

対角方向水平力を受ける鋼管塔状立体トラス構造物の 力学的挙動について

金 遼 潔・甲津 功夫・吹田啓一郎
稲岡 真也

LOAD CARRYING CAPACITY OF SPACE TUBULAR TOWER STRUCTURE SUBJECTED TO HORIZONTAL LOAD IN THE DIAGONAL DIRECTION OF THE TOWER SECTION

By *Kiyoshi KANETA, Isao KOHZU, Keiichiro SUITA*
and Shinya INAOKA

Synopsis

Strength and ductility of latticed steel towers can be considerably affected by the magnitudes as well as the directions of external forces caused by earthquakes and wind.

An experimental investigation was carried out in order to examine the properties of overall load-deflection relationship and instability of typical space tubular towers subjected to monotonic or cyclic horizontal loads which act on the tops of the towers in the diagonal directions.

The experimental results are compared with the results obtained from the past experiment by using identical specimens subjected to the horizontal loading along the principal axes of the tower sections, and the characteristics of the stress distributions of the towers are discussed. Also, buckling strength of the components are estimated by taking into consideration the actual boundary conditions, under combined bending and axial forces.

1. 序

昭和55年7月14日に公布され、昭和56年6月1日に施行された建築基準法及び同施行令では、特に耐震基準が抜本的に改正され、いわゆる新耐震設計基準が設けられた。この新耐震基準では、家屋などのようにその重量がほとんど床面に集中すると考えられる建築物を対象としており、地震を受けた時の構造物の動的な挙動が、その層数と同数の質点から成るせん断形振動系モデル（または曲げせん断形振動系モデル）に置き換えて応答解析をすることによって評価できるという既往の研究に基づいて、構造物の設計地震力や層せん断力係数の分布が定められている。しかしながら、実際の構造物の中には、送電鉄塔、テレビ塔、ラジオ塔、マイクロウェーブ塔、照明塔、観覧塔などのような高層の構造物、高さ方向の質量分布が不均一な構造物、或いは高層建築物の屋上等に設けられる無線鉄塔などの塔状構造物も存在する。このような構造物は床スラブに相当するものが存在しないために、その質量が高さ方向に連続して分布するとみなせる塔体部と、用途によって重量・配置の異なる付属物（例えば、レーダー、アンテナ、照明器具、展望塔など）から構成されており、その組み合わせの違いによって質量・剛性の分布形状は多岐にわたる。このような塔状構造物に関しては設計基準が明確に示されておらず、昭和55年10月に刊行された日本建築学会「塔状鋼構造設計指針」が適用されているのが現状である。しかし、この指針では設計用地震力の定め方として塔状鋼構造物の構造

的特徴を踏まえた方法が示されているわけではなく、これらの塔状鋼構造物に対して現在施行されている新耐震設計基準の概念をそのまま適用することが妥当であるか否かは疑問である。一般に塔状鋼構造物の架構形式として採用されているものには立体トラス架構が多く、トラス構成圧縮部材の座屈に起因する剛性や変形能力の低下が耐震安全上大きな問題とされる場合が多く、上述の塔状鋼構造物特有の質量・剛性分布の不均一性と共に、その耐震設計を行う上で考慮すべき重要な点である。

前報¹⁾では点塔状鋼構造物の構造形式として一般的な鋼管立体トラス構造の塔体部の試験体を用いた構面平行方向載荷実験を行ったが、本報では同様の試験体を用いて、圧縮部材の座屈・水平材の有無などに着目して構面对角方向の静的載荷実験を行い、更に前報で報告した構面平行方向載荷実験の結果と比較して、塔状鋼構造物の耐震安全性を構造部材や架構の弾塑性変形挙動の特徴に基づいて評価する際に基本的な資料となる力学的特性を明らかにすることを目的としたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

本研究の対象とする構造形式は、現在、無線鉄塔、送電鉄塔の中でも比較的規模の大きいものに多く採用されており、最も基本的な形式の一つと考えられる、鋼管を用いた4本の主柱材とダブルワレン形式の斜材から成る塔状立体トラス構造である。試験体寸法は塔高数十メートルの鉄塔を1/5程度に縮尺したもののから塔体部の2パネルを取り出したものを想定し、Fig. 1に示す形状・寸法とした。

試験体の形状は2種類ある。まず柱脚部の主柱材材軸間距離を120 cmとし、主柱材に1/11.25の勾配の開角を持たせたものをタイプB (Fig. 1) とする。更にタイプBのパネル中間に水平材を加えたものをタイプC (Fig. 2) とする。いずれのタイプにおいても、各接合部に集まる部材の材軸は1点で交叉するようにした。また斜材同志が交叉する個所では、現実の設計では一方の斜材を貫通させもう一方の斜材はガセットプレートを通じて貫通する斜材に接合されるような接合形式が一般的であるが、各斜材の材端における境界条件を同一にするため、4本の斜材が集中する個所では1枚のガセットプレートにそれぞれ同一形式の継手により斜材が接合されている。

