

프리캐스트 콘크리트 세그먼트의 구속효과를 고려한 비선형 해석

Nonlinear Analysis considered Confinement Effect of Precast Concrete Segment

이헌민* 김태훈** 박재근*** 김영진**** 신현목*****

Lee, Heon Min Kim, Tae Hoon Park, Jae Keun Kim, Young Jin Shin, Hyun Mock

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose the confinement effectiveness of precast segmental concrete that binding by lateral confining steel in the method of precast segmental concrete pidge piers construction. Generally, the confinement effect of concrete that binding by lateral confining steel is defined by the confinement effectiveness coefficient and the confinement effectiveness coefficient is defined as the ratio of area of effectively confined concrete core to area of confined concrete core. The area of effectively confined concrete core is defined by Arching action occurred on a space of lateral confinement steel and The area of confined concrete core is defined by the ratio of area of longitudinal reinforcement to area of core of section. But in case of precast segmental concrete, concrete cover that exist on top and bottom of concrete segment should be considered.

요약

이 연구에서는 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 조립식 프리캐스트 세그먼트 콘크리트 교각공법에서 사용되어지는 기성 콘크리트 세그먼트의 횡 방향 구속철근에 의한 구속효과에 대한 연구를 수행하였다. 일반적으로 횡방향 구속철근에 의한 콘크리트의 구속효과는 구속효과계수에 의하여 결정되며 구속효과계수는 유효 구속 콘크리트 단면적과 구속 콘크리트 단면적의 비로서 결정된다. 유효 구속 콘크리트 단면적은 횡 방향 구속철근간의 간격에서 발생하는 Arching action에 의하여 결정되어지며 구속 콘크리트 단면적은 교각의 주철근비에 의하여 결정되어진다. 그러나 프리캐스트 콘크리트 세그먼트의 경우 세그먼트 상, 하부에 존재하는 피복을 고려하여야 한다. 즉 최상단 및 최하단에 배근되는 횡 방향 구속철근에서 상, 하부 콘크리트 표면의 피복까지의 구속효과를 고려하여야 한다. 이 연구에서는 이에 대한 고려 방법을 제안하였다. 제안한 프리캐스트 구속효과를 고려한 콘크리트 재료 모델을 RCAHEST에 적용하여 그 타당성을 검증하였다.

* 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정

** 정회원 · 대우건설 기술연구원 선임연구원, 공학박사

*** 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 BK post-doc., 공학박사

**** 정회원 · 대우건설 기술연구원 선임연구원, 공학박사

***** 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수, 공학박사

1. 서론

이 연구에서는 기 제작된 콘크리트 세그먼트들이 PS 강선에 의하여 성립되는 조립식 프리캐스트 세그먼트 콘크리트 교각에 대한 해석모형을 제안하는데 있어 각 세그먼트에서 발생하는 구속효과를 적용할 때 기존의 일반 철근콘크리트 교각에서 사용되어진 구속효과를 그대로 적용한 경우의 문제점을 파악하여 콘크리트의 파괴양상이 각 세그먼트 간 접합부에서의 지압과괴의 형태로 발생하는 조립식 프리캐스트 콘크리트 교각에 대한 구속효과에 있어서 고려해야 할 사항 들을 분석하여 이를 바탕으로 프리캐스트 세그먼트의 구속효과를 고려한 콘크리트 재료모형을 제안하였으며 이를 적용한 해석프로그램을 이용하여 조립식 프리캐스트 세그먼트 교각실험체에 대한 해석을 수행하여 재료모형의 유효성을 검증하였다.

2. 비선형 유한요소해석을 위한 재료모형

2.1 철근콘크리트의 비선형 재료모형

이 연구에서는 실제 주응력의 방향과 직각으로 발생하도록 한 비 직교 고정균열모형을 적용함으로써 콘크리트의 강성을 보다 사실적으로 평가하였으며 재료적 비선형성에 대해서는 철근콘크리트 요소의 직교 이방성의 가정에 따라 인장강성모델과, 압축강성모델 및 전단전달모델을 각각 적용하였다(Kim et al., 2005).

2.2 부착 및 비부착 텐던요소의 재료모형

콘크리트 속의 텐던의 응력과 변형률의 관계는 콘크리트와 텐던 사이의 부착효과로 인하여 텐던만의 그것과는 다르게 나타난다. 이 연구에서는 저자 등에 의하여 제안된 부착이 고려된 철근의 응력-변형률 관계를 고려하여 텐던의 응력-변형률 관계를 그림 1과 같은 trilinear 모델로써 표현하였다.

