

수치 모델을 사용한 콘크리트-FRP 부착면의 거동 특성

Charateristics of Adhesive Joint between Concrete and FRP Using Numerical Method

조 정 래* 조 근 희** 박 영 환*** 김 병 석***
Cho, Jeong-Rae Cho, Keun-Hee Park, Young-Hwan Kim, Byung-Suk

ABSTRACT

Substantial experimental and theoretical work exists on the bond characteristics of FRP-concrete adhesive joints. Experimental studies show that the bond strength cannot always increase with an increase in the bond length, and that the ultimate strength is strongly influenced by the concrete strength. To solve this feature, analytic solutions based on fracture mechanics are widely used, and the local shear stress-slip curve with a softening branch is known as more rational model. The analytic solution, however, cannot describe various shapes of model curve. In this study, numerical method using interface element is introduced to express various shapes of model curve. Characteristics of adhesive joint is investigated for the shapes of the model curve and their parameters. And the numerical solutions are compared with the test results of CFRP sheet adhesive joints.

1. 서론

콘크리트와 FRP 보강재의 부착 거동 특성을 파악하기 위해 FRP-콘크리트 부착이음에 대한 많은 실험 연구 및 이론 연구가 수행되어 왔다. 실험연구에서 밝혀진 사실은 (1) 부착길이가 일정한 길이를 넘을 경우 더 이상 부착강도가 증가하지 않는다, 즉 유효부착길이가 존재한다는 점과, (2) 부착강도는 콘크리트 강도에 큰 영향을 받는다는 점이다. 이 사실에 대한 이론적 규명은 파괴역학(Yuan 등, 1999; Wu 등, 2002)에 기반한 해석해를 이용하는 방법이 널리 사용되었으며, 유연화 구간을 갖는 국부적인 전단응력-슬립 관계가 합리적인 재료모델로 알려져 있다. 하지만, 파괴역학을 이용한 해석해는 다양한 재료 곡선에 대한 해가 존재하지 않는다. 이 연구에서는 임의의 곡선으로 정의된 부착모델을 적용하기 위해 계면요소(Interface Element)를 도입하여(조근희 등, 2003), 곡선 형상에 따른 부착 거동 특성을 파악하였다. 또한, CFRP 슈트를 부착한 부착이음의 실험결과와 비교하여 재료모델의 곡선 형상 및 매개변수를 비교 분석하였다.

* 정희원, 한국건설기술연구원 연구원
** 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원
*** 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원

2. 부착모델에 따른 부착이음의 특성

부착이음은 순수 전단 상태를 만족하기 때문에 부착층은 비선형 전단응력-슬립 관계로 모델링할 수 있다. 그림 1은 여러 부착 모델 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 모델 I과 II는 해석해(Wu 등 2002)가 존재하지만, 일반적인 형상에 대한 재료 모델에 대한 해는 존재하지 않는다. 따라서 그림 2와 같이 계면요소(조근희 등, 2003)를 이용한 유한요소 해석을 수행하였다. 이 연구에서는 모델 II, III, IV를 적용하여 재료 모델에 따른 부착이음의 특성을 파악하였다. Pull-push 이음을 해석 대상으로 설정하였으며, 콘크리트와 FRP 보강재를 선형 트러스요소로, 부착층을 계면요소로 모델링하였다. 재료 모델에서 파괴에너지 G_f 는 부착층의 고유물성치이고, 최대전단응력 τ_u 는 콘크리트의 인장강도와 큰 연관을 가지는 물성치이므로, 이 두 값을 고정시킨 상태에서 다른 매개변수를 변화시켜 모델 II, III, IV에 기반하여 해석 대상 곡선 4개(Case 1 ~ Case 4)를 설정하였다(그림 2).

