

山型鋼の座屈挙動に関する実験的研究

若 林 実・野中泰二郎

EXPERIMENTAL STUDY ON BUCKLING BEHAVIOR OF ANGLES

By Minoru WAKABAYASHI and Taijiro NONAKA

Abstract

This report supplements an earlier paper on the buckling strength of angles¹⁾. Main emphasis is on experimental techniques to examine the buckling phenomena of compressed struts with small torsional rigidity. Behavior of compressed angles are observed in some details for various eccentricities by measuring deflections, strains and torsions under varying loads.

1. 序

山型鋼 (angle) の座屈耐力に関する実験的ならびに理論的研究の結果は既にまとめて発表したところである¹⁾。参考文献 1) に於ては送電用鉄塔の台風による上部構造の破壊原因として山型鋼の座屈によるものが重要な位置を占めることを指摘し、単一山型鋼の座屈実験で確認せられた耐力に基いて、J E C 127 (送電用鉄塔設計標準) の座屈許容応力度を検討した。その際、実験装置と変形挙動の詳細は、議論の趣旨には直接関係の無いものと考えて省略したが、興味ある点がいくつかあるので、ここでそれらを補足せんとするものである。

2. 実験概況

試験体は S S 41 の等辺山型鋼 L-90×90×7 から細長比 λ (材長と最小回転半径との比) を 20 から 150 ま で 10 種類取って Series とし、Fig. 1 に示す様な偏心量に対して各 1 Series の試験を行った。Series 6 は材軸にそって、ほぼ線型に分布する元振れを与えて中心圧縮を行い元振れの座屈挙動に対する影響を調べたものである。

実験の概況は Fig. 2 に示されている如くである。試験体両端を支える球座は特別に設計した油圧平衡式のものであって (参考文献参照)、Fig. 3 に示したポンプで油を送り込み、摩擦を少なくすることによって材端に於ける曲げ及び振れに対する拘束を小さくしている。圧縮力を受ける山型鋼試験体の挙動を調べる為と所要の偏心量を与える便宜上、Fig. 4~Fig. 7 のように wire strain-gage と dial gage を用いて変形を測定した。Fig. 4 は W. S. G. の貼付位置を示す。すなわち上中下 3 個所に於て山型鋼の稜線及び刃先にそって 4 枚、計 12 個所に於て歪を測定した。D. G. は Fig. 5 の様に試験体の中央に 3 個、上部に 1 個をあてがい支持棒によって支える。支持棒は剛性の高い木製のもので、下端では roller を経て試験体に支持され試験体との間で材軸方向の相対変位を可能ならしめると同時に材端と共に振れる様、また上端では knife edge を経て試験体に取り付け試験体と支持棒との間に相対振れが可能なる様工夫してある。材中央に於ては、撓み量を Fig. 6, Fig. 7 に示す様に主軸方向に備えつけた D. G. ① 及び ② で測定し、下端に対する相対振れ角は D. G. ① 及び ③ に依って読み取られた変位量の差をそれらの距離で除して求められる。上端に於ても同様

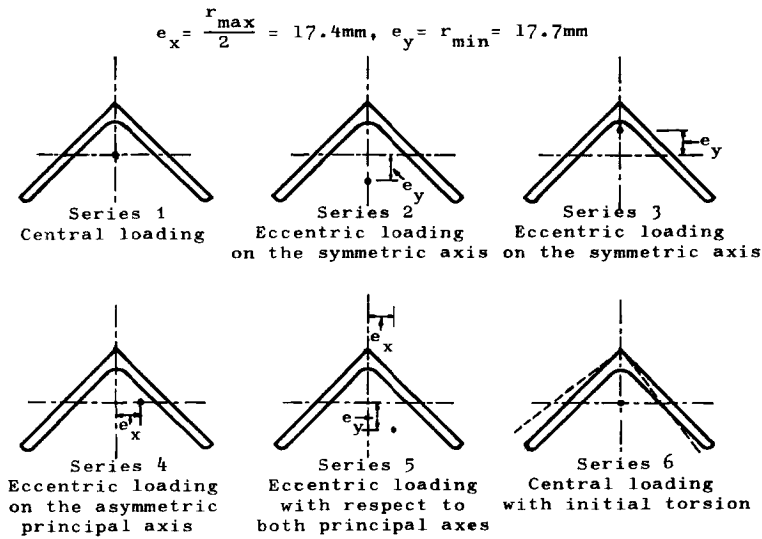


Fig. 1 Eccentricities.

