
축력이 철근콘크리트 휨부재의 거동과 평균 균열간격에 미치는 영향

The Effect of Axial Force on the Behavior and Average Crack Spacing
of Reinforced Concrete Flexural Member



양은익*

Yang, Eun-Ik



김진근**

Kim, Jin-Keun



이성태***

Yi, Seong-Tae

森田司郎****

Morita, Shiro

ABSTRACT

This study was performed to verify the effect of axial force due to restraint on the mechanical behavior and the average crack spacing of the reinforced concrete flexural members. For this purpose, the flexural strength and rigidity were experimentally investigated under axially restrained and unrestrained conditions. Furthermore, the average crack spacing was also checked for the axially restrained condition.

The test results showed that the flexural strength and rigidity of the restrained beam were higher than those of the unrestrained beam. The major factors affecting on the average crack spacing were steel stress, axial force, circumference of reinforcing bar and effective tension area of concrete. However, the concrete compressive strength was minor effect. Including these factors, a prediction equation for the average crack spacing of the restrained member was proposed.

Keywords : axial force, restrained condition, average crack spacing, reinforced concrete flexural member

* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 연구원

** 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 교수

*** 정회원, 한국전력기술(주) 토목구조기술처 책임기술원

**** 日本 京都大學 工学研究科 教授

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 10월 31일까지 학회로 보내주
시면 1997년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

일반적으로 철근콘크리트 구조물의 각 부재에 대한 설계 및 부재 성능은 전체 구조물에서 분리된 단독 부재로서 그 특성이 파악되고 있다. 그러나 철근콘크리트 부재는 단독 부재로서 거동하는 경우가 거의 없으며, 주변 연결부재에 의해 서로 변형이 구속되므로 실제 부재의 거동은 구조체에서 분리된 단독 부재로서의 거동과는 상이하다고 보고되고 있다.^{1)~3)}

철근콘크리트 휨부재의 경우 횡하중에 의해 발생하는 축방향 변형량은 무시할 수 없는 정도이며⁴⁾, 이러한 변형이 주변 부재에 의해 구속됨으로써 결과적으로 설계하중 이외의 추가적인 축력을 받게 되고, 휨부재는 축력이 존재하는 상태에서 거동하게 된다.

藤澤등⁵⁾은 T형 보에 역대칭 가력장치를 사용하여 반복하중을 가한 결과 축력을 받는 부재에서는 내력상승과 콘크리트 단부의 압축파괴 등 이력성능이 크게 변화하는 것을 실험과 해석 결과에서 확인하였으며, 坂田등⁶⁾은 축방향 구속을 받는 철근콘크리트 보 부재에는 압축력이 작용하여 내력의 상승이 생기지만 콘크리트의 압축파괴가 빨리 형성되므로 변형능력을 과대평가하지 않아야 한다고 기술하고 있다. 또한, 구속을 받는 보의 특성을 뼈대 구조의 거동에 적용한 결과 시간이 길수록 보의 항복에 의한 영향이 현저하게 되며, 기둥의 전단부담이 보의 축방향 변형에 따라 크게 변화되는 것을 보고하였다.⁶⁾

이와 같이 변형구속에 의해 생기는 축력은 휨부재의 강성, 변형성능 및 균열 형상 등에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 그러나 지금까지 축력을 받는 휨부재의 거동에 대하여 수행된 연구는 그리 많지 않은 실정이며, 축력의 영향을 파악하는 일환으로 수행된 연구들의 대부분이 축변형이 구속되어 발생하는 축력을 일정 축하중으로 대체하여 파악하는 한계성을 내재하고 있다. 한편, 대부분의 균열성상에 관한 연구는 순수 휨^{7)~10)} 또는 순수 인장만을 받는 부재에 국한된 것으로 실제 구조물에서 발생할 수 있는 복합적인 상태에서의 균열에 대한 연구, 특히 축방향력을 고려한 휨부재의 균열성상에 대한 연구는 상당히 미비한 실정이라 할 수 있다.

