

## 第5章 軸方向伸縮性状と復元力特性の関係

### 5.1 はじめに

過去の地震で大破した鉄筋コンクリート構造物の柱部材の破壊状況は、地震時の水平力によって柱部材が破壊し、その破壊程度が激しくなると、鉛直軸力を支えられなくなり、土階スラブの沈下、窓や扉の開閉不能や、設備の機能の停止に結びつく非構造部材の破損が生じた場合が多い。更に、破壊が激しいものでは、上階が落下した場合もある。

鉛直部材の使命は、地震時に大変形を受けても鉛直軸力を支えることである。RC柱が鉛直軸力を支えきれなくなり、上階が落下する原因には、次の2つが考えられる。

- (1) 水平変形による破壊の進行に伴い、鉛直荷重を支えきれず、RC柱が軸方向に縮むことによるもの。
- (2) 大変形によるP- $\Delta$ 効果によって生じるせん断力が、RC柱の保有せん断力を上回ることによるもの。

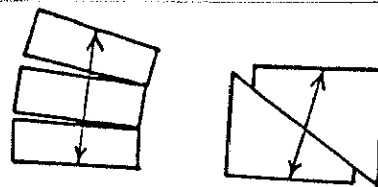
P- $\Delta$ 効果による影響は、破壊の発生機構が単純であるため、地震応答解析などに、よく取入れられている。しかし、前者による破壊、すなわち、軸方向伸縮性状と復元力特性の関係については、定量的に未だ明らかにされていない。従って、軸方向伸縮性状と復元力特性または部材の破壊現象を関係づけることは、鉛直部材の降伏後から最終破壊に至る力学的性状を知る上から、また、構造物の耐震安全性を検討する上からも極めて重要である。

RC柱では、大部分の鉛直軸力はコンクリートによって伝達されており、水平力によって生じるコンクリートの破壊（例えば、せん断破壊、付着破壊、圧縮側コンクリートの圧壊など）と軸方向伸縮性状は極めて深い関係にあるものと考えられる。

そこで、本章では、第2章から4章で得られた実験結果を用いて、軸方向伸縮性状と復元力特性、及び、終局時の破壊現象の関係を考察する。

### 5.2 軸方向伸縮性状

一般に、RC柱に生じる軸方向伸縮には、図-5.1 に示すように、曲げ変形とせん断変形によるものがある。



(a) 曲げ変形による 軸方向伸縮 (b) せん断変形による 軸方向伸縮

図-5.1 曲げ変形とせん断変形による軸方向伸縮

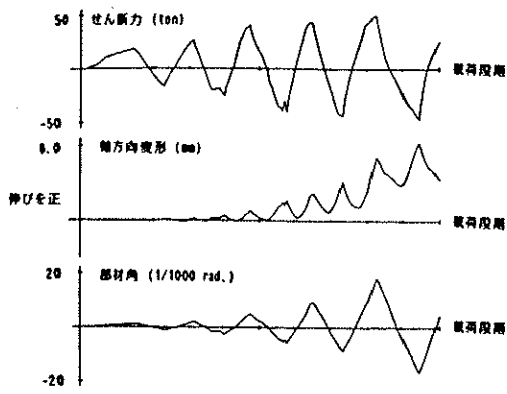
曲げ変形による軸方向伸縮は、曲げひびわれの発生に伴い、断面の回転中心が圧縮側に移動することによって生じる。そのため、破壊の程度が小さいときには、曲げ変形の増大に伴い、軸方向に伸びが生じる。しかし、破壊の程度が大きくなると、すなわち、圧縮側のコンクリートがはく落し、圧縮鉄筋が座屈し、圧壊すると、回転中心が引張り側へ移動するため、軸方向に縮み始める。

一方、せん断変形による軸方向伸縮は、斜めせん断ひびわれ面に沿ってずれることによって生じるため、せん断変形の増大とともに、軸方向縮みも増加する。

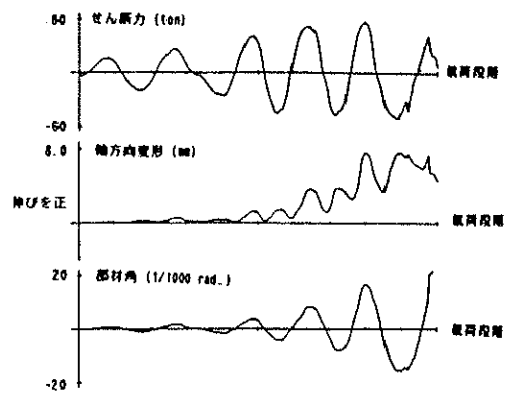
RC柱は部材内部で一様に破壊しないので、破壊程度の小さい部分では、曲げ変形によって伸び、それに対して、破壊の程度が大きい部分では、局部的に大きく縮むものと思われる。いかえると、RC柱が縮み始める現象は、部材全体が一様に縮むことではなく、部材内部の局部で生じた急激な縮み量が、他の部分で生じる伸び量よりも大きくなることを意味している。

図-5.2 に、C10, C1R, C20, C2R, C30, C3Rの水平せん断力、軸方向伸縮量、変形部材角が載荷段階とともに変化していく様子を示す。全試験体の軸方向伸縮量は、曲げ変形による軸方向伸びの影響を受けて、部材角に比例して増減しているが、C20, C30, C3Rでは、変形部材角=0の時の軸方向伸縮量が徐々に減少しており、これらの試験体では、明らかに軸方向に縮みが生じていることが認められる。

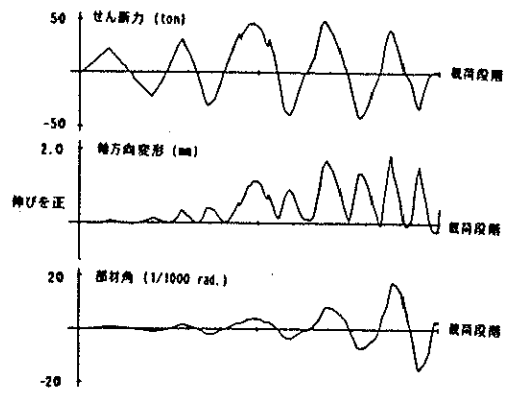
図-5.2 に示すように、軸方向伸縮量は変形部材角によって大きく変動するため、軸方向伸縮量の変化からは破壊による軸方向縮みを判別するのは困難である。これは、RC柱では、曲げ変形による伸びが大きく、また、塑性変形を経験すると、ひびわれ面に沿ったずれや、ひびわれ面への破片の侵入により、ひびわれ口が完全に閉じないため、残留変形が無い場合であっても、軸方向に伸びるためである。



