

반복하중시 철근콘크리트의 부착특성

Bond Properties of Reinforced Concrete Subjected to Cyclic Loading

이 응 세
Lee, Woong Se

이 재 열
Lee, Jae Yul

김 상 준
Kim, Sang Jun

최 완 철
Choi, Oan Chul

ABSTRACT

The purpose of this study is to find the influence of interface and confinement on bond between reinforcing steel and concrete subjected to monotonic and cyclic loading. The key variables for the experimental program include rib height, rib spacing for reinforcing bars and confinement. From the results obtained in this study, the following main observations can be made for the bond properties. Bond strength increases when confinement increases under monotonic and cyclic loading. Bond stiffness and strength drop remarkably after the maximum bond strength. Both bond stiffness and strength also drop at a constant slip when the number of cyclic loading increase. The bond resistance subjected to cyclic loading decreases significantly for reinforcing bars with low rib height.

1. 서론

철근과 콘크리트 두 이질재료 사이의 부착 미끄러짐은 반복하중이 작용되는 지진 하중시에 연성골조구조물의 이력거동에 미치는 영향이 크다. 부착강도 15% 감소는 보-기둥 골조구조물에서 에너지소산능력을 30%까지나 감소시키는 원인이 되고 있다. 내진설계에서 이러한 부착손상을 최대한 감소시키기 위한 설계기법이 지진시 구조물을 안전하게 하는데 특별히 중요하다.

그림1은 수평하중이 가해졌을 때 내부 철근의 집합부상태를 보여주며 이와 같은 집합부 상태를 부착모델로 시험체를 제작하여 반복하중시의 철근과 콘크리트사이의 부착에 대한 계면 및 횡구속의 영향을 연구한다.

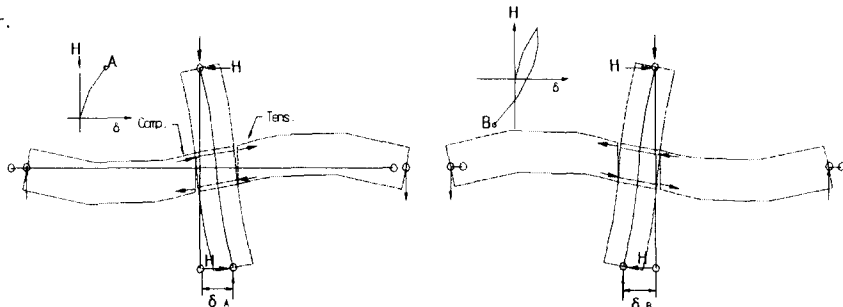


그림 1 보-기둥 집합부 거동

- * 정희원, 숭실대학교 건축공학과 대학원
- ** 정희원, 숭실대학교 생산기술연구소 연구원
- *** 정희원, 숭실대학교 건축공학과 교수

2. 실험 개요

2.1 실험계획

본 연구에서는 반복하중시의 보-기둥 접합부의 부착거동을 모델화시켜 시험체를 제작하였다. 접합부에 수평하중이 가해졌을 때 내부 철근의 부착거동, 콘크리트와 철근 부착 전달기구에서 계면과 횡구속의 영향을 조사하고 그 관계를 밝히고자 한다. 보-기둥 접합부를 모델화한 시험체에서 콘크리트와 철근의 부착강도를 평가하기 위해 횡구속 철근량의 변수와 콘크리트와 철근의 계면에 대한 영향을 연구하기 위해 철근 마디 높이를 주요 변수로 하였다. 표 1과 같이 철근의 정착길이내에 횡구속철근(D13철근 1개, D16철근 2개, 무근)을 시험체별로 제작하여 횡구속 영향을 알 수 있도록 계획하였다. 보-기둥 접합부 시험체의 변수 및 시험체명은 표 1과 같다.

