

[2055] RC梁の曲げ破壊解析における寸法効果の取り扱いについて

上田 英明^{*1}・小池 狭千朗^{*2}・畑中 重光^{*3}

1. はじめに

筆者らは既報[1][2]において、曲げせん断を受ける曲げ破壊終局型のRC梁の塑性変形挙動を実験的に調べ、塑性ヒンジ等価長さ(e_{lp})等を定量的に明らかにするとともに、せん断および抜け出しによる材端変位の推定式を提案した。しかしながら、これらのモデルは試験体寸法が実大のおよそ1/5の梁について提案しているため、実構造物に適用するためには、寸法効果の影響を考慮する必要がある。本報では、筆者らの一部が既に行った実験[3][4]に基づき、RC梁の塑性変形解析における寸法効果の取扱いについて検討する。

2. 実験の概要

実験方法は、既報[3][4]で報告してあるため、ここでは、その概要を示す。RC梁の実験要因として、表-1に示すように、試験体の寸法($b \times h \times L_s$ 、ここに b :梁幅、 h :梁せい、 L_s :せん断スパン)、あばら筋のピッチ(S)、および引張鉄筋比(P_t)を取り上げた。RC梁の配筋図の一例を図-1に、試験体の荷重方法および曲率とたわみの測定方法を図-2に示す。

表-2にコンクリート角柱体(RC梁の曲げ圧縮部に相当)の実験要因を示す。RC梁試験体には、曲率測定用の変位計を取り付けるためのネジ鋼棒を埋め込んだ。したがって、梁の圧縮部を模擬するため、角柱体にもネジ鋼棒を間隔 b ごとに配置した。

表-1 RC梁試験体の概要

供試体寸法 ($b \times h \times L_s$), ($h=2b$)					S	P _t (%)
断面: $b \times h$ (cm)	主筋径 ϕ	P _w	L _s			
7.3x14.6	D10	$\phi 3.2$	0.30	4h	b/4	1.4
9.7x19.4	D13	$\phi 3.9$	0.25			
12.5x25.0	D16	$\phi 4.9$	0.24			
15.0x30.0	D19	$\phi 5.7$	0.23	6h	b/2	2.1
20.0x40.0	D25	$\phi 8.0$	0.25	8h	b	2.8

[注] L_s : せん断スパン長さ ϕ : あばら筋径 [mm]
 S : あばら筋間隔 $P_w = S = b/2$ の
 P_t : 引張鉄筋比 ときのあばら筋比

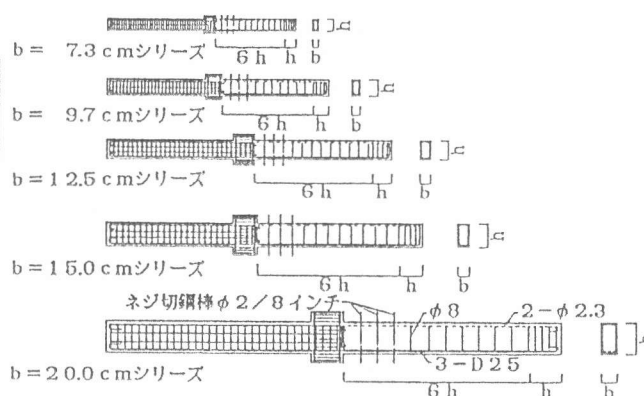


図-1 RC梁の配筋図

表-2 角柱体の概要

供試体寸法 ($H=3b$)		帯筋	
断面: $b \times b$ (cm)	高さ: H (cm)	鉄筋径 (mm)	間隔 S
7.3x 7.3	21.9	$\phi 3.2$	b/4
9.7x 9.7	29.1	$\phi 3.9$	
12.5x12.5	37.5	$\phi 4.9$	
15.0x15.0	45.0	$\phi 5.7$	b/2
20.0x20.0	60.0	$\phi 8.0$	∞

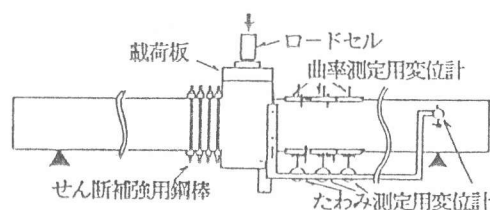


図-2 荷重および測定方法

*1三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2愛知工業大学助教授 建築学科、工修 (正会員)

