

せん断破壊をともなう鉄筋コンクリート柱の履歴特性に関する実験的研究

京都大学教授 若林 實 ○大阪工業大学講師 南 宏一

1 研究の目的

1968年5月16日の十勝沖地震において、かなりの数の鉄筋コンクリート構造による建築物の鉄筋コンクリート柱に、せん断破壊がみられ、いくつかの建物では、建物全体が崩壊し、鉄筋コンクリート柱のせん断破壊が社会的にも注目されることとなった。しかし、我国において、地震時に、鉄筋コンクリート柱がせん断破壊することは、1923年関東大震災による建築物の被害写真などにおいても見られるのであるが、従来、鉄筋コンクリート柱が地震によって、せん断破壊される危険性は、一般的には十分認識されておらず、柱部材のせん断破壊に注目して行なわれた実験的研究は、極めて少ない。しかしながら、鉄筋コンクリート柱のせん断破壊に関する研究に比して、鉄筋コンクリートばりのせん断破壊に関する実験的研究は、国外、国内をとわず、枚挙にいとまのないほど数多いが、既往の研究において共通して見られることは、それらの研究は、ほとんどの場合、鉄筋コンクリートはり部材のせん断耐力に着目しており、その部材の復元力特性という観点から、研究を行なっているものが、非常に少ない。すなわち、最大せん断耐力以後の、変形過程において、どの程度のせん断耐力が保持されるのか、また、どの程度のせん断補強筋を設ければ、最大せん断耐力を保持しつつ、どの程度の変形に耐えられるのか、といった事柄に関して定量的な実験資料は、極めて少ない。

今回、鉄筋コンクリート構造計算規準の改訂がなされ、鉄筋コンクリート部材のせん断設計に関しては、部材を曲げ降伏させ、部材が曲げ降伏する際に、その部材に作用するせん断力に対してせん断破壊をしないように、適当にせん断補強筋を設けて、せん断耐力を確保するという考え方をとっているが、著者は、必ずしも、部材の曲げ降伏を優先させる必要はなく、ある「予想した変形時」において、その部材が、せん断破壊を起し、最大せん断耐力以下になっている場合でも、その状態で保有されているせん断耐力を基準にして、設計せん断力を定めても良いのではないかと考えている。すなわち、その部材の「せん断耐力」に基づいた、せん断設計法ではなく、その部材の「復元力特性」に基づいた、せん断設計法を取り入れてはどうかと考えている。

また、部材の「せん断耐力」に基づいた設計法を採用するにしても、ひび割れせん断耐力および最大せん断耐力が、ほぼ実験的に把握されているのは、一方向せん断力を受ける鉄筋コンクリートはり部材に対してのみであって、一方向せん断力を受ける鉄筋コンクリート柱においては、最大せん断耐力についても、不明な点が多い。繰返しせん断力を受ける場合については、鉄筋コンクリートはりおよび柱部材のいずれの場合に対しても、十勝沖地震以後、研究に着手した状況にあり、繰返しせん断力を受ける場合の耐力性状および変形状状については、明らかにされていない。

以上の状況からかんがみて、せん断破壊を起す鉄筋コンクリート柱の復元力特性および繰返しせん断力を受ける鉄筋コンクリート柱の繰返し弾塑性性状に関する研究に着手し、40体の中型鉄筋コンクリート柱の試験体を用いて実験を行なったが、本報告は、その実験結果の概要を示すものである。

2 実験

2.1 実験計画 本実験では、一方向単調のせん断力を受ける鉄筋コンクリート部材の復元力特性に関するものと、繰返しせん断力を受ける鉄筋コンクリート部材の繰返し変形性状に関するものと、2種類の実験内容について計画した。実験変数としては、せん断スパン比、せん断補強筋比、軸力比を選び、せん断スパン比 h/D (h は柱長、 D は柱せい)としては、1、2、4、6の4種類 (Fig. 2 参照)、せん断補強筋比 ρ_w としては、0、0.2、0.4の3種類、軸力比 N/N_y (N_y は中心圧縮耐力)は、0、0.3、0.5の3種類について、実験を行なった。また、試験体の応力状態および境界条件を満足させ、かつ、繰返し載荷を簡易化、容易化するために、従来、慣用されてきた単純ばり形式、連続ばり形式等と異なった実験方法を採用し、実験計画をたてた。

