

ブレース材で補剛された骨組構造の解析モデル化

○名城大学大学院 学生会員 齊藤 直也 (株)耐震解析研究所 正会員 馬越 一也
名城大学 フェロー 宇佐美 勉 (株)耐震解析研究所 正会員 野中 哲也

1. 緒言

複弦アーチ橋のような横構，対傾構で補剛された構造においては，ブレース材の部材座屈が生ずるようにモデル化することが必須である．例えば，ブレース材を両端ピンの初期不整のない部材としてモデル化すると，分岐座屈解析を実施しない限り部材座屈現象は考慮出来ず，トラス要素と同じ挙動を示すこととなる．すなわち，当初真っ直ぐであったブレース材は構造物全体の变形が進展しても真っ直ぐの状態にとどまることになる．部材座屈による部材の曲げ変形等を表現する為には，ブレース材に適切な量の幾何学的な初期不整を与える必要があり，例えば初期たわみ，あるいは初期横荷重等の導入が考えられる．一方，ブレース材と主構造の結合を剛結とし梁要素を用いて解析すれば，端部の 2 次応力を発生させる曲げモーメントの影響で初期不整を与えたと同じ効果が得られ，一般に初期不整を考える必要がないと考えられる^{1),2),3),4)}．本研究は複合非線形静的におけるブレース材のモデル化に関する研究の基礎として，最も単純なブレース材付き 1 層および 3 層門型ラーメン (図-1) の繰返し弾塑性有限変位解析を実施し，ブレース材端部のモデル化，初期不整の与え方および大きさが解析結果に及ぼす影響について考察を行い，最も適切なモデル化を提案する．本研究では，ラーメン構造の面内挙動のみを対象とし，ブレース材と主構造の結合は偏心がないものとする．また，ガセットの影響は考えないものとする．

2. 解析モデル

解析対象構造は，図-1 に示す 1 層および 3 層の正方形箱形断面門型ラーメンで，鋼種，断面寸法は，SM490， $B=500\text{mm}$ ， $t=20\text{mm}$ (梁，柱)，SM490， $B=300\text{mm}$ ， $t=10\text{mm}$ (ブレース材)，である．ブレースは細長比 $L_b/r_b=49$ (L_b =ブレース材長， r_b =ブレース材の断面 2 次半径) である．

この構造に対するブレース材の解析モデルとして，図-2 に示す端部条件および初期不整の与え方を変えた 6 種類を考える．すなわち，ピン—初期不整なし(P)，剛結—初期不整なし(R)，ピン—初期たわみあり(P-ID)，剛結—初期たわみあり(R-ID)，ピン—初期横荷重あり(P-IL)，剛結—初期横荷重(R-IL)である．ここで，初期横荷重は載荷履歴の間一定としている．以降，解析モデルはかっこ内の略号で示す．初期たわみは，最大値が $L_b/1000$ の半波の正弦曲線，初期横荷重はブレース材軸に直角に作用する等分布荷重とし，その大きさはブレース材を単純はりとした時の中央のたわみが $L_b/1000$ に等しくなるように定めた．

構成則はバイリニア型の移動硬化則^{2),3)}を用い，2 次勾配は $E/100$ (E =弾性係数)とした．解析ソフトは，Abaqus (ver. 6.7)および SeanFEM(ver. 1.22)の 2 種類を用いた．梁，柱，ブレース材は共に 10 分割し，せん断変形を考慮した Timoshenko 梁要素を用い，変位増分法による複合非線形解析を実施した．

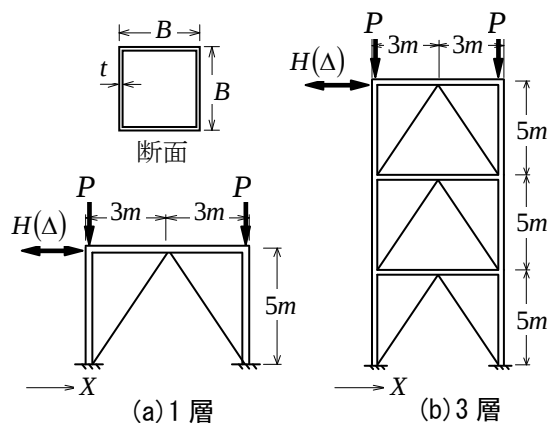


図-1 ブレース材付き門型ラーメン

		端 部 の 結 合 条 件	
		ピ ン	剛 結
初 期 不 整 の 与 え 方	な し		
	初 期 た わ み		
	初 期 横 荷 重		

図-2 解析モデル (1 層ラーメン)

3. 解析結果

図-3 に、1 層ラーメンでの初期不整の与え方の違いによる結果比較の履歴曲線を示す。それぞれの図では、初期不整なし(P, R), 初期たわみあり(P-ID, R-ID), 初期横荷重あり(P-IL, R-IL)の結果が示されている。ブレース材端部の結合条件がピンの場合 (図-3(a)), (P)はブレース材の座屈を考慮出来ない為荷重が一番高いが, (P-ID), (P-IL)はほぼ同じ履歴を描いていることがわかる。一方, ブレース材端部の結合条件が剛結の場合 (図-3(b)), 初期不整の有無で変化はなく, 履歴曲線はほぼ同じである。すなわち, ブレース材端部を剛結とすれば, 2 次モーメントの影響で初期不整を与えたことと同様の効果が得られることが実証出来た。まとめると, 耐荷力に関しては, (P)が一番大きく, $(P-ID) \div (P-IL)$, $(R) \div (R-ID) \div (R-IL)$ といった傾向が見られる。

