

繰返し軸方向力を受ける部材の挙動に関する実験（その1）

若林 実・野中泰二郎・中村 武・森野捷輔・吉田 望

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE BEHAVIOR OF STEEL BARS UNDER REPEATED AXIAL LOADING—PART 1, RECTANGULAR CROSS-SECTION

By *Minoru WAKABAYASHI, Taijro NONAKA, Takeshi NAKAMURA, Shosuke MORINO, and Nozomu YOSHIDA*

Synopsis

An experimental study is carried out in order to investigate hysteretic behavior of a steel bar subjected to repeated axial tension and compression. In the test program, all specimens of SS41 mild steel bar simply supported at both ends have an identical cross section with dimensions 15 mm × 15 mm, and their slenderness ratio varies from about 40 to 160. The repeated axial load is applied centrally or eccentrically on the specimen through the loading apparatus which assures free rotation at both ends of the specimen, under the loading program that controls the relative axial displacement amplitude at a fixed value until the hysteresis loop stabilizes after a few cycles of loading. The loop stabilization, effects of slenderness ratio on the shape of the loop and effects of residual deformation on the load carrying capacity of a bar are discussed based on the experimental results.

1. 序

鉄骨構造物では、筋違いは耐震要素として重要な役割を果たす。しかし、水平力を受けた場合に一般に骨組より先に筋違いが最大耐力に達することが多いため、水平力を受ける構造物の挙動を大変形領域にわたって知るためには、筋違いの耐力以後の挙動を明らかにすることが重要な問題となる。トラス構造物についても、一部の部材が耐力に達して後のトラスの挙動は、その部材によって大きな影響を受けるため同様のことがいえる。

一般に部材が単調増加する軸力を受けている場合には、引張降伏耐力、圧縮降伏耐力、座屈耐力のいずれかによってその載荷能力は決定でき、これらは材料の応力—ひずみ関係によりほぼ予測できる。しかし、地震力のような繰返し荷重がかかる場合には、座屈によって曲った部材が、次の引張力によって伸ばされ、さらに再圧縮、再引張を受けるため、その挙動は複雑で、充分にわかっているとは言い難い。

圧縮材の座屈後の挙動は、まずトラスの終局耐力を求める目的で研究された。この方面で Masur¹⁾ は単純な形の不静定トラスの終局耐力を求める実験を行っており、Murray^{2), 3)} は元たわみ、偏心などのある材の弾性挙動と、中央断面に塑性ヒンジが形成されるとして求めた塑性崩壊曲線との組合せにより部材の挙動が説明できるとし、三角形トラスなどの実験と比べている。また Nutt⁴⁾ は三角形トラス及びワーレントラスについての詳細な実験を行っている。Nealら⁵⁾ はトラスの解析にあたり、部材の荷重—変位曲線をいくつかの直線で置きかえ、終局耐力を求めている。Paris⁶⁾ は両端ピンの中心圧縮材の解析と実験を行っている。

筋違付架構の研究としては、若林ら^{7)~10)} は繰返し水平力を受ける1層及び2層のフレームについての実

験及び解析を行っている。藤本ら¹¹⁾は長方形断面の軸力と曲げによる降伏条件に従う塑性ヒンジが筋違に発生するとして軸方向相対変位がたわみによる幾何学的変化と、軸力による弾性変形による筋違自体の解析を行い、また同様の方法を筋違付骨組の解析にも応用している。また同じく藤本ら^{12)~16)}は歪硬化モデルを用いた筋違の解析結果と、K型筋違付骨組に繰返し水平力を加える実験結果とを比較している。五十嵐ら^{17)~19)}は長方形断面の降伏条件とフールールを用いて、ヒンジでの軸方向変位の変化をも考慮する筋違の数値解析法を筋違単材及び筋違付骨組の解析に応用している。山田ら^{20)~22)}は両端固定の部材に繰返し荷重を加える実験及び筋違付骨組に繰返し荷重を加える実験を行って、その結果を、断面を3点に集中させたモデルを用いた解析結果と比較している。坂本ら²³⁾はK型筋違付骨組の解析を行っている。

軸力を受ける部材の弾塑性挙動を、松井ら²⁴⁾はCDC法によって解析をしている。また繰返し荷重を受ける部材の挙動は野中²⁵⁾が線型化された降伏条件を用いたヒンジ法によって解析的に求めている。柴田ら^{26), 27)}は近似モデルを用いることにより、部材断面の部分降伏を考慮に入れた数値計算を行っている。Hansonら²⁸⁾は曲率の非線型項を入れた式を用いて解析を行っている。また実験としては、加藤ら²⁹⁾はH型断面材の繰返し加力実験を行っているし、さらに今回の実験に一番近いものとして若林ら³⁰⁾による両端ピン支持された正方形断面材の繰返し加力実験がある。

2. 実 験

2.1 実験計画

繰返し軸方向力を受ける部材の復元力特性は、材料の性質、断面の形、細長比などの違いによって異なる。本実験では、正方形断面で細長比40~160の鉄骨試験体について、両端ピンの材端条件のもとで、中心繰返し及び偏心繰返し軸方向载荷による実験を行い、荷重と軸方向相対変位及びたわみとの関係を調べた。また、比較する意味で単調载荷実験も行った。試験体の偏心量は断面二次半径の1/20と材長の1/500の和とした。

载荷プログラムは、最大軸方向相対変位を、引張側・圧縮側とも同じ値とした変位制御法である。一定変位振幅で数回载荷を繰返し、履歴曲線が安定した後変位振幅を増して、さらに繰返し载荷を継続する方法をとっている。初回の変位振幅は部材長の $\pm 0.5\%$ 、以後 $\pm 0.5\%$ ずつ増していく。

処女载荷は圧縮载荷を原則としたが、別に引張载荷から始めたものもある。また、片振りの実験も行った。

2.2 試験体

試験体は、SS41 圧延鋼板より圧延方向を材長方向として切り出したものであり、Fig. 1 にその形状を示す。試験体は、断面が公称寸法 15 mm×15 mm の正方形で、中央の長さ l (細長比により長さが異なる) の部分の両端が回転中心となるよう材端装置が設置される。実測寸法、断面性能などを Table 1 に示す。

