

조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각에 관한 해석적 연구

Analytical Study on Precast Segmental Prestressed Concrete Bridge Piers

김태훈* 진병무** 김영진*** 신현목****
Kim, Tae Hoon Jin, Byeong Moo Kim, Young Jin Shin, Hyun Mock

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the inelastic behavior of precast segmental prestressed concrete bridge piers. A computer program, named RCAHEST (Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology), for the analysis of reinforced concrete structures was used. Material nonlinearity is taken into account by comprising tensile, compressive and shear models of cracked concrete and a model of reinforcing steel. An unbonded tendon element based on the finite element method, that can represent the interaction between tendon and concrete of prestressed concrete member, is used. A joint element is newly developed to predict the inelastic behaviors of segmental joints. The proposed numerical method for the inelastic behavior of precast segmental prestressed concrete bridge piers is verified by comparison with reliable experimental results.

1. 서론

최근 들어 교각의 내진성능을 보다 합리적으로 만족시키는 구조형식으로 프리스트레스트 콘크리트 교각에 대한 연구가 이루어지고 있으며 실제 시공조건에 따라 프리캐스트 공법에 의한 프리스트레스트 콘크리트 교각에 관한 연구도 이루어지고 있다^{1,2)}.

공장 등에서 제작되어진 프리캐스트 세그먼트를 쌓아올려 PC강재로 긴장 연결함으로써 교각을 구축하는 조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각은 종래의 철근콘크리트 교각에 비해 공기단축 및 품질 향상 등에서 유리한 공법이다.

이 연구는 이러한 조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각의 비선형 이력거동을 해석적으로 예측할 수 있는 기법을 제시하는데 그 목적이 있다.

프리스트레스트 콘크리트의 역학적 거동에서 프리스트레스에 의하여 콘크리트가 초기에 압축력을 받는 이외의 거동은 철근콘크리트와 유사하다고 볼 수 있다. 따라서 이 연구에서는 저자 등에 의하여 개발된 철근콘크리트의 비선형 재료모델^{3,4)}을 그대로 사용하고 여기에 프리스트레싱을 고려할 수 있는

* 정회원, 대우건설 기술연구원 선임연구원, 공학박사

** 정회원, 대우건설 기술연구원 선임연구원, 공학박사

*** 정회원, 대우건설 기술연구원 수석연구원, 공학박사

**** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사

텐던요소와 세그먼트 접합부의 거동특성을 모사할 수 있는 접합요소를 조합함으로써 조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각의 역학적 거동을 예측하고자 한다.

2. 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST

이 연구에서는 저자 등에 의하여 그 동안 개발된 철근콘크리트 평면응력요소, 그리고 경계면요소 등^{3,4)}을 미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP⁵⁾에 이식하여 모듈화된 비선형 유한요소해석 프로그램인 RCAHEST(Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)에 비부착 긴장재의 영향을 고려할 수 있도록 수정을 가하고 개발된 비부착 텐던요소를 이식하였다. 그리고 세그먼트 접합부의 부착파괴를 모사할 수 있도록 개발한 접합요소를 이식하여 함께 사용하였다.

3. 수치예제 및 고찰

이 연구에서 제안한 해석기법과 모델의 타당성을 검증하기 위해서 그림 1에 나타난 것과 같은 프리스트레스트 콘크리트 교각의 실험체⁶⁾를 선정하였다. 그리고 이 연구의 대상인 조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각에의 적용성을 확인하기 위해서 선정된 실험체에 조립식 공법을 모사하기 위한 세그먼트 접합부를 400 mm 마다 임의로 설치하였다.

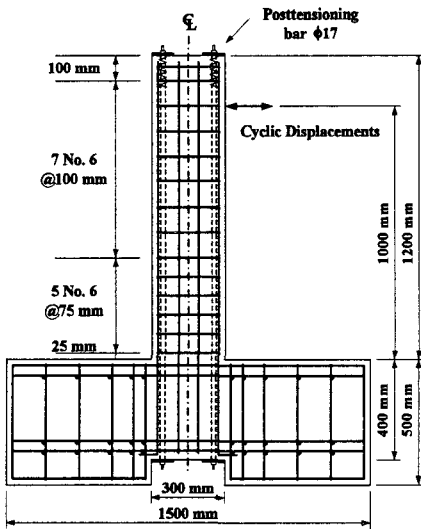


그림 1 실험체 (unit: mm)

