

기둥 주위에 슬리트를 갖는 합성보 접합부의 반복하중 하에서의 거동

Hysteretic Behavior of Composite Beam Detail with Slit around Column

○양 일 승* 윤 현 도** 이 강 민**
Yang, Il-Seung Yun, Hyun-Do Lee, Kang-Min
박 완 신*** 한 병 찬* 문 연 준****
Park, Wan-Shin Han, Byung-Chan Moon, Yeon-Jun

ABSTRACT

Composite beams are generally known to possess higher flexural stiffness and strength under the positive bending moments than the normal steel beams. However the these beams also exhibit large differences in flexural stiffness and strength when both positive and negative bending moments are applied. As observed during the 1995 Kobe Earthquake, these beams tend to be fractured on the bottom flanges under repeated cyclic loadings. The objective of this study is to develop and evaluate the composite beam detail, which is able to effectively resist the seismic loadings. The proposed system is composed of the slit on concrete slab around column. A limited experimental program was designed and conducted to investigate the hysteretic behavior of the proposed composite beam system. From the experimental data obtained from the testing of three specimens, the proposed composite beam detail is found to possess large beam rotation than normal steel beams.

1. 서 론

최근 도시의 사무실 및 상업용 건물은 도심지의 지가상승 및 용지 부족으로 부지의 효율적인 이용을 위하여 점차 고층화되어가는 추세이다. 건물의 고층화, 장스팬화에 따른 기존 구조시스템의 한계를 극복하기 위하여 하이브리드(Hybrid) 구조시스템이 널리 보급되고 있는데, 합성보는 철근콘크리트의 바닥 슬래브와 이를 지지하는 철골보가 일체화하여 하중에 저항하도록 구성된 보로서 강성, 강도 그리고 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있는 효율적인 방법 중의 하나이지만, 적용하는데 있어서 다음과 같은 문제점들이 있다. 1) 합성보는 정모멘트와 부모멘트에 대한 강성이 다르기 때문에 구조해석이 복잡. 2) 합성보의 극한내력은 콘크리트 슬래브의 유효압축강도에 따라 달라지기 때문에 합성보의 저항계수는 철골보의 저항계수보다 작음. 3) 합성보가 정모멘트를 받는 경우, 중립축 위치는 철골보와 콘크리트슬래브의 합성효과(Composite effect)로 인해 상부플랜지 부근까지 이동한다. 그래서 합성보의 하단 플랜지는 커다란 응력집중이 생긴다. 이러한 콘크리트 슬래브와 철골보의 합성효과에 따른 응력집중은 1995년 일본에서

* 정희원, 충남대 건축공학과 강사, 공학박사
*** 정희원, 충남대 건축공학과 대학원 박사과정

** 정희원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사
**** 정희원, 동신대 건축공학과 교수, 공학박사

발생한 고베지진에서 각형강관 기둥에 접합된 합성보 단부의 하단플랜지 파괴요인의 한가지로 생각되어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존형 합성보(GCB: General composite beam)의 정모멘트에서 중립축 위치의 상승을 억제함으로서 하단플랜지의 변형도를 철골보의 변형도 수준으로 유지하게 만들어 합성보 하단플랜지의 초기파괴를 피할 수 있는 상세를 다음과 같이 제안하고자 한다. 1) 합성보의 단부에서 콘크리트 슬래브와 기둥사이 슬릿(Slit)을 설치(사진 1). 2) 슬릿 갖는 합성보의 단부에서 충분한 강성을 갖도록 하기 위해 스티드 코넥터를 채널형으로 사용.

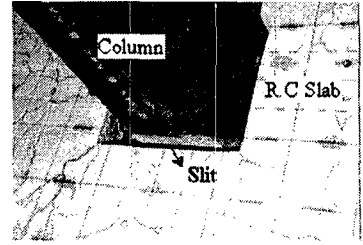


사진1. 기둥주위의 슬릿

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

실험체의 형상은 그림 1과 같이 캔틸레버형으로 하고, 보 이외에는 소성화하지 않도록 엔드플레이트를 설계하였다. 그림 1에서 나타난 바와 같이 보의 길이 2.298m, 콘크리트 슬래브의 폭 2.0m, 두께 12cm의 실험체이다. 각각의 보는 스티드 코넥터를 용접해서 완전 합성보로 하였다.