2.2 試験体の形状と寸法 試験体の断面構成は Fig. 1 に示す。試験体断面は、 $B \times D = 10\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ (B : 柱巾、 D : 柱せい)で、主鉄筋には、径 10 mm のSD35を用いて、片側主鉄筋比 ρ_t を $\rho_t = 1.42\%$ とし、主鉄筋かぶり厚さ d_t は、ほぼ 23 mm として、全試験体とも共通とした。せん断補強筋には、径 2.85 mm の亜鉛引き線を使用し、せん断補強筋比 $\rho_w = 0.2\%$ に対しては、 75 mm 間隔に、 $\rho_w = 0.4\%$ に対しては、 37.5 mm の間隔に配置した。また、せん断補強筋の端部加工は Fig. 1 に示すように、 135° に折り曲げて、主筋に結束線により取り付けた。

2.3 試験体の材料と作製 セメントは、普通ポルトランドセメントを使用し、粗骨材には 15 mm 以下の川砂利を、細骨材には 2.5 mm 以下の川砂を使用した。コンクリートの配合設計は、全試験体共通とし、水セメント比を 60% 重量調合比でセメント:砂:砂利を $1:1.96:2.15$ とした。スランプ値は、全試験体を通じて、 $19\text{ cm} \sim 23\text{ cm}$ であった。コンクリートの打設は、全試験体とも、横うちで行なった。実験時の各試験体の材令は、ほぼ4ヶ月であった。主筋に使用した異形鉄筋は、明瞭な降伏点を示したが、せん断補強筋に用いた亜鉛引き線は、明確な降伏点を持たず、したがって、 0.2% の塑性ひずみを生ずる応力を降伏点とした。

2.4 実験装置 実験装置の概略を Fig. 3 および Fig. 4 に示す。試験体に繰返しせん断力を加えるために、試験体定着ブロックに鉄骨製の載荷補助材をPC鋼棒で取り付けた。下部の載荷用補助材を、ユ

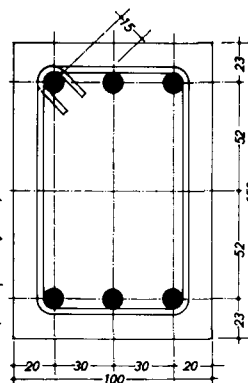


Fig. 1 試験体断面
(単位 mm)

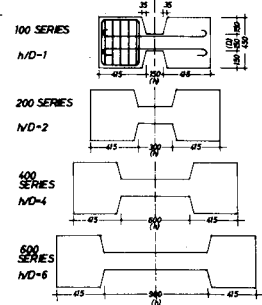


Fig. 2 試験体形状
(単位 mm)

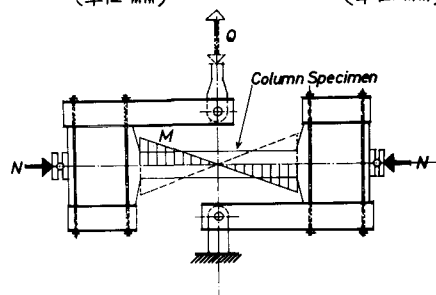


Fig. 3 実験計画

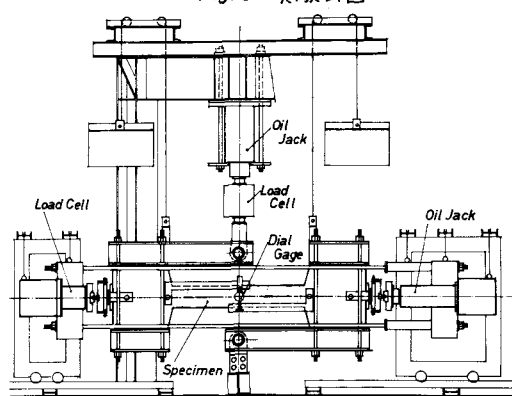


Fig. 4 実験装置

ユニバーサルジョイントを介して、床面に設置し、上部の載荷用補助材にユニバーサルジョイントを介して、20t引張圧縮両用のロードセルおよび圧縮100t、引張30tの手動式油圧ジャッキを連結して、試験体部に逆対称曲げモーメントが負荷されるようにした。また、軸力は4本のPC鋼棒を反力材とし、50t用手動式油圧ジャッキによって作用させた。作用軸力の測定は、ロードセルによって行ない、試験体と油圧ジャッキおよびロードセルの間には、支持条件として、面内には、ピン、面外には、固定となるような、ナイフエッジを設けた。また、ナイフエッジには、面内の偏心の調整が可能のように、調整用ネジを設けた。変形の測定は、試験体端部のう定着ブロック側に35mmの位置にボルトを埋込み、そのボルトに、変形測定用枠を固定して、試験体両端部の相対変位角 R を基準にヒッて行なった。なお、カウンターバランスを用いて、試験体、軸力用ジャッキおよび軸力測定用ロードセルの自重を平衡させ、変形にともなう拘束力を除去した。

