

고강도 철근콘크리트 보-기둥 외부 접합부의 전단 거동에 관한 실험

박기철^{1)*}

¹⁾ 세기건설안전엔지니어링 / 경기대 건축학부

(2004년 12월 9일 원고접수, 2005년 7월 30일 심사완료)

Stress Distribution in Construction Joint of Prestressed Concrete Bridge Members with Tendon Couplers

Ki-Choul Park^{1)*}

¹⁾ Segi Century Construction Safety Engineering / Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, Suwon, 443-760, Korea

(Received December 9, 2004, Accepted July 30, 2005)

ABSTRACT

Two series of experiments on the performance of beam-column joints in High-Strength Reinforced concrete frames were carried out. Main experimental parameters were : concrete strength, column axial load and amount of joint hoop reinforcement. Test result showed that the ultimate shear strength of exterior joints increased of column axial compressive force and the amount of the joint hoop reinforcements. Through the regression analysis on the 24data, the following equation is obtained
$$j_{vu} = (2.936 \times 10^{-3} p_{jw} \cdot f_y + 0.365) \sqrt{f_{ck}}$$

Keywords : shear strength, high-strength reinforced concrete, beam-column joint

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 고층화와 재료의 고강도화에 의한 영향으로 보-기둥 접합부가 구조적으로 취약부분으로 지적되고 있다. 구조물의 접합부는 지진력이 작용할 때 접합부에 인접하는 부재가 휨 항복하기 전은 물론이고 휨 항복한 후에도 접합부의 전단 파괴나 부차 열화를 일으키지 않고 부재단 힌지의 에너지 흡수 능력을 확보할 수 있는 풍부한 인성을 가지고 있어야 한다. 따라서 접합부의 기본 설계는 패널인접부재의 휨 항복 선행이 보장되도록 해야 하며, 또 부재 항복 후 정·부 반복 재하에 의해 현저한 강성저하나 철근의 미끄러짐이 발생하지 않도록 설계해야 한다. 이론적인 접합부의 전단저항기구에 대한 연구는 Park와 Paulay¹⁾의 전단저항기구를 비롯해서 후지(藤井)²⁾에 의한 이론적인 전단저항기구의 모델이 제안되고 있지만 각각의 요인들을 정량적으로 평가하기에는 부족하다. 국내에서는 RC구조물에 있어서 보-기둥접합부의 전단내력에 관한 연구가 매우 미비한 상태이다. 일본 건축학회는 1988년 이후 RC조 건축물의 극한강도형 내진설계

지침안³⁾에 고강도 콘크리트를 사용한 보-기둥 외부 접합부의 전단 및 정착내력에 관한 연구가 현재까지 활발히 진행되고 있다.

미국에서는 1985년에 ACI-ASCE 352-85⁴⁾에 보-기둥 접합부의 전단내력설계식을 규정했다. 현재 규정된 ACI식과 AIJ식은 콘크리트 압축강도만으로 접합부의 전단내력을 산정하고 있으며, 접합부의 전단보강근이 전단내력에 미치는 영향은 크게 고려되어 있지 않다. 다만, AIJ식에서는 접합부의 전단보강근량을 0.2% 이상으로 배근하도록 규정하고 있다. 철근콘크리트 보-기둥 외부 접합부의 전단내력 및 인성에 영향을 주는 요인들은 콘크리트 압축강도(f_{ck}), 접합부의 전단보강근비(ρ_{jw}), 접합부의 전단보강근 항복강도(f_y), 축력비(N/bdf_{ck}), cM_{by}/cM_y (기둥항복모멘트와 보주근 항복시 기둥휨모멘트비), 기둥철근의 배근방법 등이 있다.

본 연구에서는 콘크리트 압축강도, 접합부의 전단보강근, 전단보강근의 항복강도, 기둥축력비(N/bdf_{ck})를 변화시켜 이 변수들이 철근콘크리트 보-기둥 외부접합부의 전단내력에 미치는 영향을 실험적으로 연구한다.

* Corresponding author

E-mail : pck0909@hanmail.net

©2005 by Korea Concrete Institute

2. 접합부의 실험 개요

2.1 실험 계획

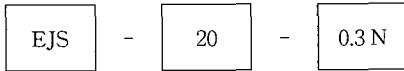
실험변수는 콘크리트 압축강도를 20 MPa, 40 MPa, 판넬 존의 전단보강근 항복강도를 240, 382, 780 (MPa), cM_{by}/cM_y 를 0.472~1.51, 기동축력비(N/bdf_{ck})를 0.01, 0.1, 0.2로 하였다. 실험 계획은 A, B series 2종류로 하였다.

A series 시험체에서 보와 기둥의 주근량은 ACI-ASCE 352-85의 보-기둥외부접합부 전단내력설계식 $V=0.027\gamma\sqrt{f_{ck}}\cdot K_j\cdot D_c$ 를 토대로 해서 보 및 기둥이 휨항복시 접합부에 입력되는 전단력이 상기의 jA_{ACI} 식을 상회하도록 계획하였다. 또한 접합부의 정착내력은 모리타⁵⁾ 등에 의해서 제안한 90°구부림 정착내력 산정식에 의해 구한 정착력을 상회하도록 보주근의 수평투영길이와 콘크리트 피복 두께 등을 결정하였다.

B series 시험체에서는 보의 인장철근비를 1.0으로 하여 보 항복 선행형으로 계획하였다. 접합부의 전단보강근비는 0.35, 0.7%로 기동축력비(N/bdf_{ck})는 0.01, 0.1, 0.2로 변화시켰다. 주근 및 전단보강근의 변형도를 측정하기 위해서 각 시험체별로 와이어 스트레인 게이지를 철근에 부착시켰다.

