘크리트 구조물에 많이 사용되고 있는 SASW 실험, Impact-Echo 실험을 동시에 수행하여 다양한 비파괴검사의 결과를 비교·분석하여 콘크리트피복블록의 건전성을 평가하고자 한다

2. 실험

2.1 실험의 범위 및 내용

본 실험의 목적으로 첫째로는 100cm×40cm×60cm(L×W×H)크기의 pilot콘크리트에 테트라포트(이하

- * 정회원, 경주대학교 건설환경시스템공학부 전임강사
- ** 정회원, 경남대학교 토목환경시스템공학부 박사과정
- *** 정회원, (재)한국건설시험연구소 과장
- **** 정회원, 경주대학교 건설환경시스템공학부 전임강사
- ***** 정회원, 중앙대학교 지구환경시스템공학부 조교수

T.T.P)재하시 발생할 수 있는 다양한 균열을 부여하여 두종류의 비파괴검사(응력과 및 초음파검사)를 통한 균열의 정확한 위치 및 크기를 판별하는 것이고, 둘째로는 4종류로 제작된 실제크기의 콘크리트Block - 무근, 철근콘크리트, 30kg/m³의 강섬유가 포함된 콘크리트, 60kg/m³의 강섬유가 포함된 콘크리트에 각 Block별로 실제 T.T.P의 재하 전후에 콘크리트의 상태변화가 발생할 가능성이 있는곳을 선정하여 동일한 위치에서 비파괴 실험을 실시한다. 재하전후의 Block의 육안조사를 기본으로 하고 비파괴 실험은 초음파 시험기에 의한 속도차로 균열 및 내부 파손의 여부를 판단한다. 콘크리트의 배합 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 콘크리트의 배합설계 및 물리적 성질

Design Strength (kgf/cm ²)	W/C(%)	Unit volume weight(kgf/cm ³)				S/A(%)	A(%)
		W	C	S	G		
210	56.1	178	321	898	938	49.3	1.93

2. 실험방법 및 범위

(1) Con'c Pilot 비파괴 실험

본 Pilot실험에서는 Block의 외관상태를 고려하여 비파괴 실험의 빈도와 위치를 선정하였으며 실험의 종류는 시험체에 대하여 반발경도 실험, 초음파 실험 및 탄성파 실험을 실시하였다.

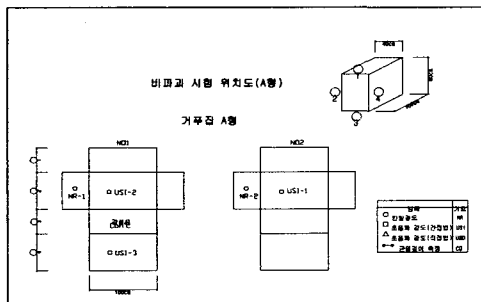


그림 1 비파괴시험 위치도(A형)

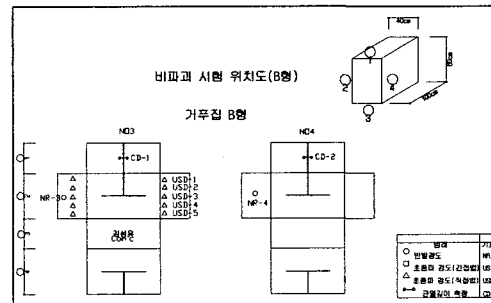


그림 2 비파괴시험 위치도(B형)

(2) 실험방법

- PILOT블록시편 100cm×40cm×60cm(L×W×H) 6개
- 변수: 균열위치, 방향, 크기, 강섬유 및 철근유무

T.T.P를 콘크리트 중간피복블럭 위에 거치한 후 다시 꺼내어 콘크리트 피복블럭의 내부균열상태 및 손상도를 평가하는 정밀검사의 한 방법으로 콘크리트 블록에 대하여 비파괴실험을 수행하고자 할 때 기존 콘크리트슬래브나 벽체보다 두꺼운 콘크리트 피복블럭이므로 사전에 비슷한 단면, 즉 내지점을 자른 단면과 같은 블록에, 길이 및 다양한 균열을 갖는 콘크리트블록 시편 6개를 제작하여 미리 제작된 실제 균열의 위치 발견, 깊이 및 폭