*3三重大学助教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

3. 実験結果とその考察

3. 1 角柱体の応力-ひずみ曲線

図-3 (a)~(d)に、コンクリート角柱体の応力-ひずみ曲線に及ぼす試験体寸法の影響を、あばら筋ピッチ別に示す。図によれば、あばら筋ピッチにかかわらず、試験体寸法が大きなものほどピーク時のひずみは若干小さく、応力下降域の形状は脆性的になっている。すなわち、コン

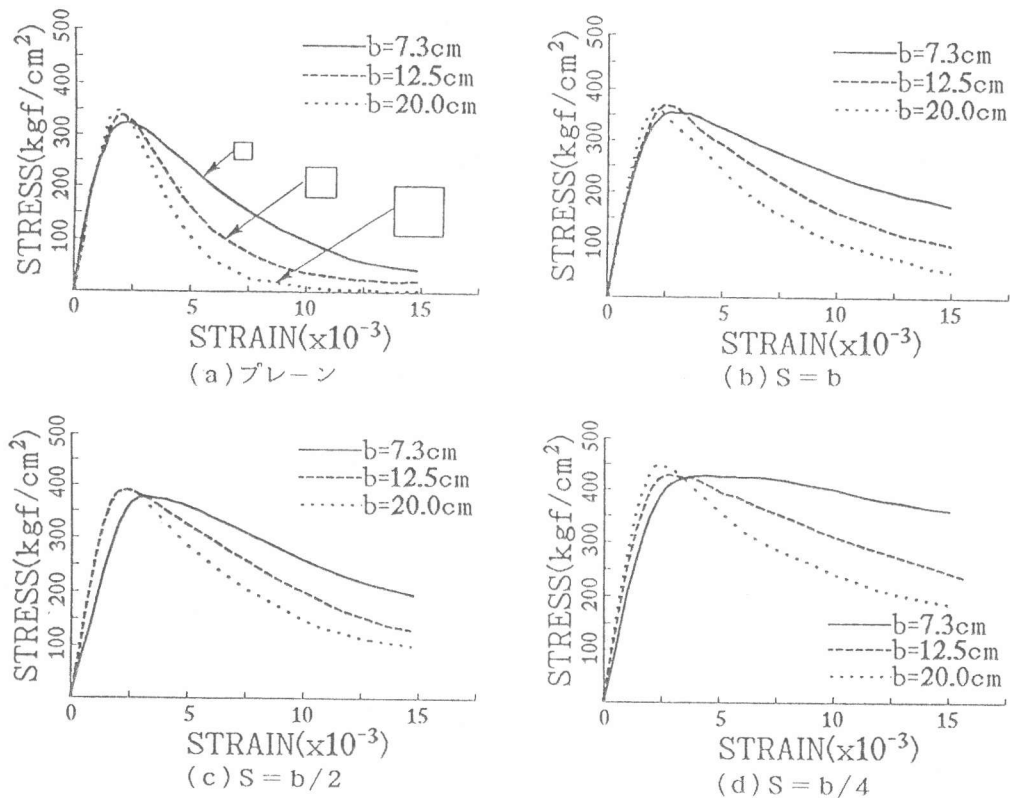


図-3 コンクリート角柱体の応力-ひずみ曲線における寸法効果

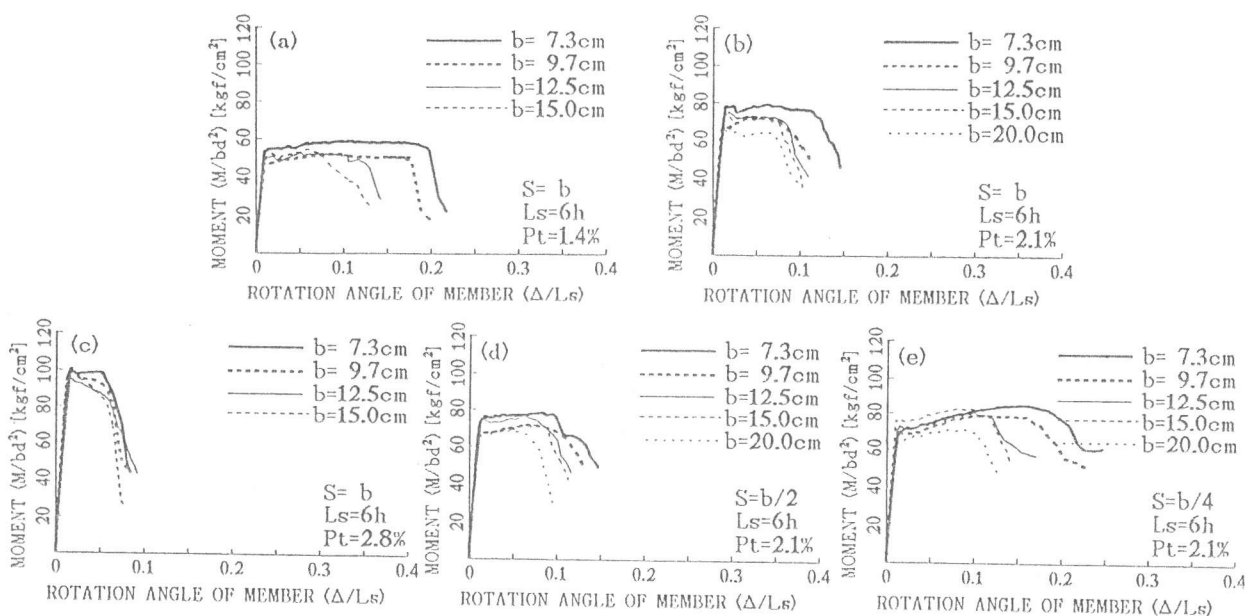


図-4 R/C梁の曲げモーメント-部材角関係における寸法効果

クリート角柱体の応力-ひずみ関係には、明確な寸法効果が見られる。

3. 2 梁の曲げモーメント-部材角曲線

図-4(a)~(e)に、曲げモーメント指数(M/bd^2)-部材角(Δ/Ls)関係に及ぼす試験体寸法の影響の例を示す。図によれば、引張鉄筋比(Pt)およびあばら筋ピッチ(S)にかかわらず、試験体寸法の増大にともない、若干ばらつきはあるが、曲げモーメントの低下開始時の変形は小さくなる。したがって、梁の変形挙動に対しても、角柱体と同様な寸法効果が見られるといえる。この寸法効果は、引張鉄筋比が小さいほど、また、あばら筋ピッチが密なほど顕著になる傾向がある。

4. 解析結果と実験結果の比較

4. 1 角柱体の応力-ひずみ曲線の近似

図-3に示したコンクリート角柱体の応力(σ)-ひずみ(ε)曲線を以下に示す式を用いて近似した。

(I) 応力上昇域($E \leq 1$)