본 연구에서는 변형의 구속에 의해 발생하는 축력이 휨부재의 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여

변형구속하에서의 휨부재의 성능을 실험적으로 검토하였다. 또한 축력이 균열성상에 미치는 영향을 정량적으로 파악하기 위하여 4점 재하상태의 철근콘크리트 휨부재에서 축력이 평균 균열간격에 미치는 영향을 실험적으로 조사, 분석하였으며, 이들 자료에 대한 회귀분석 및 통계해석^{11)~12)}을 수행하여 평균 균열간격을 예측하는 식을 제시하였다.

2. 축변형 구속이 철근콘크리트 부재의 거동에 미치는 영향

2.1 실험 개요

2.1.1 사용재료

사용한 콘크리트는 기중 양생을 한 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 실린더의 재령 28일에서의 압축강도가 688kgf/cm^2 인 고강도 콘크리트이며, 그 배합은 Table 1에 나타난 바와 같다. 주근에는 $f_t = 6.920\text{kgf/cm}^2$ (D13)의 고강도 철근을, 전단 보강근에는 $f_t = 3.690\text{kgf/cm}^2$ (D6)의 보통강도 철근을 사용하였다.

Table 1 Concrete mix proportion

W/C (%)	S/a (%)	W	C	S	G	Ad* (%)	Air (%)
		(kg/m ³)					
27	48	165	611	756	857	1.6	2.5

* 고성능 AB 감수제(시멘트에 대한 중량비)

2.1.2 시험체 제작 및 배근 상세

시험체는 하중 재하시 구속을 받지 않는 무구속 시험체(FR)와 축방향 구속을 받는 구속 시험체(FR)의 2종류를 제작하였다. 제작한 시험체의 단면은 $18 \times 25\text{cm}$ 이며, 시험체 지간 거리는 2.4m이다. 시험체는 휨 파괴가 먼저 생기도록 설계하였으며, 압축 및 인장 주철근으로 4-D13 ($\rho = A_s / bd = 1.28\% = \rho'$)을 배근하고, 전단보강근으로는 시험체의 중앙부분

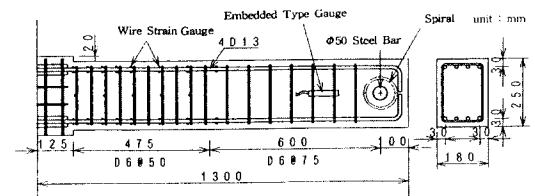


Fig. 1 Sectional area of specimens and reinforcement details

에 D6@50, 외측에 D6@75를 배근하였다. 또한 시험체의 지점 부분과 재하부분에는 재하시의 균열발생 및 강성저하가 생기지 않도록 보강하였다. 시험체의 단면 및 배근의 상세는 Fig. 1에 나타나 있다.

2.1.3 변형구속 및 재하방법

변형구속 방법으로는 시험체 양단에 설치한 변위계로 측정된 길이 변화를 Feed back 시켜 제어하는 자동 제어법을 사용하였다. 즉 재하시에 발생하는 축방향 변형을 검출하고, 검출된 변형값에 따라 축방향 Oil jack을 가동시켜 본래의 길이를 유지시키는 구속 방법이다. 축방향 구속은 변형제어의 정도가 $\pm 0.02\text{mm}$ (변형율로서는 $\pm 8.3 \times 10^{-4}$)인 완전 변형구속을 기본으로 하였으나, 축방향 변형의 진전에 따라 증가된 축방향 구속력이 축방향 구속 장치의 한도(36tonf)에 도달하면 제어방식을 변형제어에서 일정축하중 제어 방식으로 변환시켰다.

구속 및 재하 장치의 개략을 Fig. 2에 나타내었다. 재하 방법으로써는 항복시 처짐의 0.5, 1, 2, 3 및 4 배를 진폭으로 하는 점중 변위 반복재하를 채택하였다.