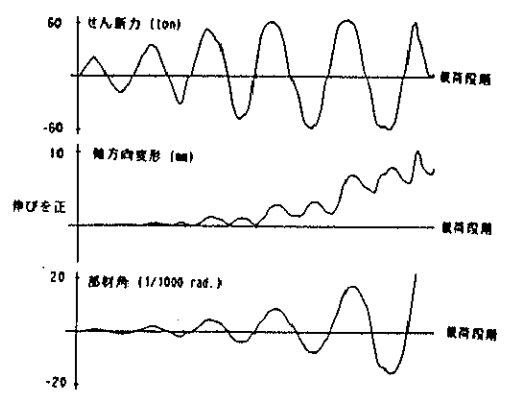
(a) C10



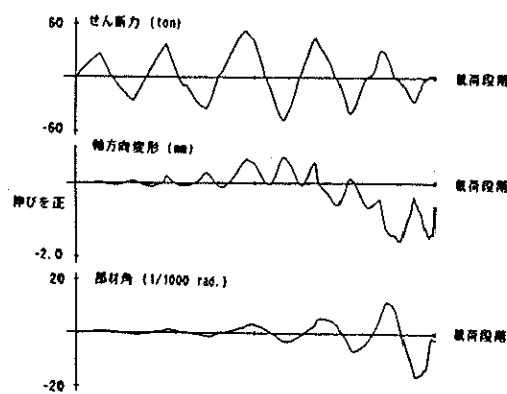
(b) C1R



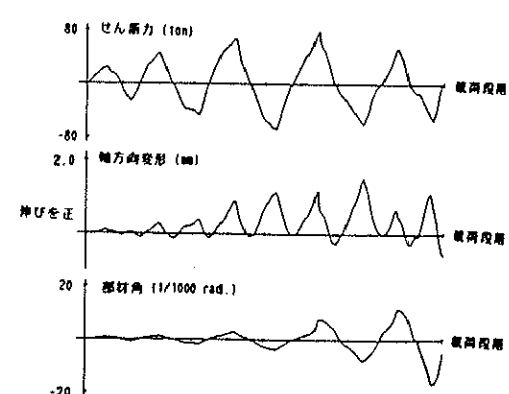
(c) C20



(d) C2R



(e) C30



(f) C3R

図-5.2 せん断力、軸方向変形および部材角の推移

### 5.3 エネルギー吸収履歴曲線

#### 5.3.1 水平変形と軸方向伸縮によるエネルギー吸収量とRC柱の破壊の関係

本節では、図-5.3 に示すように材端で曲げモーメント  $M_0$  と水平力  $Q_h$  及び鉛直力  $N_v$  を受けるRC柱の、水平変形と軸方向伸縮によるエネルギー吸収量と破壊の関係について述べる。

大変形では、全体変形の大部分が、曲げ降伏ヒンジの回転によって生じており、A-B間で生じる弾性たわみと直線A-Bのずれによる影響は少ないと思われるので、ここでは、式の展開を簡略化するために、大変形時の材軸は柱脚Aと柱頭B'を結ぶ直線になると仮定した。また、曲げ変形とせん断変形、及び、軸方向伸縮は互いに独立して生じるものと仮定する。

荷段階  $n$  において、RC柱に作用するせん断力は、変形後の材軸A-B'に直交する力の合力  $Q_n$  であり、式(5.1) のように表わされる。

$$Q_n = Q_{h_n} \cdot \cos R_n + N_v \cdot \sin R_n \quad (5.1)$$

ここで、 $Q_{h_n}$ ; 荷段階  $n$  での水平外力

$N_v$ ; 鉛直外力 (一定)

$R_n$ ; 荷段階  $n$  での部材角

荷段階  $n$  において、材軸上の区間  $i$  に作用する曲げモーメント  $M_{i_n}$  は、式(5.2) で表わされる。

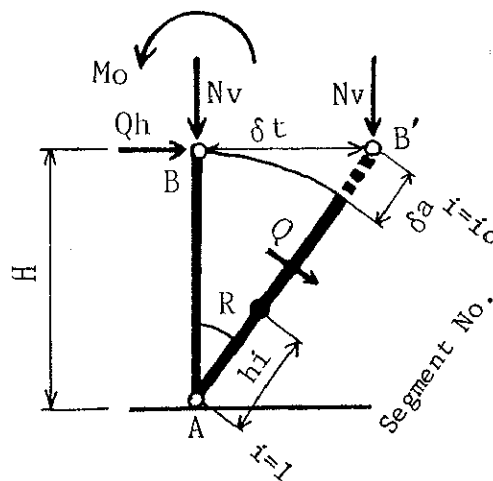


図-5.3 水平変形と軸方向伸縮によるエネルギー吸収量の算定方法

$$M_{in} = Q_n \cdot (H + \delta a_n - h_i) \cdot \cos R_n - M_{0n} + N_v \cdot (H + \delta a_n - h_i) \cdot \sin R_n \quad (5.2)$$

ここで、 $H$  ; A-B間の距離

$h_i$  ; A点から区間*i*の中心までの距離

$M_{0n}$  ; 載荷段階  $n$ で、柱頭Bに作用する曲げモーメント (左回を正)

$\delta a_n$  ; 載荷段階  $n$ までに生じた軸方向伸縮

また、載荷段階  $n$ において、材軸に平行に作用する軸力 $N_n$ は、式(5.3)で表わされる。

$$N_n = -N_v \cdot \cos R_n + Q_n h_n \cdot \sin R_n \quad (5.3)$$

従って、載荷段階  $n$ で曲げ変形とせん断変形、及び軸方向伸縮によって吸収されるエネルギー量  $d E_{bn}$ と  $d E_{sn}$ 、及び  $d E_{an}$ は、それぞれ式(5.4) ~ (5.6)で表わされる。

$$d E_{bn} = \sum_{i=1}^{i_0} M_{in} \cdot d \phi_{in} \cdot \Delta h \quad (5.4)$$

$$d E_{sn} = \sum_{i=1}^{i_0} Q_n \cdot d \gamma_{in} \cdot \Delta h \quad (5.5)$$

$$d E_{an} = \sum_{i=1}^{i_0} N_n \cdot d \varepsilon_{in} \cdot \Delta h \quad (5.6)$$

ここで、 $d \phi_{in}$  ; 載荷段階  $n$ において区間  $i$ で生じる平均曲率の増分

$d \gamma_{in}$  ; 載荷段階  $n$ において区間  $i$ で生じる平均せん断ひずみの増分

$d \varepsilon_{in}$  ; 載荷段階  $n$ において区間  $i$ で生じる平均軸方向伸縮ひずみの増分

$\Delta h$  ; 区間の長さ

一方、載荷段階  $n$ で生じた増分材端回転角  $d \theta_n$  , 増分曲げ変形量  $d \delta_{bn}$  , 増分せん断変形量  $d \delta_{sn}$  , 増分水平変形量  $d \delta_{tn}$  , 増分軸方向伸縮量  $d \delta_{an}$ は、それぞれ式(5.7) ~ (5.11)で表わされる。

$$d \theta_n = \sum_{i=1}^{i_0} d \phi_{in} \cdot \Delta h \quad (5.7)$$

$$d \delta_{bn} = \sum_{i=1}^{i_0} (H + \delta a_n - h_i) \cdot d \phi_{in} \cdot \Delta h \quad (5.8)$$

$$d \delta_{sn} = \sum_{i=1}^{i_0} d \gamma_{in} \cdot \Delta h \quad (5.9)$$

$$d \delta_{an} = \sum_{i=1}^{i_0} d \varepsilon_{in} \cdot \Delta h \quad (5.10)$$

$$d \delta_{tn} = (d \delta_{bn} + d \delta_{sn}) / \cos R_n + d \delta_{an} \cdot \sin R_n \quad (5.11)$$