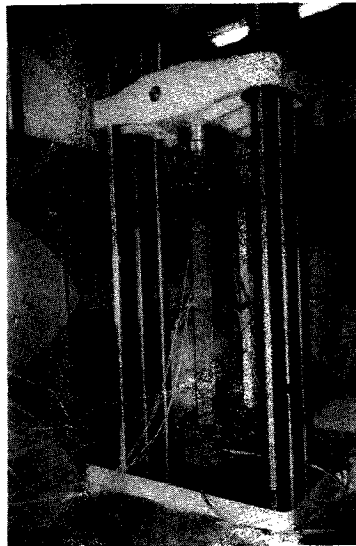


Fig. 2 General View of the Experiment.

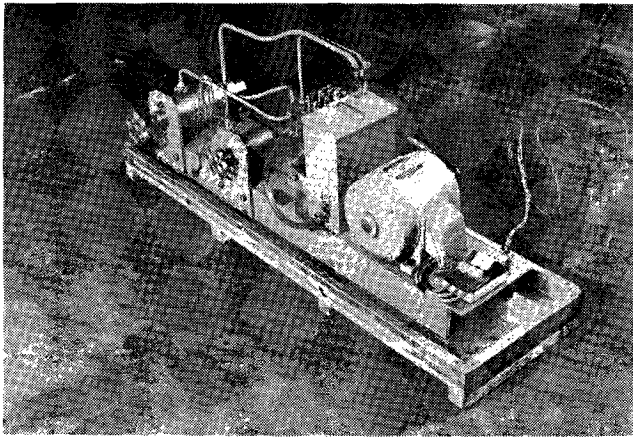


Fig. 3 Oil-Supplying Pump.

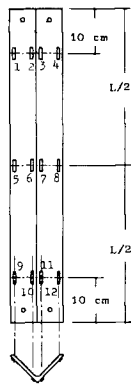


Fig. 4 Strain Measurement (Positions of Strain Gages).

