

프리캐스트 콘크리트 전단키의 역학적 거동에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Behavior of Precast Concrete Shear Keys

오 병환* 이 준서** 이 형준*** 임 동환****
Oh Byung Hwan Lee Jun Seo Lee Hyung Joon Lim Dong Hwan

ABSTRACT

In the precast segmental method of construction, segments of a structure are precast, assembled, and tied together by post-tensioning to form the structure. Shear strength and behavior of joints in precast concrete structures are important problems in the design of these structures.

An experimental program was set up to study the shear behavior of precast concrete shear keys. Experimental models of keyed joints include a single key, representing one of a series of multiple keys used in precast segmental structures. The parameters considered in the tests include the shear key shape, d/h ratio (1/4, 1/5, 1/7), and inclined angle (45°, 60°, 75°). Two different types of joints, i.e., epoxied joints and dry joints were studied.

From the present tests, it is found that epoxied joints have higher shear strength than those of dry joints, and that high d/h ratio keys have higher shear strength than those of low d/h ratio keys. The keys with 60°-inclined angle shows the highest shear strength among various angles.

1. 서 론

프리캐스트 콘크리트 세그멘탈 구조물(Precast Concrete Segmental Structures)은 이미 제작된 여러개의 짧은 프리캐스트 세그먼트로 이루어진 구조물이며, 이 세그먼트들은 프리스트레스를 도입하여 일체로 조립되어 전체적인 구조물을 형성한다. 세그먼트의 조립으로 인하여 구조물에는 접합부가 존재하며 접합부는 세그먼트 사이의 힘의 불연속면을 의미한다. 세그먼트들이 일체를 이루어 완전한 구조물의 역할을 수행하려면 접합부를 통하여 세그먼트간에 압축력과 전단력이 전달되도록 설계되어야 한다.

세그먼트에는 전단응력과 압축응력을 효과적으로 전달하기 위하여 부재의 복부와 슬

래브에 세그먼트와 일체로된 전단키(shear key)가 설치된다. 전단키는 사다리꼴의 전단키가 사용되며, 접합부의 저항능력을 증대하기 위하여 표면에는 접착제를 도포하여 접합부를 형성한다.

전단키의 역학적거동, 하중능력 및 접착제의 영향은 접합부의 하중저항 능력과 구조적 거동에 중요한 요인이 되며, 이러한 접합부 거동의 특성은 구조물 전체의 조립성과 구조적 기능에 중요한 영향을 미치게 된다. 전단키 접합부의 역학적거동에는 전단키의 형상으로 전단키의 돌출높이 및 경사각과 접착제의 유,무 및 횡방향 구속력이 중요한 변수가 된다.

본 연구에서는 프리캐스트 콘크리트 전단키 접합부의 전단거동을 연구하기 위하여 전단키의 전단거동과 강도 특성을 실험적으로 규명하고자 한다. 전단키의 형상에 따른 접합부의 전단강도 특성, 전단거동 특성 및 응력의 분포를 고찰하기 위하여 전단키의 돌출높

* 정회원 서울대학교 토목공학과 부교수
** 정회원 서울대학교 토목공학과 박사과정
*** 정회원 서울대학교 토목공학과 박사과정
**** 정회원 서울대학교 토목공학과 박사수료

이와 전단키의 경사각을 실험변수로 하였으며, 에폭시를 도포하여 비교 실험하였다.

