

多径間連続高架橋に導入する BRB の簡易設計法に関する一考察

名古屋大学 正会員 ○葛西 昭
 大成建設（株） 正会員 木戸 健太
 名古屋大学 フェロー 宇佐美 勉

1. 緒言

橋梁の耐震性向上策として制震デバイスの導入が昨今注目されつつある。これは、主部材に対して制震ブレースを副部材として並列的に設置することにより、地震時の応答低減に大きな効果が期待できる。例えば、アーチ橋、トラス橋などに対しては既に実用化されており、その効果と有効性について報告されている。

本研究では、連続高架橋を対象とし、制震ブレースとして座屈拘束ブレース（以下、BRB (Buckling-Restrained Brace の略) と称す）を導入することにより、橋軸方向に対する耐震性能の向上を図った。そこで、BRB の簡易な設計法を提案し、有効性を検証している。

2. 解析モデル

対象橋梁は、図-1 に模式的に示される 4 径間連続高架橋である。桁一橋脚間にはゴム支承が設置されており、桁の両端は隣接する橋脚に移動支承を介して設置されているものとする。詳細は文献 1) を参照されたいが、桁はどのスパンも 40m を有し、解析上ははり要素を適用し弾性部材とする。ゴム支承は、弾性体として取り扱い、その剛性は、橋脚頂部における水平剛性に対して 30% (10.5MN/m) と仮定した。橋脚に関しては、鋼製橋脚を利用し、構造諸元は表-1 に示すとおりである。また、断面形状として正方形補剛箱形断面を有する橋脚とし、解析モデルでは、橋脚部分にはり要素を用いてモデル化し、繰り返し構成則には、修正 2 曲面モデルを利用した。橋脚基部の境界条件は完全固定とし、橋脚基部に地震動を橋軸方向に入力する。

3. 解析手法

地震応答解析に使用する地震動は、道路橋示方書 V 耐震設計編に規定されているレベル 2 タイプ 2 の II 種地盤用の地震動 3 波を用いた。数値解析には汎用構造解析ソフト ABAQUS を用いる。動的解析に用いる減衰マトリクスを定めるにあたって、減衰定数は鋼部材に対しては 0.05、ゴム支承については 0.02 とした。

4. BRB の設計

BRB を設置する場合、詳細は文献 1, 2) を参照されたいが、配置位置、鋼種、断面積が重要なパラメータとなる。そこで、BRB の設計は、配置位置、鋼種が決まっている場合を想定し、その際の断面積を定める場合の指標となる値を算定することが主目的である。BRB の鋼種には SS400 を使用し、配置位置は図-2 に示すように橋脚基部と桁間に仰角 45 度で設置し、全橋脚に 2 本ずつ対称に計 6 本配置した。BRB の断面積の設計は、レベル 1 地震動では損傷しないことを条件とし、Pushover 解析を利用し幾何学的な観点から BRB の断面積を算出する。その骨子は、以下に示す通りである。

1) 地盤種より設計水平震度 k_h を求め、上部構造重量 W と設計水平震度 k_h より慣性力 H を求める。

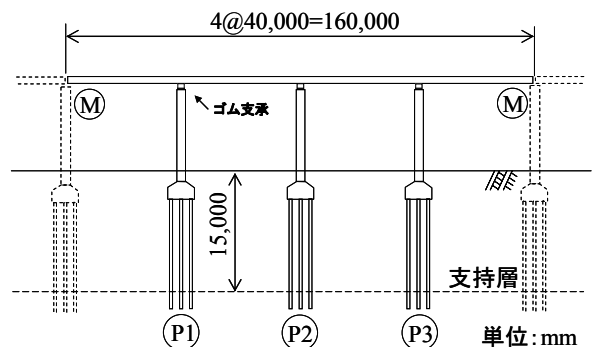


図-1 対象橋梁の模式図

表-1 橋脚部分の構造パラメータ

	P1・P3 橋脚	P2 橋脚
地盤種	II 種地盤を想定	
使用鋼種	SM490	
弾性係数 E (GPa)	200	
降伏応力 σ_y (MPa)	315	
ポアソン比 ν	0.30	
断面形状	正方形補剛箱形断面	
設計水平震度 k_{h0}	0.25	
フランジ幅 $B(=D)$ (m)	1.31	1.28
板厚 t (mm)	19.0	19.0
補剛材幅 b_s (m)	0.13	0.12
補剛材板厚 t_s (mm)	20.0	20.0
幅厚比パラメータ R_f	0.35	
柱の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$	0.40	
アスペクト比 l_d/b	0.50	
橋脚高さ h (m)	7.98	7.83
降伏荷重 H_y (MN)	1.76	1.75
降伏変位 δ_y (mm)	49.0	48.3

キーワード：耐震性向上策、BRB、4 径間連続高架橋

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617

2) BRBの水平剛性 K_{BRB} を次式より求める。

$$K_{BRB} = \frac{\cos^2 \theta EA_{BRB}}{l} = \alpha A_{BRB} \quad (1)$$

ここで、 E はヤング率、 l はBRBの長さである。 A_{BRB} は決定していないので、断面積の関数となる。

3) BRBの復元力 H_{BRB} を求める。

$$H_{BRB} = H \frac{K_{BRB}}{nK_{BRB} + K_{Total(pier+rubber)}} = H \frac{\alpha A_{BRB}}{n\alpha A_{BRB} + K_{Total(pier+rubber)}} \quad (2)$$