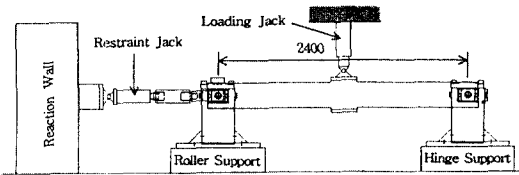


Fig. 2 Schematic diagram for restraints and loading device

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 횡하중-횡변위 관계

점중 변위 반복하중을 받는 무구속 시험체(FF)와 구속 시험체(FR)에 대한 횡하중-횡변위 곡선을 Fig. 3에 나타내었다.

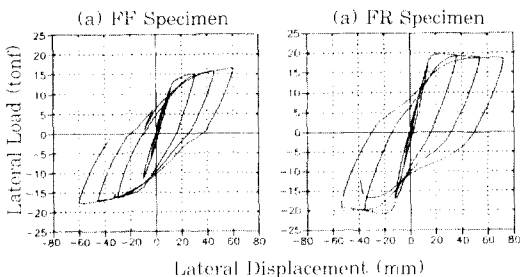


Fig. 3 Lateral load - displacement curves

Fig. 3에 나타난 각 시험체의 횡하중-횡변위 곡선을 비교해 보면, 시험체의 강성 및 최대내력은 축방향 구속력에 의해 상승하여, 축 구속력을 받는 시험체의 최대내력이 무구속 시험체 보다 약 20% 증가함을 알 수 있다. 이때 재하시에 축방향 구속을 받는 구속 시험체에 있어서 축 변형 완전 구속 조건하에서는 시험체의 휨 항복점이 생성되지 않고, 구속 조건을 일정하중의 구속조건으로 변경함에 따라 부재의 위험 단면에서 소성변형이 시작되는 것을 나타내었다. 이와 같이 축방향 구속력은 부재의 탄성거동 및 소성거동에 큰 영향을 미치며, 부재의 최대 내력은 축방향 구속력에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

2.2.2 횡하중에 의한 축방향 변위 및 축방향 구속력의 변화

횡하중의 작용에 의하여 무구속 시험체(FF)에 생기는 축방향 변위의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 이 그림에 의하면 시험체에 휨 균열의 진전에 따라 축방향 변형은 증가하기 시작하며, 항복하중 이후의 소성변형이 축적됨에 따라 잔류변형이 크게 증가하는 경향을 보였다. 그 결과 재하 이력 후의 최대 변형은 약 13mm로 상당히 큰 잔류변형이 생겼다. 한편 축변형 이력곡선에 따르면 소성변형이 크게 진전한 상태에서 하중을 제거하면 축방향 변형이 오히려 증가하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 소성단면에서 생긴 철근의 뺨힘 부분에 반대 방향의 부착 저항력이 발생하므로 뺨힘 철근 부위의 변형에 의해 부재의 변형 이력이 크게 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다.

이와 같은 축변형을 구속한 상태에서 하중을 재하한 구속 시험체(FR)에서의 횡하중-축방향 구속력 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 이 그림에 나타난 바와 같이 축방향 구속력은 횡하중에 거의 비례하여 발생하였다. 이것은 앞절에서 나타난 바와 같이 완전 축 변형 구속상태에서는 부재의 소성변형이 억제되므로 축방향 변형도 횡하중에 비례하여 증가하게 되며, 그 결과 축방향 구속력이 횡하중에 비례하여 증가되고 있음을 나타내고 있다.

이와 같이 변형구속을 받는 철근콘크리트 부재의 축방향 구속력은 일정 하중이 아니며, 횡하중에 의한 축변형량에 의해 결정되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5에서 일정한 축방향 구속력을 나타내는 구