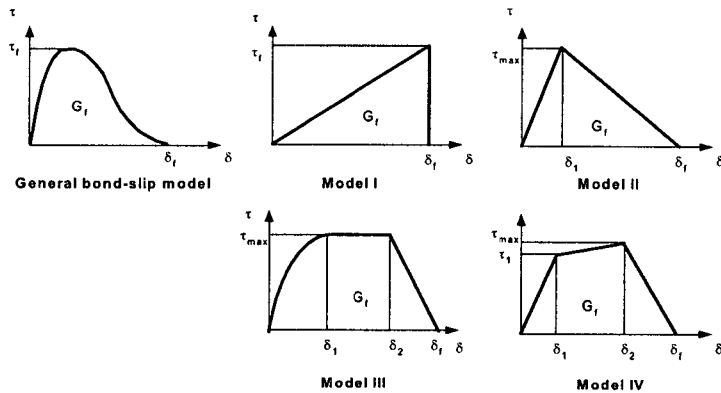
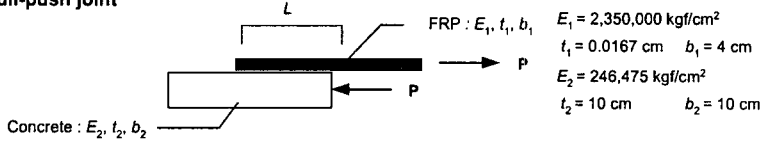
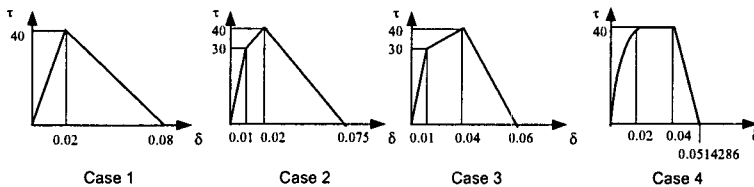


그림 1. 부착 모델

Pull-push joint



Bond-Slip Model $G_f=1.6\text{kgf/cm}$ $\tau_{max}=40.\text{kgf/cm}^2$ (Unit : kgf, cm)



FE Model

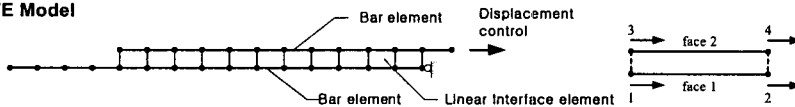


그림 2. 해석 모델

그림 3은 부착길이에 대한 최대부착력을 나타낸 것이다. 그림에서 재료 모델의 초기 기울기가 클수록 최대부착력이 크고, 동일한 극한최대부착력으로 수렴함을 나타내고 있다. 그림 4, 그림 5는 각각 부착길이 $L=35\text{cm}$ 인 경우 하중-변위 곡선과 응력분포를 나타낸 것이다.

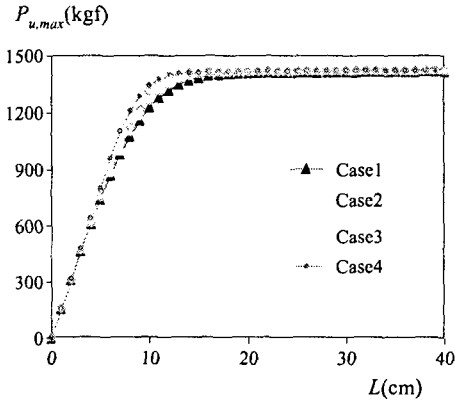


그림 3. 부착길이에 대한 최대 부착력

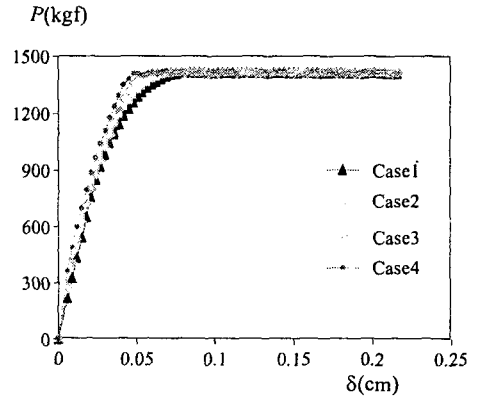


그림 4. 하중-변위 곡선($L=35\text{cm}$)

