

アルミニウム座屈拘束ブレースの開発

○(株)長大 正会員 佐藤 崇 名城大学 フェロー 宇佐美 勉
名城大学大学院 学生会員 倉田 正志

1. 緒言

土木構造物への制震対策を行う際には、座屈拘束ブレース (BRB) などの制震デバイスを設置して効果が得られると考えられる箇所を検討、および対象としている地震動や橋梁構造に適した制震デバイスの選定が必要である。そのためにも本研究で取り上げる **BRB** 単体の挙動・性能の検討が必要不可欠である。本研究では、橋梁のライフサイクルに渡って取り替えが不要な制震ダンパーを**高機能制震ダンパー**と称し、鋼材に比べ軽量で腐食に強いアルミニウム合金を **BRB** の材質として用い、**BRB** の性能実験を行った。高機能 **BRB** の要求性能を満たすための目標性能として、大地震 3 回程度の応答値の上限である次の限界値を設定した。

a) 限界軸ひずみ $\varepsilon_y=0.03$ b) 限界累積塑性ひずみ $CID)_{lim}=0.7$ (1)

本研究では次節の全体座屈防止条件式を満たす *BRB* が式 (1) の目標値を達成できることを実験的に検証し、*BRB* の高機能化に必要な条件に関する検討を行った。また解析的な面からも検証を行い、実験結果および解析結果を踏まえて種々の検討を行った。

2. BRB の全体座屈防止条件式

BRBは安全係数 ν_F が3.0以上であれば全体座屈は生じないとされている。ここで安全係数 ν_F は式(2)で表わされ、 P_{max} =ブレース材の最大軸圧縮力、 P_y =ブレース材の降伏軸力、 P_e^R =拘束材のオイラー座屈荷重、 M_y^R =拘束材の降伏モーメント、 L =ブレース材長、 a =BRBの最大初期たわみ、 d =ブレース材と拘束材間の面外隙間量（図-2でブレース材の上下面）、 e =ブレース材に作用する軸力の偏心量である。

$$\nu_F \geq 3.0$$

$$\nu_F = \frac{1}{\frac{P_y}{P_E^R} + \left(\frac{P_y L}{M_y^R} \right) \cdot \frac{a + d + e}{L}} \quad (2)$$

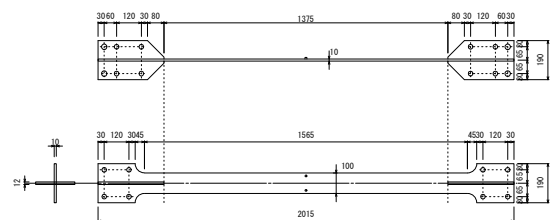


図-1 ブレース材全体図

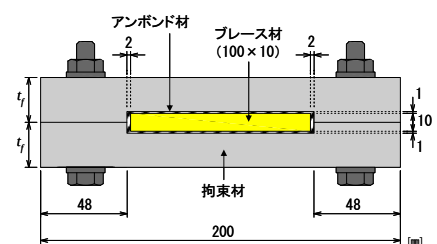


図-2 BRB の断面構成図

3. 性能実験概要

本性能実験で使用する供試体の材質は、ブレース材に溶接性が良く構造材に多く用いられているA5083P-O ($E=73.3\text{GPa}$, $\sigma_{0.2}=122\text{MPa}$), 拘束材に強度が高く、耐食性に優れているA6061S-T651

($E=71.5\text{GPa}$, $\sigma_{0.2}=283\text{MPa}$)を使用した。ブレース材は図-1に示す変形部の長さ1,375mmで幅100mm、厚さ10mmの平型材を、拘束材は幅200mmの平型材を面削した図-2に示す断面形状を採用し、式(2)の安全係数 v_F の値を変化させるため、板厚 t_f が異なる2種類の表-1に示す計5体の供試体を製作した。供試体A1,A2は全体座屈が生じる可能性のあるBRB、供試体A3~A5は全体座屈が生じないと考えられるBRBである。荷重装置には図-3に示す名城大学高度制震実験・解析研究センター(ARCSEC)の大型構造実験フレームを用い、両側繰返し変動ひずみ振幅の漸増荷重実験を行った。

