

ダンパーブレースを用いた鋼製アーチ橋の地震応答低減に関する研究

東京工業大学 学生会員 ○福田 智之
東京工業大学 フェロー 川島 一彦

1. はじめに

従来、数ある橋梁形式の中でもアーチ橋は耐震性が高いと考えられてきたが、兵庫県南部地震以降の研究により震度法に基づいて設計されたアーチ橋の中には、兵庫県南部地震クラスの強震動を受けると大きな被害を受ける可能性がある橋もあることが指摘されている。このため耐震性が不十分なアーチ橋に対する耐震補強法に関心を集めている。本研究では、ダンパーブレースを用いて鋼製アーチ橋の地震応答を低減させる方策を検討した。

2. ダンパーブレース

免震構造とは構造内にエネルギー吸収を意図した部材を組み込み、そこに地震時の塑性変形を集中させ、主構造物の応答を可能な限り低減させる構造を言う。免震装置の一つにダンパーブレースがある(以下 DB と表す)。図1に示すように、DB とはブレース材の両端に塑性部材を設け、ここでエネルギー吸収できるようにしたものである。圧縮を受けた際に座屈しないようにブレース材には十分な剛性と強度を持たせなければならない。

3. 動的解析に基づくアーチ橋の耐震性

ここで解析対象とするのは、アーチスパン 99m、ライズ 17.5m の上路式鋼製アーチ橋である。アーチリブは両端で岩盤に固定されている。桁は床版構造で、両端ではゴム支承によって支持されている。この橋は兵庫県南部地震前に設計、施工され、現在の耐震基準では、アーチリブおよび鉛直材の耐震性が不十分と判定される。解析では、アーチリブ、鉛直材、床版を 3 次元梁要素で、また、DB は非線形履歴型ばね要素でモデル化した。入力地震動としては、兵庫県南部地震による JMA 神戸と JR 鷹取、1994 年米国 Northridge 地震による Sylmar、1999 年トルコ Duzce 地震による Duzce、1999 年台湾集集地震による日月潭記録を用いた。解析は上下方向地震動を考慮した上で、橋軸方向と橋軸直角方向に分けて行った。JMA 神戸、JR 鷹取、日月潭の 3 記録を作用させた場合には、橋軸、橋軸直角方向ともに、アーチリブ等に塑性化が生じる。

4. ダンパーブレースの効果

図2に示す位置に DB を設置する。DB の降伏耐力は部材に応じて 470、657、1196 kN の 3 種類に変化させている。DB の効果を JMA 神戸記録を作用させた場合の桁中央点の加速度応答によって示した結果が図3である。DB を設置しない場合(現状)には最大 16.8m/s^2 の加速度が生じるが、DB を設置すると 11.8m/s^2 と 29.5% 応答が低減する。耐震設計上重要なアーチリブ端点の軸力および曲げモーメントが DB を設置することによりどの程度低下するかを示した結果が図4である。これによれば DB を用いることにより、アーチリブ端点の軸力および曲げモーメントはともに減少する。全塑性状態となる軸力～曲げモーメントのインターアクションカーブの内側に収まることを耐震補強の目的とすると、DB を設置することにより、5 地震動のうち橋軸方向には 3 地震動、橋軸直角方向には 4 地震動に対して、耐震補強の目的を達することができる。

5. ダンパーブレースの低減効果の評価

DB がアーチ橋の地震応答の低減に効果があるのは、DB のエネルギー吸収作用によるものである。このため、DB のエネルギー吸収に基づくアーチ橋としての減衰定数 h を評価することが求められる。ここでは、以下の 2 種類の方法により、アーチ橋の減衰定数 h を求める。

- 1 次モードに対するアーチ橋の自由振動を、数値解析により再現し、対数減衰定数から減衰定数 h を求める。
- 振幅依存性を見込んだ上で各 DB ごとに等価減衰定数を求め、これとその他のアーチ橋部材の等価減衰定数(1%と仮定)からひずみエネルギー比例減衰法により、1 次モードに対するアーチ橋の減衰定数 \tilde{h} を求める。