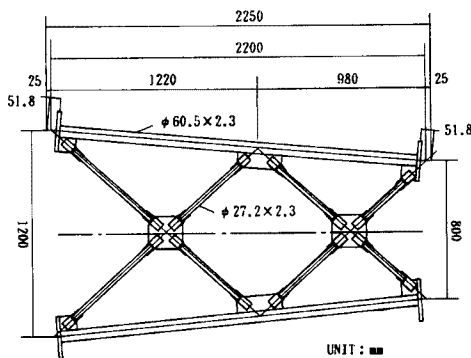


Fig. 1. Test specimen (TYPE B)

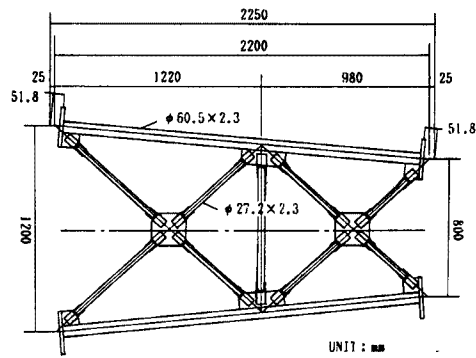


Fig. 2. Test specimen (TYPE C)

部材断面の選定は、想定する規模の鉄塔の実設計でSS 41 級鋼材を用いたときの限界細長比 $\lambda=120$ に対して各部材の細長比が主柱材で $\lambda=30\sim60$ 、斜材で $\lambda=50\sim110$ 程度となっているものが多いことから、試験体の主柱材に $\phi 60.5 \times 2.3$ 、斜材に $\phi 27.2 \times 2.3$ の鋼管を用いた。試験体各部材の細長比を節点間距離を座屈長さにとり公称断面寸法から計算すると、両タイプとも主柱材では $\lambda=59.22$ 、斜材では最も大きいもので $\lambda=102.27$ となっている。各節点でピン接合されたトラス架構と考えて柱頭に水平力を作用させたときの応力を計算すると、主柱材よりも斜材の座屈が先行する設計となっている。

斜材と主柱材及び斜材同志の交点における接合部は、部材材軸の遍心を避けるため斜材端部に板厚 3.2

mm の鋼板を用いた U 字継手を設け、これに板厚 6.0 mm ガセットプレートに接合した。ガセットプレートとの接合は、M 12 亜鉛メッキ普通ボルト 2 本を使用した (Fig. 3)。継手、ガセットプレート及びボルトは斜材の引張降伏に先行して降伏しないよう設計した。尚、試験体は全部材に溶融亜鉛メッキを施した。

使用した鋼材は鋼管が STK 41、接合部のプレートが SS 41 である。JIS Z 2201 規格 11 号及び 12 号試験片を用いた引張試験により鋼素材の機械的性質を Table 1 に示す。

実験に用いた試験体は Table 2 に示す 4 体で、各試験体は構造形式と載荷方法を区別するため英字 3 文字で次のような名称を付けた。1 文字目に前述の B、C の各タイプを

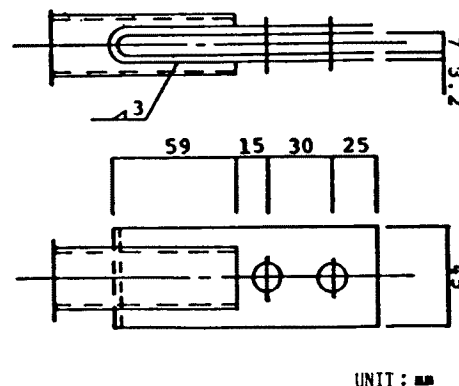


Fig. 3. Detail of bolt connection

Table 1. Mechanical properties of materials

Section	Yield Point (kg/mm ²)	Ultimate Strength (kg/mm ²)
φ27.2×2.3	42.8	47.1
φ60.5×2.3	42.8	47.1

Table 2. Summary of test specimens

No.	Designation	Slant of Chord	Horizontal Strut	Loading Condition
1	BBM	1/11.25	×	monotonic
2	BBC	1/11.25	×	cyclic
3	CBM	1/11.25	○	monotonic
4	CBC	1/11.25	○	cyclic

示し、水平材の有無を示す。2 文字目に部材の接合方法を示し、溶接によるものを W、ボルトによるものを B で示す (本実験ではボルト接合のみ)。3 文字目は載荷方法の違いを示し、単調載荷を M、正負交番繰返し載荷を C で示す。