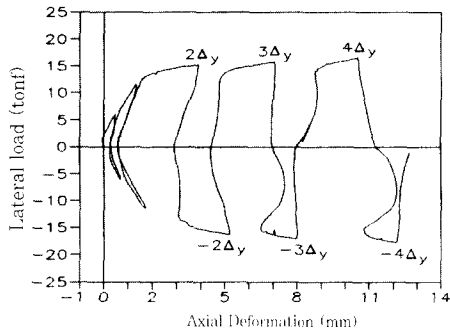


Fig. 4 Lateral load-axial displacement curve of FF specimens

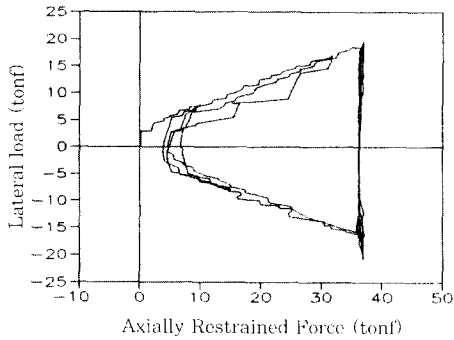


Fig. 5 Lateral load-axial restraints curve of FR specimens

간은 축방향 구속을 변형구속에서 일정하중 구속으로 변경한 것을 나타내고 있다.

2.2.3 재하에 의한 균열성상

하중 이력에 따라 재하를 수행한 후, 각 시험체 (FF,FR)에 생긴 균열 형상을 조사하여 각각의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 각각의 그림에서 *는 재하에 의해 생긴 최초의 휨 균열을 나타내고 있다.

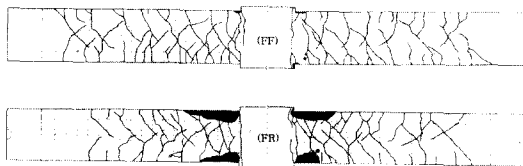


Fig. 6 Crack pattern under loading test

각 시험체(FF,FR)에서 최초의 휨 균열이 발생한 하중 값을 비교해 보면, 각각 2.0tonf, 2.2tonf로 거의 동일한 값을 나타내었다. 최초의 휨 균열이 발생하기 전까지는 축방향 변형이 발생하지 않아 축방향

구속력이 가해지지 않으므로 각 시험체는 동일한 거동을 나타내고 있음을 알 수 있다.(Fig. 5 참조)

그러나 각 시험체의 최종 균열 형상을 비교하면, 동일한 하중 이력으로 재하했음에도 불구하고 상당히 다른 균열 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다. FR 시험체의 경우 축방향 구속력에 의해 위험단면 부근에서의 압축파괴 현상이 현저하게 나타나지만, FF 시험체에서는 압축파괴가 거의 보이지 않고 있다. 즉 휨 부재에 축 방향력이 작용할수록 콘크리트 부재의 파괴 형태가 변할 가능성이 커지며, 부재의 변형능력이 저하하게 됨을 시사하고 있다.

또한 하중이력 재하후의 각 시험체의 균열간격을 조사한 결과 각 시험체 균열간격의 평균치와 표준편차는 각각 5.0cm와 2.4cm, 6.4cm와 3.1cm로 시험체의 균열간격은 축력의 영향을 크게 받고 있음을 나타내고 있다.

3. 축력이 휨부재의 평균 균열간격에 미치는 영향

3.1 실험 계획

3.1.1 사용재료

콘크리트 배합에 있어서 굵은골재는 최대골재크기 13mm의 쉼석을 사용하였으며 철근은 이형 단면의 보통철근(SD30)을 사용하였다. 주근은 Fig. 7에 나타나 있으며 전단보강근으로는 D10@75를 배근하였다. 그 밖의 시험체의 종류, 단면 및 재료의 특성치는 Table 2에 나타내었다. 각 시험체의 압축강도는 표준양생한 $\phi 10 \times 20$ cm 실린더로부터 구하였다.

모든 시험체는 재령 1일째에 탈형하였으며, 20 ± 3 °C의 온도와 100% 습도가 유지되는 양생실에서 28일간 양생한 후 실험을 수행하였다.

