

구조 실험과 SASW를 이용한 플랫 플레이트 기둥-슬래브접합부에서의 구조적 거동에 관한 연구

Structural Behavior in Slab-Column Connections with Shear Plate Using Structural Experiment and Non-destructive Test, Spectral Analysis of Surface Waves

주 현 지* 조 영 상**
Joo, Hyun Jee Cho, Young Sang

ABSTRACT

This paper is to study the response of flat plate slab-column connections consisting of various types of shear reinforcement and steel plate subjected to gravity loadings, mainly punching shear forces using the non-destructive testing, spectral analysis of surface waves and structural experiments. The base specimen failed due to punching shear generated from the gravity. The three other types of slab shear reinforcement and steel plate showed effective in resisting punching shear for these types of connections under gravity loading. This study has focused in evaluating the velocity response of a Surface wave during the early age as the poured concrete specimens have been hardened, the possibility of damage detection in the slab-column connection and the relationship between the punching shear forces and the surface wave velocities under the condition that the punching shear forces had gradually increased until the flat plate slab in slab-column connection had been failed.

1. Introduction and Reserch Significance

최근에 고층빌딩에서 플랫플레이트 구조의 사용이 증가하고 있다. 뚫림전단 파괴저항을 포함하여 시스템에서의 구조적 안전에 대한 확신은 세계적으로 중요한 문제가 되었다. 플랫플레이트 구조의 기둥-슬래브 접합부에서의 뚫림전단 성능을 개선시키기 위해 닫힌 후프근 보강, 열린 후프근 보강, 전단스터드보강 등 여러종류의 전단보강방법이 연구되었다. (Robertson&Kawai,2002; Yamada& Nanni,1992) 그러나 전단스터드를 이용한 브라켓 타입의 전단철판의 보강에 대한 연구는 전무하다. 구조적인 보강 뿐 아니라 뚫림전단 용력과 접합부 성능에 대한 안전 진단도 상당히 중요한 문제이다.

본 연구는 뚫림전단력에 대한 거동을 관찰하기 위해 구조실험을 실행하였을 뿐만 아니라, 플랫플레이트 슬래브 접합부에서의 점진적인 하중증가에 따른 위상속도의 응답을 비파괴적으로 평가하였다. 실험체는 전단보강이 없는 기본 실험체(TIC)와 전단스터드 보강 실험체(T2CSS), 브라켓 타입 철판 위 전단스터드 보강 실험체(T3CSSPL), 긴 브라켓타입 철판 위 전단스터드 보강실험체(T4CSSLPL) 4개로 계획하였으며 1000톤의 UTM기계를 사용하였으며 비파괴검사는 SASW방법을 사용하였다.

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

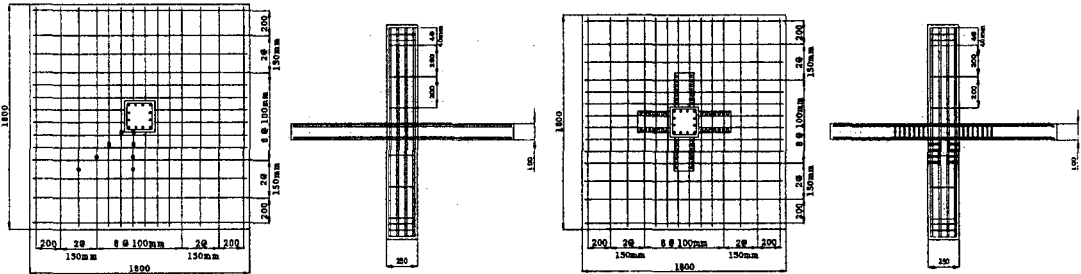
2. Experimental Set-up

2.1 Materials and Specimens

콘크리트의 설계기준강도를 350으로 배합하였고 4개의 실험체에는 SD40 철근을 가공하여 사용하였고 철근의 직경은 10-16mm이다. 전단 플레이트와 전단스터드는 SS400을 기준으로 제작하였다. 4개의 실험체는 실제 크기의 절반크기로 제작하였고 실험체 크기는 180 x 180 x 10.2 cm 이며 기둥은 25 x 25 x 130 cm이다. 표1은 각 실험체의 재료 물성치이며 그림1은 실험체 T1C(a,b)와 T4CSSLPL(c,d)의 실험체 제작도이다. 실험체들은 그림2에서 보여지는 대로 32층 건물의 25층 내부기둥에 기초하였다. 실험체 세팅은 그림3과 같다.