そこで、式(5.4)に式(5.2), (5.7), (5.8)を代入し、 $\sin R_n \approx R_n$  ,  $\cos R_n \approx 1$ と仮定すると式(5.12)が得られる。

$$d E_{bn} = Q_n h_n \cdot d \delta_{bn} - M_{0n} \cdot d \theta_n + N_v \cdot R_n \cdot d \delta_{bn} \quad (5.12)$$

式(5.5) に式(5.1),(5.9) を代入し、 $\sin R_n \approx R_n$  ,  $\cos R_n \approx 1$  と仮定すると式(5.13)が得られる。

$$d E s_n = Q h_n \cdot d \delta s_n + N v \cdot R_n \cdot d \delta s_n \quad (5.13)$$

また、式(5.6) に、式(5.3) と(5.10)を代入し、 $\sin R_n \approx R_n$  ,  $\cos R_n \approx 1$  と仮定すると式(5.14)が得られる。

$$d E a_n = (Q h_n \cdot R_n - N v) d \delta a_n \quad (5.14)$$

載荷開始から載荷段階 $n_0$ までに曲げ変形とせん断変形、及び軸方向伸縮によって吸収したエネルギー量 $E_b$  と $E_s$ 、及び $E_a$  は、それぞれ式(5.15)~式(5.17)で表わされる。

$$E_b = \sum_{n=1}^{n_0} d E b_n = \sum_{n=1}^{n_0} Q h_n \cdot d \delta b_n - \sum_{n=1}^{n_0} M o_n \cdot d \theta_n + N v \cdot \sum_{n=1}^{n_0} R_n \cdot d \delta b_n \quad (5.15)$$

$$E_s = \sum_{n=1}^{n_0} d E s_n = \sum_{n=1}^{n_0} Q h_n \cdot d \delta s_n + N v \cdot \sum_{n=1}^{n_0} R_n \cdot d \delta s_n \quad (5.16)$$

$$E_a = \sum_{n=1}^{n_0} d E a_n = \sum_{n=1}^{n_0} (Q h_n \cdot R_n - N v) d \delta a_n \quad (5.17)$$

載荷開始から載荷段階 $n_0$ までに水平変形に伴ってRC柱が吸収するエネルギー量 $E_h$  は、式(5.15)と式(5.16)から式(5.18)で表わされる。

$$E_h = E_b + E_s = \sum_{n=1}^{n_0} Q h_n \cdot (d \delta b_n + d \delta s_n) - \sum_{n=1}^{n_0} M o_n \cdot d \theta_n + N v \cdot \sum_{n=1}^{n_0} R_n \cdot (d \delta b_n + d \delta s_n) \quad (5.18)$$

従って、RC柱が吸収する全エネルギー量 $E$ は、式(5.19)で表わされる。

$$E = E_h + E_a = \sum_{n=1}^{n_0} Q h_n \cdot d \delta t_n - \sum_{n=1}^{n_0} M o_n \cdot d \theta_n + N v \cdot \sum_{n=1}^{n_0} \{ R_n \cdot (d \delta b_n + d \delta s_n - d \delta a_n) \} \quad (5.19)$$

一方、載荷段階 $n_0$ までに水平力 $Q_h$  と材端曲げモーメント $M_o$  及び鉛直力 $N_v$  がなす仕事量 $W_q$  ,  $W_m$  及び $W_v$  は、式(5.20)~(5.22)で表わされる。

$$W_q = \sum_{n=1}^{n_0} d W q_n = \sum_{n=1}^{n_0} Q h_n \cdot d \delta t_n \approx \sum_{n=1}^{n_0} Q h_n \cdot d \delta t_n \quad (5.20)$$

$$W_m = \sum_{n=1}^{n_0} d W m_n = \sum_{n=1}^{n_0} (-M o_n \cdot d \theta_n) \quad (5.21)$$

$$W_v = \sum_{n=1}^{n_0} d W v_n = \sum_{n=1}^{n_0} N v \cdot \{ (d \delta b_n + d \delta s_n) \cdot \tan R_n - d \delta a_n \cdot \cos R_n \} \approx \sum_{n=1}^{n_0} N v \cdot \{ R_n \cdot (d \delta b_n + d \delta s_n) - d \delta a_n \} \quad (5.22)$$

ここで、 $d W q_n$ ; 載荷段階  $n$ で水平外力がなす仕事量の増分

$dW_{m_n}$ ; 載荷段階  $n$  で材端曲げモーメントがなす仕事量の増分

$dW_{v_n}$ ; 載荷段階  $n$  で鉛直外力がなす仕事量の増分

従って、外力がなす全仕事量  $W$  は、式(5.23)で表わされる。

$$\begin{aligned} W &= W_q + W_m + W_v \\ &= \sum_{n=1}^{n_0} Q h_n \cdot d \delta t_n - \sum_{n=1}^{n_0} M o_n \cdot d \theta_n \\ &\quad + N_v \cdot \sum_{n=1}^{n_0} \{ R_n \cdot (d \delta b_n + d \delta s_n) - d \delta a_n \} \end{aligned} \quad (5.23)$$

式(5.23)と式(5.19)は、一致しており、外力がなす仕事量とRC柱が吸収した全エネルギー量は、等しいことが認められる。

水平変形（曲げ変形とせん断変形）によって吸収されるエネルギー量の増分  $dE_h$  は、除荷時を除いて常に増加している。しかし、軸方向伸縮量は、図-5.2に示すように破壊程度が小さい時は、水平変形の増加に伴い伸び、破壊程度が大きくなると縮むことが認められた。すなわち、RC柱の破壊程度によって水平変形によるエネルギー吸収量の増分  $dE_h$  と、軸方向伸縮によるエネルギー吸収量の増分  $dE_a$  は、式(5.24)と(5.25)の関係にある。

$$\text{破壊の程度が小さい時: } dE_h > 0, \quad dE_a < 0 \quad (5.24)$$

$$\text{破壊の程度が大きい時: } dE_h > 0, \quad dE_a > 0 \quad (5.25)$$

従って、破壊の程度が大きい時には、水平変形と軸方向伸縮によって共にエネルギーを吸収する。そのため、破壊の程度が小さい時と同じ増分変形であっても、破壊の程度が大きい時にRC柱が吸収するエネルギー量の増分は、破壊の程度が小さい時と比べて大きくなり、破壊が早く進行するものと考えられる。

