

# 論文 重拘束 RC 柱の曲げ耐力に関する研究

加藤清志<sup>\*1</sup>・加藤直樹<sup>\*2</sup>・岩坂紀夫<sup>\*3</sup>

**要旨:**RC柱で横拘束筋のピッチは、その圧縮耐力に大きな影響を与えることを示した。とくに、帯鉄筋柱の場合には40mm以下の重拘束は耐力のみならずじん性にも効果的であり、両者の間には線形関係があることを明らかにした。本報では、重拘束RC柱の曲げ耐力について考察し、圧縮の場合と同様に重拘束ほど耐力は向上するが、とくに、30mmを越えない小ピッチでかつ、縦方向鉄筋の鉄筋量が同一であれば太径のものほど曲げ耐力および曲げじん性は、ともに著しく向上することを明らかにした。

**キーワード:**RC柱、横重拘束、カンファインドコンクリート、圧縮耐力、曲げ耐力、じん性

## 1. まえがき

RC構造物の耐震性向上は全世界的課題の一つである。とくに柱の損傷は構造工学的視点から、はりよりもむしろ致命的で、一般に柱は地震力と大きな自重との複合作用により、斜めせん断すべりにより座屈する。すでに、中心軸方向載荷が支配的な横方向拘束されたRC短柱の基本破壊メカニズムについて報告した[1-3]。また、RC短柱に関するカンファインドコンクリートの実用的応力-ひずみ曲線の開発、主筋閾値鉄筋比の存在、じん性の定量的評価法を示し、さらに、実験的に帯鉄筋間隔が40mm以下で重拘束効果が顕著となること、最終的には重拘束柱の最大耐力は「帯鉄筋間隔/有効断面寸法比」の関数で与えられること、並びに最大耐力とじん性との相関性等を明らかにした[4]。図-1は、主筋量をパラメーターとした場合の圧縮耐力と帯筋ピッチとの関係を示したものであるが、重拘束と主筋の重要性をよく示している。