$$S = \frac{Na \cdot E}{Na - 1 + E^{Na}} \quad \text{----- (1)}$$

(II) 応力下降域($E \geq 1$)

$$S = \frac{Nd \cdot X}{Nd - 1 + X^{Nd}} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $S = \sigma / \sigma_m$, $E = \varepsilon / \varepsilon_m$, $Na = 1 + a(\sigma_0/100)^b$, $a = 0.57$, $b = 1.0$

$X = B(E - 1)^m + 1$ ($E \geq 1$), σ_0 : プレーンコンクリートの圧縮強度

B , Nd , m : 実験定数 ($m = 0.8$)

全ての角柱体の最大応力(σ_m)、最大応力時のひずみ(ε_m)、および実験定数(B および Nd)の値を表-3に示す。図-5(a)~(d)に、実験値と計算値の比較例を示す。図および他の比較例によれば、全試験体を通じて比較的よい近似曲線が得られている。

4. 2 基本寸法の梁の塑性ヒンジ等価長さ(elp)の決定

ここでは、梁幅(b)が9.7cmの試験体を基本寸法の梁とし、まず、これらの梁に対する塑性ヒンジ等価長さ(elp)を求める。

図-6(a)~(e)に、 $b = 9.7$ cm梁の曲げモーメント-部材角関係の実験値と解析結果とを比較した例を示す。解析では、塑性ヒンジ等価長さ(elp)を梁成の1.0倍($elp = 1.0h$)から梁成の0.2倍($0.2h$)づつ、梁成の2倍($elp = 2h$)まで増加させた。梁の曲げ圧縮部の応力-ひずみ関係には、