실험체는 그림 2에 나타난 바와 같이 보의 단부에서 기둥주위에 설치한 슬릿과 스티드 모양의 변수를 갖도록 3개의 실험체가 계획되었다. 기존형 합성보로 설계된 실험체 GCB200의 스티드 코넥터는 기둥에서 200mm 떨어진 위치로부터 등간격 200mm, 게이지 간격 120mm의 2열로 배치하였다. 단부 슬릿형 합성보 실험체 NCB200은 GCB200의 개량형으로 콘크리트 슬래브와 엔드 플레이트 사이에 50mm의 슬릿을 설치하였다. 그리고, 단부 슬릿형 합성보 실험체 NCB200C는 슬릿과 함께 보 단부의 첫 번째 위치의 스티드 코넥터의 형상을 채널형으로 바꾸어서, 보 단부에서 슬립을 줄이고자 하였다. 단, 스티드 코넥터의 수는 완전합성보의 거동을 확보하기 위해 실험대상의 보에 18개씩을 용접하였다.

가력은 보의 재단 변형각의 $\pm 1/300$, $\pm 1/200$, $\pm 1/150$, $\pm 1/100$, $\pm 1/75$, $\pm 1/50$, $\pm 1/25$ rad, 그리고 최대하중에 도달한 후 하중을 제거하였다. 변위계는 전체변형과 상대슬립 등을 측정하였다. 철골보와 콘크리트 슬래브의 상대슬립은 슬래브 하부면의 4개소에서 측정하였다.

합성보의 중립축 위치의 변화 및 하단 플랜지의 변형도 분포를 측정하기 위하여 보 단부(엔드플레이트 표면)로부터 80mm, 200mm, 400mm, 600mm, 800mm 위치의 단면에 11장씩 스트레인지지를 붙였다..

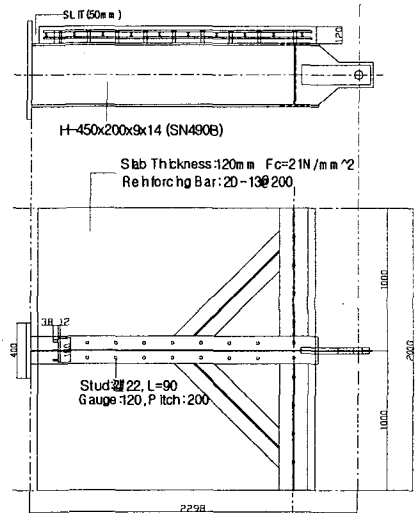


그림1. 실험체의 형상

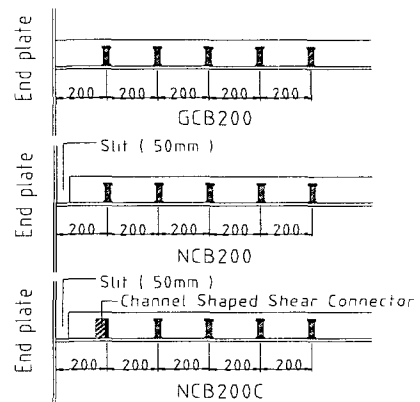


그림2. 실험체의 변수

2.2 재료시험 결과

합성보의 시험에 사용된 각각의 구성요소에 대한 재료시험을 행하였다. 강재의 인장시험은 플랜지, 웨브, 그리고 철근에 대해서 3개씩 행하였다. 그 시험결과는 표 1과 같이 된다. 콘크리트의 재료시험 결과는 표 2와 같다. 또한, 합성보의 합성효과에 대해 스티드 코넥터의 전단거동은 중요한 요소이기 때문에 푸쉬아웃(Push-out) 시험을 하였다. 시험체는 H형강의 웨브 부에서 2분할하여 스티드 코넥터의 용접 후, 콘크리트 타설하였고, 그 후에 플레이트를 사용하여 고력볼트로 결합하였다. 이와 같은 방법을 사용함으로써 콘크리트 타설방향 등을 대상 합성부재와 동일하게 할 수 있다. 그 시험결과는 표 3에 정리하였다