2.5 繰返し載荷方法 本実験の繰返し載荷は、原則的には、同一変位振幅において、2回の繰返しを行ない、材端相対変位角の値 R で、最大 $R = 3/100$ まで $R = 4/100$ の間隔で繰返し、最大繰返し回数10回を基準にして行なった。しかし、軸力が作用する試験体については、変位振幅が $R = 3/100$ に達する以前で、変形限界に達して崩壊し、繰返し回数が10回に満たない場合があった。

3. 破壊経過と破壊モード

3.1 単調載荷 軸力が0のときには、せん断補強筋の有無にかかわらず、初期せん断ひび割れは材軸に対してほぼ45°の角度をもって発生するが、軸力が存在すると、そのひび割れ角度は、軸方向応力によって影響を受ける。本実験では、 $N/N_y = 0.3$ のとき、いずれのせん断スパン比においても、その角度は、材軸方向に対してほぼ30°程度となり、初期せん断ひび割れの方向は、軸力によって変化するが、せん断スパン比およびせん断補強筋比によって変化しないと考えられる。しかし、初期ひび割れ発生以後のひび割れの伸展状況およびあらたなひび割れ形成の状況は、軸力比によることはもちろんのこと、せん断補強筋比およびせん断スパン比によって、顕著な差違を示す。 h/D が2以上の材では、部材端部から $D/2$ (D は柱せい) かつ、ウェブ中央部に発生した初期せん断ひび割れは、成長して引張側主鉄筋位置まで到達すると、せん断付着破壊によるひび割れが形成され、部材の変形は、そのひび割れの形成にともなって、急速に大きくなり、せん断補強筋がない場合とか、軸力が作用している場合には、その変形の進行は急激であり、特に、せん断補強筋比が0の場合には、斜張力破壊をともなったせん断付着破壊としての破壊モードを示す。しかし、せん断補強筋比が、 $\rho_w = 0.2\%$ の場合には、せん断付着破壊の様相と示しながらも、斜張力破壊は防止され、部材端部でせん断圧縮破壊を生ずる。本実験では、 $N/N_y = 0$ 、 $\rho_w = 0.2\%$ 、かつ、 $h/D = 6$ の620M試験体では、斜めひび割れ位置でせん断回転をわずかに起しているが、 $h/D = 4$ の420M試験体では、典型的なせん断圧縮の破壊モードを示している。また、 $N/N_y = 0.3$ 、 $\rho_w = 0.2\%$ の場合には、せん断圧縮破壊は顕著であり、ある限界の変形に達すると、圧縮側の主鉄筋は座屈して、せん断力のみならず、軸力さえ保持出来なくなり、柱部材は崩壊し、 $N/N_y = 0.3$ 、 $\rho_w = 0$ の場合には、主筋に沿って生じたせん断付着破壊によるひび割れにより、崩壊時にはコンクリートのかぶりも、材長にわたっては、はく離し、柱部材の材軸方向の縮みが顕著となり、主鉄筋は完全に軸方向の支持力を失う。 $h/D = 1$ の場合には、作用軸力の有無にかかわらず、初期せん断ひび割れが形成された面で、変形の進行にともないせん断分離破壊を示し、そ

の様相は、軸力のない場合に顕著である。また、大変形時には、主鉄筋のほゞ作用的な変形が著しいが、 $N/N_y = 0.3$ の軸力が作用していると、この場合においても、主鉄筋の座屈をともなう、軸力向の支持力を失い、柱材は崩壊する。