표1 Test specimen material properties

Specimen	Concrete compress strength, f_c , Mpa	Modulus of rupture, f_r , Mpa	Steel yield strength, Mpa		Reinforced ratio in $c/2 + 3h$ width, ρ_1 , %		Reinforced ratio in column strip, ρ_2 , %		Reinforced ratio outside column strip, ρ_3 , %	
			Flexible, f_y	Shear, f_{yr}	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
T1C	34.33	3.63	392	434	0.65	0.4	0.45	0.35	0.3	0.3
T2CSS	34.33	3.63	392	434	0.65	0.4	0.45	0.35	0.3	0.3
T3CSSPL	34.33	3.63	392	434	0.65	0.4	0.45	0.35	0.3	0.3
T4CSSLPL	34.33	3.63	392	434	0.65	0.4	0.45	0.35	0.3	0.3



(a) T1C specimen top bars

(b) T1C Section

(c) T4CSSLPL specimen top bars

(d) T4CSSLPL Section

그림 1 Test specimen diagrams

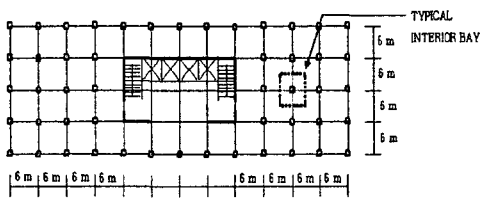


그림 2 Floor framing plan of base floor

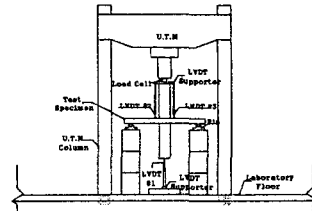


그림 3 Experimental Set-up

2.2 SASW Test

SASW는 기둥근처의 스트레인 게이지가 위치한 2개 지점에서 행해졌다(그림4). SASW에 사용되는 기구는 data acquisition system, 2 PCB 352A78 accelerometer receivers, 2 signal conditioners와 직경 12mm 인 작은 철제 구슬을 사용한 충격원으로 구성되어 있다. 리시버1과 충격원까지의 거리들은 보여지는 대로 7.5cm와 10cm이며 각 위치에서 1번씩 행해졌다. 철제 구슬을 떨어뜨림으로써 발생된 몇 가지 파는 data acquisition system에 기록되었다. data acquisition system은 $x(t)$, $y(t)$ 에 의해 리시버 1과 2에 각각 전달된 결과를 수집하였다. 그리고 $x(t)$, $y(t)$ 는 FFT(Fast Fourier Transform)에

의해 주파수 도메인인 $X(f)$, $Y(f)$ 로 변환되었다. 이 과정은 최종적인 크로스 파워스펙트럼을 얻기 위해 16번씩 평균적으로 반복 수행되었으며 그림 5에 보여지고 있다. 그리고 크로스 파워스펙트럼과 코히어런스 함수의 값들은 분산 곡선을 얻는 프로그램에 의해 계산되었다. 그림 6에서 실험적인 분산곡선의 자료점들은 보통 실험 데이터 포인트들의 임의의 수를 평균함으로써 자료점들을 줄일 수 있다. 이렇게 압축된 분산 곡선을 대표 분산 곡선이라 정의한다.