Table 2 Description of test beams

Test beam series number	Type of reinforcement	Number of reinforcement	Section area(㎠)	Σ (㎠)	Effective tension area, A_s (㎠)	f'_c (kg/㎠)
I	D10	4	12×24	12	18	316
						519
II	D19	1	12×24	6	72	316
						519
III	D10	2	6×24	6	18	316
						519

3.1.2 시험체의 제작 및 재하방법

축력의 크기가 평균 균열간격에 미치는 영향을 구명하기 위하여 전체 하중을 7 단계로 나누어 각 하중 단계마다 콘크리트 인장면과 철근 위치에서의 평균 균열간격을 측정하였으며 이때의 철근응력을 기록하였다. 철근의 응력은 Wire strain gauge를 사용하여 측정하였다. 또한 하중의 증가에 따른 중앙점의 수직 처짐과 축방향 변형량을 측정하기 위하여 Dial gauge를 설치하였다.

재하방법으로는 축방향력을 목표값에 고정시킨 후, 시험체가 파단할 때까지 수직하중을 서서히 증가시키는 4점 재하방식을 채택하였다. 시험체의 형상 및 하중상태를 Fig. 7에 나타내었다.

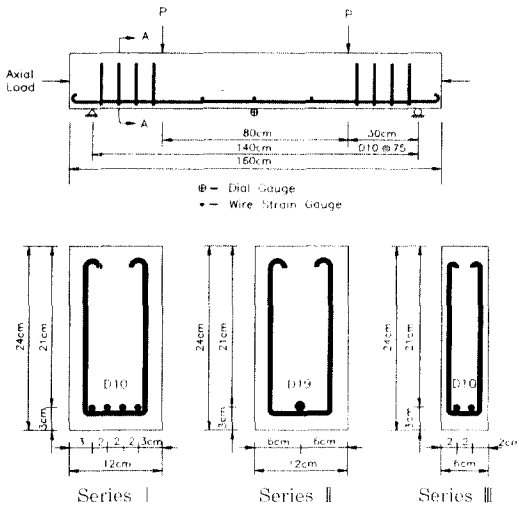


Fig. 7 Schematic diagram for test arrangement(section A-A)

3.2. 실험결과 및 고찰

평균 균열간격을 예측할 수 있는 모델식을 얻기 위해 15개 종류, 총 30개의 시험체에 대한 실험을 실시하였으나 몇몇 시험체에서 발생한 전단파괴로 인하여 11 종류 17개의 시험체에 대한 결과만이 유효하였다.

이들 결과중, 무작위로 추출한 자료를 이용하여 휨부재의 평균 균열간격에 미치는 주요 영향 인자에 대하여 검토하고, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보의 번호는 다음과 같이 정의된다.

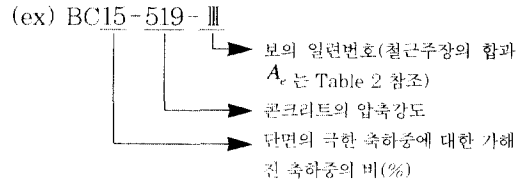


Fig. 8(a)로부터 축하중(R_p)의 크기는 균열발생 초기상태에 영향을 주는데 안정 균열상태에서도 축하중이 클 수록 평균 균열간격은 커지게 됨을 알 수 있다. 즉 축하중의 크기는 초기의 균열발생 및 최종 평균 균열간격 모두에 영향을 미침을 알 수 있다.

Fig. 8(b)로부터 안정된 균열상태에서 콘크리트의 압축강도는 평균 균열간격에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 즉, 철근의 응력변화에 따른 평균 균열간격의 변화는 콘크리트의 압축강도에 관계없이 거의 비슷하게 진전됨을 알 수 있다. 이는 콘크리트의 휨인장강도가 압축강도에 직접 비례하지 않으며 일단 균열이 발생하고 나면 그 지점에서의 콘크리트는 이미 인장재로서의 역할을 하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

철근주장의 합이 증가함에 따라 평균 균열간격은 상대적으로 작아지는데, Fig. 8(c)를 살펴보면 균열발생의 초기부터 안정된 균열상태까지 전 범위에 영향을 미침을 알 수 있다. 이러한 현상의 원인은 철근주장의 증가가 철근과 콘크리트와의 부착면의 증가를 의미하기 때문이다.