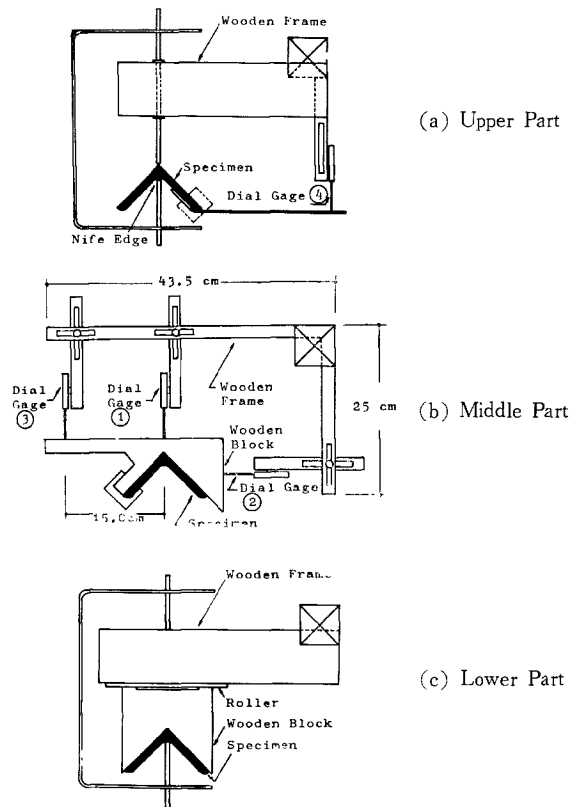


Fig. 5 Dial Gage-Supporting Device

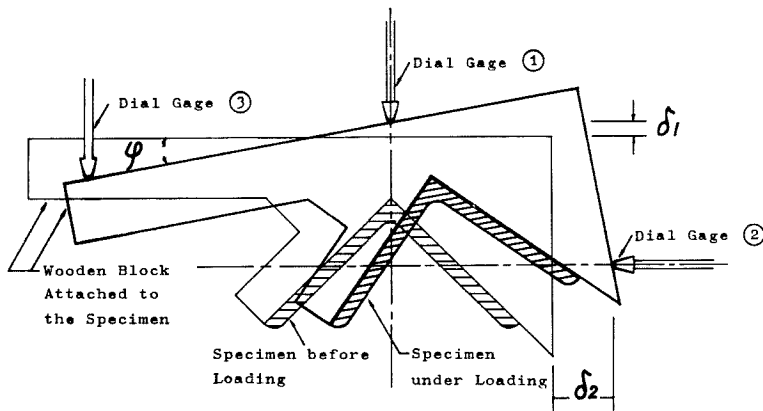


Fig. 6 Deflection and Torsion Measurements at Middle Point

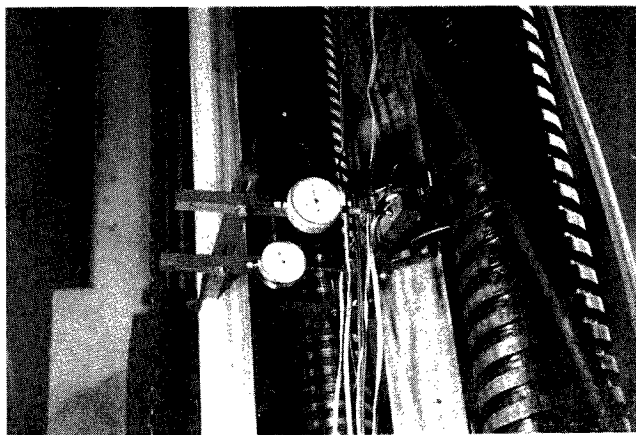
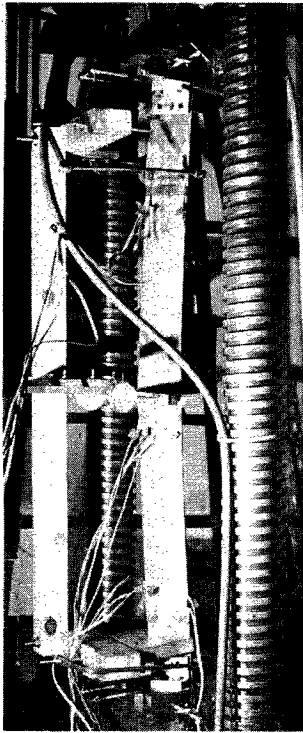


Fig. 7 Deformation Measurement by Dial Gages.

の方法で下端に対する相対戻れ角を測定した。 载荷にあたっては、 先ず断面の重心附近を徐々に圧縮し、 D. G. または W. S. G. に依って撓みや戻れが認められれば荷重を除いて载荷点を調節し、 改めて载荷を行うという方法を繰り返して、 それらの最も少い点を重心と見做し、 偏心圧縮に際しては、 その点を基準として球座に備えつけの virnia によって所要の偏心量を与えた。

3. 変形挙動

山型鋼の座屈様式を大別すれば、 曲げ座屈、 曲げ戻れ座屈及び局部座屈となる。 長い材の場合や、 本実験に於ける Series 2, Series 3 の様に断面の対称軸方向に大きな偏心量を受ける場合には Fig. 8 に示す様に曲

Fig. 8 Flexural Buckling (Series 2, $\lambda=70$)