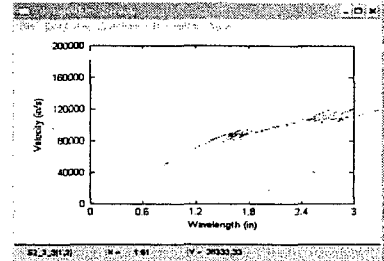
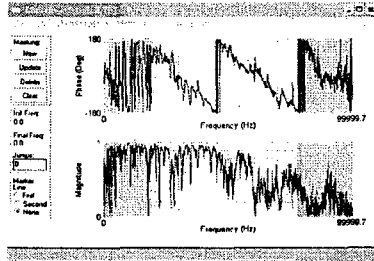
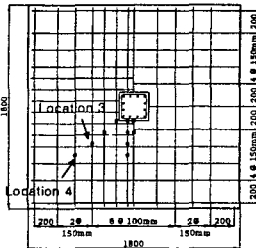


그림 4 SAW 실험위치 그림 5 크로스파워스펙트럼과 코히어런스함수 그림6 Experiment dispersion curve

3. Test Result

3.1 Crack and Failure Pattern

전체적으로 실험체의 파괴양상은 하부 면에 휨균열 발생 후 최대하중 시 휨파괴가 진행되었고 이후 뚫림 전단으로 인해 최종파괴에 이른 것으로 추정된다. 최종파괴가 일어난 원추형의 전단파괴 크기는 전단보강이 많이 된 실험체일수록 그 지름이 커짐을 알 수 있다. 초기에는 미세균열이 기둥 주위에 많이 발생하였으며, 시간이 지남에 따라 대각선방향의 균열이 시작되고, 더불어 원형 접선모양의 균열도 그 크기를 조금씩 더해가다 결국 전단파괴가 발생하였다.

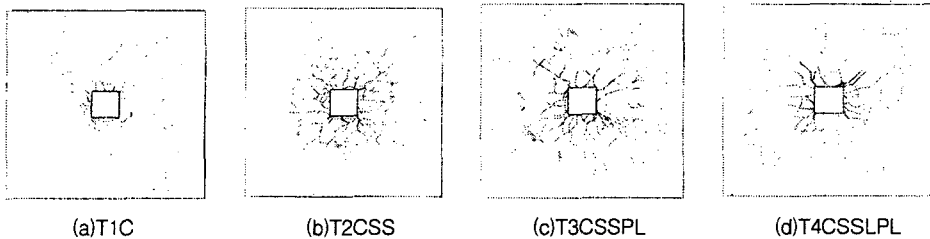


그림 7 Crack patterns at failure

3.2 Load Displacement

그림8은 실험체의 하중-변위 곡선을 보여준다. 메탈 스트립을 가진 전단 스테르드가 보강된 T2CSS 실험체에서 극한 하중능력이 기본실험체 T1C보다 8% 증가했다. 최적의 브래킷 형식의 전단 플레이트 (L모양 전단 플레이트)가 보강된 T3CSSPL 실험체에서는 극한 하중능력이 기본실험체보다 약15% 정도 증가했다. 더 긴 브래킷 타입 전단 플레이트가 보강된 T4CSSLPL에서는 기본 실험체보다 22%정도 증가됨을 보여준다. 이는 전단 스테르드 보강량의 증가가 전단 및 휨성능 향상에 크게 기여함을 보여 준다. 스테르드 플레이트를 사용한 T3CSSPL과 T4CSSLPL의 최종파괴 시 전단변형의 증가가 기본 실험체 및 T2CSS에 비해 미비하고 최대변형 또한 큰 것을 볼 때, 전단 플레이트가 최대내력이후의 뚫림전단에 의한 급격한 취성파괴 방지에 기여함을 알 수 있다.