3.2 繰返し載荷 $N/N_y = 0$ の場合には、初期せん断ひび割れが形成される前後の変形振幅では、そのひび割れ形成の状態は、正負せん断力に対しても、ほぼ対称的であるが、 $P_w = 0$ の場合、初期せん断ひび割れからせん断付着破壊によるひび割れへと、ひび割れが成長してくると、そのひび割れが形成された部分においてのみ、破壊は促進され、かつ、集約化されてくる。 $P_w = 0.2\%$ の場合には、 $P_w = 0$ のように、斜張力破壊をともなうせん断付着破壊は顕著でなく、むしろ、せん断補強筋によってせん断付着破壊の進行は拘束され、斜張力破壊によるひび割れが、繰返し載荷にともなう卓越し、ひび割れ面はトラス状に連続して形成される。620Cの試験体で、特色的なことは、620Mの単調載荷の場合には曲げ破壊に近い破壊性状を示したにもかかわらず、繰返し載荷の場合には、斜張力ひび割れの成長にともなう、せん断補強筋としての効果を失い、せん断破壊が、繰返し回数および変形振幅の増大にともなう誘発されてくることを示すことである。 $P_w = 0.4\%$ の640Cの試験体では、繰返し載荷によっても、せん断補強筋としての機能を失わず、斜張力ひび割れの生成も、顕著ではなく、この事実から、単調載荷に対して十分なせん断補強筋量であっても、繰返し載荷を受けると、せん断補強筋の効果は減退し、せん断破壊を誘発する可能性のあることが指摘される。 $N/N_y = 0.3$ の場合には、初期せん断ひび割れ発生以後、主筋に沿ったせん断付着破壊によるひび割れが促進され、 $h/D = 4$ の場合には、そのひび割れは両側の主筋に沿って発生し、変形限界において、主筋の座屈をともなう崩壊する。また、 $h/D = 6$ の場合には、せん断付着破壊によるひび割れは、いずれか一方の片側の主筋に沿って形成され、他方の側はそのひび割れが形成される以前に、柱材の主鉄筋の座屈を誘発して崩壊する。しかし、 $N/N_y = 0.3$ 、 $h/D = 6$ の場合でも、 $P_w = 0.4\%$ となると、せん断付着破壊によるひび割れの形成は、防止され、破壊モードは、曲げ圧縮破壊的となり、圧縮側コンクリートの圧壊および離れをともない、圧縮鉄筋の座屈によって材は崩壊する。 $N/N_y = 0.5$ 、 $P_w = 0.4\%$ の445C試験体では、ひび割れはほとんど形成されない状態で、圧縮力によるせん断分離破壊的な様相を示して、急激に崩壊し、面外への残留変形も顕著であった。以上が、本実験における各試験体の破壊状況の概要であるが、軸力を作用させた場合、その試験体の変形限界を決定する破壊要素は、最終的には、圧縮鉄筋の座屈破壊であり、せん断爆裂的な破壊状況は見られなかった。

4. 実験結果とその検討

単調載荷による荷重変形曲線を Figs. 5(a)~(d)に、繰返し載荷による荷重変位曲線を Figs. 6(a)~(d)に示す。Figs. 5および6において縦軸は、作用せん断力 Q に比例する無次元量 $Q/B_j F_c$ を表わし、横軸は部材端変位角 R を表わす。Figs. 5における●印は初期せん断ひび割れの発生を示し、Figs. 6の○印は繰返し載荷の試験体と同じ材令をもつ単調載荷の試験体による実験値である。

4.1 単調載荷

a) せん断ひび割れ時および最大せん断耐力時の変形 Fig. 7(a)に初期せん断ひび割れ時および最大せん断耐力時の材端相対変位角 R と、せん断スパン比との関係を示す。縦軸に、相対変位角 R を、横軸にせん断スパン比 h/D をとる。実線で連ねた値は、初期せん断ひび割れ時の、また、点線で連ね

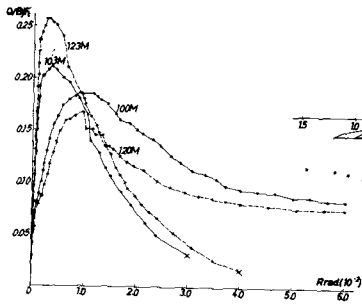


Fig. 5 (a)

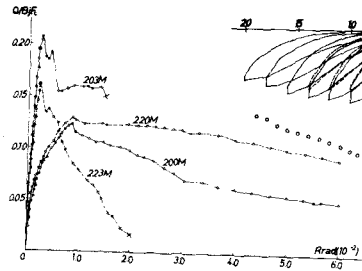


Fig. 5 (b)

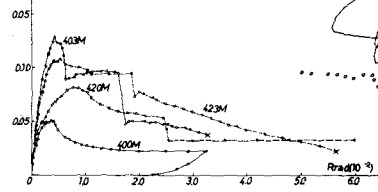


Fig. 5 (c)

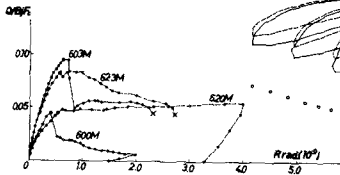


Fig. 5 (d)

