

第I部門

ミャンマーにおける鋼中路式アーチ橋のプッシュオーバー解析に基づく耐震性能評価

京都大学大学院地球環境学舎	学生員	○大城 雄希
京都大学大学院工学研究科	正会員	杉浦 邦征
京都大学大学院工学研究科	正会員	松村 政秀
Yangon Technological University	非会員	Khin Maung Zaw

1. 緒言

ミャンマー連邦共和国では予算や技術、制度の確立といった観点から、橋梁の維持管理に問題を抱えている。また、現地では、2012年と2016年はマグニチュード6.8規模の地震が発生しており、経年劣化した構造物に対して重大な被害を及ぼす可能性がある。そのため、地震に耐える橋梁の補修補強方法の策定をすることは急務となる。

本研究では図-1に示すような、ミャンマー連邦共和国に位置する鋼中路式アーチ橋の健全時における耐震性能評価を目的とする。対象橋梁はAASHTO 12th edition¹⁾によって設計され2008年に竣工し、その設計震度は0.1gである。また、研究手法として、有限要素法を用いた数値解析を採用する。解析を実施するにあたり、モデルの妥当性の検証は必要不可欠となる。そこで、本研究では現地振動実験に基づき橋梁の振動特性を同定し、その実橋から得られた振動特性と解析モデルの振動特性を比較することによってモデルの妥当性を検証する。

2. 現地振動実験

走行車両により励起される橋梁の常時振動を計測するために加速度計を設置した。本実験では、アーチ部1.5径間にのみ着目する。ここで、サンプリング周波数は200Hzであり、応答加速度は通過周波数帯域0.1Hzから3Hzのバンドパスフィルタによって処理を行った。

振動特性同定手法には周波数領域分解 (Frequency Domain Decomposition : FDD) を用いた²⁾。FDDによって得られた結果より、鉛直曲げ1次モードは0.52Hz、鉛直曲げ2次モードは0.98Hz、鉛直曲げ3次モードは1.98Hz、橋軸直角1次モードは0.85Hz、橋軸直角2次モードは1.53Hzとなった。

3. 固有値解析および解析モデルの妥当性の検証

FDDによって同定された振動モードと、解析モデルを用いた固有値解析によって同定された振動モードの

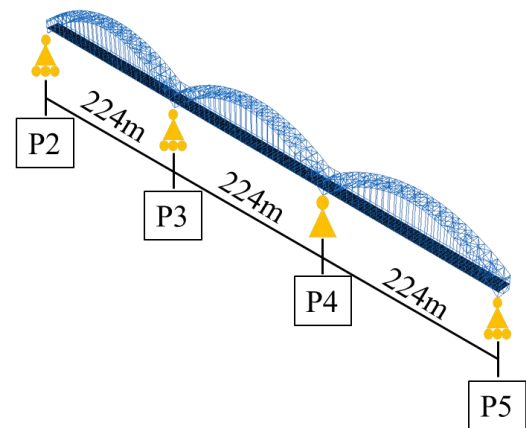


図-1 対象橋梁概観図

比較から解析モデルの妥当性を検証する。検証のための比較にはモード信頼性評価基準 (Modal Assurance Criterion : MAC) 値、有効質量比、モード形状等を用いた。解析モデルは床版を4節点線形シェル要素で、その他部材を2節点線形はり要素で作成した。RC床版はコンクリート部材として扱い、密度2700 kg/m³、ヤング率25GPa、ポアソン比0.2の弾性材料とした。また、その他に用いた鋼材は、密度7850 kg/m³、ヤング率200GPa、ポアソン比0.3、降伏応力345 MPa、となっている。ここで、応力-ひずみ関係は2次勾配E/100のバイリニア型とした。境界条件はP4をピン支承とし、その他を橋軸方向に可動なローラー支承とした。

固有値解析によって得られた結果より、鉛直曲げ1次モードは0.54Hz、鉛直曲げ2次モードは1.10Hz、鉛直曲げ3次モードは2.25Hz、橋軸直角1次モードは0.84Hz、橋軸直角2次モードは1.44Hzとなり現地振動実験より得た結果とおおむね等しくなった。

次にモデルの妥当性の検証を行う。鉛直曲げモードについては、1次、2次、3次のそれぞれのMAC値が0.99、0.99、0.93となり、1に極めて近く妥当なモード選定であることが分かる。一方、橋軸直角方向のモードでは、最大でもMAC値が0.87という結果となり、MAC値を

用いたモード選定が難しく、モード形状や有効質量比といった要素からモード選定を行った。アーチ橋において特に重要となる鉛直曲げモードの固有周期が近く、そのモード選定が適切であることがMAC値により示されたので、本モデルを用いて有限要素解析を実施していく。

