

逆断層近傍の上路式鋼アーチ橋の動的応答特性

(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

上路式鋼アーチ橋のような動的挙動が複雑な橋に対しては、動的照査法による耐震性能の照査を行うように道示V耐震設計編で規定されている。近年、動的照査法による耐震性能の照査は、時刻歴応答解析によるものが多く、標準波形を水平1方向（橋軸方向、橋軸直角方向）に入力した解析を行っている。

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¹⁾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。また、逆断層の地震である2008年岩手・宮城内陸地震では、断層永久変位を含む3866 (cm/s²)の鉛直加速度成分が観測されており、地震動鉛直成分による橋梁への影響が考えられる。そこで、本研究では、逆断層近傍における鉛直加速度成分や断層変位を考慮した上路式鋼アーチ橋の動的応答特性について検討することにした。

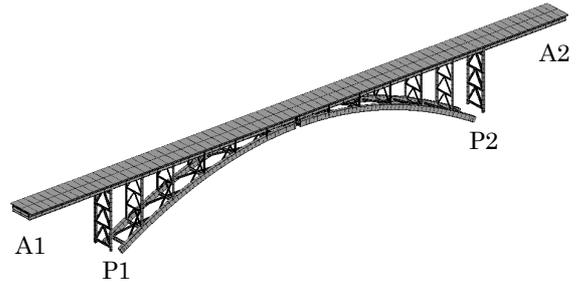


図-1 検討対象の上路式鋼アーチ橋

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）を対象橋梁とし、この橋梁が、逆断層を横断するように配置された場合の動的応答特性について検討する。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²⁾を基にモデル化を行ったが、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逆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、理論的評価法（剛性マトリックス法）により入力地震動を作成³⁾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、「逆断層近傍波形」）には、断層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-I-1）³⁾と比較すると図-3のようになる。これから、鉛直方向成分の加速度が他の成分より大きくなり、周期1秒付近では標準波形（水平成分）と同等に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、逆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。逆断層近傍波形の検討ケースは、4箇所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、ひとつの波形を橋軸方向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。

表-1 M6.5 逆断層パラメータ

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
断層の長さ L	[km]	10.1
断層の幅 W	[km]	5.1
断層破壊速度 V_f	[km/s]	2.52
断層の走行方向 ϕ	[$^\circ$]	0.0
断層面の傾斜角 δ	[$^\circ$]	45.0
すべり方向 λ	[$^\circ$]	90.0

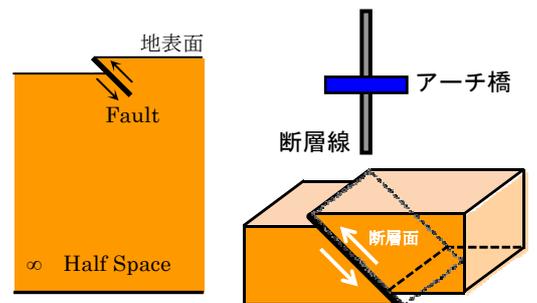


図-2 地表面断層と橋梁の位置関係

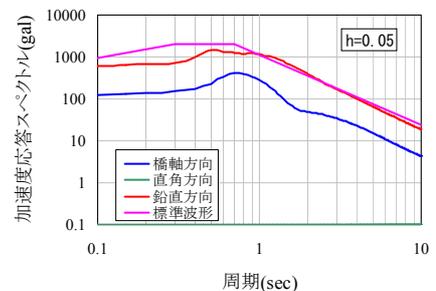


図-3 入力地震動の応答スペクトルの比較(P2)

キーワード 上路式鋼アーチ橋, 断層変位, 逆断層近傍, 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（橋軸方向）の結果

標準波形（橋軸方向）による解析結果を図-4 に示す。アーチリブ 1/4 点の鉛直変位が最大となる時点における変形図より、橋軸方向に対して1次モード（逆対称モード）で振動しているのがわかる。最大応答変位は、橋軸方向より鉛直方向の方が大きく、最大で鉛直下向きに0.211mとなっている。アーチリブ、補剛桁、支柱などの鋼部材については全て弾性域であった。