表-3 応力-ひずみ曲線の表示式中の係数(コンファインド・コンクリート角柱体)

試験体寸法 b [cm]	plain				$S = b$				$S = b/2$				$S = b/4$			
	$\sigma_m^{1)}$	$\varepsilon_m^{2)}$	B	Nd	σ_m	ε_m	B	Nd	σ_m	ε_m	B	Nd	σ_m	ε_m	B	Nd
7.3	321	2000	0.24	6.20	348	2300	0.18	4.70	366	2980	0.30	3.50	414	3200	0.08	6.00
9.7	330	2000	0.34	5.30	348	2300	0.36	3.20	380	2700	0.45	3.00	420	3090	0.25	3.40
12.5	340	1950	0.50	4.70	358	2200	0.31	4.30	380	2480	0.53	2.80	427	2800	0.34	3.00
15.0	345	1800	0.54	4.70	357	2050	0.33	4.40	380	2240	0.55	2.70	445	2590	0.62	2.35
20.0	347	1700	0.64	4.60	360	1980	0.46	3.90	382	2180	0.70	2.60	440	2380	0.86	2.09

注 1) σ_m : 最大応力 (kgf/cm²)

2) ε_m : 最大応力時のひずみ ($\times 10^{-6}$)

4. 1節で近似したものを用い、塑性ヒンジ等価長さ以外の解析方法は、既報[1][2]と同様である。

塑性ヒンジ等価長さの決定に際しては、実験値および解析値の降伏時の曲げモーメントのおよそ80%にモーメントが低下する点を梁の終局時とみなし、図-6(a)~(c)に示す要領で、実験値の終局時部材角にほぼ一致する曲線の塑性ヒンジ等価長さを求めた。

表-4に、梁幅(b)が9.7cmの全試験体について得られた塑性ヒンジ等価長さを示す。表によれば、本実験データの範囲では、全体的に見てelpの値はせん断スパン比(L_s/h)によってあまり大きくは相違しないといえる。本研究では、同一条件下で行われた実験結果に対して寸法効果を論ずるという観点から、基本寸法の梁のelpの値として、ここで得られた値を以下の議論で採用することにした。

4. 3 寸法の異なる梁の曲げ変形解析

図-7~9は、それぞれ $P_t=1.4\%$ 、 2.1% 、および 2.8% の場合について計算した各寸法(基本寸法を除く)の梁の曲げモーメント-部材角関係の解析値と実験値を比較したものである。ここで、