기존의 몇몇 모델¹³⁾에서는 아래의 식(1)과 같은 철근 1개당 콘크리트의 유효인장면적(A_c)를 사용하는데, Fig. 8(d)로부터 A_c 가 클수록 평균 균열간격이 커짐을 알 수 있다.

$$A_c = 2(h-d)b/n \quad (1)$$

여기서 h = 단면의 전체 깊이, d = 유효깊이, b = 단면의 폭 그리고 n = 철근 개수이다.

콘크리트와 철근의 부착특성으로 부터 철근에서 콘크리트로 전달되는 인장력 ΔT 는 아래의 식(2)로 나타낼 수 있으며, 여기서 u_m 은 $\sqrt{f'_c}$ 의 함수이다.

$$\Delta T = f a_{cs} u_m \Sigma v \quad (2)$$

여기서 f = 부착응력의 분포상태를 나타내는 상수
 a_{cs} = 안정된 평균 균열간격(cm)

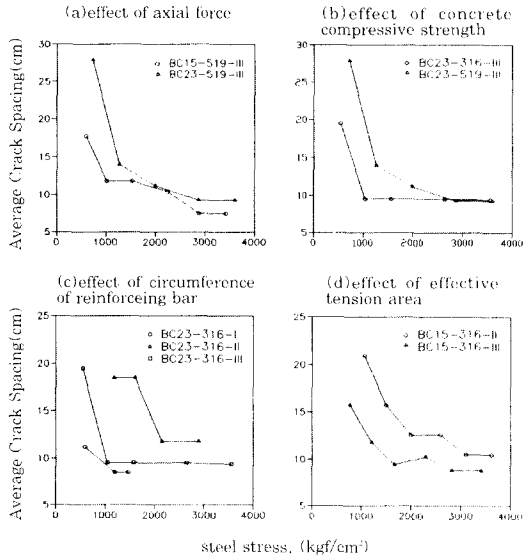


Fig. 8 The effect of major factors on crack spacing

u_m = 최대부착응력 (kgf/cm²)
 Σ_o = 철근주장의 합 (cm)

또한 콘크리트의 인장면적에 저항하는 힘, R 은 콘크리트의 유효인장면적과 콘크리트의 인장강도(f'_t)의 곱으로 나타낼 수 있으며, $\Delta T = R$ 의 관계를 이용하면 아래의 식(3)을 얻을 수 있다.

$$a_{cs} = c'_1 \frac{A_c f'_t}{\Sigma_o \sqrt{f'_c}} \quad (3)$$

여기서 c'_1 = 실험상수

실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 평균 균열간격은 f'_t 에 영향을 거의 받지 않으며 $f'_t / \sqrt{f'_c}$ 을 상수로 나타낼 수 있으므로 식(3)은 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$a = c_1 \frac{A_c}{\Sigma_o} \quad (4)$$

위의 식으로부터 안정된 상태에서의 평균 균열간격은 A_c / Σ_o 의 함수로 표시할 수 있음을 알 수 있으며 CEB-FIP model 1990¹⁵⁾에서도 이와 같이 표현되고 있다. 그러나 균열간격은 축력(R_p)에도 영향을 받으며, 균열이 안정되기 전의 간격은 철근 응력(f_s)에 따라 변화한다.

3.3 해석결과와 실험결과의 비교

축력을 받는 휨 부재의 평균 균열간격에 대한 예측 모델식을 구하기 위해 총 73개의 자료에 대한 회귀분석을 수행하였다. 이때, 평균 균열간격에 영향을 미치는 변수로 축력, 콘크리트 유효면적과 철근주장의 비 및 철근 응력을 선정하였다. 실험결과에 의하면 평균 균열간격은 철근의 응력이 매우 작을 때 무한대가 되며 철근의 응력이 점점 증가함에 따라 평균 균열간격은 감소하여 일정값에 수렴함을 알 수 있다. 또한 R_p 의 값이 증가할 수록 평균 균열간격은 증가한다. 따라서 이러한 현상을 고려하여 회귀분석을 수행한 결과 얻어진 예측 식은 다음 식(5)와 같다.

