

震源断層近傍における BRB 設置の上路式鋼アーチ橋の応答特性

(株)地震工学研究開発センター 正会員 ○児玉 喜秀
宮崎大学 正会員 原田 隆典
(株)地震工学研究開発センター 正会員 野中 哲也
名城大学 フェロー会員 宇佐美 勉

1. はじめに

近年、特殊橋梁等に対して、耐震性向上策に関する研究が精力的に行われ、特に、履歴型の制震ダンパーの設置による耐震性向上が提示されている。例えば、上路式鋼アーチ橋に対して、アーチ下横構や端支柱の対傾構に座屈拘束ブレース (BRB) が設置¹⁾され、実務の耐震補強設計等にその成果が活用され始めている。

一方、震源断層破壊—地盤応答—構造物応答という一連の物理現象を理論的に一貫して捉えて構造物の地震時挙動を解明する研究²⁾が進められ、断層近傍の橋梁の応答特性が解明されつつある。そこで、本研究では、震源断層近傍における、耐震性向上策として BRB が設置された上路式鋼アーチ橋の応答特性について検討することにした。

2. 対象橋梁および橋梁解析モデル

図-1 に示すような上路式鋼アーチ橋 (橋長 173m) を対象橋梁とする。この橋梁が、断層を横断するように、配置された場合の対象橋梁の応答特性を検討する。本橋梁は、耐震性向上策として下横構や対傾構に BRB 設置が設置されている¹⁾。解析モデルとしては、3次元ファイバーモデルとする。文献3)を基にモデル化を行ったが、座屈現象や塑性化状況をより正確に把握するため、要素分割をより細かくした。

3. 断層および入力地震動

地震動は断層パラメータと断層の種類によって大きく変わるが、ここでは内陸地震の典型的な横ずれ断層を想定して地震動を作成するものとした。設定した断層パラメータは表-1 のようになり、地震規模は M6.5 である。断層永久変位が最も大きくなるように、断層が地表に現れる場合を想定 (図-2) して入力地震動を作成³⁾した。地震動の作成手法としては、理論的評価法 (剛性マトリックス法) を採用した。

断層と対象橋梁の位置関係は、図-2 に示すように断層中央を橋梁が横断するようにした。入力地震動の作成位置はアーチリブ基部および橋台の4箇所 (1箇所3成分) である。この波形 (以下、「断層近傍波形」) には、断層永久変位が含まれている。断層に最も近いアーチリブ基部の加速度波形を加速度応答スペクトルへ変換し、標準波形 (II-II-2)⁴⁾と比較すると図-3 のようになる。これから、橋軸直角方向成分の加速度が他の成分より大きくなり、標準波形よりは多少小さくなっているのがわかる。

4. 検討ケースおよび応答解析法

対象橋梁の解析モデルに対して、断層近傍波形と標準波形を作用させた2ケースで検討する。断層近傍波形の検討ケースは、4箇所に異なる波形を作用させる多点入力の応答解析 (全体系解析) とし、標準波形の検討ケースは、ひとつの波形を全体に作用させる通常の一様加震とした。応答解析法としては、材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮した複合非線形動的解析を採用した。

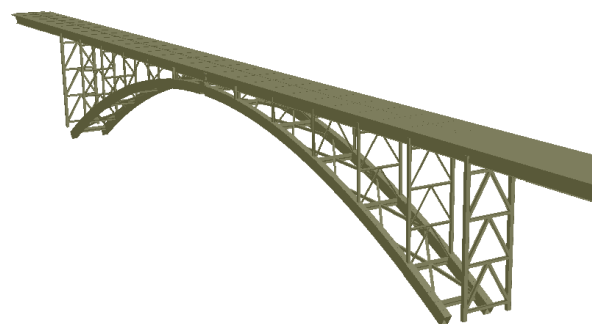


図-1 検討対象の上路式鋼アーチ橋

表-1 M6.5 横ずれ断層パラメータ

地震モーメント M_0	[$N \cdot m$]	1.04×10^{18}
立ち上がり時間 t	[s]	0.4
断層の長 L	[km]	10.1
断層の幅 W	[km]	5.1
断層破壊速度 V_r	[km/s]	2.52
断層の走行方向 ϕ	[$^\circ$]	0.0
断層面の傾斜角 δ	[$^\circ$]	90.0
すべり方向 λ	[$^\circ$]	0.0

