

# [78] 鉄筋コンクリート柱の繰返し挙動と塑性変形性能の評価

正会員 ○荒川 卓 (室蘭工業大学工学部)

正会員 荒井 康幸 (室蘭工業大学工学部)

江頭 恵一 (室蘭工業大学大学院)

大久保繁昌 (室蘭工業大学大学院)

## 1 はじめに

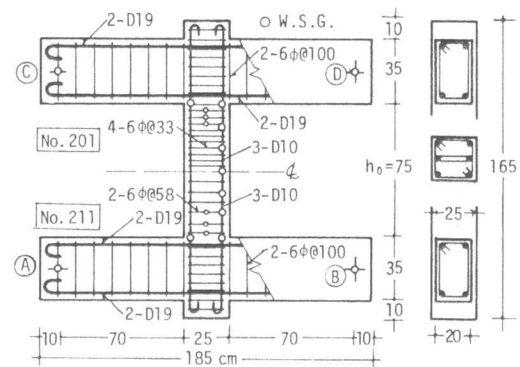
繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート (以下RC) 柱の動的・静的両挙動間の差異については不明な点が多い。動的繰返し加力下におけるRC柱の耐力や塑性変形性能に及ぼす諸因子のうち、載荷速度や変位振幅漸増ピッチの影響に関する予備実験の結果を前報<sup>1)</sup>で報告した。本報では、RC柱の鉄筋比、軸方向力、コンクリート強度、シヤスパン比等の変化と載荷速度の影響とを追加実験により検討し、之等の結果と従来の静的繰返し加力下における挙動との差異を明らかにすると同時に、かねてより提示している塑性変形性能の評価法<sup>2)</sup>の静・動両繰返し加力下の資料に対する成立条件の定量化を試みる。

## 2 実験の概要

(1) 試験体 図-1に示すように、柱断面が25cm角、柱の上下左右には全長185cm、断面20×35cmのはりを有するキの字形模型とし、その種類は、表示のように柱内法高さ $h_0$ 3種コンクリート強度 $F_c$ 3種、軸方向圧縮応力度 $\sigma_0$ 3種、引張鉄筋比 $p_t$ 3種に夫々変化させたもの合計18体よりなる。帯筋比 $p_w$ の算定については、RC柱の曲げ破壊がせん断破壊に先行するように、従来の実験結果<sup>2,3)</sup>を参考に、曲げ強度計算値がせん断強度計算値の0.82倍に等しいと置いて求まる値を基準とした。

(2) 試験種別と繰返し方法 載荷速度の遅い試験体を代表するものとして、発信周波数 $f_r=0.05\text{ Hz}$ 、変位振幅漸増ピッチ $p=0.4\text{ mm/cycle}$ のNo.201柱を想定し、この柱を基準として $p$ や $f_r$ を表-1のように変化させた場合の諸性状の差異を比較検討する (同一条件で設計された柱No.201~210の10体)。又、 $f_r=1\text{ Hz}$ 、 $p=0.2\text{ mm/cycle}$ とした柱No.211~218は、シヤスパン比 $M/QD$  (No.212, 217, 218)、 $F_c$  (No.212, 213, 214)、 $\sigma_0$  (No.211, 212, 204)、 $p_t$  (No.217, 215, 216)等の諸因子の影響を検討するためのものである。尚、全試験体とも載荷開始より最終時まで、一定の変位振幅漸増による繰返しを行うことを原則とした。

(3) 使用材料の性質と試験体の製作 表-2には使用材料の性質を示した。試験体の製作にはメタルフォームを用いて平打ち込みとし、打設2日目に脱型して所要強度の約70%を発揮するまでビニールシートで密閉養生を行い、以後、試験時まで実験室内に放置して、材令4週でテストを行った。