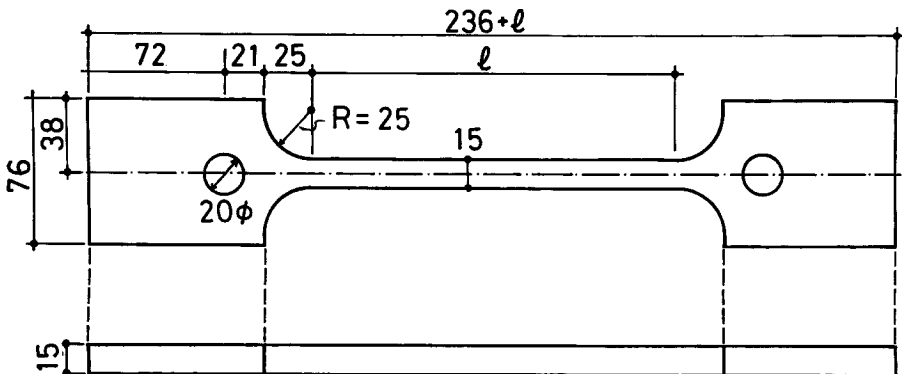


Fig. 1 Test specimen.

Table 1 Dimensions of test specimen.

Specimen name	Length (cm)	Width (mm)	Depth (mm)	Slenderness ratio	Buckling Load (t)
RRC-40	19.50	15.06	15.03	44.80	6.23
RRC-40R	19.35	14.96	15.09	44.43	5.25
RRC-60	27.99	14.99	15.03	64.51	5.94
RRC-80	36.65	15.05	14.95	85.43	5.49
RRC-100	45.32	15.01	15.06	104.26	3.60
RRC-100R	45.29	15.01	15.04	104.31	2.60
RRC-120	54.05	14.99	15.02	124.65	3.72
RRC-160	71.33	15.01	15.03	164.39	2.32
RRE-40	19.29	14.98	15.06	44.33	5.29
RRE-80	36.67	15.01	15.03	84.51	3.81
RRE-120	54.01	14.99	15.03	124.48	2.58
RMC-40	19.37	14.97	15.01	44.70	5.82
RMC-80	36.78	15.01	15.05	84.67	5.22
RMC-120	54.01	14.97	15.03	124.48	3.17
RMC-160	71.39	14.95	15.02	164.64	1.93
RME-40	19.39	14.97	15.04	44.65	5.10
RME-80	36.70	15.00	15.05	84.47	3.67
RME-120	54.01	15.00	15.03	124.48	2.29

Table 2 Mechanical properties of material.

Young's Modulus	$2.18 \times 10^3 \text{ t/cm}^2$
Yield Stress	2.55 t/cm^2
Ultimate strength	4.35 t/cm^2
Strain-hardening strain	1.3%
Extensibility	31.8%
Strength of Rupture	3.15 t/cm^2

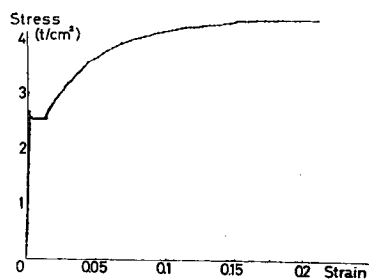


Fig. 2 Stress-strain relation.

試験体は、例えば RRC40, RME40 のように3個のアルファベット文字と数字によって名称がつけられており、最初のRは矩形断面を表し、2番目の文字は単調載荷(M)あるいは繰返し載荷(R)の区別をし、3番目の文字は中心載荷(C)あるいは偏心載荷(E)の区別をする。名称中の数字は細長比の略数を示している。数字のあとに更にRをつけたものは、先に述べた正負定変位振幅の変位制御法による載荷プログラムによらなかった試験体である。引張試験により得られた材料の機械的性質の平均的な値を **Table 2** に、

応力-ひずみ曲線の 1 例を Fig. 2 に示す。

2.3 実験装置及び実験方法

加力用試験機は、繰返し載荷の試験体に対しては島津オートグラフ試験機（最大秤量 10ton）を用いた。試験機はモーターによるクロスヘッド駆動方式で、付属の制御装置によりクロスヘッドの移動速度を一定に保つことができる。最初の半サイクルは座屈荷重に与えるひずみ速度の影響を小さくするため、クロスヘッド速度を最低値の 0.05mm/min とし、以後は 3, 5 又は 10mm/min の定速度載荷とした。予定の最大変位量に達したときの変位方向の逆転は、付属の制御装置により自動的に行われた。従って予定の変位振幅を大きくするとき以外はクロスヘッドを止めずに実験を行った。

単調載荷には、森試験機製 100ton アムスラー型長柱試験機を用いた。試験機は油圧式で、載荷速度の制御は手動である。送油量の制御は、材が座屈をするまでは荷重により、座屈後は軸方向変位により行った。また変位及びひずみの測定は荷重を一定値に保持して行った。

Fig. 3 に材端装置の形状を示す。この装置は試験機からの荷重を試験体に伝えるとともに、試験体の材端条件を規定するもので、装置は大きくわけて 2 つの門型フレームより成っている。外側のフレームは試験機のクロスヘッドあるいはベッドに固定され、内側のフレームは試験体取付板を介して試験体を固定する。試験体は 2 枚の板の間に高力ボルトで固定される。2 つのフレームはスラスト及びラジアルベアリングを介して結合され、この軸回りに回転が可能となる。即ち、試験体の材端条件は一方回転自由、これと直角な方向に完全固定となる。

この材端装置を試験体の両側に用いたので、試験体の座屈長さは材端装置の回転中心間距離、即ち Fig. 1 の l となる。なお、装置の回転に対する拘束がほとんどなかったことは、単調載荷実験による座屈荷重と、Euler 座屈荷重との間にほとんど差がないことで確かめられている。

