

장부 鐵筋下部의 支壓強度 및 支壓剛성에 관한 연구

A Experimental Study on the Bearing Strength and Stiffness of Concrete Under Dowel Bars

김규선* 최기봉* 이리형**
Kim, Gyu Seon Choi, Ki Bong Lee, Li Hyung

요 약

장부철근 하부의 콘크리트 코어의 지압강도 및 지압강성에 대한 실험이 수행되었으며, 그 연구결과가 정리되었다. 콘크리트의 압축강도, 장부철근의 직경, 콘크리트내에 철근의 위치가 지압강도 및 지압강성에 미치는 영향들이 연구되었으며, 이 결과들을 토대로 콘크리트 코어를 지지하는 장부철근에 대한 콘크리트의 지압강성 및 지압강도를 예측할 수 있는 실험식이 제안되었고, 그 결과와 실험치를 비교하였다.

Abstract

Results of an experimental investigation on the bearing strength and stiffness of concrete under dowel bars are summarized. The effects of concrete strength, bar diameter, and location of the bar on concrete were studied. Based on test results, empirical equations are proposed to predict the concrete bearing strength and stiffness under reinforcing bars. Comparisons of analytical and experimental results are presented.

Keywords : bearing strength, stiffness, concrete, concrete strength, bar diameter, location of the bar, dowel bar

1. 서 론

콘크리트 코어를 지지하는 장부철근의 극한강도 및 강성(그림 1에서 보 하부철근)은 장부철근의 작용하에 있는 콘크리트 코어의 지압강도 및 지압강성에 의존하며 이들 변수는 탄성이론에 따라 개발되어지는 장부철근의 탄성기초모델의 거동을 지배한다.^(1~4)

콘크리트의 지압강성에 관한 실험결과는 매우 드물며 콘크리트의 이와같은 두가지 물성에 관해 현재까지 국내외에서 제안되고 있는 값들이 크게

차이가 나고 있다. 지압강도를 위해 제안된 값들은 콘크리트 강도의 1.45~4.00배의 범위에 있으며^(3,4), 지압강성의 값은 100MPa/mm~1000MPa/mm의 범위에 있다^(2,5).

특히 보-기둥 집합부 및 보의 변곡점에서의 보-송방향철근에 적용가능한 장부철근에 관한 실험결과가 콘크리트 코어 방향으로 작용하는 비실용적으로 세장한 장부철근의 실험결과에 한정되어 있다. 이렇게 한정된 실험결과에 근거한 실험식들을 보-기둥 집합부에 있는 실제 상태에서의 장부철근에 적절히 사용할 수 없다.

* 한양대학교 토목공학과 박사과정

** 정희원, 강원대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

*** 정희원, 한양대 건축공학과 교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 8월 30일까지 학회로 보내 주시면 1994년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

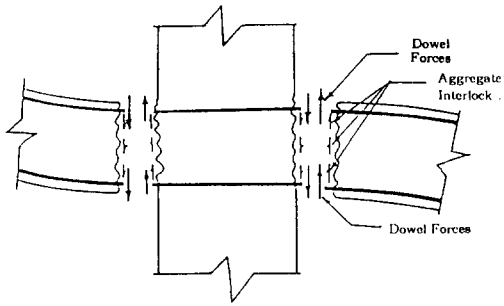
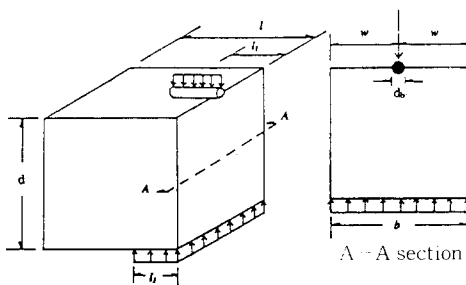
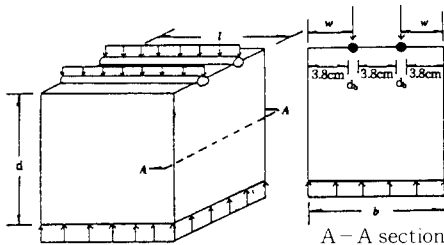


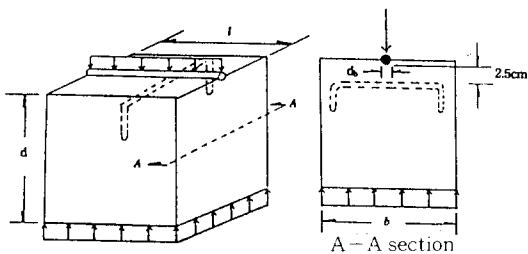
Fig. 1 Dowel action of the reinforcing bars



(a) General geometry



(b) Multiple bar specimen



(c) Confined specimen

Fig. 2 Test specimens

따라서 본 연구에서는 콘크리트 지압응력하의 현재 일반적으로 실무에서 사용되어지고 있는 크기의 철근의 기동에 관한 실험결과를 얻어 이에 따른 지압강도 및 지압강성 실험식을 도출하였다.

