

외부긴장 CFRP판용 정착부의 반복하중 실험

Cyclic Loading Test of Anchorage System for Externally Prestressed CFRP Plate

정 우 태* 박 종 섭** 박 영 환***
Jung, Woo Tai Park, Jong Sup Park, Young Hwan

ABSTRACT

This paper presents results on static and cyclic loading tests of anchorage system for externally prestressed CFRP plate. A total of 6 specimens have been tested. The specimens can be classified into the concrete surface specimens and the concrete near surface mounted specimens. Static test results before and after cyclic loading test reveal that anchorage system for externally prestressed CFRP plate has static capacity more than CFRP tensile strength.

1. 서론

FRP(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP) 보강재는 기존 구조물의 보수 및 보강뿐만 아니라 신설 구조물의 철근을 대체할 재료로 최근에 광범위하게 사용되고 있다. FRP를 이용한 보강공법은 주로 FRP 쉬트나 판을 에폭시 등을 사용하여 교량 바닥판 및 거더 하면에 부착하므로써 하중을 분담하도록 하는 시스템으로서, FRP로의 하중 분담은 접착계면을 통하여 이루어지게 된다. 그러나, FRP와 콘크리트 계면 사이에서의 거동 특성에 따라 부착파괴나 저장도에서 FRP의 파단 등 예기치 못한 조기 파괴가 발생하여 FRP가 지닌 성능이 미처 발휘되기 전에 파괴에 도달하는 양상을 나타낸다(홍상균, 1996; 박철림, 1997; 건설교통부, 2001). 이러한 문제점은 FRP 복합재료 단부에 앵커를 사용하는 기계적인 정착으로 개선이 가능하며 이러한 정착은 부재의 휨내력 및 연성효과를 향상시킨다(홍상균, 1996; 구은숙, 1998; 신성우, 1998).

기계적 정착방법은 FRP의 양단을 잡고 있는 정착부를 통해 힘이 전달되므로 기존 부착공법과 비교하여 동등이상의 성능을 발휘하기 위해서는 정착부의 성능이 FRP 보강재의 인장강도 이상을 충족시켜야 할 것이다. 따라서 실제 구조물은 정적인 하중뿐만 아니라 이동하중에 의한 반복하중을 받게 되므로 반복하중에 의한 정착부의 거동특성에 대한 검토가 필요하다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

본 연구에서는 외부긴장 CFRP판용 정착부에 대한 전단실험체를 제작하여 반복하중 재하실험을 실시하였으며, 반복하중 재하에 따른 정착부의 손상을 관찰하고 반복하중 재하 전후의 파괴하중 및 파괴모드를 비교·분석하였다.

2. 실험계획 및 변수

본 연구에서는 “도로교설계기준” 4.6.4.3 포스트텐션용 정착구 및 접속구 (3)항을 준용하여 반복하중 재하시험을 실시하였다. “도로교설계기준”에 따라 CFRP 인장강도의 60~66%에서 50만회, CFRP 인장강도의 40~80%에서 50회의 반복하중을 재하 하였으며, 재하 중과 재하 후 실험체에 대한 정착부의 손상을 관찰하고 최종적으로 정적성능실험을 실시하였다.

실험체는 유영준 등(2005)의 실험에서 가장 높은 파괴하중을 나타낸 Type A(그림 1(a))와 가장 낮은 파괴하중을 나타낸 Type B(그림 1(b))를 선택하여 제작하였으며, 실험변수 및 실험체별 재하방법은 표 1과 같다. 표 1에서 하중범위는 서로 대칭으로 설치되는 정착부 실험체의 형상을 고려하여 CFRP판 파단하중의 두 배를 기준으로 결정하였다. 500,000회의 경우 재하주기는 1초당 3번인 3Hz로 하였고 50회의 재하주기는 1Hz로 하여 낮은 하중부터 높은 하중으로 반복하중을 재하하였다.