표 1 시험체 변수 및 시험체 명

| Specimen Label | Loading type | Rib height | confining reinforcement | | concrete comp. str. |
|----------------|-------------------|---------------|-------------------------|---------|---------------------|
| | | | vertical | stirrup | |
| MLV13S13 | monotonic loading | 0.5 (1.35mm) | D13 | D13 | 380 |
| MLV16S13 | | | D16 | D13 | " |
| MLV00S00 | | | -- | -- | " |
| MMV13S13 | | 0.75 (2.03mm) | D13 | D13 | " |
| MMV16S13 | | | D16 | D13 | " |
| MMV00S00 | | | -- | -- | " |
| MHV13S13 | | 1.0 (2.70mm) | D13 | D13 | " |
| MHV16S13 | | | D16 | D13 | " |
| MHV00S00 | | | -- | -- | " |
| CLV13S13 | cyclic loading | 0.5 (1.35mm) | D13 | D13 | " |
| CLV16S13 | | | D16 | D13 | " |
| CLV00S00 | | | -- | -- | " |
| CMV13S13 | | 0.75 (2.03mm) | D13 | D13 | " |
| CMV16S13 | | | D16 | D13 | " |
| CMV00S00 | | | -- | -- | " |
| CHV13S13 | | 1 (2.70mm) | D13 | D13 | " |
| CHV16S13 | | | D16 | D13 | " |
| CHV00S00 | | | -- | -- | " |

예: CLV13S13

- 13: Bar diameter(13:D13, 16:D16, 00:무근)
- S: stirrup
- 13: Bar diameter(13:D13, 16:D16, 00:무근)
- V: vertical
- Rib height (L: low M: middle H: high)
- Loading type(C: cyclic M: monotonic)

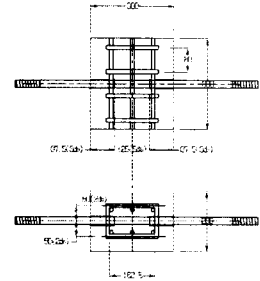


그림 2 시험체 상세도

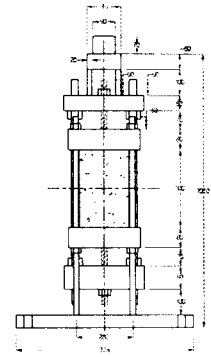


그림 3 시험체 설치

재하되는 철근은 보의 주근이 되며 철근 마디 높이를 1.35mm, 2.03mm, 2.70mm의 3종류로 D25철근으로 만들어 시험체로 제작하여 철근 계면의 영향을 파악하도록 계획하였다. 또한 콘크리트의 피복두께는 $3d_b$ 이며 콘크리트 속에 묻혀지는 철근의 정착길이는 철근의 항복파괴가 아닌 조깅부착파괴가 발생하도록 $5d_b$ (125mm)로 계획하였다. 본 연구에서는 같은 변수를 가진 시험체를 크게 2가지 그룹으로 나누어 제작하여 1그룹은 단조가력을 하고 2그룹은 반복가력을 하여 시험하였다.

2.2 시험체 제작

콘크리트는 압축강도 380kg/cm^2 을 사용하였으며 시험철근은 길이 870mm의 원형강봉을 마디 높이 변수별로 D25 철근을 사용하였다. 시험체 크기는 $300 \times 200 \times 300\text{mm}$ 로 거의 실물 크기 시험체에 가깝게 제작하였으며 철근의 정착길이는 $5d_b$ (12.5cm)로 하고, 콘크리트의 콘파괴 방지를 위해 양단에 P.V.C. 파이프를 삽입하였다. 4-D13 철근을 기둥 주근으로 사용하였으며 띠근도 D13 철근으로 80mm 간격으로 4개를 배치하였다.(그림2 참고)