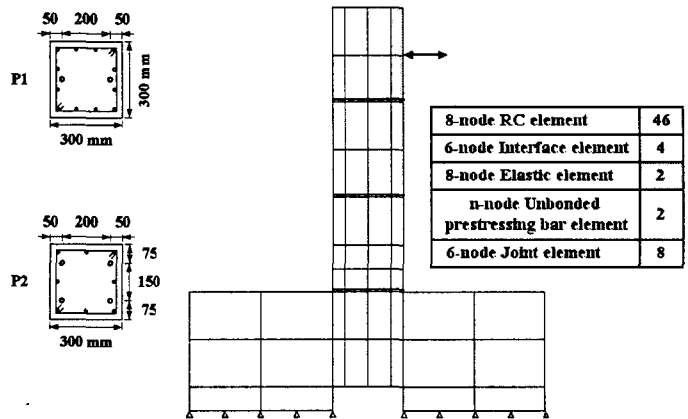


그림 2 유한요소모델

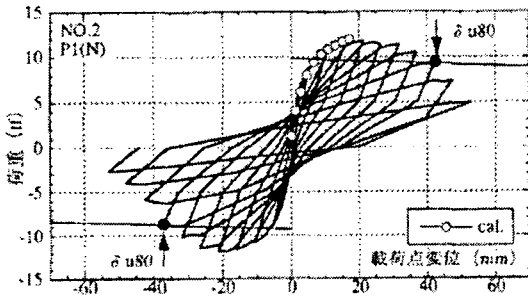
실험체의 재료물성은 표 1과 같으며 그림 2는 비선형 유한요소해석을 수행하기 위하여 요소 분할된 예이다. 이때 세그먼트 접합부의 거동특성을 지배하는 내부마찰각과 점착력은 기존의 연구결과⁷⁾를 근거로 하여 각각 45°와 60 kgf/cm² (5.88 MPa)로 가정하였다.

표 1 실험체의 제원

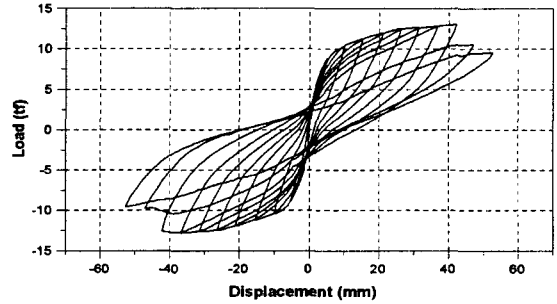
Specimen	Axial force (kgf/cm ²)	f_c (kgf/cm ²)	Mild steel	Mild steel f_y (kgf/cm ²)	Prestress steel ($f_y = 12,500$ kgf/cm ²)	Prestress (kgf/cm ²)	Shear reinf. ($f_y = 3,540$ kgf/cm ²)
P1(N)	10	356	12-D10	4,090	2- Φ 17mm	35	Base: D6@75mm; elsewhere: D6@100 mm
P1(H)	40		12-D10	4,090	2- Φ 17mm	35	

(Note: 1 kgf/cm² = 9.80665×10⁻² MPa)

그림 3와 4는 이 연구의 해석모델을 적용한 유한요소해석 결과와 실험에 의한 하중-변위 관계를 나타내고 있으며 해석결과가 실험결과와 전반적으로 잘 일치함을 알 수 있다. 실험결과와의 비교를 통해 타당성이 검증된 해석결과에 세그먼트 접합부를 도입한 해석결과를 함께 비교하여 그림 5와 6에 나타내었다. 두 해석결과와의 비교로부터 교각의 내력은 일치하며 세그먼트 접합부를 도입한 해석의 변위연성도가 약간 떨어지는 것이 보이나 전반적인 내진성능에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

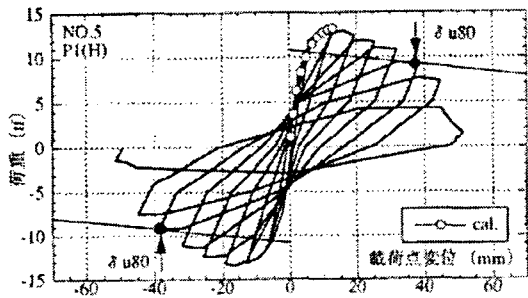


(a) Experiment

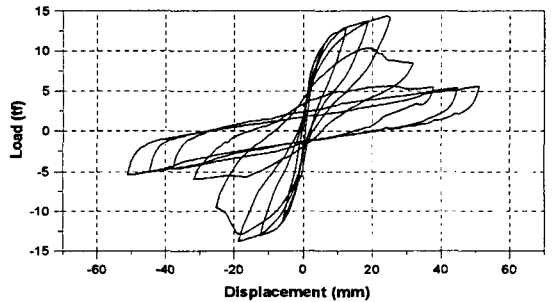


(b) Analysis

그림 3 하중-변위 관계 P1(N) (1 tf = 9.80665 kN)



(a) Experiment



(b) Analysis

그림 4 하중-변위 관계 P1(H) (1 tf = 9.80665 kN)

조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각의 내진성능에 대한 연구를 수행한 결과 성능특성을 발휘할 수 있는 적절한 세그먼트 접합부를 도입한다면 철근콘크리트 교각이나 프리스트레스트 콘크리트 교각과 비교하여 전반적으로 유사한 내진성능을 나타낼 것으로 기대되며 이로부터 현장타설 콘크리트 교각에 비하여 시공성이 우수한 조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각의 실용화가 가능할 것으로 판단된다.

