

鉄筋コンクリートはりの塑性回転能に及ぼす鉄筋比と有効高の影響

徳島大学 工学部 正員 水口 裕 久
大日本土木(株) 正員 前田 晴 久
富士ヒースコンクリート 正員 加藤 正 司

1. まえがき

本研究は、モーメント再分配を極限設計法に適用する際問題となる塑性ヒンジの回転能について調べるため、鉄筋比および有効高を変えた計22本の単鉄筋単純はりを用いて、対称2点載荷の静的曲げ試験を行い、これらの要因が曲げモーメント、塑性曲率および塑性回転能に及ぼす影響について実験を行い、従来の研究結果と比較し検討を加えたものである。

2. 実験概要

(1) 実験計画 実験計画は表1に示すものとし、これらの要因が塑性回転能に及ぼす影響について調査した。
(2) 配合 セメントは早強ポルトランドセメント、粗骨材は最大寸法20mmの砂岩砕石、細骨材は川砂を使用し、コンクリート強度330kgf/cm²、スパン791cm、空気量5±1%のAEコンクリートとした。

シリーズ	有効高 d (cm)	鉄筋比 p (%)	鉄筋径	供試体寸法 (cm)	コンクリート 強度 (kgf/cm ²)
A	17	0.41	D10×1	b×h×ℓ =10×20 ×150	330
		0.73	D13×1		
		0.83	D10×2		
		1.16	D16×1		
		1.50	D13×2		
		2.34	D16×2		
B	12	0.59	D10×1	b×h×ℓ =10×15 ×150	
		1.06	D13×1		
		1.19	D10×2		
		1.66	D16×1		
		3.31	D16×2		

(3) 測定 表1に示すような供試体寸法の単純はりを用いて、スパン150cm、モーメントスパン30cmの対称2点載荷を行い、スパン中央のコンクリートおよび鉄筋のひずみ、載荷点およびスパン中央のたわみも測定した。また、鉄筋降伏以後のコンクリートの変形を調べるため、鉄筋位置の側面とこれに対称な上側側面にπ型変位計をセットした。これらの測定は、自動デジタリひずみ測定器を用い、短時間でできるようにした。なお、測定値は2個のはり供試体の平均とした。

3. 実験結果およびその考察

はり試験結果を表2に示す。算定値は、終局時まで平面保持が成立すると仮定し、コンクリートの引張応力を無視し、鉄筋とコンクリートの応力・ひずみ曲線も完全弾塑性に近似して求めたものである。また、実測の塑性回転量は、はりのモーメントスパンに集中すると仮定し、塑性たわみδ_pを用いて $\theta_p = \frac{4\delta_p}{\ell - a}$ (ここでaはモーメントスパン)を用いて求めた値である。

表2 はり試験結果

有効高 d (cm)	鉄筋比 p (%)	曲げモーメント (t・cm)			塑性回転 量 θ _p (mm)	塑性回転 量 θ _p (×10 ⁻²)	鉄筋指数 q	δ _p 算定値 Chan (×10 ⁻²)	塑性ヒンジ 長 δ _p (cm)	塑性曲率 φ _p (×10 ⁻³ /cm)
		My	Mu	Mt						
17	0.41	51.6	60.4	38.4	31.3	10.4	0.043	15.0	54.9	3.09
	0.73	89.1	103.3	73.8	29.3	9.8	0.077	7.4	48.3	1.79
	0.83	98.5	114.0	82.3	26.0	8.7	0.088	5.9	44.2	1.43
	1.16	130.9	137.7	103.4	10.7	3.6	0.123	2.9	30.7	1.08
	1.50	161.2	178.6	137.3	4.8	1.6	0.159	2.5	33.6	0.74
	2.34	233.8	235.6	205.9	0.3	0.1	0.248	1.5	32.2	0.38
12	0.59	37.5	45.3	30.2	40.3	14.0	0.063	13.7	51.7	2.89
	1.06	66.0	69.3	47.6	21.5	7.2	0.112	4.9	33.2	1.54
	1.19	64.5	72.3	55.0	20.0	6.7	0.126	4.6	35.0	1.41
	1.66	86.4	88.5	89.3	9.8	3.3	0.176	3.3	31.2	0.92
	3.31	152.1	153.6	137.2	1.7	0.6	0.351	1.5	31.5	0.24

(注) Mtは終局時の算定モーメントを乗ず

(1) 曲げモーメントの実測値と算定値との比較

曲げモーメントの実測値と算定値とを無次元化して表3に示す。鉄筋比が0.41%, 0.73%および0.59%は、試験機の容量の関係上、終局モーメントが求められなかったものであり、鉄筋比が2.34%と3.31%は、せん断ひびわれが多数発生し、純粋な曲げ破壊ではなかったものである。したがって、これらのものを除くと、実測値は算定値よりほぼ20~40%大きな値となっている。これは算定値を求めるにあたり