4. 性能實驗結果

性能実験より得られた軸方向荷重 P —軸方向変位 δ 関係 (P_0 , $=A \cdot \sigma_{0.2} \times 0.8$, δ_0 で $L/E \cdot \sigma_{0.2} \times 0.8$ 無次元化) を図-4 に示す。図の A2 供試体は圧縮側で BRB が全体座屈を生じることによ

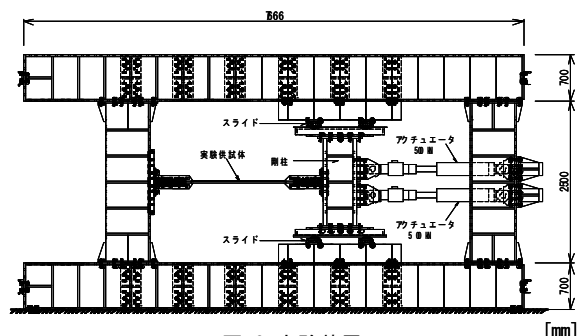


図-3 実験装置

キーワード：制震ダンパー、座屈拘束ブレース、アルミニウム合金、繰り返し弾塑性構成則

連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学研究科建設システム工学専攻 TEL:052-838-2363

り耐力が低下して実験を終了した。また A1 供試体も同様の結果が得られた。一方、A5 供試体は、引張側でブレース材端部のリブが溶接してある部分から破断し実験を終了した。アルミニウム合金はひずみ硬化の影響が顕著に現れ、引張強度 (300MPa) に達したため破断したと考えられる。また A3,A4 供試体も同様な結果が得られた。全ての供試体において破断、もしくは全体座屈に到るまでは安定した紡錘形の履歴曲線が得られている。表-1 は実験結果をまとめた表である。安全係数 ν_F が 3.0 以上である供試体 (表中の着色部) は全体座屈が発生せず、3.0 以下の供試体は全体座屈を生じたことが分かる。なお安全係数 ν_F は全て公称値を用いて計算し、 $a=L/1000$, $d=1\text{mm}$, $e=0.0$ を用いた。また上記で示した目標性能を全ての供試体において保有していないものの、破断した供試体は全て溶接部から破断していることから、全体座屈を生じなかった安全係数 $\nu_F > 3.0$ の BRB は、溶接部の応力集中の緩和、端部形状の変更などでこれらの値はより向上すると考えられる。

5. 解析的検討

図-5 に示す本解析モデルは、2次元の両端単純支持柱モデルであり、軸方向の対称性からその 1/2 モデルである。繰り返し構成則には新たに開発したアルミニウム合金用弾塑性構成則を使用した。解析手法は、はり要素 (Timoshenko はり) を用いた複合非線形繰り返し解析である。全体座屈を生じた供試体を対象とし、摩擦の影響と偏心载荷の影響について摩擦係数 μ 、偏心量 e を変化させパラメトリックに解析を行い実験結果と比較検討を行った。A2 の解析結果を図-6 に実験結果と併せて示す。摩擦係数 $\mu=0.05$ 、偏心量 $e=-1.8\text{mm}$ 初期たわみの方向と反対側に偏心させることにより実験結果と同様のループで全体座屈が発生した。これは避けられない偏心軸力が実験で作用していたと考えられる。

6. 結言

性能実験の結果、高機能制震ダンパーの目標性能を満たすことが出来なかったが、極端に大きなひずみの生じない箇所に設置すれば、レベル 2 地震一回程度であれば十分使用が可能である。またブレース材と拘束材との摩擦の影響、偏心载荷の影響を考慮することで、実験結果同様なブレース材の弾塑性挙動を数値解析で再現することが出来る事を確認した。