本報では、さらに、重拘束柱の曲げ挙動の基本を解析し、設計上の指針を求めるものである。

## 2. 柱モデルの作製

試験体寸法は150×150×530mm、鉄筋かごについては図-1に示す

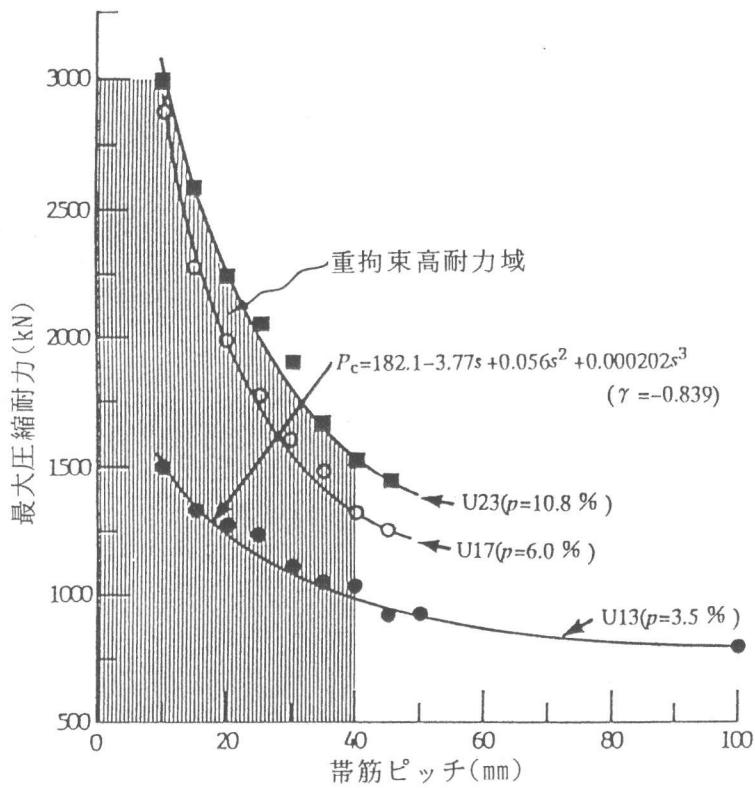


図-1 最大圧縮耐力と帯筋ピッチとの関係

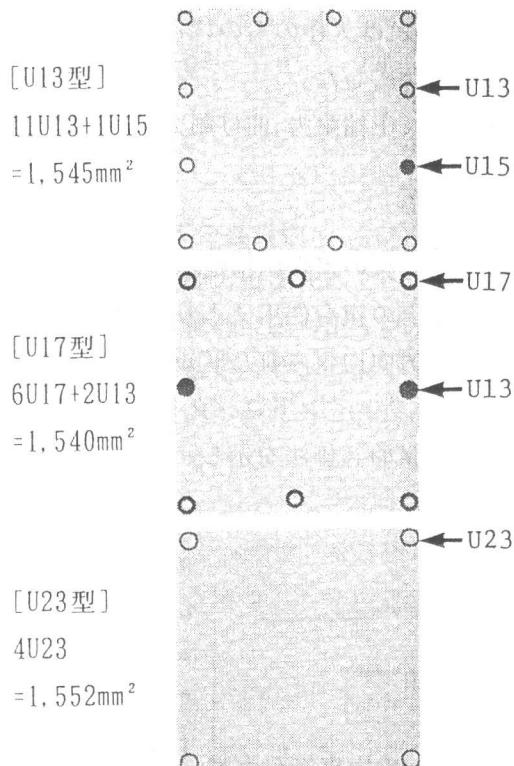
\* 1 防衛大学校教授土木工学科、工博(正会員)

\* 2 浅野工学専門学校助教授、建築工学科、(正会員)

\* 3 ネツレン東京営業所部長

重拘束効果の著しい40mm以下の帶鉄筋間隔( $s=10, 20, 30, 40\text{mm}$ )に対し、主筋量を有効断面( $120 \times 120\text{mm}$ )に対し、ほぼ一定(10.8%)となるように鉄筋径と本数を、図-2に示すように[U13型](U13を11本とU15を1本の組み合わせ)、[U17型](U17型を6本とU13を2本の組み合わせ)、[U23型](U23を4本)の3種のパターンに構成した。この理由は次のようなである。すなわち、①同一主筋に対する4種のピッチの影響度、②同一ピッチに対する主筋の本数の影響度等を明確にするものである。図-3は鉄筋かごの組立て状況を示す。

鉄筋はすべて、高強度筋で、その材質はSBPD1275/1420(旧130/145)である。帶鉄筋はU6.4( $a_s = 30\text{mm}^2$ )、主筋はU13( $a_s = 125\text{mm}^2$ )、U17( $a_s = 215\text{mm}^2$ )、U23( $a_s = 388\text{mm}^2$ )等の断面積をもつものである。



構造コンクリートの平均圧縮強度は28日水中養成後で $59.9\text{N/mm}^2$ で、その示方配合を表-1に示す。曲げ載荷はスパン450mm、中央点載荷法により、1960kN圧縮試験機を用い、鉄筋断面積調整用鉄筋面を側面にして載荷した。図-4は曲げ載荷装置とたわみ計測装置