表3 曲げモーメントの実測値と算定値

有効高 d (cm)	鉄筋比 p (%)	降伏モーメント (kgf/cm ²)		終局モーメント (kgf/cm ²)			
		test	calc.	test	calc.	test	calc.
17	0.41	17.9	10.5	1.69	20.9	13.3	1.57
	0.73	30.8	21.6	1.43	35.7	25.5	1.40
	0.83	34.1	25.1	1.36	39.4	28.5	1.38
	1.16	45.3	35.6	1.27	47.6	35.8	1.33
	1.50	55.8	46.1	1.21	61.8	47.5	1.30
	2.34	80.9	69.9	1.16	81.5	71.2	1.15
12	0.59	26.0	17.2	1.51	31.5	21.0	1.50
	1.06	45.8	32.2	1.42	48.1	33.1	1.46
	1.19	44.8	36.6	1.23	50.2	38.2	1.32
	1.66	60.0	50.7	1.17	61.5	52.0	1.18
	3.31	105.6	94.0	1.12	106.7	95.3	1.12

コンクリートの応力-ひずみ曲線を完全弾塑性性に近似したこと、コンクリートの終局ひずみを0.003と仮定したこと起因すると考えられる。また、鉄筋比の小さなものは、鉄筋の塑性硬化も一回と考えられる。しかし、終局モーメントは、設計に用いる際には、応力側の最大モーメントと与える利点もある。

(2) 曲率と鉄筋比との関係 曲率と鉄筋比との関係を図1に示す。曲率は、鉄筋降伏時には鉄筋とコンクリートのひずみから降伏曲率 ϕ_y を求めた。また終局時には、鉄筋のひずみが求められないため前述のπ型変位計を用いて平均ひずみを求め、終局曲率 ϕ_u を計算した。図から明らかなように、降伏曲率は鉄筋比の増加とともにわずかながら増加し、終局曲率は、逆に著しく減少する傾向を示している。また、有効高12cmの方が17cmよりも少し大きな値となっているのは、せん断スパン比が異なるので、12cmの方がせん断力の影響が少なく塑性回転が大きくなったものと考えられる。全体的には、降伏曲率、終局曲率とも実験値と算定値はほぼ同様な傾向を示している。

(3) 塑性回転能と鉄筋指数との関係 塑性回転能と鉄筋指数との関係を図2に示す。算定値はChanによる提案式¹⁾を対称2点載荷の場合に拡張したものを用いて求めたものである。塑性回転能は鉄筋指数の増加とともに著しく減少する傾向を示している。また、算定値と実験値はほぼ同様であり、鉄筋指数は塑性回転能を表わすという従来の研究結果を支持している。

4. あとがき

本実験の範囲内で得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 曲げモーメントの算定値は、実測値より20~40%程度小さな値となるが、設計の際の終局モーメントとしては応力側となる。
- (2) 曲率は、実測値と算定値とは、降伏時および終局時でほぼ等しい値を示す。
- (3) 鉄筋指数は、塑性回転能を表わす有力な指標である。以上のことを基礎として、今後モーメント再分配過程についてさらに実験検討していく予定である。

参考文献 1) Chan, W.W.L.; The ultimate strength and deformation of plastic hinges in reinforced concrete frameworks, Magazine of Concrete Research, Vol. 17, No. 21, pp. 121~132, 1955.

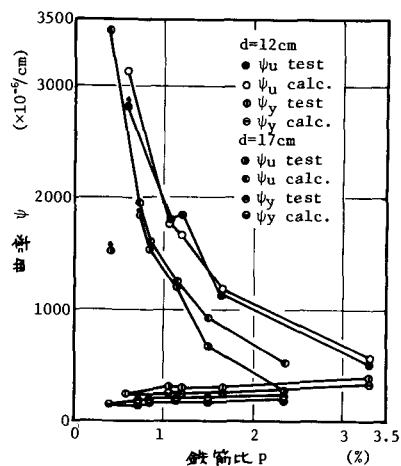


図1 曲率と鉄筋比との関係

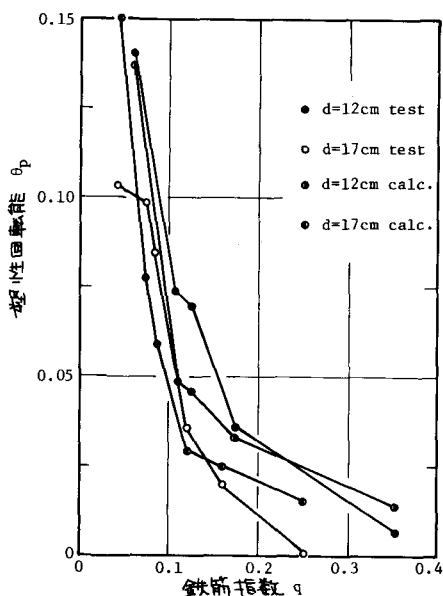


図2 塑性回転能と鉄筋指数との関係