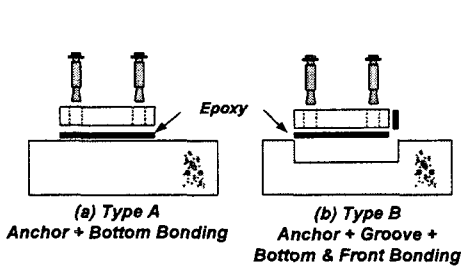


그림 1 정착부의 형태

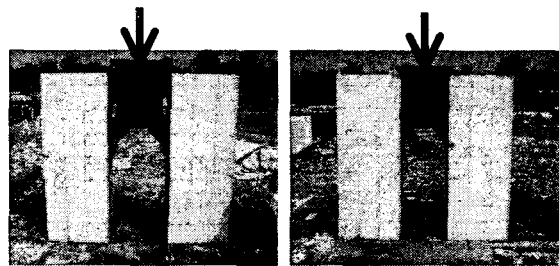


그림 2. Type A, B 정착부 전단 실험체

표 1. 정착부 반복하중 실험변수

시편명	정착부 형식	하중재하(회)	하중범위(CFRP 파단하중×2 대비)
AN-S-ST	Type A	정적	-
AN-S-500000		500,000	60~66%(207.8~229.3 kN)
AN-S-50		50	40~80%(139.2~278.3 kN)
AN-N-ST	Type B	정적	-
AN-N-500000		500,000	60~66%(207.8~229.3 kN)
AN-N-50		50	40~80%(139.2~278.3 kN)

3. 실험결과 및 분석

3.1 단조 증가 하중 재하에 따른 거동 특성

AN-S-ST 실험체는 표면에 정착된 정착구와 콘크리트 표면의 마찰력에 의해 하중이 지지되면서 약 50kN 까지 하중이 증가하였으며, 마찰력보다 하중이 커지면서 정착구의 앵커 구멍과 앵커와의 간격만큼 변위가 순간적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 구멍과 앵커와의 간격이 없어지면서 가력된 하중은 직접 앵커를 통해 콘크리트 정착부로 전달되었으며, CFRP 인장강도 대비 116%인 431.04kN에

서 최종적으로 정착부 파괴가 발생하였다. AN-N-ST는 정착구 두께만큼 콘크리트 덮개에 홈을 만들어 에폭시로 부착하고 앵커로 고정된 실험체로서 AN-S-ST와 다르게 초기 재하시에도 정착구에 채하된 하중이 에폭시의 부착력에 의해 바로 앵커를 통해 콘크리트에 전달되었으며, 최대 698.39kN에서 파괴가 발생하였다. AN-N-ST 실험체의 최대하중은 CFRP 인장강도 대비 187%로 표면에 정착하는 방식보다 지지능력이 60% 증가한 것으로 나타났다(그림 3). 파괴형상은 정착구가 콘크리트 표면에 정착된 경우는 앵커에 의한 콘크리트 파괴가 주를 이루었고, 콘크리트 표면에 매립된 경우는 앵커 앞쪽의 콘크리트가 지압에 의해 뜯겨져 나오는 파괴가 발생하였다(그림 5).

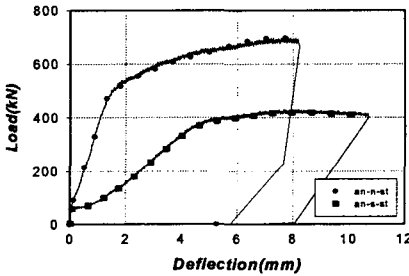


그림 3. 정적 하중-변위 곡선

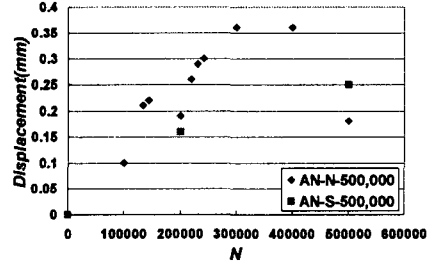


그림 4. 동적실험 결과(처짐 대 회수)

3.2 반복하중 재하에 따른 거동 특성

500,000회 재하실험체인 AN-S-500000 실험체는 반복하중 재하완료 후 그림 4에서와 같이 처짐량이 0.25mm가 발생하였으며, AN-N-500000 실험체는 0.4mm의 영구 변위가 측정되었다. 두 실험체 모두 500,000회 재하 후에도 정착부에는 균열이나 변형 등 손상은 발견되지 않았다.

CFRP판 파단하중의 40~80%의 하중범위로 50회 반복재하를 실시한 AN-S-50 및 AN-N-50도 500,000회 실험체와 마찬가지로 반복하중 재하후 영구 변위는 거의 측정되지 않았으며, 외관상 균열과 같은 손상도 전혀 발생하지 않았다. 이상의 실험결과에서 정착부는 도로교설계기준에서 제시하는 동적 성능을 만족하는 것으로 판단된다.