2.2 載荷方法

実験に用いた載荷装置にタイプ B の試験体をセットした状態を Fig. 4 に示す。反力壁に設置された反力フレームの上にピン治具を取付け、試験体主柱材端部に溶接したベースプレートとピン治具を高力ボルトで取付けることにより、試験体は横向きのカンチレバー形式で支持されている。試験体支持部のピン治具には Fig. 5 に示す球面軸受を用い、あらゆる方向の回転に対する拘束を取り除いてある。これは、本実験の目的が塔状構造物の塔体部の挙動を調べることにあり、柱脚部で座屈後の挙動が拘束されるのを防ぐためである。また、支持点に集まる主柱材・斜材の材軸はピン軸内の一点で交叉させている。試験体他端には、支持側と同様の主柱材端部に取付くピン治具を介して載荷フレームが取付けられている。載荷にはストローク 30 cm の 100 ton 油圧ジャッキを用い、載荷フレーム中央部のピン治具に荷重をかけ、試験体には水平力に相当する力を作用させる。載荷フレームに取付けた 4 個のガイドローラーとこれをさむガイドフレームにより、載荷フレームの横振れを防止し、試験体には捩り力が作用しないようにされている。試験体の変形に対する拘束は支持側、載荷側各 4 点のピン支持部だけで、その他の拘束はいっさい行っていない。

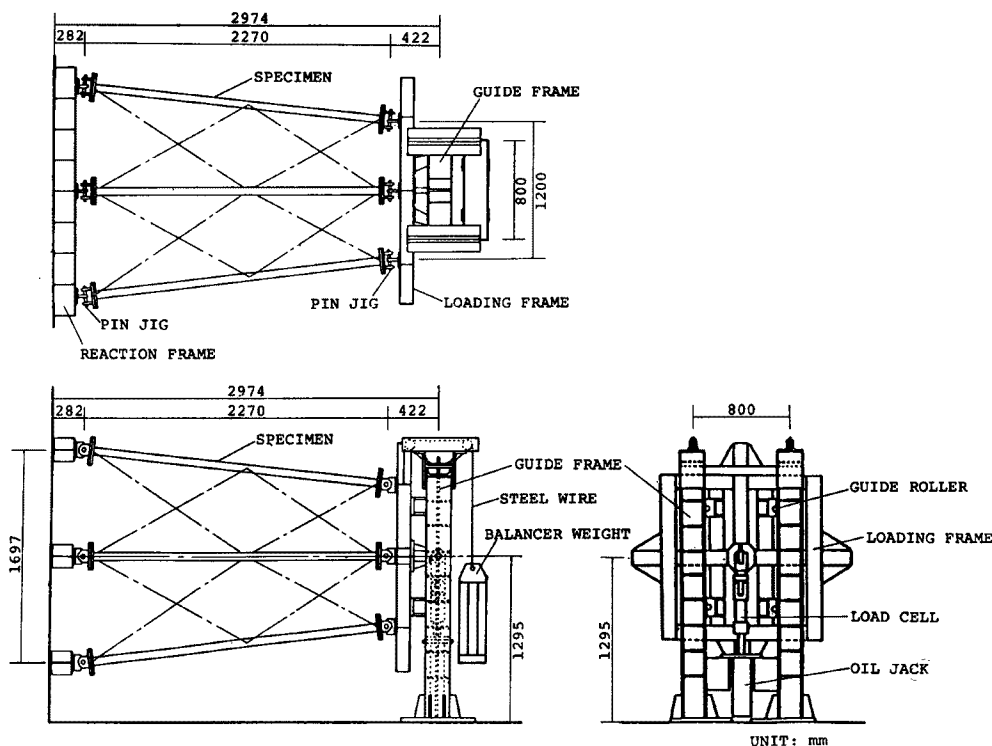


Fig. 4. Loading apparatus

尚、カンチレバー形式で支持した試験体の自由端側に載荷フレームの重量が水平力として作用するのを防ぐために、載荷フレームと同重量のおもりをワイヤーで連結し、ガイドフレーム上部部の滑車にかけて両者をバランスさせている。従って、載荷前の試験体には約 100 kg の自重だけが作用することになるが、試験体の剛性・強度から考えて、ほとんど無視して差し支えないと考えられる。

両タイプの試験体とも単調載荷、正負交番繰返し載荷をそれぞれ崩壊に至るまで行った。繰返し載荷では最危険部材の座屈が予想される荷重の1/4程度の荷重を正負繰返し第1サイクルとし、第2サイクル以後は順次第1サイクルの整数倍の変位に達するまで繰り返した。本論文では、油圧ジャッキの鉛直上向きの載荷を正載荷、反対方向を負載荷と称することとし、最初の座屈は正載荷時に発生させ、座屈発生後、復元力の上昇が見られなくなる状態で載荷を終了した。

2.3 測定方法

(1) 載荷荷重

油圧ジャッキと載荷フレームの間にピンを介して取付けたロードセルにより載荷荷重を測定した。

(2) 試験体変位

試験体全体の変形性状を把握するため、Fig. 6 に示す変位形を取付け、図中の矢印に示す方向の変位を計測した。①で載荷点の載荷方向変位を、②で載荷フレームの回転角を、③は各主柱材の上下パネル中間部での水平方向に相当する変位を測定した。