| Column No. | M/QD | F <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup> | σ <sub>0</sub> kg/cm <sup>2</sup> | Reinforcement      |                         |                    |
|------------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
|            |      |                                   |                                   | P <sub>t</sub> (%) | Shear reinf. No. Size·φ | P <sub>w</sub> (%) |
| 201~210    | 1.5  | 210                               | 70                                | 0.342              | 4-6φ #33                | 1.154              |
| 211        | 1.5  | 210                               | 25                                | 0.342              | 2-6φ #58                | 0.328              |
| 212        | 1.5  | 210                               | 50                                | 0.342              | 4-6φ #43                | 0.886              |
| 213        | 1.5  | 270                               | 50                                | 0.342              | 4-6φ #49                | 0.777              |
| 214        | 1.5  | 360                               | 50                                | 0.342              | 3-6φ #54                | 0.529              |
| 215        | 2.0  | 210                               | 50                                | 0.607              | 4-6φ #40                | 0.952              |
| 216        | 2.0  | 210                               | 50                                | 0.813              | 6-6φ #38                | 1.503              |
| 217        | 2.0  | 210                               | 50                                | 0.342              | 3-6φ #59                | 0.484              |
| 218        | 2.5  | 210                               | 50                                | 0.342              | 2-6φ #63                | 0.302              |

図-1 試験体

表-1 繰返し方法

| Increasing Pitch of Def. p | Frequency f <sub>r</sub> |                     |                     |                     |
|----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                            | 2.0 Hz                   | 1.0 Hz              | 0.5 Hz              | 0.05 Hz             |
| 0.80 mm/cycle              |                          |                     | v = 0.40<br>No. 209 |                     |
| 0.40 mm/cycle              |                          | v = 0.40<br>No. 203 | v = 0.20<br>No. 202 | v = 0.02<br>No. 201 |
| 0.20 mm/cycle              | v = 0.40<br>No. 206      | v = 0.20<br>No. 204 | v = 0.10<br>No. 210 |                     |
| 0.10 mm/cycle              | v = 0.20<br>No. 207      | v = 0.10<br>No. 205 |                     |                     |
| 0.05 mm/cycle              | v = 0.10<br>No. 208      |                     |                     |                     |

表-2 使用材料の性質 ( ):Nominal value

|                    | Size  | Sectional Area (cm <sup>2</sup> ) | Yield Point σ <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | Elastic Modu. Es (x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------|---|-----------------------------------|--|---|
| Longitudinal Steel | D19   | (2.870)                           | 3950   | 1.81  |
|                    | D13   | (1.267)                           | 3920   | 1.83  |
|                    | D10   | (0.713)                           | 4020   | 1.80  |
| Stirrup            | 6φ  | 0.238                             | 3110   | 1.98  |
| Concrete           | Sand < 5mm, f.m. = 2.72, Specific gravity = 2.65<br>Gravel < 25mm, f.m. = 7.30, Specific gravity = 2.63<br>for F <sub>c</sub> = 210, w/c = 0.68, Mix. prop. = 1:3.92:3.90<br>for F <sub>c</sub> = 270, w/c = 0.60, Mix. prop. = 1:3.41:3.93<br>for F <sub>c</sub> = 360, w/c = 0.49, Mix. prop. = 1:2.54:3.14 |                                   |  |   |

(4) 加力方法 これまでの実験と同様に、<sup>1-3)</sup> 床面に固定されたフレーム内に柱部分が床面と平行となるよう図-1の①、②両点をピン支持とし、③④及び⑤⑥間をスチールヨークで連結して、⑦と⑧のはり端面より油圧サーボアクチュエータにより正負の水平力を加える。柱には、容量50トンの電動式オイルジャッキで所定の軸力を導入した(降伏時から限界時までの軸力の変動は、 $\pm 2.11$ 柱が4~12%、他の柱は $\pm 7$ %以内であつた)。

(5) 計測方法 柱に作用する水平力と軸力及びはりのせん断力の検出には、夫々の装置に組み込まれたロードセルを用いた。試験体の片面では、柱上下の接合パネル間における水平変位を差動トランス2個で計測し、そのうちの1つを検力機にフィードバックして変位制御用とした。又、柱の軸鉄筋や帯筋には、図-1の○印で示した位置に検長2mmのワイヤストレインゲージを貼付してその歪度を計測した。之等の計測値のうち、水平変位と軸鉄筋歪の2点をX-Yレコーダに自記させ、モニター用に供すると共に、全計測値をサンプリング周波数10~200Hzに設定した磁気テープ式データレコーダに記録し、電算機により処理した。