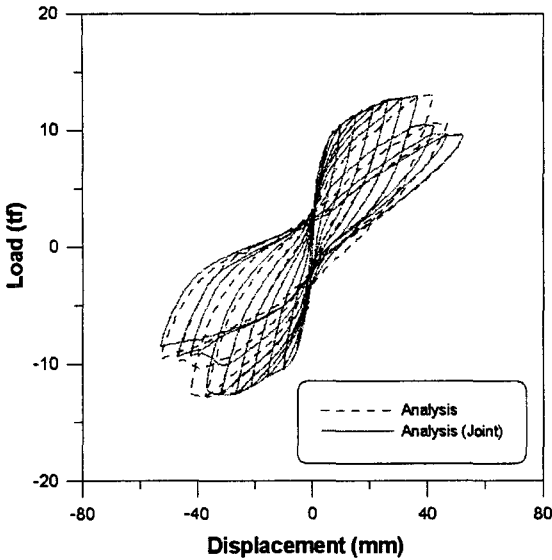


그림 5 하중-변위 관계 P1(N) (1 tf = 9.80665 kN)

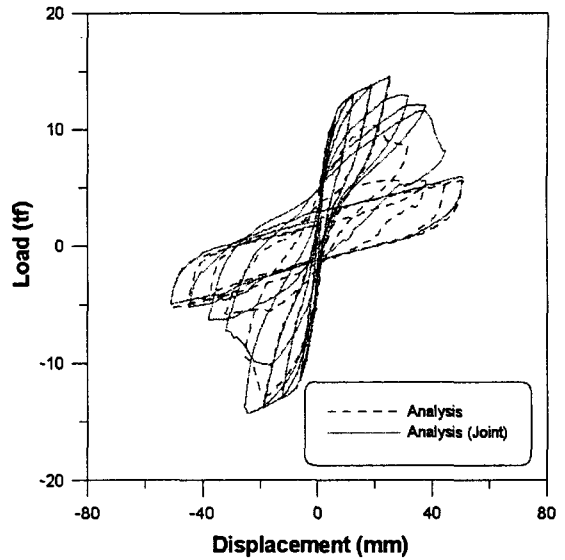


그림 6 하중-변위 관계 P1(H) (1 tf = 9.80665 kN)

4. 결론

일련의 해석결과와 실험결과의 비교로부터 이 연구에서 제안하고 있는 방법은 조립식 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 교각의 비탄성 거동을 적절히 평가하고 있으며, 해석적 방법에 의한 조립식 프리스트레스트 콘크리트 교각의 내진성능평가가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Billington, S. L., Barnes, R. W., and Breen, J. E., "Alternative Substructure Systems for Standard Highway Bridges," *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 2001, Vol. 6, No. 2, pp. 87-94.
2. Mori, T., Park, D.-K., Ikeda, S., and Yoshioka, T., "Seismic Performance of Prestressed Piers," The First fib Congress, 2002, CD.
3. 김태훈, "비선형 유한요소해석을 이용한 철근콘크리트 교각의 내진성능평가," 박사학위 논문, 성균관대학교, 2003.
4. Kim, T. H., Lee, K. M., Chung, Y. S., and Shin, H. M., "Seismic Damage Assessment of Reinforced Concrete Bridge Columns," *Engineering Structures*, 2005, Vol. 27, No. 4, pp. 576-592.
5. Taylor, R. L., *FEAP - A Finite Element Analysis Program, Version 7.2, Users Manual, Volume 1 and Volume 2*, 2000.
6. Ito, T., Yamaguchi, T., and Ikeda, S., "Seismic Performance of Concrete Piers Prestressed in Vertical Direction," *Proc. Japan Concrete Institute*, 1997, Vol. 19, No. 2, pp. 1197-1202. (in Japanese)
7. 박윤제, 신동혁, 이광명, 신현목, "강관으로 보강된 RC보의 에폭시-콘크리트 계면의 부착특성," 한국콘크리트학회 논문집, 2001, 제13권, 제3호, pp. 221-227.