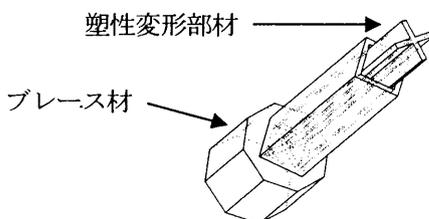


図1 ダンパーブレースの構造

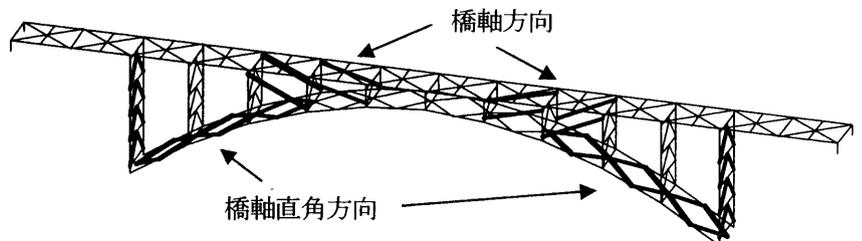


図2 ダンパーブレースの設置位置

キーワード：耐震補強、免震設計、アーチ橋、ダンパーブレース、動的解析

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学 TEL：03-5734-2922

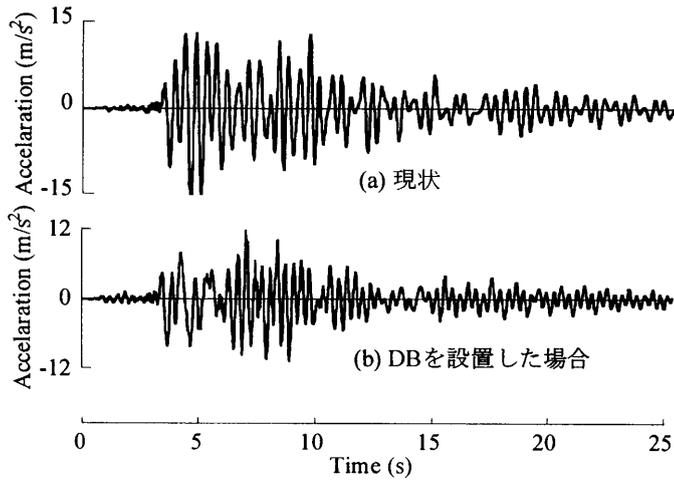


図3 JMA神戸を作用させた場合の桁中央点の加速度（橋軸方向）

一方、上述した非線形動的解析により求めたDBがない場合とこれを設けた場合の桁中央点の最大応答加速度をそれぞれ a_{w0}^c 、 a_w^c し、これらから、加速度低減率 r を次式のように定義する。

$$r = \frac{a_w^c}{a_{w0}^c} \quad (1)$$

また、アーチ橋の応答を基本固有周期 T を持つ1自由度系に近似すると、アーチ橋の減衰定数 ($h = h_0$ もしくは h^*) から加速度低減率 \tilde{r} は近似的に次式により推定される。

$$\tilde{r} \approx \frac{S_A(T, h^*)}{S_A(T, h_0)} \approx \frac{c_D(h^*)}{c_D(h_0)} \quad (2)$$

ここで、 $S_A(T, h)$ は固有周期 T 、減衰定数 h の加速度応答スペクトルである。 $c_D(h)$ は減衰定数別補正係数であり、

$$c_D(h) = \frac{1.5}{40h+1} + 0.5 \quad (3)$$

上記 a), b) の方法により求めた h^* を用いて式(2)により推定した \tilde{r} と式(1)から求めた r を比較した結果が、図5である。これによれば、アーチ橋の1次振動モードに対する減衰定数 h が推定できれば、加速度低減率 r をある程度の精度で推定可能である。軸力や曲げモーメントもこれにより推定が可能となる。