2.3 실험방법

실험장치에 시험체를 설치할 수 있도록 그림 3과 같이 프레임을 제작하여 실험장치에 고정시켰다. 시험체를 실험장치에 고정된 프레임에 올려 놓고 헤드를 시험체 가력봉에 고정시킨 후 가력하였다. 더 정확한 변위 측정을 위해서 LVDT를 재하단쪽에 2개를 설치하여 측정하였다. 하중은 실험장치를 통해서 약 40kg/sec 으로 가력하였다. 이때 하중은, 단방향(Monotonic)일 경우는 시험체를 윗방향으로만 하중을 가했으며, 반복(Cyclic)인 경우 1사이클이 윗방향 한번, 아랫방향 한번으로 변위 제어를 하였으며 그 양은 각 사이클 마다 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6mm의 변위로 제어하였다. 실험데이터는 하중과 변위를 TDS303를 통해서 받아 들여 컴퓨터를 이용하여 데이터를 정리하였다.

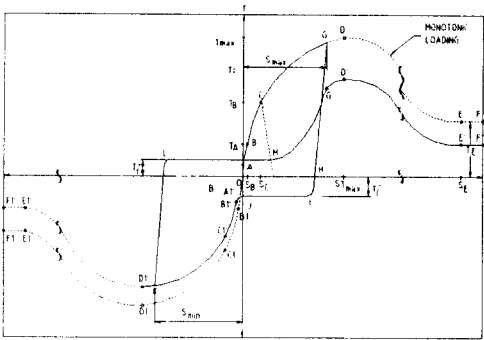


그림 4 단조,반복가력시 부착응력-슬립과의 일반적 관계

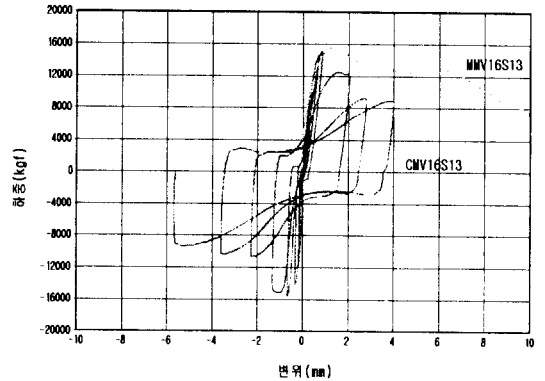


그림 5 단조-반복가력 비교곡선

3. 결과 및 고찰

3.1 파괴양상

실험결과 파괴양상은 쪼개짐파괴와 뿔힘파괴로 나타났다. 단조가력, 반복가력시 모두 횡구속이 없는 시험체는 쪼개짐파괴가 일어났으며 횡구속이 증가할수록 +자형 모양으로 파괴되었다. 또한 리브높이 별로 살펴보면 L(1.35mm), M(2.03mm)은 횡구속이 증가할수록 파괴가 심하게 일어났으나 H(2.70mm)는 오히려 균열이 적게 나타났다.

3.2 부착력-슬립 곡선 특성

반복가력 시험체(CMV16S13)의 하중-변위 곡선은 그림 5와 같이 단조가력 곡선과 비슷한 곡선을 나타내며 강도는 단조가력시보다 감소한다. 이것은 단조, 반복가력시 부착력과 변위 관계를 나타내는 그림 4와 잘 일치하고 있다. 단조가력시 부착강성과 반복가력시 초기부착강성이 일치함을 보여주고 있

으며 반복가력시 매 사이클마다 마찰력(τ_f)의 영향이 커짐을 알 수 있다. 반복가력시 최대강도에 도달한 후 강도 감소가 단조가력시에 비해 크게 나타나고 있다. 반복가력의 경우에는 단조가력시 최대강도의 70%~90% 이상되면 부착력-슬립 거동 저감이 크게 발생하였다.

3.3 강도비교

단조가력시 상대마디면적에 따른 부착강도가 증가하고, 횡구속조건이 클수록 증가량이 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 횡구속량이 증가할수록 동일한 리브높이 시험체에서 오히려 강도가 감소하는 현상이 일부(MHV13S13, MMV16S13) 나타났다. 반복가력시에는 상대마디면적에 따른 부착강도가 단조가력시와 마찬가지로 증가하는 현상이 나타났으나 횡구속 증가에 따른 부착강도는 오히려 2-D16이 1-D13일 때 보다 CLV16S13, CMV16S13의 경우는 적게 나타났다. 이는 균열로 인하여 횡구속 철근량이 제 기능을 발휘하지 못한 것으로 사료된다.

