

座屈拘束ブレースの繰り返し弾塑性挙動に関する実験的および解析的研究

名古屋大学
名古屋大学 学生員

○千田耕大
渡辺直起

名古屋大学 フェロー
名古屋大学 正会員

宇佐美勉
葛西昭

1. 諸言

座屈拘束ブレースは地震のエネルギーを吸収し、主構造の変形を軽減する制震部材で、その性能に関する研究は現在盛んに行われている^{1)~3)}。座屈拘束ブレース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的性質(例えば降伏点など)が同ブレース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、低降伏点鋼、極低降伏点鋼を用いた座屈拘束ブレースの性能実験を行い、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。さらに、そのモデルを用いて、座屈拘束ブレースを設置した鋼製ラーメン橋脚の地震応答解析を行い、材料特性の違いや降伏点のばらつきが制震部材として発揮されるべき性能に及ぼす影響度を検証する。

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、供試体名は、SS が SS400 材, LY が LY225 材, ELY が LY100 材のことを表し、その後の連続した数字は、設計時の細長比の上 2 桁、幅厚比の上 2 桁を表したものである。また、その後の(A), (B)は 載荷パターンの違い(後述)を示している。

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。なお、拘束材の詳細は別途、報告する予定である。

2.2 実験方法及び載荷パターン

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載荷すると、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。載荷は供試体の軸方向変位 δ で制御し、引張圧縮交番の漸増繰り返しで行う。なお、LY47-10(B)については文献 4)の載荷プログラムを参考に、一定変位を数回繰り返すパターンを用いた。ブレースの要求性能は建築分野の指標を参考にブレースの軸ひずみ 3[%]とし、LY47-10 では約 $25\delta_y$, SS59-12 では約 $23\delta_y$, ELY47-10 では約 $70\delta_y$ に相当する。本実験はこの要求性能を目標にして載荷を行った。

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 $E/60$ (SS59-12, LY47-10), $E/40$ (ELY47-10)

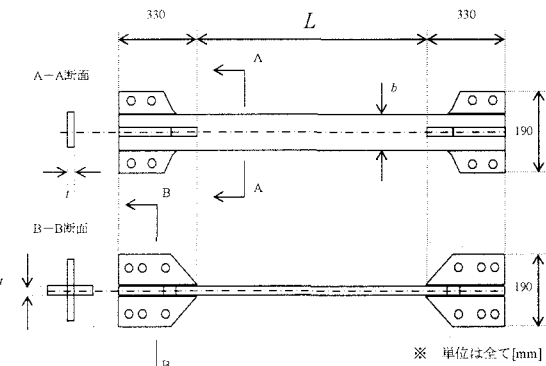


図 - 1 ブレース材全体図

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]
SS59-12	SS400	1355	100	8.49	851	553	260	1.94
LY47-10(A)	LY225	1355	99.8	10.2	1020	461	228	1.64
LY47-10(B)	LY225	1355	99.7	10.4	1032	454	230	1.64
ELY47-10	LY100	1355	100	10.0	1006	467	90.5	0.594

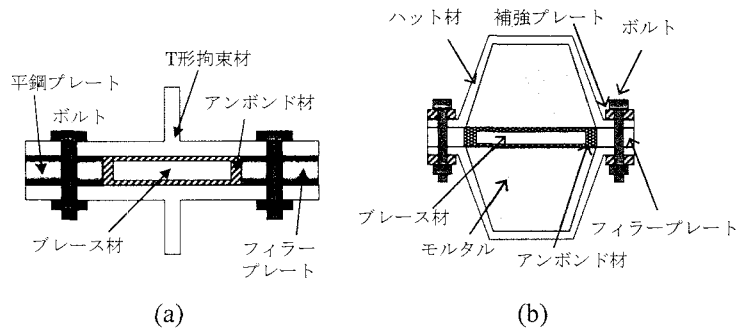


図 - 2 供試体断面図

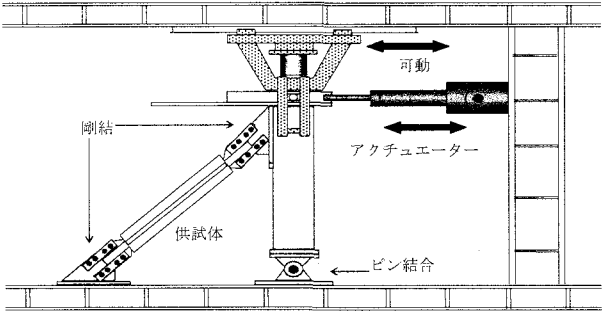


図 - 3 実験装置概要図

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。なお、解析モデルの諸元は実験供試体と同様にした。また、混合硬化則に用いる各パラメータは文献3)に記載のものをを用いた。