3.3 반복하중 재하 전후의 성능 비교

반복하중 재하가 완료된 실험체에 대해 정적하중을 재하하여 최대하중 및 파괴 모드의 변화를 고찰하였다. AN-S-500000 실험체는 최초 설치 후 정적 재하실험에서와는 달리 앵커구멍과 앵커와의 간격 차이에 의한 슬립이 이미 반복하중 재하시에 발생한 상태이므로 추가 슬립이 발생하지 않고 채하된 하중이 앵커를 통해 직접 콘크리트로 전달되었다. 정적 재하에 의한 최대하중은 396.86kN으로 측정되어 AN-S-ST 실험체보다 8%가 감소된 것으로 나타났다. 그러나 반복하중 재하 후에도 최대하중은 CFRP 인장강도의 107%로 여전히 정적 성능은 만족하는 것으로 나타났다. AN-N-500000 실험체의 최대하중은 670.65kN으로 측정되어 반복하중 재하 후 정적 성능이 4% 감소하는 것으로 나타났다. 50회 반복하중 재하 실험체인 AN-S-50 및 AN-N-50에서도 정적 재하시에 슬립은 발생하지 않는 것으로 측정되었으며, 반복하중 재하 후에 AN-S-50은 최대하중이 10% 증가하였고 AN-N-50은 19% 감소하는 것으로 나타났다. AN-S-50 및 AN-N-50은 모두 반복하중 재하 후에도 CFRP의 인장강도 이상의 지지능력을 나타내었다(표 2).

표 2. 콘크리트 정착부 반복하중 재하후 파괴하중

시편명	정착부 형식	하중재하(회)	최대하중(kN)	CFRP 인장강도 대비
AN-S-500000	Type A	50만회	396.86	107%
AN-S-50		50회	478.12	128%
AN-N-500000	Type B	50만회	670.65	180%
AN-N-50		50회	568.71	153%

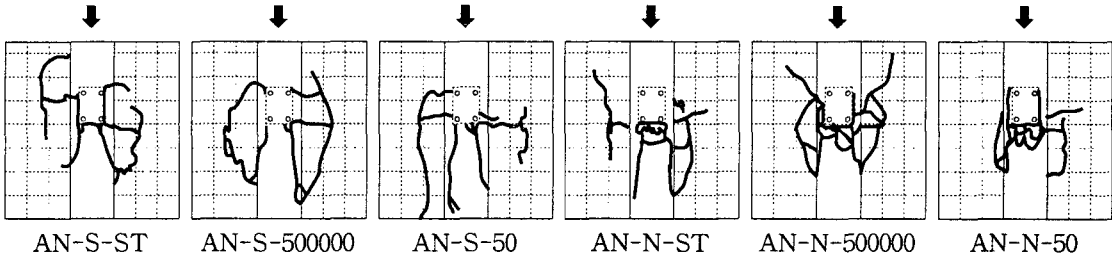


그림 5. 정착부의 최종 파괴 형상

4. 결론

외부인장 CFRP 판용 정착부에 대한 반복하중 재하 실험을 실시하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 정착부의 정적 성능 실험결과, 콘크리트 표면에 정착된 경우와 콘크리트 표면에 매립된 경우 둘다 CFRP 인장강도보다 16%, 87% 크게 나타나 외부인장 CFRP판용 정착부의 성능을 최대한 발현하였다.
- (2) CFRP 인장강도의 60~66%에서 500,000회, 40~80%에서 50회의 반복하중 재하한 실험체 모두 정착부에는 균열이나 변형 등 손상은 발견되지 않았다.
- (3) 50만회 반복하중 재하 후 Type A와 B는 정적실험체보다 각각 8%, 4% 감소하였고, 50회 반복하중의 경우는 각각 10% 증가, 19% 감소한 것으로 나타났다.
- (4) 반복하중 재하 전후에 정적성능의 변화가 나타났지만 최대하중은 CFRP 인장강도를 초과하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 홍상균 외 2명, 보강재를 사용한 철근 콘크리트 보의 내력보강에 관한 실험적 연구, 1996년도 가을 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.495-500, 1996
2. 박칠림 외 3명, 탄소섬유슈트르 보강된 철근콘크리트보의 부착파괴거동에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회지 제 9 권 6호, 1997
3. 건설교통부, 콘크리트 교량의 보수보강재료품질기준 및 공법평가기준개발 2차년도, 2001
4. 구은숙 외 2명, CFS의 휨보강성능에 관한 실험적 연구", 1998년 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 1998
5. 신성우 외 3명, 탄소섬유슈트의 정착보강방법이 RC보의 휨거동에 미치는 영향, 한국구조물진단학회 제2권 제2호, 1998
6. 유영준 등, 외부인장 보강을 위한 CFRP 판의 정착부 거동 실험, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제17권, 1호(통권 제32집), 2005
7. 한국건설기술연구원, 노후 교량의 성능향상 기술 개발, 2005
8. 건설교통부, 도로교설계기준, 2005