표1. 강재의 재료시험

	탄성계수 (GPa)	항복강도 (MPa)	최대강도 (MPa)	연신율 (%)
플랜지	198.5	351	529	36.0
웨브	204.7	423	484	33.8
철근	198.6	382	530	17.8

표2. 콘크리트의 재료시험 결과

설계기준강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	압축강도 (MPa)	슬럼프 (mm)
21.0	21.04	24.4	180

표3. 푸쉬아웃 시험결과

	항복강도 (MN)	최대강도 (MN)	최대강도시의 상대 슬립 (mm)	초기강성 (tf/mm)
Stud	0.11	0.15	6.01	36.0
Channel	0.12	0.58	3.30	3.35

3. 시험결과 및 분석

3.1 보단부 모멘트와 회전각의 관계

합성보의 보 단부에 있어서 모멘트와 회전각 관계의 시험결과를 그림 3에 나타내었다. 기존형 합성보 시험체인 GCB200는 휨강성 및 정모멘트의 내력이 다른 시험체보다 높지만, 정모멘트와 부모멘트의 강성과 내력의 차이가 크며, 정모멘트 하에서 +1/17rad의 회전각에서 하부플랜지가 파단되었으며, 콘크리트 슬래브도 심하게 압괴되어 손상도 큰 것으로 나타났다. 한편, 기존형 합성보에 50mm의 슬릿만을 설치한 NCB200와 NCB200C 시험체는 초기강성과 내력이 기존형 합성보 시험체보다 낮았지만, 충분한 소성변형을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 시험체 NCB200는 +1/12rad에서 하단플랜지의 파단이 나타났으며, 시험체 NCB200C는 상부플랜지의 좌굴과 채널을 설치한 부위에서 압괴되었다.

3.2 중립축 위치

그림 4는 철골보에 부착한 스트레인 게이지의 측정치로부터 계산된 합성보의 중립축 위치(Neutral axis)를 나타내고 있다. 모멘트의 영역에 있어서 기존형 합성보 시험체 GCB200의 중립축 위치는 콘크리트 슬래브와 철골보의 합성효과로 인해 +1/300rad에서는 하부플랜지에서 약 410mm정도

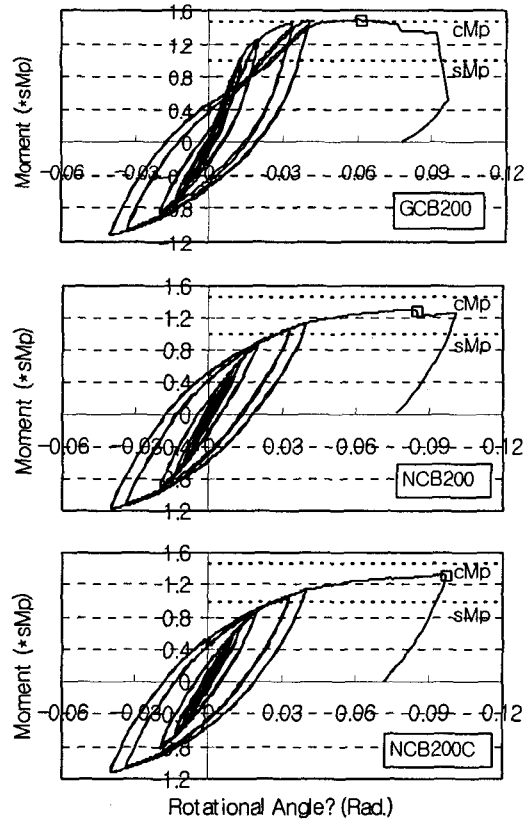


그림3. 보단부의 모멘트-회전각 관계

에 위치하고 있었으나, 기존형 합성보에 슬리트를 설치한 NCB200, NCB200C 실험체는 엔드플레이트로부터 80mm위치의 단면에서 중립축 위치가 거의 철골보의 중립축(225mm)과 같으며, 그 이후에는 중립축 위치가 완만하게 상승해 1000mm위치의 단면에서는 하부플랜지 부터 370mm위치까지 상승하였다.

