

拘束ブレース材のエネルギー吸収能を考慮した鋼上路式アーチ橋の 耐震補強に関する研究

広島大学 学生会員 ○福島 博貴
広島大学 正会員 藤井 堅

1. はじめに

1995 年に発生した兵庫県南部地震後、道路橋示方書の耐震基準が大幅に改定されたことにより、改定前に架設されていた橋梁は現在の耐震基準を満たしていない「既存不適格」橋梁となっている。現在の耐震基準を満たすために、これらの橋梁を全て架け替えることは、膨大な時間とコストを要することとなり、現実的とはいえない。そこで現在、橋梁の下横構や対傾構などの 2 次部材の変形能を改善することにより耐震性能を向上させる研究が盛んに行われている。通常、2 次部材は地震発生時、圧縮力により座屈するため、十分なエネルギー吸収能を期待することができない。この改善策として、2 次部材に拘束管を取り付けて座屈を防止することができる拘束ブレース材を用いることで、エネルギー吸収能を飛躍的に増大できることが示されている。しかしながら、これらの部材を既設橋梁に用いた際の橋梁全体の地震応答がどのように改善され、変化するかについてはあまり明らかとなっていない。そこで本研究では、鋼管によって拘束された H 型鋼の履歴ループをモデル化し、それを鋼上路式アーチ橋の 2 次部材として解析モデルに組み込み、橋全体の非線形地震応答解析を行うことにより、拘束ブレース材の耐震性向上効果を明らかにすることを目的とする。

2. 解析方法

解析対象は、Fig.1 に示すような橋長 221m、アーチ支間長 130m、側径間部に高さ 25m の RC 橋脚を有する鋼上路式アーチ橋である。解析モデルは 2 次部材である対傾構、下横構を除いた鋼部材および

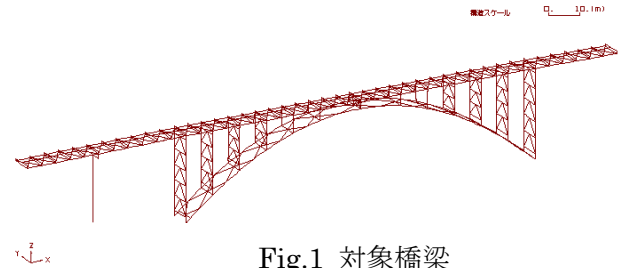


Fig.1 対象橋梁

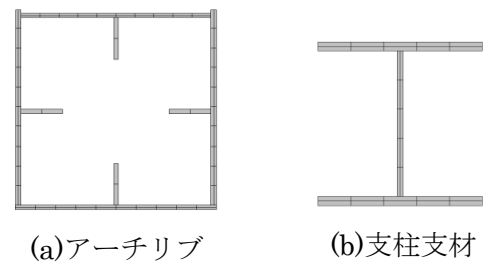
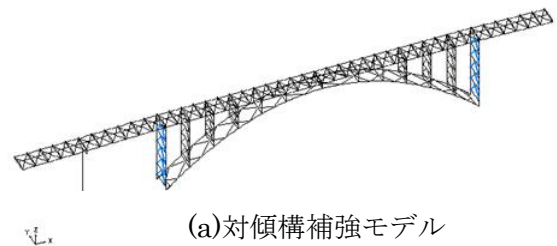
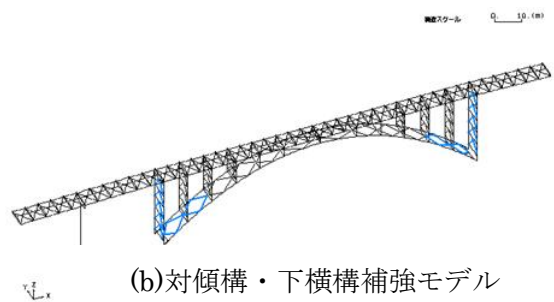


Fig.2 ファイバー要素分割



(a) 対傾構補強モデル



(b) 対傾構・下横構補強モデル

Fig.3 拘束ブレース材の導入箇所

table1 拘束ブレース材の断面積および降伏軸力

	対傾構		
	断面積(m ²)	引張降伏軸力(KN)	圧縮降伏軸力(KN)
元の構造	0.00900	2838	-2101
拘束ブレース材	0.00357	1126	-951
	下横構		
	断面積(m ²)	引張降伏軸力(KN)	圧縮降伏軸力(KN)
元の構造	0.0117	3691	-2731
拘束ブレース材	0.00642	2025	-1709