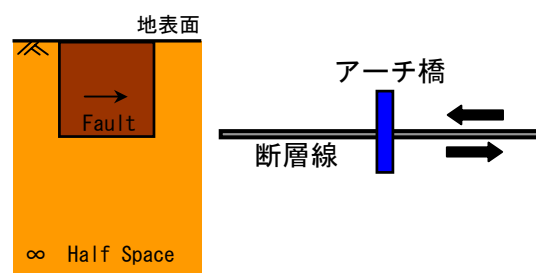


図-2 地表面断層と橋梁に位置関係

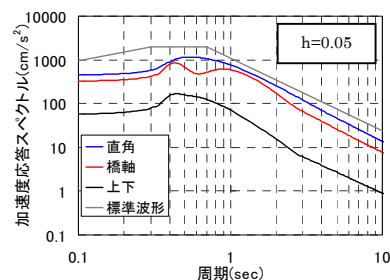


図-3 入力地震動の応答スペクトルの比較

キーワード 上路式鋼アーチ橋、断層永久変位、座屈拘束ブレース、震源断層近傍、動的解析

連絡先 〒889-2155 宮崎市学園木花台西 1-1 宮崎大学産学連携センター (株)地震工学研究開発センター TEL 0985-58-0567

5. 解析結果および考察

5.1 標準波形の結果

標準波形による解析結果を図-4 に示す。これから、損傷箇所は、端支柱基部に限定され、文献 1) とほぼ同様な結果となった。最大応答変位は、アーチクラウン部で最大 0.543m となり、橋軸直角方向に対して 1 次モードで振動した。損傷した端支柱基部の塑性化の程度は許容できる範囲 ($-1.33 \varepsilon_y$) であった。BRB 設置前 ($-23.2 \varepsilon_y$) に比べ、大幅に応答ひずみが低減できたため、アーチ下横構、端支柱の対傾構に設置された BRB が有効に働いたといえる。アーチ下横構の BRB の応力-ひずみ曲線を図-5 に示す。これからも、履歴ループを描き BRB が有効に作動していることがわかる。

5.2 断層近傍波形の結果

(1) 応答変位

断層近傍波形による応答について、橋梁全体で塑性化部材が最も多かった時点の変形状態を図-6 に示す。これから、橋梁全体が S 字型に変形しているのがわかる。両側のアーチリブ基部がそれぞれ異なる方向に約 0.25m 変位し、片振り状態となっている。これに対して、アーチクラウン部が、最大で約 0.025m 変位し、両振りで振動をしている結果となった。

(2) 塑性化状況

部材塑性化位置は、図-7 に示すように中央寄りの多くの支柱となっている。本橋梁形式のアーチ橋については、橋軸直角方向の耐震性が劣り、損傷箇所は主にアーチリブ基部や端支柱基部であることが多いが、本ケースでは、まったく傾向が異なった。これは、変形が前述したように、橋梁全体が S 字型に変形することにより、このような損傷状態になったと考えられる。

なお、断層永久変位の量だけ、対象橋梁を変位させる静的解析を実施したところ、全部材塑性化しなかったことは確認できている。

(3) BRB の応答特性

アーチ下横構に設置した BRB の応力-ひずみ曲線の結果を示すと図-8 のようになる。これから、BRB が片振りで履歴を描かないため、履歴型制振ダンパーでは外力である地震エネルギーの吸収が期待できないといえる。

6. まとめ

本検討により、震源断層近傍における上路式鋼アーチ橋の応答特性が明らかになった。また、一例ではあるが、震源断層近傍においては、履歴型ダンパーが有効に働かない場合があることもわかった。今後、断層永久変位が伴うような地震動に対しても、有効な耐震性向上策について検討を行う予定である。

参考文献: 1) 宇佐美勉, 葛漢彬, 日沖堅治, 路志浩, 河野豪: 制震ダンパーによる鋼アーチ橋の耐震性向上, 土木学会論文集, No.766/I-68, pp.245-261, 2004.7. 2) 原田隆典, 野中哲也, 王宏沢, 岩村真樹, 宇佐美勉: 震源断層近傍における上路式鋼トラス橋の応答特性, 構造工学論文集 Vol.55A, pp.573-582, 2009.3. 3) 宇佐美勉編著, (社)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. 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002.3.