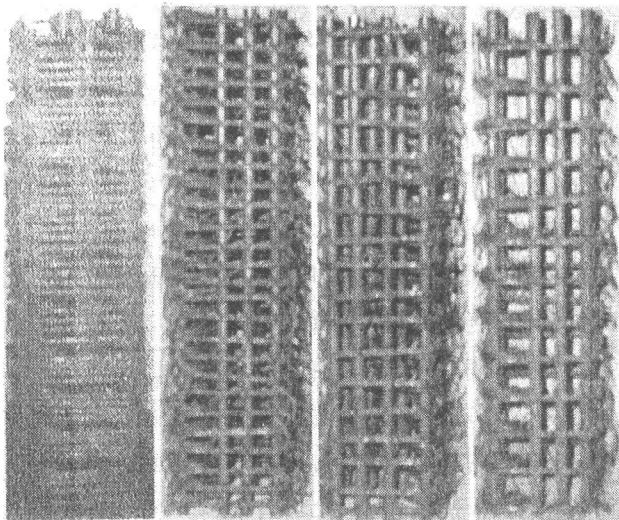


図-2 主筋の配置法

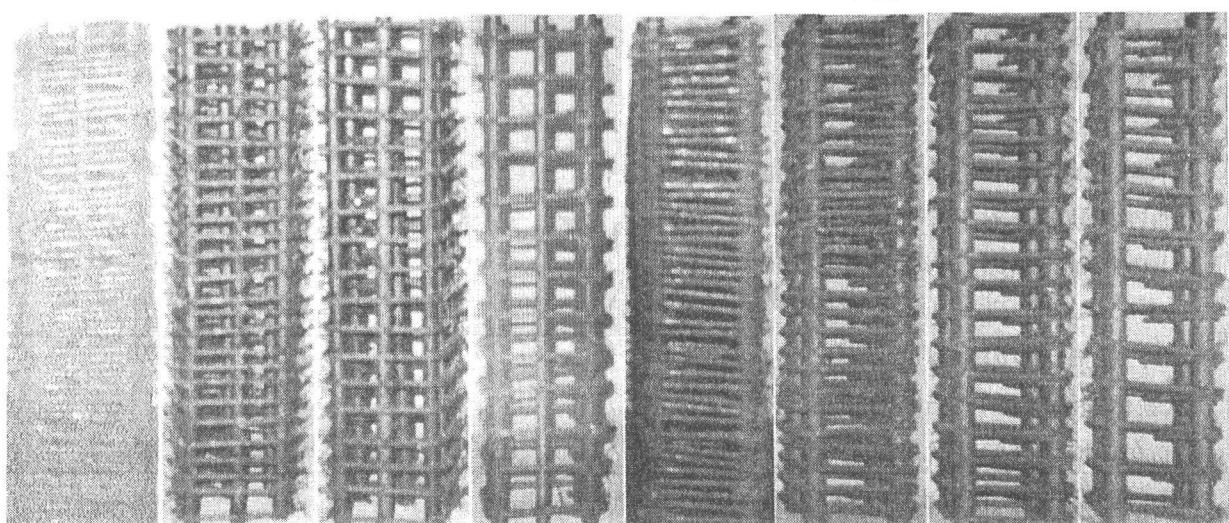


図-3 鉄筋かごの組立て状況

表-1 示方配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラン プの範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)							混和剤 減水剤 1.58ℓ		
					水 W	セメン ト C	混和材 F	細骨材 S	粗骨材 G					
									5 mm 10mm	mm mm				
10	15	0.5 ～1.0	42	33.0	217	523	—	523	1046	—				

のセット状況を示す。

コンクリートの打ち込み手順は、粗骨材最大寸法と鉄筋かごの格子目寸法との関係から、最初に鉄筋かごの中にコンクリートを充し、図5に示す中詰め鉄筋かごを型枠に入れ、かぶり部分にはウェットスクリーニング・モルタルを流し込み、テーブルバイブレーターで全体が一体化するように十分締固めた。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 曲げ破壊モード

図-6(a), (b), (c)は、それぞれ主筋配置[U13型], [U17型], [U23型]の破壊状況を示す。いずれもひび割れ分散化に伴うダクタイルな破壊モードを示している。とくに、いずれの主筋配置であっても、帶筋ピッチが小さいほどひび割れ間隔が小さくなる。破壊モードから明らかなように、重拘束により圧縮や引張破壊が直接的な曲げ耐力低下の主因とはならず、むしろ支点部のせん断破壊が支配的であった。