에 대한 추정을 위하여 비파괴적으로 수행하는 현장실험법 중에서 응력파 및 초음파 측정치와 비교·분석하여 좀 더 신뢰성 있는 평가방법을 도입하기 위해 pilot test를 하였다. 경제성 단면의 사용성 평가를 위해서 그림 4.8 에서와 같이 Con'c Block과 같은 조건의 00cm×40cm×60cm 크기의 Con'c Pilot 6개를 제작하였다. 무근 Con'c 와 30kg/m³, 60kg/m³의 강섬유 보강Con'c 시편에 인위적으로 수직균열, 수평균열, 사장균열을 발생시켜 응력파를 이용한 SASW 실험, Impact-Echo 실험 및 초음파를 이용한 Pundit에 의한 초음파 속도 측정을 하여 비교 분석하였다.

3. Con'c Pilot 비파괴 실험 결과

3.1 응력파실험(SASW 실험, Impact-Echo 실험)결과

SASW (Spectral-Analysis-of-Surface-Waves) 기법은 지반이나 구조물에 대하여 전단 강성의 깊이별 변화를 추정하기 위하여 비파괴적으로 수행하는 현장 실험법이다.

아래의 그림들은 몇몇 대표적인 Block들에 대한 실험위치를 나타낸다.

본 실험에서 일반 콘크리트와 강섬유보강 콘크리트의 비교에 있어서 초음파 및 응력파 속도 측면에서는 차이가 없었으며 초음파실험과 응력파 실험(SASW 실험, Impact-Echo 실험)을 통한 균열Test는 균열의 크기(균열폭, 균열 깊이)의 정확한 측정은 실험편의 크기가 제한되고 콘크리트의 다짐불충분으로 인해 품질이 양호하지 못해 어려운 상태였으나 두 실험 모두 균열위치는 파악할 수 있는 상당히 유사한 결과가 도출되었다. 사인장 균열의 위치를 파악하기에는 다소 어려움이 있었으나 수직균열 및 수평균열의 위치는 정확하게 찾아낼 수 있었다. 따라서 실제 콘크리트 파복블럭 현장실험에서는 사용이 간편하고 보급화된 초음파 비파괴 실험을 선택하여 수행하였다.

다음은 수평균열, 수직균열, 사장균열 등이 포함된 콘크리트 블록시편에 대하여 수행한 응력파실험(SASW 실험, Impact-Echo 실험) 및 초음파실험으로 구한 실험결과이다.