4. 静的解析および解析結果

プッシュオーバー解析は、FEモデルの各質点に橋梁鉛直下方向に重力加速度を作用させ自重を与える。その後、水平方向に漸増する加速度FEモデルの各質点に作用させ弾塑性解析を行いその応答値に基づき性能を評価する。作用させる加速度の最大値は複数部材が降伏するまでとし、本ケースでは、1.0gまでとした。荷重方向は橋軸方向と橋軸直角方向の2方向をそれぞれ異なるケースで行う。これにより、降伏応力を超える部材の算定を行う。この時、評価にはMises応力を用いた。

橋軸方向のプッシュオーバー解析によって得られた結果を図に示す。図-2は水平震度0.5g時の解析モデル全体のMises応力コンター図を示しており、それぞれの部材の降伏時の水平震度を示している。水平震度が0.7gを超えると、複数のアーチリブが降伏に至った。本解析により、特に中央径間部のアーチリブが水平震度0.25gと最も低い値で降伏した。これは、ピン支承によって移動が制限されるため、他のアーチリブよりも力が作用しやすいからだと考えられる。また、図-3はプッシュオーバー解析時の水平震度-水平変位曲線であり、それぞれの部材が降伏する点をマーキングしてある。変位抽出位置は、中央径間のアーチ最上部の中心を取っている。

次に、橋軸直角方向のプッシュオーバー解析によって得られた結果を図-4に示す。橋軸方向と同様に、水平震度0.5g時のコンター図であり、支承部付近の横構は中央の二ヶ所の支承部にて水平震度0.22gで降伏に至った。また、この時の水平震度-水平変位曲線を図-5に示す。

5. 結言

本研究では、鋼中路式アーチ橋のプッシュオーバー解析を実施し、その耐震性能の評価を行った。以下に、本研究によって得られた結論を示す。

- 1) 現地振動実験データを用いたFDDと有限要素解析の比較からモデルの妥当性を明らかにした。
- 2) プッシュオーバー解析時の降伏部材および、降伏シナリオを明らかにした。

今後は、上記の結果に加え地震応答解析を実施し、より詳細な地震時応答を確認する予定である。また、最終

的には数値解析に基づき耐震補強案の考案を行い、現地での地震に対して十分な性能を確保することを目指す。

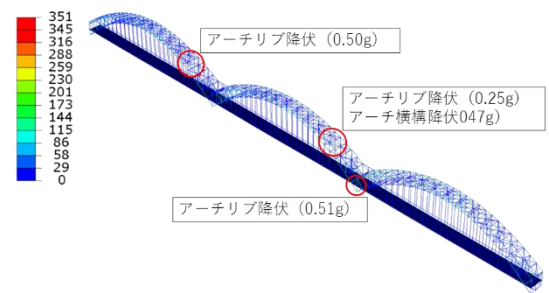


図-2 Mises 応力コンター図（橋軸方向荷重）

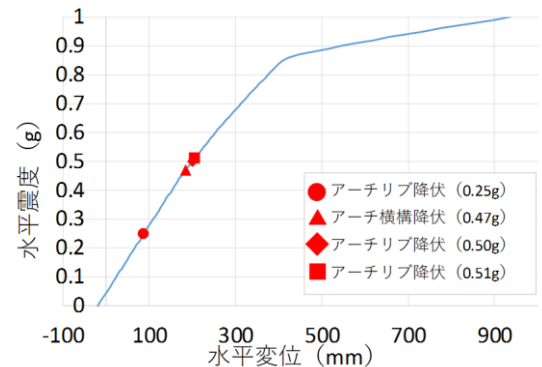


図-3 水平震度-水平変位曲線（橋軸方向荷重）

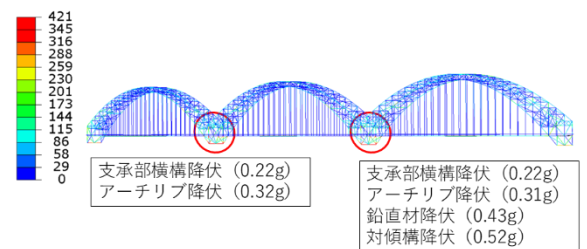


図-4 Mises 応力コンター図（橋軸直角方向荷重）

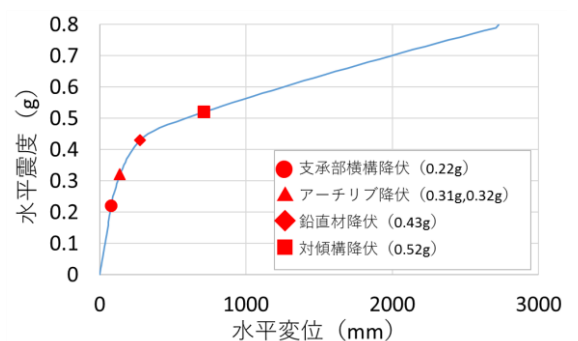


図-5 水平震度-水平変位曲線（橋軸直角方向荷重）

参考文献

- 1) AASHTO, Standard Specifications for Highway Bridges, 12th edition, American Association of State Highway and Officials, 1977.
- 2) Rune Brincker, Lingmi Zhang, Palle Anderson : Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition.