

반복하중을 받는 FRP 보강근의 부착성능에 대한 연구

Research on the Bond Behavior of FRP Rebars subjected to Cyclic Loading

장문석* 이정윤** 박지선*** 박영환****
Chang, Mun Suk Lee, Jung Yoon Park, Ji Sun Park, Young Hwan

ABSTRACT

The use of Fiber Reinforced Polymer (FRP) bars has been gaining popularity in the civil engineering community, as an alternative material to steel reinforcement, for their noncorrosive nature and high strength-to-weight ratio. Good performance of reinforced concrete requires adequate interfacial bond between the reinforcing material and the concrete because the load applied must be transferred from the matrix to the reinforcement. Although studies on the FRP bond behavior under monotonic loading has been reported by many, there are very little work done under cyclic loading. In this paper, we present the experimental study on the bond behavior of three different types of FRP rebars subjected to four different cyclic loading conditions.

1. 서론

현재 콘크리트의 보강재로 널리 쓰이는 철근은 콘크리트와 열팽창계수가 같기 때문에 콘크리트와의 일체성이 뛰어나다. 그러나 교량이나 바닷가에 건설되는 건축물의 경우 염해 등으로 인하여 철근이 부식하기 때문에 구조물의 성능이 저하되고 보수, 보강 비용이 소모된다는 단점을 가지고 있다. FRP 보강근은 대체적으로 자중에 비해 강도가 크고 내부식성의 특징을 가지고 있기 때문에 철근의 대체재로서의 사용이 확대될 것으로 판단된다. 이 같은 재료적인 장점을 활용하여 콘크리트 구조물의 보강재로 사용하기 위해서는 콘크리트와 FRP 보강근의 부착성능에 대한 연구가 필요하다.

현재까지의 FRP 보강근의 부착에 대한 연구내용은 대부분 단조하중 하에서의 부착거동에 관한 것이다. 그러나 중력하중을 받는 구조물이 횡하중을 받게 되면 응력의 반전이 발생하기 때문에 구조물 내부에 삽입된 보강재는 반복하중을 받게 된다. FRP 보강근이 콘크리트 구조물의 보강재로 쓰이기 위해서는 반복하중에 대한 콘크리트와 보강근의 부착성능 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 우선적으로 현재 상용화되고 있는 GFRP(Glass fiber reinforced polymer, 이하 GFRP) 보강근을 대상으로 하여 반복하중이 GFRP 보강근의 부착강도에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험적 연구를 수행하였다.

* 정회원, 성균관대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 대학원 부교수

*** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

**** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사

2. 실험방법

2.1 실험체 상세

반복하중의 종류에 따른 FRP 보강근의 부착거동을 알아보기 위해 실험에 사용된 콘크리트의 압축강도는 35MPa이며, 보강근은 이형철근, 모래분사형 GFRP, 나선형 GFRP의 3가지 유형이다. 실험체는 선행 연구자(Alavi-Fard et al, 2002)²⁾의 실험체를 참고하여 그림 1과 같은 콘크리트 입방체에 1개의 보강근을 중심축에 매입하여 콘크리트를 수평 타설, 양생하였다. FRP 보강근의 부착길이는 반복하중 가력시 콘크리트에 가해지는 압축력이 부착강도에 영향을 끼칠 것을 고려하여 FRP 보강근 직경의 5배로 하였다. 가력은 변위제어 방식으로 0.02mm/sec의 속도로 진행되었으며, LVDT로 각 하중단계에 대응하는 변위(미끌림)를 측정하였다. 그림 2와 3은 GFRP 보강근의 형상이다.

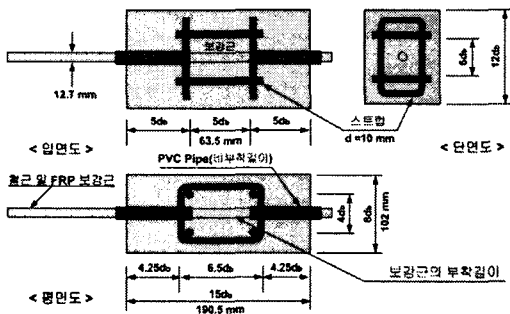


그림 1 실험체의 형상 및 치수

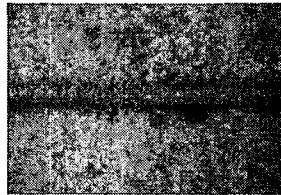


그림 2 모래분사형
GFRP 보강근

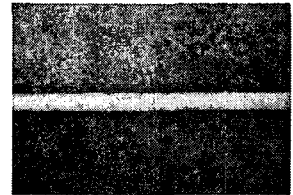
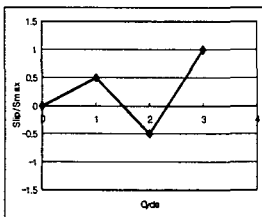