3.3 The Result of Surface Wave Measurement

변화하는 하중 조건하에서 표면파속도의 측정 결과에서 7.5cm와 10cm의 간격으로 놓여진 리시버를 가진 3번 위치에서 T1C 실험체는 초기에 2,200~2,600m/sec에서 최대 변위 시 956~1,088m/sec까지의

표면파속도 감소를 보인다. 7.5cm와 10cm의 간격으로 놓여진 리시버를 가진 4번 위치에서 TIC 실험체는 초기에 2,595~2,635m/sec에서 최대 변위시 968~1,059m/sec까지의 위상과 속도 감소를 보인다. 데이터 수집 위치는 균열 구역으로부터 약간 떨어져있기 때문에. 7.5cm와 10cm의 간격으로 놓여진 리시버를 가진 3번 위치에서 T2CSS 실험체는 초기에 2,303~2,988m/sec에서 최대 변위시 696~1,360m/sec까지의 위상과 속도 감소를 보인다. 4번 위치에서는 초기에 2,977~2,988m/sec에서 최대 변위에서 759~1,647m/sec까지의 감소를 보여준다. T4CSSLPL 실험체에서 변위처럼, 위상과 속도에서 감소의 경향이 발견되었다. 그림9와 같이 시험 결과는 콘크리트 매체에서 위상과 속도는 하중과 변위가 증가할 때 감소한 것을 보여준다. 이는 하중이 증가함에 따라 실험체 내부와 외부에 미세균열이 점차적으로 발생하기 시작하기 때문에 파의 전달이 원활하지 않아 파속도가 감소한다고 추정할 수 있다. 그림 9를 보면 표면파 속도는 극한 하중의 약 60% 전후부터 내부균열이 발생하여 항복하중을 거친 후 파괴에 이르기 직전 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다.

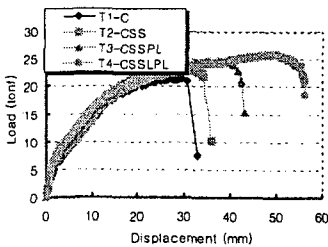


그림 8 하중 변위 곡선

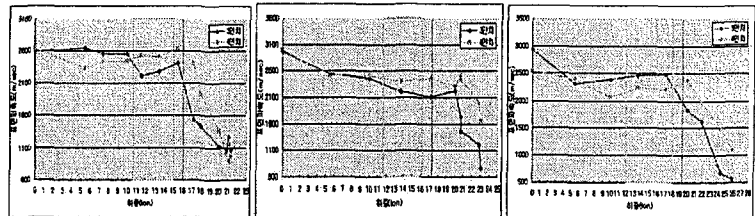


그림 9 항복강도에서의 표면파 속도

4 Conclusions

전단 보강이 다른 네 개의 플랫 플레이트 슬래브 실험체에서 SASW를 이용한 비파괴적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 강철 스트럽과 전단 스티드가 보강되어 있는 T2CSS 실험체에서 극한 하중 능력은 기본 실험체인 TIC보다 약 8% 증가했다. 최적의 브래킷 타입의 전단 플레이트가 보강된 T3CSSPL에서는 극한하중 능력이 TIC보다 약 13% 증가했다. 더 긴 브래킷 타입 전단 플레이트로 보강된 T4CSSLPL에서는 TIC보다 약 22% 증가했다
- 2) 하중과 변위가 실험체 실험에서 증가함에 따라 표면파 속도는 표면파 실험체 내부에서 미세균열의 발생에 의해 감소 했다.
- 3) 표면파 속도는 극한 하중의 약 60% 전후부터 내부균열이 발생하여 항복하중을 거친 후 파괴에 이르기 직전 급격하게 감소했다.

Reference

1. Robertson, I.N., Kawai, T., et al (2002), "Cyclic testing of slab-column connections with shear reinforcement", ACI Structural Journal, 99(5), 605-613.
2. Yamada, T., Nanni A., et al (1992), "Punching shear resistance of flat slabs : Influence of reinforcement type and ratio", ACI Structural Journal, 88(4), 555-563.
3. Gardner N. J., Shao X. (1996), "Punching shear of continuous flat reinforced concrete slabs", ACI Structural Journal, 93(2), 218-228.
4. Hammill N., Ghali A. (1994), "Punching shear resistance of corner slab-column connections", ACI Structural Journal, 91(6), 697-707.