重と共に徐々に増大し、最大荷重附近で急に増すことを示す。実験に用いた球座が端部で振りに対する拘束を与えない様設計されているにも拘らず、振れが端部より中央部で大きく現れることは、文献1)で言及した“座屈荷重が振りに対する境界条件によって大きく左右されない”ことを示唆しているものと考えられよう。同図(c)は材中央部に於ける歪と荷重との関係を示すが、最大荷重に至る迄一様圧縮を受けて、荷重と歪量はほぼ比例して増大し、急に稜線に隣る部分の圧縮歪みが減少すると共に刃先部のそれが増大し、重心から稜の方向へ撓み出す様子が分る。

(2) Series 2 (対称軸上刃先側偏心圧縮)

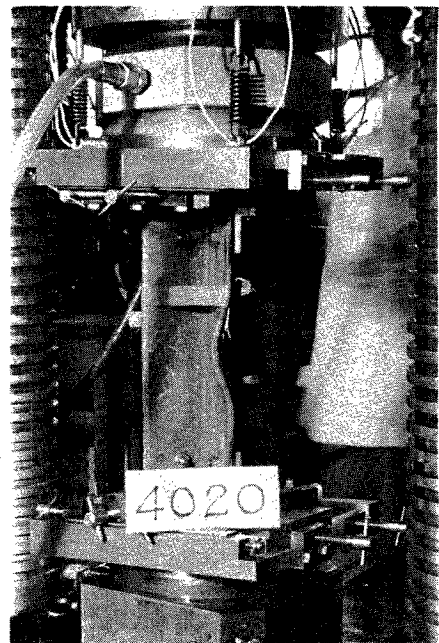
Fig. 13(a)は、非対称主軸方向の撓みが殆んど認められないのに反し、対称軸上には載荷点と反対方向に徐々に撓みが増大し、最大荷重に近くなって更に著しく撓みが増大する典型的な偏心圧縮曲げの挙動を示す。同図(b)に依って振れが小さいことが確かめられ、(c)によって刃先側圧縮、稜側引張の曲げ変形が確認される。

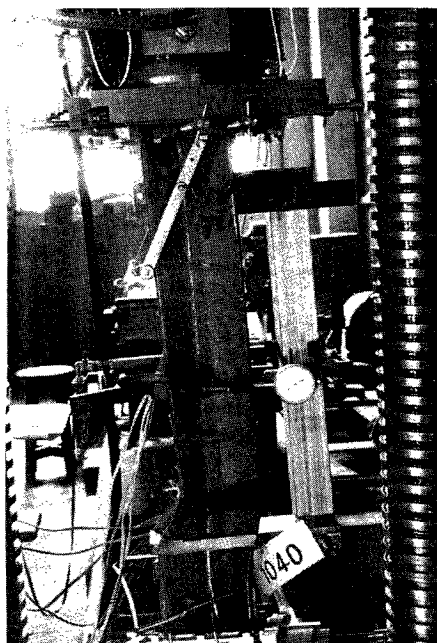
げ剛性の低い対称面内の曲げ変形が著しく、短い材では Fig. 9 に示すような局部座屈をおこすものが多い。短い材ではまた Fig. 10 のように振れ変形の著しい場合がある (Fig. 10(b)によれば稜線は殆んど撓まない)。両者の区別は必ずしも明瞭では無く、実際、中心圧縮を受ける短い等辺山型鋼の場合には座屈の際稜線は殆んど曲らないので、曲げ振れ座屈理論と局部座屈理論はほぼ等しい限界荷重を与える(曲げ振れ座屈理論では座屈に際して材断面の形は変わらないものと仮定し、局部座屈理論では稜線は曲らないものと仮定しているが、厳密にはそれらの変形を総合して解析すべきものである)。また中程度の長さを有する材の場合には Fig. 11 に示す様な曲げ振れ座屈がしばしば認められる。

Fig. 12~Fig. 17 は、前節で述べた測定装置によって求めた荷重と変形との関係を示す測定結果の例である。 δ は撓み量、 φ は振れ角、 ε は歪量、 P は荷重の大きさを示す。歪量には材中央に於ける値だけを示した。以下 Series 毎に変形挙動を図から概観してみよう。