2. 실험계획 및 방법

그림 2a에서 보여준 시험체는 콘크리트 코어를 지탱하는 장부철근의 기동을 상사하기 위해 설계되었다. 시험공시체의 물성은 표 1에 요약하였다. 총 33개의 시험체가 콘크리트의 지압기동에 관한 아래 변수들의 효과를 연구하기 위해 실험되었다 : (a) 철근직경, (b) 콘크리트 강도, (c) 콘크리트 블록의 폭, (d) 콘크리트 블록의 길이, (e) 장부철근의 배입길이, (f) 장부철근의 수(그림 2b), (g) 콘크리트 블록의 구속(그림 2c)

모든 시험체는 Type III 포틀랜드 시멘트 및 보통 골재를 사용하였다. 최대골재의 크기는 19mm이며 공시체는 플라스틱에 싸여 24시간 동안 나무

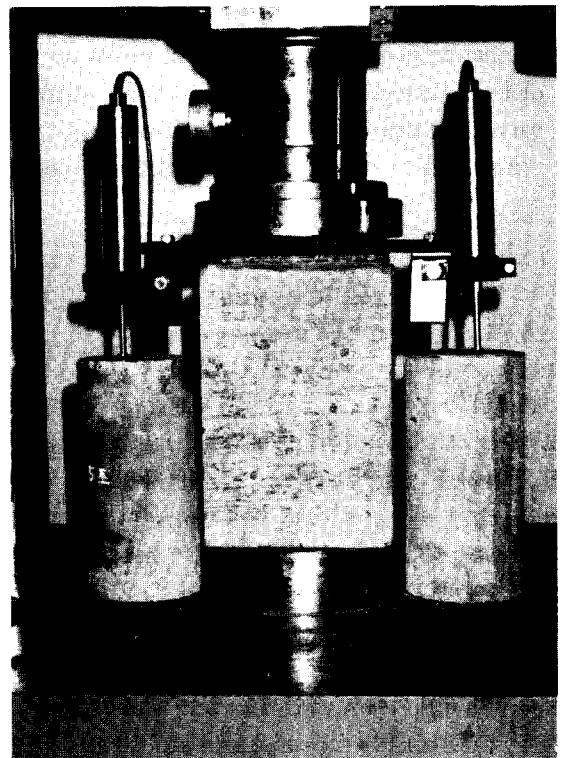


Fig. 3 Test set-up

Table 1 Properties of test specimens, and test results

Series	b (cm)	d (cm)	l (cm)	l ₁ (cm)	w (cm)	d _b (cm)	f _t (MPa)	f _b (MPa)	K _f (MPa/mm)	Comments
I Standard*	15	23	15	15	7.5	2.5	40.3	73.5	99.2	
	15	23	15	15	7.5	2.5	40.3	75.8	124.1	
II Bar Diameter*	15	23	15	15	7.5	1.3	38.6	110.3	155.2	
	15	23	15	15	7.5	1.3	38.6	103.4	157.1	
	15	23	15	15	7.5	1.9	38.6	83.5	100.0	
	15	23	15	15	7.5	1.9	38.6	99.6	110.6	
	15	23	15	15	7.5	3.2	39.7	73.0	72.0	
	15	23	15	15	7.5	3.2	39.7	71.9	70.1	
III Concrete Strength*	15	23	15	15	7.5	2.5	25.4	54.0	64.9	
	15	23	15	15	7.5	2.5	25.4	52.9	78.8	
	15	23	15	15	7.5	2.5	37.7	77.6	83.7	
	15	23	15	15	7.5	2.5	37.7	63.8	76.4	
	15	23	15	15	7.5	2.5	37.7	76.4	83.7	
IV Block Width*	7.5	23	15	15	3.8	2.5	46.6	66.7	83.2	
	7.5	23	15	15	3.8	2.5	46.1	55.2	72.0	
	23	23	15	15	11.4	2.5	46.6	72.9	76.4	
	23	23	15	15	11.4	2.5	38.6	91.7	98.9	
V Block Depth*	15	15	15	15	7.5	2.5	46.6	60.0	73.6	
	15	15	15	15	7.5	2.5	46.6	69.2	113.04	
	15	30	15	15	7.5	2.5	39.7	65.5	92.4	
	15	30	15	15	7.5	2.5	39.7	60.3	75.0	
VI Bar Length*	15	23	15	5.0	7.5	2.5	40.3	112.0	157.1	
	15	23	15	5.0	7.5	2.5	40.3	146.5	—	
	15	23	15	10	7.5	2.5	46.1	100.0	102.7	
	15	23	15	10	7.5	2.5	46.1	91.4	128.0	
VII No of Bars*	15	23	15	15	5.0	2.5	39.6	60.3	58.7	Two Dowel Bars
	15	23	15	15	5.0	2.5	39.6	60.6	58.7	Two Dowel Bars