### 3 実験の結果と考察

(1) 破壊状況 全試験体とも柱の軸鉄筋が降伏した後、柱上下端0.6D部分(接合パネル内へ0.2D、柱の内側隅角部より中央部方向へ0.4D)のコンクリートが曲げ圧壊したが、載荷速度 $v$ や $M/QD$ 、 $P_t$ 、 $F_c$ 及び $\sigma_0$ 等の違いによる破壊モードへの影響は認められない。しかし、曲げやせん断ひび割れの発生範囲については、 $P_t$ や $\sigma_0$ が大きく、 $F_c$ や発信周波数 $f_r$ の小さい柱ほどその範囲も幾分広がる傾向を示した。

(2) 降伏荷重と最大荷重 図-2には、脚注に記す式の計算値に対する降伏時及び最大荷重時実験値の比較を示した。一般的に実験値が計算値を上回っているが(降伏時には1.00~1.16で平均1.1%、最大荷重時には1.04~1.20で平均1.4%)、(a)図や(d)図に示すように、之等の比率は $v$ や軸圧係数 $\eta_0$ の変化に対しても殆んど影響を受けないと見てよい。しかし、(b)図や(c)図のように、 $M/QD$ や $P_t$ の大きい柱ほど降伏時及び最大荷重時実験値の計算値に対する比率が小となって、両実験値が計算値に近似する傾向を示している。

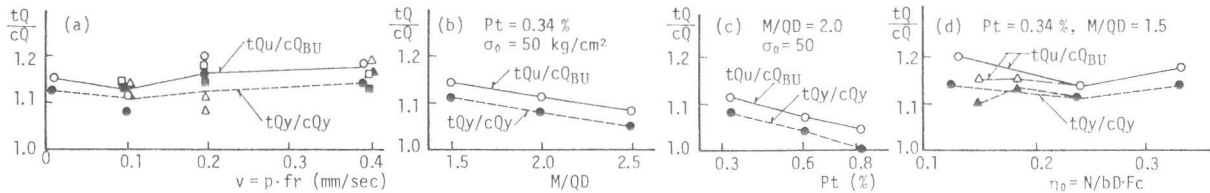


図-2 降伏時及び最大荷重時実験値の計算値に対する比較

(3) 降伏時剛性 降伏変位実験値の計算値(脚注式参照)に対する比率は、0.78~1.13となつて平均で15%実験値の方が高いが、剛性実験値の計算値に対する比率(=  $tK_y/cK_y$ )は、0.73~1.14の範囲で平均0.98となり、両者は比較的良く近似している。

