

鋼上路式アーチ橋の支持条件の違いが橋の終局挙動に及ぼす影響に関する検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○横山 朋弘, 宮田 秀太, 中尾 尚史, 大住 道生

1. はじめに 地震の影響に対する道路橋の耐荷性能の照査においては、過去の地震被害を基に、地震動特性のばらつきを考慮した設計地震動に対する応答が限界状態を超えないことを確認する。しかし、設計地震動を上回る地震動が発生し、限界状態を超えてしまう可能性は否定できない。限界状態を超えた場合でも、橋が致命的な被害に至りにくく、早期に応急復旧が可能な状態であることが望ましい。そのためには、橋に想定を超える作用（以下、超過作用と称する）が生じて損傷していく過程（以下、損傷過程と称する）について把握すると共に、限界状態を超えた以降もより望ましい状態であるための損傷過程（以下、損傷シナリオと称する）を想定し、誘導することが有効と考えられる。既往の研究¹⁾では、超過作用を受けた時の橋にとって致命的な被害の特定や、橋の損傷シナリオをデザインする方法について検討されている。また、損傷シナリオに誘導する方法として、各部材の余剰耐力に差を設けることで損傷する部材を制御する方法（以下、損傷制御方法と称する）が考えられている。橋の損傷シナリオをデザインする手法を確立するためには、多様な橋種や構造条件の橋における望ましい損傷シナリオと有効な損傷制御方法を検討し、一般化することが有効である。本研究では、超過作用に対する損傷シナリオをデザインする方法の一般化に向け、鋼上路式アーチ橋を対象に、支持条件の違いによる損傷過程への影響や望ましい損傷シナリオ、それに誘導するための損傷制御方法について検討した。

2. 解析概要 レベル2地震動に耐えられるように設計されたアーチ橋を基に、アーチリブ基部がピン支持の解析モデル（以下、ピンモデルと称する）を作成した。また、ピンモデルのアーチリブ基部における面内回転を固定とする解析モデル（以下、剛結モデルと称する）を作成した（図-1）。

本解析は、2次元骨組モデルを用いた線形解析とする。図-2の解析フローに示す手順により非線形の影響を考慮しつつ、損傷過程を逐次把握した。載荷荷重は、固有値解析によって得られた基本モードに変形が合うように各節点にベクトル値として入力した。全塑性モーメントは、軸力を考慮して算出した²⁾。曲げモーメントを作用力、全塑性モーメントを抵抗値とし、作用力が抵抗値に達したときに塑性化したと判定する。塑性化が判定された部材には、図-2に示すようにヒンジ点を挿入する。塑性化の判定は、図-1に示す「●」の箇所で行った。本解析は、部材が塑性化すると共に解析モデルの静定次数を判定し、構造不安定と判定されたときを橋全体系の終局と仮定した。

3. 支承条件の違いに着目した損傷過程の比較 図-3にピンモデルの

損傷過程、図-4に剛結モデルの損傷過程を示す。図の解析モデルは橋全体系の終局直前の変形、番号は損傷の順番を示し、最初の損傷箇所を青、終局の起因となる損傷箇所を赤、補剛桁の損傷番号を○、アーチリブの損傷番号を□で示す。ピンモデルの損傷過程は、①～⑥補剛桁、⑦引張側アーチリブ、⑧補剛桁と⑨圧縮側アーチリブ、⑩補剛桁と⑪圧縮側アーチリブの順である。剛結モデルの損傷過程は、①～⑥補剛桁、⑦引張側アーチリブ基部、⑧圧縮側アーチリブ、⑨圧縮側アーチリブ基部、⑩～⑭補剛桁とアーチリブ、⑮補剛桁と⑯圧縮側アーチリブの順である。剛結モデルは、ピンモデルと比較して、終局に至るまでに多くの損傷が生じている。また、剛結モデルは損傷過程でアーチリブ基部に損傷が生じており、以降ピンモデルに近い挙動が見られ、アーチリブ基部が剛結であ

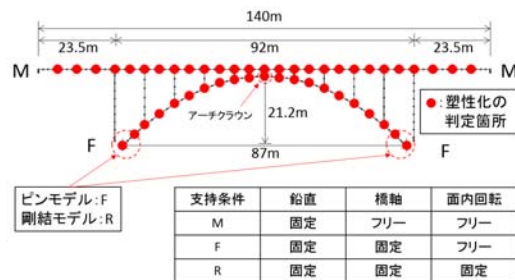


図-1 解析モデル

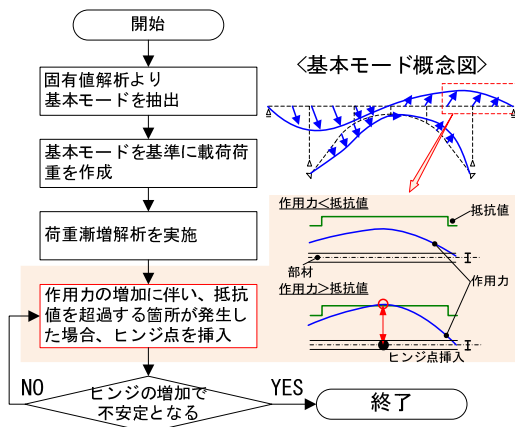


図-2 解析フロー

キーワード 超過作用, 損傷シナリオ, 損傷制御, 骨組解析, 鋼上路式アーチ橋

連絡先 〒305-0035 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

ることによりアーチリブ全体にかかる断面力を低減させているという効果が失われていると考えられる。

4. 損傷シナリオのデザイン 超過作用による損傷過程から望ましい損傷シナリオを仮定し、それに誘導するための損傷制御方法を考え、損傷過程及び効果について検討した。

4.1 望ましい損傷シナリオ及び損傷制御方法 既往の研究³⁾で、ピンモデルはアーチリブの支承部に損傷を誘導する検討が行われている。その比較として、最初に損傷が生じた時に圧縮側アーチリブ基部の支承の水平方向の拘束をフリーにするという損傷制御を検討した。剛結モデルではアーチリブ基部が損傷に至りにくい損傷シナリオが望ましいと仮定し、アーチリブ基部を塑性化させないという損傷制御を検討した。