$$S_{cr} = 5.5 \left[\frac{A_c}{\Sigma_o} \right]^{0.3} \frac{3 \times 10^5 + f_s^2}{f_s^2} (1 + R_p^{0.75}) \quad (5)$$

여기서 S_{cr} = 평균 균열간격 (cm)

R_p = 단면의 극한 축하중에 대한 가해진 축하중의 비

f_s = 철근의 응력 (kgf/cm²)

위의 모델식(5)와 실험자료를 직접 비교하기 위한 통계해석 결과가 Fig. 9에 나타나 있다. 그림에서 가로축과 세로축은 각각 식(5)에 의해 계산된 값과 실험결과에서 얻은 값을 나타내는데, 표준편차는 1.559이었으며 상관계수는 0.74이었다. 또한, 그림에서 가운데 굵은 실선은 $Y = 0.968X + 0.389$ 의 직선식을, 상·하의 가는 실선은 표준편차 구간을 각각 나타내는데 계산된 값과 실험자료 사이에 흩어짐은 있으나 대략적으로 선형관계가 성립함을 알 수 있

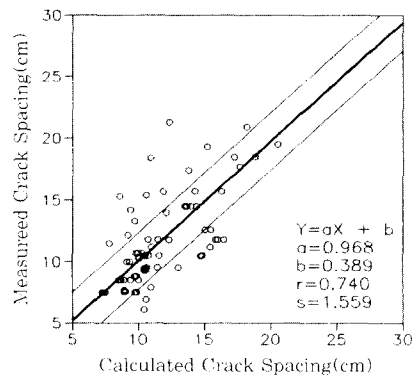


Fig. 9 Comparison of the measured and calculated values of crack spacing

다.

Fig. 10에는 회귀분석에 사용된 실험자료 중에서 임의로 발췌한 실험결과와 제시한 모델식을 비교하여 나타내었다. 그림에서 실선은 제시한 모델식을 나타내는데, 모델식이 실험결과를 다소 과대 평가하고 있으나 전체적인 평균 균열간격의 경향을 잘 예측하고 있음을 알 수 있다.

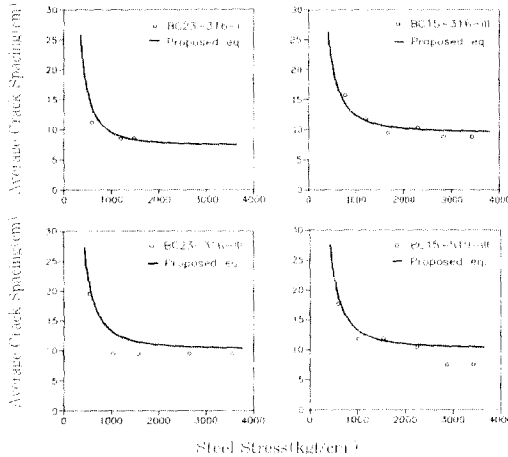


Fig.10 Comparisons of proposed crack spacing equation with experimental data

4. 결 론

축방향 구속에 의해 발생하는 축력이 휨부재의 거동에 미치는 영향과 평균 균열간격에 미치는 영향을 정량적으로 검토하였으며, 본 연구의 범위 내에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 축변형 구속을 받는 휨부재의 강성은 횡하중에 비례하여 증대되는 축방향 압축력의 영향을 받아 무구속 휨부재의 강성보다 크게 된다.
- 2) 축변형 구속 상태에서 재하한 휨부재의 최대 내력은 무구속 휨부재보다 20% 이상 상승한다.
- 3) 축 압축력을 받는 휨부재는 휨 변형이 제한되어 파단시의 압축파괴 현상이 현저하게 되는 것을 명백하게 하였다.
- 4) 축 압축력을 받는 휨부재의 평균 균열간격은 축력의 영향을 받으며, 축력이 증가할 수록 평균 균열간격이 증대하여 일정값에 수렴하는 경향을 나타내었다.

5) 축력을 받는 휨부재의 평균 균열간격은 철근비가 동일한 단면에서 콘크리트의 유효인장 면적이 증가할수록 커지며, 압축강도의 영향은 미소하였다.