表-3 試験成績の一覧

| Column No. | F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | At Yielding Load |          |                       |                              | At Maximum Load |          |                       |                              | At Limit             |                                  |              | Failure Mode |      |          |
|------------|--------------------------------------|------------------|----------|-----------------------|------------------------------|-----------------|----------|-----------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------|--------------|------|----------|
|            |                                      | $\frac{tQ}{cQ}$  | $\eta_0$ | tQ <sub>y</sub> (ton) | t $\delta$ <sub>y</sub> (mm) | $\frac{tQ}{cQ}$ | $\eta_0$ | tQ <sub>u</sub> (ton) | t $\delta$ <sub>u</sub> (mm) | t $\mu$ <sub>u</sub> | $\frac{t\delta_{ou}}{c\delta_y}$ | t $\mu_{ou}$ |              |      |          |
| 201        | 223                                  | 12.0             | 0.305    | 15.98                 | 4.75                         | 17              | 0.306    | 16.66                 | 6.90                         | 1.45                 | 26.5                             | 0.306        | 10.95        | 2.31 | 49 FC    |
| 202        | 198                                  | 12.0             | 0.328    | 15.57                 | 4.58                         | 17              | 0.329    | 16.38                 | 6.94                         | 1.52                 | 27.5                             | 0.330        | 11.46        | 2.50 | 39 FC    |
| 203        | 208                                  | 12.5             | 0.336    | 15.98                 | 4.59                         | 17              | 0.337    | 16.91                 | 6.76                         | 1.47                 | 27.5                             | 0.339        | 11.28        | 2.46 | 37 FC    |
| 204        | 215                                  | 27.0             | 0.326    | 16.19                 | 4.47                         | 35              | 0.327    | 17.06                 | 6.39                         | 1.43                 | 53.5                             | 0.329        | 10.10        | 2.26 | 79 FC    |
| 205        | 233                                  | 49.0             | 0.301    | 16.11                 | 4.91                         | 69              | 0.302    | 16.85                 | 6.91                         | 1.41                 | 89.5                             | 0.302        | 9.28         | 1.89 | 116 FC   |
| 206        | 230                                  | 24.5             | 0.305    | 16.42                 | 4.65                         | 35              | 0.306    | 17.16                 | 7.09                         | 1.52                 | 47.5                             | 0.307        | 9.65         | 2.08 | 59 FC    |
| 207        | 216                                  | 40.5             | 0.322    | 15.33                 | 4.61                         | 50              | 0.322    | 15.98                 | 5.96                         | 1.29                 | 75                               | 0.323        | 9.06         | 1.97 | 97 FC    |
| 208        | 211                                  | 92.5             | 0.332    | 15.28                 | 4.65                         | 124             | 0.332    | 15.87                 | 6.42                         | 1.38                 | 158                              | 0.333        | 8.63         | 1.86 | 213 FC   |
| 209        | 205                                  | 6.0              | 0.344    | 16.23                 | 4.41                         | 9               | 0.345    | 17.00                 | 6.77                         | 1.54                 | 14.5                             | 0.347        | 11.05        | 2.51 | 26 FC    |
| 210        | 205                                  | 26.0             | 0.343    | 15.76                 | 5.09                         | 32              | 0.343    | 16.26                 | 6.58                         | 1.29                 | 44.5                             | 0.344        | 9.10         | 1.79 | 70 FC    |
| 211        | 204                                  | 21.0             | 0.127    | 10.35                 | 4.10                         | 56              | 0.135    | 11.46                 | 11.38                        | 2.78                 | 90                               | 0.137        | 18.31        | 4.47 | 98 FC Bu |
| 212        | 215                                  | 24.0             | 0.237    | 13.86                 | 4.76                         | 38              | 0.239    | 14.55                 | 7.80                         | 1.64                 | 61                               | 0.241        | 12.73        | 2.67 | 82 FC    |
| 213        | 275                                  | 24.0             | 0.184    | 14.57                 | 4.76                         | 43              | 0.187    | 15.22                 | 9.13                         | 1.92                 | 61                               | 0.189        | 12.76        | 2.68 | 77 FC    |
| 214        | 345                                  | 20.5             | 0.149    | 14.79                 | 4.00                         | 46              | 0.152    | 15.89                 | 9.63                         | 2.41                 | 70                               | 0.154        | 14.77        | 3.69 | 81 FC    |
| 215        | 222                                  | 40.5             | 0.228    | 12.29                 | 8.19                         | 55              | 0.229    | 12.90                 | 11.28                        | 1.38                 | 77                               | 0.230        | 15.89        | 1.94 | 102 FC   |
| 216        | 210                                  | 44.0             | 0.248    | 13.75                 | 8.59                         | 64              | 0.249    | 14.70                 | 13.11                        | 1.53                 | 96                               | 0.250        | 19.55        | 2.28 | 101 FC   |
| 217        | 224                                  | 28.0             | 0.228    | 10.21                 | 5.71                         | 45              | 0.230    | 10.74                 | 9.44                         | 1.65                 | 71.5                             | 0.232        | 14.92        | 2.61 | 97 FC    |
| 218        | 226                                  | 37.5             | 0.224    | 7.88                  | 7.36                         | 60              | 0.226    | 8.32                  | 12.26                        | 1.67                 | 90                               | 0.227        | 18.96        | 2.58 | 123 FC   |