以上の現象論的なひび割れ性状の観点からも、RC柱の耐久性向上のためにはできるだけピッチを小間隔にすることが望ましことがわかる。

#### 3.2 荷重-たわみ曲線の特性

ピッチ30mmと40mm, ピッチ10mmと20mmとはほぼ同様な挙動を示すので、図-7, 8に、それぞれピッチ30mm, 10mmの場合のティピカルな荷重-たわみ曲線を示す。

図-7から明らかなように、重拘束の中でもやや大きなピッチ30mmや40mmの場合は拘束効果が

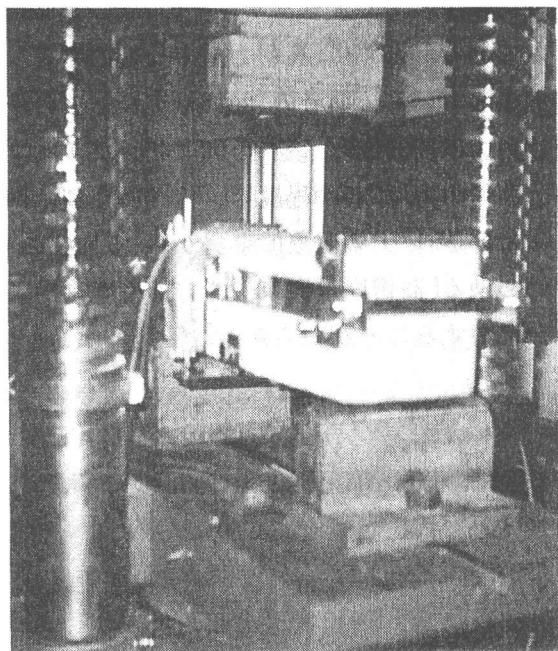


図-4 曲げ載荷装置とたわみ計測装置

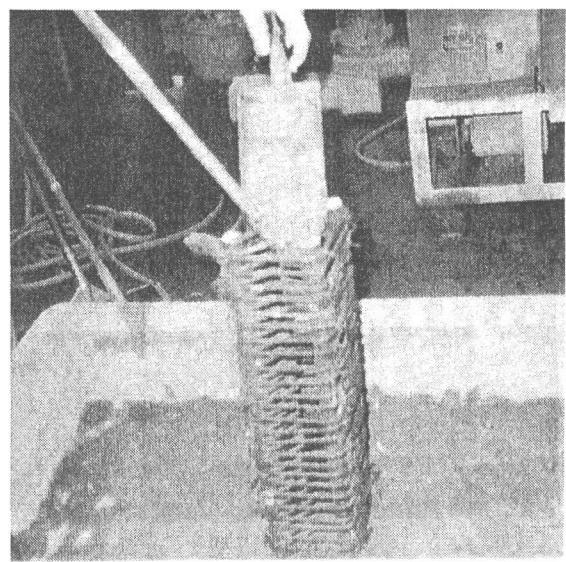
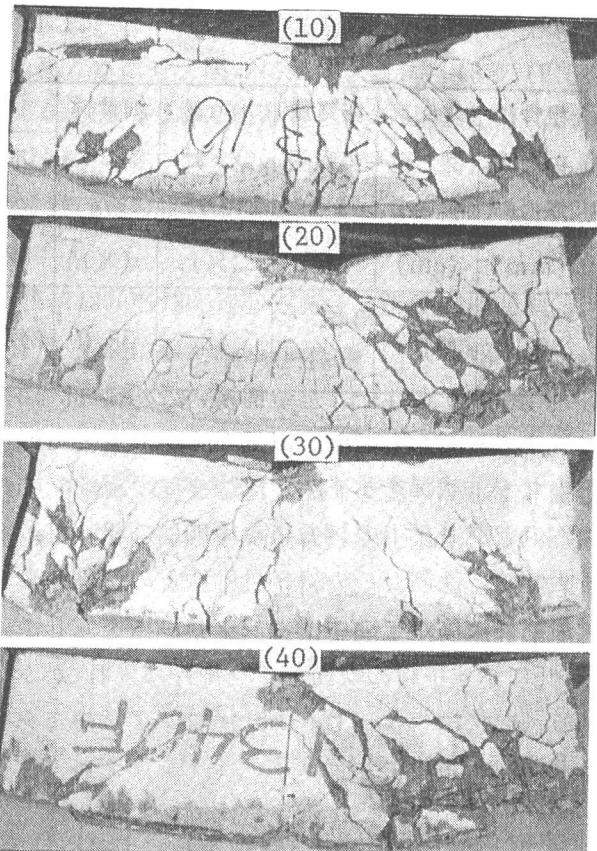