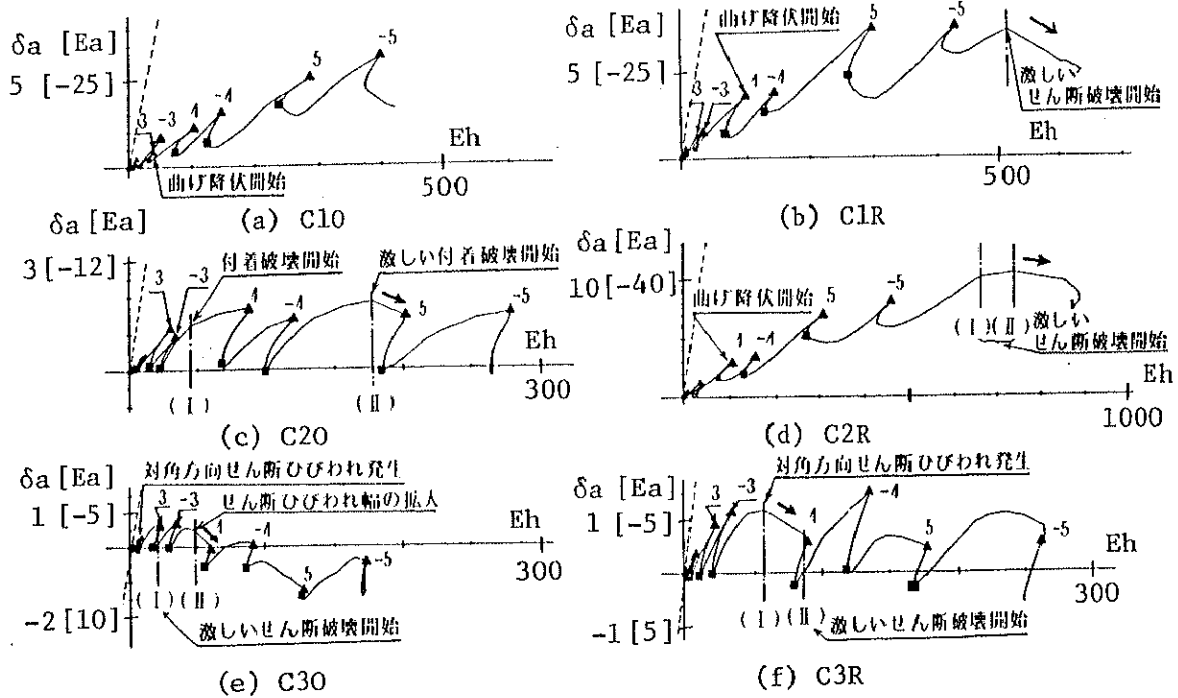
そこで、エネルギー吸収の観点から、式(5.24)の関係にある時の破壊を「安定した破壊」と、式(5.25)の関係にある時の破壊を「不安定な破壊」と呼び、破壊が式(5.24)から式(5.25)に移行する点を「臨界破壊点」と定義する。

5.3.2 エネルギー吸収履歴曲線と復元力特性、及び、破壊現象の関係

図-5.4 に、C10, C1R, C20, C2R, C30, C3Rのエネルギー吸収履歴曲線を示す。横軸は、式(5.18)で示す水平変形（曲げ変形とせん断変形）によって吸収されるエネルギー量であり、また、縦軸は、軸方向伸縮量である。微小変形で、かつ一定軸力であるため、縦軸は、式(5.17)で示される軸方向伸縮によって吸収されるエネルギー量にも対応する。

図中に示した破線は、水平変形により吸収したエネルギー量と、軸方向伸縮によって吸収したエネルギー量の和が0となる勾配を示している。各試験体の測定値は、常に破線の勾配よりも緩いため、RC柱は常に外力によってエネルギーを吸収していることが認められる。

エネルギー吸収履歴曲線が右上がりの場合には、RC柱が水平変形によってエネルギーを吸収している時に、軸方向に伸びており、RC柱は式(5.24)に示す破壊状態にあること



(Unit; tonf·cm, mm)

▲ は、各サイクルでの最大変形時を示す。

■ は、水平力=0の時を示す。

図中の数字はサイクル数を示す。

図中の (I), (II) は、図 5.5 5.6 の (I), (II) と同じ荷重段階を示している。

図-5.4 エネルギー吸収履歴曲線  
( C10, C1R, C20, C2R, C30, C3R )



を示している。それに対して、右下がりの場合には、軸方向に縮んでおり、RC柱は(5.2 5)で示す破壊状態にあることを示している。

なお、C10については、部材角が $\pm 20/1000$ では、まだ臨界破壊点に達していないことが認められた(注5.1)。

次に各試験体で最も破壊が激しかった部分の破壊性状(ひびわれ状況、またはその部分のせん断ひずみ)と臨界破壊点の対応について調べてみる。図-5.5に示すように臨界破壊点を境にしてせん断ひずみは急増しており、その点で先に定義した不安定な破壊が開始していることが認められる。

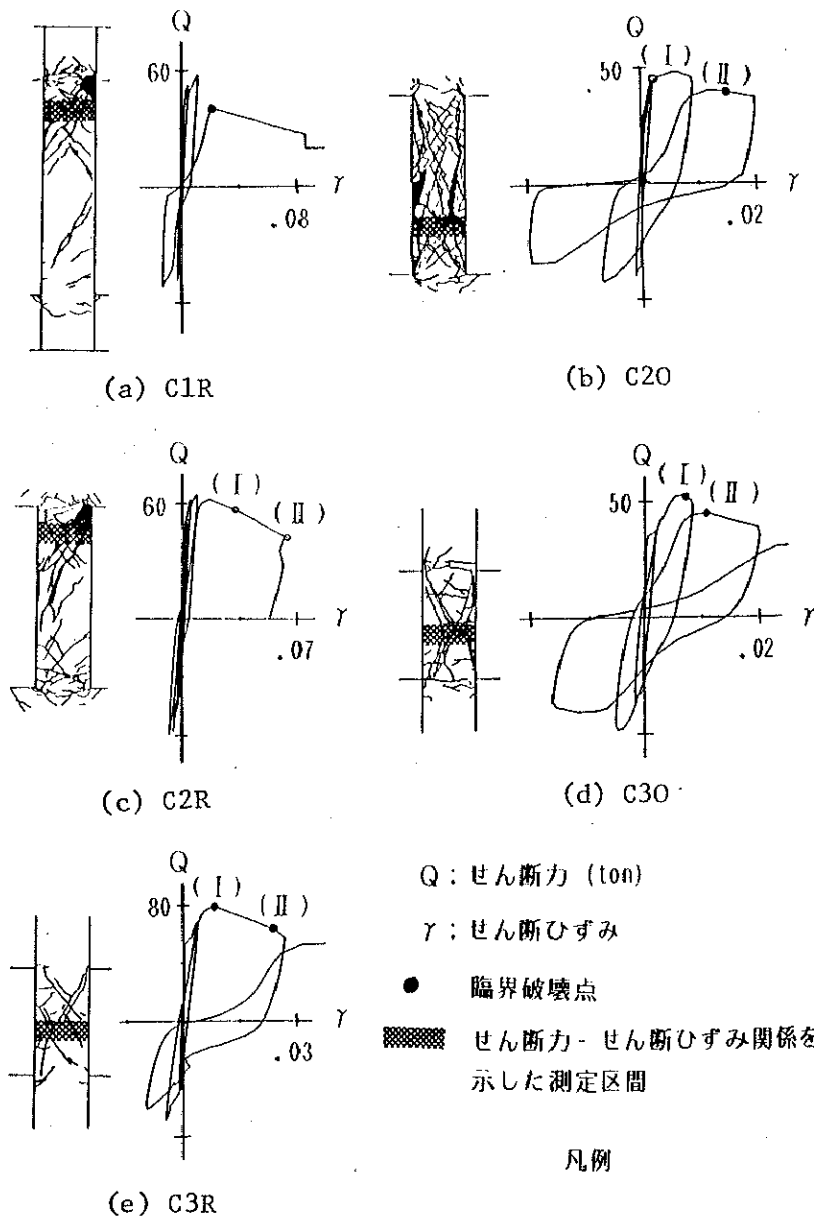


図-5.5 局部破壊と臨界破壊点の関係

したがって、ひびわれの急激な成長とエネルギー吸収履歴曲線の勾配の変化（臨界破壊点）がよく対応しているので、その勾配は柱部材の破壊の程度を示す尺度として利用出来るものと思われる。