ここで、 n はBRBの本数である。また、橋脚+支承の剛性 $K_{Total(pier+rubber)}$ は既知なのに対し、 A_{BRB} は決定していないので、断面積の関数となる。

4) また、BRBの復元力は図-3に示すように $H_{BRB} = P_{BRB} \cos \theta$ より、

$$H_{BRB} = A_{BRB} \sigma_y \cos \theta \quad (3)$$

5) 式(2)と式(3)よりBRBの断面積は次式にて表される。

$$A_{BRB} = \frac{\alpha H - \sigma_y K_{Total(pier+rubber)} \cos \theta}{n\alpha \sigma_y \cos \theta} \quad (4)$$

6) 式(4)で得られた断面積を用いて Pushover 解析を行い、次式によって照査を行う。

$$\nu \sigma_{BRB} \leq \sigma_y \quad (5)$$

ここで、 σ_{BRB} はBRBに発生する応力で、 ν は安全率で1.14とする。式(5)を満足しない場合、断面積を再定義し、満足するまで繰り返す。そこで得た断面積を用いて地震応答解析を行い、耐震性能を照査する。

5. 地震応答の低減効果

前述の解析条件で地震応答解析を行った。図-4にP2橋脚の応答変位の時刻歴を示す。BRBを導入することにより最大応答変位を $7.5\delta_y$ から $0.9\delta_y$ まで低減した。図-5にP2橋脚基部の平均ひずみの時刻歴を示す。橋脚基部の平均ひずみについても $15.5\varepsilon_y$ から $0.9\varepsilon_y$ まで低減した。

以上のことから、BRBを設置することは、応答変位の低減、橋脚基部の損傷を軽減することは有効である。また、BRBの設計をする際、Pushover解析を用いて得られた断面積は初期値として使用するには有効であり、より一層の低減効果を期待する場合、断面積を増やすことによる満足することが文献1)で実証されている。

6. 結言

Pushover解析を利用したBRBの簡易設計法を提案し、妥当性について検証した。そこでは、レベル1で損傷しないという条件を使用し設計した結果、応答値を弾性応答まで低減した。しかし、本設計手法では、地震後の構造物の損傷に対応した目標値を設定したわけではないため、構造形式が少しでも変化したものに対応したものではない。性能照査型耐震設計法を行うにあたって、構造物の損傷レベルに応じた目標値を設定することは非常に重要である。著者らは、現在、この点について検討を行っており、今後、さらにまとめていく予定にしている。

参考文献

- 1) 葛西昭, 木戸健太, 宇佐美勉, 渡辺尚彦 (2004): 多径間連続高架橋への制震ブレースの導入効果, 構造工学論文集, Vol151A,
- 2) 木戸健太, 葛西昭, 宇佐美勉 (2005): 制震ブレースを有する多径間連続高架橋の地震時挙動とその効果, 第8回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 253-260.

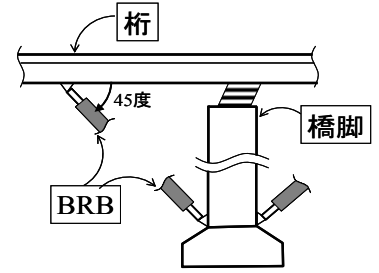


図-2 BRBを橋脚基部と桁間で設置

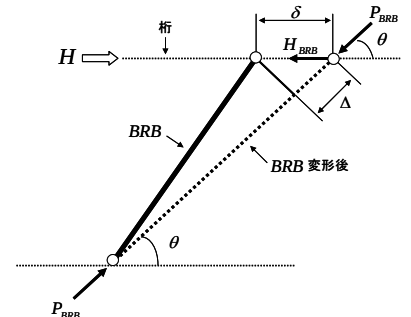


図-3 BRBに発生する力

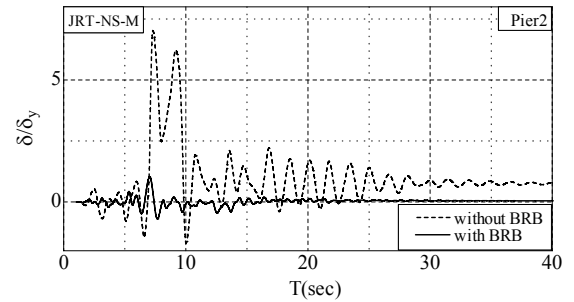


図-4 橋脚頂部の変位の時刻歴

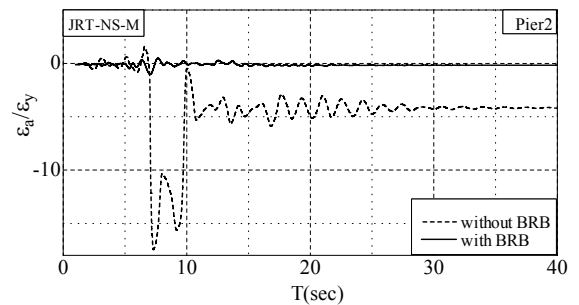


図-5 橋脚基部の平均ひずみの時刻歴