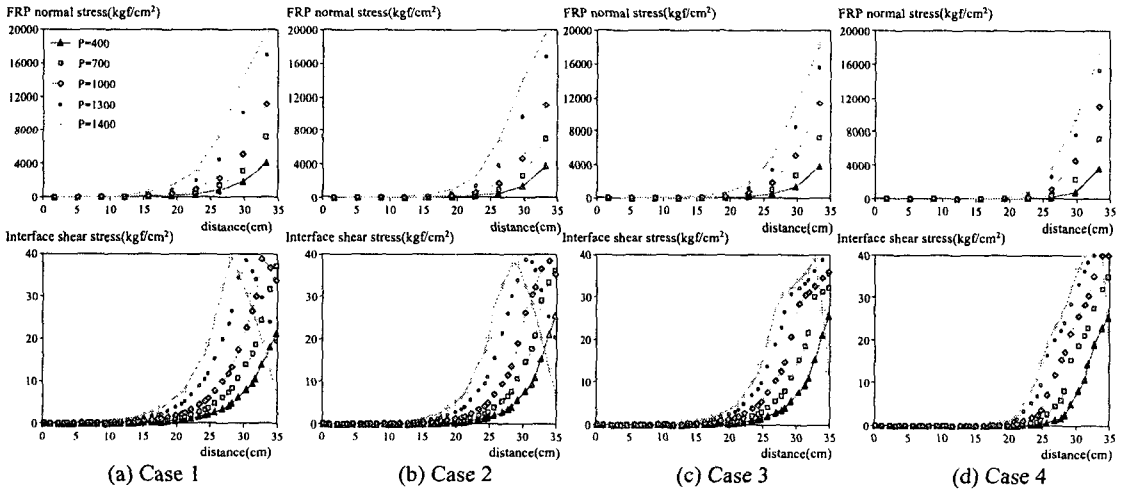


그림 5. 부착층의 응력 분포($L=35\text{cm}$)

3. 실험 결과와의 비교

한국건설기술연구원에서 수행된 부착이음의 실험결과(조정래 등, 2003)와 비교하여 재료 모델의 곡선 형상 및 매개변수를 비교 분석하였다. 그림 6은 CA270GPS, CA270-L25 시험체의 “하중-변위” 성분을 비교하여 나타내었다. 조정래 등(2003)이 제안한 방법으로 실험 데이터를 보정하였고, 또한 그림의 bilinear 모델은 당시 연구에서 제안된 최적화된 모델이다. 그림에서 단순히 bilinear 모델을 사용하는 것보다는 trilinear model을 사용하는 것이 초기 기울기를 예측하는 데 효율적임을 알 수 있다.

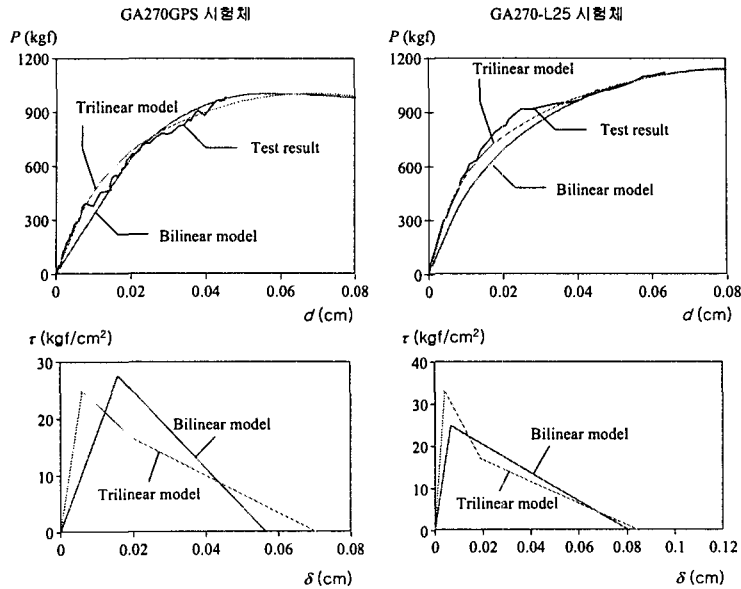


그림 5. 하중-변위의 회귀분석

4. 결론

이 연구에서는 수치 모델을 이용해 FRP-콘크리트 부착이음의 해석을 수행하였다. 수치해는 해석해 보다 다양한 재료 모델을 적용할 수 있다. 따라서, 향후 이를 이용하여 시험 결과와 비교하여 재료 모델을 찾아내는 데 보다 합리적으로 이용될 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 노후교량의 성능향상 과제 지원금에 의해 수행된 것입니다.

참고 문헌

1. 조근희, 조정래, 김병석, 이영호, 진원중, 김성태 (2003) FRP-콘크리트 이음의 부착모델 연구 I: 이론적 연구, 2003년 한국 콘크리트 학회 춘계학술발표회 논문집.
2. 조정래, 조근희, 박영환, 박종섭, 유영준, 정우태 (2003) FRP-콘크리트 이음의 부착모델 연구 II: 부착이음 특성, 2003년 한국 콘크리트 학회 춘계학술발표회 논문집.
3. Wu, Z., Yuan, H. and Niu, H. (2002) Stress Transfer and Fracture Propagation in Different Kinds of Adhesive Joints, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 128, No. 5, pp. 562-573.
4. Yuan, H. and Wu, Z. (1999) Interfacial Fracture Theory in Structures Strengthened with Composite of Continuous Fiber, Proceeding of Symposium of China and Japan: Science and Technology of 21st Century, Tokyo, September, pp. 142-155.