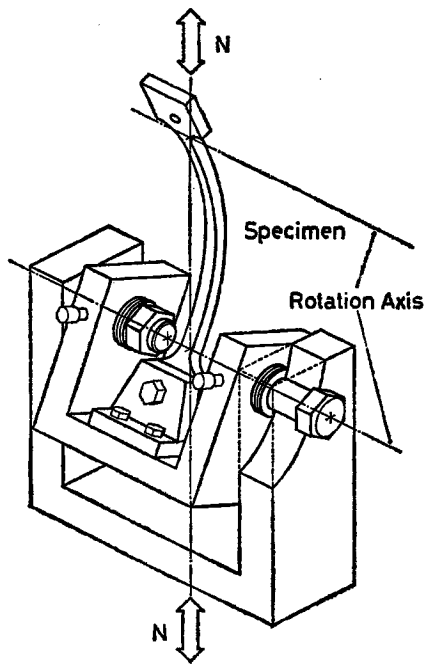


Fig. 3 End support.

2.4 測定装置及び測定方法

繰返し載荷の場合、荷重は材端装置とクロスヘッドの間に取付けられたロードセルで測定され、その値は動歪計を介し 2 台の X-Y レコーダーの Y 軸に入力される。単調載荷の場合は各測定段階で試験機の荷重計の値を読み取る。

軸方向相対変位は、両回転中心に、試験体端部が回転しても鉛直に保たれるように取付けられた 2 枚の板の相対変位を、繰返し載荷の場合は撓動トランス型または撓動抵抗型変位測定器を用い、また単調載荷の場合はダイヤルゲージを用いて測定する。Fig. 4 にその装置を示す。2 個の変位計によって測定された軸方向変位の平均値が X-Y レコーダーの X 軸に入力され、荷重との関係を記録する。一方、ダイヤルゲージをつけた場合は、各測定時にその値を読みとる。

たわみの測定は、試験体の中心部ほか数点で行われ、繰返し載荷の場合、材端との相対変位を撓動トランス型変位計を用い測定した。変位計と試験体のたわみ測定位置とは、細いワイヤーで結ばれており、中央たわみは動歪計を介して X-Y レコーダーの X 軸に入力され、荷重との関係を記録した。他の横たわみ測定データは電磁オシログラフに入力される。ただし、RRC80, RRC100, RRC120 はすべての変位が電磁オシ

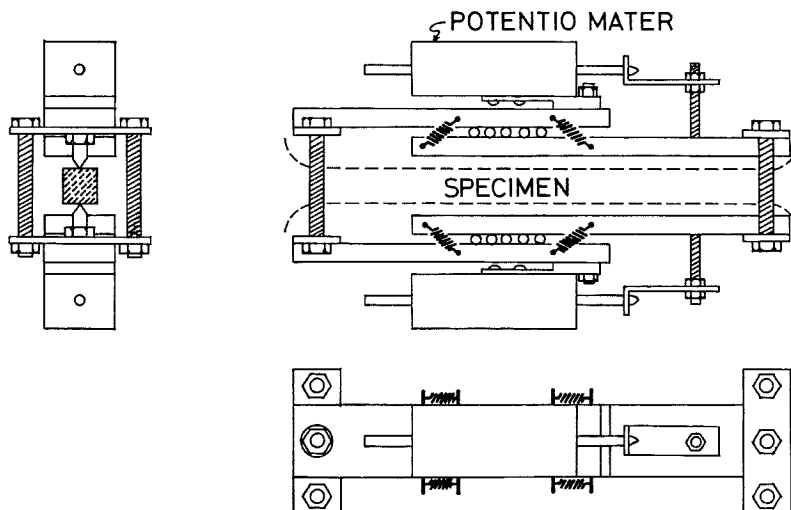


Fig. 4 Deformation measurement.

ロググラフに入力された。単調載荷時は、ダイヤルゲージによって測定した。

2.5 実験の経過及び結果

繰返し載荷実験の様子を **Photo. 1** に示す。実験はまず、約 2 ton の圧縮荷重を試験体に加えた状態でストインゲージのデータをもとにして偏心の有無を検討し、必要があれば荷重が試験体断面の重心に載荷されるように試験体位置を調整した。偏心載荷の試験体については、上記の中心合せをした後、材端装置の2つのフレームの相対位置をずらすことによってあらかじめ予定した偏心量を与えた。偏心量はダイヤルゲージで測定した。

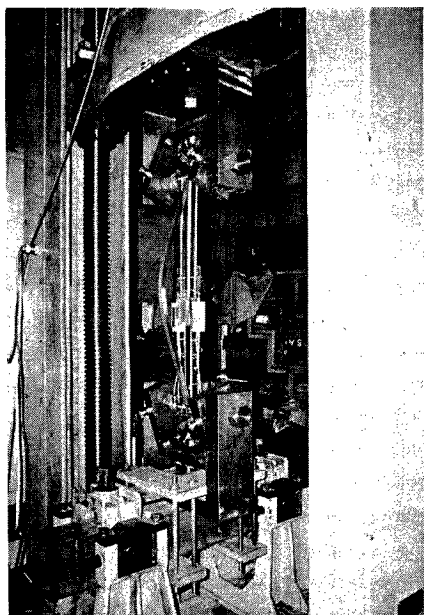


Photo. 1 Test set-up

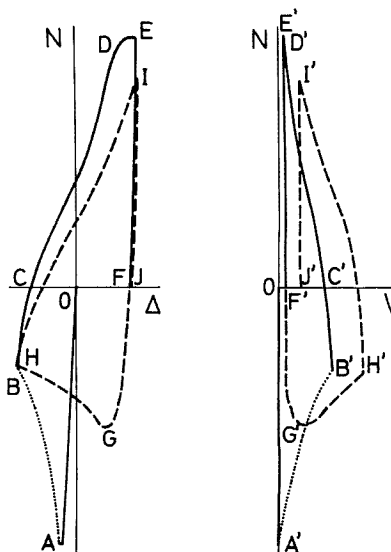


Fig. 5 Schematic N- Δ and N-V relations.

