

座屈拘束ブレースの補剛性能に関する解析的研究

トピー工業(株) 正会員 ○渡辺 直起
 名古屋大学 フェロー 宇佐美 勉
 名古屋大学 正会員 葛西 昭
 西日本旅客鉄道(株) 正会員 河村 洋行

1. 緒言

近年、土木鋼構造物の耐震性向上策として、地震時に大きな損傷を起こさせる部材を、地震後に取替えまたは補修が容易にできる2次部材（エネルギー吸収部材）として設けることによって主構造の損傷を軽減させる、制震構造が注目されている。本研究では、エネルギー吸収部材の一つである座屈拘束ブレースに用いられる拘束材の補剛特性を解明するために、ブレース材と拘束材を一体として変形挙動を模擬できる数値解析モデルを構築し、実験結果との比較を通じて解析モデルの妥当性を論じ、拘束材の補剛性能に対する種々の検討を行う。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

本解析では、ブレース材の挙動をブレース材-拘束材間の接触問題ととらえ、ブレース材および拘束材を2次元の両端単純支持ばりでモデル化し、軸方向の対称性からその1/2モデルとした。文献1)では拘束材に変形の生じない剛な平壁面を仮定したが、本解析モデルは図-1に示すように、ブレース材および拘束材に横せん断変形を考慮し

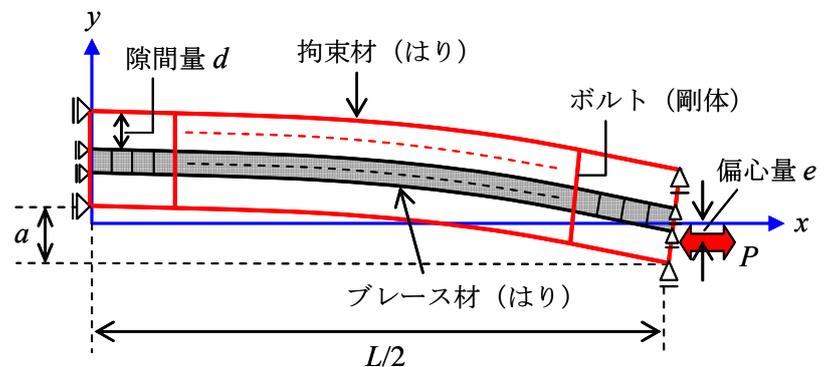


図-1 解析モデルの概要

た平面はり要素 B21（長方形断面）を用いている。また名古屋大学で行われた BRB の実験供試体のボルト接合箇所に対応する節点および端部を、剛体はり要素 RB2D2 で結合させた。なおブレース材は、拘束材との隙間量を忠実に模擬するため2本のはり要素を用いており、部材の平面保持を保つため、向かい合う節点を剛なはりで結合することでモデル化させた。

ブレース材のはり等は等間隔に54要素に、拘束材は108要素に分割した。境界条件に関しては、端部の節点はy軸方向の変位のみを拘束し、中央部の節点ではモデルの対称条件から、x軸方向の変位、及びz軸周りの回転をそれぞれ拘束した。ただし、z軸方向は紙面に垂直な方向である。また、初期状態においてブレース材と拘束材の間の隙間量が一定となるよう、ブレース材および拘束材に同様の初期たわみを、最大値をaとする正弦波で与えた。

2.2 解析条件

解析モデルの諸元は、表-1に示す通りであり、拘束材の板厚 t^R のみ5~10mmまで1mmずつ変化させた。ここでL、b、tはそれぞれ部材長、板幅、板厚を意味し、表には隙間量d、最大初期たわみaも示す。載荷方法は、図-1の解析モデルにおける

表-1 解析モデルの諸元（単位：mm）

L	ブレース材		拘束材		d	a
	b	t	b^R	t^R		
1,360	100	10	200	5~10	1	1.36

右端点を載荷点とし、軸方向の変位制御による両振り繰り返し載荷であり、ブレース材の軸ひずみ3%に相当する変位まで載荷した。構成則には修正2曲面モデル、鋼材にはSS400を仮定した。

