

## 断層上のラーメン高架橋における地震時作用に関する一考察

ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 ○日野 篤志  
鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

## 1. はじめに

内陸活断層による地震では、地表断層変位によって土木構造物に甚大な被害を受けることがある。そのため、土木構造物を建設する場合、計画の段階から活断層を跨ぐ位置に構造物を建設しないことが望ましい。一方、鉄道構造物のような線状構造物では、線路の線形の関係から活断層との交差が避けられない場合があるが、鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）<sup>1)</sup>では、構造計画等で配慮する地震随伴事象としての扱いが現状である。

著者らは、これまでにラーメン高架橋を対象として挙動の評価や、有効な構造形式の提案などを行ってきた<sup>2)</sup>。これらの検討は、断層変位の影響のみを対象とした検討であるが、実際の構造物に地表断層変位が作用する際には、揺れによる慣性力も作用することとから、本稿では揺れによる影響を受けた状態での地表断層変位による損傷の評価を行った。

## 2. 検討条件の設定

(1) 対象構造物の設定 検討に用いるラーメン高架橋は、既往の検討と同様に現行の耐震基準に準拠して設計された一層5径間のRCラーメン高架橋（杭基礎形式）をもとに、径間数を4径間、基礎形式を直接基礎に変更した柱高さ約8m、橋軸方向スパン10mのラーメン高架橋(図-1)とした。

(2) 対象構造物のモデル化 構造物のモデル化は、鉄道構造物の一般的な構造解析に用いられている梁ばねモデルを用いて橋軸方向について行った。部材の非線形性の設定は、柱や梁といった構造部材は図-2のようなトリリニア型の非線形部材、地盤ばねは鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造）<sup>3)</sup>に準拠した非線形部材としてモデル化をした。なお、本検討では底面の鉛直方向のばねのうち地表断層変位を入力する位置（地盤に押し上げられる位置）には上限値は考慮せず線形のばねとしてモデル化した。

地表断層変位の分布形状については、堆積層の影響の有無によって図-3に示すような2タイプに分類することができる。本検討では、構造物に作用する地表断層変位量を構造物の設計の観点から安全側に設定することを目的として、局所的に大きな変位が入力されるタイプBの形状で地表断層変位を入力することとした。なお、断層変位の入力位置については様々なパターンが考えられるが、既往の検討結果より断層変位の入力位置として最も構造物の損傷が大きくなる条件として、構造物端部位置のみに作用させることとした。

(3) 断層変位と慣性力の作用方法 揺れの影響と地表断層変位の影響を同時に考慮し損傷を評価するためには、慣性力、地表断層変位それぞれの大きさを値の設定や、作用させるタイミング、作用する方向性などといった課題があげられる。本検討では、慣性力が先に作用し、その後に地表断層変位が作用する状態を静的解析によって表現する

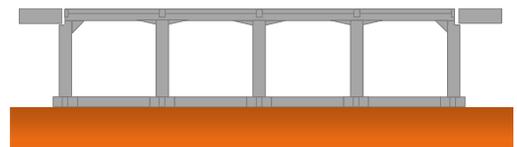


図-1 対象構造物の概念図

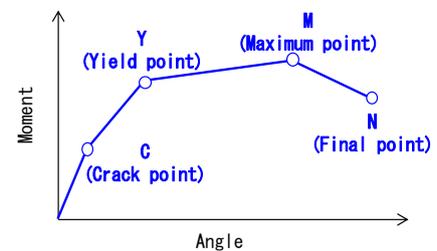


図-2 RC部材の骨格



図-3 地表断層変位の形状の概念

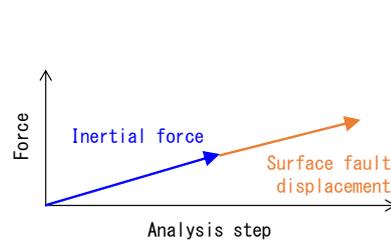


図-4 断層変位と慣性力の作用方法

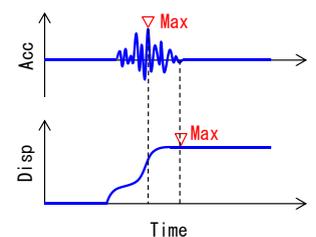


図-5 加速度と変位の関係

キーワード 地表断層変位、静的非線形解析、ラーメン高架橋

連絡先 〒186-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (株) ジェイアール総研エンジニアリング 構造技術部

こととした(図-4)。作用させるタイミングについては、加速度記録から積分によって変位記録を算定した場合には、加速度の最大値を経験したのちに変位の最大値をとることから、慣性力が作用したのちに地表断層変位が作用することを設定した(図-5) 4)。