Fig. 6~Fig. 14 に実験結果を示す。図で N は軸力、 V は中央たわみ、 Δ は軸方向相対変位である。また Fig. 5 に中心荷荷の場合の $N-\Delta$ 及び $N-V$ 曲線の最初の 2 サイクルが模式的に描かれている。Fig. 5 を参考にして試験体の挙動を追ってみると、まず、処女圧縮荷による DA 間は材はまっすぐに縮み、横たわみは生じない。A 点で材は座屈し、急激な横たわみの発生とともに耐力は低下し、やがて B 点に至る。この間、軸方向変位も急激に増大し、そのため設定した変位方向逆転位置で逆転が起らなかったものが数体ある。Fig. 6~Fig. 14 では座屈直後の急激な耐力低下を表す部分の X-Y レコーダーによる記録が充分でないため、この部分を点線で表わしている。B はあらかじめ設定された荷重方向逆転位置で荷重方向が逆転する。その後、B-C-D と曲線は傾きがいったんゆるやかになった後再び急になり D 点に向う。これは $N-V$ 曲線の B'-C'-D' についても同じである。D-E はほぼ平らな部分であり引張試験における降状荷重とほぼ同じ荷重であられる。この間横たわみはほとんど減少せず D'-E' では平坦部はみられない。E 点に至り再び荷重方向が逆転する。このとき中央たわみは E' にあり、完全には消失しないため、2 サイクル目の圧縮最大耐力は A よりはるかに低い点 G で決まり急激な座屈現象はあられず、荷重は緩かに減少して H に至る。H で荷重方向が逆転すると、B-C-D とほぼ同じ経路をたどって I 点に向うが 1 サイクル目の D-E のような平坦部はみられず、引張最大耐力も E より低い。I で再び荷重方向が逆転されるが、このときのたわみは E' より更に大きいため、次の圧縮最大耐力は G より小さくなる。このようにして荷重を繰返すごとに圧縮側引張側とも最大耐力は減少していくが数回の繰返してほぼ安定した履歴曲線が得られる。

中心荷荷の実験では材端装置内側フレームの回転の向き（即ち材端でのたわみ角）は繰返し回数によらず最初に座屈したときと同じ向きであるが、偏心繰返し荷荷の場合、座屈後の引張力荷荷時に回転の向きは座屈時の向きと逆になった。この傾向は細長比が大きくなる程顕著で、RRE 120 では変位振幅を $\pm 1.0\%$ とした第一サイクル引張時で材の上端での回転が甚しく、予定の変位に至らないうちに耐力がさがり始め、実験の継続が不可能となった。この試験体の実験後の変形状態を Photo. 2 に示す。また、この試験体は第一サイクル引張時に中央たわみがほぼ 0 となり、第二サイクル圧縮時には第一サイクル目より荷重は低いが急激な耐力の低下があった。

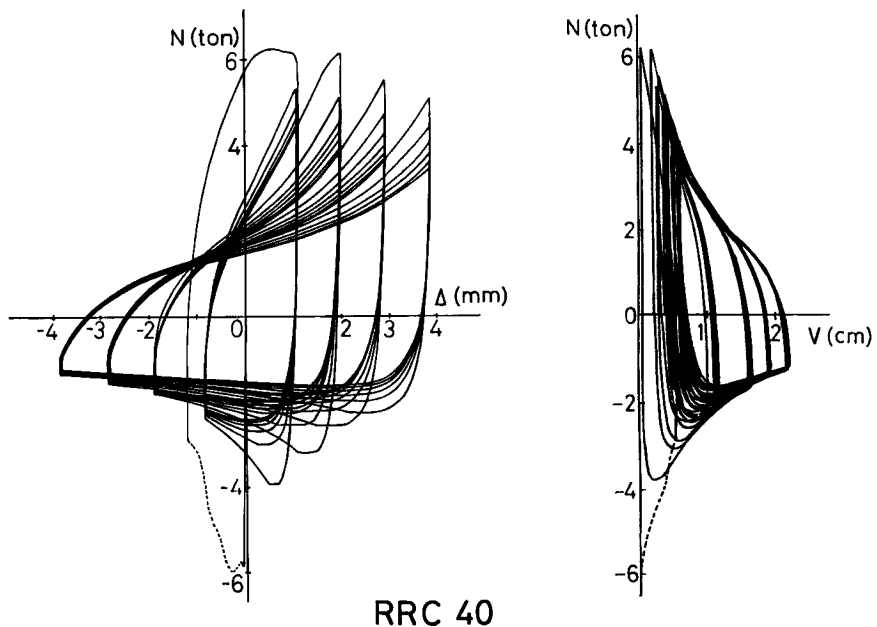
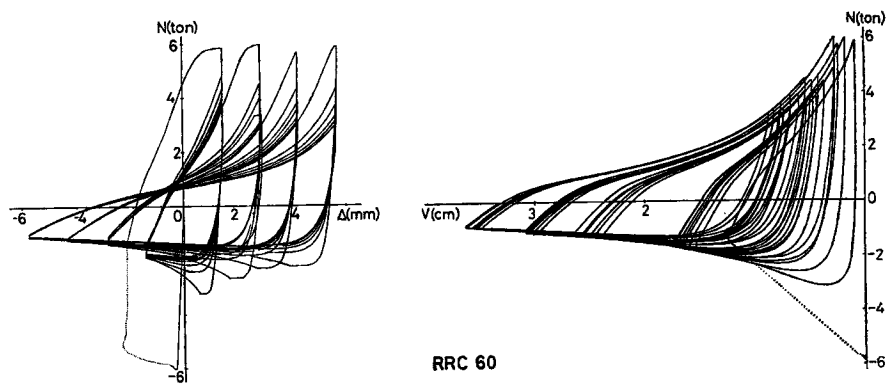
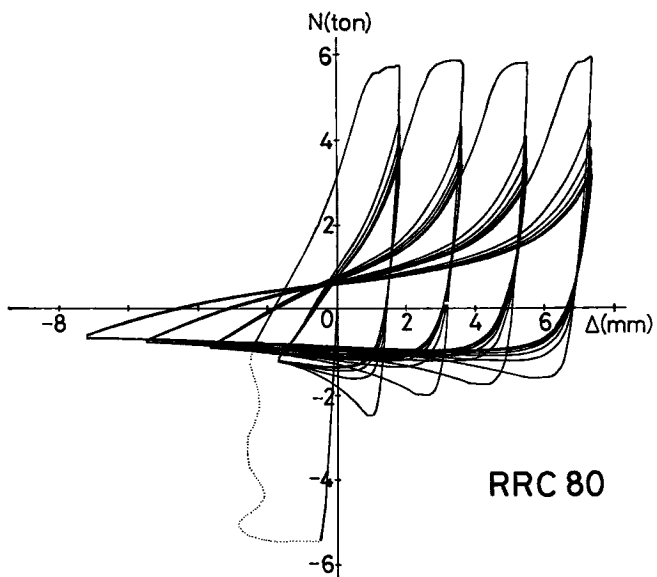


