

BRB 接合部の初期たわみを考慮した鋼製ラーメン橋脚の制震性能に関する解析的検討

名城大学 学生会員 ○石田 真士
名城大学 正会員 渡辺 孝一

1. はじめに

著者らによる既往の報告¹⁾の中で、軸降伏ダンパー（以下、BRB と略して記す）を鋼製門型ラーメン橋脚に片流れ配置することによる制震効果に関する研究を行い、BRB が制震効果を発揮することを報告している。しかし、解析モデル上の BRB の設置状態は理想状態を仮定しており、初期不整を考慮していなかった。そこで本研究は、BRB の接合部ブラケットに初期たわみを与え、制震性能に与える影響について解析的に検討を行った。解析を行うにあたり全体系の初期剛性（一次剛性）の低下に着目して、初期たわみが最も影響するパターンを推定した。初めに BRB の設置比率の検討をし、次に初期たわみが最も影響するブラケットのたわみ方向、ブラケットの設置比率を検討した。本報告では紙面の都合から解析条件の詳細は文献 1) を参照いただきたい。

2. 初期たわみの定義

図 1 に鋼製ラーメン橋脚を想定したファイバー解析モデルに BRB を片流れ配置する時の、取り付けブラケットの初期たわみを定義した一例を示す。図中の L はブレース全長、 L_b と L_j 、 L_j' はそれぞれブレースの制震部材長と接合ブラケット長を示しており、BRB 全長に対するそれぞれの長さの比を ξ_l 、 ξ_2 とする。また、 α は接合部ブラケットの初期たわみを示しており、固定端側ブラケットとフレーム天端側ブラケットにそれぞれ同じたわみを与えるものとする。本研究では、初期たわみの許容限界値を $\alpha=0.002$ (1/500) とした。

3. BRB とブラケットの設計

橋脚の層間変形の限界値は、変位照査法の部材健全度²⁾を用い $\delta_{max}=2.8\delta_y$ とする。層間変形が $2.8\delta_y$ に達した時点において、BRB はその伸縮ひずみ量の限界値 $\varepsilon_{max}=0.03$ 以下の範囲に納める必要がある。図 2 に橋脚の限界層間変形時の BRB のひずみ量と BRB の設置比率 $\xi_l=0.3\sim 0.8$ を示す。ブラケットが長いほど初期たわみの影響を受けることから BRB は可能な範囲で短く設定し、 $\xi_l=0.3$ で以下の検討をする。なお、本報告に記す剛性とは全体系の一次剛性（初期剛性）でありブラケットの断面積は幾何学的なバランスを考慮して、制震ブレースの断面積の 4 倍と仮定した。

4. 初期たわみのパターンと BRB 取り付け位置の決定

図 1 に例示したように、接合部ブラケットは上下 2 つあるため橋脚面内におけるブラケットの初期たわみの組み合わせは橋脚面内のたわみ方向を区別すると 4 通りとなる。図 3 は、

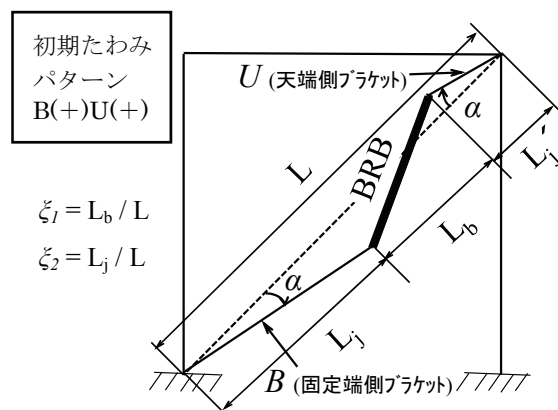


図 1 初期たわみの定義

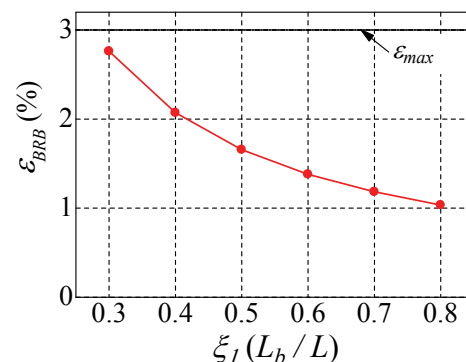


図 2 橋脚の限界層間変形時の BRB のひずみ量

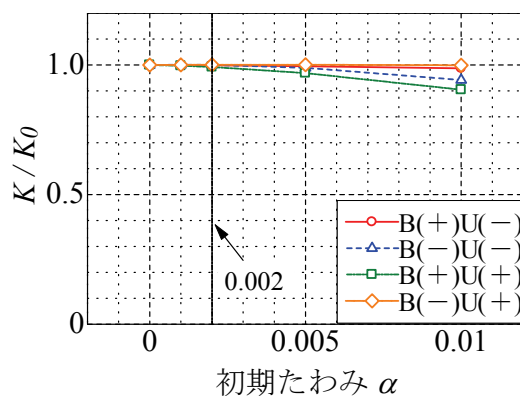


図 3 初期たわみのパターンと全体系の剛性の変化

4つのパターンのたわみ量を $\alpha=0\sim0.01$ で5通りに変化させた時の全体系の剛性の変化をまとめたものである。縦軸は、剛性を初期たわみがない理想状態の剛性で無次元しており、横軸は初期たわみ α である。初期たわみの向きは、時計回りを(+), 反時計回りを(-)とした。初期たわみによる全体系の剛性の低下が最も大きなパターンは、B(+)U(+), $\alpha=0.01$ となっており、9.5%程度の剛性低下がみられる。また、初期たわみの許容限界値である $\alpha=0.002$ において 0.8%程度のわずかな剛性低下が確認された。本研究では、最も厳しいパターンである B(+)U(+)を以下の照査に用いる。