### 3. 静的非線形解析による評価

(1) 性能の確認 ラーメン高架橋の性能を確認するために、慣性力、地表断層変位それぞれのみを入力した静的非線形解析を実施し、性能について確認を行った。

図-6には慣性力による影響の評価として、縦軸に地震荷重の大きさ横軸に構造物天端の水平変位をとり、損傷の過程を示す。また図-7には、縦軸に構造物天端の水平変位、横軸に地表断層変位をとり、損傷の過程を示す。この結果より、本

構造物は震度0.7相当、地表断層変位の場合には0.67mの変位量で降伏点を超過することがわかった。なお、本構造物は柱や上層梁、地中梁といった複数の部材からなる構造形式であるが、損傷は慣性力、地表断層変位いずれの場合も柱の下端位置が先行して損傷レベルを超過する結果となった。

(2) 慣性力と地表断層変位の組み合わせ 慣性力と地表断層変位の影響を組み合わせ、Y点とM点に着目した検討を実施する。検討方法は、慣性力を作用させた解析結果よりY点、M点到達に必要であった慣性力の値を0.9倍、0.8倍、0.5倍、0.3倍と変化させた後に地表断層変位を作用させた解析を実施し、Y点、M点といった損傷レベルに到達するまでの地表断層変位量の変化について確認を行う。

図-8には慣性力の影響を低減した場合のY点およびM点超過に必要な地表断層変位の値を示す。慣性力の影響を低減した場合には、各損傷レベルの値を超過するまでに必要となる断層変位の値は増加することを確認した。なお、慣性力を低減した場合においても損傷箇所の変化は確認できなかった。

この結果をもとに慣性力、地表断層変位をそれぞれ最大値(単独で入力した場合の値)で除して正規化した結果を図-9に示す。慣性力を低減した場合に損傷レベル超過までに必要となる地表断層変位量は、慣性力の低減の割合と同程度で変化することがわかった。そのため、慣性力と地表断層変位の影響を組み合わせ検討を行う場合には、慣性力のみと地表断層変位のみを考慮した状態で損傷の評価を行うことで、任意の慣性力の大きさにおける損傷レベル到達までの地表断層変位の許容量を推定することができる。

### 4. まとめ

本稿では、慣性力と地表断層変位の影響を考慮した検討を実施した。その結果、損傷レベル超過までの地表断層変位量は慣性力の低減と同程度に変化することから、慣性力のみと地表断層変位のみを考慮して損傷を確認することで、任意の慣性力の大きさにおける損傷レベル超過までの地表断層変位量を推定できることがわかった。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)、2012。2) 日野篤志、室野剛隆：縦ずれ断層の影響を受けにくいラーメン高架橋形式の提案、鉄道総研報告、2017。3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)、2012。4) 本山紘希、室野剛隆：地震加速度記録の積分による変位波形の積分手法、土木学会論文集A1(構造・地震工学)、2012

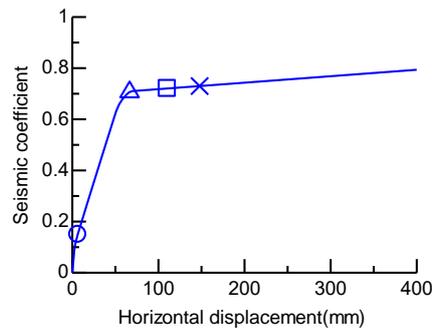


図-6 慣性力による損傷過程評価

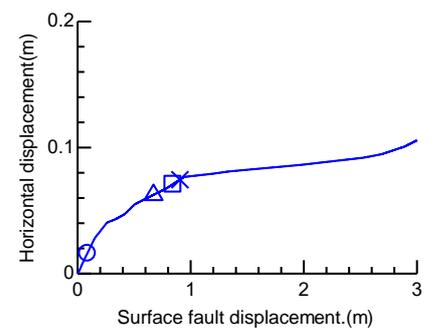


図-7 地表断層変位による損傷過程評価

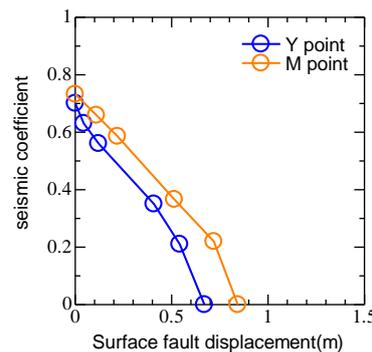


図-8 損傷レベルごとの震度と地表断層変位の組み合わせ

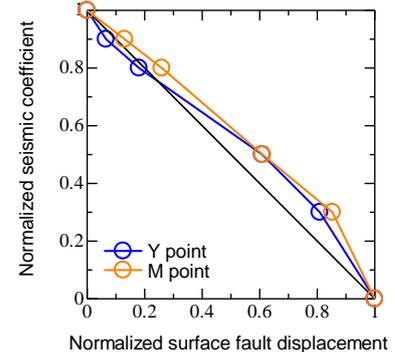


図-9 慣性力を低減した場合の地表断層変位の値(正規化)