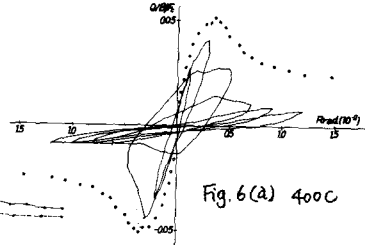


Fig. 6 (a) 400C

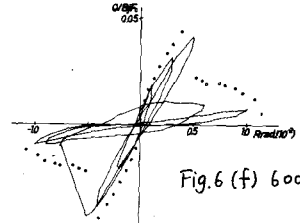


Fig. 6 (f) 600C

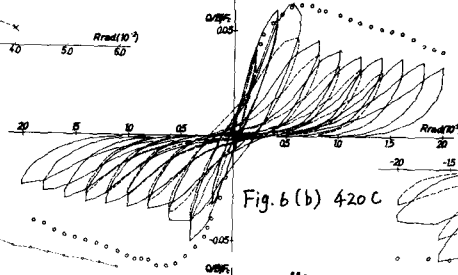


Fig. 6 (b) 420C

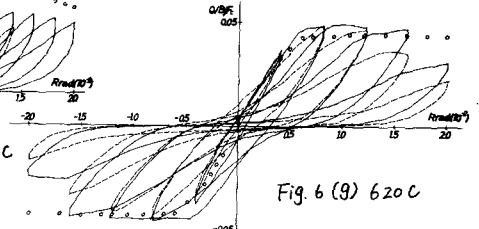


Fig. 6 (g) 620C

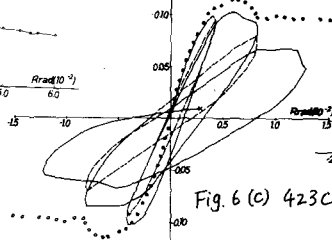


Fig. 6 (c) 423C

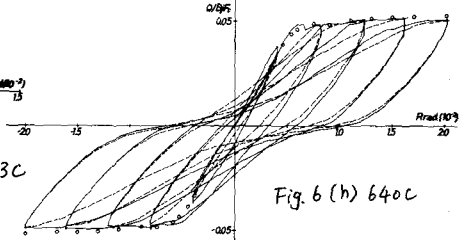


Fig. 6 (h) 640C

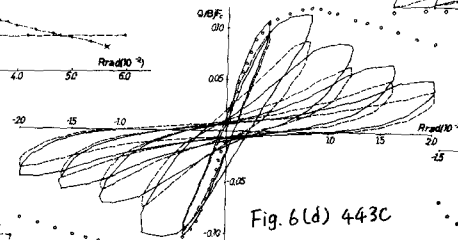


Fig. 6 (d) 443C

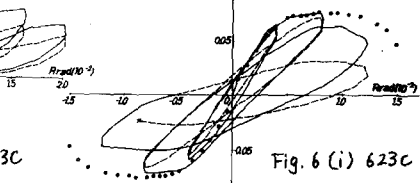


Fig. 6 (i) 623C

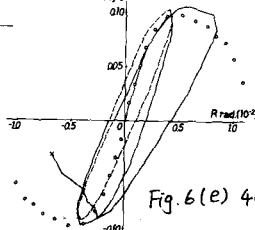


Fig. 6 (e) 445C

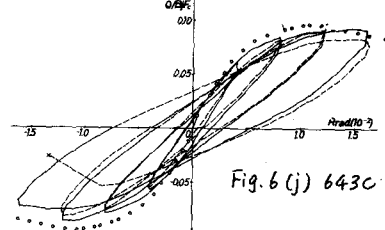


Fig. 6 (j) 643C

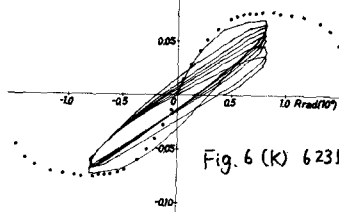


Fig. 6 (k) 623D

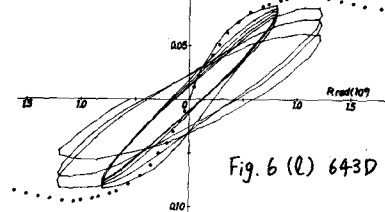


Fig. 6 (l) 643D

たものは最大せん断耐力時の変位角を表わす。初期せん断ひび割れ時の相対変位角 R_{cr} は、せん断補強筋の有無によって変化せず、その値は、軸力が 0 のときには、 $h/D = 1$ の部材に対して $R_{cr} = 0.19 \times 10^{-2}$ 、 $h/D = 6$ に対して $R_{cr} = 0.45 \times 10^{-2}$ であり、軸力のある場合には $h/D = 1$ に対して $R_{cr} = 0.14 \times 10^{-2}$ 、 $h/D = 6$ に対して $R_{cr} = 0.57 \times 10^{-2}$ となる。軸力の作用により $h/D = 1$ のときには、 R_{cr} は小さくなり、 $h/D = 6$ のときには、 R_{cr} は大きくなる傾向にある。最大せん断耐力時の相対変位角 R_u は、軸力のない場合、 $h/D = 1$ で、せん断補強筋の有無にかかわらず、 $R_u = 0.96 \times 10^{-2}$ であるが、 $h/D = 6$ の場合には、 $P_w = 0$ のとき、 $R_u = R_{cr}$ であり、 $P_w = 0.2\%$ のとき、 $R_u = 0.61 \times 10^{-2}$ とその変位角は伸びる。軸力のない場合の R_u は h/D が大きくなるにしたがって、小さい値をとる傾向にあり、その他の場合と逆の傾向を示す。軸力のある場合には、 $h/D = 1$ に対して $R_u = 0.3 \times 10^{-2}$ 、 $h/D = 6$ に対して $R_u = 0.70 \times 10^{-2}$ となり、その変位角は h/D に比例している。また、せん断スパン比が $h/D = 1$ および 2 では、軸力のない場合の最大せん断耐力時以外、ほぼ同程度の変位角であり、 $R = 0.20 \times 10^{-2}$ である。