Fig. 1은 시험체의 형상 및 치수를 A, B series로 나타냈다.

* A series 시험체명



EJS

E : Exterior, J : Beam-Column Joint, S : Shear

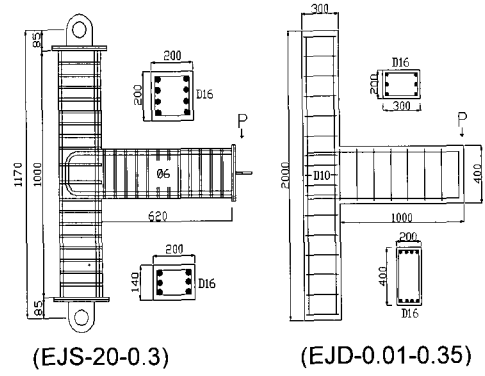


Fig. 1 Shape and size of specimens

20

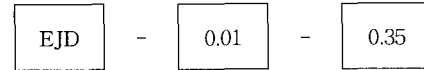
콘크리트 압축강도(MPa)

0.3

접합부의 전단보강근비

N = 보통강도 전단보강근비, H = 고강도 전단보강근비

* B series 시험체명



EJD

E : Exterior, J : Beam-Column Joint, D : Ductility

0.01

축력비(N/bdf_{ck})

0.35

접합부의 전단보강근비

Table 1은 A 및 B series 시험체의 일람표를 나타냈다. Tables 2와 3은 A 및 B series 시험체의 역학적 성질을 나타냈다.

Table 1 List of the specimens

| Specimen | Beam reinforcement ratio(%) | Column hoop bar ratio(%) | *ρ _{jw} | *ρ _h | f _y (MPa) | (ρ _{jw} +ρ _h)× f _y (MPa) | (N/bdf _{ck}) |
|---------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------------|--|------------------------|
| EJS-20-0 | 2.39 | 2.7 | - | - | - | - | - |
| EJS-20-0.3N | 2.39 | 2.7 | 0.003 | - | 389 | 1.17 | - |
| EJS-20-0.6N | 2.39 | 2.7 | 0.006 | - | 389 | 2.34 | - |
| EJS-20-0.6N' | 2.39 | 3.02 | 0.003 | 0.0041 | 389 428 | 2.93 | - |
| EJS-40-0 | 2.39 | 2.7 | - | - | - | - | - |
| EJS-40-0.3N | 2.39 | 2.7 | 0.003 | - | 389 | 1.17 | - |
| EJS-40-0.6N | 2.39 | 2.7 | 0.006 | - | 389 | 2.34 | - |
| EJS-40-0.6N' | 2.39 | 3.02 | 0.003 | 0.0041 | 389 428 | 2.93 | - |
| EJS-40-0.6H | 3.45 | 2.7 | 0.006 | - | 795 | 4.77 | - |
| EJS-40-1.2H | 3.45 | 2.7 | 0.012 | - | 795 | 9.55 | - |
| EJD-0.01-0.35 | 1.09 | 1.99 | 0.0035 | - | 245 | 0.86 | 0.01 |
| EJD-0.01-0.7 | 1.09 | 1.99 | 0.007 | - | 245 | 1.71 | 0.01 |
| EJD-0.1-0.35 | 1.09 | 1.99 | 0.0035 | - | 245 | 0.86 | 0.1 |
| EJD-0.2-0.35 | 1.09 | 1.99 | 0.0035 | - | 245 | 0.86 | 0.2 |

*ρ_{jw} = The ratio of horizontal shear reinforce in joint (%), *ρ_h = The ratio of vertical shear reinforce in joint (%)

Table 2 Mechanical properties of A series

| Specimen | Moment capacity(t · cm) | | | | Shear stress in joint(MPa) | | Anchorage capacity in joint | |
|--------------|-------------------------|--------|-----------|----------------|----------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------|
| | cM_y | bM_y | cM_{by} | cM_{by}/cM_y | $\tau_{uACI}^{1)}$ | $\tau_{uAU}^{2)}$ | $T_{cal}^{3)}$ (t) | T_y/T_{cal} |
| EJS-20-0 | 383.8 | 422.9 | 201.3 | 0.524 | 6.09 | 5.40 | 35.31 | 0.747 |
| EJS-20-0.3N | 383.8 | 422.9 | 201.3 | 0.524 | 6.09 | 5.40 | 40.32 | 0.655 |
| EJS-20-0.6N | 383.8 | 422.9 | 201.3 | 0.524 | 5.77 | 4.85 | 42.93 | 0.615 |
| EJS-20-0.6N' | 426.3 | 422.9 | 201.3 | 0.472 | 5.77 | 4.85 | 38.19 | 0.691 |
| EJS-40-0 | 383.8 | 422.9 | 201.3 | 0.524 | 7.60 | 8.41 | 44.06 | 0.599 |
| EJS-40-0.3N | 383.8 | 422.9 | 201.3 | 0.524 | 7.60 | 8.41 | 50.30 | 0.524 |
| EJS-40-0.6N | 383.8 | 422.9 | 201.3 | 0.524 | 7.86 | 9.00 | 58.51 | 0.451 |
| EJS-40-0.6N' | 426.3 | 422.9 | 201.3 | 0.472 | 7.86 | 9.00 | 52.05 | 0.527 |
| EJS-40-0.6H | 383.8 | 586.2 | 279.2 | 0.727 | 7.73 | 8.71 | 106.98 | 0.342 |
| EJS-40-1.2H | 383.8 | 586.2 | 279.2 | 0.727 | 7.73 | 8.71 | 132.06 | 0.277 |

