기술기사

콘크리트 접합면의 단부응력

최 동 욱*

1. 머리말

기존의 콘크리트구조체 위에 새로이 콘크리트를 타설하는 철근콘크리트 보강구조체의 국내시공사례가 증가하고 있다. 보강된 구조체의 접합면은 콘크리트의 수화작용으로 인하여 일정한 인장강도 및 전단강도를 가지게 된다. 이때 새로 타설된 콘크리트의 건조수축 및 보강구조체 내부의 불균등한 온도분포에 의하여 접합면에 응력이 발생할 수 있는데, 응력은 단부에 집중되므로 단부응력(end stress)이라고 불린다. 새로 타설된 콘크리트의 건조수축이 심하게 발생되는 경우와 구조체 내부의 불균등온도차가 비교적 큰 경우에 단부응력에 의한 접합면-박리현상이 발생할 수 있다. 미국의 경우를 보면 (1) 폴리머콘크리트로 보강된 포틀랜드시멘트콘크리트 구조부재와 (2) 포틀랜드시멘트콘크리트를 사용하여 보강된 콘크리트도로 등에서 박리현상이 보고되고 있다. (1)의 경우, 응력의 발생은 폴리머콘크리트의 열팽창계수 및 건조수축의 크기가 포틀랜드시멘트콘크리트에 비하여 큰 것에 기인하며, (2)의 경우에는 새로 타설된 콘크리트의 건조수축과 도로의 수직단면에 발생하는 불균등한 온도분포에 기인한다.

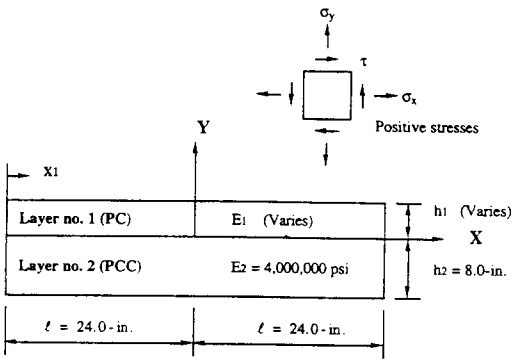
본고에서는 국내에서도 발생할 수 있는 콘크리트 접합면의 응력집중에 의한 박리현상과 관련된 선형적 응력해석기법을 소개하고, 단부응력을 해석하기 위한 비선형적 해석기법이 개발되어야할 필요성에 관하여 기술하고자 한다.

2. 단부응력의 이론적 연구

Timoshenko[1]는 서로 상이한 열팽창계수를 갖는 두 가지 금속재료로 만든 Bi-metal Thermostat의 연구에서 외부온도변화로 인하여 발생하는 접합면의 응력에 관하여 처음으로 언급하였다. 그는 보이론을 사용, 축방향응력의 해법을 제시하였고, 접합면의 단부에서 발생하는 전단력과 인장력의 집중현상을 예측하였다.

이층합성보 접합면의 단부응력에 관한 연구에서, Hess[2]는 응력의 크기와 분포가 각층의 두께비

* 국립안성산업대학교 건축공학과 전임강사



α_1=10.0μin. /in. /°F, υ_1=0.24

α_2=5.0μin. /in. /°F, υ_2=0.20

그림 1 폴리머콘크리트(PC)를 사용하여 보강한 포틀랜드 시멘트콘크리트(PCC) 합성보의 열응력 해석모델 (Chen's Method)

와 탄성계수비에 영향을 받는다는 것과 전단응력 및 인장응력이 보의 양단으로부터 중앙부 방향으로 합성보의 총두께만큼의 거리 사이에 각각 발생한다고 발표하였다. Eigenfunction 급수전개를 이용한 이 연구에서 그는 응력의 정확한 크기와 분포를 결정하지는 못하였다.

Chen, Cheng과 Gerhardt[3]는 한 쌍의 목재보를 접착재를 사용하여 부착시킨 합성보에서 접착재와 목재간 열팽창개수의 차이로 인하여 발생하는 단부응력을 연구하였다. Chen등은 합성보 전체가 균등한 온도변화를 받는다는 가정 하에서 이차원 열탄성론을 사용, 합성보내 응력분포의 선형적 해법을 제시하였다.

Al-Negheimish[4]는 유한요소법 프로그램으로 단부응력의 근사해를 구하려고 시도하였으며 이차원 평면응력요소를 사용하여 Hess의 연구결과를 확인하였다. 그러나 보양단의 경계조건을 만족시키는 근사해를 구하지 못하였는데, 이는 단부에 발생하는 전단응력과 인장응력이 단부에 가까워질수록 급격히 변화하는 것에 기인하였다.

위에 소개된 연구이외에도 합성보 접합면에 발생하는 응력의 크기 및 분포를 규명하기 위하여 수행된 많은 연구중의 일부가 참고문헌[5,6,7,8]에 소개되어 있다.