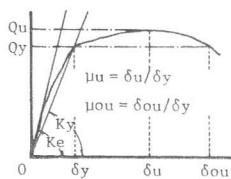


図-3 塑性率

注)  $\eta_0 = N/bdF_c$ : 軸圧係数。tQ<sub>y</sub>, t $\delta$ <sub>y</sub>: 軸筋降伏時における剪断力と水平変位実験値(正負の平均)。tQ<sub>u</sub>, t $\delta$ <sub>u</sub>: 最大荷重時の剪断力と変位実験値(正負の平均)。t $\mu$ <sub>u</sub> = t $\delta$ <sub>u</sub>/t $\delta$ <sub>y</sub>: 最大荷重時の塑性率実験値。t $\delta$ <sub>ou</sub>: 最大荷重以後における荷重変位包絡線が最初の降伏荷重レベルと交差する時の限界変位実験値。t $\mu$ <sub>ou</sub> = t $\delta$ <sub>ou</sub>/t $\delta$ <sub>y</sub>: 限界塑性率実験値。F: 曲げ降伏。C: 曲げ圧壊。Bu: 主筋座屈。  
 $cQ_y = \{g_1 a^2 \sigma_y D + 0.5 \eta_0 b D^2 F_c (1 - \eta_0)\} \times 2/h_0$ ,  $g_1 = 0.76$ (本実験の場合)。  
 $c\delta_y = \{(h_0^3/12 E_c I_e) + (1.2 h_0/0.43 E_c b D)\} \times cQ_y/\sigma_y$ , 但し  $\alpha_y = (0.043 + 1.64 n P_t + 0.043 a/D + 0.33 \eta_0)(d/D)^2$ 。  
 $cQ_{BU} = (0.8 a^2 \sigma_y D + 0.5 \eta_0 b D^2 F_c (1 - \eta_0)) \times 2/h_0$ , tK<sub>y</sub>/cK<sub>y</sub>: 降伏時剛性実験値の計算値に対する比。  
 $cQ_{su} = (0.9 + \sigma_0/250) \{0.23 k u k p (F_c + 180)/(h_0/d + 0.23) + 2.7 \sqrt{F_c \omega_0} \} h_j$ 。

(4) 荷重と変位包絡線 柱の降伏以後における保持力と変位包絡線（何れも正負の平均値）の関係を図-4に示した。

図示のように、 $p_t=0.34\%$ 、 $\sigma_o \geq 50 \text{ kg/cm}^2$ の試験体は、 $f_r$ や $v$ 、 $p$ 、 $M/QD$ 及び $F_c$ の違いに拘らず、部材角 $R$ が約 $6 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で主筋が降伏し、以後約5%前後の荷重上昇を示して $R$ が $9 \sim 10 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 前後で最大荷重に達している。

又、最大荷重以後における保持力の低下状況は、(a)図から(d)図までに示したように、繰返し加力時の変位振幅漸増ピッチ $p$ が同一であれば、 $f_r$ や $v$ の大小に拘らずほぼ類似の傾向にある。しかし、 $f_r$ が同一の場合には、図示のように $p$ や $v$ の小さい柱ほど同一部材角に達するまでの繰返し回数が増すために、柱内側隅角部におけるコンクリートの疲労並びに主筋との付着劣下によって保持力の低下が促進され、最大荷重以後の負勾配が幾分急となり、包絡線が最初の降伏荷重レベルと交差する位置の限界部材角（図中×印）は小となっている。

一方、 $f_r=1.0 \text{ Hz}$ 、 $p=0.2 \text{ mm/cycle}$  ( $v=0.2 \text{ mm/sec}$ )等を一定におさえて実験諸元を変化させた(e)~(h)図によれば、特に(f)図のように $p_t$ の高い柱や、(g)図のように $F_c$ の高い柱、あるいは(h)図のように $\sigma_o$ の低い柱の場合には、最大荷重時や限界時における部材角が幾分大きく現われ、塑性変形性能が多少とも向上する傾向にあることを示している。