$cM_y = 0.8\alpha_f f_y D + 0.5ND(1-N/bDf_{ck})$, $bM_y = 0.9\alpha_f f_y D$

$^1) \tau_{uACI} = 0.265\gamma \sqrt{f_{ck}} \cdot b_j \cdot D_c$, $\gamma = 12$, $D_c = 1.136D_j$, $^2) \tau_{uAU} = 0.194f_{ck} \cdot b_j \cdot D_j$, $^3) \tau_{uAU} = 0.194f_{ck}$

$^3) T_{cal}(Morita) = W \cdot d_b \cdot f_{bear} \cdot \sin \theta \cdot h/h-j$, $W = B \cdot \sqrt{2} \cdot \gamma \cos(\pi/4 - \theta)$, $f_{bear} = \alpha \cdot \gamma \sqrt{f_{ck}}$, $\beta = (\gamma/3d_b)^{0.84}$, $\gamma = 1 + 30A_s/11.S$

Table 3 Mechanical properties of B series

| Specimen | f_{ck} (MPa) | Moment capacity(t · cm) | | | | Shear stress in joint(MPa) | Anchorage capacity in joint | |
|---------------|-------------------|-------------------------|---------|-----------|----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|
| | | cM_y | bM_y | cM_{by} | cM_{by}/cM_y | | T_{cal} (t) | T_{by}/T_{cal} |
| EJD-0.01-0.35 | 25 | 649.4 | 1135.98 | 498.96 | 0.768 | 5.64 | 32.50 | 1.07 |
| EJD-0.01-0.7 | 25 | 649.4 | 1135.89 | 498.96 | 0.768 | 5.64 | 35.36 | 0.98 |
| EJD-0.1-0.35 | 25 | 826.01 | 1135.89 | 498.96 | 0.604 | 5.64 | 32.50 | 1.07 |
| EJD-0.2-0.35 | 25 | 983.36 | 1135.89 | 498.96 | 0.507 | 5.64 | 32.50 | 1.07 |

2.2 사용 재료

2.2.1 콘크리트

콘크리트 배합은 0.5m³ 용량의 강제식 믹서(rpm60)를 사용하였으며, 콘크리트 압축강도를 20, 40MPa로 하였다. 콘크리트 압축강도가 40MPa인 경우에는 고성능 감수제 MT150을 시멘트량의 0.2~0.3% 정도 사용하였다. 본 실험에 사용한 시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용했으며, 세골재는 조립률이 2.68이고, 조골재는 최대치수가 10mm인 쇄석을 각각 사용 하였다.

Table 4는 콘크리트 배합표를 나타냈고, Table 5는 콘크리트 실린더 시험 결과를 나타낸다.

Table 4 Mixture proportions of concrete

| W/C (%) | S/A (%) | Concrete mix(kgf/m ³) | | | | AE water reducer | Slump (cm) |
|---------|---------|-----------------------------------|-----|-----|------|------------------|------------|
| | | C | W | S | A | | |
| 60 | 45 | 340 | 204 | 809 | 988 | - | 18 |
| 38 | 40 | 500 | 190 | 680 | 1020 | C×0.2~0.3% | 17 |

Table 5 Mechanical properties of concrete

| Type | Compressive strength(MPa) | Tensile strength(MPa) | E_c (MPa) |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| EJS-20-0, 0.3N | 27 | 2.7 | 2.51×10^4 |
| EJS-20-0.6N, 0.6N' | 24 | 2.5 | 2.46×10^4 |
| EJS-40-0, 0.3N | 42 | 3.4 | 3.0×10^4 |
| EJS-40-0.6N, 0.6N' | 45 | 3.6 | 3.1×10^4 |
| EJS-40-0.6H, 1.2H | 44 | 3.5 | 3.1×10^4 |

2.2.2 철근

A series 시험체는 D16과 D19를 보주근으로 사용했으며, 기둥주근은 D6, D10, D16을 사용하였다. 접합부의 전단보강근은 D5.5와 고강도 원형철근인 Ø6을 사용하여 접합부의 전단보강근 구속력을 변화시켰다. B series 시험체는 보주근으로 D16, D22를 사용하였고, 기둥철근은 D16만을 사용하였다. 접합부 및 보기둥의 전단보강근은 D10을 사용하였다. Table 6은 철근의 인장시험 결과를 나타낸다.

2.3 가력방법

A series 시험체의 가력 방법은 Fig. 2에 나타난 것처럼 좌우방향으로 오일잭을 사용해서 반복재하 하였다. 우측으로 가력시 정(+), 좌측으로 가력시 부(-)로 하였다. 하중은 오일펌프에 연결된 유압게이지를 정정변형도 측정기 TDS-301에 연결시켜 하중을 측정하였다. 또한 부재의 처짐을 측정하기 위해 설치한 전기식 변위계와 주근 및 전

Table 6 Mechanical properties of reinforcing bar

| Bar-size | f_y (MPa) | ϵ_y (μ) | f_t (MPa) |
|----------|-------------|------------------------|-------------|
| D19 | 434 | 2050 | 645 |
| D16 | 451 | 2036 | 651 |
| D10 | 459 | 2210 | 687 |
| D6 | 428 | 2120 | 666 |
| Ø6 | 796 | 3850 | 1000 |
| D5.5 | 390 | 2200 | 573 |