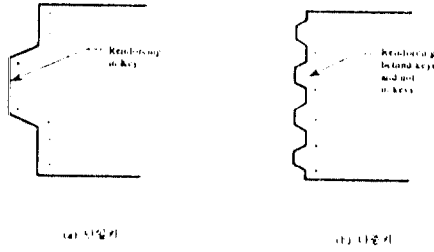


그림 1 접합부 전단키의 형상

2. 전단키 접합부의 전단실험

2.1 실험개요

전단키 접합부의 전단실험을 위하여 사다리꼴 전단키를 가진 접합부에 대하여 실험을 수행하였다. 전단키의 형상에 따른 접합부의 전단거동을 연구하기 위하여 사다리꼴 전단키의 d/h ratio (전단키의 저면과 돌출높이의 비)와 전단키의 경사각 α 를 실험변수로 하였다. 실험에서 전단키의 d/h ratio는 각각 1/4, 1/5, 1/7이며 전단키의 경사각은 45°, 60°, 75°이다. 전단키 표면에 에폭시를 도포하여 에폭시 도포된 접합부 (epoxied joints) 대하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 다중 전단키의 형상을 그림 1에 도시하였다.

2.2. 실험시편의 설계

실험에 사용된 전단키는 세그먼트에 존재하는 사다리꼴 다중 전단키를 대표하는 하나의 전단키를 선택하여 사용하였다. 전단키의 돌출 높이와 경사각 α 는 실험변수로서 d/h ratio 1/4, 1/5, 1/7 로 하였으며 경사각은 45°, 60°, 70°이 되도록 하였다.

2.3 실험 시편의 제작

프리캐스트 구조물은 양질의 콘크리트를 제작할수 있으므로 주로 고강도의 콘크리트를 사용하게된다. 본 실험에서 콘크리트는 재령 28일 압축강도(σ_{ck}) 420 kg/cm²가 되도록 배합설계 하였다. 시편 제작을 위한 몰드는 두께 4cm의 목재를 이용하여 제작 하였으며, 전단키의 형상을 위하여 각 형상에 맞추어 철판을 절곡하여 몰드에 조립하였다.

전단키에는 철근을 배근하지 않았으나 전단키 이외의 부분이 파괴되는 것을 방지

하기 위하여 철근을 7자 형상으로 절곡하여 시편의 상,하에 배근 하였다.

시편제작 후 28일이 경과한 뒤 공시체에 대한 기본강도 시험과 시편에 대한 전단 실험을 수행하였다. 접합부에 도포되는 접착제로서는 gel type의 에폭시를 사용하였으며 에폭시의 두께는 1mm로 일정하게 하였다.

접합부에 작용하는 프리스트레스트 힘을 나타내는 횡방향 압축력은 35 kg/cm²로 일정하게 하였으며 별도로 제작된 횡방향 구속장치(confining grid)를 사용하였다. 구속장치를 시편의 중앙에 설치하고 시편과 구속장치 유압 실린더를 이용하여 가압하였다.

2.4 실험수행 및 측정

시편은 자동제어 시험기를 이용하여 실험하였으며 하중은 stroke control type 재하였다. 시험기에 부착된 X-Y recorder를 사용하여 하중-변위 관계곡선을 작성하였다. 또한 정확한 수직변위 측정을 위하여 시편의 표면에 전기식 다이알 게이지(electric dial gage)를 부착하여 수직변위를 측정하였다.

전단키의 응력을 측정하기 위하여 스트레인 게이지(strain gage)를 부착하였으며, 수직변위와 변형을 측정 하였다. 실험 장치의 개략도는 그림 2과 같다.

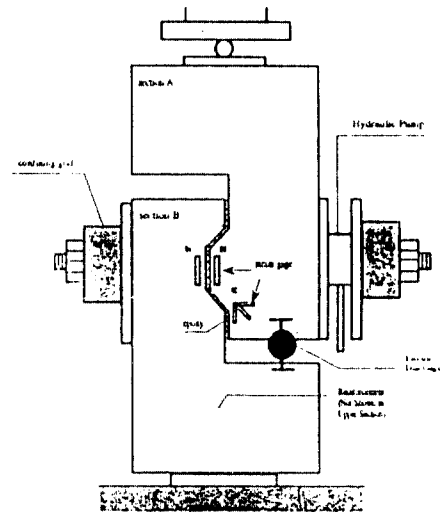


그림 2 실험장치의 개략도

3. 실험결과 및 분석

3.1 전단강도

본 연구에서는 콘크리트 강도의 변동성에 의한 영향을 고려하기 위하여 전단강도를 콘크리트의 압축강도로 나눈 일반화된 평균 전단강도로 접합부의 전단강도를 계산하였다. 접합부의 전면적에 작용하는 하중을 접합부의 면적으로 나눈 전단강도 τ 이라 하면 일반화된 평균 전단강도는 τ 을 콘크리트 압축강도 $\gamma\sigma_{ck}$ 로 나눈 값으로 정의 한다.