複弦アーチ橋のような横構, 対傾構を対象としている為, 1 層ラーメンよりも更に近い構造である 3 層ラーメンについて検討を行った。図-4 に 3 層ラーメンの H- Δ 曲線を示す。1 層ラーメンの結果と比較すると, 耐荷力の差はあるものの, 相対的な大小関係($R \div R-IL > P-IL$)は同じであることがわかる。また, 収束性では 1 層ラーメンと比較して, 3 層ラーメンではブレース材が増える為, 部材座屈箇所が増加し, 試行錯誤的に決めていた刻み幅の予測が非常に困難となる場合がある。

4. 結論

鋼橋の耐震解析を実施する場合に重要となる対傾構, 横構などのブレース材の適切な解析モデルを求める為に, 繰り返し弾塑性有限変位解析を 2 つの商用ソフト Abaqus および SeanFEM を用いて実施し, ブレース材と主構造の結合条件, 初期不整の与え方の違いによる構造物の挙動の相違を検討した。対象構造物は, 1 層および 3 層のブレース材付きラーメン構造 (図-1) であり, 解析モデルは図-2 に示す 6 種類を考えた。研究により得られた結論を列挙する。

- 1) 2 つの解析ソフトは, ほぼ同じような結果を与えた。
- 2) ブレース材を両端ピンとして初期不整を考えないモデル(P)は部材座屈を考慮出来ない為使うべきでない。
- 3) 3 層ラーメンでも 1 層ラーメンと同様な傾向を示した。但し, ブレース材が塑性化する順序, 部材座屈に至る経緯が 1 層ラーメンと比べて複雑となり, 収束が困難となる場合がある。

本研究は, 名城大学「高度制震実験・解析研究センター」の研究課題「高機能制震ダンパーの開発と鋼橋の耐震補強への適用」の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 宇佐美勉編著(2006): 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 日本鋼構造協会, 技報堂出版, 2) 土木学会(2008): 鋼・合成構造標準設計方書一耐震設計編, 丸善, 3) 土木学会(2005): 座屈設計ガイドライン, 改訂第 2 版, 丸善, 4) 宇佐美勉, 馬越一也, 吉野廣一, 野中哲也(2008.9): 複合非線形動的解析におけるブレース材のモデル化について, 土木学会第 63 回 (平成 20 年度) 年次学術講演会講演概要集,

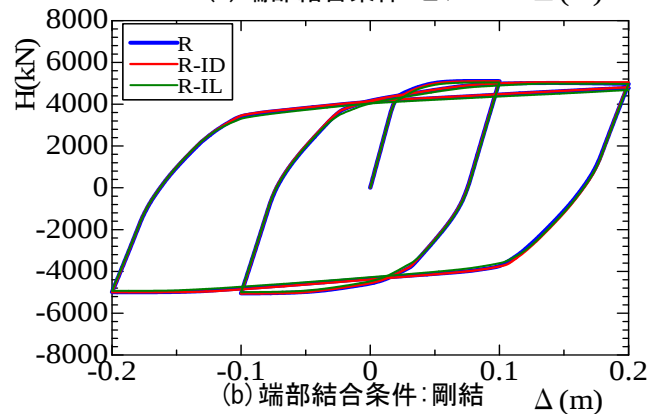
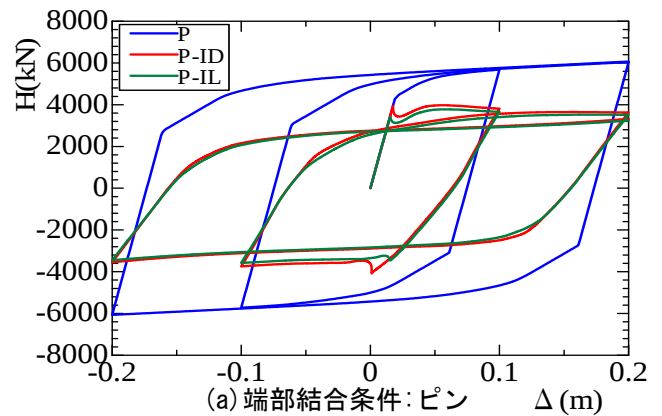


図-3 H- Δ 曲線 (1 層フレーム)

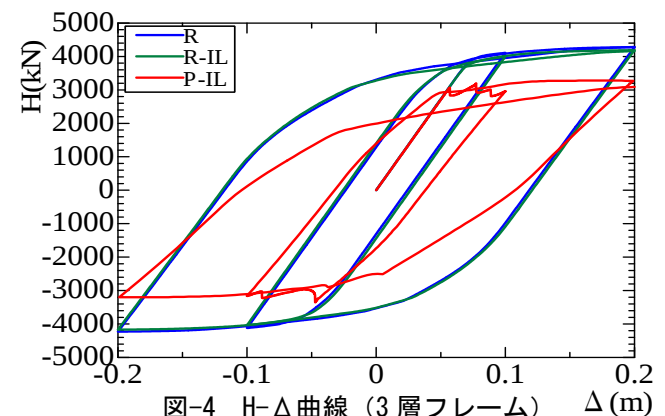


図-4 H- Δ 曲線 (3 層フレーム)