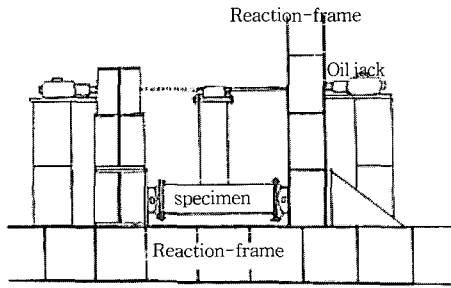


Fig. 2 Test set-up of A series

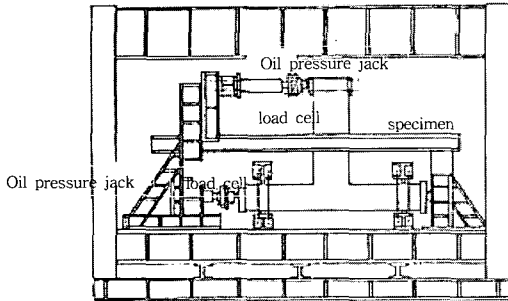


Fig. 3 Test set-up of B series

단보강근의 변형도를 측정하기 위해 철근에 부착한 와이어 스트레인 게이지를 TDS-301에 연결시켜 매 재하시마다 처짐과 변형도를 측정하였다.

B series 시험체에 있어서 가력은 50t 용량의 유압잭을 사용하고, 하중은 유압잭 선단에 부착시킨 로드셀과 처짐은 보의 가력 부분에 설치한 전기식 변위계를 X-Y 계측기에 연결시켜 하중과 변위를 측정하였다.

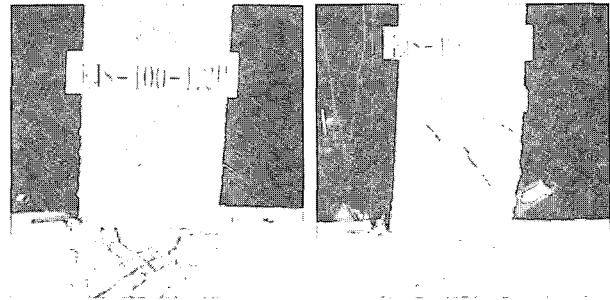
Fig. 3은 B series 시험체의 가력 장치를 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 접합부의 전단응력과 변위각

A series에서는 접합부의 전단보강근비가 0.6%이고, 콘크리트 압축강도가 40 MPa인 EJS-40-0.6N과 EJS-40-0.6N'는 보의 주근이 항복강도에 도달한 후 접합부에서 전단 파괴하였지만, 그 외 시험체는 보의 주근이 항복강도에 도달하기 전에 접합부에서 전단파괴 하였다.

B series에서 시험체는 모두 보주근이 항복강도에 도달한 후 축력비가 0.01인 시험체는 정착파괴 하였고, 축력비가 0.1, 0.2인 시험체는 큰 유연성을 보인 후에 휨 파괴 하였다. 접합부의 전단균열은 크게 2가지 형태로 나타났다. 압축철근을 90° 구부린 정착부분과 보의 인장철근 수평부분에서 발생하는 코너 균열 CSC(Corner Shear Crack)과 인장철근을 90° 구부린 부위에서부터 압축지역을 약 45° 경사지게 대각선으로 발생하는 접합부 사인장균열 DSC(Diagonal tension Shear Crack)으로 나타났다. 접합부의



A series EJS-40-1.2H B series EJS-40-0.6N'

Fig. 4 Failure cracks of beam-column connections

전단보강근량이 클수록 균열의 분산이 크며, 접합부에 전단보강근량이 없는 경우에는 접합부에서 전단초기균열이 발생한 후 균열 폭이 급격히 증가하면서 전단극한내력에 도달하였다. Fig. 4는 시험체가 최대내력에 도달한 후에 접합부의 균열 상태를 나타내고 있다.

A series 시험체에 있어서 접합부의 전단응력과 변위각의 관계를 살펴보면, 최대 내력시 싸이클 수는 시험체의 접합부 보강근량에 따라 다르다. 접합부를 전단보강하지 않은 시험체는 3싸이클에서 접합부가 최대내력에 도달했지만, 보강근량이 많은 경우에는 7싸이클까지 도달한 후에 접합부에서 전단파괴 하였다. 시험체의 초기강성은 콘크리트 압축강도가 클수록 크게 나타났으며 접합부의 전단보강근 구속력에 따른 차이는 보이지 않았다.

그러나 보-기둥 외부 접합부가 최대내력에 도달한 후에 접합부의 전단보강근 구속력이 클수록 내력저하는 완만하게 나타났다. Tables 7과 8은 A, B series 시험체의 실험결과 일람표를 나타냈으며, 실험값과 제안식에 의한 계산값과도 비교하여 각각 나타났다. 접합부의 전단내력은 콘크리트 압축강도가 증가할수록 콘크리트 압축강도에 직접 비례하지 않고 콘크리트 압축강도의 제곱근에 비례하는 것으로 나타났으며, 접합부의 전단보강근 구속력(접합부의 전단보강근비 × 항복강도)이 증가할수록 접합부의 전단내력은 크게 나타났다. 그러나 보가 휨 항복한 후 전단파괴한 시험체의 접합부 전단내력은 접합부의 전단보강근비가 1/2 정도로 작고 다른 조건이 동일한 시험체 EJS-40-0.3과 거의 같은 접합부의 전단내력을 보이고 있다.

B series 시험체의 실험결과를 살펴보면 EJD series는 모두 보의 주근이 휨 항복한 후에 파괴 됐으며, 축력이 없는 EJD-0.01-0.35와 EJD-0.01-0.7 시험체는 보의 하중이 약 7t 정도에서 접합부에 초기 전단균열이 진전되어 보 주근이 항복한 직후에 정착부에서 피복 콘크리트가 떨어져 나와 정착파괴 하였다. EJD-0.01-0.35와 EJD-0.2-0.35 시험체는 축하중으로 인하여 축력이 없는 시험체 보다 높은 하중에서 접합부에 초기전단균열이 발생하였으며, 축력으로 인한 판넬존으로 균열의 확산이 둔화됐다.