표 2 단조, 반복가력시 최대강도 비교

| 반복가력 | CLV00S00 | CMV00S00 | CHV00S00 | CLV13S13 | CMV13S13 | CHV13S13 | CLV16S13 | CMV16S13 | CHV16S13 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| C+1 | 5.7 | 5.0 | 5.6 | 6.4 | 8.1 | 9.2 | 4.6 | 6.5 | 9.2 |
| C-1 | 7.3 | - | - | -11.5 | -11.2 | -11.4 | -9.1 | -11.2 | -9.8 |
| C+2 | 6.6 | - | - | 9.0 | 10.1 | 13.9 | 10.1 | 10.0 | 15.1 |
| C-2 | - | - | - | 16.4 | 16.6 | 16.9 | -12.8 | -14.2 | -16.4 |
| C+3 | - | - | - | 11.3 | 14.2 | 15.2 | 9.8 | 14.5 | 19.0 |
| C-3 | - | - | - | -16.1 | -16.0 | -16.6 | 13.8 | 15.6 | 19.4 |
| C+4 | - | - | - | 12.2 | 12.9 | 13.0 | 9.7 | 15.1 | 17.1 |
| C-4 | - | - | - | -14.3 | -11.9 | -12.0 | -11.4 | -15.2 | -13.2 |
| C+5 | - | - | - | 9.9 | 10.7 | 10.8 | 8.8 | 12.5 | 12.8 |
| C-5 | - | - | - | -9.1 | -10.8 | -10.0 | -9.5 | -10.7 | -10.6 |
| C+6 | - | - | - | 7.2 | 10.3 | 10.4 | 8.3 | 9.3 | 10.4 |
| C-6 | - | - | - | -7.0 | -9.2 | -7.5 | -7.5 | -10.4 | -9.6 |
| C+7 | - | - | - | 5.1 | 8.2 | 7.8 | 6.3 | 9.0 | 7.8 |
| C-7 | - | - | - | -5.7 | -7.3 | -7.3 | -5.8 | -9.4 | -6.6 |
| 단조가력 | MLV00S00 | MMV00S00 | MHV00S00 | MLV13S13 | MMV13S13 | MHV13S13 | MLV16S13 | MMV16S13 | MHV16S13 |
| M+1 | 5.8 | 4.2 | 6.17 | 17.5 | 18.2 | 16.3 | 18.7 | 15.4 | 19.9 |

4. 결론

반복하중시 철근콘크리트의 부착특성에 대해서 연구 수행 중이며 지금까지의 연구 분석은 다음과 같다. 단조가력시 횡구속이 증가할수록 부착력도 증가하며 리브높이에 따라서도 약간의 강도변화가 발생하였다. 최대강도이후 리브높이가 낮을수록 강도저감현상이 급격하게 나타났다. 반복가력시 횡구속량이 증가할수록 동일한 리브높이 시험체는 오히려 강도가 감소하는 현상이 일부 나타났다. 이는 횡구속 철근이 충분히 정착되지 못하고 또한 균열로 인하여 횡구속 철근이 제 기능을 발휘하지 못한 것으로 사료된다. 반복횟수가 증가할수록 부착강성이나 부착력 저감이 일정한 슬립치에서 작아진다. 또한 최대강도이후 반복에서는 부착강성과 부착력이 급격히 떨어지는 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 1) 최완철 외 "고강도, 고투동 belite콘크리트 부착성능 평가시험", 숭실대학교 연구소, 1998. 2. 14, page 62.
- 2) Eligehausen, R., Popov, E.P. and Bertero, V.V. "Local Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bars under Generalized Excitations", Report No. UCB/EERC-83/23, Earthquake engineering research Center, University of California, Berkeley, October 1983, 162pp.