

タイで結合した曲がり部材の座屈特性について

熊本大学工学部 正員○山尾 敏孝 熊本大学工学部 石原完・蜂屋博之
熊本大学工学部 正員 平井 一男 熊本大学工学部 正員 崎元 達郎

1. まえがき 図1(c)に示すような2本の曲がり部材を数本のタイで結合した構造が圧縮を受ける場合、図1(b)のような真直ぐな部材を単に2本組み合わせた場合に比べて、曲がり材の方がアーチによる変形効果とタイの引張り力により、座屈強度も大きくなることがわかった。そこで、本研究では曲がり部材をタイで結合した新構造形式が圧縮を受ける場合、その最大強度とタイの本数及び曲がり形状の大きさ等の関係を明らかにするため、初期たわみを有するタイで結合した2本柱及び2本の曲がり部材の座屈挙動並びに座屈荷重を解析及び実験を行って求め、比較検討を行った。

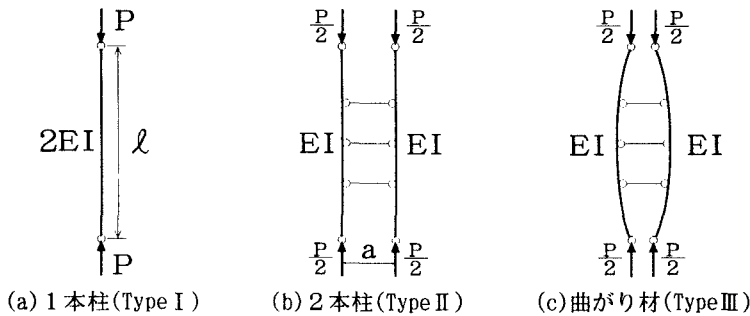


図1 解析モデル

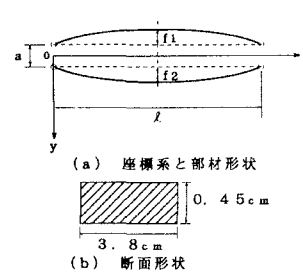


図2 部材の座標系と断面形状

2. 解析モデルと解析結果 使用した解析モデルは図1に示すが、各モデルをType I～Type IIIとよぶことにする。Type Iは従来のいわゆる両端ヒンジの1本柱であり、Type II、IIIはタイで結合した柱及び曲がり部材で、モデルの両端部はすべてヒンジである。また、柱と曲がり材の曲げ剛性は1本柱の剛性 $2EI$ (E :ヤング係数、 I :断面二次モーメント)の半分の EI とした。また、タイの両端部はすべてピン結合としている。

解析での座標系、2本部材の1本の断面形状(断面積 1.71cm^2)を図2に示す。2本部材の部材間距離 $a=10\text{cm}$ 、曲がり材の形状はすべて放物線とし、部材長は l 、 f_1 と f_2 はアーチライズを表す。初期たわみ形状として、図3に示すような半波形状及び一波Aの2種類の形状の与えて検討した。 v_0 は柱の最大初期たわみ量で、通常の解析に用いられてる $l/1000$ とした。 v_{01} 、 v_{02} は2本の柱や曲がり部材の最大初期たわみ量を表し、2本柱では解析上両部材に差を付け、 $v_{01}=l/1000$ 、 $v_{02}=l/2000$ とした。解析で設定した解析パラメータを表1に示す。材料はすべて弾性部材とし、タイ本数を3～11と変化させて調べ、11本では両者の一体化が十分であると考えた。 f_1 と f_2 は $f_1 > f_2$ とし、 f_1/l を通常のアーチ構造で用いられているような0.02、0.05、0.10の3種類とした。また、 f_2 は両部材のアーチライズ差 $\Delta f = (f_1 - f_2)$ が小さい $l/480$ とした。計算は、幾何学的な非線形を考慮できる通常の弾性骨組解析プログラムを使用し、荷重制御または変位制御で行った。

Type Iの両端ヒンジ柱の座屈荷重は、オイラー座屈荷重 P_E とよばれ、 $P_E = n^2 \pi^2 E / (l/r)^2$ で、 $n=1$ が最小の座屈荷重となる。両

表1 解析パラメータ諸元

ヤング係数 E (KN/mm^2)	205
部材長 l (cm)	50.0
細長比 l/r	384.9
タイ (本)	3, 7, 11
f_1 (mm)	10, 25, 50
f_2 (mm)	9, 24, 49
タイの断面積 (cm^2)	0.196