臨界破壊点は、強震時における上階の落下などに直接影響のある崩壊が始まる点でなく、むしろ過去の地震災害調査報告[5.1] [5.2]などで柱の被害程度を表わす時に使用される、降伏前後の破壊程度である『中破』から、水平耐力の劣化に伴い、上階の沈下や落下などが生じる破壊程度である『大破』へ移行する点に対応する。

次に臨界破壊点が、荷重-変形曲線上のどのような点に対応するかを調べる。荷重-変形曲線上で見ると、図-5.6 に示すように臨界破壊点は、最大耐力を過ぎ負勾配になった後に対応することが認められる。なお、文献[5.3]で示された限界変形の定義、すなわち最大耐力の80%まで耐力が低下した点も、5.3.1節で定義した臨界破壊点と対応していることが認められる。

なお、図-5.4のエネルギー吸収履歴曲線で代表的な点(I)(II)を選び、図-5.5と図-5.6にも対応する荷重段階を示した。

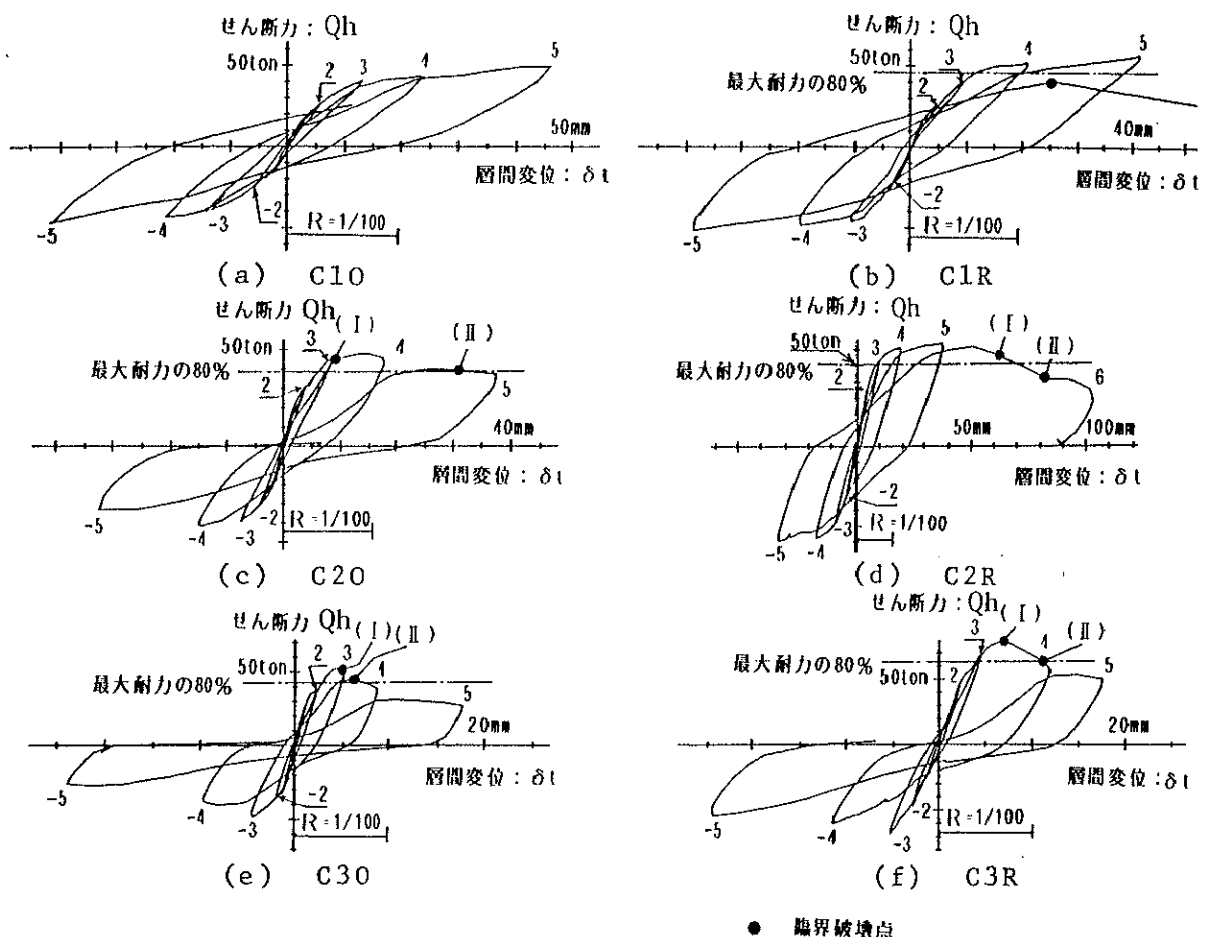


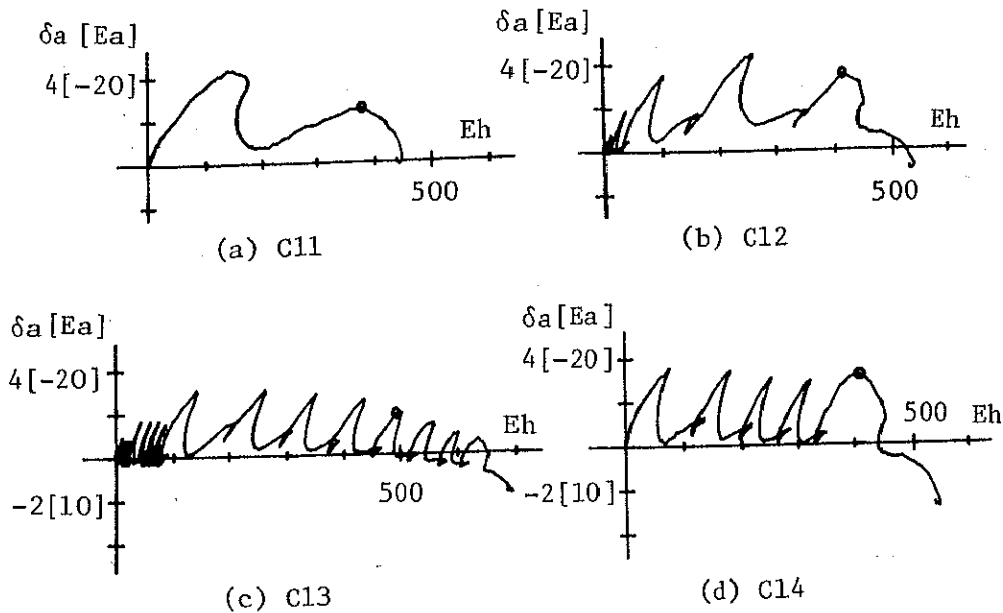
図-5.6 荷重-変形曲線

( C10, C1R, C20, C2R, C30, C3R )

### 5.3.3 せん断破壊するRC柱のエネルギー吸収履歴曲線と復元力特性及び破壊現象の関係

C11, C12, C13, C14試験体のエネルギー吸収履歴曲線を、図-5.7に示す。変位履歴にかかわらず、加力開始時から累加した水平変形（曲げ変形とせん断変形）による総エネルギー吸収量 $E_h$ が400~500ton・cmで、試験体が軸方向に縮み始め、軸方向縮みによってもエネルギーを吸収し始めることが認められる。