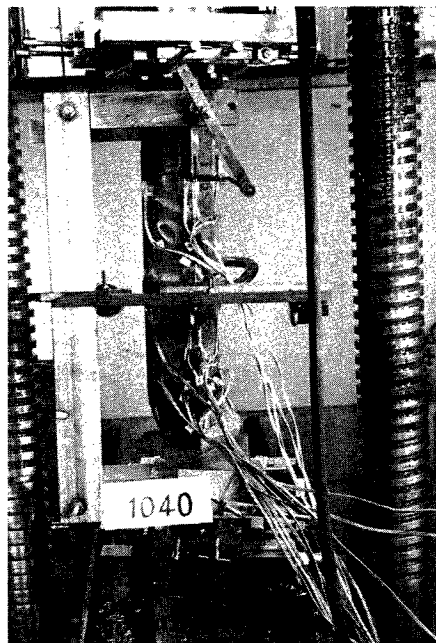
(1) Series 1 (中心圧縮)

Fig. 12(a)によれば、撓みは最大荷重に至るまで非常に小さく、そこで急に増加し、理想に近い中心圧縮の状況が窺われる。同図(b)は、振れ角は端部では零に近いが中央部では荷

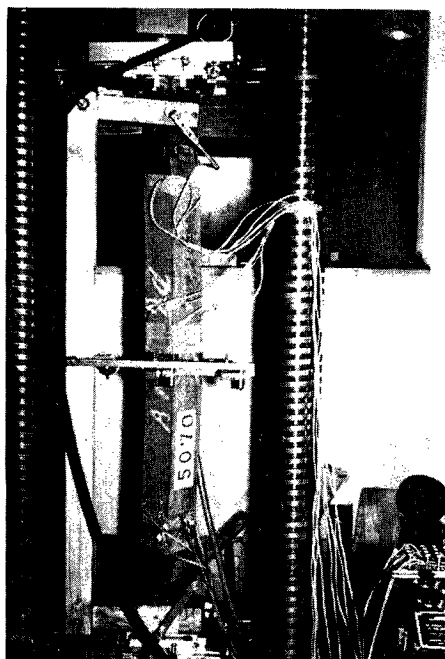
Fig. 9 Local Buckling (Series 4, $\lambda=20$)



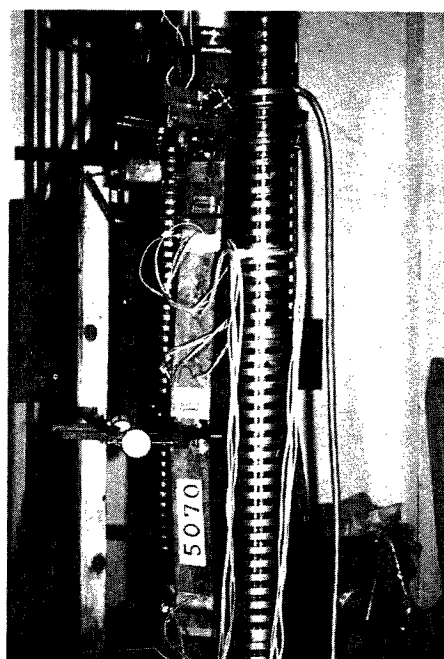
(a)



(b)

Fig. 10 Torsion-Dominant Buckling (Series 1, $\lambda=40$)

(a)



(b)

Fig. 11 Torsional-Flexural Buckling (Series 5, $\lambda=70$)