Table 7 List of test results(A series)

| Specimen | | Shear crack stress in joint | | | Joint ultimate shear strength | | | | | | Failure mode | |
|--------------|---|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|-----------------------------|
| | | $j_c U_{exp}$ (MPa) | $j_c U_{cal}^{1)}$ (MPa) | $j_c U_{exp}/j_c U_{cal}$ | $j_u Q_{exp}$ (t) | $c_u Q_{exp}$ (t) | $j_u U_{exp}^{2)}$ (MPa) | $j_u U_{exp}/j_u U_{ACI}$ | $j_u U_{exp}/j_u U_{AIJ}$ | $j_u U_{exp}/f_{ck}$ | | $j_u U_{exp}/\sqrt{f_{ck}}$ |
| EJS-20-0 | + | 2.88 | 2.77 | 1.05 | 17.09 | 3.13 | 6.19 | 0.99 | 1.13 | 0.129 | 3.612 | JS |
| | - | 2.93 | | | | 3.04 | 6.09 | | | | | |
| EJS-20-0.3N | + | 3.02 | 2.77 | 1.03 | 19.02 | 3.52 | 6.95 | 1.11 | 1.25 | 0.243 | 4.020 | JS |
| | - | 2.73 | | | | 3.35 | 6.60 | | | | | |
| EJS-20-0.6N | + | 2.45 | 2.56 | 0.96 | 19.84 | 3.06 | 7.11 | 1.22 | 1.46 | 0.283 | 4.427 | JS |
| | - | 2.47 | | | | 3.56 | 7.03 | | | | | |
| EJS-20-0.6N' | + | 2.88 | 2.56 | 1.03 | 19.40 | 3.55 | 7.00 | 1.20 | 1.42 | 0.277 | 4.329 | JS |
| | - | 2.41 | | | | 3.46 | 6.82 | | | | | |
| EJS-40-0 | + | 3.98 | 3.50 | 1.09 | 21.79 | 3.98 | 7.85 | 1.02 | 0.92 | 0.179 | 3.692 | JS |
| | - | 3.66 | | | | 3.89 | 7.68 | | | | | |
| EJS-40-0.3N | + | 4.11 | 3.50 | 1.12 | 23.62 | 4.30 | 8.49 | 1.11 | 1.00 | 0.194 | 4.001 | JS |
| | - | 3.74 | | | | 4.23 | 8.34 | | | | | |
| EJS-40-0.6N | + | 4.20 | 3.69 | 1.17 | 24.39 | 4.41 | 8.71 | 1.10 | 0.96 | 0.187 | 3.993 | BY ↓ JS |
| | - | 4.44 | | | | 4.39 | 8.67 | | | | | |
| EJS-40-0.6N' | + | 3.76 | 3.69 | 0.96 | 24.07 | 4.36 | 8.61 | 1.09 | 0.95 | 0.185 | 3.940 | BY ↓ JS |
| | - | 3.32 | | | | 4.33 | 8.53 | | | | | |
| EJS-40-0.6H | + | 3.67 | 3.55 | 1.12 | 29.10 | 5.29 | 10.43 | 1.34 | 1.99 | 0.231 | 4.845 | JS |
| | - | 4.31 | | | | 5.22 | 10.30 | | | | | |
| EJS-40-1.2H | + | 3.98 | 3.55 | 1.10 | 31.36 | 5.84 | 11.52 | 1.45 | 1.28 | 0.249 | 5.221 | JS |
| | - | 3.80 | | | | 5.48 | 10.82 | | | | | |

$$1) j_c U_{cal} = \sigma_t \sqrt{1 + \sigma_s / \sigma_t} \quad 2) j_c U_{exp} = \frac{j_u Q_{exp}}{b_j \cdot D_j}$$

Table 8 List of test results(B series)

| Specimen | Shear crack stress in beam | | | Shear crack stress in beam | | $exp P_y$ (t) | $exp P_u$ (t) | $j_u U_{exp}^{4)}$ (MPa) |
|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|
| | $exp U_c$ (MPa) | $exp U_c / Mathey^{1)}$ | $exp U_c / Zsutty^{2)}$ | $j_c U_{exp}$ (MPa) | $j_c U_{exp} / j_c U_{cal}^{3)}$ | | | |
| EJD-0.01-0.35 | 0.99 | 1.15 | 0.93 | 3.05 | 1.18 | 12.215 | 12.505 | 5.01 |
| EJD-0.01-0.7 | 1.09 | 1.27 | 1.03 | 2.81 | 1.09 | 12.801 | 13.380 | 5.36 |
| EJD-0.1-0.35 | 1.10 | 1.28 | 1.04 | 3.57 | 1.03 | 12.935 | 13.945 | 5.59 |
| EJD-0.2-0.35 | 1.11 | 1.30 | 1.30 | 4.62 | 1.08 | 12.350 | 13.982 | 5.60 |

$$1) Mathery, \quad 2) Zsutty, \quad 3) j_c U_{cal} = \sigma_t \sqrt{1 + \sigma_0 / \sigma_t}, \quad 4) j_c U_{exp} = \frac{Q_u}{b_j \cdot 1_{dh}}$$

$$5) : (U_c = 0.8 \sqrt{f_{ck} (d/a)} + 2.8 \rho_v \times 0.102, \quad 6) : U_c = (10.02 (f_{ck} \rho_v d/a)^{1/3}) \times 0.102$$

3.2 접합부의 전단보강근 변형도

접합부의 전단보강근 변형도는 접합부에 초기전단균열이 발생하기 이전에는 보강근 위치에 관계없이 약 250 μ 정도의 변형도 분포를 보이고 있지만 접합부에 초기전단균열이 발생한 직후부터 전단보강근의 변형도가 급격히 증가하기 시작해서 전단보강근비가 0.3%인 경우에는 +2 사이클에서 전단보강근이 항복강도에 도달했으며, 보강근비가 0.6%인 경우에는 +3사이클에서 변형도에 도달하였다. 접합부의 전단보강근 구속력이 약 46MPa 정도로 높은 EJS-40-0.6H와 EJS-40-1.2H는 접합부의 전단보강근이 항복변형도에 도달하기 이전에 판넬존에서 전단과괴되었다.