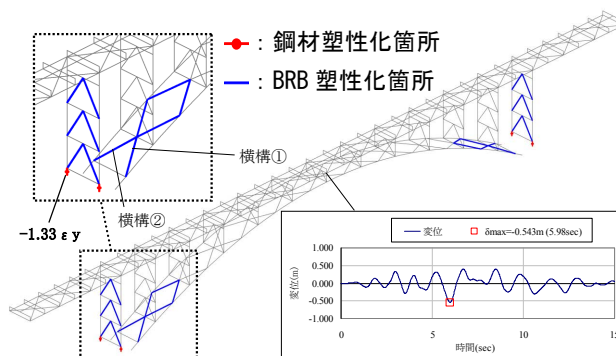


図-4 標準波形による解析結果

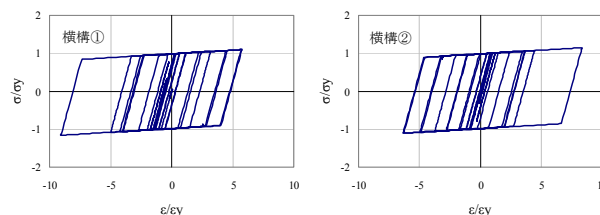


図-5 BRB の応力-ひずみ曲線(標準波形)

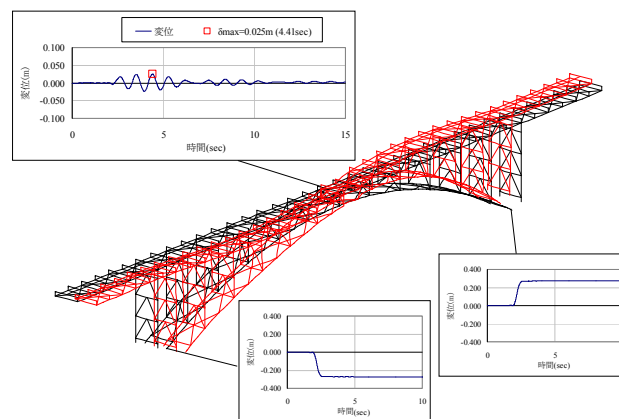


図-6 断層近傍波形による解析結果

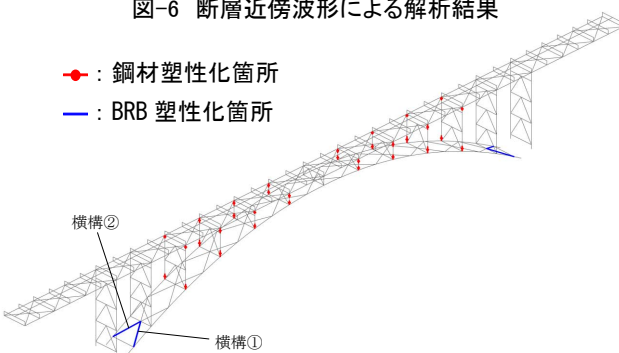


図-7 塑性化位置(断層近傍波形)

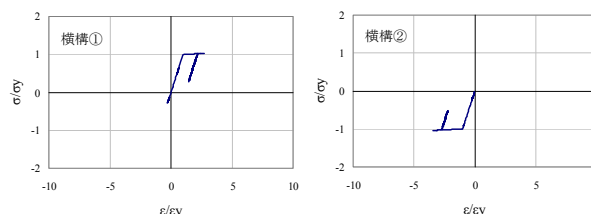


図-8 BRB の応力-ひずみ曲線(断層近傍波形)