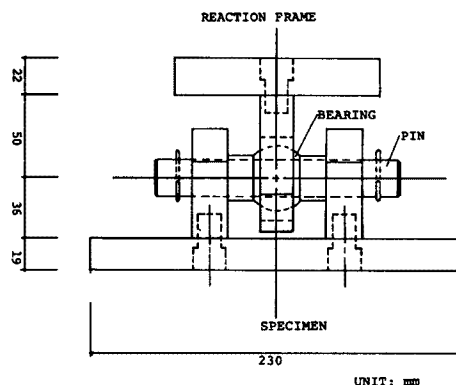


Fig. 5. Detail of pin support

(3) 部材変形及び歪

下パネルの主柱材及び斜材で正載荷時に早く座屈発生が予想される部材について、Fig. 7 に示す治具を取付けて標点間の材軸方向の変位を計測した。また全部材の長さ方向中間部に抵抗線歪ゲージを貼付して歪を測定した。特に座屈発生が予想される部材については、断面の周長を4等分する位置に4枚のゲージを貼付して、曲げ変形による歪も検出できるようにした。

ロードセル及び載荷点の変位計からの出力は動歪計を介

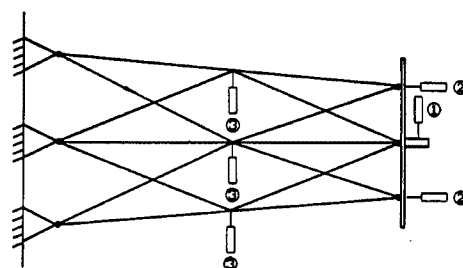


Fig. 6. Disposition of Displacement Transducers

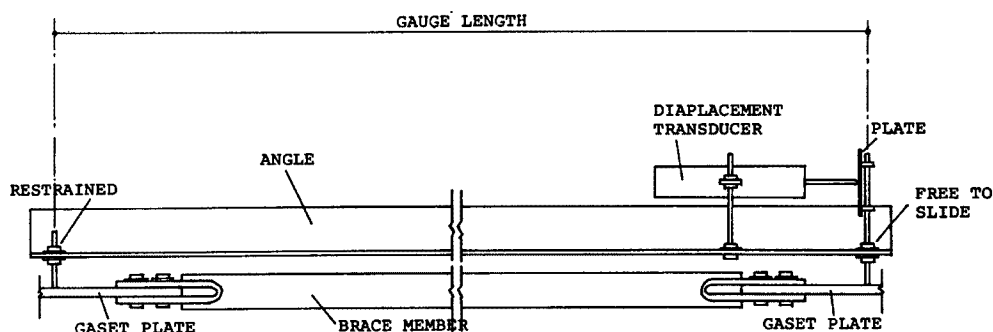


Fig. 7. Installation of Extensometers

し、比例弁を用いた変位制御型電動油圧ユニットのコントローラーに入力し、油圧ジャッキの制御を行って載荷した。他の変位及び歪は多点式デジタル静歪計測器に出力した。油圧ユニットのコントローラー及び計測器は全てマイクロコンピュータにより制御し、全てのデータはデジタル量にてコンピュータの外部記憶装置に収録した。

3. 実験結果の概要

実験から得た載荷荷重と載荷点水平方向変位の関係を Fig. 8～Fig. 11 に示し、観察された座屈の発生から崩壊に至るまでの状況を以下に記す。尚、試験体には2本の主柱材とそれにはさまれる斜材とからなる構面が4面あるが、これをA～Dの名称で示す。構面A及び構面Dは正載荷時に圧縮側、構面B及び構面Cは引張側となる構面である。また、図中の○で囲んだ数字は座屈発生の順序と座屈した部材を示す。

3.1 水平材なし (BBM, BBC)

Fig. 8 に試験体 BBM の結果を示す。載荷荷重 3～10 ton の間でボルト接合のずれにより履歴曲線の一部が階段状になり、全体の剛性が低下したのと同様の効果が現れている。①において下パネル圧縮側主柱材が座屈し、②③において構面 D 及び構面 A の斜材がそれぞれ主柱材の座屈による強制的な曲げを受けた徴候が歪ゲージの値により認められた。④においては主柱材及び斜材の座屈波形が顕著になり耐力が急激に低下したものの、その後耐力は一定のままで低下しなかった。

Fig. 9 に試験体 BBC の結果を示す。試験体 BBM と同様に荷重 ± 8 ton 程度の間でボルト接合部の滑りにより履歴曲線に細かな凹凸がみられ、全体の剛性が低下したのと同様の効果がみられる。しかし、座屈発生までの履歴ループをみると、ほぼ紡錘形の良好な性状を示し履歴による吸収エネルギーは大きいものと考えられる。①において下パネル圧縮側主柱材が座屈し、同時に構面 D の斜材が強制的な曲げを受けた。②において構面 A の斜材が強制的な曲げを受け、剛性がやや低下するが、耐力はさらに上昇した。③において主柱材の座屈波形が顕著になり耐力は急激に低下した。次の負方向載荷時の④において下パネル圧縮側主