また、荷重-変形曲線を図-5.8に示す。臨界破壊点における耐力は、単調加力のC11では低下の割合は少ないが、平均して最大耐力の約80%である。臨界破壊点でのせん断変形量は、 $\delta_s = 6 \sim 10\text{mm}$  ( $\gamma = 0.0048 \sim 0.008 \text{ rad}$ )であり、せん断破壊によって耐力が低下し始める点で、軸方向に縮み始めることが認められる。また、横はらみ量とせん断ひずみの間には、第3章で述べたような関係があるため、臨界破壊点での横はらみ率も、図-5.9に示すように $\underline{\epsilon}_x = 0.02 \sim 0.03$ とほぼ一定値となる。



○は臨界破壊点 (Unit; tonF・cm, mm)

図-5.7 エネルギー吸収履歴曲線  
( C11, C12, C13, C14 )

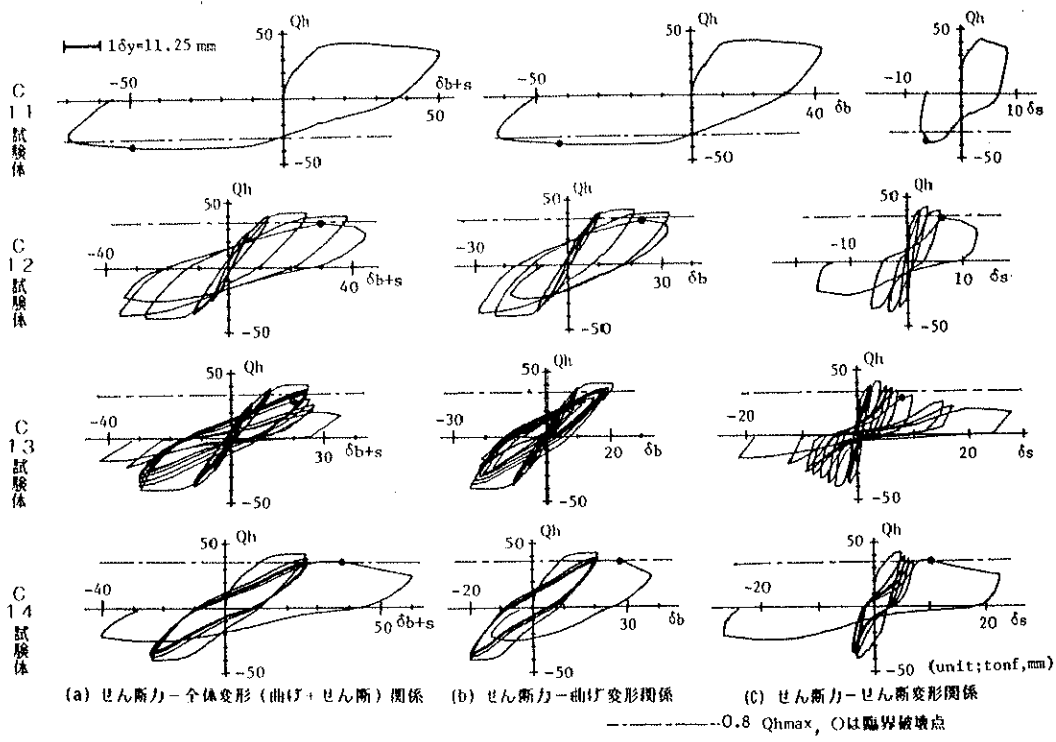


図-5.8 荷重-変形曲線 (C11,C12,C13,C14)

せん断変形による復元力特性は、スリップ形に近い為、図-5.9 に示すように臨界破壊点に至るまでに各測定区間が吸収したせん断エネルギー量は、20~30 tonf・m と、ほぼ一定量であることも認められる。

せん断変形による復元力特性は、スリップ型の要素を多く含んでおり、そのため、せん断変形に伴うコンクリートの破壊では、繰り返しによる影響よりも、変形増大による影響の方が大きいため、軸方向縮みが発生する時のせん断変形量は、変位履歴の相違による影響をあまり受けず、ほぼ一定値となったものと考えられる。

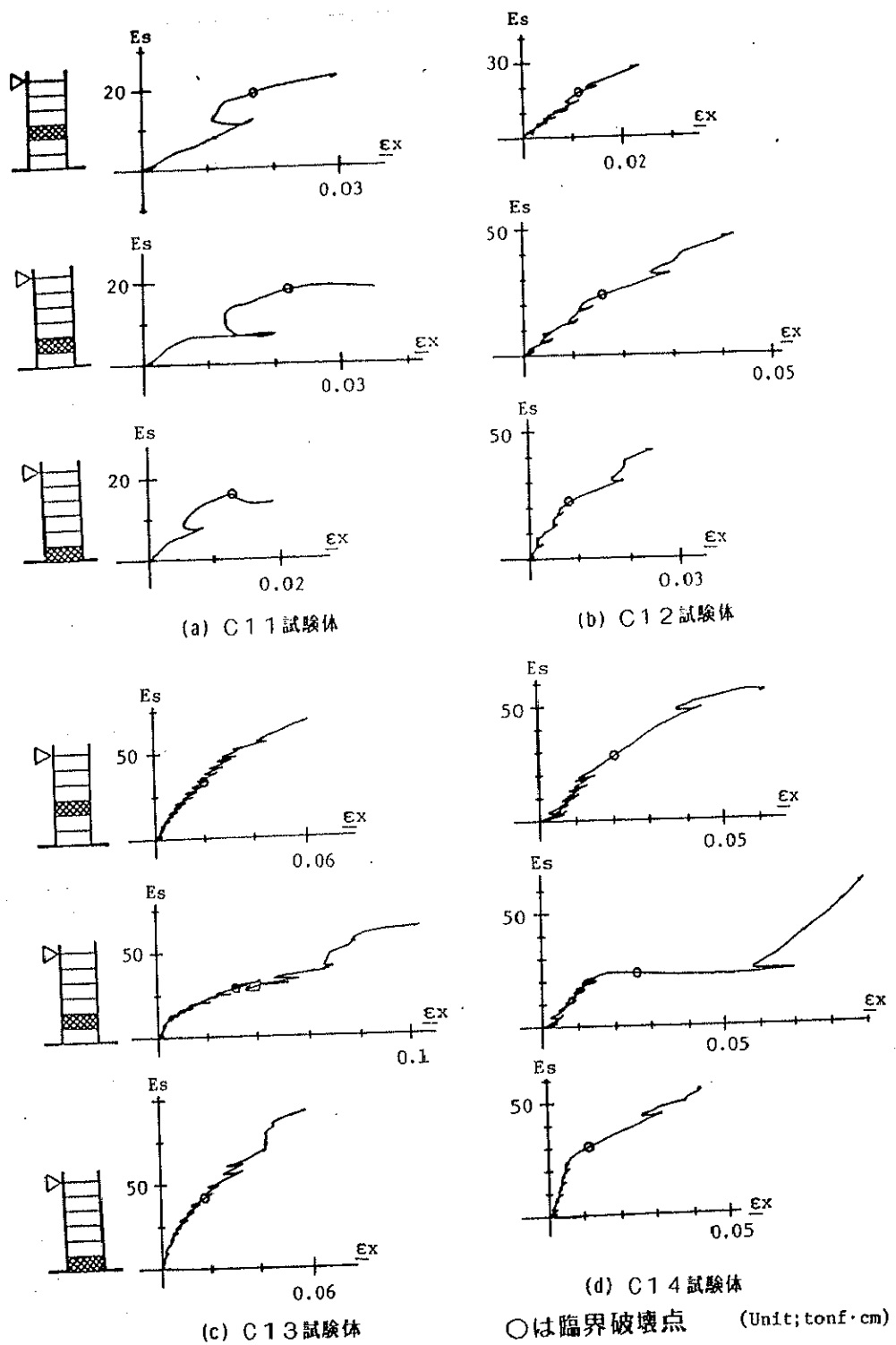


図-5.9 臨界破壊点と横はらみ率、及び、せん断変形によるエネルギー吸収量の関係 (C11, C12, C13, C14)