$$\tau = r / \gamma\sigma_{ck}$$

여기서, τ : 일반화된 전단강도($\text{kg/cm}^2/\text{kg/cm}^2$)

r : 전단강도 (작용하중/접합부의 면적)

σ_{ck} : 콘크리트의 압축강도 (kg/cm^2)

실험에 의하여 측정된 시편의 최대 평균 전단강도는 표1 같다.

표1 Epoxied Joints의 최대 평균 전단강도

	45°	60°	75°
1/4	3.63	3.97	3.22
1/5	3.39	3.76	3.18
1/7	3.11	3.39	3.05

(1)d/h ratio에 따른 전단강도 특성

전단키가 일정한 각도일 때 d/h ratio가 감소함에 따라 접합부의 최대 전단강도는 감소함을 보인다. 이는 전단키의 돌출 높이가 클수록 접합부의 전단강도가 증가함을 의미한다.

(2)경사각 α 에 따른 전단강도 특성

접합부의 최대 전단강도는 경사각 60°일 때 가장 큰 값을 보이며 45°의 경우가 75°의 경우보다 더 큰 값을 보인다.

3.2 접합부의 변형도 특성

전단키 접합부의 응력을 연구하기 위하여 전단키의 콘크리트 표면에 스트레인 게이지를 부착하여 전단키에 생하는 변형도를 측정하였다. 그림 2의 실험장치 개략도에서 00번 게이지는 접합부의 section A에 부착하였으며 01번 게이지는 같은 위치의 section B에 부착하였다. 또한 02번 게이지는 전단키의 하부

에 부착하였다.

그림3는 epoxied joints의 변형도 곡선이 다. section B에 발생한 변형도는 section A에 발생한 변형도와 비교하여 약 50 - 30%의 작은 값을 갖는다. epoxied joints의 경우 그 차이가 약 30%이다.

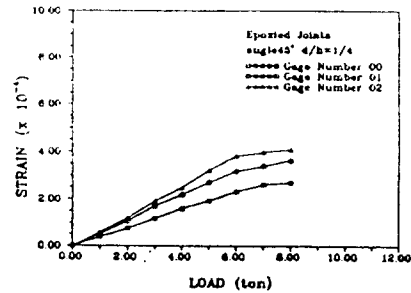


그림3(a) epoxied joints의 변형도 곡선
(경사각45°, d/h:1/4)

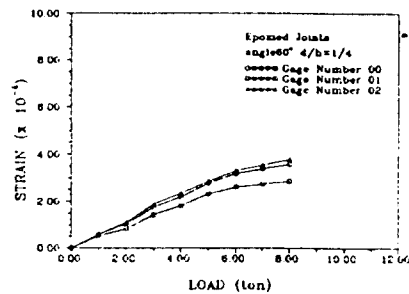


그림3(b) epoxied joints의 변형도 곡선
(경사각60°, d/h:1/4)

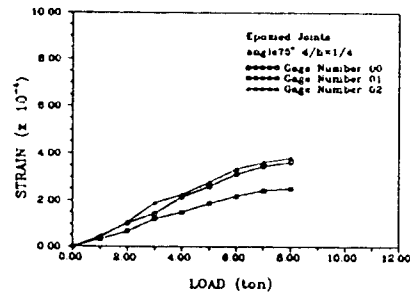


그림3(c) epoxied joints의 변형도 곡선
(경사각75°, d/h:1/4)