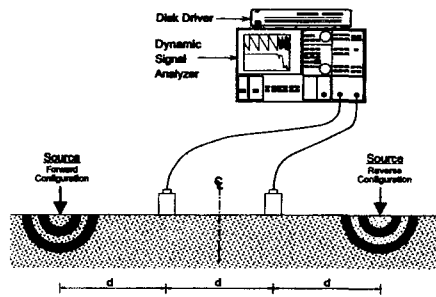


그림 3 기본적인 SASW 실험장비와 구성

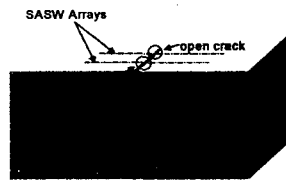


그림 4 Block3에 대한 응력파 실험

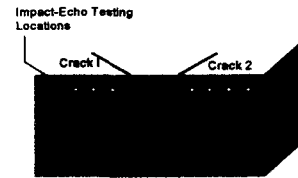


그림 5 Block3에 대한 Impact Echo Tests

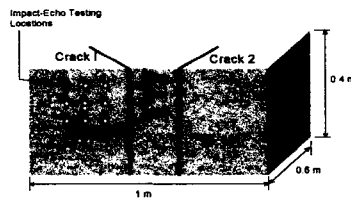


그림 6 Block4에 대한 Impact-Echo Tests

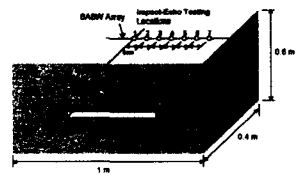


그림 7 Block5에 대한 Impact-Echo Tests 및 SASW Measurements

(1) 응력파실험(SASW 실험, Impact-Echo 실험)결과

표 2 응력파실험(SASW 실험, Impact-Echo 실험)결과

실험,평가 모형	SASW 실험		Impact-Echo 실험	
	평가	설명	평가	설명
Block 1, 2 (Intact)	◎	반사파로 인하여 신호가 간섭을 많이 받았으나, 적절한 필터처리로 신호를 분리하는 것이 가능하였음.	○	반사면이 가까이 여러 개 존재하는 경우, P-파, S-파 등의 공진이 다수 측정되어 정확한 판단이 어려웠음.
Block 3 (수직균열)	○	진달함수의 위상각, 진폭 스펙트럼에서 이상현상 발생. 표면파 속도가 저하되어 측정됨.	△	주 반사면까지의 ray path가 길어지고, 속도가 저하되는 현상 발생.
Block 4 (사장균열)	N/A	N/A (SASW 실험을 수행하지 않았음)	△	명확하게 분리되지 않은 사장균열이 있는 경우, 주 반사면이 달라졌음.
Block 5 (수평 delamination)	○	적절한 감진기간 거리를 사용할 때, 확인가능. 여러 개의 감진기간 거리로 검증 필요.	△	수평분리가 밀착되어 있는 경우 확인불가. 발진원-감지기 거리를 달리하여 측정하는 경우 확인가능성 있을 것으로 판단됨.

주 : ◎ 매우 우수, ○ 우수, △보통

(2) 반발경도법에 의한 압축강도 추정

본 실험에서 콘크리트 시험체의 재령계수를 1.0으로 고려하여 반발경도에 의한 추정 압축강도가 153.2 kg/cm²로 설계강도의 약 72%정도였는데 이는 다짐불충분과 재령 7일강도를 고려함에 따른 품질저하가 원인이라고 생각된다.

(3) 초음파 실험 결과

본 실험에서 인위적으로 발생시킨 균열에 대하여 초음파에 의한 속도차로 균열의 유무를 확인하였다.

표 3 직, 간접법에 의한 초음파 속도

구 분	시 험 위 치	초음파 속도 (μsec)	비 고	
콘크리트 시편	간접법	USI-1	3.65	건전부
		USI-2	3.85	건전부
		USI-3	3.55	건전부
	직접법	USD-1	3.70	균열부
		USD-2	3.70	균열부
		USD-3	3.69	균열부
		USD-4	3.67	건전부
		USD-5	3.65	건전부

실험결과 직접법을 수행한 NO.3번 시편에서는 균열부와 건전부의 속도차이가 거의 나타나지 않았다. 이는 인위적으로 발생시킨 균열이 콘크리트 경화중에 부착되었을 가능성이 있는 것으로 판단된다.

(4) To-Tc 법에 의한 균열깊이 실험 결과

인공적으로 발생시킨 시편의 균열에 대해 균열깊이를 측정된 결과를 아래에 나타내었다.

표 4 To-Tc 법에 의한 균열깊이

구 분	실험 위치	초음파 속도 To (μsec)	초음파 속도 Tc (μsec)	균열 깊이 (cm)	비고
Con'c 시편	CD1	76.2	80.6	5.2	x=15cm
	CD2	49.9	93.8	15.9	x=10cm
	CD3	80.7	107.7	13.3	x=15cm
	CD4	104.7	134.1	12.0	x=15cm
	CD5	88.7	159.6	22.4	x=15cm
	CD6	88.7	237.6	37.3	x=15cm
	CD7	88.7	96.5	6.4	x=15cm
	CD8	22.9	77.6	16.2	x= 5cm
	CD9	22.9	120.7	25.9	x= 5cm
	CD10	22.9	80.5	16.9	x= 5cm

실험결과 인위적으로 제작한 균열의 정확한 깊이를 측정하는데 어려움이 있었으나 건전부와 균열부의 차이는 뚜렷하게 나타났다. 이는 시편 제작시 인위적으로 발생시킨 균열이 콘크리트 경화시 실제 깊이를 유지하지 못하고 밀착되는 관계로 정확한 균열깊이의 측정이 어려웠다고 판단된다.