3. 解析結果および考察

3.1 荷重-変位関係

解析により得られた荷重-変位関係の例として、 $t^R = 8$ 、10mmの解析結果を図-2に示す。図では引張側を

キーワード：制震、座屈拘束ブレース、全体座屈補剛、安全係数

連絡先（名古屋市千種区不老町・電話 052-789-4617・FAX 052-789-5461）

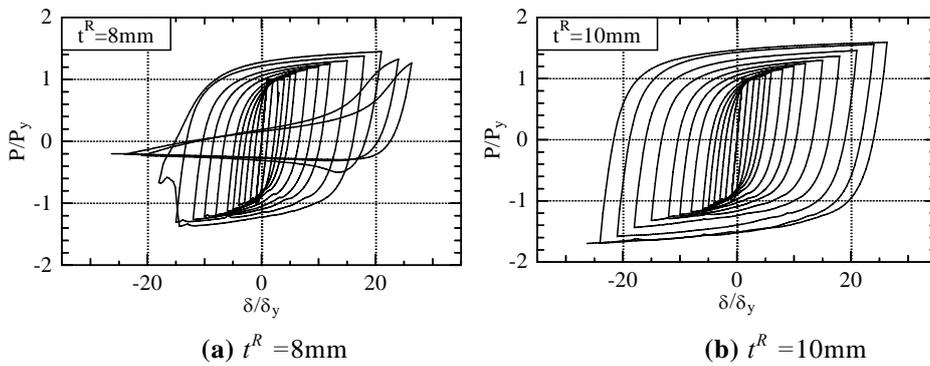


図-2 荷重－変位関係

表-2 安全係数と最大荷重

t^R [mm]	ν	P_{max}/P_y
5	0.62	0.65
6	0.84	0.84
7	1.09	1.09
8	1.37	1.37
9	1.70	1.57
10	2.07	> 1.70

正とし、縦軸、横軸はそれぞれ降伏荷重 P_y 、降伏時の軸方向変位 δ_y で除し無次元化している。図より、 $t^R = 8\text{mm}$ の場合、BRBの全体座屈による耐力低下が発生しており、その後はスリップ型の非常に不安定な履歴を示すことが分かる。ここで、 t^R を変化させた場合の、各モデルの安全係数 ν と、解析による3%相当変位までの圧縮側最大荷重 P_{max} を表-2に示す。ここで ν は、BRBの全体座屈補剛条件である次式²⁾において、 ν について解いた値である。

$$M_y^R \geq \frac{\nu P_y (a+d+e)}{1 - \frac{\nu P_y}{P_E^R}} \quad (1)$$

ただし、 M_y^R ：拘束材の降伏曲げモーメント、 P_E^R ：拘束材のオイラー座屈荷重、 P_y ：ブレース材の降伏荷重である。表-2より、耐力低下の発生した $t^R = 5 \sim 9\text{mm}$ のモデルについては、 ν と P_{max} がほぼ一致しており、本解析モデルが式(1)を精度良く再現することが確認できる。

3.2 実験結果との比較

名古屋大学で実施されたBRBの繰り返し載荷実験結果と、本解析モデルを用いた解析結果との比較を行うため、実験と同様な諸元および材料定数の解析モデルを用いた解析を行った。諸元については、 $t^R = 12\text{mm}$ 、 $a = 4.07\text{mm}$ であり、その他については表-1と同様である。

実験および解析により得られた荷重－変位関係を図-3に示す。実験では全体座屈が発生したが、解析では耐力低下が見られなかった。そこで、接触時の摩擦や荷重の載荷位置の偏心といった、実験時に予想される不整を導入した解析結果を図-4に示す。ここでは、摩擦係数 $\mu = 0.1$ 、偏心量 $e = 3\text{mm}$ とした場合、実験結果とほぼ同様の付近で耐力低下が発生したが、このように本解析モデルに様々な不整要因を考慮することによって、実験結果を模擬できること、およびモデルの妥当性を検証した。

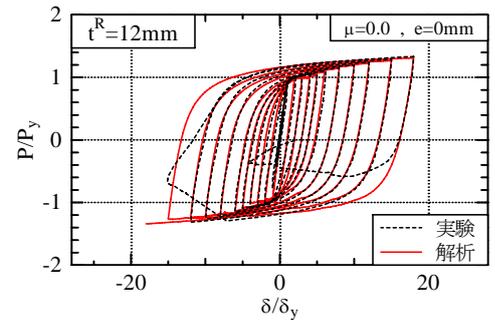


図-3 実験結果との比較

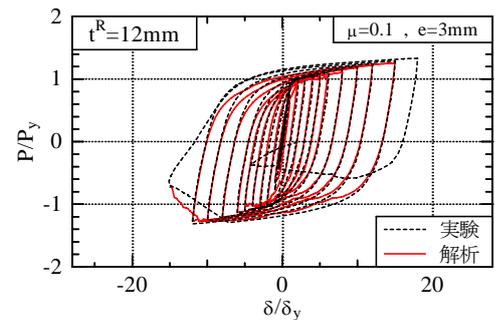


図-4 不整要因の考慮

4. 結言

本研究では、従来変形を考慮しなかった拘束材を弾塑性体と仮定したBRBの数値解析モデルを構築し、全体座屈補剛条件式の再現性を示すとともに、接触時の摩擦等を考慮することで実験結果とほぼ一致することを確認するに至った。今後の課題として、BRBを設置するはり一柱を含めた解析モデルを構築することで、実験結果をより忠実に再現することが可能となると考えられる。

参考文献

- 1) 加藤基規, 宇佐美勉, 葛西昭: 座屈拘束ブレースの繰り返し弾塑性挙動に関する数値解析的研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.48A, pp.641-648, 2002.
- 2) JSSC: 土木構造物の動的耐震性能照査法と耐震性向上策, 日本鋼構造協会, 鋼橋の性能照査型耐震設計法検討委員会 (委員長: 宇佐美勉), 2003.
- 3) JSSC・鋼材倶楽部: 履歴型ダンパー付骨組の地震応答性状と耐震設計法, 日本鋼構造協会, pp.66-81, 1998.