	20	23	15	15	5.0	2.5	39.6	73.2	51.1	Three Dowel Bars
	20	23	15	15	5.0	2.5	39.6	56.5	62.2	Three Dowel Bars
VIII Confine- ment*	15	23	15	15	7.5	2.5	46.3	87.4	88.6	One Confining Bar
	15	23	15	15	7.5	2.5	46.3	88.6	87.5	One Confining Bar
	15	23	15	15	7.5	2.5	46.3	84.2	83.2	Two Confining Bars
	15	23	15	15	7.5	2.5	46.3	132.0	130.4	Two Confining Bars

* Variables of test specimens

기푸집 안에 놓여 있었다. 그 후 탈형하여 온도 22.2℃, 습도 100%의 습윤 양생실에서 양생하였고, 5일후 시험체는 실험실에서 건조양생되었으며 25일 전후에 걸쳐 실험이 실시되었다. 이때의 콘크리트 강도가 표 1에 나타나 있다.

하중은 만능재료시험기를 사용하여 하중제어방식에 의해 장부철근의 길이에 따라 의사 정적(quasi-static)으로 등분포 재하되었다. 시험체의 바닥면에는 마찰력을 방지하기 위해 그리스를 도포하였다. 재하된 콘크리트 내부로 침하되는 도웰

철근의 변위를 2개의 LVDT에 의해 양쪽단에서 측정하였고 변위 및 하중의 오차는 1%이다.

3. 실험결과

모든 시험체는 파괴시까지 탄성적으로 거동을 하였다. 장부철근 하부의 콘크리트에 장부철근을 밀어 넣을 때 할렬균열을 발생시키며 이때 구속이 안된 시험체의 파괴는 갑자기 일어났다. 일반적으로 할렬균열은 대체로 두개의 대칭적인 콘크리트



(a) Fully embedded bar



(b) Long, partially embedded bar



(c) Short, partially embedded bar

Fig. 4 Crack patterns in different specimens

블록으로 양분되어 지나 상부철근의 매입길이가 총 블록길이보다 매우 짧은 경우에는 균열양상이 그림 4에서 보여진 것과 비슷하다.

또한 수개의 철근을 갖는 시험체의 파괴는 철근의 각 평면으로 철근사이의 상호 큰 영향을 미치지 않아 콘크리트 활렬균열에 의해 발생되었으며 (그림 5), 구속된 공시체의 파괴는 상대적으로 연성적이며 활렬균열을 가로지르는 구속철근은 활렬균열후의 공시체의 지압강도 내력의 급속한 하

락을 방지한다(그림 6). 이러한 구속된 공시체는 하중이 점진적으로 증가되면 구속철근에 의한 지압응력의 전달에 의해 최종적으로 구속철근의 평면에 활렬균열을 야기시킨다. 실험에 의해 얻어진 지압강도(f_b) 및 지압강성(K_f)의 값은 표 1에 나타나 있다. 지압강도는 파괴하중을 콘크리트에 투영된 상부철근의 면적에 의해 나눈으로써 구해진다 ($f_b = \text{파괴하중} / \ell_1 d_{10}$, 그림 2a). 그리고 지압강성은 실험에서 선형적으로 밝혀진 지압응력-지압변위도의 기울기로서 정의되어 진다. 실험에서 얻어진 지압강도는 콘크리트 강도의 1.2~3.0배의 범위에 있으며 지압강성은 54MPa/mm~164MPa/mm 사이에 있다. 표 1에 나타난 실험결과로부터 (a) 장부철근 하부의 콘크리트 지압강도 및 지압강성은 철근직경이 감소함에 따라, 콘크리트 강도가 증가함에 따라 증가한다. ; (b) 콘크리트 블록의 폭이 증가함에 따라 또는 장부철근의 매입길이가 감소함에 따라 지압강도는 증가하는