### 5.3.4 曲げ降伏するRC柱の軸方向変形性状と復元力特性

C21, C22, C23, C24 試験体のエネルギー吸収履歴曲線を、図-5.10に示す。

C23では、 $6\delta_y$  の定変位の繰り返し加力に伴い、加力中にひびわれ面にそったずれやひびわれ面へのコンクリートの破片の侵入によりひびわれ面が完全に閉じないために、除荷時には軸方向の伸びが増大していくことが認められる。一方、折り返し点での軸方向伸びの減少は、繰り返し加力時に生じた軸方向縮みのためであり、折り返し点での伸び量は、今回の加力で縮んだ分だけ、前回の折り返し点での伸び量よりも小さくなっている

測定区間3のM- $\phi$ 曲線を、図-5.11に示す。C23では、 $6\delta_y$  の定変位繰り返し加力中に鉄筋が座屈し、ひずみが正確に測定できなかったため、コンクリートのひずみから算出した曲率を示した。臨界破壊時の曲率は、 $0.0075\sim 0.016$

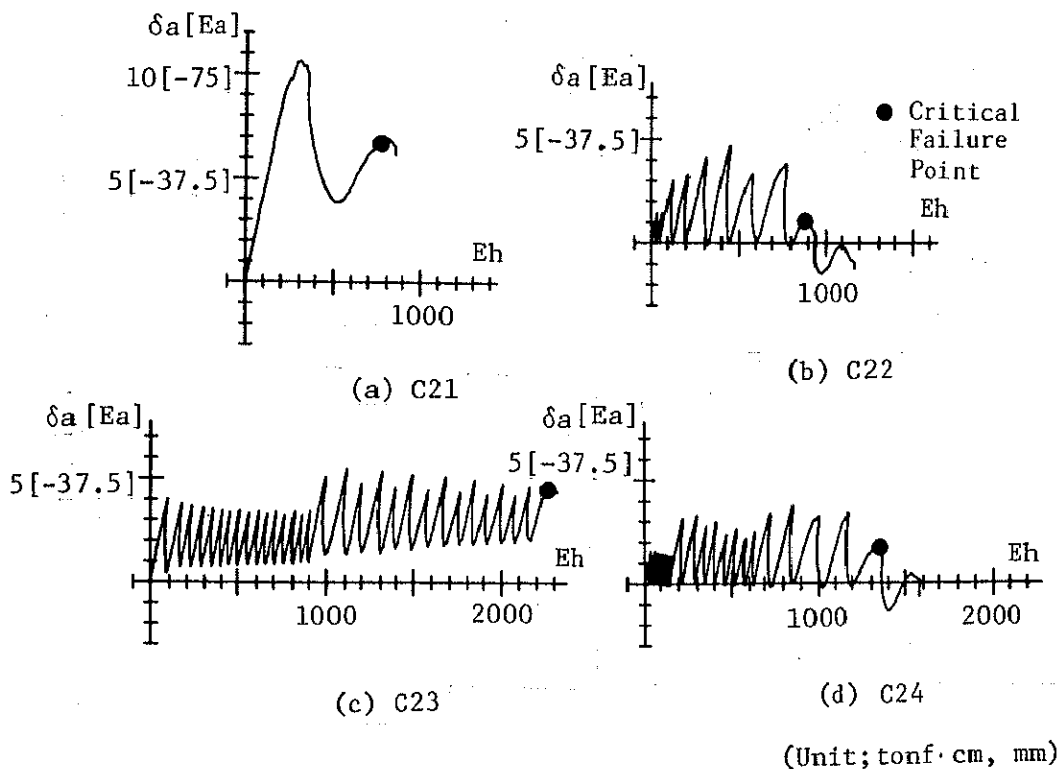
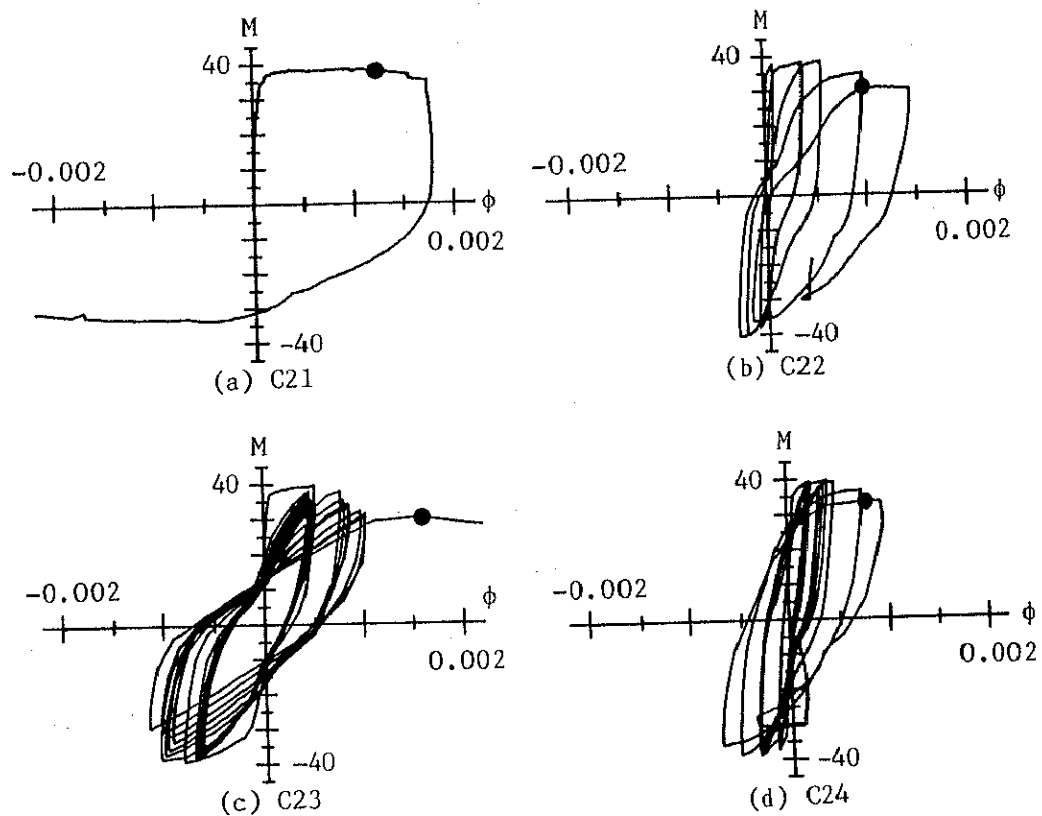