6. 結論

- (1) DB の設置は鋼製アーチ橋の地震応答の低減に効果がある。アーチリブ端点の断面力に着目すると、いくつかの地震動に対して全塑性状態には至らないようにすることができる。
- (2) 上記 a), b) の方法を用いれば、アーチ橋の1次振動モードに対する減衰定数を推定することができる。

参考文献：Kazuhiko, K. Shigeki, U. “Damping Characteristics of Cable-Stayed Bridge Associated with Energy Dissipation at Movable Supports” Structural Engineering / Earthquake Engineering, Vol.6, No.1, pp.123-130, 1989

謝辞：本解析に用いたアーチ橋のデータは、三菱重工広島製作所に提供していただきました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

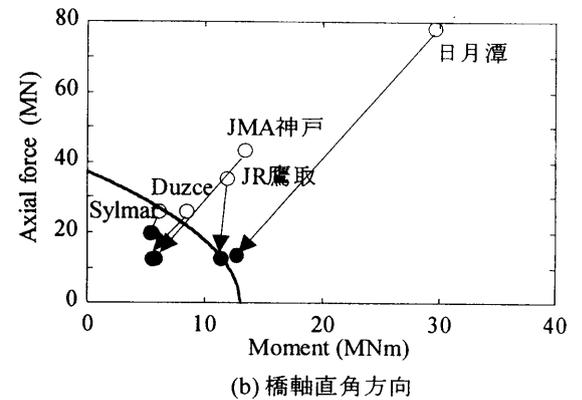
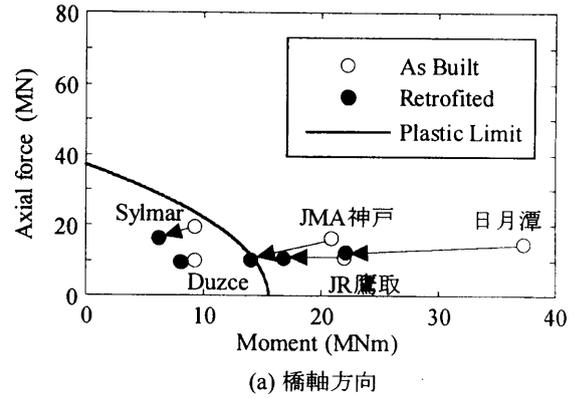


図4 アーチリブ端点の断面力に対するDBの効果

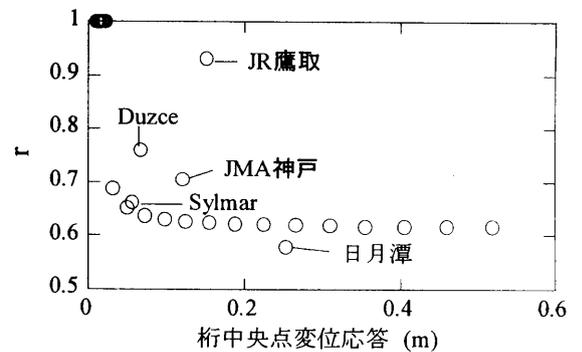
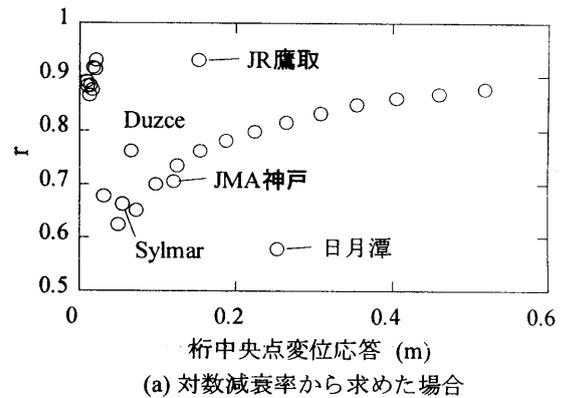


図5 アーチ橋の応答率の推定