3.3 접합부에서 주근 부착 성장

Fig. 5는 A series 시험체에 있어서 부재각과 주근으로부터 전달되는 접합부 입력 전단력 T_1 과 보주근이 접합부 내에 직선으로 정착된 부분에서 전달되는 부착력과의 비율을 나타낸 것이다. 부착 부담률 K_A 는 초기재하 시 즉 부재각이 2×10^{-3} (rad) 이하에서는 거의 80% 이상의 부담률을 보주근의 수평 부분에서 부담하지만 부재각이 1×10^{-2} (rad) 정도에서는 수평정착 부분에서의 부착 부담률이 50% 이하로 급격히 감소하고 있다.

Fig. 6은 보주근의 직선 정착부 끝부분에서 전달되는 인장력 T_2 를 90° 구부린 정착 부분에서 전달되는 T_3 를 제한값을 다시 T_1 으로 나누어 90°로 구부린 정착부위가 부담하는 부착력과 부재각과의 관계를 나타냈다. 부재각이

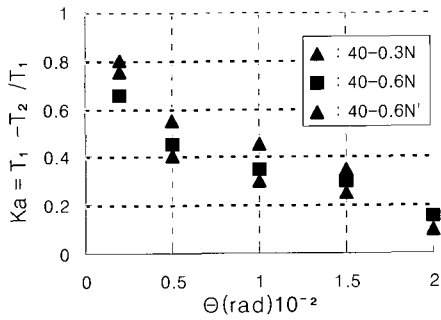


Fig. 5 Relation with bond charge rate KA and drift angle

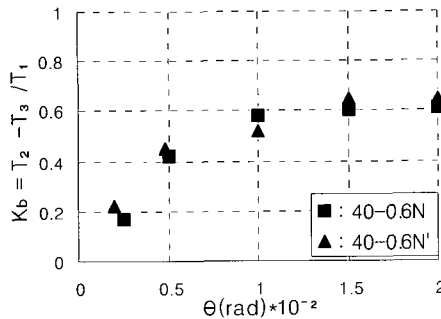


Fig. 6 Relation with bond charge rate KA and drift angle

2×10^{-3} (rad)에서는 90° 구부린 정착부위에서 부담하는 부착력은 20% 이하로 매우 작지만 하중이 증가함으로써 부착 부담률은 급격히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 즉 초기하중 시에는 주근의 직선 정착 부분에서 거의 부착력을 부담하지만 계속적인 하중 증가로 인하여 균열 분포가 넓어지고 균열폭이 커짐에 따라 부착력 부담은 직선 정착 부분에서 90° 구부린 곡선 정착 부분으로 이전되는 것을 알 수 있다.

3.4 접합부의 초기전단균열응력

Fig. 7은 A series 시험체에 있어서 접합부의 초기전단 균열응력과 계산값의 관계를 나타낸 것이다. 접합부의 초기전단균열응력은 접합부의 전단보강근량에 거의 영향을 받고 있지 않으며 실험값을 계산값으로 나눈 비율은 0.96 ~ 1.12로 비교적 잘 일치하고 있다.

Fig. 8은 B series 시험체에 있어서 접합부의 초기전단 균열응력과 계산치의 관계를 축력비(N/bdf_{ck})별로 나타낸 것이다. 접합부의 초기전단균열응력은 축력이 증가함에 따라 증가하고 있으며 축력이 없는 경우 실험치를 계산치로 나눈 평균값은 1.113, 축력비가 0.1인 경우 1.017, 축력비가 0.2인 경우 1.037로 잘 일치하고 있다.

3.5 접합부의 전단극한강도

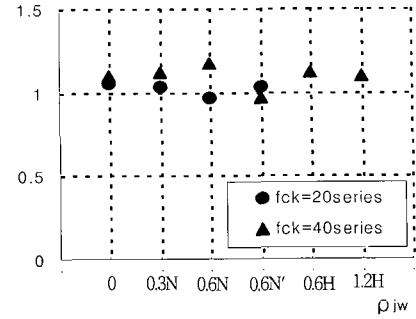


Fig. 7 Comparison of initial shear cracking stress of connections and computing value (A series)

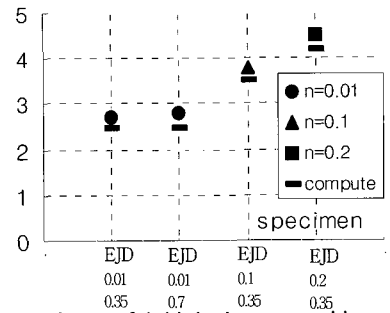


Fig. 8 Comparison of initial shear cracking stress of connections and computing value (B series)