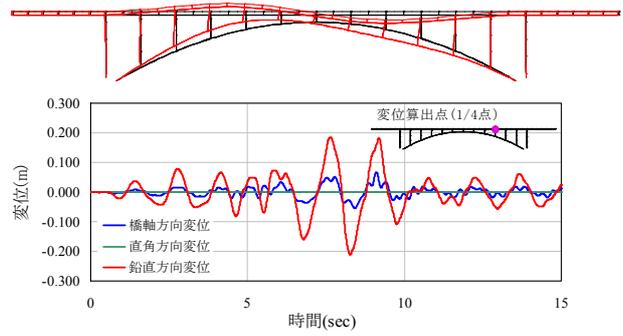


図-4 標準波形による解析結果

5.2 逆断層近傍波形の結果

(1) 応答変位

逆断層近傍波形による解析結果を図-5 に示す。アーチリブ 1/4 点の鉛直変位が最大となる時点での変形図より、P2 と A2 の支点が鉛直方向上向きに 0.4m 程度変位しているのがわかる。P1 側については鉛直方向変位より橋軸方向変位が大きく、P2 側に 0.25m 程度変位している。これは断層変位によるもので、アーチリブ 1/4 点の鉛直変位については、標準波形のような逆対称モードの振動と異なり、断層変位が最大となる時点からほとんど変形していないことがわかる。

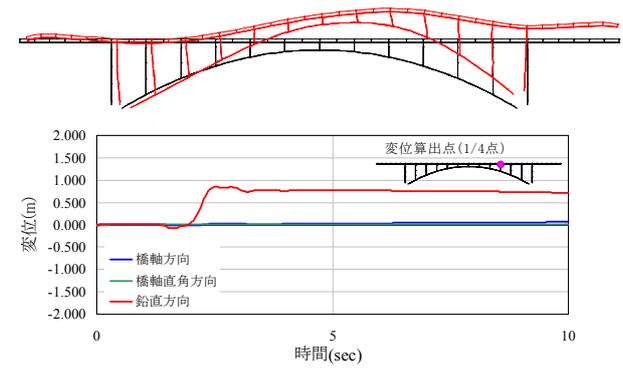


図-5 逆断層波形による解析結果

(2) 塑性化状況

逆断層近傍波形による橋梁部材の塑性化位置を図-6 に示す。標準波形では全ての部材が弾性域であったのに対し、逆断層近傍波形ではアーチリブと補剛桁に塑性化するようになった。アーチリブは僅かに塑性化する程度 ($-1.02 \epsilon_y$) であるが、補剛桁端部については、降伏ひずみの 15 倍程度 ($-15.2 \epsilon_y$) の応答ひずみが確認されている。補剛桁の応答が大きくなった理由としては、断層変位による補剛桁の変形を端支点支承が鉛直方向に拘束したためである。

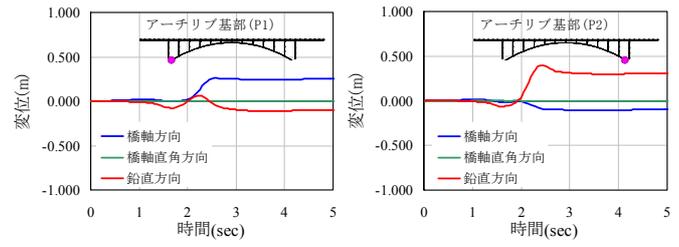


図-6 塑性化位置(逆断層近傍波形)

(3) 断層変位の影響

断層変位の影響を確認するため、最大支点変位と同等の強制変位を与えた静的弾塑性解析を実施したところ、橋梁部材の塑性化位置は図-7 のようになった。逆断層近傍波形の解析結果と比較すると、地震時慣性力のみで塑性化箇所は少なくなったものの、アーチリブで降伏ひずみの半分程度 ($-0.49 \epsilon_y$)、補剛桁端部で降伏ひずみの 12 倍程度 ($-11.9 \epsilon_y$) と断層変位が橋梁部材に与える影響が比較的大きいことがわかった。

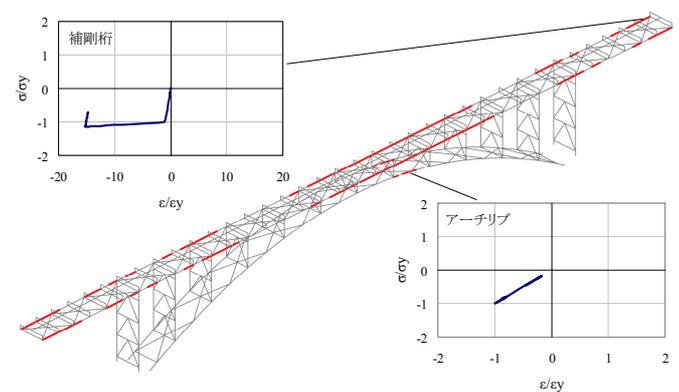


図-7 塑性化位置(強制変位解析)

6. まとめ

本検討により、逆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り、逆断層近傍における断層変位が対象橋梁の上路式鋼アーチ橋に与える影響が大きかった。今後、断層と橋梁の位置関係による影響についても検討を行う予定である。

参考文献：1)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. 2)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. 3)日本道路協会:道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2002.3.