3.3 하부플랜지의 변형률 분포

그림 5는 엔드플레이트로부터 80mm단면 위치의 하부플랜지 중앙에 변형률 게이지를 사용하여 분석하였다. 엔드플레이트로부터 80mm위치 단면에서 기존형합성보 실험체 GCB200의 변형률은 회전각이 +1/20rad일 때 2.21%로, NCB200, NCB200C 실험체보다 각각 2.43배, 1.41배 크게 나타났다. 그리고, 반복하중으로 인한 진폭중심이 인장측으로 이동하였고, 진폭도 다른 실험체보다 크게 나타났다. 이러한 요인들이 기존형 합성보의 초기파단의 원인의 한가지로 판단된다. 한편, 기존형 합성보에 슬리트를 설치한 NCB200실험체의 변형률은 회전각이 +1/20rad.의 대변형각의 경우에 있어서도 0.92%로서 작게 나타났으며 진폭의 변화도 작음을 알 수가 있었다. 따라서, NCB200 실험체는 철골보와 동등한 소성변형능력을 확보할 수 있음이 확인되었다. 한편, 슬리트를 설치하고, 채널형 커넥터를 사용한 NCB200C실험체는 GCB200실험체와 NCB200실험체의 중간 값을 나타내었다.

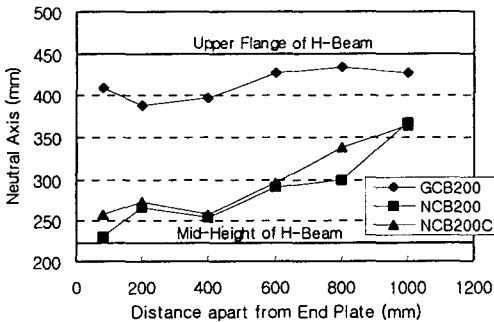


그림4. 중립축의 위치(+1/300rad.)

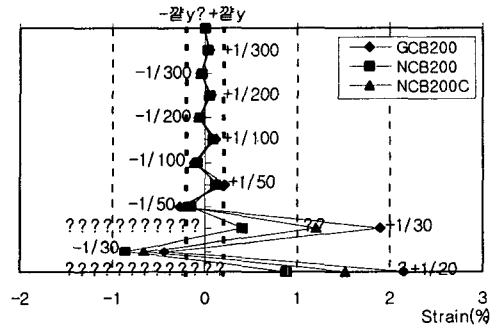


그림5. 하단플랜지의 변형률 분포

4. 결론

본 연구에서는 합성보의 기둥주위에 슬리트를 설치한 새로운 상세를 제안하고 이에 대한 구조적 성능을 확인하기 위한 실험적 연구를 수행하였으며, 이로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존형 합성보 실험체 GCB200는 정모멘트에 대한 초기강성과 내력은 높지만, 보 단부에서의 중립축 위치가 상부플랜지 근처로 이동한다. 또한, 하부플랜지의 변형률이 높고, 반복하중 하에서 진폭도 크다. 그 결과, 하단플랜지의 국부좌굴의 조기발생과 하단플랜지의 조기파단이 발생하였다.
- (2) 강관기둥 주위에 슬리트만을 설치한 NCB200실험체와 200mm위치의 스택드를 대신하여 채널형 스택드를 사용한 NCB200C실험체는 충분한 소성변형을 보여주었고, 합성보의 장점인 일정한 휨강성의 상승과 좌굴구속의 효과 등을 그대로 유지하고 있음을 알 수 있다. 또한, 합성보의 단부에서 콘크리트 슬래브와 철골보의 일체화에 의한 합성효과를 배제함으로써 중립축 위치가 철골보와 거의 같으며, 철골보의 장점인 변형능력의 확보와 내력에 대한 신뢰성이 확보되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Charles G. Salmon, Jonn E. Johnson(1990). STEEL STRUCTURES, Harper & row, p.52 ~92, 1990
2. 日本建築學會近畿支部鐵骨構造部分. 1995年兵庫縣南部地震鐵骨造被害調査報告書, 1995