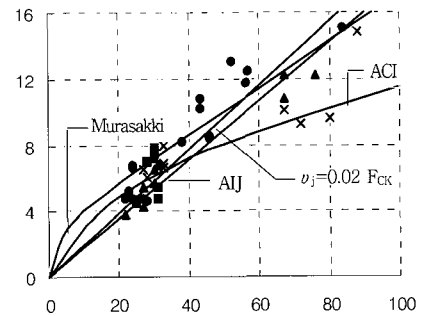


Fig. 9 Relationship with limit shear strength of connections and compressive strength

Fig. 9는 접합부의 전단극한강도와 콘크리트 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서는 본 실험 자료 외에도 기존 실험 자료⁸⁻¹⁰⁾를 포함시켜 나타냈으며, 본 실험 자료는 ●로 표시한 것이다. 또한 ACI식과 AIJ식, 무라사끼(紫田)식들도 함께 작성해서 실험값과 비교 하였다. 그림에서 접합부의 전단강도 실험치는 ACI식 보다는 크고 무라사끼(紫田)식¹¹⁾보다는 작게 나타내고 있다. 접합부의 전단극한강도 실험값은 콘크리트 압축강도의 제곱근에 직접비례해서 증가하는 것으로 나타났다. 기존의 접합부 전단 강도식 들은 콘크리트 압축강도만으로 접합부의 전단내력을 평가하고 있지만, 접합부의 전단내력은 접합부의 전단보강근비와 항복강도에 따라 차이를 보이고 있기 때문에, 접합부의 전단내력을 평가하는데 있어서 접합부의 전단보강근

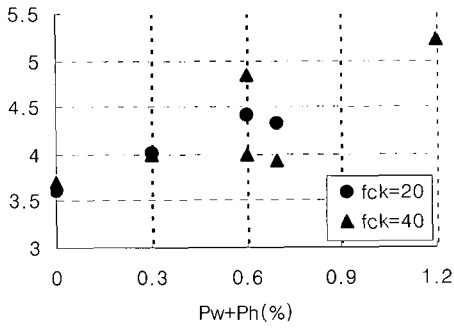


Fig. 10 Relationship with $j_u v_u / \sqrt{f_{ck}}$ and connection stirrup ratio

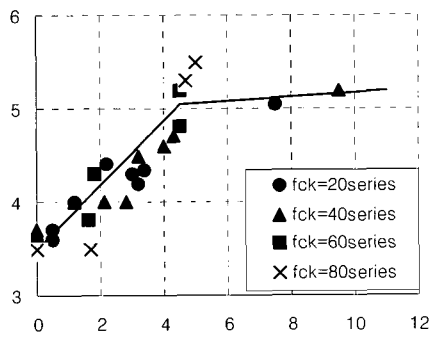


Fig. 11 Confinement relationships with $j_u v_{exp} / \sqrt{f_{ck}}$ and connection stirrup

비와 항복강도의 영향을 평가해야 할 것으로 사료된다.

Fig. 10은 접합부의 전단극한강도를 콘크리트 압축강도의 제곱근으로 나누어 무차원 시킨 값과 접합부의 전단보강근비의 관계를 콘크리트 압축강도별로 나타낸 것이다. (H)는 고강도 전단보강근을 사용한 시험체이며, EJS-40-0.6N와 EJS-400-0.6N'는 주근이 항복한 후에 접합부에서 전단파괴 하였다. EJS-40-0.6N와 EJS-40-0.6 N' 시험체는 보가 휨 항복하기 이전에 접합부에서 전단파괴가 선행되도록 한다면 접합부의 전단극한내력은 상승할 것으로 사료된다. 접합부에 있어서 고강도 전단보강근을 사용한 시험체의 전단강도는 보통강도의 전단보강근을 사용한 시험체의 전단강도에 비해 크게 상회하고 있다.

Fig. 11은 접합부의 전단극한강도를 콘크리트 압축강도의 제곱근으로 나누어 무차원 시킨 값과 접합부의 전단보강근 구속력의 관계를 압축강도별로 나타낸 것이다. $j_u v_{exp} / \sqrt{f_{ck}}$ 는 접합부의 전단보강근 구속력이 약 46MPa 정도까지는 거의 직선적으로 비례해서 증가하지만 접합부의 전단보강근 구속력이 46MPa 이상에서는 $j_u v_{exp} / \sqrt{f_{ck}}$ 의 기울기가 매우 완만해지는 것을 알 수 있다.

접합부에서 전단내력은 전단보강근 구속력이 클수록 큰 값을 나타내고 있다. 그러나 보강효과 측면에서 살펴보면 접합부의 전단보강근 구속력이 적은 범위에서는 접합부의

전단보강근이 항복강도에 도달한 후에 접합부가 전단파괴되어 접합부의 보강근 구속력 효과가 크지만, 접합부의 전단보강근 구속력이 약 46MPa 이상으로 전단보강근을 충분히 또는 고강도 전단보강근으로 배근한 경우에는 접합부의 보강근이 항복강도에 도달하기 전에 전단 파괴되어 접합부 전단보강근의 구속력효과가 매우 완만해지는 것을 알 수 있다. 그림에 나타난 접합부의 전단극한강도 실험값을 회귀 분석하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$j_u v_u / \sqrt{f_{ck}} = 2.936 \times 10^{-3} \rho_{jw} \cdot f_y + 0.365 \quad (1)$$

$$0 \leq \rho_{jw} \cdot f_y \leq 46 \text{ MPa}$$

$$j_u v_u / \sqrt{f_{ck}} = 3.886 \times 10^{-4} \rho_{jw} \cdot f_y + 0.494 \quad (2)$$