6) 축력을 받는 철근 콘크리트 휨부재의 평균 균열간격을 예측할 수 있는 모델식을 제시하였다.

감사의 글

본 연구의 후반부는 1996년도 건설교통부의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Desayi, P. and Kulkarni, A.B., "Load - Deflection Behavior of Restrained R/C Slabs", *J. of Structural Engineering, ASCE*, V.103, No.2, Feb. 1977, pp.405-420.
2. Wight, J.K., "Earthquake Effects on Reinforced Concrete Structures", *ACI*, SP84, 1985, 428p.
3. Chengsheng, O. and Wimal, S., "RC Rectangular Slabs with Edge Restraints", *J. of Structural Engineering, ASCE*, V.113, No.11, Nov. 1987, pp.2146-2165.
4. Megget, L.M. and Fenwick, R.C., "Seismic Behavior of a Reinforced Concrete Portal Frame Sustaining Gravity Loads", *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, V.22, No.1, 1989, pp.39-49.
5. 瀧口克己, 市之輔敬勝, "鉄筋 콘크리트梁의材長變化について", *日本建築學會中部支部研究 報告集*, 1977, pp.251-254.
6. 藤澤正視外, "T形梁のじ入性におよぼす筋筋量の影響-高層壁式ラーメン構造に関する研究-", *日本建築學會大會學術講演梗概集C*, 1987, pp. 205-208, pp.225-226.
7. 坂田弘安, 和田章, "多層多スパン鉄筋コンクリート平面骨組模型の實驗-曲げ降伏するはりの軸方向伸びを考慮した鉄筋コンクリート平面骨組の弾塑性性狀に関する研究(第1報)", *日本建築學會構造系論文報告集*, No.403, Sept. 1989, pp.45-55.
8. 坂田弘安, 和田章, "多層多スパン鉄筋コンクリート平面骨組模型の解析-曲げ降伏するはりの軸方向伸びを考慮した鉄筋コンクリート平面骨組の弾塑性性狀に関する研究(第2報)", *日本建築學會構造系論文報告集*, No.407, Jan. 1990, pp.35-45.

9. Gergely, P. and Lutz, L.A., "Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural Members", Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete SP-20, Detroit, ACI, pp.87-117, 1968.
10. Bazant, Z.P. and Oh, B.H., "Spacing of Cracks in Reinforced Concrete", J. of Structural Engineering, ASCE, V.109, No.9, Sept. 1983, pp.2066-2085.
11. IMSL, Library, Edition 8, IMSL, Inc.
12. Benjamin and Cornell, Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, New York, 1970, Section 4.3.
13. Hognestad, E., "High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 2, Control of Flexural cracking", J. of PCA, V.4, No.1, Jan. 1962, pp.46-63.
14. Albandar, F. A-A. and Mills, G. M., "The Prediction of Crack Widths in Reinforced Concrete Beams", Magazine of Concrete Research, V.26, No.88, Sept. 1974, pp.153-160.
15. CEB, CEB-FIP Model Code 1990, Thomas Telford, 1991.

요 약

본 연구는 변형구속에 의해 생기는 축력이 철근콘크리트 휨부재의 역학적 거동과 평균 균열간격에 미치는 영향을 검토하기 위해 수행되었다. 이를 위하여 변형구속 및 무구속 조건하에서의 휨강도와 휨강성을 실험으로 구하였으며, 또한 축방향 구속을 받는 휨부재의 평균 균열간격을 구하였다.

실험결과에 따르면, 축방향 구속을 받는 휨부재의 강도와 강성이 무구속 부재의 값보다 크게 나타났다. 그리고 평균 균열간격에 영향을 미치는 주요인자로는 철근의 응력, 축력, 철근의 주장과 콘크리트의 유효 인장면적을 들 수 있으며 콘크리트 압축강도의 영향은 미소하였다. 이러한 인자들을 사용하여, 축방향 구속을 받는 휨부재의 평균 균열간격을 예측하는 식을 제안하였다.

(접수일자 : 1997. 4. 18)