(5) 塑性率実験値  $\mu$  図-5及び6には、図-3による最大荷重時と限界時における塑性率と諸因子の関係を示す。図中には、前報<sup>1)</sup>による資料の一部を併記した。

a)  $\mu$ と $p$ 及び $f_r$ の関係 図-5に示すように、最大荷重時の塑性率（図中黒印）は、 $p$ や $f_r$ の変化には無関係と見てよい。しかし、限界塑性率（図中白印）については、特に $p$ の影響が顕著であり $p$ の小さいもの程低く、又、 $v$ を同一とした場合には、 $f_r$ の増大により幾分低下する。

b)  $\mu$ と $M/QD$ 及び $p_t$ の関係 図-6(a)及び(b)に示すように、最大荷重時と限界時における塑性率は、 $M/QD$ や $p_t$ の違いによる顕著な影響を受けないと見てよい。

c)  $\mu$ と軸圧係数 $\eta_o$ の関係 図-6(c)に示すように、 $\eta_o$ の増大に伴い最大荷重時と限界時における $\mu$ は減少するが、 $\mu_{ou}$ については既往の実験結果<sup>2,4)</sup>と同様に、変位振幅漸増比 $\Delta (=p/\delta_y)$ が

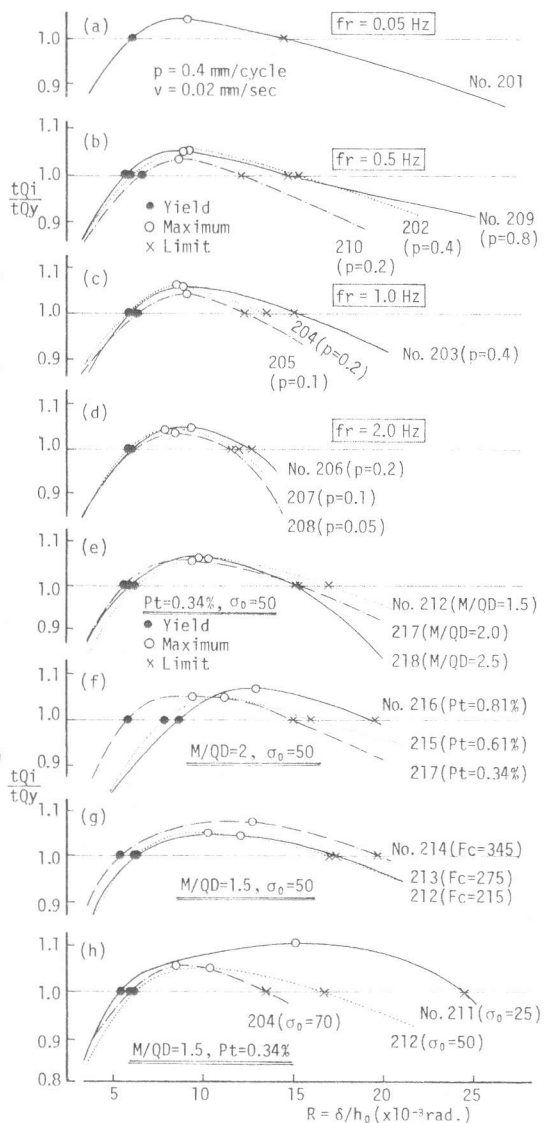


図-4 荷重・変位包絡線

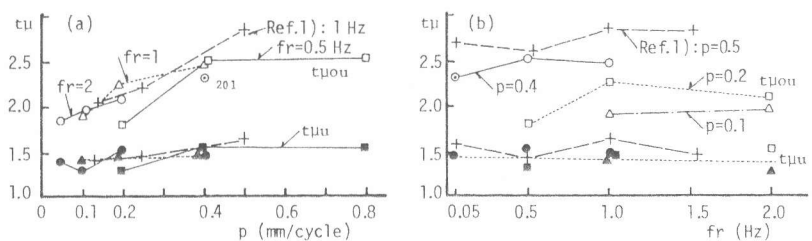


図-5 塑性率と $p$ 及び $f_r$ の関係

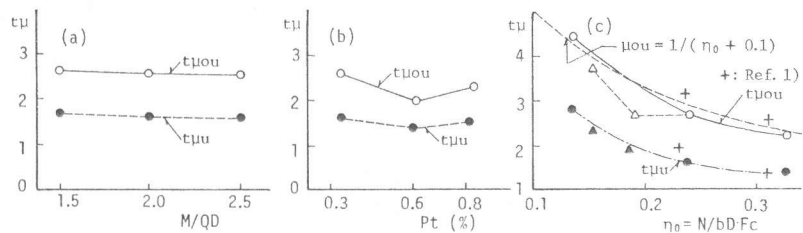


図-6 塑性率と諸因子の関係

大凡0.05～0.15（平均0.10）の範囲内であれば、 $M/QD$ や $f_r$ の大小にかかわらず次式で推算できる。

$$\mu_{ou} = 1 / (\eta_o + 0.1) \quad (1)$$

d)  $\mu_{ou}$ と変位振幅漸増比 $\Delta$ の関係 図-7には、前報<sup>1)</sup>と本報における資料のうち、 $M/QD$ が1.5で軸圧係数 $\eta_o$ が約0.3の柱18体の $\mu_{ou}$ と $\Delta$ との関係を示した。

図示の関係が $\mu_{ou} = A \cdot \Delta^B + 1.0$ で表わされるものと仮定し、回帰分析でA及びBを求めて之を近似化すると次式を得る。