3. 콘크리트보강체 접합면의 박리현상

3.1 폴리머콘크리트와 포틀랜드시멘트콘크리트 합성보

필자가 공부하였던 미국 오스틴 소재 텍사스주립대학의 재료연구실에서 폴리머콘크리트로 보강된 콘크리트합성보 접합면의 박리현상이 자주 발생하였다. 이는 폴리머재료의 열팽창계수가 비교적 큰 것에 기인한 것으로 생각된다. 전술한 Chen의 선형적 해법을 프로그램 하여 단부응력을 검토하여 접합부박리의 가능성을 비교적 정확히 예측할 수 있었으며 그 연구결과를 그림1과 2에 나타내었다. 콘크리트를 얇은 두께의 폴리머콘크리트를 사용하여 보강한 합성보가 그림1에 표시되어 있고 보가 섭씨 -56도의 외부온도변화를 받는 경우 접합면의 전단응력과 인장응력이 그림2에 표시되어 있다. 그림2에서 발생된 응력이 단부에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 이 연구에서 Hess 및 Al-Negheimish의 연구결과를 참고로 하여 변수분석을 수행한 결과가 1993년 ACI 정기학술발표회에서 발표되었다.[9]

3.2 콘크리트도로

포틀랜드시멘트콘크리트를 사용하여 보강된 콘크리트도로에서 접합면의 박리현상이 발생할 수

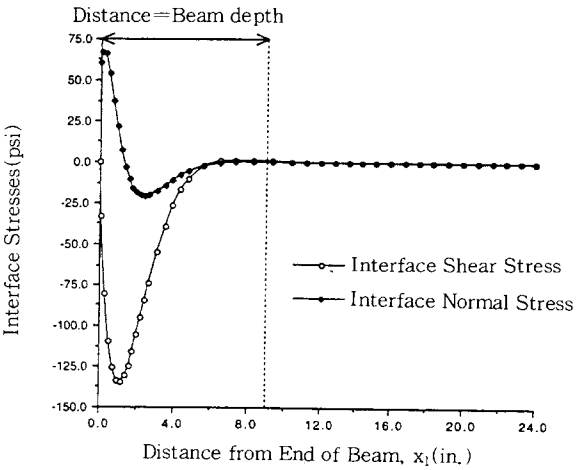


그림 2 합성보접합면에서 전단응력과 인장응력의 분포(온도변화=-56℃)

있는데, 미국 California주,[10] Texas주[11] 등에서 비교적 상세한 보고서가 출판되어 있다. 보강콘크리트도로의 박리는 전술한 바와 같이 새로 타설된 콘크리트의 건조수축과 도로의 수직단면에 발생하는 불균등온도분포가 응력집중의 원인이 된다.

4. 맺음말

위에 기술한 콘크리트보강체 접합면의 응력해석에 있어서, 비교적 얇게 타설되는 폴리머콘크리트 합성보의 온도응력해석에는 Chen방법의 적용이 가능하였다. 그러나 같은 해석방법이 콘크리트도로의 응력해석에는 적용될 수 없었는데, 이는 비교적 두껍게 타설되는 포틀랜드시멘트콘크리트의 건조수축을 예측하기 어려웠고 또한 도로수직단면이 균등한 온도변화를 받지 않기 때문이었다. 보강콘크리트도로에서 접합면의 응력집중에 의한 박리현상이 국내에서도 발생할 수 있다는 사실을 고려하여 볼 때 이에 관련된 해석기법이 개발되어야 할 필요가 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Timoshenko, S. P., "Analysis of Bi-Metal Thermostats," Journal of the Optical Society of America, Vol. 11, No. 3, 1925.
2. Hess, M. S., "The End Problem for a Laminated Elastic Strip: Differential Expansion Stress," Journal of Composite Materials, Vol. 3, 1969.
3. Chen, D., Cheng, S., and Gerhardt, T. D., "Thermal Stresses in Laminated Beams," Journal of Thermal Stresses, Vol. 5, No. 1, 1982.
4. Al-Negheimish, A.I., "Bond Strength, Longterm Performance and Temperature-Induced Stresses in Polymer Concrete-Portland Cement Concrete Composite Beams," Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 1988.
5. Durelli, A. J., and Parks, V., "Photoelastic Stress Analysis of the Bonded Interface of a Strip with Different End Configurations," American Ceramic Society Bulletin, Vol. 46, No. 6, 1967.
6. Grimado, P. B., "Interlaminar Thermoelastic Stresses in Layered Beams," Journal of Thermal Stresses, Vol. 1, No. 1, 1978.
7. Pagano, N. J., "Stress Fields in Composite Laminates," International Journal of Solids and Structures, Vol. 14, No. 5, 1978.
8. Williams, H. E., "Asymptotic Analysis of the Thermal Stresses in a Two-Layer Composite with an Adhesive Layer," Journal of Thermal Stresses, Vol. 8, No. 2, 1985.
9. Choi, D., Fowler, D. W., and Wheat, D. L., "Thermal Stresses in Polymer Concrete Overlays," ACI Special Publication in press on Properties and Uses of Polymers in Concrete, 1996.
10. Neal, B. F. "California's Thin Bonded PCC Overlay," California Department of Transportation, Report No. FHWA/CA/TL-84/04, 1983.
11. Lundy, J. R., McCullough, B. F., and Fowler, D. W., "Delamination of Bonded Concrete Overlays at Early Ages," The University of Texas at Austin, Center for Transportation Research, Report No. 1205-2.