

超過外力が作用したときのアーチ橋の損傷シナリオに関する研究 (その1 損傷を制御していない橋の挙動)

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○中尾 尚史
国立研究開発法人 土木研究所 正会員 大住 道生

1. はじめに

これまでの道路橋の耐震設計では、基本的には道路橋示方書に示される地震力に耐えられるように耐震設計が行われている。しかし、2016年熊本地震では、地盤変形等の影響により橋の機能が喪失する被害が発生した。このような被害を踏まえ、想定を超える外力が作用する場合に対しても、橋が機能喪失に至りにくくなるような構造的検討が必要である。本研究では、耐震補強を施したアーチ橋を対象として、想定を超える外力(超過外力)が作用した場合の橋の挙動について解析的に検討した。

2. 解析概要

1) 解析モデル

図-1に示すような、レベル2地震動に耐えられるように耐震補強を施したアーチ橋(橋長:14.0m, アーチ支間:87.0m, 幅員:10.5m)を対象とした。本研究では、部材座屈を表現できるように、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した複合非線形解析を行うこととし、アーチリブなどの鋼部材や床版および座屈拘束ブレースはファイバー要素、支承は線形ばね要素でモデル化した(図-2)。

鋼部材の材料構成則は、引張に対しては、降伏後(降伏応力 σ_y に達した後)の剛性は1/100となるように設定した。圧縮に対しては、道路橋示方書¹⁾に示される基準耐荷力曲線を基に低減係数 ζ を算出し、図-3に示すような非対称な非線形特性を設定した。支承部は、橋台部(A1, A2)の支承は可動支承, AP1, AP2部の支承は固定ピン支承, 端支柱の上端部はヒンジ支承でモデル化を行った。本研究では、支承は常に健全な状態であると仮定し、線形特性とした。座屈拘束ブレースは、軸力部材として両端をピン結合としてモデル化を行い、バイリニア特性を与えた。床版はRC床版とし、コンクリートと鉄筋の材料特性を設定した。なお、床版と桁は合成とし、床版と桁は外れないものと仮定した。

2) 解析方法

超過外力が作用した時の損傷シナリオを検討するため、本件ではプッシュオーバー解析を行った。プッシュオーバー解析を行うに際し、固有値解析を行い、着目する変形状態を想定した。その結果、卓越している1次モ

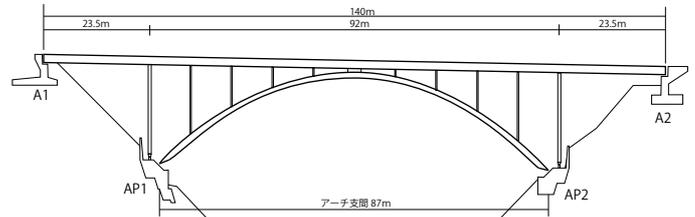


図-1 対象橋梁の橋梁一般図

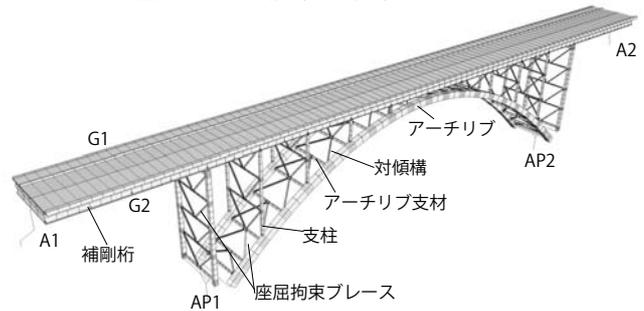


図-2 解析モデル

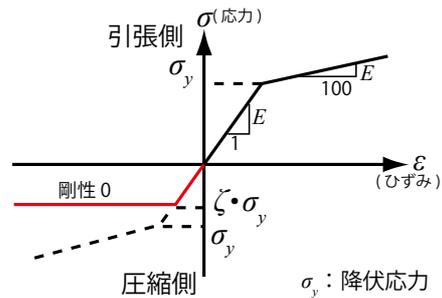
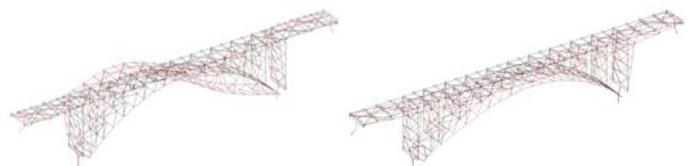


図-3 鋼部材の局部座屈の考え方



(a) 橋軸方向 (b) 橋軸直角方向

図-4 固有モード

ード(図-4)を対象とした。

プッシュオーバー解析は、水平震度×質量より算出される荷重を橋軸および橋軸直角方向に漸増载荷させた。ここで水平震度は、動的解析によりアーチリブの支間中央部の橋軸方向および橋軸直角方向の最大応答変位を算出し、最大応答変位時の最大応答加速度を重力加速度で割ることで算出した。本研究では、最大応答変位時の水平震度を、レベル2地震による震度とした。この水平震度以上は超過外力となる。動的解析の結果、レベル2地震による水平震度は0.45であった。