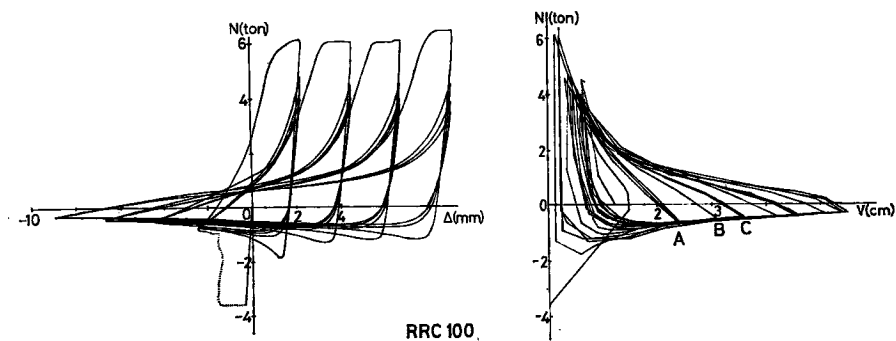
Fig. 6 Test results for RRC 40.



RRC 60
Fig. 7 Test results for RRC 60.



RRC 80
Fig. 8 Test results for RRC 80.



RRC 100.
Fig. 9 Test results for RRC 100.

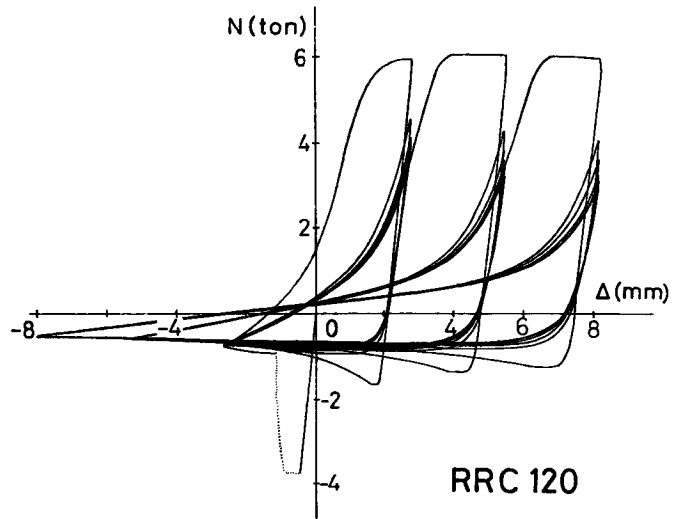


Fig. 10 Test results for RRC 120.

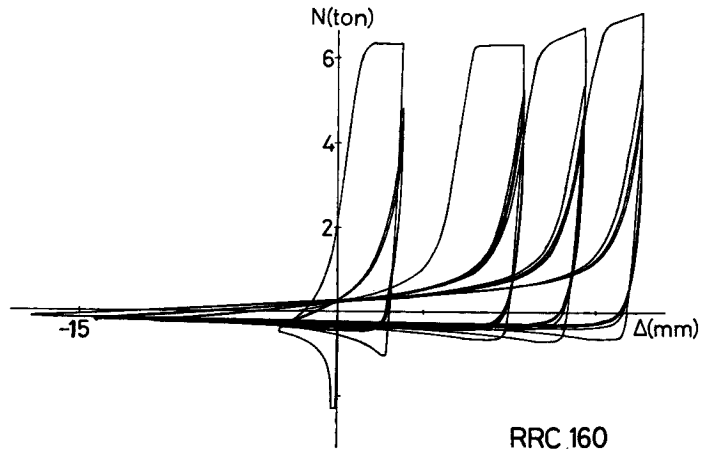


Fig. 11 Test results for RRC 160.

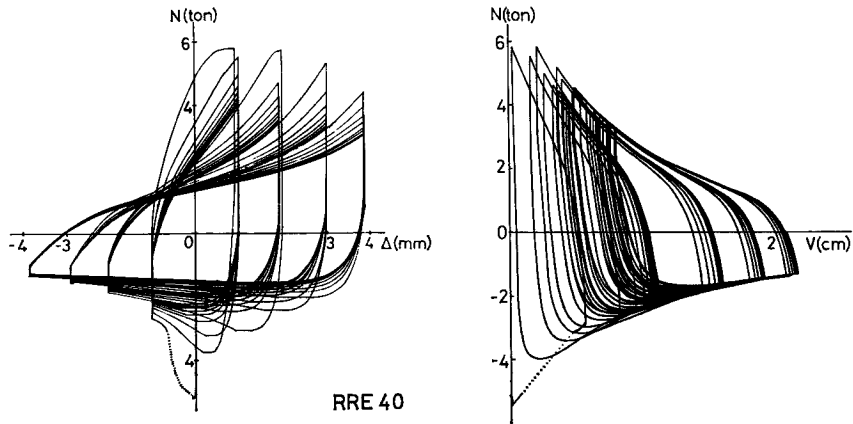


Fig. 12 Test results for RRE 40.