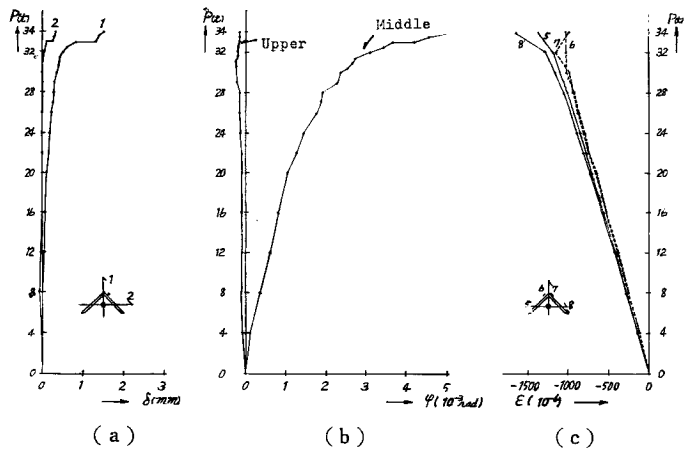


Fig. 12 Load-Deformation Relation, Series 1, $\lambda=80$

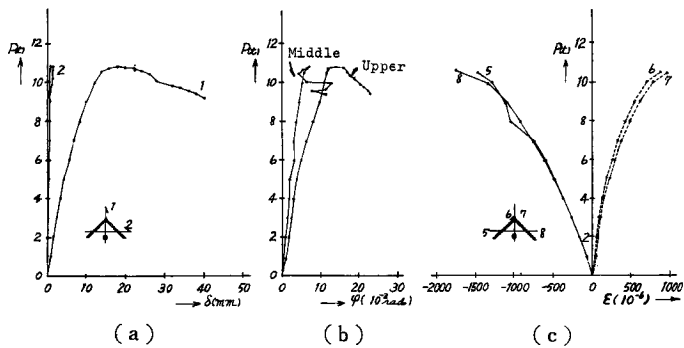


Fig. 13 Load-Deformation Relation, Series 2, $\lambda=100$

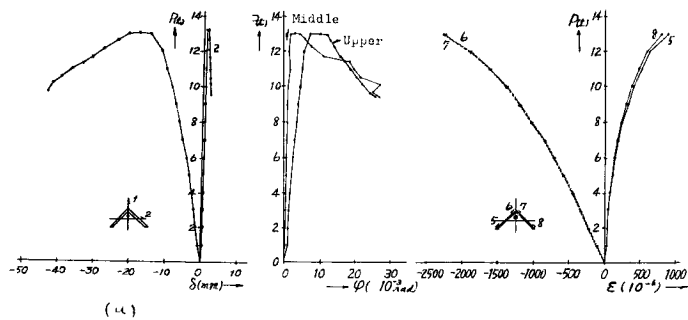
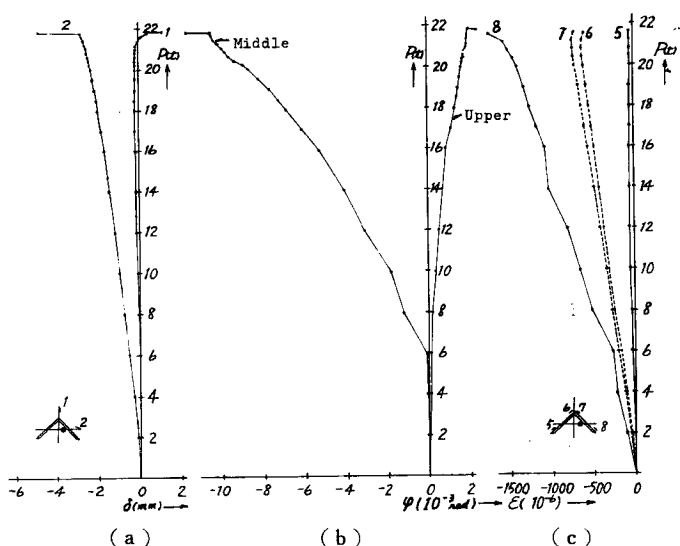
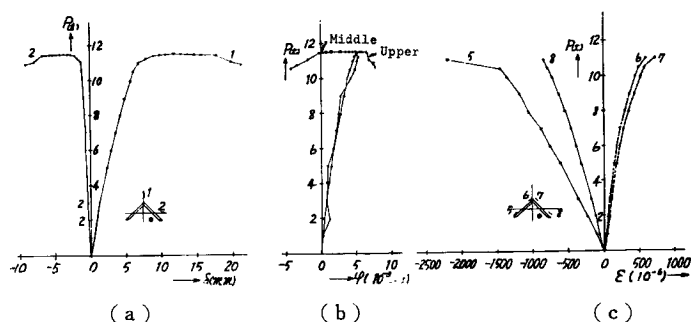
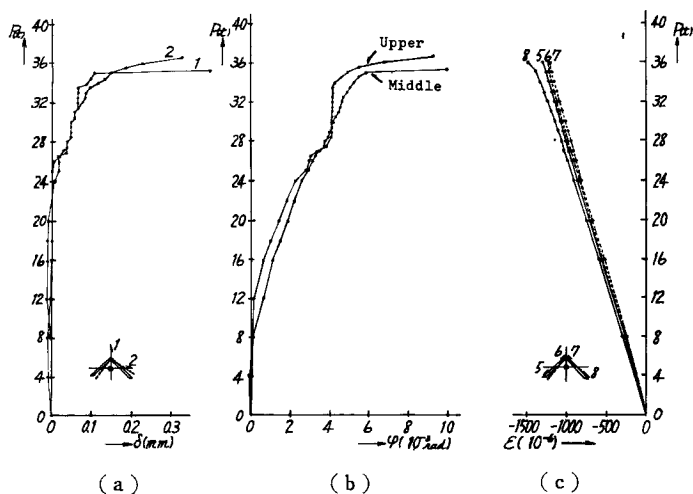