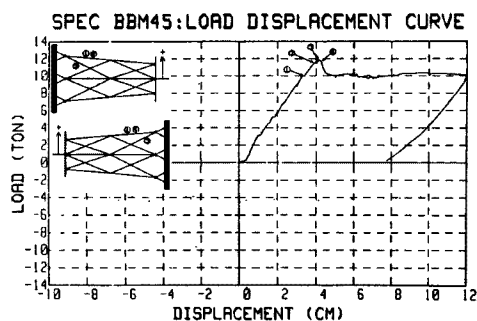


Fig. 8. Load-displacement diagrams (Spec BBM)

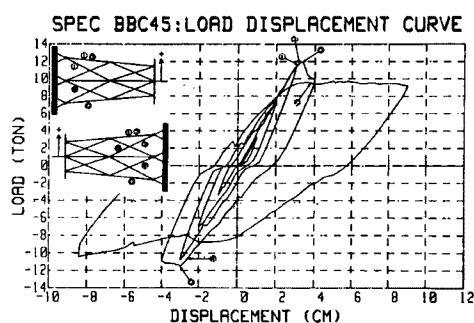


Fig. 9. Load-displacement diagrams (Spec BBC)

柱材が座屈し、同時に構面 B 及び構面 C の斜材が接合部のガセットプレートを通じて、主柱材から強制的な曲げを受けた。⑤において主柱材の座屈波形が顕著になり耐力は低下した。次の正方向載荷時⑥において構面 A の他の斜材も座屈したが、耐力は低下せず一定のままであった。

3.2 水平材あり (CBM, CBC)

Fig. 10 に試験体 CBM の結果を示す。ボルト接合の滑りが剛性に与える影響は前述と同様である。①において下パネル圧縮側主柱材が座屈し、②③において構面 A 及び構面 D の斜材がそれぞれ強制的な曲げを受けた。④において主柱材の座屈波形が顕著になり、耐力は急激に低下したが、その後耐力は一定のまま維持していた。

Fig. 11 に試験体 CBC の結果を示す。ボルト接合の滑りが剛性に与える影響は前述と同様である。①において構面 A の斜材の座屈発生が歪ゲージの値より認められた。②において下パネル圧縮側主柱材が座屈し、同時に構面 D の斜材が強制的な曲げをうけ剛性が若干低下したが耐力はさらに上昇した。③④において主柱材、斜材の座屈波形が顕著になり耐力は急激に低下する。次の負方向載荷時に⑤において下パネル圧縮側主柱材が座屈し、同時に構面 C の斜材が強制的な曲げを受けた。⑥において構面 B の斜材が同様の曲げを受け、⑦において主柱材の座屈波形が顕著になったが耐力は低下しなかった。

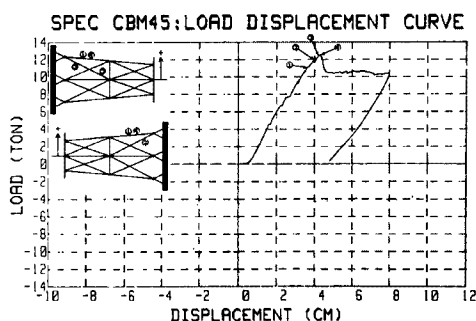


Fig. 10. Load-displacement diagrams (Spec CBM)

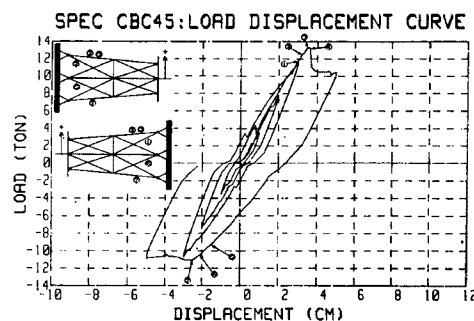


Fig. 11. Load-displacement diagrams (Spec CBC)

3.3 初期剛性

水平方向の載荷荷重をそのときの上下各パネル毎の層間変位で除した値で塔体部の水平剛性を表し、座屈が発生するまでの載荷初期の段階での各試験体の水平剛性を実験結果から計算した値を Table 3 に示す。各パネルの(a)欄の値はボルトの滑りが発生する以前の値であり、ボルトの滑りによる剛性低下した時の剛性を(b)欄に示す。

Table 3. Horizontal Stiffness of Specimens (unit; ton/cm)