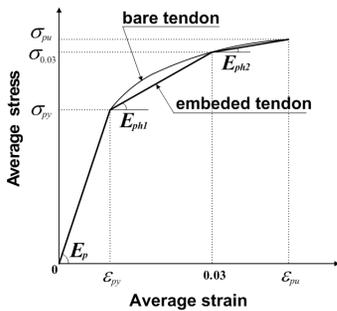


그림 1. 텐던의 항복 조건

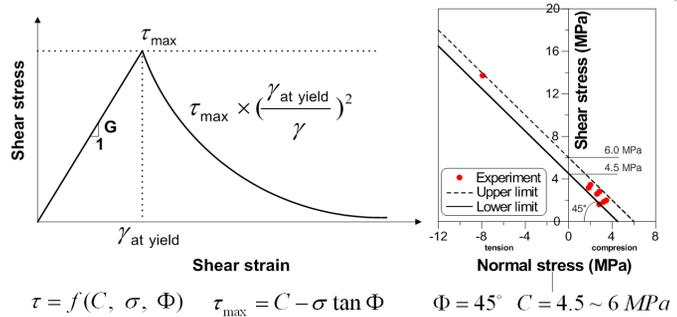


그림 2. 프리캐스트 접합면 요소(모어-쿨롬)

2.3 프리캐스트 접합면 재료모형

프리캐스트 세그먼트 PSC 교각의 세그먼트 접합부의 부착과괴 기준으로 그림 2와 같은 Coulomb 파괴기준을 사용하였다. 여기서 τ 와 σ 는 접합면에서의 전단응력과 수직응력이며, Φ 와 c 는 내부마찰각과 점착력으로 실험을 통하여 결정할 수 있는 접합면의 재료특성이다(park et al., 2007). 접합요소를 사용하면 점착방향에 평행한 전단 응력과 이에 수직인 방향의 수직 응력을 구할 수 있다.

2.4 프리캐스트 세그먼트 콘크리트에 대한 횡 철근의 구속효과

프리캐스트 세그먼트 콘크리트의 경우 횡철근의 구속효과를 고려할 때 세그먼트 상, 하부에 존재하는 피복을 고려하여야 한다. 최상단 및 최하단에 배근되는 횡방향 구속철근에서 상, 하부 콘크리트 표면의 피복까지의 구속효과를 나타내는 유효 구속콘크리트 단면적은 45° Arching Action이 아닌 45° Linear Action이 발생한다고 가정하여 고려하였다. 결과적으로 프리캐스트 세그먼트 콘크리트의 구속효과 계수(k_e)는 그림 3과 같이 구속철근간의 Arching Action에 의하여 결정되는 유효 구속콘크리트 핵 단면적과 콘크리트 세그먼트의 상하부에서의 Linear Action에 의하여 결정되는 유효 구속콘크리트 핵 단면적 중에서 작은 값을 적용함으로써 프리캐스트 세그먼트 콘크리트에 대한 구속효과를 고려하였다.

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad \text{여기서, } A_{cc} = \frac{\pi}{4} \left(d_s - \frac{s'}{2} \right)^2 \quad (1)$$

$$A_e = A_c (1 - \rho_{cc}) = \frac{\pi d_s^2}{4} (1 - \rho_{cc})$$

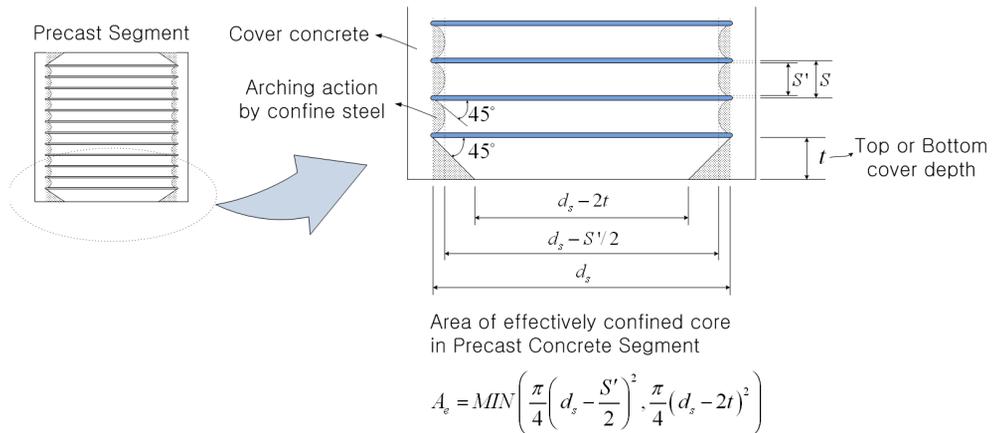
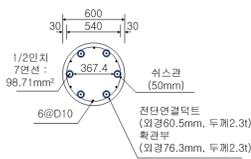