3.3 균열 및 파괴양상

일반적으로 초기균열은 전단키의 하부와 북부중앙에 사인장균열 형태로 발생하며, 에폭시 부착부의 콘크리트 상부에 수직의 균열이 발생한다. 하중이 증가함에 따라 하부에 발생된 균열과 북부의 균열이 확대되며 북부 중앙에 새로운 사인장균열이 발생한다. 최종 파괴시 하부의 균열과 북부의 균열이 확대되고 서로 연결되며 파괴가 발생한다. 때로는 하중에 의한 초기 균열이 전단키 북부 상단에서 발생하여 그 균열의 확대에 의하여 파괴가 발생하기도 한다. 돌출높이가 작은 경우 전단키의 지압파괴도 관찰 되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 실험을 수행하여 전단키 접합부의 전단키 형상에 따른 접합부의 전단강도 특성, 전단거동 특성 및 응력 특성을 연구하였다. 또한 접합부에 에폭시를 도포한 경우 에폭시에 의한 접합부 전단강도 증진 효과에 대한 연구를 수행 하였다. 전단키 접합부 전단실험의 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 전단키 형상에 의한 영향으로 전단키의 d/h ratio가 감소함에 따라 접합부의 전단강도는 감소하는 경향을 보인다.
2. 경사각 60°일때 가장 큰 전단강도를 보이며 경사 각 45°의 경우가 경사각75°보다 더 큰 전단강도를 보인다.
3. epoxied joints에서 에폭시는 전단키 접합부가 일체로 거동하도록 하며 전단키를 통한 접합부의 응력 전달능력을 증진시키는 것으로 사료된다.

실험을 통하여 다중 전단키 접합부의 전단거동은 전단키의 형상과 에폭시 도포 상태에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다. 돌출높이가 큰 접합부에 비하여 상대적으로 작은 전단강도를 갖는다. 따라서 전단키의 d/h ratio로서는 1/7 이상의 값이 바람직한 것으로 사료된다.

또한 전단키의 경사각은 60° 일때 가장 큰 전단강도를 보이며 에폭시의 도포는 접합부의 강도를 증가 시키며 응력 전달을 증진 시키나 취성거동을 유발하게 되므로 에폭시를 사용하는 경우 이에 대한 적절한 대책이 요구 된다.

5.참고문헌

1. Schutz, R. J., "Epoxy Adhesives in Prestressed and Precast Concrete bridges Construction," J. of ACI, March, 1976.
2. Rabbat, B. G., and Sowlat, K., "Testing of Segmental Concrete Girders with External Tendons," J. of PCI, March, 1987.
3. "Recommended Practice for Precast Post-Tensioned Segmental Construction," J. of PCI, Jan., 1982.
4. Nair, R. S., and Iverson, J. K., "Design and Construction of the Kishwaukee River Bridges," J. of PCI, Nov., 1982.
5. Mathivat, J., "The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges," John Wiley and Sons, 1979.
6. "Post-Tensioned Box Girder Bridges Manual," PTI, 1978.
7. Cusens, A. R., and Smith, D. W., "A Study of Epoxy Resin Adhesive Joints in Shear," The Structural Engineer, Vol. 58, No.1, Jan., 1980.
8. "PCI Design Hand Book-Precast and Precast Concrete," PCI, 1985.
9. Bassi, K. G., and Lin, W. L., "The Twelve Mile Creek Precast Prestressed Segmental Bridges," J. of PCI, Nov., 1984.
10. Chakrabari, S. C., Nayak, G. C., and Paul, D. K., "Shear Characteristics of Cast-in-place Vertical Joints in Story-High Precast Wall Assembly," J. of ACI, Jan., 1988.
11. Cusens, A. R., and Smith, D. W., "A Study of Epoxy Resin Adhesive Joints in Shear," The Structural Engineer, Vol. 58, No.1, Jan., 1980.
12. Lars Christan F. Ingerslev, "Construction of the Bahrain Causeway," Concrete International, Vol. 11, No.12, Dec., 1989.