Specimen	Lower Panel		Upper Panel	
	(a)	(b)	(a)	(b)
BBM	14.55	10.33	8.05	5.54
BBC	13.04	8.04	7.17	6.65
CBM	13.23	9.56	9.68	5.98
CBC	14.23	9.65	9.03	7.83

水平材の有無による比較を行うと、下パネルの初期剛性は、ボルトの滑り前後ともあまり差異はみられないが上パネルの初期剛性は、水平材を有する方が若干高い。

また、構面方向載荷の結果と比較すると、下パネルはボルトの滑り前後とも対角方向載荷の方が高いが、上パネルの方は、構面方向載荷の方が高い傾向にある。

4. 考 察

4.1 崩壊過程の比較

前章で記した実験結果に関して、構造形式の違いや載荷方向の違いなどに着目した考察を行う。

(1) 水平材の有無による比較

水平材の無い試験体 (BBM・BBC) と水平材を有する試験体 (CBM・CBC) を比較すると、水平材を有する試験体の方が最大耐力が一割程度高い傾向にあることがわかる。これは、水平材が若干応力を負担したためと考えられ、水平材が有効に働いていることを示している。

(2) 載荷方向の違いによる比較

前報で報告した構面方向載荷実験の結果と、本実験で行った対角方向載荷実験の結果とを比較すると、対角方向載荷の方が最大耐力において若干低くなる傾向にあることがわかる。これは、対角方向載荷の場合は圧縮力を一本の主柱材で支えており、この主柱材が先行して座屈することによる。

また、構面方向載荷では水平材による最大耐力の上昇などの効果はみられなかったが、(1)で述べたように対角方向載荷では水平材のある方が耐力が高くなり、水平材の効果が見られた。

更に、座屈後の挙動について見ると、構面方向載荷では座屈発生後変位の増大に伴い耐力は減少していくが、対角方向載荷では圧縮主柱材の座屈発生後もある程度の耐力を維持することができる。これは、圧縮柱座屈発生後の応力再分配により、残る3本の主柱材のうち中心の2本が圧縮柱、他の1本が引張柱として機能することによる。このときの水平荷重から、3本の主柱材が支持部で負担するモーメントを計算すると、これは各主柱材の軸力から求まるモーメントにほぼ等しく、3本の主柱材により分担されていることがわかる。

4.2 座屈荷重

座屈した部材について、その中央部に貼付した4枚のW. S. G. から得た歪履歴をみると、座屈発生時の挙動が顕著にみられる。一例として Fig. 12 に試験体 CBM の圧縮主柱材の中間部で計測した4点の歪と載荷荷重の関係を示す。座屈発生以前の載荷荷重が小さい段階から4つの歪量の勾配は一致していない。接合部はU字継手を用いているため遍心はほとんどないと考えられるが、試験体の初期不整などの要因で付加曲げが生じたものと思われる。載荷荷重 12.55 t で圧縮歪が急に増加するも

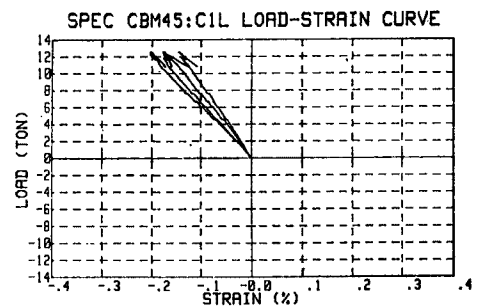


Fig. 12. A sample of load-strain relationship of brace member

Table 4. Buckling Stress

Specimen	Member	Boundary Condition	Buckling Length (cm)	Slenderness ratio λ	σ_{cr} (ton/cm ²)	σ_c (ton/cm ²)	Eq. (3)	Eq. (2)
BBM	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.568	0.9340	0.588
		2	25.0	28.33	4.103			0.409
	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.542	0.8570	0.630
		2	25.0	28.33	4.103			0.439
	chord	3	123.0	59.96	3.488	3.243	0.8796	1.057
		4	86.1	41.97	3.892			0.947
BBC	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.299	0.8271	0.550
		2	25.0	28.33	4.103			0.383
	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.322	0.9287	0.499
		2	25.0	28.33	4.103			0.367
	brace	1	71.0	80.46	2.855	0.9549	0.9305	0.359
		2	25.0	28.33	4.103			0.250
	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.476	0.8826	0.585
		2	25.0	28.33	4.103			0.408
	chord	3	123.0	59.96	3.488	3.186	0.8834	1.034
		4	86.1	41.97	3.892			0.929
	chord	3	123.0	59.96	3.488	3.058	0.8271	1.060
		4	86.1	41.97	3.892			0.950
CBM	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.318	0.9431	0.489
		2	25.0	28.33	4.103			0.341
	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.372	0.9357	0.514
		2	25.0	28.33	4.103			0.357
	chord	3	123.0	59.96	3.427	3.539	0.9201	1.122
		4	86.1	41.97	3.862			0.996
CBC	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.893	0.6397	1.036
		2	25.0	28.33	4.103			0.721
	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.329	0.9712	0.479
		2	25.0	28.33	4.103			0.334
	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.018	0.9798	0.364
		2	25.0	28.33	4.103			0.253
	brace	1	71.0	80.46	2.855	1.927	0.9708	0.695
		2	25.0	28.33	4.103			0.484
	chord	3	123.0	59.96	3.427	3.723	0.8859	1.226
		4	86.1	41.97	3.862			1.008
	chord	3	123.0	59.96	3.427	2.879	0.7812	1.075
		4	86.1	41.97	3.862			0.954