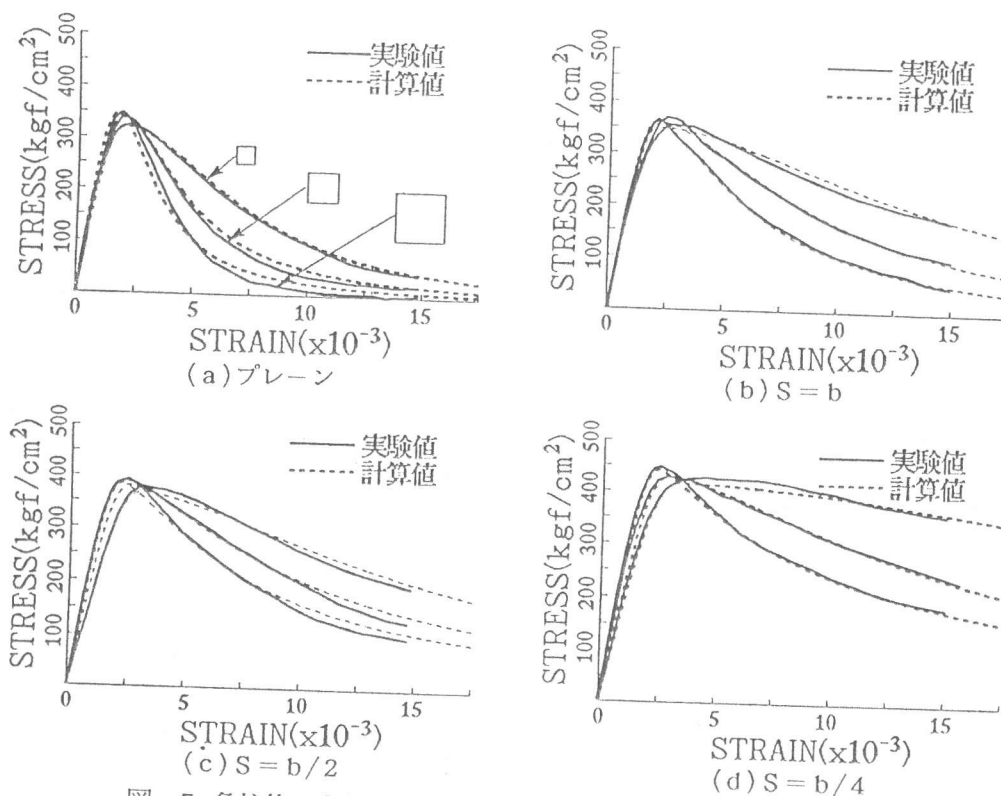


図-5 角柱体の応力-ひずみ曲線の実験値と計算値の比較

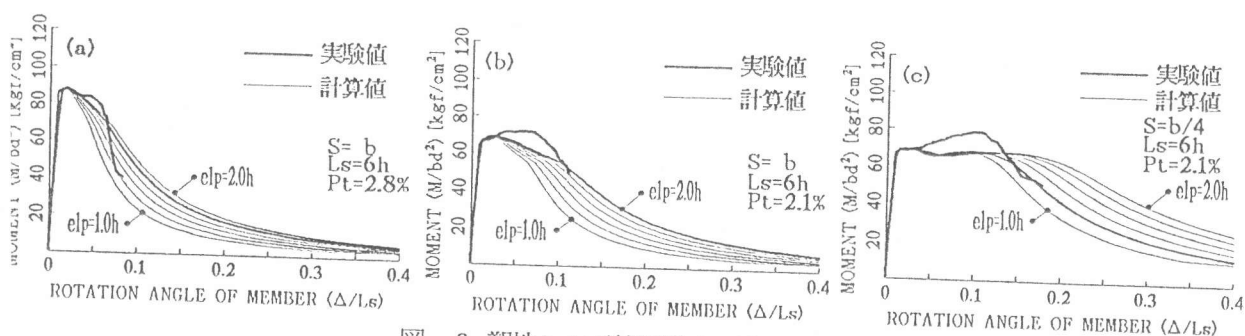


図-6 塑性ヒンジ等価長さの決定方法

表-4 基本寸法の梁の塑性ヒンジ等価長さ(elp)の値

試験体名	実験値				計算値			
	My	Δ_{My}	0.8My	$\Delta_{0.8My}$	My	Δ_{My}	0.8My	elp(xh)
9-4-1-2	52.4	0.012	41.9	0.140	46.3	0.011	37.0	1.6
9-6-1-2	47.1	0.010	37.7	0.143		0.013		1.4
9-8-1-2	47.9	0.012	38.3	0.175		0.015		1.8
9-4-1-3	70.6	0.010	56.5	0.085	67.0	0.010	53.6	1.6
9-6-1-3	66.2	0.011	53.0	0.109		0.013		2.0
9-8-1-3	69.8	0.013	55.8	0.097		0.015		1.6
9-4-2-3	75.6	0.011	60.5	0.108	67.2	0.010	53.8	1.8
9-6-2-3	67.2	0.017	53.8	0.124		0.013		2.0
9-8-2-3	70.9	0.014	56.7	0.129		0.016		2.0
9-4-4-3	70.9	0.010	56.7	0.224	67.8	0.011	54.2	1.5
9-6-4-3	67.5	0.011	54.0	0.161		0.013		1.2
9-8-4-3	70.0	0.015	56.0	0.166		0.016		1.2
9-4-1-4	87.2	0.012	69.8	0.076	86.5	0.009	69.2	2.0
9-6-1-4	86.9	0.013	69.5	0.065		0.012		1.8
9-8-1-4	91.8	0.014	73.4	0.067		0.015		1.8

註) M_y :降伏モーメント指数 $M/b'd^2$ [kgf/cm²]

〔試験体名〕 9-4-1-2

 Δ_{MY} : 降伏時部材角 $\Delta/\bar{L}_s$
$$\Delta_{0.8My}: 0.8My \text{ 時部材角 } \Delta / Ls$$
$$-P_t = 1.4\% [x 0.7\%]$$
$$\delta = b$$