b) せん断応力度とせん断スパン比との関係 初期せん断ひび割れ時および最大せん断耐力時のせん断応力度とせん断スパン比との関係を Fig. 7 (b) に示す。縦軸はせん断応力度に比例する量を、横軸はせん断スパン比を表わす。実線で連ねた値は初期せん断ひび割れ応力度を、点線のもは、最大せん断応力度を表わす。また、一点鎖線は、荒川博士の実験式から、 $K_c = 1.0$ 、 $K_u = 1.0$ 、 $K_p = 0.88$ 、 $F_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ 、 $P_w = 0.17\%$ 、せん断補強筋の降伏応力度を 3886 kg/cm^2 として求めた計算値を示す。軸力のない場合、せん断ひび割れ応力度および終局せん断応力度とも、計算値をいくぶん下回っているが、その傾向はよく一致している。また、軸力の作用する場合、初期せん断ひび割れ応力度および最大せん断応力度とも、軸力のない場合よりも増大し、軸力が作用する場合のせん断応力度とせん断スパン比との関係は、ほぼ軸力のない場合の関係と相似している。

c) 初期せん断ひび割れ応力度と軸方向応力度との関係 初期せん断ひび割れ応力度と軸方向応力度との関係を Fig. 7 (c) に示す。プロットした実験値は、せん断補強筋を含む単調載荷のものである。一点鎖線で示される計算値は池田博士の実験式から求めたものである。ただし、軸力のない場合の初期せん断ひび割れ応力度は、荒川博士の実験式により、コンクリート強度 F_c は 300 kg/cm^2 とした。池田博士は、軸方向応力度に比例する定数 α を $\alpha = 0.15$ とし、せん断スパン比には無関係としているが、本実験から概観すると、その比例定数は、せん断スパン比の関係となっているようで、 $h/D \leq 4$ のとき $\alpha \approx 0.15$ となる傾向にある。

d) せん断モーメントとせん断スパン比との関係 せん断モーメントとせん断スパン比との関係を Fig. 7 (d) に示す。縦軸にせん断モーメント M_s と降伏曲げモーメント M_{fy} との比を、横軸にせん断スパン比をとる。降伏曲げモーメントの算定は、累加強度式によった。一点鎖線は KANI の半理論式から $\Delta x/s = 0.25$ (Δx はひび割れ間隔、 s はひび割れ深さ) として求めた計算値である。 $N = 0$ 、 $P_w = 0.2\%$ の 620 M の試験体は曲げ降伏しているが、その他の試験体の耐力は曲げ降伏耐力以下となり、せん断破壊していることが示され、せん断スパン比 h/D が 2 以下になると、せん断モーメントは、曲げ耐力の $1/2$ 程度に低下する。

4.2 繰返し載荷

Figs. 8 (a) ~ (d) に、各試験体の履歴曲線から得られた、(1) 繰返し回数 N (半サイクルを 1 回とする)

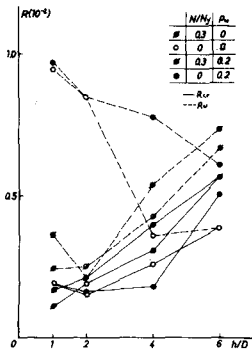


Fig. 7 (a)

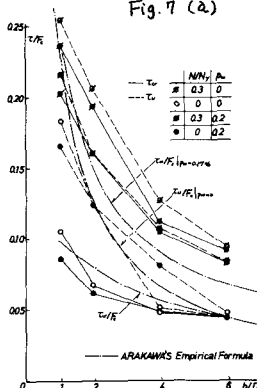


Fig. 7 (b)

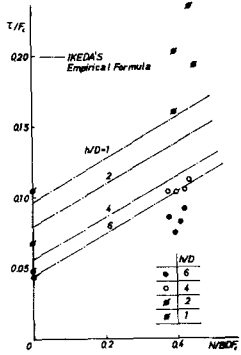


Fig. 7 (c)

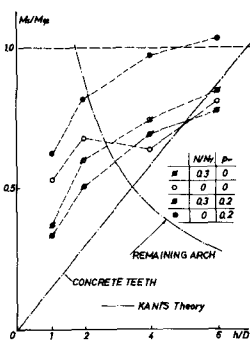


Fig. 7 (d)