$$\mu_{ou} = 3.16 \Delta^{0.33} + 1.0 \quad (2)$$

e) 限界塑性率算定式 同一条件で設計された柱でも、上式のように、 $\eta_o$ や $\Delta$ の違いによって $\mu_{ou}$ が異なって評価される。そこで、任意の $\Delta$ を与えた時にも $\mu_{ou}$ が求められるような式を以下に誘導する。

今、(1)式が $\Delta=0.1$ の時に成立するものと仮定する。 $\Delta=0.1$ の(2)式計算値は $\mu_{ou} = 2.478$ となるが、この時の補正係数 $\gamma_{ou}$ が1となるように表わすと次式のようになる。

$$\gamma_{ou} = 2.478 / (3.16 \Delta^{0.33} + 1.0) = 1 / (1.28 \Delta^{0.33} + 0.40) \quad (3)$$

上式を用いて(1)式を書き改めると次の $\mu_{ou}$ 算定式を得る。

$$\mu_{ou} = (1.28 \Delta^{0.33} + 0.40) / (\eta_o + 0.1) \quad (4)$$

(6) 既往の実験値との比較 図-8には、変位振幅漸増による繰返し加力実験の資料68個の、上記(4)式の計算値と実験値との比較を示した。表-4には、この資料の実験範囲を示した。図示のように、上記(4)式は、±20%の範囲に全資料の90%が入る精度で $\mu_{ou}$ を推算できることを示している（平均値0.998、標準偏差0.129）。従って、柱の曲げ強度とせん断強度の0.8（全資料の平均値）倍とを等置して求まる帯筋比以上で設計された柱であれば、その柱の $\mu_{ou}$ は上記の精度で(4)式より推算できることになる。

(7) 諸実験値への拡張式 建設省総合プロジェクトの一環として行われた短柱委員会の資料<sup>7)</sup>（大部分は $\Delta=0.1$ の資料）によれば、強度比Kと塑性率 $\mu$ の間には、 $K = 1.08 - 0.05 \mu$ の関係（平均値）が近似的に成立する。今、この式に $K = 0.8$ を代入した時の $\mu$ が(4)式の $\mu_{ou}$ と等置できるものと仮定すると、次式を得る。

$$\mu_{ou} = (1.08 - K) \cdot (1.28 \Delta^{0.33} + 0.40) / 0.28 (\eta_o + 0.10) \quad (5)$$