Fig. 5 Split cracking of multiple-bar specimen



Fig. 6 Failure of confined specimen

반면 지압강성은 변함이 없다. : (c) 지압강도와 지압강성 모두 공시체의 깊이의 변화에는 민감하지 않다. : (d) 25mm의 순간격을 갖는 2개이상의 철근이 콘크리트에 대응해 건설 때, 지압강도는 여전히 단일 장부철근을 갖는 공시체의 지압강도와 거의 변함이 없다. 반면에 지압강성은 다수의 철근을 갖는 경우에 감소한다. : (e) 지압응력하의 콘크리트 연성에 대해 양호한 효과를 갖는 구속 (confinement)은 콘크리트 지압강성 및 지압응력에는 큰 영향을 미치지 않는다.

4. 실험식

각한하중을 산출하기 위한 공식의 유도가 지압 응력분포에 관한 단순화된 가정을 동반한 탄성기초이론(elastic foundation theory)을 이용하여 산출되므로 콘크리트 코어방향으로 장부철근의 극한강도를 계산하기 위해 이때의 기동을 탄성기초이론의 보처럼 간주한다(그림 7). 그러나 이상화

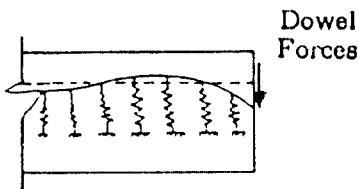


Fig. 7 Bearing Strength of Concrete

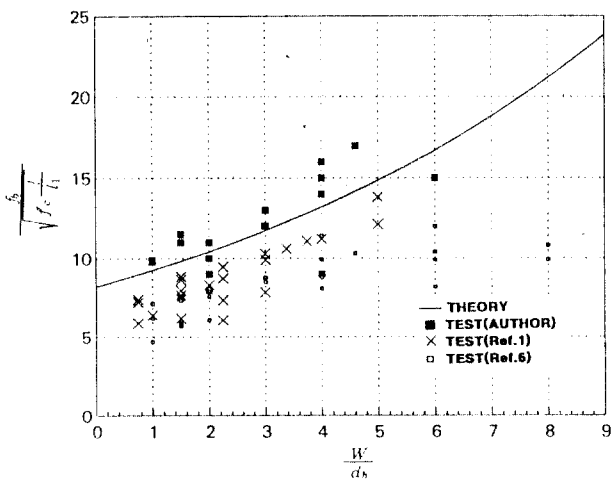


Fig. 8 Bearing Stiffness of Concrete

된 탄성기초이론에 따라 개발된 모델들에서 현재까지 콘크리트의 지압강도 및 지압강성에 대해 세심한 장부철근에 관한 실험식이 주류를 이루고 있으므로 본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용되는 철근을 위주로 실험식을 유도하였다.

본 연구에서 구속되지 않은 콘크리트 공시체의 실험에 의해 얻어진 지압강도의 값은 그림 7에 나타나 있다. 이 그림은 또한 비슷한 공시체에 대해 다른 연구원들이 수행한 실험에 의해 얻어진 결과를 보여준다. 하나는 구속안된 콘크리트에 대응해 건디는 직사각형관을 사용 (장부철근 대신)하였고, 다른 하나는 그들 바닥면의 하력균열을 지지하는 마찰력을 갖는 구속안된 콘크리트 블록을 사용하였다⁽¹⁾. 다른 연구원들이 수행한 연구결과와 비교할 때 본 연구에서 얻어진 값이 조금더 큰 경향이 있는데 이는 마찰력의 영향때문이라고 사료된다.

실험결과와 경향은 다음의 식에 의해 표현되어질 수 있다.

$$f_b = \begin{cases} 96 \sqrt{f_c} \frac{\ell}{\ell_1} \left(\frac{w}{d_b}\right)^{1/3} & (\text{psi}) \\ 8 \sqrt{f_c} \frac{\ell}{\ell_1} \left(\frac{w}{d_b}\right)^{1/3} & (\text{MPa}) \end{cases} \quad (1)$$

- 여기서, f_b = 콘크리트 지압강도
- f_c = 콘크리트 압축강도
- w = 콘크리트 블록의 폭
- d_b = 철근의 직경

한정된 시험변수의 범위때문에 ℓ/ℓ_1 와 w/d_b 의 범위는 식(1)에 각각 4.0과 8.0까지로 하였다. 이에 대한 실험적인 식을 도출하기 위해서는 지압강도에 대한 구속효과를 연구하여 도출된 더 많은 실험결과가 필요하다.

