

鋼種の異なる座屈拘束ブレースの復元力特性

名古屋大学 学生会員 ○千田 耕大
トピー工業(株) 正会員 渡辺 直起
名古屋大学 学生会員 藤田 将之
名古屋大学 フェロー 宇佐美 勉
名古屋大学 正会員 葛西 昭

1. 緒言

座屈拘束ブレース (BRB) は主構造と並列的に設置することで、地震時にエネルギーを吸収し、主構造の損傷を軽減する制震部材で、優れた耐震性能を発揮するとともに、地震後の補修、交換が容易であるなど利点が多く、近年様々な研究が行われている^{1),2)}。このBRBはブレース材が降伏し、塑性変形することでエネルギー吸収を行うため、ブレース材に用いられる鋼材の材料の性質(例えば降伏点など)がBRBの変形能に多大な影響を与える。そこで本研究では、普通鋼(SS400)、低降伏点鋼(LY225)、極低降伏点鋼(LY100)を用いたBRBの性能実験を行い、それぞれの復元力特性を把握するとともに、それらを模擬できる簡易な解析モデルを構築する。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

本実験で用いたブレース材の全体図を図-1に、諸元を表-1に示す。ここで L :部材長、 b :断面幅、 t :断面厚、 A :断面積、 λ :細長比、 P_y :降伏荷重、 δ_y :降伏変位である。なお、供試体名には、鋼種をそのまま用いた。

ブレース材にはアンボンド処理を施し、フィラープレートとともに拘束材で両側から挟みこむように装着し、ボルトで接合した。供試体断面図を図-2に示す。拘束材

は、SS400、LY225 には(a)の鋼種 SS400 の T 型断面のもの、LY100 には(b)の鋼種 SS400 のハット型鋼管にモルタルを充填したものを使用している。いずれの拘束方法もブレースの座屈を十分に拘束することが確認されている。

2.2 実験装置および载荷パターン

実験装置の概略図は図-3に示すとおりである。実験供試体を台座とピン支持柱の間に45度の角度でボルト接合により剛結する。アクチュエーターから水平方向に载荷すると、ピン支持柱が回転し、供試体に軸方向の変位を与えることができる。载荷は供試体の軸方向変位 δ で制御し、引張圧縮交替の漸増繰り返しで行う。ブレースの要求性能は既往の研究を参考にブレースの軸ひずみ3[%]相当変位とし、これはSS400では約 $23\delta_y$ 、LY225では約 $25\delta_y$ 、LY100では約 $70\delta_y$ に相当する。本実験ではこの要求性能を目標にして载荷を行った。

3. 解析概要

実験から得られた復元力特性を簡易なモデルで模擬するため、ブレース材の変形部分を2節点トラス要素で表現することとした。構成則は2次勾配を $E/60$ (SS400, LY225)、 $E/40$ (LY100)としたバイリニア型移動硬化則と、弾性域の増加、硬化係数の低減による影響を考慮できる混合硬化則を用いた³⁾。混合硬化則に用いるパラメータは $\Delta\sigma_y^\infty$:弾性域の最大変化量、 b :塑性変形に伴う弾性域の大きさを定めるパラメータ、 E_0 :初期の移動硬化係数、 γ :塑性変形

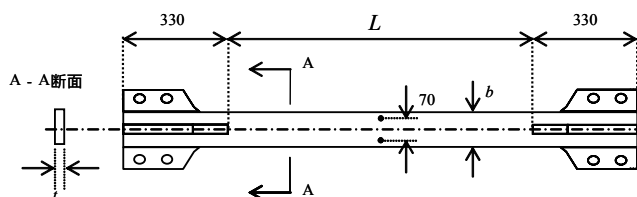


図-1 ブレース材全体図

表-1 ブレース材の諸元

供試体名	鋼種	L [mm]	b [mm]	t [mm]	A [mm ²]	λ	P_y [kN]	δ_y [mm]
SS400	SS400	1355	100	8.49	851	553	260	1.94
LY225	LY225	1355	99.8	10.2	1020	461	228	1.64
LY100	LY100	1355	100	10.0	1006	467	90.5	0.594

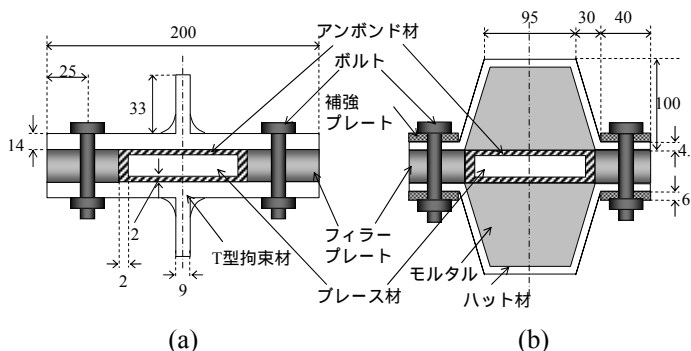


図-2 供試体断面図

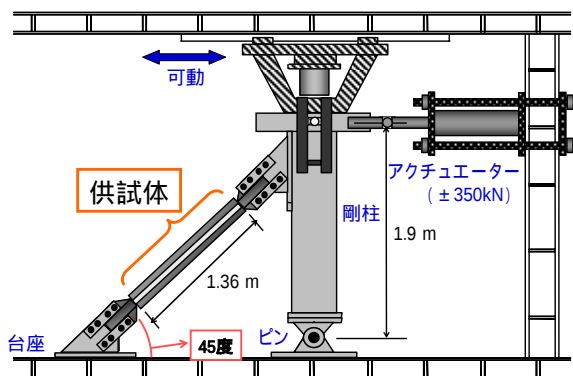


図-3 実験装置概要図

キーワード：制震、座屈拘束ブレース、繰り返し弾塑性挙動、復元力特性
連絡先（名古屋市千種区不老町・電話 052-789-4617・FAX 052-789-5461）