降伏変位の整数倍でn回毎の繰返しを行った資料に対しては、 $\Delta = 1/n$ と置けば(5)式の適用が可能と考える。

#### 4 おわりに

以上の検討結果、(1) 繰返し加力下における柱の限界塑性率は、 $f_r \leq 2H_c$ であれば $f_r$ や載荷速度よりも変位振幅漸増比 $\Delta$ と軸圧係数 $\eta_o$ の大小によって大きな影響を受けること、(2) 曲げとせん断の強度比が $K = 0.8$ の場合には、(4)式の±20%の精度で限界塑性率を推算できることを知り得た。しかし、(5)式の適合性や成立条件（特にKの限界や設計時の $\Delta$ の定め方）の検討については不十分である。この点については $\mu_{ou}$ に関するモデル解析を含め今後の研究に待ちたい。〔本研究は、昭和57年度文部省科学研究費補助金によるものである〕

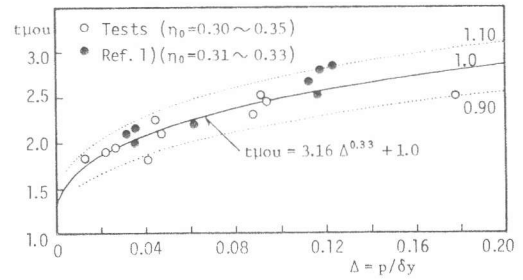


図-7 限界塑性率と $\Delta$ の関係

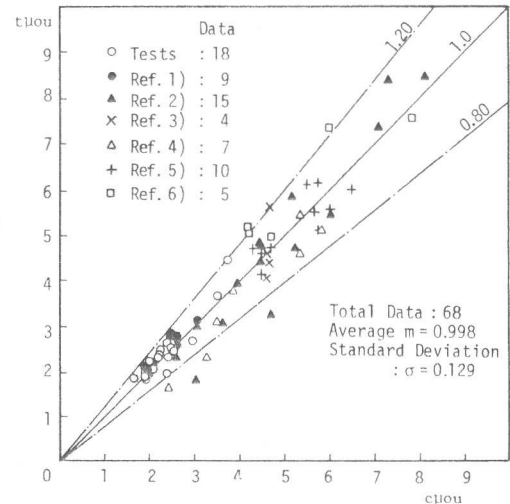


図-8 限界塑性率実験値と計算値の比較

表-4 実験の範囲

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| $b \times D$ cm             | 25x25                    |
| $K = cQ_{BU}/cQ_{SU}$       | 0.728~0.855 (mean 0.80)  |
| $M/QD$                      | 1.5~2.5                  |
| $F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 198~345                  |
| $\sigma_o = N/bD$           | 25~70 kg/cm <sup>2</sup> |
| $P_t$ (%)                   | 0.34~0.81                |
| $P_w$ (%)                   | 0.10~1.15                |
| $\Delta$                    | 0.014~1.164              |

参考文献 1) 荒川・荒井・藤田・江頭：鉄筋コンクリート柱の耐力と塑性に及ぼす繰返し載荷速度の影響、第4回コンクリート工学年次講演論文集1982及び英文。  
 2) 荒川・荒井・藤田・溝口：繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート柱の変形性能の評価、第3回コンクリート工学年次講演論文集1981及び英文。  
 3) 荒川・藤田：繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート柱の変形性能に及ぼすせん断補強筋の影響、第2回コンクリート工学年次講演論文集1980及び英文。  
 4) 荒川・荒井・江頭・川口・浜・鉄筋コンクリート柱の変形性能に及ぼす荷重経歴の影響（その5）、日本建築学会北海道支部研究報告No.55、1982,3。  
 5) 荒川・角田・藤田・江頭：鉄筋コンクリート柱の変形性能に及ぼす荷重経歴の影響（その1）、日本建築学会大会学術講演集（近畿）1980,9。  
 6) 荒川・角田：動的水平荷重を受ける鉄筋コンクリート柱の履歴挙動、日本建築学会大会学術講演集（関東）1979,9。  
 7) 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料・シリーズ2.1、建築雑誌Vol.96, No.1174、1981,1。