次に BRB の取り付け位置の検討を行う。図4は、パターン B(+)U(+)で初期たわみ $\alpha=0.002$ とし、 ξ_2 を変化させた図である。図中、 $\xi_2=0.35$ は BRB がブレース全長 L の中央に配置されることを示す。 ξ_2 によらず剛性は同等であることが確認できる。

ブラケットは BRB へ軸力を伝達する役割を担うが、橋脚の変形と初期たわみにより曲げモーメントも同時に作用することから破壊の照査が必要となる。本報告で記す破壊の定義は、ブラケットで定義した要素が発散した時点とした。図5は、図4で用いたモデルの Pushover 解析を行い、ブラケットの破壊時の橋脚の層間変形量と ξ_2 の比率を示した図である。図中の $\xi_2=0.1, 0.6$ は図中の $2.8\delta_y$ よりも小さい層間変形で破壊が発生した。これは、一方のブラケットが長くなりすぎるため、破壊が早期に生じたものである。よって橋脚の部材健全度2を満足するブラケット配置は $\xi_2=0.5$ となった。

以上の結果から、最も厳しい条件と考えられる $\xi_1=0.3$, $\xi_2=0.5$, 初期たわみのパターン

B(+)U(+), 初期たわみ量 $\alpha=0.002$ をケース1として地震応答解析を行い制震性能の違いを検討する。比較対象として、初期たわみなしをケース2, $\xi_1=0.3$, $\xi_2=0.35$, 初期たわみなしをケース3として比較を行う。

5. 地震応答解析結果およびまとめ

地震応答解析に使用した地震動は、1995年の兵庫県南部地震で観測された JR 鷹取駅の地震波の E-W 成分である。表1に、地震波入力後の BRB と全体系の応答結果をまとめる。表から、BRB 取り付け位置や初期たわみを考慮すると、BRB の最大ひずみ $\varepsilon_{\max}$, CID, エネルギー吸収量, および全体系のエネルギー吸収量の値は低下することが確認できる。しかし、初期たわみの影響を考慮し、低下率が最も大きなケース1とケース3で比較を行っても、全体系のエネルギー吸収量で 0.3%, BRB のエネルギー吸収量で 1.0%, CID で 1.3%と僅かな低下であり概ね同等の応答であった。以上から、初期たわみを $\alpha=0.002$ に制限することで最も剛性低下に影響する初期たわみモデルであってもパターンで比較を行っても、全体系への影響は少なく十分な制震性能が得られることを解析的に確認した。

参考文献

- 1) 渡辺孝一,佐藤大介,石田真士,吉野廣一：鋼製ラーメン橋脚の層間変形を考慮した高機能座屈拘束ブレースの変形性能に関する実験的検証,鋼構造論文集, Vol.22, No.85, pp.143-151, 2015
- 2) 宇佐美勉編著, 日本鋼構造協会編：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂出版, 2006.9

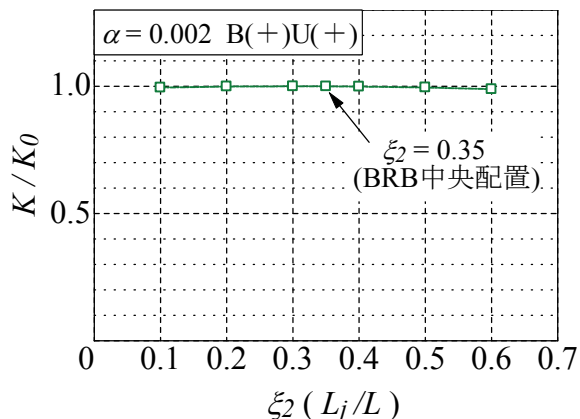


図4 初期たわみを考慮したブラケット長の比率と全体系の剛性の変化

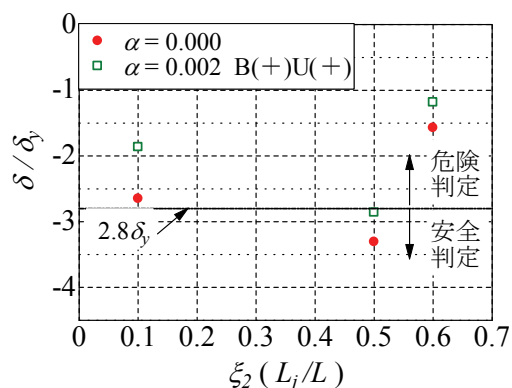


図5 ブラケット長の変化に伴うブラケット破壊時の橋脚の層間変形量

表1 地震応答解析結果の集計

ケース	ξ_2 ($\xi_1=0.3$)	初期たわみ α	BRBのみ			全体系
			$\varepsilon_{\max}$	CID	エネルギー吸収量 (MN・m)	エネルギー吸収量 (MN・m)
1	0.50	0.002	0.0160	0.238	7.126	8.106
2	0.50	0.000	0.0162	0.240	7.171	8.130
3	0.35	0.000	0.0165	0.241	7.194	8.132