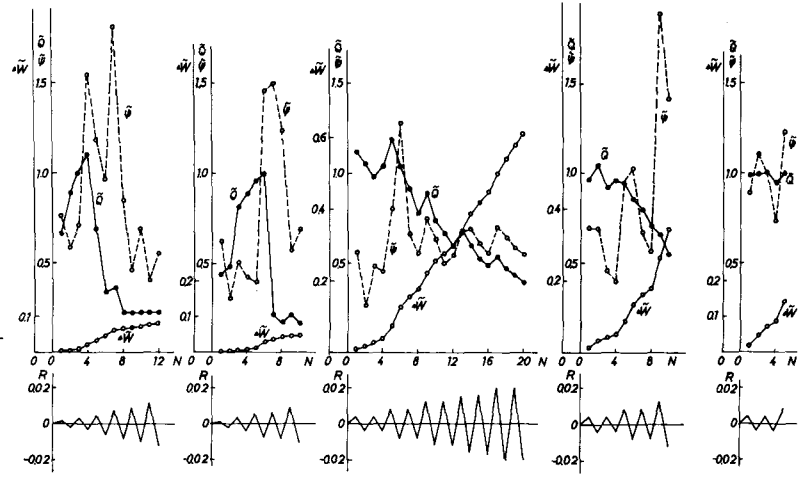


Fig. 8 (a)

Fig. 8 (b)

Fig. 8 (c)

Fig. 8 (d)

Fig. 8 (e)

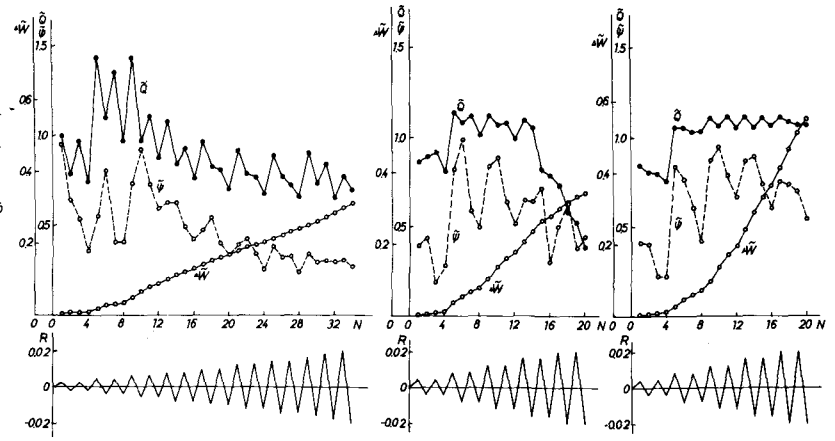


Fig. 8 (f)

Fig. 8 (g)

Fig. 8 (h)

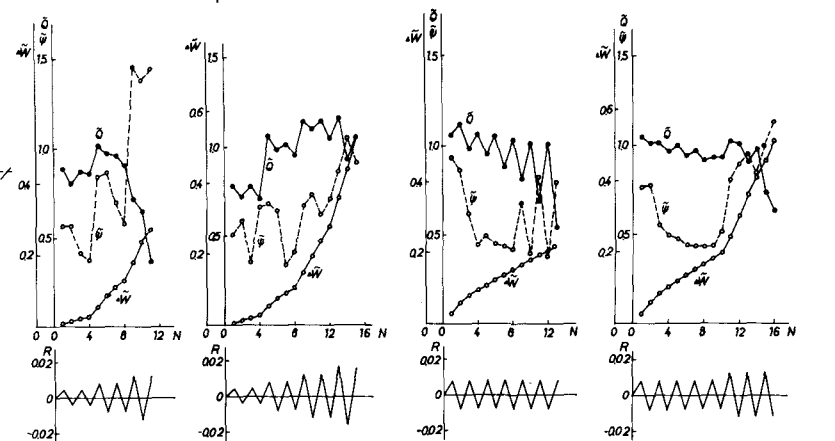


Fig. 8 (i)

Fig. 8 (j)

Fig. 8 (k)

Fig. 8 (l)