図-5 鉄筋かごへのコンクリート中詰め状況

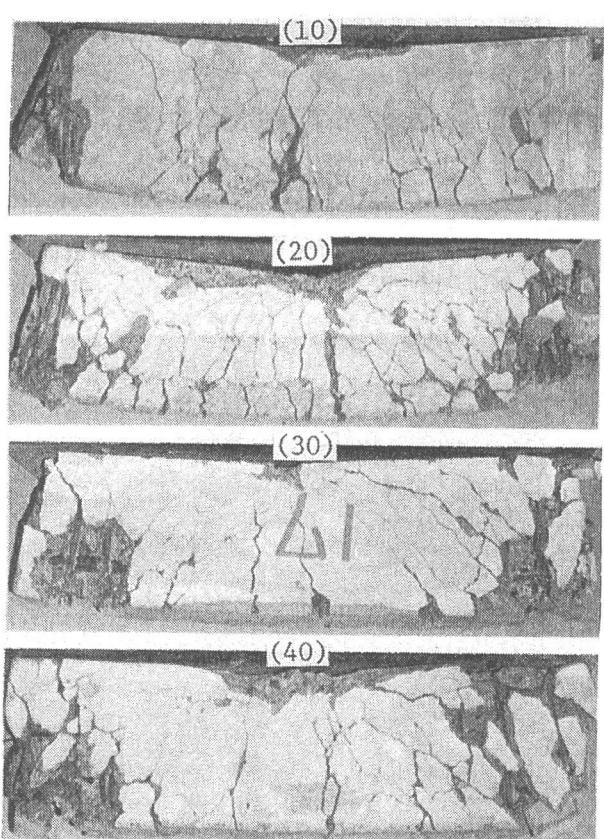
顕著に機能しないため、主筋量が同一であればほぼ類似のたわみ挙動を示すことがわかった。一方、図-8に示すように、重拘束中の重拘束、ピッチ10mmや20mmの場合には、主筋の径の大きさやその本数に曲げ挙動はやや大きな影響を受けている。

### 3.3 曲げ挙動に及ぼすピッチの影響

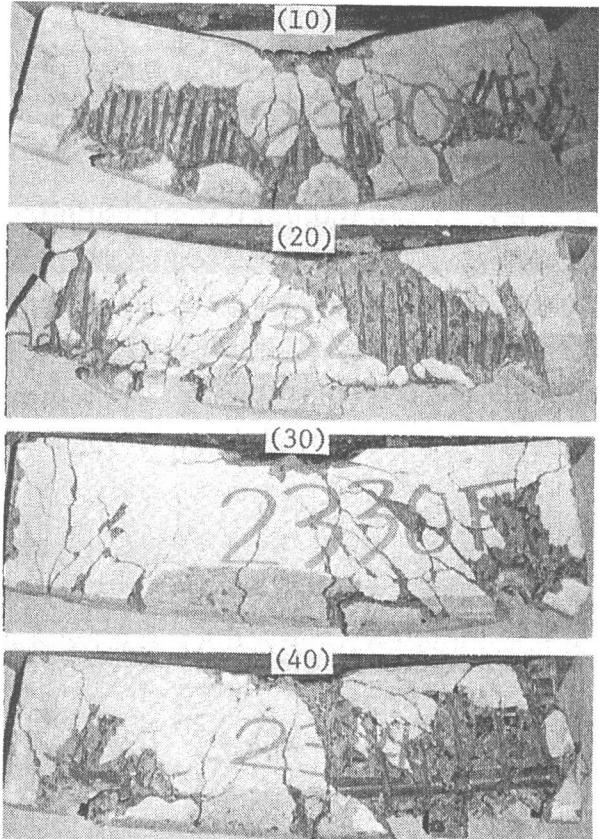
図-9は、ピッチをパラメーターとした[U23型]の場合の荷重-たわみ曲線であるが、やはり、ピッチ10mm、20mmの重拘束中の重拘束のグループと、重拘束中のやや大きなピッチの2グループにわかれており、とくに、高耐力域で比較的顕著な差が発生している。前者の10, 20mmグループの最大曲げ耐力は約290kN、後者の30, 40mmグループの最大曲げ耐力は230kN程度で、約80%程度に低くなっている。以上の現象的事実から、重拘束の中に、いわゆる「高密度重拘束」と「普通密度重拘束」とが存在することが明らかとなった。