그림 3. 콘크리트 세그먼트의 구속효과

3. 해석대상 시험체 및 해석결과

이 연구에서 해석을 수행할 대상 시험체는 교각상부에서 drift ratio를 증가 시켜가면서 변위를 제어하여 횡 방향 하중을 가하는 준정적 실험을 수행한 실험체이며 이에 대한 상세도 및 유한요소 모델링을 그림 4.에 나타내었다. 또한 횡 방향 하중 가력 점에서의 하중 변위곡선에 대한 실험결과 및 해석결과를 그림 5.에 나타내었다.

실험체에 반복 주기하중이 진행되는 동안 소성현저 영역에서 비탄성 변형이 증대됨에 따라 일어나는 콘크리트의 균열과 파쇄, 그리고 이로 인한 손상이나 파괴와 잘 일치하는 등 해석결과와 실험결과를 전반적으로 잘 예상하고 있었다. 초기강성의 불일치 문제는 축소모형실험에서 프리캐스트 접합면의 부정합에 의한 변위의 영향이 상대적으로 크게 나타나는데 그 원인이 있는 것으로 판단되나 실교각의 거동에서는 그 영향이 작으므로 문제가 되지 않을 것으로 예상된다.



8-Node Reinforced Concrete PLANE STRESS ELEMENT	72
8-Node Precast INTERFACE ELEMENT	25
13-Node Bonded TENDON ELEMENT	4
8-Node Elasto-Plastic PLANE STRESS ELEMENT	1
Number of Total Element	102
Number of Total Node	312

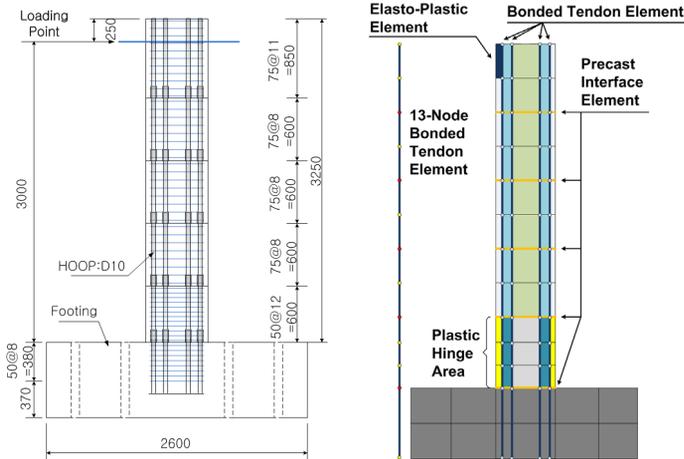


그림 4. 교각상세도 및 유한요소 모델링

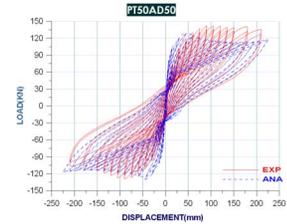
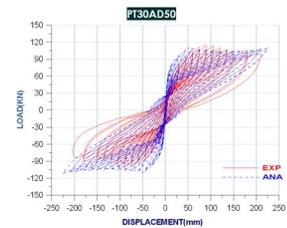
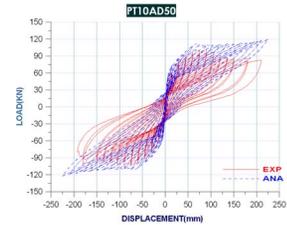


그림 5. 하중-변위 곡선

4 결론

프리캐스트 세그먼트 콘크리트에 대한 구속효과를 고려함으로써 프리캐스트 세그먼트 콘크리트 교각 구조의 비선형 이력거동특성을 비교적 정확히 예측함으로써 도심지 교각 및 급속시공이 요구되는 교량의 조립식 하부구조 시스템의 발전에 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 대우건설 기술연구원(위탁과제명: 조립식 프리캐스트 콘크리트 교각의 거동특성 규명을 위한 해석적 연구)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park. R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 8, 1988, pp. 1804-1826.
2. 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.
3. Park, J. G., Lee, K. M., Shin H. M., and Park, Y. J., "Nonlinear analysis of RC beams strengthened by externally bonded plates" Computers and Concrete, Vol. 4, No.2, 2007, pp. 119-134.