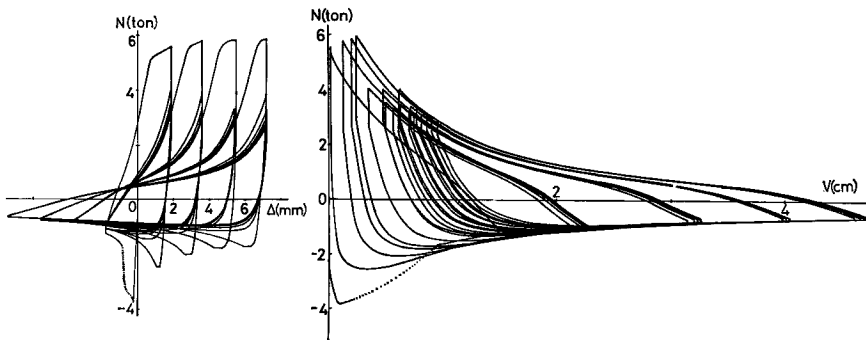


Fig. 13 Test results for RRE 80.

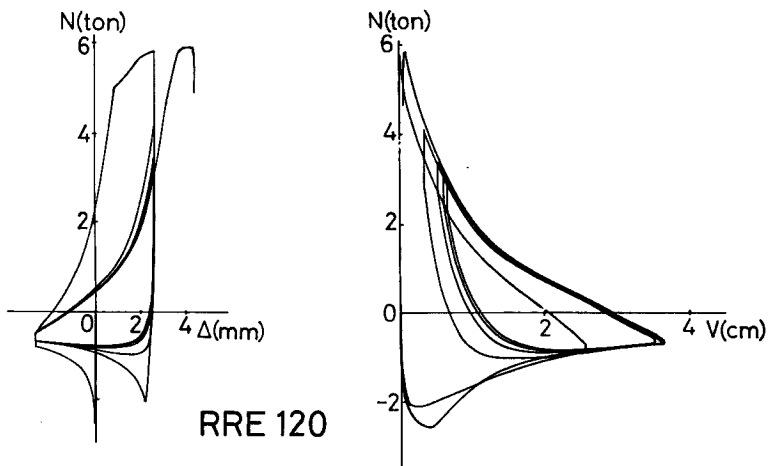


Fig. 14 Test results for RRE 120.

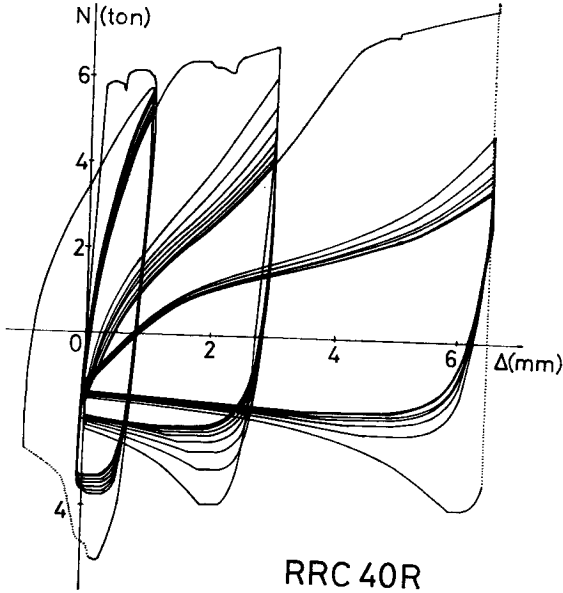


Fig. 15 Test results for RRC 40R.

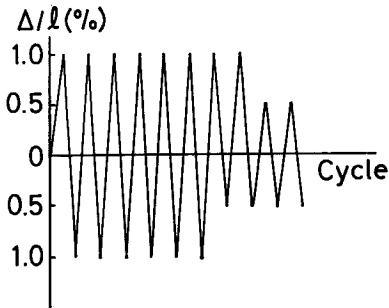
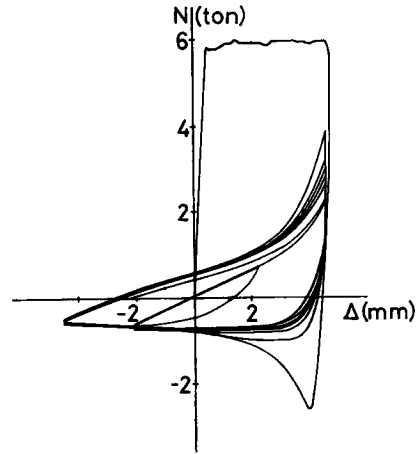


Fig. 16 (a) Loading Program.



(b) Test results for RRC 100R.

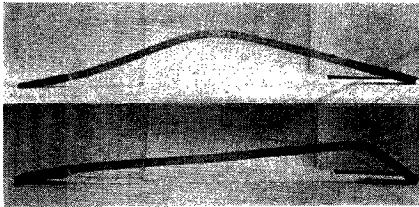


Photo. 2 Deformed specimens after test (RRC 120, RRE 120 from the above)

RRC 160 の変位振幅 $\pm 1.0\%$ の部分では、動ひずみ計に雑音が入り測定がうまくできなかったため、Fig. 11 ではこの部分を除いてある。

以上の通常の荷重プログラムのほかに、RRC 40R では片振り実験を行った。この試験体では引張側から荷重を始め、 $+0.5\%$ と 0% の間で繰返し、安定した後、材を十分にまっすぐにする意味で、 $+1.5\%$ まで引張側の変位を与えた後荷重方向を逆転させた。 $+1.5\% \sim 0\%$ の次は、 $+3.5\% \sim 0\%$ の間で繰返した。Fig. 15 にこの $N-\Delta$ 曲線

を示す。図で最大振幅時の点線で表わした部分は、変位計の容量不足のため、変位が測定できなかった部分である。

RRC 100R は、大きい振幅での繰返し载荷を経験した後変位振幅を小さくしたときの履歴曲線の安定性を調べる目的で行ったもので、引張側から载荷し、図16（a）に示した载荷プログラムによって各段階での安定度を調べた。