のと、逆に減少するものとに分かれることから、この点が座屈発生と考えられる。そこで部材断面に生じる応力を、圧縮力によるものと曲げモーメントによるものとに分離し、文献5に規定されている下式の条件で座屈が発生するものとする。

$$\frac{c\sigma_b}{\sigma_y} = \frac{\pi\sigma_c}{2\sigma_{cr}} \quad (1)$$

ここから曲げによる応力成分を除き、中心圧縮柱と見なして評価するために次式による値を用いる。

$$\frac{\sigma_c/\sigma_{cr}}{(2/\pi)\cos^{-1}(c\sigma_b/\sigma_y)} \quad (2)$$

$$(2/\pi)\cos^{-1}(c\sigma_b/\sigma_y) \quad (3)$$

実験により座屈した試験体の各部材について求めた(2)式の値を Table 4 に示す。但し、座屈荷重の計算値は安全率を1.0として計算した値である。また、計算に用いた座屈長さ及び支持条件は以下に示す通りで、表中の番号はこれを示している。

(1) 斜 材

① 両端接合部のガセットプレートの斜材材軸に沿った長さの中間点の距離を座屈長さとし、両端ピン支持とみなして座屈長さ係数を1.0とした。

② 部材両端のU字継手プレートの内法間寸法を座屈長さとし、両端固定とみなして座屈長さ係数を0.5とした。

(2) 主 柱 材

③ 支持側ピン治具中心と、上下パネル中間点との間の距離を座屈長さとし両端ピン支持とみなして座屈長さ係数を1.0とした。

④ 座屈長さを③と同じにとり、一端固定他端ピン支持とみなして座屈長さ係数を0.7とした。

各部材について、斜材は①、②、支柱材は③、④の条件でそれぞれ計算した結果を表に示す。(2)式の値が1に等しいとき座屈が発生するものと考え、支柱材ではほとんどの部材が③の条件で1より大きく、④の条件で1より小さく、座屈条件はこれらの中にあるものと考えられる。また、斜材では①、②のどちらの条件でも1に大きく満たないものがほとんどであるが、これは支柱材が先行して座屈したため、接合部を介してその座屈に伴う強制的な曲げが斜材に働き、応力の低い段階で歪履歴にその傾向が現れたためと考えられる。

支柱材について、それぞれの支持条件で軸力と曲げモーメントが作用して座屈に至る過程の一例（試験体BBM）を Fig. 13, 14 に示す。Fig. 13 は両端ピン支持と仮定した場合で、Fig. 14 は片側固定片側ピン支持と仮定した場合である。このとき座屈発生の基準として、

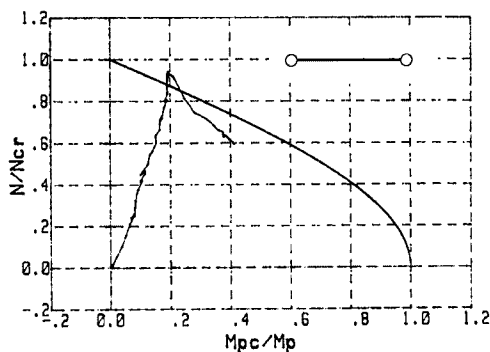


Fig. 13. M-N Interaction

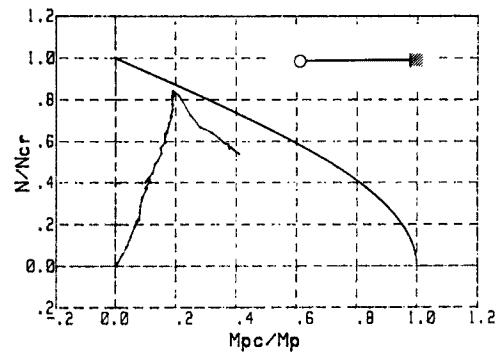


Fig. 14. M-N Interaction

式(4)で表される曲線を用いている。

$$\frac{M_{pc}}{M_p} = \cos \frac{\pi N}{2N_{cr}} \dots\dots\dots (4)$$

また、Fig. 15 は座屈した部材の両端支持が、仮定した2つの支持条件の間にあることを座屈荷重と支持条件から決まる細長比とを座屈曲線にプロットすることによって示したものである。