Fig. 14 Load-Deformation Relation, Series 3, $\lambda=90$

Fig. 15 Load-Deformation Relation, Series 4, $\lambda=80$ Fig. 16 Load-Deformation Relation, Series 5, $\lambda=80$ Fig. 17 Load-Deformation Relation, Series 6, $\lambda=90$

(3) Series 3 (対称軸上稜側偏心圧縮)

Series 2 と撓みの方向が反対である他は全く同様の挙動を示すことが Fig. 14 から認められる。

(4) Series 4 (非対称主軸上偏心圧縮)

Fig. 15 (a) によれば、非対称主軸上の撓みは偏心と反対方向に徐々に増大するに反し、対称軸上での撓みは最大荷重附近から急に大きく現れることが分る。又 (b) に依れば中央部の捩れが著しく、載荷のかなり低い段階から現れる、偏心を伴う曲げ捩れ座屈の様子が如実に認められる。(c) は (a) に依る撓み変形の様子を裏付けている。

(5) Series 5 (両主軸に対し偏心を有する場合)

Fig. 16 (a) より、両主軸に対する偏心によって撓みは荷重と共に徐々に増大するが、曲げ剛性の高い方向への撓みは割合小さいこと、及び、両方向の撓みが最大荷重附近から急に増大することが分る。(b) は、捩れ角が荷重と共に徐々に増大していき最大荷重附近では複雑な変形を起すことを示す。(c) により (a) に於ける撓み変形の状況が裏付けされている。

(6) Series 6 (元捩れを有し中心圧縮を受ける場合)

Fig. 17 によれば Series 1 (中心圧縮) の場合と同様の変形挙動を示すことが分り、文献 1) で得られた結論のひとつ“材軸にそって線型に分布した元捩りのある材が中心圧縮を受けたときの座屈荷重は真直な材の中心圧縮荷重と等しい”ことを裏付けている。

謝 辞

本報は、八幡製鉄株式会社電力用鋼材研究会の研究費に依る援助を受け、名古屋大学教授横尾義貫博士総括のもとに行われている研究の一部の報告である。実験設備に関して、大阪工業大学建築科、新三菱重工神戸造船所から協力を得、実験中並びにデータ整理に際しては京都大学渡嘉敷通武、角田勝雄、松井千秋、海老名正裕、大塚稜君等に負うところが多かった。ここに深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) M. Wakabayashi and T. Nonaka, "On the Buckling Strength of Angles in Transmission Towers," Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Vol. 15, Part 2, No. 91, November, 1965, pp. 1—18.