参考文献

- 1)宇佐美勉, 佐藤崇, 葛西昭: 高機能座屈拘束ブレースの研究開発, 土木学会構造工学論文集 Vol.55A に掲載予定, 2009.3
- 2)倉田正志, 佐藤崇, 宇佐美勉, 葛西昭, 萩澤亘保: 降伏棚を有する鋼材の繰り返し弾塑性モデル, 土木学会論文集に投稿中

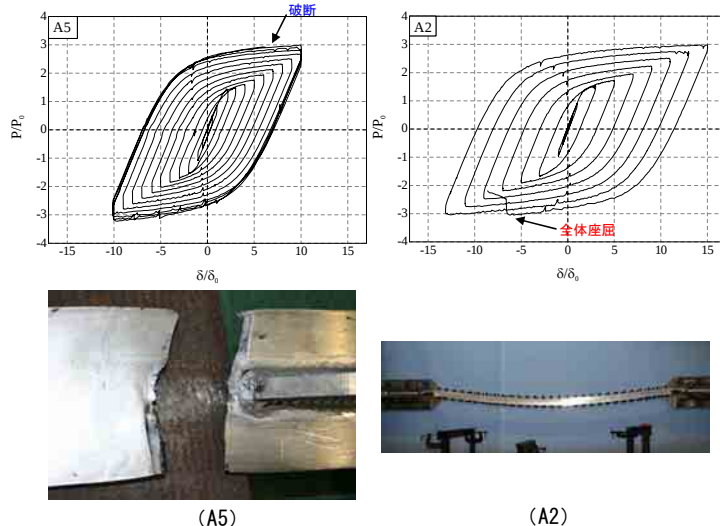


図-4 ブレース材の荷重-変位関係

表-1 性能実験結果まとめ

供試体	t_f [mm]	$\frac{P_F^R}{P_F}$ nominal	$\frac{M_F^R}{P_F L}$ nominal	ν_F	全体座屈 発生?	累積塑性軸 ひずみ CID [%]	最大軸 ひずみ ϵ_{max} [%]
(A1)AL20-1	20	2.98	0.0569	2.79	YES	28	1.34
(A2)AL20-2	20	2.98	0.0569	2.79	YES	22	1.75
(A3)AL25-1	25	5.90	0.0901	5.41	NO	25	2.25
(A4)AL25-2	25	5.90	0.0901	5.41	NO	34	1.45
(A5)AL25-3	25	5.90	0.0901	5.41	NO	30	1.34

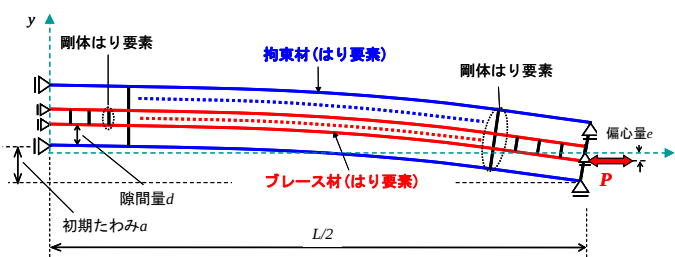


図-5 解析モデル概要図

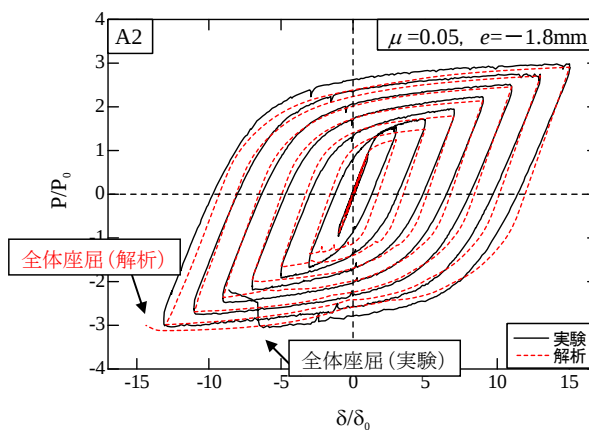


図-6 実験結果と解析結果の比較