RC 床板は、軸力変動や 2 軸曲げの影響を自動的に考慮できる $\sigma - \varepsilon$ 関係を用いた 3 次元ファイバー要素、対傾構および下横構はトラス要素、RC 橋脚は線形はり要素を用いた 3 次元骨組モデルとした。また、鋼部材のファイバー要素は Fig.2 に示すように板厚方向に 2 分割、長手方向に 5~10 分割とした。解析には、それぞれ、拘束ブレース材を導入していないモデルを基本モデル、橋脚部の対傾構に拘束ブレース材を導入したモデルを対傾構補強モデル、対傾構とアーチリブの下横構に拘束ブレース材を導入したモデルを対傾構・下横構補強モデルとし、これらの 3 モデルを解析する。Fig.3 に各モデルの拘束ブレース材の導入箇所を示す。解析プログラムは構造解析用汎用プログラム TDAPⅢを使用し、入力地震動として道路橋示方書に規定されているレベル 2 地震動を橋軸直角方向に作用させた。

材料構成則は、2 次部材を除いた鋼材にはひずみ硬化を考慮した 2 次勾配が $E/100$ のバイリニア移動硬化則、コンクリートは線形弾性とした。2 次部材の材料構成則は、補強を施していない H 型鋼および H 型鋼に拘束管を取り付けることで補強を施した拘束ブレース材をそれぞれ FEM によって解析的に求めた。

また、拘束ブレース材に必要な性能として、レベル 1 地震動のような小規模地震発生の際は、橋梁の修復の必要性がないよう弾性域の応答でとどまり、レベル 2 地震動のような大規模地震発生の際には、早期に塑性域に達することで、エネルギー吸収能を高め、橋梁全体としての致命的損傷を防止する必要がある。そこで本研究では、基本モデルにレベル 1 地震動を作用させ、2 次部材に発生する最大軸力を求めることで、上記のような性能を満たすように拘束ブレース材の断面を設定した。Table1 に元の構造および拘束ブレース材の断面積、降伏軸力を示す。