3. 考 察

以下では主として繰返し载荷を行った場合の履歴特性について今回の実験よりわかったことを述べる。

1) 定変位振幅で繰返し载荷をした場合、5～10回の繰返しにより履歴曲線はほぼ安定する。この場合、細長比が大きい程早く安定する。(Fig. 17 参照)

2) 大変位振幅で繰返し载荷をうけた試験体に、それより小さい変位振幅で繰返し载荷をした場合、履歴曲線は直ちに安定する。これは、Fig. 16 の RRC 100R 以外に、RRC 40, RRC 160 の予定実験終了後の試験体について行った実験結果より観察されるが、細長比による差はない。

3) 変位振幅を大きくするとき、圧縮側から大きくした RRC 100 の N-V 曲線より観察されることであるが、各サイクルでの最大たわみ量は、材長が伸びることによる幾何学的増加によるところが大きいと思われる。即

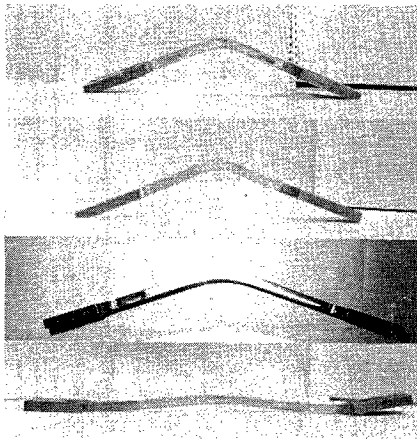


Photo 3 Deformed specimens after tests (RRC 40, RRE 40, RRC 80, RRE 80 from the above)

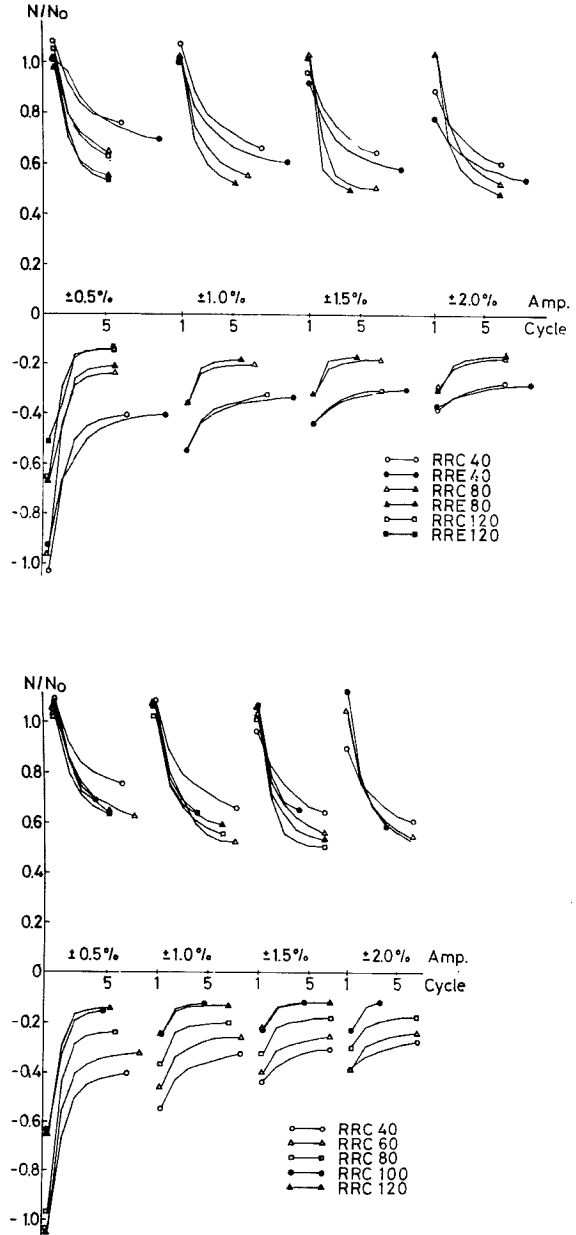


Fig. 17 Maximum and minimum load-cycle relations.

ち、Fig. 9 で A は $\pm 0.5\%$ 変位振幅で履歴曲線が安定したときの最大中央たわみ、B は -1.0% 第一サイクル目の中央たわみで、AB 間は変位振幅が大きくなることによる中央たわみの幾何学的増加であると考えられる。この後、N-4 曲線で Fig. 5 の D-E のような平坦部を経験し、次の -1.0% のとき C 点に致る。B-C 間は、材長の伸びによる中央たわみの幾何学的増加分であると考えられる。

4) 無荷重状態での残留横たわみは繰返し回数とともに増加していき、このため圧縮側引張側ともに最大耐力は繰返し回数とともに減少していく。

5) 中心荷重された試験体の座屈後の変形曲線は single curvature である。しかし、偏心荷重のときの試験体は座屈後の引張荷重載荷時に両材端近くに 2 つの反曲点があられる。(Photo. 3 参照)

6) 圧縮側除荷時の N-4 曲線の勾配は繰返し回数を増すごとに低くなり、細長比が大きいほど、また変位が大きいほど低い値を示す。一方、引張側での除荷時の曲線の勾配は横たわみ量が少ないため初期剛性にかなり近い値を示す。

7) 中心荷重をうける太短い材はほぼ降伏軸力で座屈し、細長い材で単調荷重の場合は Euler 座屈荷重と一致する。しかし、繰返し載荷実験では Euler 荷重を上回った結果が得られており、この原因については、載荷速度の影響などが考えられるが現状では不明であり、今後の検討を要する。

8) RRC 40R の片振り繰返し載荷実験においても 1), 3)~6) に述べたような性状は同じである。

9) いったん座屈し塑性変形を生じた材は、次に相当の引張荷重による伸びを与えても横たわみはさほど小さくならず、したがってその後の再圧縮載荷時の圧縮最大耐力も上昇することはない。

10) 細長比が大きくなると圧縮側耐力は座屈後はほとんど期待できなくなる。また、各定変位振幅の第二サイクル目以後は各サイクルでのエネルギー吸収が少なくなる。したがって細長比の大きい筋違いでは、筋違いが引張力のみ有効であるとしてもよいと思われる。