(a)[U13型]



(b)[U17型]



(c)[U23型]

図-6 重拘束R C柱の曲げ破壊モード[数字は帶筋ピッチ(mm)]

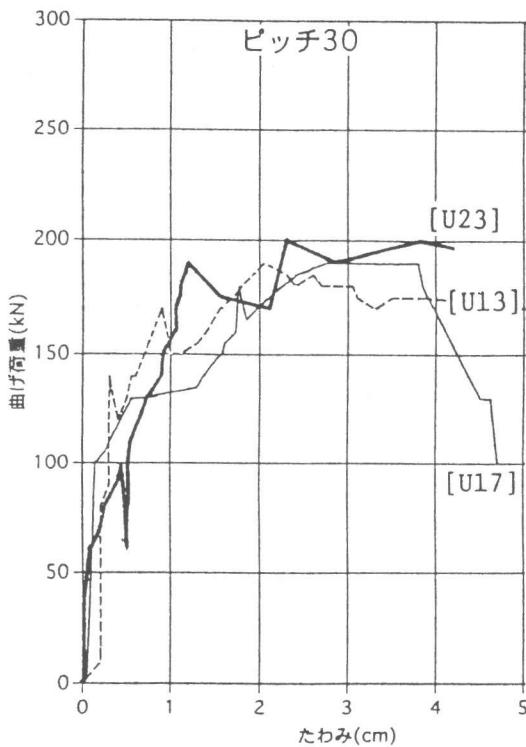


図-7 ピッチ30mmの場合の荷重-たわみ曲線

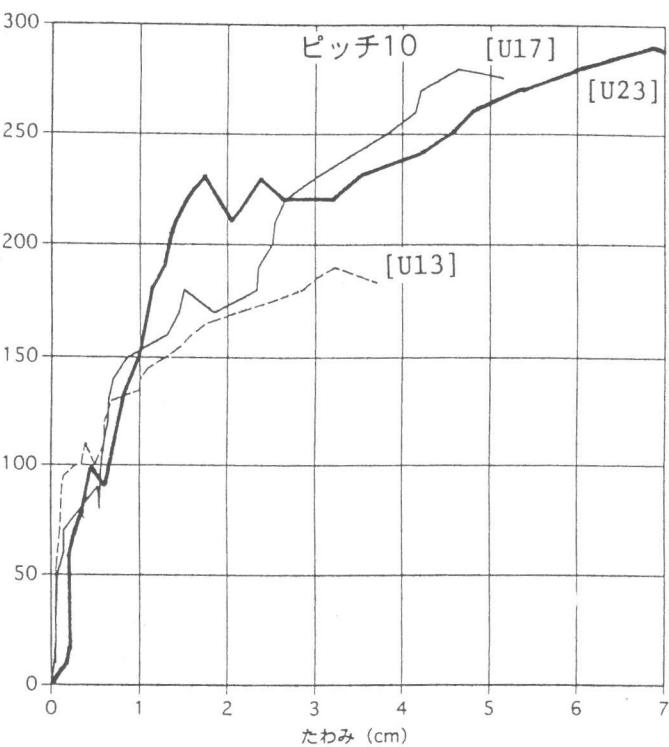


図-8 ピッチ10mmの場合の荷重-たわみ曲線

### 3.4 曲げ耐力に及ぼす主筋径の効果

図-10は、主筋径をパラメーターとした場合の平均最大曲げ耐力とピッチとの関係を示している。いずれの主筋径の場合で

も、ピッチの広がりとともに曲げ耐力は低下する一般的傾向が明りようで、さらに、ピッチ30mm以上で耐力が急減していることがわかる。また、重要な点は、平均最大曲げ耐力に及ぼす鉄筋径はU17, U23といった太径のほうが、細径のU13より有効であることがわかる。この理由は、曲げ引張鉄筋量が最外縁で