$$46 \text{ MPa} \leq \rho_{jw} \cdot f_y \leq 9.7 \text{ MPa}$$

4. 결 론

본 연구는 콘크리트 압축강도를 20, 40 MPa 접합부의 전단보강근비를 0~1.2% 접합부에 있어서 전단보강근의 항복강도를 244, 390, 795 MPa 축력비를 0.01, 0.1, 0.2의 범위에서 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 전단거동에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보-기둥 외부접합부에서 보통강도 전단보강근을 사용하고, 전단보강근비를 0~0.6%로 배근한 경우에는 전단보강근 이 降伏强度에 도달한 후에 전단파괴 하였지만, 고강도 전단보강근을 0.6% 이상으로 배근한 경우에는 보강근이 항복강도에 도달하기 전에 전단파괴 하였다.
- 2) 보주근의 직선정착부분에서 정착 부담율은 부재각이 2×10^{-3} (rad)이하 에서는 거의 80% 이상을 부담하지만, 그 이후에서의 부착력 부담은 직선정착부분에서 90°로 구부린 곡선 정착부분으로 이전된다.
- 3) 접합부의 전단내력은 콘크리트 압축강도의 제곱근에 비례해서 증가하였으며, 접합부에서 전단보강근비가 0.6%로 동일한 경우의 전단극한강도는 고강도 전단보강근을 사용한 시험체가 보통강도 전단보강근을 사용한 시험체보다 약 20% 정도 크게 나타났다.
- 4) 철근콘크리트 보-기둥 외부접합부에 있어서 전단보강근 구속력이 약 46MPa 이하인 범위에서는 접합부의 전단보강근이 항복강도에 도달한 후 접합부가 전단파괴 되었으며, 다음과 같은 식을 얻었다.

$$j_u v_u = (2.936 \times 10^{-3} \rho_{jw} \cdot f_y + 0.365) \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$0 \leq \rho_{jw} \cdot f_y \leq 4.59 \text{ MPa}$$

- 5) 접합부의 전단보강근 구속력이 약 46 MPa 이상으로 접합부의 전단보강근 구속력을 높게 한 경우에는 접합부의 전단보강근이 항복강도에 도달하기 이전에 전단파괴 되었으며 다음과 같은 식을 얻었다.

$${}_j v_u = (3.886 \times 10^{-4} + 0.494) \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$4.6 \text{ MPa} \leq \rho_{jw} \cdot f_y \leq 9.7 \text{ MPa}$$

참고문헌

1. Paulay, J and Park, R, "Reinforced Concrete Beam-Column Joint under Seismic Action", *Journal of A.C.I. Proceeding*, Vol.75, No.11, Nov. 1978, pp.45~52.
2. 森田司郎 外, 外短柱・梁接合部の折り曲定着に関する研究, 日本建築學會大會, 昭和 1958年 9月, pp.1821~1824.
3. 日本建築學會, 鐵筋콘크리트造構造物の終局強度型耐震設計指針(案), 同解説, 1998, pp.155~173.
4. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendation for design of beam-column Joints in monolithic reinforced concrete structure", *ACI Journal*, Vol.82, No.5, May 1985, pp.212~220.
5. 紫田拓二, 高強度 콘크리트を用いた住・梁接合部の剪斷破壊性状について, 콘크리트 工學年次論文報告集, 1990. 6 pp.639~644.
6. Mathey, R. C., *Shear Strength of Beam without Web Reinforcement Containing Deformed Bars of Different Yield Strengths*, ACI, Feb. 1963. pp.128~137.
7. Zutty, T., *Shear Strength Prediction for Separate Categories of Simple Beam Tests*, ACI, Feb. 1971. pp.168~175.
8. 角徹三 外, RC柱・はり外部 接合部の耐力機械構に関する實驗研究, 日本建築學會大會, 昭和 1962年 10月, pp.649~652.
9. 大西精治 外, "はり・柱外部接合部の耐力に関する實驗研究", 콘크리트 工學年次論文報告集, Vol.12, No.21 1990, pp.681~684.
10. 角 徹三 外, "高強度콘크리트を用た鐵筋콘크리트住・はり外部接合部のせん斷抵抗性状に関する研究", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.13, No.2, 1991, pp.469~474.
11. 紫田拓二 外, 高強度材料を用いにRC外部柱接合部のせん斷抵抗性状, 콘크리트 工學年次論文報告集, 1992, pp.391~396.

요 약

고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 건축물의 실현을 위해서는 배합, 양생방법 등의 기술개발과 고강도 콘크리트의 각종 물성에 대한 연구, 고강도 철근콘크리트 부재의 구조적 거동에 관한 기술적 연구 등을 토대로 고장력 철근을 사용한 고강도 철근콘크리트 구조물의 구조 설계법 개발이 선행되어야 한다. 본 연구는 고강도 콘크리트 부재의 내력 및 연성에 미치는 영향을 분석하여, 고강도 재료를 사용한 철근콘크리트 부재설계에 필요한 기초 자료를 제시하는데 목적이 있다. 철근콘크리트 보·기둥 외부 접합부의 전단성상을 파악하기 위하여 14개의 시험체를 제작하여, 반복가력과 한 방향 단조가력방법으로 접합부의 전단실험을 실시하였다. 판넬존의 전단보강근 구속력($\rho_{jw} \cdot f_y$)이 약 4.6 MPa 정도까지는 접합부의 전단보강근이 항복강도에 도달한 후 판넬존이 전단파괴 되었고, 이 범위에서 접합부의 전단극한강도 제안식은 다음과 같다.

$${}_j v_u = (2.936 \times 10^{-3} \rho_{jw} \cdot f_y + 0.365) \sqrt{f_{ck}}$$

핵심용어 : 전단응력, 고강도 철근콘크리트, 보-기둥 접합부