4. 실제 Con'c Block의 재하전·후의 비파괴 검사

4.1 실험계획 및 방법

앞서 기술한 3의 실험결과로 Con'c Block의 결함을 찾고 균열의 위치와 파괴형상을 예측하는 기법으로는 Pundit를 이용한 초음파검사가 현장에서 적용한 것으로 판단 되었기에 이 실험에서는 Pundit에 의한 초음파의 속도 차이로 T.T.P재하 전·후의 Con'c Block의 상태변화를 판단하려 한다. 실험은 실제 제작된 무근Con'c, 철근Con'c, 30kg/m³ 및 60kg/m³ 강섬유보강Con'c Block을 각각 한 개씩 택하여 수행하였다. 먼저 Con'c Block 표면 위에 측정위치를 표시하고 T.T.P를 재하하기 전에 그 위치에서 초음파검사를 통하여 Con'c Block의 상태를 진단한다. 그 다음 T.T.P를 Con'c Block에 재하한 후 지상에 내려놓고 표시된 Con'c Block의 위치를 재측정하여 T.T.P재하 전·후의 Con'c Block의 상태변화를 비교·분석한다. (그림8과 그림9 참조)

4.2 비파괴 실험 종류

실험은 실제 제작된 무근Con'c, 철근Con'c, 30kg/m³ 및 60kg/m³ 강섬유보강Con'c 에 대하여 표면강도를 비교하기 위한 반발경도 실험과, 속도차에 의한 상태변화를 판단하기 위해 초음파 실험을 T.T.P 재하 전후에 실시하였으며, 철근콘크리트의 경우 배근상태를 파악하기 위해 Ferrosan과 R/C Radar를 이용해 철근탐사를 수행하였다.



그림 8. Con'c Block위로 T.T.P의 이동모습



그림 9 Con'c Block위에 T.T.P의 재하실험

4.3 비파괴 실험 결과

본 실험을 수행한 Con'c Block 재령계수를 타설일자별로 고려하여 반발경도에 의한 추정 압축강도를 T.T.P 재하 전후로 구분하여 실험했으며 T.T.P 재하 전후의 콘크리트 표면반발경도를 비교해 본 결과 별다른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 초음파속도법에 의한 비파괴에 있어서 실험은 직접법을 사용하였으며 재하 전·후의 속도차이를 비교하였다. 실험 결과 실험전·후의 초음파 속도차이는 실험자의 실험오차를 제외하면 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 재하 후에 균열이나 기타 손상이 발생하지 않았음을 나타내고 있다.

5. 결론

경제성 단면의 사용성 여부를 판단하기 위하여 실제 단면과 같은 조건의 Con'c Pilot의 비파괴 실험결과 인위적으로 발생시킨 수직, 수평, 사장균열의 깊이나, 폭의 정확한 값은 알 수 없었지만, 균열이나 손상의 발생위치는 대략적 추정이 가능하였다. 또한 여러 가지 비파괴 실험 결과를 분석한 결과 현장에서는 사용성이 좋고 널리 보편화 된 Pundit를 사용하여 재하 전·후의 Con'c의 변화를 비교 해 보았다.

일반 콘크리트와 강섬유로 보강된 콘크리트에 대한 실제 재하 전·후의 외관상태와 균열 발생 및 손상여부를 초음파 속도로 비교해 볼 때 모두 특별한 손상이 없는 것이 확인되었다. 향후 연구의 방향은 현장에서 발생할 수 있는 실제 하중조건에 대한 실험을 다양하게 실시하여 보강공법의 보강유무를 판단하고 현장조건에 맞는 최적의 보강공법을 실무에 제공할 수 있어야 할 것이다. 또한 실제 하중조건에 맞는 실험으로는 재하한 T.T.P의 하중을 늘인다든지, 시공조건과 같은 낙하실험으로 Con'c Block에 충격을 주어 보다 실제 하중조건에 더 근접하게 실험을 할 필요성이 있다.

참고문헌

1. 조성호 (1997). "SASW 실험자료 분석 및 해석기법에 관한 연구," 중앙대학교 부설 외국어문학연구소.
2. B.S Kang : Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärkter Stahlbeton unter Schwellbeanspruchung Dissertataion, Ruhr-Universität Bochum, 1998.
3. "건축 토목구조물의 비파괴검사방법" 한국콘크리트학회지, 10권, 2호, 1998, pp5-64