

## ブレース付フレームの座屈変形履歴特性に関する研究

佐賀大学 学生会員 ○ 藤原稔史 藤川 祥  
正会員 井嶋克志 正会員 帯屋洋之 正会員 川崎徳明

## 1. まえがき

ブレース付フレームは土木構造物では補剛トラス桁などにおいて、建築構造物では耐震補強を目的として一般的に見受けられる。特に建築分野では主に実験解析により研究されるとともに、ブレースは座屈する前提のもとに座屈拘束ブレースの多くの開発が行われている。しかし、ブレースそのものの座屈に関する検討並びに変形履歴性状についての研究は少ないようである。本研究は複合非線形解析によるパラメトリックな対傾構フレームの座屈変形履歴性状を求めて検討を行い、対傾構の剛性が主構のそれに近づくほど対傾構の座屈荷重はオイラー座屈荷重より大きく低下し、対傾構の座屈後に主構の座屈が発生することを示している。

## 2. 解析手法の概要

2次元複合非線形骨組解析を行い、主構部材あるいは対傾構部材の面外座屈は考慮していない。これは水平荷重によるフレームに発生する曲げモーメントは面内であり、対傾構部材の面外曲げ剛性を適切に取れば面外座屈の発生を抑えることができるためである。また、対傾構フレームでは座屈発生前では曲げよりも軸力が支配的であるため局部座屈を考慮していない。座屈発生後においても局部座屈が対傾構材の軸方向圧縮強度低下へ与える影響は非常に小さく、変形履歴曲線を変動させるに至ることはないと考えられる。また、部材接合については変形履歴中剛接が保たれるものとする。

以上の仮定のもとに、非弾性骨組要素として図-1に示す4点バネ剛棒要素モデルを用いた。この要素の特徴は、弾性時における要素端モーメントと端たわみ角間の剛性特性がオイラー梁と等価であり、曲げ降伏後もその非弾性性状は良い精度を維持する点である。非弾性に加えて幾何学的非線形を考慮した対傾構ブレースの解析を行うものの、それ程の大変形を扱うわけではないから、この要素を用いれば一部材を2要素程度の分割で十分な精度の解析を行うことができる。

## 3. 解析モデル

図-1の要素を各格点間2要素として全16要素により対傾構フレームを構成し、フレーム頂部に交播強制変位を与えることにより解析を行った。

対傾構フレームは一辺2mの正方形に組まれた主構に対傾構が入り、対傾構の交点は結合されている。使用断面は一辺5cmの正方形充実断面であり現実的ではないが、主構と対傾構の曲げ剛性の比が変形履歴性状を変化させ、局部座屈の影響は小さい観点からは解析にそれ程問題無いと考えられる。対傾構断面も正方形断面として辺長1cmから5cmまで種々異なる断面について計算を行った。解析では断面を20分割しファイバーコンセプトのもとに分布バネに置換し、図-1のバネを構成している。なお、講演時には実用断面を用いた計算結果を示す。

使用部材は鋼としてその応力-ひずみ曲線は図-3に示す通りであり、初期ヤング率は $200\text{kN/mm}^2$ 、降伏後のヤン

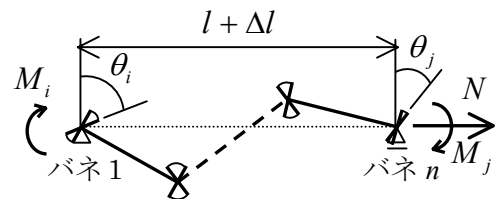


図-1 4点バネ剛棒要素

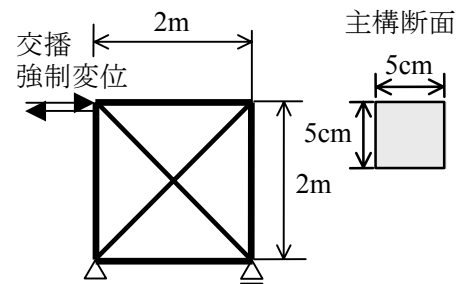


図-2 対傾構フレームと主構断面

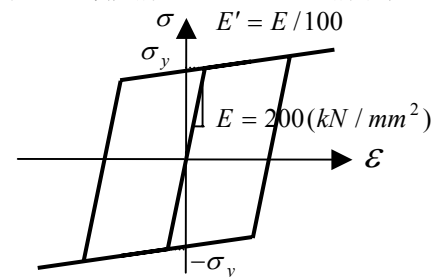


図-3 部材の応力-ひずみ曲線

グ率は  $2\text{kN/mm}^2$ 、降伏応力は  $235\text{N/mm}^2$  とした移動硬化則を用いている。

#### 4. 計算結果とその考察

図-4~6 に主構断面の辺長を  $5\text{cm}$  に固定し、対傾構断面の辺長を  $1\text{cm}$ ,  $3\text{cm}$  および  $5\text{cm}$  それぞれのケースにおけるフレーム頂部の水平力と水平変位の履歴関係を示している。図中の A, B, C はそれぞれ対傾構初座屈点、対傾構初引張力降伏点、主構初座屈点を表している。