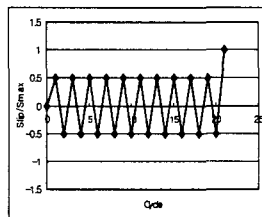
그림 3 나선형
GFRP 보강근

2.2 하중변수

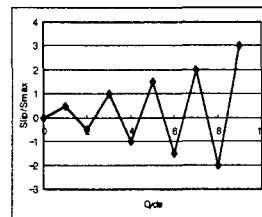
본 연구에서 사용되는 하중 변수는 총 5종류이다. 반복하중에 대한 결과와 비교하기 위하여 단조하중(인장하중)에 대하여 실험한 후, 그림 4와 같은 4가지 형태의 반복하중에 대하여 실험하였다. 반복하중의 종류를 구분하기 위해서 먼저 단조하중에 대한 부착강도 실험을 수행하여 각 보강근에 대한 최대 부착응력 및 최대 미끌림을 구하였다. 이렇게 구해진 최대 미끌림에 대한 비율에 따라 반복하중의 종류를 구분하였다. 반복하중 1은 최대 미끌림의 1/2 구간에서 1회 반복 후 파괴하는 형태이고, 반복하중 2는 최대 미끌림의 1/2 구간에서 10회 반복 후 파괴하는 형태이다. 반복하중 3은 미끌림이 점차 증가하는 형태의 구간에서 반복하중을 가하여 파괴까지 이르는 형태이고 반복하중 4는 최대 미끌림의 1/2 구간에서 5회 반복 후 파괴하는 형태이다.



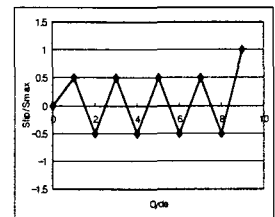
(a) 반복하중 1



(b) 반복하중 2



(c) 반복하중 3



(d) 반복하중 4

그림 4 반복하중의 종류

3. 실험결과

3.1 실험체의 파괴 양상

실험체의 파괴양상은 보강근의 종류와 무관하게 보강근의 뺄힘에 의하여 최대 내력에 도달하였다. 선행 연구결과와 다르게 이번 실험에서는 콘크리트에 매립된 대부분의 보강근이 최대 하중에 도달한 이후에도 서서히 내력이 감소하는 파괴 양상을 나타내었다. 이는 실험체가 내부에 삽입된 스테럽으로 인하여 구속효과를 가진 것으로 판단된다.

3.2 부착응력-미끄러짐 관계

최대 부착응력에 도달하기까지 세 가지 보강근의 부착응력-미끄러짐 관계는 매우 유사하였고 최대 부착응력 이후의 거동도 각각의 단조하중의 미끄러짐 관계(envelope)를 따라 가는 것으로 평가되었다. 또한 반복하중의 종류에 따른 부착응력-미끄러짐 관계를 살펴보면 최대슬립 이후에 가해지는 반복하중의 경우 부착응력의 저감이 큰 것으로 판단된다. 그림 5에서 그림 7은 실험에 의하여 측정된 보강근의 부착응력-미끄러짐 관계를 나타낸 것이다.

이형철근의 부착응력은 최대 부착응력에 도달할 때 까지는 일정한 기울기로 증가하였고, 이후 상승기울기의 약 20%로 감소하였다. 잔류부착응력이 이전 연구¹⁾보다 높게 측정된 이유는 콘크리트 구속으로 인하여 마찰응력이 증가되었을 가능성이 높기 때문이다..

모래분사형 GFRP 보강근이 최대 부착응력에 도달했을 때의 미끄러짐은 이형철근보다 낮은 값을 나타내었고, 최대 부착강도도 낮게 측정되었다. 최대 부착응력에 도달한 이후 모래분사형 GFRP 보강근의 부착응력은 미끄러짐이 증가하면서 부착응력이 거의 감소하지 않는 연성적 거동을 보이며 잔류 마찰응력이 높게 나타나는 경향을 보인다. 이는 실험체 내부의 스테럽으로 인한 콘크리트의 구속효과 때문인 것으로 판단된다.

나선형 GFRP 보강근의 부착응력-미끄러짐 관계는 이형철근의 부착응력-미끄러짐 관계와 상이한 양상을 나타내었다. 이형철근의 경우 최대 부착응력에 도달한 이후 부착강도가 상당히 감소하였지만, 나선형 GFRP 보강근은 최대 부착응력에 도달한 이후 부착응력은 완만한 기울기로 감소하였다. 최대 부착응력에 도달했을 때의 나선형 GFRP 보강근의 미끄러짐도 이형철근이나 모래분사형 GFRP 보강근의 최대 미끄러짐보다 상대적으로 높은 값으로 측정되었다. 나선형 GFRP 보강근의 최대 부착강도는 이형철근의 부착강도보다 낮으며 모래분사형 GFRP 보강근의 부착강도와 유사한 것으로 판단된다.