4.2 ピンモデルにおける損傷制御の効果 図-5 に損傷制御するケースの損傷過程及び損傷制御箇所を示す。損傷制御しないケースと比較して、圧縮側補剛桁と圧縮側アーチリブが損傷しにくくなっていることが分かる。図-6 に荷重変位関係を示す。載荷荷重は、固有値解析より得た基本モードを基に定めており、荷重の絶対値に意味がない。そのため、橋全体系で最初に塑性化した時の荷重で載荷荷重を割り正規化したものを正規化荷重として用いる。変位はアーチクラウンの水平変位を示す。荷重変位関係より、損傷制御しないケースと比較して、構造不安定となった時の正規化荷重はやや小さいが水平変位は大きいことが分かる。

4.3 剛結モデルにおける損傷制御の効果 図-7 に損傷制御するケースの損傷過程及び損傷制御箇所を示す。損傷制御しないケースと比較して、早い段階にアーチリブに損傷が生じず、補剛桁の損傷により終局に至る。また、図-8 に示す荷重変位関係より、損傷制御しないケースと比較して、構造不安定となった時の正規化荷重と水平変位が大きい。

5. まとめ 鋼上路式アーチ橋を対象に、アーチリブの支持条件がピン支持のモデル及び剛結のモデルにおける損傷過程を解析的に検討した。また、望ましい損傷シナリオを仮定し、それに誘導するための損傷制御方法を考え、その効果を検討した。その結果、アーチリブの支持条件が剛結のモデルにおいて、アーチリブ基部の損傷を遅らせることで橋全体系の終局に至りにくくなることが確認できた。今後、他の構造条件においても望ましい損傷シナリオや損傷制御方法を検討し、デザインする手法を確立することで一般化を進める。

参考文献 1) 大住道生, 西弘明, 中尾尚史: 超過作用に対する橋の損傷シナリオをコントロールする新たな考え方, 土木技術資料, 60-4, pp12-15, 2018. 2) 土木学会: 座屈設計ガイドライン改訂第2版, 2005. 3) 中尾尚史, 大住道生: 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2 損傷を制御した場合の橋の挙動), 平成29年度全国大会第72回年次学術講演会, 2017.

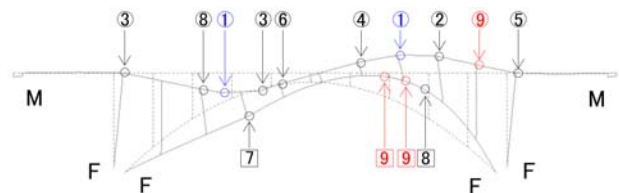


図-3 損傷過程 (ピンモデル: 損傷制御なし)

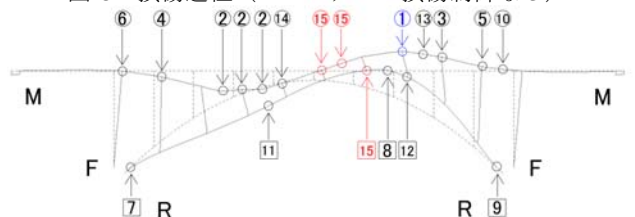


図-4 損傷過程 (剛結モデル: 損傷制御なし)



図-5 損傷過程 (ピンモデル: 損傷制御あり)

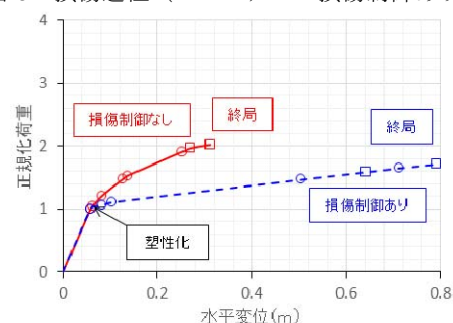


図-6 荷重変位関係 (ピンモデル)

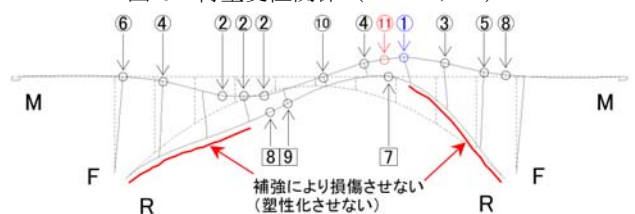


図-7 損傷過程 (剛結モデル: 損傷制御あり)

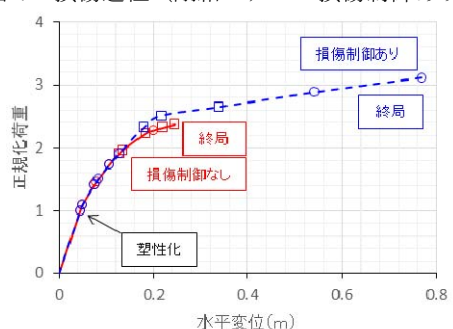


図-8 荷重変位関係 (剛結モデル)