4.3 座屈長さ係数

前項で求めた実験結果による座屈発生時の曲げ応力を用いて次式により(2)式の値が1に等しくなるような座屈応力度 σ^{exp} を求める。

$$\sigma^{\text{exp}} = \frac{\sigma_c}{(2/\pi)\cos^{-1}(\sigma_b/\sigma_y)} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式による値が座屈応力度になる細長比 λ^{exp} を(6)式により求め、この値を各部材の断面2次半径で除して有効座屈長さを得る。そして、一般的にトラス架構設計時に用いられる、部材材軸交点間距離を座屈区間長にとり、この長さに対する座屈長さ係数を計算した結果を Table 5 に示す。但し、前節(2)式の値が比較的1に近い部材についてのみ示した。

$$\lambda^{\text{exp}} = \lambda_1 \sqrt{\frac{1}{0.4} \left(1 - \frac{\sigma^{\text{exp}}}{\sigma_y}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

Table 5. Buckling Length Coefficients

Member	Specimen	Buckling Length (cm)	Buckling Length Coefficient
Chord	BBM	123.0	0.866
	BBC	123.0	0.929
	BBC	123.0	0.856
	CBM	123.0	0.741
	CBC	123.0	0.312
	CBC	123.0	0.867

試験体によってばらつきはあるものの0.8~0.9程度のものが多く、主柱材は両端ピン支持の状態に近いものと考えられる。

5. ま と め

鋼管部材で構成される塔状立体トラス構造物が対角方向水平力を受けたときの塔体部の力学的挙動を明らかにするための基礎的研究として、塔体部2パネルを取り出した形の模型実験を行い、その特徴について調べた。その結果、

(1) 上下パネル間の水平材の有無について比較すると、水平材を有する方が、応力を若干水平材が分担するため、最大耐力が1割程度高くなっている。

(2) 一本の主柱材で圧縮力を負担しているため座屈は主柱材が先行し、それに伴い斜材が強制的な曲げを

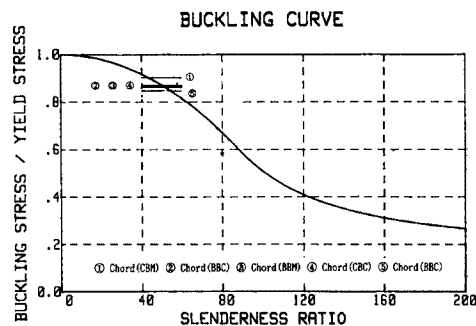


Fig. 15. Buckling curve

受ける。そのため、斜材は応力の低い段階で曲げ変形が進展する。

(3) 圧縮を受ける主柱材は完全な中心圧縮柱ではなく、若干の曲げを伴うため、座屈発生時の応力は中心圧縮柱として求まる座屈荷重よりも小さい。曲げによる座屈荷重の低下を考慮したうえで、主柱材の境界条件を検討すると、一般的に用いられる両端ピン支持よりも固定度が高い状態にあると考えられる。

更に、前方で報告した構面方向載荷実験の結果と比較すると、

(4) 構面方向載荷の場合は水平材が応力をほとんど分担せず、その効果がみられなかったが、対角方向載荷では(1)で述べたように水平材の効果がみられた。

(5) 部材座屈後の挙動を載荷方向の違いに関して比較すると、構面方向載荷では座屈後、耐力の低下が進展し、あまり大きなエネルギー消散能力は期待できないが、対角方向載荷では座屈後の耐力低下が構面方向載荷よりも小さく、比較的大きなエネルギー消散能力を有する。

と考えられる。今後更に、自重による鉛直方向力と水平力を同時に受ける場合の挙動などを明らかにする必要がある。

参 考 文 献

- 1) 金多潔・甲津功夫・吹田啓一郎・他：鋼管を用いた塔状立体トラス構造物の力学的挙動について，京都大学防災研究所年報第30号，1987年4月
- 2) 金多潔・甲津功夫・吹田啓一郎・他：塔状構造物の耐震性評価に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），1986年8月，pp. 779～780.
- 3) 鈴木敏郎・小河利行・他：形鋼トラス鉄塔架構の繰返し加力実験（その1，2），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），1982年10月，pp. 2035～2038.
- 4) 五十嵐定義・脇山広三・井上一郎・他：鋼管トラス鉄塔の座屈耐力並びに座屈後挙動に関する実験的研究（その1～3），日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），1983年9月，pp. 1323～1328.
- 5) 日本建築学会：鋼構造塑性設計指針

付 録

記号

σ_c	平均圧縮応力度
${}_c\sigma_b$	平均曲げ応力度
σ_{cr}	座屈応力度
σ_y	降伏応力度
N_{cr}	中心圧縮柱の座屈軸力
M_{pc}	軸力の影響により低減された全塑性モーメント
M_p	全塑性モーメント（曲げのみ）
λ	細長比
Λ	限界細長比