図-4 の主構断面と対傾構断面の辺長比が  $5:1$  の場合には、先ず対傾構の座屈（点 A）が生じ、僅かにフレームの剛性は低下するものの傾きは大きくは変わらず引張対傾構材の軸力降伏（点 B）に至る。以後水平変位はフレームのみの場合における剛性と同じ勾配で増大する。変形履歴曲線の形状は総じて 8 の字型と言える。断面辺長比が  $5:2$  の場合には、引張対傾構の軸力降伏点における水平力は大きくなるものの履歴形状は 8 の字型である。

図-5 の断面辺長比が  $5:3$  の場合には対傾構が座屈することなく引張対傾構材の軸力降伏（点 B）が生じ、変形履歴曲線は平行四辺形型であり、図-4 に比べれば耐震性の観点から理想的な履歴曲線である。対傾構に初期不整を与えても座屈は発生せず、本当に対傾構引張降伏が座屈より優先するか否かは、さらに座屈固有値解析を行うことにより詳細に検討する予定である。

断面辺長比が  $5:5$  の場合、図-6 に示すように先ず対傾構が座屈（点 A）し、直後の点 C において主構の座屈が起こり、引張軸力により対傾構が降伏（点 B）する。辺長比が  $5:5$  の場合には主構の座屈前に対傾構が引張軸力により降伏する。何にしろ主構に座屈が生じれば、フレームの水平抵抗は極端に低下し、履歴曲線は剛性低下型となる。図-6 の履歴型は、建築分野で行われた K 型ブレース骨組の実験と同様な結果を示している。建築物では主構に座屈が生じることは非常に危険であり、主構の座屈は対傾構の座屈によって発生するため、対傾構に座屈拘束ブレースを取り付けるようになっている。

以上のように、主構と対傾構の剛比によってフレームの変形履歴曲線は大きく変化することになる。この変化の一因は、対傾構の剛性が増加しても主構の剛性に近づくことにより座屈荷重がそれ程増えないためである。図-7 は横軸に対傾構断面の辺長を取り、縦軸には対傾構に発生した座屈荷重  $P_{k1}$  に対する両端固定条件のオイラー座屈荷重  $P_{k2}$  の比を取ったものであり、対傾構断面の増加とともに比の値は小さくなる。なお、対傾構の座屈が生じなかった区間は点線で表している。

これらの計算は正方形フレームを用い、主構の縦材と横材の剛性を同じに取った限定したものである。これらの点についても対傾構の座屈発生の有無について検討することとしている。

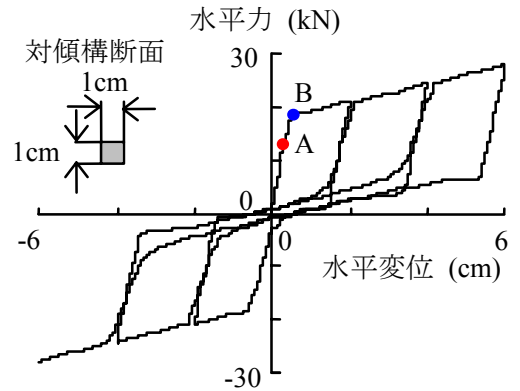


図-4 辺長比 5:1 の変形履歴曲線

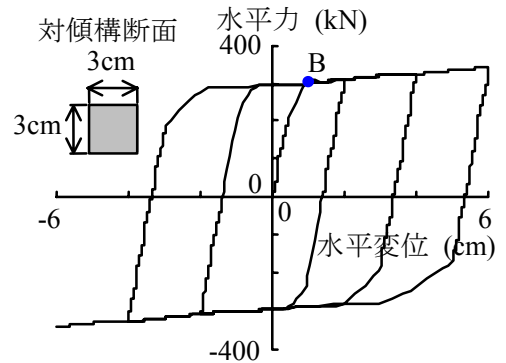


図-5 辺長比 5:3 の変形履歴曲線

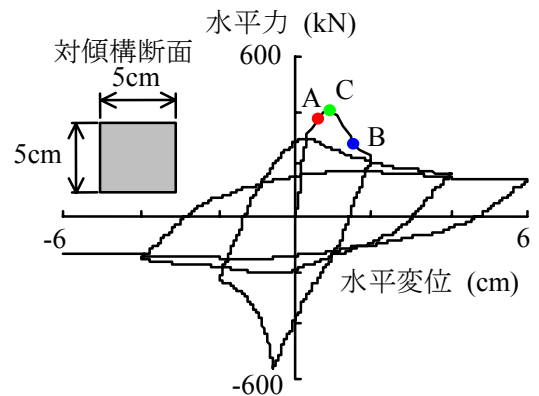


図-6 辺長比 5:5 の変形履歴曲線

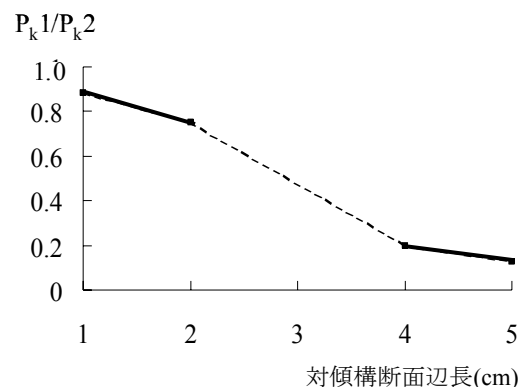


図-7 対傾構座屈荷重の低減