3. 解析結果

各モデルに地震動を作用させた場合に塑性化する部材を Fig.4 に示す。図中、括弧内の値は主部材

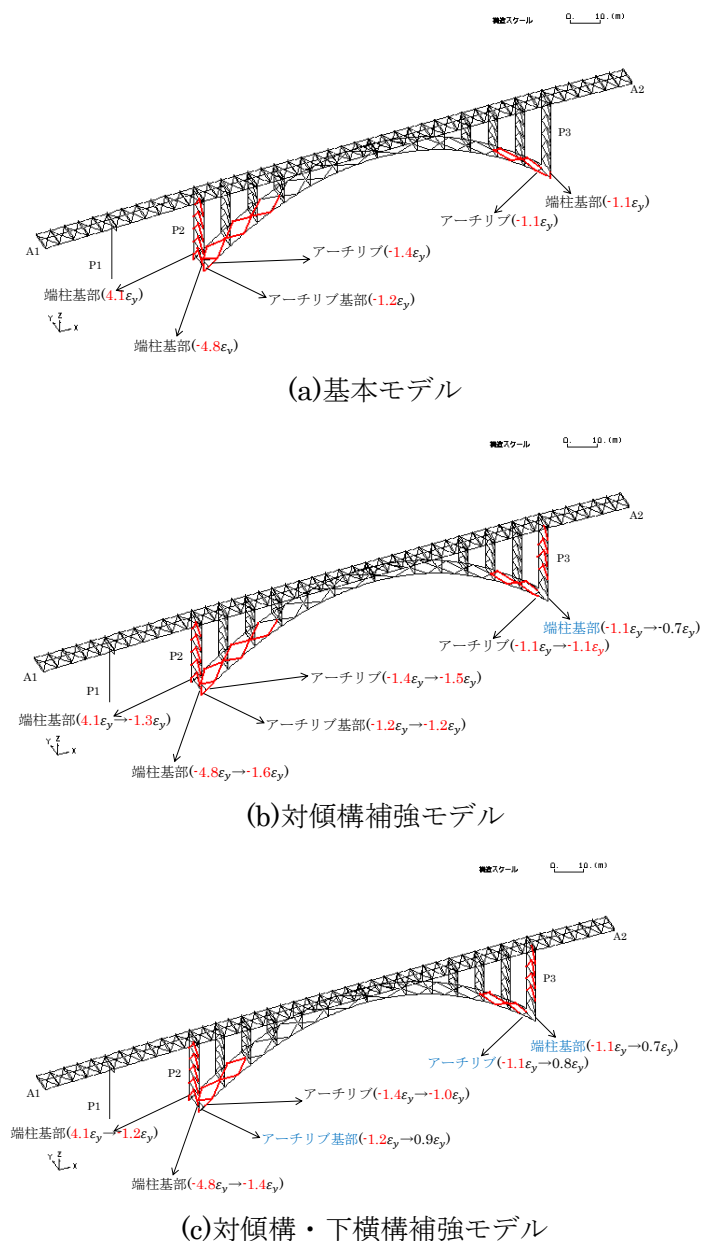


Fig.4 各モデルの塑性化する部材

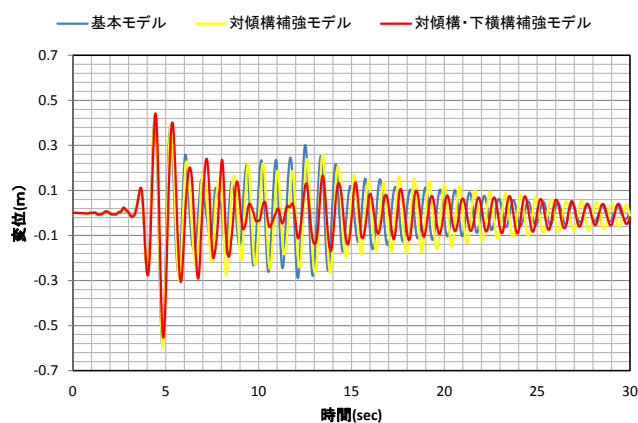


Fig.5 アーチクラウン部の水平変位

の最大応答ひずみと降伏ひずみとの比を基本モデルと比較したものを示している。また、青字で示されている部材は基本モデルでは塑性化していた部材が、拘束ブレース材を導入することにより塑性化しなくなった部材を表している。

基本モデルでは、上部構造は塑性化せず、P2 橋脚側の対傾構および、主部材であるアーチリブ、端柱基部といった下部構造が塑性化している。特に端柱基部の最大応答ひずみは $4.8\varepsilon_y$ と非常に大きなひずみが生じている。原因として、支承に鋼製ピン支承を用いており、境界条件として、橋軸直角方向の回転を自由、橋軸方向の回転を固定としているため、橋軸回り回転が拘束され、大きな曲げモーメントが発生しているからだと考えられる。

基本モデルと対傾構補強モデルを比較すると、対傾構補強モデルでは拘束ブレース材を導入した P3 橋脚側の 5 段の対傾構のうち、上 4 段が塑性化することで、主部材である端柱基部が塑性化しなくなったことがわかる。また、P2 橋脚側の端柱基部も塑性化はしているものの、最大応答ひずみをそれぞれ 3 分の 1 程に減少できている。しかし、アーチリブの最大応答ひずみに関してはほとんど変化が見られなかった。

基本モデルと対傾構・下横構補強モデルを比較すると、P3 橋脚側の端柱基部に加え、アーチリブ基部およびアーチリブ 1 箇所計 3 箇所の部材が塑性化していないことがわかる。原因として、拘束ブレース材を導入した部分の下横構がエネルギーを吸収したことで、その他の下横構における負担が小さくなったことが考えられる。端柱基部については、対傾構補強モデルより、最大応答ひずみをさらに減少させることができている。

アーチクラウン部の橋軸直角方向の水平変位について各モデルを比較したものを Fig.5 に示す。Fig.2 より最大応答変位は各モデルとも、あまり変化は見られなかったが、対傾構・下横構補強モデルの時刻 10 秒付近の変位は、他の 2 モデルに比べると非常に小さい応答値であることがわかる。

4. 結論

- 1) アーチリブの下横構に拘束ブレース材を導入することでアーチリブの応答ひずみを 3 割程減少させることができた。
- 2) 橋脚部の対傾構に拘束ブレース材を導入することで、塑性化はするものの、端柱基部の応答ひずみを 3 分の 1 程度に減少させることが可能となった。さらに、アーチリブの下横構にも導入することにより大きな改善効果が期待できる。
- 3) アーチリブの下横構に拘束ブレース材を導入することで橋軸直角方向の減衰効果が向上する。

参考文献

- 1) 宇佐美勉，加藤基規，葛西昭：制震ダンパーとしての座屈拘束ブレースの要求性能，構造工学論文集Ⅱ，Vol.50，pp.527-538，2004
- 2) 野中哲也，宇佐美勉，吉野広一，坂本佳子，鳥越卓志：上路式鋼アーチ橋の大地震時弾塑性挙動および耐震性向上に関する研究，土木学会論文集，No.731，Ⅰ-63，pp.31-49，2003
- 3) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編），2002