と、 $\bar{Q} (= Q_m / Q_{cr} ; Q_m: \text{各サイクルにおける最大せん断耐力}, Q_{cr}: \text{初期せん断ひび割れ荷重})$ との関係 (2) 繰返し回数と、 $\bar{\varphi} (= \Delta w / w ; \Delta w: \text{半サイクル当りの吸収エネルギー量}, w: \text{最大変形時のポテンシャルエネルギー量})$ との関係、および、(3) 繰返し回数と、そのサイクルまでの吸収エネルギーの総和 $\Sigma \Delta w$ との関係を示す。縦軸は、 $\bar{Q}$ 、 $\bar{\varphi}$ 、および、 $\Sigma \Delta w$ を、横軸は、繰返し回数を表わす。

a) 作用軸力 $N/N_y = 0$ の場合 400C ($h/D = 4, P_w = 0$) および、600C ($h/D = 6, P_w = 0$) の部材では、斜めひび割れが発生するまでは、安定した履歴曲線を示すが、せん断ひび割れが発生すると、急激な耐力低下を生じ、ある安定したつり合い系に達するまで変形が進行するが、その後の履歴において、せん断耐力は極めて小さく、かつ、エネルギーの吸収も、ほとんど期待できない。620C ($h/D = 6, P_w = 0.2\%$) では、単調載荷においては、曲げ降伏するが、繰返し載荷では、 $R = 1.5 \times 10^{-2}$ で、せん断耐力は急激に低下し、 $R = 2.0 \times 10^{-2}$ で、 $\bar{Q} = 0.40$ となるが、640C ($h/D = 6, P_w = 0.4\%$) では $R = 2.0 \times 10^{-2}$ でも、耐力低下は見られない。しかし、曲げ降伏によって耐力の低下が見られない場合でも、繰返し回数および変形振幅の増大にともなって、 $\bar{\varphi}$ の値は低下する。また、同一変位振幅における繰返しにおいて、その耐力低下率が極めて小さい場合でも、吸収エネルギー量 Δw の低下率は急激で、その値が50%になる場合もある。420C ($h/D = 4, P_w = 0.2\%$) では、単調載荷でも、せん断破壊を生ずるが、繰返し載荷の場合、最大耐力以後の変形過程における耐力低下は急激で、同一変位振幅においても耐力の低下を生じ、その低下率は20%にも達する。また、その履歴曲線は、曲げ降伏に比して、より hard-spring 的な様相は顕著であり、 $R = 1.0 \times 10^{-2}$ の変位振幅において、低応力時の剛性は、ほとんど0となる。

b) 作用軸力 $N/N_y = 0.3$ の場合 423C ($h/D = 4, P_w = 0.2\%$) と、443C ($h/D = 4, P_w = 0.4\%$) では、変位振幅が $R = 0.8 \times 10^{-2}$ の範囲内であれば、その部材の履歴特性は、ほぼ同様と考えられるが、423Cの場合、 $R = 1.2 \times 10^{-2}$ で、部材は崩壊する。しかし、443Cの場合は、 $R = 2.0 \times 10^{-2}$ の変位振幅に対しても、 $\bar{Q} = 0.4$ と耐力は低下するが、部材は軸方向力の支持能力を保有し、吸収エネルギー量の総和 $\Sigma \Delta w$ の値は0.6にもなっている。また、423Cの場合には、その部材が崩壊する繰返し回数に近づくとき、 $\bar{\varphi}$ の値は2.0以上にもなり、吸収エネルギー量が增大することが示される。623C ($h/D = 6, P_w = 0.2\%$) と、643C ($h/D = 6, P_w = 0.4\%$) では、 $R = 0.8 \times 10^{-2}$ の変位振幅まで、その履歴特性はほぼ同様で、安定した紡錘形の履歴ループを示すが、623Cの場合、それ以後の変形過程で、 $\bar{Q} = 0.4$ まで急激な耐力低下をともないながら、 $R = 1.2 \times 10^{-2}$ で、部材は崩壊し、また、643Cに対しては、ほぼ一定の耐力を保持しながら、 $R = 1.6 \times 10^{-2}$ の変位振幅まで変形可能となり、フープ筋量を2倍に増加させることにより、変形能力は、ほぼ1.3倍に増大することを示している。また、423Cの場合と同様、623Cおよび643Cにおいても、部材が崩壊する繰返し回数に近づくとき、 $\bar{\varphi}$ の値は、1.0以上となり、エネルギーの吸収が増大することが認められる。 $N/N_y = 0.3$ の軸力が作用する場合には、その履歴曲線は、ほぼ紡錘形となり、各サイクルのエネルギー吸収は、 $N/N_y = 0$ に比して、増大するが、部材の変形能力は極めて小さくなる。軸力の有無にかかわらず、せん断補強筋の効果は、その部材のせん断耐力を増大させるというよりは、むしろ、その部材の変形能力を増加させることに有効な機能を持つ。本実験では、 $N/N_y = 0.3$ の軸力を作用させたとき、せん断補強筋量を $P_w = 0.2\%$ から、 $P_w = 0.4\%$ に増加させることにより、その部材の変形能力を1.3~1.5倍にすることができた。