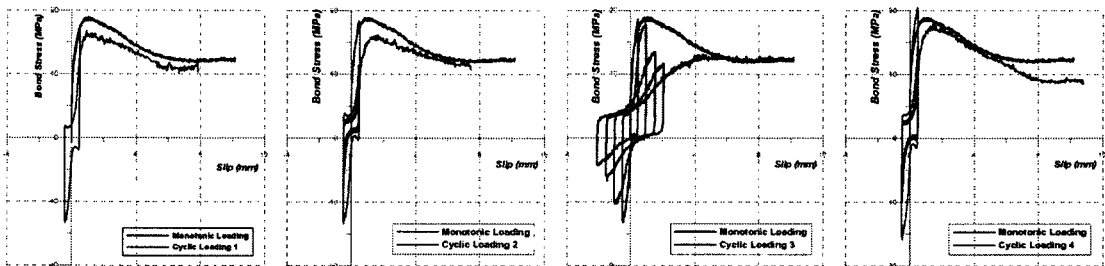


그림 5 반복하중의 종류에 따른 이형철근의 부착응력-미끄러짐 관계

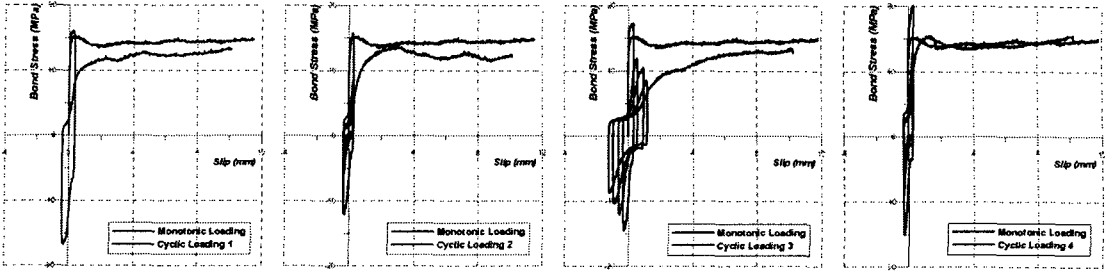


그림 6 반복하중의 종류에 따른 모래분사형 GFRP 보강근의 부착응력-미끄러짐 관계

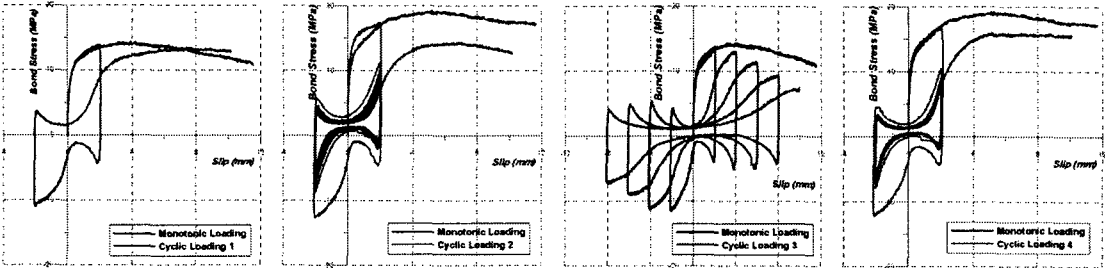


그림 7 반복하중의 종류에 따른 나선형 GFRP 보강근의 부착응력-미끄러짐 관계

4. 결론

반복하중의 종류를 달리한 보강근의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 실험에 사용된 세 가지 보강근의 부착응력과 미끄러짐 관계를 살펴보면, 모두 최대 부착응력 도달 후 지속적으로 부착응력을 지지함으로써 연성적인 거동을 보이는 것으로 조사되었다.
- (2) 보강근이 삽입된 콘크리트에 반복하중을 가했을 경우, 단조하중에서의 최대 부착응력보다 상대적으로 낮은 값을 보였다.
- (3) 이형철근과 GFRP 보강근의 부착응력-미끄러짐 관계에서 최대 부착응력에 해당하는 최대 미끄러짐을 S_{max} 라 정의했을 때, S_{max} 의 1/2구간에서 반복하중을 가했을 때보다, S_{max} 이후의 구간에서 반복하중을 가했을 때 부착응력의 저감이 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국건설기술연구원에서 위탁 시행한 FRP 복합재료의 콘크리트에 대한 부착정착성능 시험연구(2005-0783)에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Eligehausen, R., Popov, E.P., Bertero, V.V., "Load Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bars Under Generalized Excitations", Report No.UCB/EERC82-83, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, Oct. 1983.
2. M. Alavi-Fard, H. Marzouk, "Bond Behavior of high strength concrete under reversed pull-out cyclic loading", Can. J. Civ. Eng. vol.29, pp.191-200