11) これに対し細長比の小さい材については圧縮側耐力もかなり期待でき、各サイクルでのエネルギー吸収も多いため他のモデル化を行う必要がある。

謝 辞

本研究は昭和 46 年度科学研究費試験研究(1) (代表若林実) によった。試験機、測定機器の使用について多大の便宜をはかって下さった京都大学助教授中村恒善先生、大阪工業高等専門学校教授佐々木良一先生に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Masur, E. F.,: Post Buckling Strength of Redundant Trusses, Proc., A.S.C.E. Vol. 79, No. 332, 1953.
- 2) Murray, N. W.,: The Determination of the Collapse Loads of Rigidly Jointed Frameworks with Members in which the Axial Forces are Large, Proc., I.C.E., Part III, Vol. 5 No. 1, 1956, pp. 213-232.
- 3) Murray, N. W.,: Further Tests on Braced Frameworks, Proc, I.C.E., Vol. 10, 1958, pp. 503-516.
- 4) Nutt, J. G.,: The Collapse of Triangulated Trusses by Buckling within the Plane of the truss, The Structural Engineer, May 1959, pp. 141-149.
- 5) Neal, B. G. and D. M. Griffiths,,: The Collapse of Rigidly-Jointed Singly Redundant Light Alloy Trusses, The Structural Engineer, Vol. 41, No. 12, 1963, pp. 399-406.
- 6) Paris, P. C.,: Limit Design of Columns, Jour., Aeronautical Sciences, Vol. 21, No. 1, 1954, pp. 43-49.
- 7) 若林 実・辻 文三: 繰返し水平荷重を受ける門型ラーメンの弾塑性性状, 京大防災研年報 9 号, 昭和 41 年, pp. 307-316.
- 8) 若林 実・辻 文三: 繰返し水平荷重を受けるラーメンの性状, 京大防災研年報 10 号 A, 昭和 42 年, pp. 431-437.

- 9) Wakabayashi, M. and B. Tsuji: Experimental Investigation on the Behavior of Frames with and without Bracing under Horizontal Loading, Bulletin, Disaster Prevention Peserch Institute, Kyoto University, Vol. 16, Part 2, No. 112, 1967, pp. 81-96.
- 10) 若林 実・松井千秋・南 宏一・高枝新伍：筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性挙動に関する実大実験，日本建築学会学術講演梗概集，昭和44年，pp. 1191-1192.
- 11) 藤本盛久・瀬川輝夫・松本芳紀：繰返し荷重をうける筋違付ラーメンの弾塑性解析，日本建築学会学術講演梗概集，昭和44年，pp. 1213-1214.
- 12) 藤本盛久・橋本篤秀・小杉 立・北後 寿・木村栄一・吉良昌也：繰返し水平荷重を受ける筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性性状に関する研究その1～その3，日本建築学会学術講演梗概集，昭和46年，pp. 395-400.
- 13) 藤本盛久・橋本篤秀・北後 寿・守谷一彦：繰返し水平荷重を受ける筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性性状に関する研究その4，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1373～1374.
- 14) 藤本盛久・和田 章・白方和彦：繰返し水平荷重を受ける筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性性状に関する研究その5，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1375～1376.
- 15) 藤本盛久・和田 章・白方和彦・小杉 立：繰返し水平荷重を受ける筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性性状に関する研究その6，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1374～1376.
- 16) 藤本盛久・白方和彦・岡田久志：繰返し水平荷重を受ける筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性性状に関する研究その7，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1379～1380.
- 17) 五十嵐定義・木村長仁：筋違付架槽の弾-塑性挙動，日本建築学会近畿支部研究報告集，昭和46年，pp. 69-72.
- 18) 五十嵐定義・井上一朗・木村長仁・浅野美次・小川厚治：筋違付鋼構造の復元力特性についてその1～その3，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1381-1386.
- 19) 五十嵐定義・井上一朗・木村長仁・浅野美次：筋違付架槽の復元力特性 その1，日本建築学会論文報告集，第196号，昭和47年，pp. 49-54.
- 20) 山田 稔・辻 文三・武田和久：繰返し荷重を受ける鉄骨筋違付骨組の弾塑性変形状に関する研究 (I)，日本建築学会学術講演梗概集，昭和45年，pp. 893～894.
- 21) 山田 稔・辻 文三：繰返し軸力を受ける筋違材の弾塑性変形状に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，昭和46年，pp. 391-392.
- 22) 山田 稔・辻 文三：繰返し軸力を受ける筋違材の弾塑性変形状に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1321-1322.
- 23) 坂本 順・小浜芳朗：鉄筋ブレース要素の弾塑性履歴性状に関する解析的考察，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1369-1370.
- 24) 松井千秋・妻島淳二：鉄骨圧縮筋筋違の弾塑性挙動に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，昭和46年，pp. 365-366.
- 25) Nonaka, T.: An Elastic-Plastic Analysis of a Bar Under Repeated Axial Loading, Inter. Jour. Solids and Structures, Vol. 9, No. 5, 1973, pp. 569-580.
- 26) 若林 実・野中泰二郎・柴田道生：筋違部材の座屈後の挙動に関する研究，その1，日本建築学会近畿支部研究報告集，昭和47年，pp. 197-200.
- 27) 若林 実：野中泰二郎・柴田道生：筋違部材の座屈後の挙動に関する研究 その2，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1317-1318.
- 28) Higginbotham, A. B. and R. D. Hanson,: Inelastic Cyclic Behavior of Axially-Loaded Members, Summary of a talk presented at the Column Reserch Concoil, Technical Session on March 21, 1972 in Cicago.
- 29) 加藤 勉・秋山 宏・西村洋一：H型断面柱の繰返し加力実験，日本建築学会学術講演梗概集，昭和47年，pp. 1319-1320.
- 30) 若林 実・野中泰二郎・小城 修・山本 昇：繰返し軸方向力を受ける部材の挙動に関する一実験，京大防災研年報11号，昭和46年，pp. 371-381.