$$\begin{aligned} & [U23]:[U17]:[U13] \\ & = 776(\text{mm}^2):645(\text{mm}^2):500(\text{mm}^2) \\ & = 1:0.83:0.64 \end{aligned}$$

となり、一般に抵抗曲げモーメントは鉄筋量に比例するがこの理論的根拠をよく反映している。

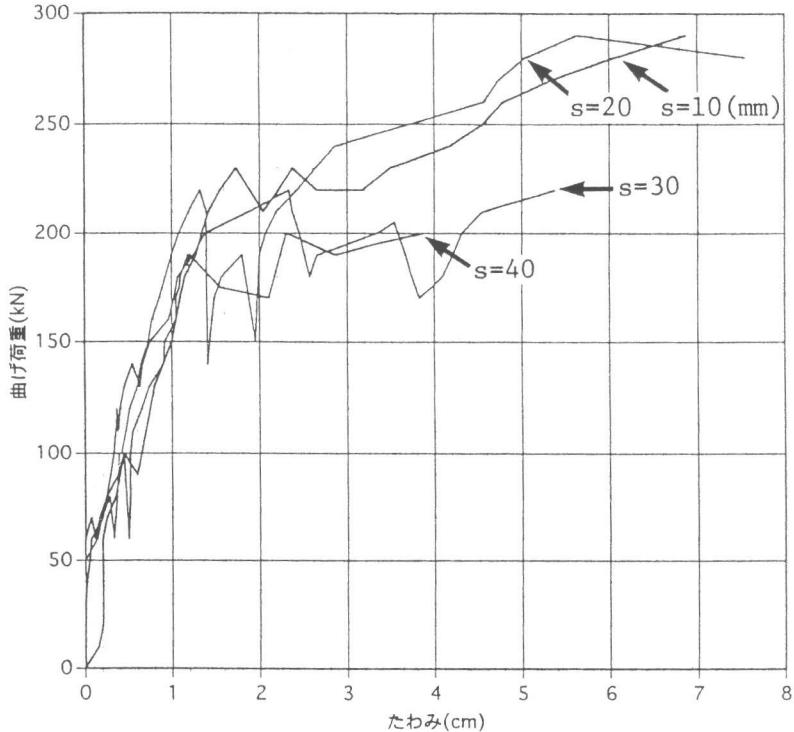


図-9 [U23]の場合の帶筋ピッチをパラメーターとした荷重-たわみ曲線の比較

### 3.5 曲げじん性の最大曲げ耐力との関係

曲げじん性を「曲げ荷重 - たわみ曲線」の最大耐力までの面積値とするとき、図-11は曲げ耐力とじん性との関係を示すが、この相関式は  $A_f$  をじん性(kN·cm)、最大曲げ耐力を  $F(kN)$  とすると ( $\gamma$ : 相関係数)、

$$A_f = 0.0913F^2 + 0.966F + 0.377 \quad (\gamma = 0.73)$$

すなわち、柱の圧縮の場合[4]と同様に、最大耐力の増大とともにねばりも近似的には直線的に増大する。重拘束かつ高強度鉄筋の使用は、柱を高耐力化・高じん性化にするのできわめて有利である。