4. 結果と考察

4.1 荷重-変位関係

実験と解析から得られた荷重-変位関係を図-4に示す。図-4では縦軸、横軸をそれぞれ P/P_y 、 δ/δ_y で無次元化してある。いずれも要求性能を満たすところまで載荷することができ、安定した履歴曲線を得た。また、実験では圧縮側に比べ引張側の方が2次勾配が大きくなる傾向があるが、これは、圧縮時にブレースが拘束材に接触し、拘束材に軸力が伝達されたためである。バイリニア型では弾塑性域の挙動を直線で近似しているため履歴を精度良く模擬することが難しい。

4.2 エネルギー吸収量

実験と解析から得られた各供試体の累積エネルギー吸収量を表-2に示す。LY47-10では混合硬化則を用いた場合、実験結果とほぼ一致する値が得られた。また、バイリニア型を用いた場合についても、大きく精度を損なうことはなかった。SS59-12についてはバイリニア型では実験結果をよく模擬できているが、混合硬化則を用いるとエネルギー吸収量を過大に評価する。LY100については繰り返し載荷による弾性域の増加が大きく、移動硬化係数の低減も大きいため、バイリニア型移動硬化則では実験とは大きな差がでた。ただし、混合硬化則を用いた場合には精度の良い結果を得た。

これらをまとめると以下の通りである。SS400については、バイリニア型移動硬化則を用いると履歴の近似は難しいものの、エネルギー吸収量については精度良く表現することができた。混合硬化則を用いるとLY225、LY100ともに精度の良い結果が得られた。以上からブレースの簡易解析を行う場合、推奨される構成則はSS400についてはバイリニア型移動硬化則、LY225、LY100では混合硬化則である。しかしLY225についてはパラメータの算出が困難である場合などにはバイリニア型移動硬化則を用いて解析することも可能である。

これらのブレース材を主構造に設置した場合の地震応答解析では、鋼種の違い、降伏点のばらつきが応答に与える影響度の検証結果については当日発表するものとする。

5. まとめ

本実験の座屈拘束法により、SS400、LY225、LY100を用いた座屈拘束ブレースはいずれも要求性能を満たす安定した履歴性能を発揮した。また、この成果を精度良く模擬できる非常に簡易なモデルを考案した。座屈拘束ブレースを設置したラーメン橋脚などの解析を行う場合、これらのモデルを使用することができると考えられる。

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 II, pp.921-922, 2000.
2)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.
3)藤田将之, 河村洋行, 宇佐美勉, 葛西昭: 極低降伏点鋼を用いた座屈拘束ブレースの弾塑性挙動に関する研究, 第59回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.411-412, 2004
4)SEAOC/AISC: Recommended Buckling-Restrained Braced Frame Provisions, Structural Engineers Association of California/American Institute Steel Construction, 2001

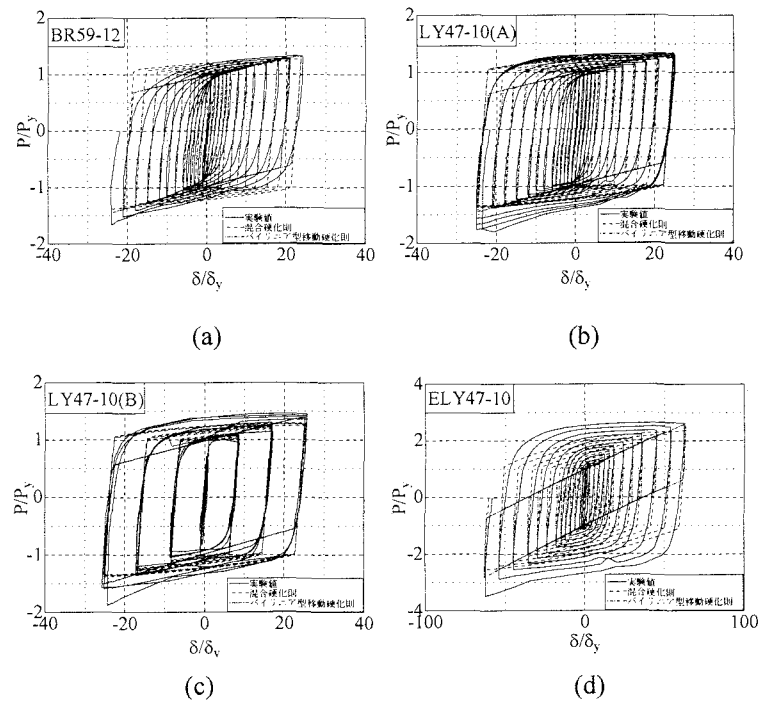


図-4 荷重 - 変位関係

表 - 2 累積エネルギー吸収量

	SS59-12 [kNm]	LY47-10(A) [kNm]	LY47-10(B) [kNm]	ELY47-10 [kNm]
実験値	225	310	302	120
混合硬化則	246	308	295	98.7
バイリニア型	219	265	255	65.7