図-5.10 エネルギー吸収履歴曲線  
( C21, C22, C23, C24 )

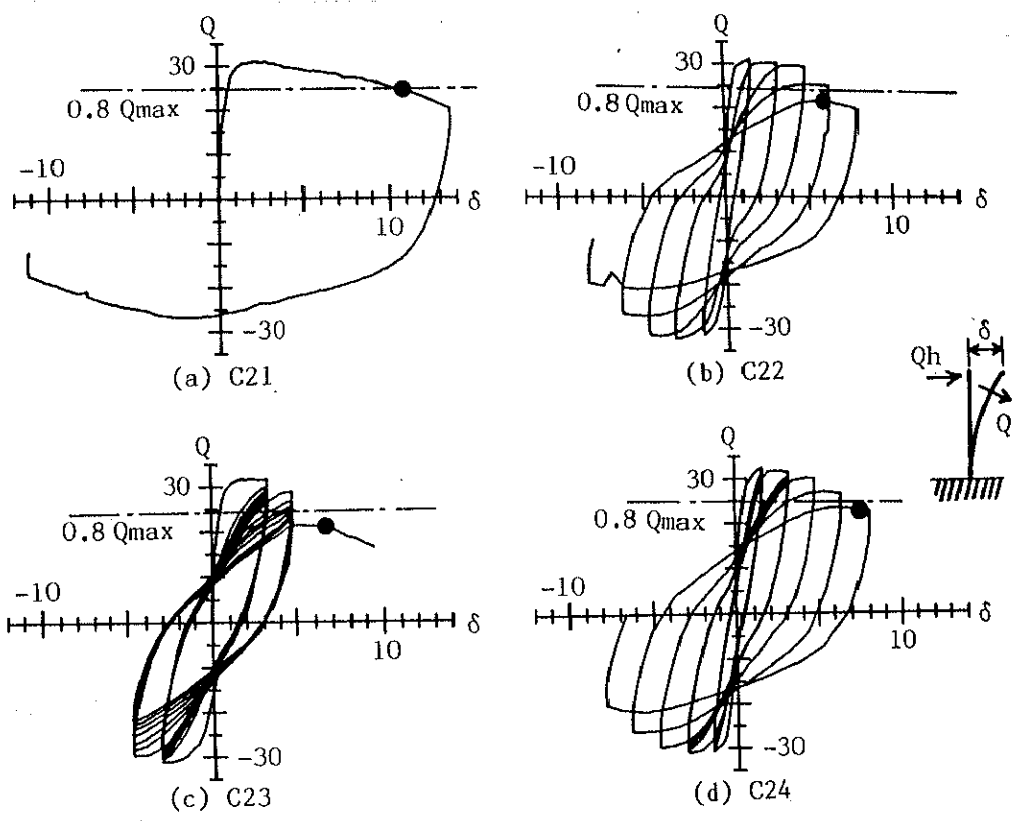


(Unit; tonf·m, 1/cm) ● Critical Failure Point

図-5.11 M- $\phi$  曲線 ( C21, C22, C23, C24 )

／cmである。C21, C22, C24では、変形を増大した時に、圧縮鉄筋の座屈に伴い、回転中心が急激に引っ張り側に移動したため、軸方向に縮みが生じた。それに対して、C23では、 $6\delta y$  の定変位繰返し加力中に、回転中心が徐々に引っ張り側に移動したため、 $6\delta y$  の定変位繰返し加力中には、柱全体で軸方向に縮みが生じなかったため、C21, C22, C24に比べて、C23の臨界破壊時の曲率が大きくなったものと考えられる。

図-5.12に荷重-変形曲線を示す。ここでは、臨界破壊点が大変形で生じていたので、P- $\Delta$ 効果による補正を行ない、材軸に直交方向に作用するせん断力と加力点の水平変位の関係を示した。第4章で述べたように、かぶりコンクリートがはく離した後の抵抗曲げモーメントは、変位履歴によらず、ほぼ一定値となるから、荷重-変形曲線における臨界破壊時の荷重は、全試験体で最大耐力の約80~70%であり、変位履歴による影響は少ないことが認められる。



● Critical Failure Point (Unit;tonf,cm)

图-5.12 荷重-变形曲线 ( C21,C22,C23,C24 )



#### 5.4 まとめ

本章では、RC部材の終局時に表われる破壊の1つである軸方向縮みと復元力特性、及び局所的な破壊現象との関係を実験値に基づいて検討した。

本章で得られた知見を以下に示す。

- (1) RC柱では軸力は、主としてコンクリートによって伝達されているため、軸力による軸方向縮みは、コンクリートが破壊する事によって生じる。

従って、軸方向に縮み始める点は、コンクリートが破壊することによって復元力特性が急激に低下する点と一致する。

- (2) RC柱が吸収するエネルギー量の増分は次式で表わされる。

$$dE = dE_h + dE_a$$

上式において、エネルギー吸収性状の観点からRC柱の破壊は、次のように分類できる。

$dE_h > 0$ の時、

$dE_a < 0$  : 「安定した破壊」

$dE_a > 0$  : 「不安定な破壊」

ここで、 $dE$  : RC柱が吸収するエネルギー量の増分

$dE_h$  : 水平変形に伴って吸収したエネルギー量の増分

$dE_a$  : 軸方向伸縮に伴って吸収したエネルギー量の増分

「安定した破壊」の時と同じ増分変形であっても、「不安定な破壊」では、エネルギー吸収量が急増するため破壊の程度は、激しくなる。

そこで、「安定した破壊」から「不安定な破壊」への移行する点を「臨界破壊点」と定義し、本章では、「臨界破壊点」と破壊現象や復元力特性の関係について実験結果より検討した。

次に、臨界破壊点と破壊現象や復元力特性の関係について述べる。

- (1) 臨界破壊時の耐力は、変位履歴によって多少の差はあるものの、平均して最大耐力の約80%であり、破壊形式によらずほぼ同じであった。
- (2) 曲げ変形とせん断変形の割合が同程度であったC11~14試験体では、せん断ひずみが $\gamma = 0.0048 \sim 0.0080$ で臨界破壊点に達しており、せん断破壊によって耐力が低下し始める時に対応している。

- (3) 曲げ降伏したC21～24試験体では、曲率が $\phi = 0.007 \sim 0.016 / \text{cm}$ で臨界破壊点に達しており、それらは、かぶりコンクリートのはく落に伴って、圧縮鉄筋の座屈が激しくなった時に対応している。

#### 5.5 注釈

- (注5.1) 部材角が $-20/1000$ の時には、耐力の低下は認められなかったが、柱の上下端で圧壊は生じており、そのときのコンクリートの圧縮側最外縁でのひずみは、PIゲージの値から推定して約0.9%であった。

#### 5.6 参考文献

- [5.1] 1968年十勝沖地震災害調査報告，日本建築学会，昭和43年12月  
[5.2] 1978年宮城県沖地震災害調査報告，日本建築学会，昭和55年2月  
[5.3] 山本浩二：「鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究（その4：各実験シリーズの共通事項）」，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和48年10月，pp. 1419～1420