### 4.まとめ

- ① 帯筋ピッチが小さいほど、ひび割れ間隔・ひび割れ幅は小さくなり、耐久性上有利である。
- ② 同一鉄筋量で、ピッチ10mmと20mm, 30mmと40mmとの2グループに分けられ、前者は「高密度重拘束」後者は「普通重拘束」と表現され、前者はとくに高耐力・高じん性を示す。
- ③ 主筋径については、同一鉄筋量であれば、太径ほど耐力的に有利である。
- ④ 曲げじん性は、圧縮耐力の場合と同様に、曲げ耐力と比例関係にある。

**謝辞** 本研究には、防大 北山哲也、古川 剛卒研生、また、浅野工専卒研生の尽力を受けた。ワープロは防大 治郎丸良英事務官の労によった。ここに、謝意を表する。

### 参考文献

- [1] Kato, K., Kato, N. and Iwasaka, N.: Strain-Hardening of RC Column and Development of Its Bearing Capacity, Proc. 35th Japan Cong. Mat. Res., pp. 125-132, 1992.
- [2] Kato, K., Kato, N. and Iwasaka, N.: Practical Stress-Strain Curve of RC Column and Its Steel Ratio of Axial Reinforcement, Theor. Appl. Mech., V. 42, pp. 175-186, 1993.
- [3] Kato, K., Kato, N. and Iwasaka, N.: Quantitative Evaluation of Toughness of RC Column Considering Confinement Effect and Threshold Steel Ratio, Proc. 36th Japan Cong. Mat. Res., pp. 152-160, 1994.
- [4] Kato, K., Kato, N. and Iwasaka, N.: High Performance of Heavily Confined RC Column, Theor. Appl. Mech., V. 44, pp. 95-105, 1995.

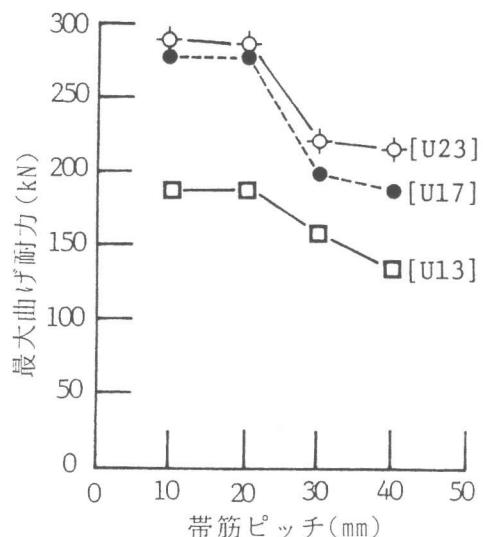


図-10 曲げ耐力に及ぼす主筋径の影響

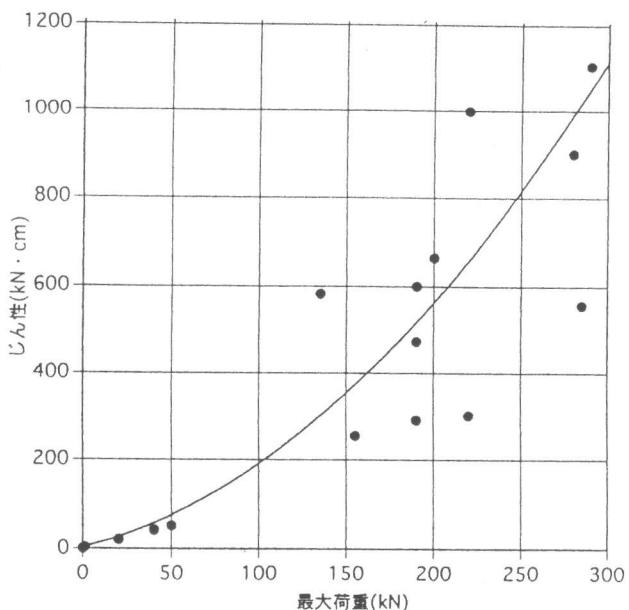


図-11 曲げじん性と最大曲げ耐力との関係