に伴って硬化係数を低減させるパラメータの4つである。本解析に用いたパラメータを表-2に示す。なお、解析モデルの諸元及び荷重パターンは実験供試体と同様にした。

4. 実験結果および考察

4.1 荷重 - 変位関係

実験、解析から得られた各供試体の荷重 - 変位関係を比較したものを図-4に示す。図-4において縦軸、横軸をそれぞれ降伏荷重 P_y 、軸方向降伏変形 δ_y で除して無次元化している。また、引張側を正、圧縮側を負としている。図-4で、実験結果を見るといずれの供試体もほぼ要求性能を満足するまで引張側、圧縮側で同様の履歴を描いており、安定した復元力特性が得られた。各供試体で折り返し点での荷重値を比較してみると、SS400、LY225では降伏時の約1.3倍に上昇していたのに対し、LY100ではひずみ硬化の影響で荷重値の上昇が著しく降伏時の2.62倍となった。解析結果と比較してみると、バイリニア型移動硬化則、混合硬化則のどちらを用いても、特に塑性域で差が見られ、トラス要素を用いたモデルでの履歴の詳細な模擬は困難であった。

4.2 エネルギー吸収量

実験終了時もしくは目標まで荷重した時点における実験と解析とのBRBのエネルギー吸収量を比較した結果を表-3に示す。表-3を見ると、SS400についてはバイリニア型移動硬化則、LY225、LY100については混合硬化則を構成則として使用した場合に、実験値に比較的近い結果が得られた。このように、エネルギー吸収量については、鋼種に応じた適切な構成則を使用することでBRBの応答を精度良く模擬することが可能であると考えられる。なお、LY225についてはバイリニア型移動硬化則を用いた場合も著しく精度を損なうことはなかったため、混合硬化則を用いるのが困難である場合にはバイリニア型移動硬化則による代用も可能であると考えられる。

5. 結言

本研究から、ブレース材にSS400、LY225、LY100を用いたBRBが安定した復元力特性、エネルギー吸収能を持つことを実験により確認した。また、簡易な復元力モデルを構築した。実験、解析より各鋼種のBRBの特徴を以下にまとめる。

SS400

BRBは要求性能を満足し復元力モデルも明快であるが降伏点にばらつきがあるため、前もって降伏点を把握する必要がある。

LY225

BRBは要求性能を満足している。また、降伏点の管理も厳しくされており、降伏後の挙動についても解析による予測が容易であった。

LY100

BRBは要求性能を満足し、降伏点の管理も厳しくされているが、降伏後のひずみ硬化の影響が大きく解析による降伏後の挙動の予測がやや難しい。

従って、設計の確実性などを考慮するとブレース材には低降伏点鋼(LY225)の使用が推奨される。

参考文献

- 1) 岩田衛, 村井正敏, 加藤貴志, 小林秀雄, 和田章: 座屈拘束されたブレースを用いた履歴型ダンパーの性能評価実験(その1: 実験計画), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C 構造, pp.921-922, 2000.
- 2) 渡辺直起, 宇佐美勉, 葛西昭, 藤田将之, 千田耕大: 鋼種の違いに着目した座屈拘束ブレースの繰返し弾塑性挙動, 第8回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.225-230, 2005.
- 3) Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc.: ABAQUS User's Manual, Version 6.4, Vol. ~, 2003.

表-2 混合硬化則に用いたパラメータ

鋼種	$\Delta\sigma_y/\sigma_y$	b	E/E ₀	γ
SS400	0.267	2.14	151.4	18.6
LY225	0.206	2.67	125.38	32.0
LY100	0.883	4.38	45.1	57.2

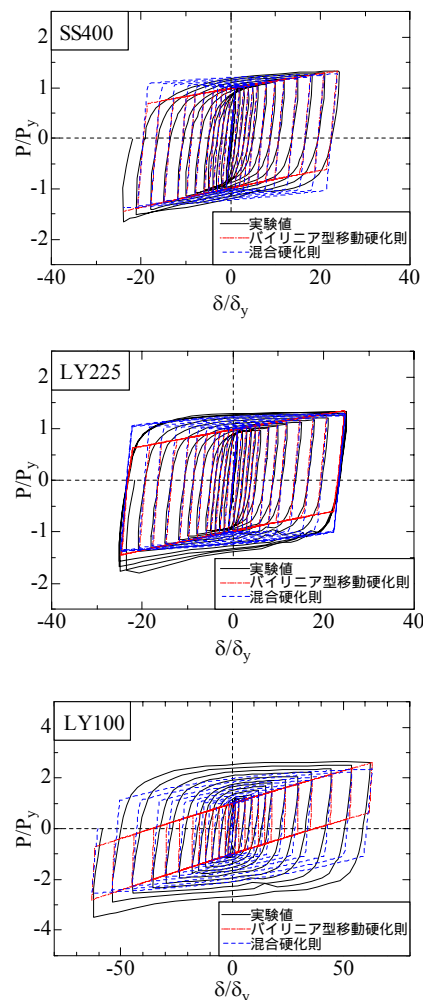


図-4 荷重 - 変位関係

表-3 エネルギー吸収量の最終値 (単位は kN・m)

	実験値	バイリニア型	混合硬化則
SS400	225	219	246
LY225	174	162	180
LY100	120	66	98.7