4 h

四

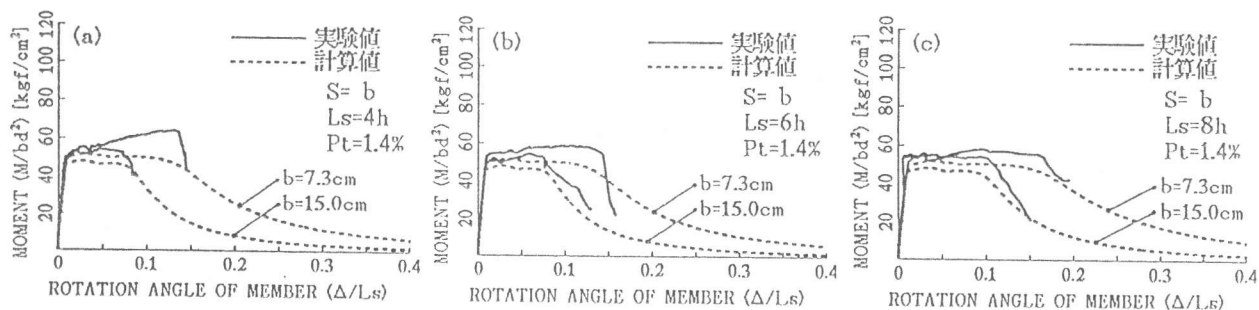


図-7 RC梁の曲げモーメント-部材角関係の実験値と解析値の比較

($b=9.7\text{cm}$ シリーズ以外のものを比較) ($P_t=1.4\%$)

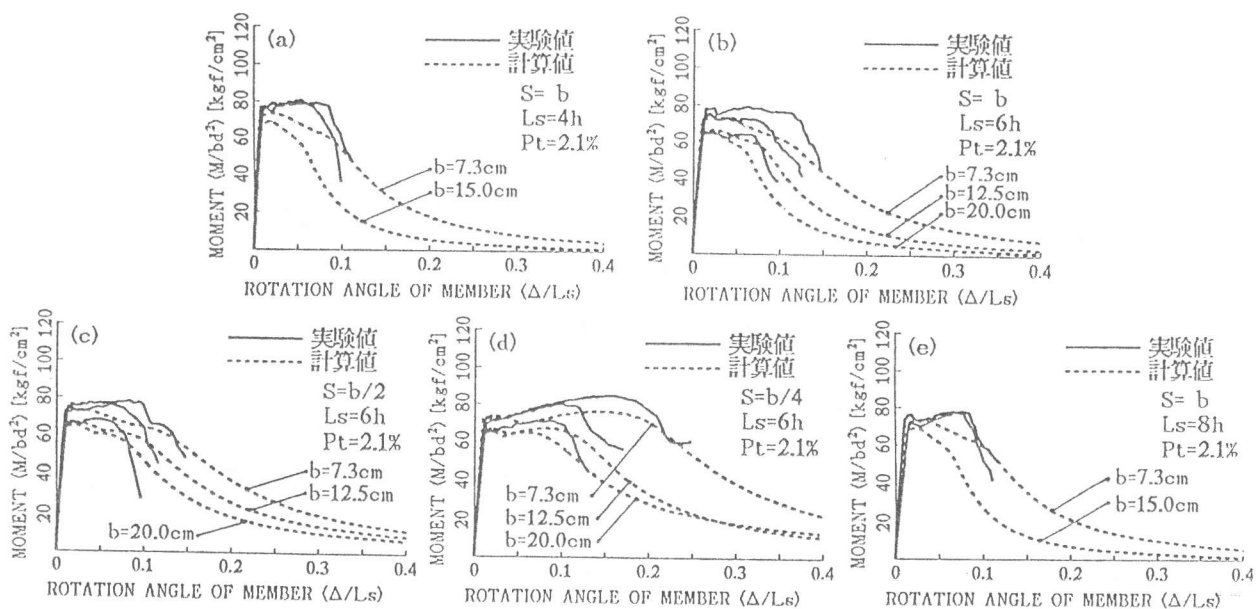


図-8 RC梁の曲げモーメント-部材角関係の実験値と解析値の比較

($b=9.7\text{cm}$ シリーズ以外のものを比較) ($P_t=2.1\%$)