解析は、水平震度0.001刻みで漸増载荷し、解析が不安定になり終了するまで実施した。

3. 解析結果

橋軸方向に载荷した場合の荷重-変位関係を図-5に示す。図中にはレベル2地震時の水平震度も示した。図より、①支柱、②補剛桁、③床版、④アーチリブの順で損傷が進展している。またレベル2地震動時の水平震度を超えると、徐々に剛性が小さくなり、水平震度が0.85程度で解析が終了した。図-6は解析終了時のひずみのコンター図である(床版部は図に表示していない)。図の凡例は、部材の損傷度(解析終了時のひずみを降伏ひずみで割ったもの)であり、1.0以上は部材が降伏(損傷)している。図より、支柱部が最も損傷度が大きくなっている(損傷度:13.9)。このとき、床版部は引張により鉄筋が降伏したことも確認した。

図-7は橋軸直角方向に载荷した時の荷重-変位関係である。図より、損傷は①アーチ2次部材、②アーチリブ、③支柱の順で進展している。レベル2地震時の水平震度を超えると、支柱部やアーチリブが損傷し、水平震度が0.5程度で終了した。図-8に示す解析終了時のひずみのコンター図より、支柱の基部で損傷が大きくなっている(損傷度:21.7)。また、床版部については橋軸直角方向に载荷しても、降伏には達していないことを確認した。

4. まとめ

本研究では、耐震補強した橋に、超過外力が作用した時の橋の挙動を解析により検討した。その結果、本モデルは超過外力が作用した場合における、橋の損傷順序を確認できた。この結果を踏まえて、最終的な崩壊につながる損傷はどの部材であるか、またどのように損傷順序をコントロールしていけばよいか、引き続き検討を行っていく。

参考文献

1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012。

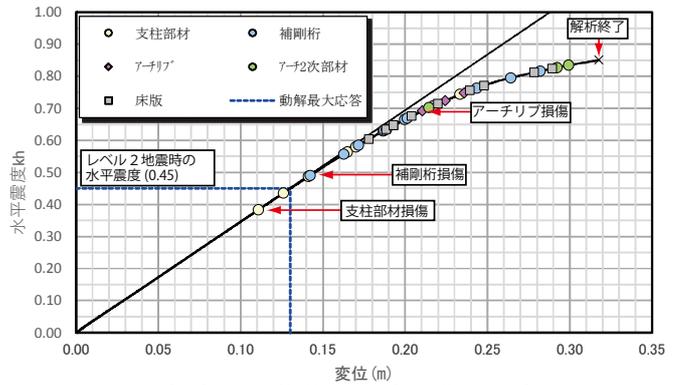


図-5 橋軸方向に载荷した時の荷重-変位関係

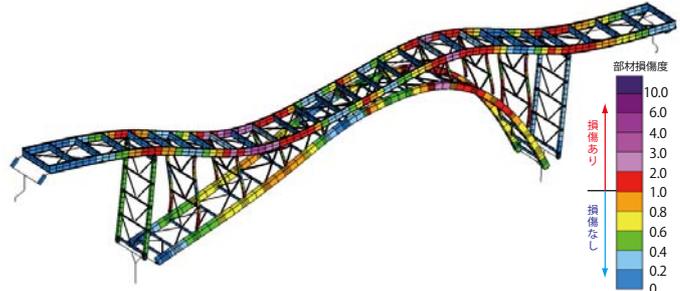


図-6 解析終了時のひずみのコンター図 (変形倍率10倍)

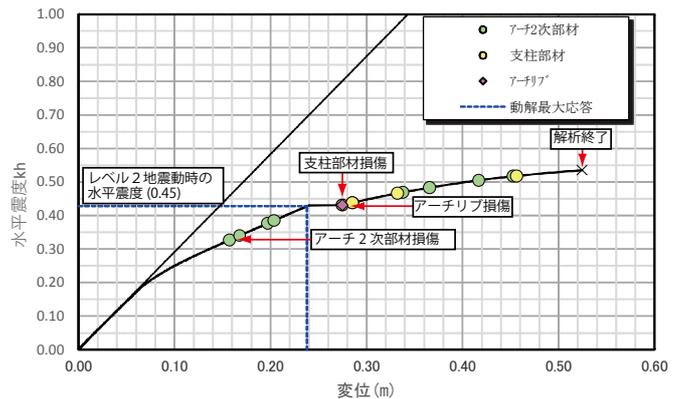


図-7 橋軸直角方向に载荷した時の荷重-変位関係

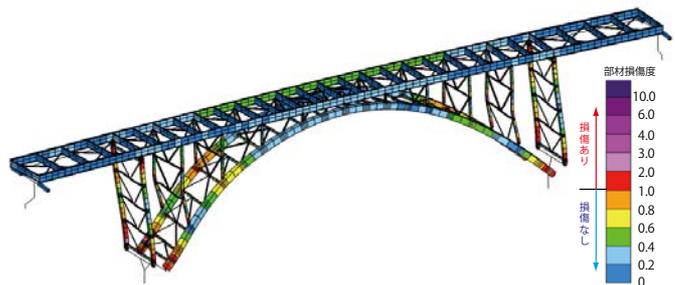


図-8 解析終了時のひずみのコンター図 (変形倍率10倍)