단일 장부철근을 갖고 구속되지 않은 공시체로 수행된 실험으로부터 산출된 지압강성은 다음식에 의해 표현될 수 있다(그림 9).

$$K_f = \begin{cases} 4500C_1\sqrt{f'_c} \left(\frac{1}{d_b}\right)^{2/3} \\ \quad [단 f'_c(\text{psi}), d_b(\text{in})] \\ 127C_1\sqrt{f'_c} \left(\frac{1}{d_b}\right)^{2/3} \\ \quad [단 f'_c(\text{MPa}), d_b(\text{mm})] \end{cases} \quad (2)$$

여기서, K_f = 콘크리트의 지압강성

C_1 = 25mm의 순철근 간격에 대한 철근간격의 변수

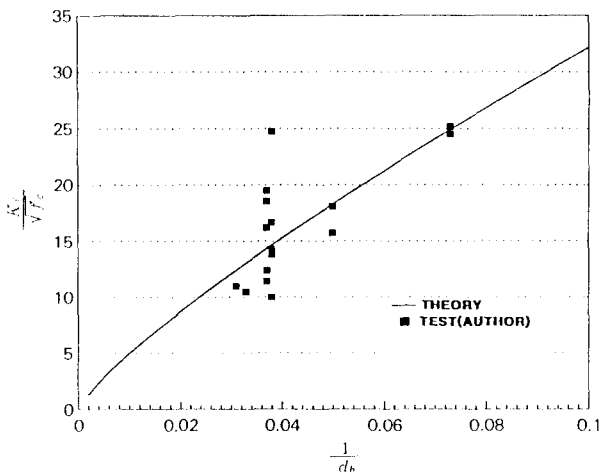


Fig. 9 Bearing stiffness of concrete

본 실험연구에서 사용된 변수범위 밖에서 위의 실험식에 대한 타당성이 검토되기 위해서는 더 많은 실험결과가 필요하다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 콘크리트 지압거동에 관한 효과를 연구하기 위해 철근직경, 콘크리트 강도, 콘크리트 블록의 폭 및 깊이, 장부철근의 매입길이 및 수, 콘크리트블록의 구속에 대한 변수들이 실험되었으며 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 본 실험연구에서는 지압강도와 지압강성에 영향을 미치는 인자들이 연구되었다. 실험결과에 따르면 지압강도 및 지압강성은 철근직경이 감소함에 따라, 콘크리트 강도가 증가함에 따라 증가

한다. 그러나 지압강도와 지압강성 모두 공시체의 깊이의 변화에는 민감하지 않다. 콘크리트 블록의 폭이 증가함에 따라 또는 장부철근의 매입길이가 감소함에 따라 지압강도는 증가하는 반면 지압강성은 변함이 없다.

2. 기 실험결과를 근거로 지압강도와 지압강성을 산정할 수 있는 실험식을 제안하였다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 특정기초연구(1992년~1994년)결과의 일부이며, 저자들은 연구비지원에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- Marcus, H., "Load Carrying Capacity of Dowel at Transverse Pavement Joints", Journal of the American Concrete Institute, Proc. Vol.48, No.2 Oct. 1951, pp.169-184.
- Jimenez-Perez, R.; Gergeley, P. and White, R. N., "Shear Transfer Across Cracks in Reinforced Concrete", Report 78-4, Dept. of Civil Engineering, Cornell University, AUG. 1978, 357pp.
- Al Mahadi, R. H., "Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members", A Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment for the Degree of Doctor of Philosophy, May 1978, 374pp.
- Dulacska, H., "Dowel Action of Reinforcement Crossing Cracks in Concrete", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 69, No.12, Dec 1972, pp 754-757.
- Mills, G. M., "A Partial Kinking Yield Criterion for Reinforced Concrete Slabs", Magazine of Concrete Research(London), Vol.27, No. 90, March 1975, pp. 13-22.
- Hawkins, N. M., "The Bearing Strength of Concrete for Strip Loadings", Magazine of Concrete Research(London), Vol. 22, No. 71, June 1970, pp. 87-98.

(접수일자 : 1994. 4. 21)