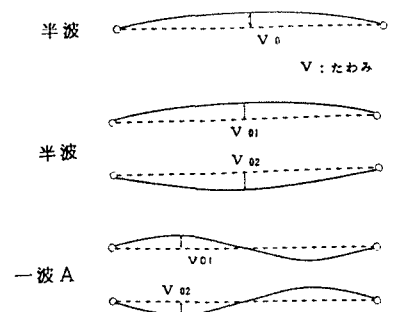


図3 部材の初期たわみ形状

端ヒンジ柱の解析結果は初期たわみ形状が半波及び一波でもほぼこの式の解と一致した。各解析モデルで得られた最大荷重 $P_{\max}$ は座屈荷重 P_E を用いて無次元化して示した。表2は、Type II、Type IIIの最大荷重で、初期たわみは曲がり部材では一波 A を柱では半波の形状とし、曲がり材のアーチライズ f_1/ℓ を0.02～0.1、タイの本数を3～11と変化させた結果である。図4は、荷重(P/P_E)と $\ell/4$ 点の変位の関係を示したものである。表、図からわかるようにType IIIのタイの本数が7本以上程度あれば、ほぼ両端ヒンジ柱の座屈荷重の4倍近くに達することがわかる。これはオイラーの座屈式の $n=2$ の強度に対応しており、このときの座屈モードは二次の逆対称モードになる。また、図からわかるように曲がり部材で生じている変位量が非常に小さくなっており、タイで結合したこの構造はほとんど軸力が支配的な構造であると思われる。

表2 最大荷重 ($P_{\max}/P_E$)

	Type II	Type III		
f_1/ℓ	--	0.02	0.05	0.10
$\frac{\Delta f}{\ell}$	--	$\frac{1}{480}$	$\frac{1}{480}$	$\frac{1}{480}$
タイ 3本	1.0	3.4	3.4	3.3
7本	1.0	4.0	3.7	3.6
11本	1.0	3.9	4.0	3.8

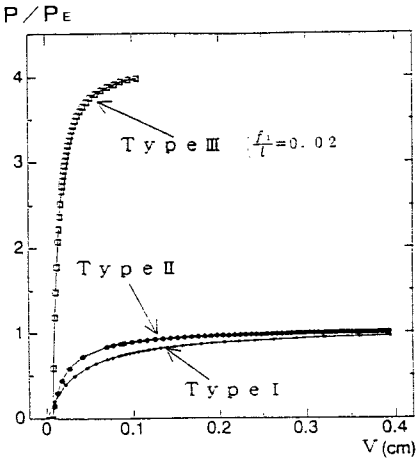


図4 荷重－ $\ell/4$ 点の変位曲線 (タイ7本)

3.実験結果と考察

実験は図1に示すモデルのうちType IIとType III A ($f_1=f_2=10\text{mm}$)、Type III B ($f_1=f_2=20\text{mm}$) 3形式で、タイ本数を1、3、7と変化させた計9体について行った。なお、実験モデルの両端部は先端部を尖らせてヒンジとした。部材の形状断面、部材長及びタイの断面積等は解析モデルと同じものを使用した。表3は実験で得られた最大荷重を示す。また、図5は実験で得られたタイ本数7本のモデルの荷重 (P/P_E) と $\ell/4$ 点の変位の関係を示したものである。実験で得られた変位曲線には初期勾配に多少の乱れが見られる。これらの結果からわかるように、Type IIIのモデルの最大荷重が、ほぼ両端ヒンジ柱の座屈荷重の4倍近くに達していることがわかる。また、座屈モードも解析の結果と同様に、タイが1本の場合を除いて、すべて二次の逆対称モードが観察された。以上の解析及び実験結果からわかるように、曲がり材2本をタイで簡単に結合したこの構造形式の最大荷重は、曲がり材のアーチライズに関係なく、ある程度のタイの本数があれば効果があることがわかる。詳細については講演当日発表の予定である。

表3 最大荷重 (実験値)

	タイの本数	最大荷重 $P_{\max}(\text{kg})$	$P_{\max}/P_E$
Type II	1	655	1.37
	3	620	1.29
	7	698	1.46
Type III A ($f_1/\ell=0.02$)	1	1603	3.35
	3	1767	3.70
	7	1710	3.58
Type III B ($f_1/\ell=0.04$)	1	1370	2.87
	3	1785	3.73
	7	1820	3.81

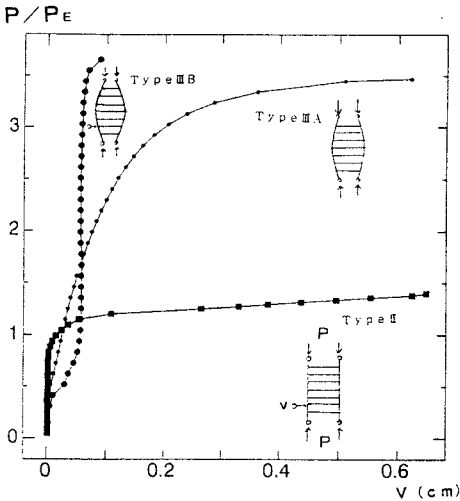


図5 荷重－ $\ell/4$ 点の変位曲線 (タイ7本)