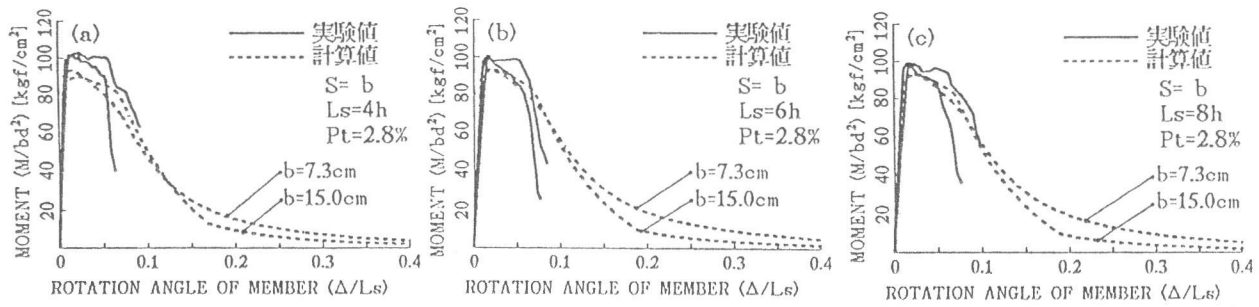


図-9 R C梁の曲げモーメント-部材角関係の実験値と解析値の比較
($b=9.7\text{cm}$ シリーズ以外のものを比較)($P_t=2.8\%$)

解析では梁幅が 9.7cm (基本寸法)のものに対して得られた elp の値(表-4)を用いている。また、使用材料の特性や設計断面については、それぞれの梁の諸量を入力してある。

これらの図によれば、高鉄筋比の梁(図-9)では、寸法効果自体が極めて小さいため、再現性が明確には分からないなど、ばらつきはあるものの、全体的に見て、R C梁の塑性変形挙動における寸法効果、とりわけ曲げモーメントが急激に低下しはじめる終局域の変形能における寸法効果は、比較的良く再現されていると言える。またこの結果は、本報で取り扱った引張鉄筋比($P_t=1.4\sim 2.8\%$)およびあばら筋比($P_w=0.1\sim 0.6\%$)の範囲で全般的に認められた。このことから、曲げ破壊するR C梁の塑性変形挙動における寸法効果は、曲げ圧縮部のコンクリートの応力-ひずみ関係の寸法効果を考慮するだけでも、およその推測が可能であると考えられる。

5. まとめ

- 1) R C梁の曲げ圧縮部を模擬したコンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係は、式(1)および式(2)中のパラメータを適宜それぞれの曲線に対して設定することで、比較的精度良く表示できた(図-5)。
- 2) 本報で取り扱ったR C梁[3]の塑性ヒンジ等価長さ elp の値として、およそ $1.5h\sim 2.0h$ の値が得られた(表-4)。
- 3) R C梁の曲げ塑性変形挙動における寸法効果は、曲げ圧縮部のコンクリートの寸法効果を正確に入力すれば、定量的にほぼ推定することが可能であると思われる(図-7～9)。

[謝辞]

本研究に際し、御助力を得た安藤昌仁君(三重大学大学院)、および畑中研究室の諸氏に深謝致します。また、本研究は、筆者らの一人が参画している日本コンクリート工学協会・破壊力学の応用研究委員会(委員長:三橋博三・東北大学助教授)の調査研究に端を発している。付記して謝意を表する。

[参考文献]

- [1] 畑中・梁川・吉田・小池:スラブの効果を受けるR C梁の塑性変形挙動に関する研究、第13回コンクリート工学年次論文報告集、1991, pp. 293-298.
- [2] 吉田・畑中・上田・小池:スラブ付きR C梁の塑性変形挙動に及ぼす材長の影響、第14回コンクリート工学年次論文報告集、1992, pp. 173-178.
- [3] 小池・畑中・奥谷:鉄筋コンクリート梁の塑性変形挙動に及ぼす供試体寸法の影響、第11回コンクリート工学年次論文報告集、1989, pp. 27-32.
- [4] 小池・畑中:横拘束コンクリートの圧縮特性に及ぼす供試体の形状・寸法の影響、第12回コンクリート工学年次論文報告集、1990, pp. 707-712.