鋼アーチ橋における制震ブレースの最適配置・剛性及び強度に関する一考察

東邦ガス株式会社　正会員　○中上　彩香
名古屋大学　正会員　葛西　昭
名古屋大学　フェロー　宇佐美　勉

1. 緒言

土木鋼構造物の耐震性向上策として制震部材（制震ブレース）を導入する方法は，構造内でのエネルギー吸収を意図して取り替え可能な 2 次部材として組み込み，地震時における塑性変形による損傷をその部材に集中させることを期待する方法である. 近年では本方法の検討例がにわかに増え，その効果と有効性について報告されている．鋼アーチ橋のように部材数が多く構造が複雑な構造物に対して，制震ブレースを的確な配置に関しては検討が不十分である．そこで本研究では，鋼アーチ橋を例題とし制震ブレースの諸量（最適配置，剛性，強度）を簡易に見出すガイドラインを提案する.

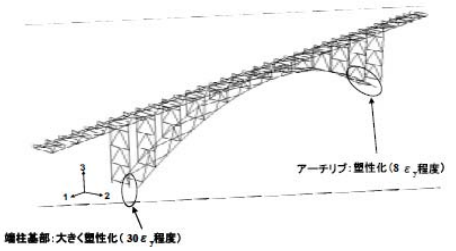

図-1　対象アーチ橋とひずみ発生領域

2. 対象橋梁

対象としたのは，文献 1)でベンチマークとして用いられているもので，**図-1** に示すような橋長 173m，アーチ支間長 114m，アーチライズ 16.87m の 2 ヒンジ上路式RC床版の鋼アーチ橋である. 解析モデルの節点数は462，要素数は 884，減衰は質量比例型減衰を用いている．鋼材の構成則はバイリニア型移動硬化則を用い，コンクリートの構成則は圧縮強度に達した後にも強度劣化が生じないモデルとした．なお解析には，材料非線形に加え幾何学的非線形性も考慮した.

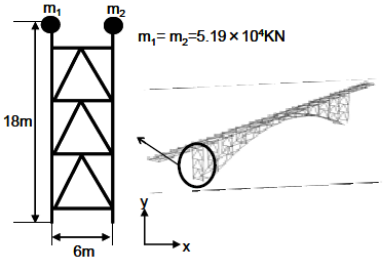

図-2　端柱モデルの概要図

3. 橋軸方向地震応答解析

本検討では，橋軸直角方向に地震動を受けた場合のみを考える．レベル 2 タイプⅡ地震動であるJR鷹取駅調整波・NS成分（JRT-NS-M）を入力した場合，端柱基部とアーチリブ基部がそれぞれ $30\varepsilon_y$と $8\varepsilon_y$となり（**図-1**），大きく塑性化を起こした．こうした損傷状態を受け，主部材である補剛桁やアーチリブの損傷を軽減すべく，対傾構や下横構を制震ブレースに取り替える耐震性能向上策を講じる．しかしながらアーチ橋は構造が複雑なため，ここでは端柱を抜き出したモデルを作成し，制震ブレースの配置箇所や断面積を変化させることによる傾向をつかむ予備検討を実施した.

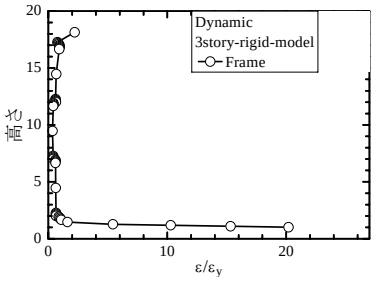

図-3　端柱モデルのひずみ分布

4.　端柱を抜き出したモデルによる予備検討

作成した端柱モデルは，柱や横材の長さ，断面積，断面形状，鋼材はアーチ橋の端柱と同一とし，上部構造重量は震度法設計を満たすように定め，両柱の頂部に載荷する（**図-2** 参照）. 本モデルに対して JRT-NS-M を入力し，地震応答解析を行った．**図-3** は，端柱の右柱のひずみ分布を示したもので，横軸には，柱の各要素の圧縮側フランジの軸ひずみの最大値を降伏ひずみで無次元化したもの，縦軸には端柱の y 軸方向の高さをとっている．この結果より，端柱モデルの場合もアーチ橋の端柱と同様に基部に大きなひずみが発生する．そこでこのひずみを低減させるために斜材を制震ブレースに取り替えることを考える.

表-1　制震ブレースの配置パターンと断面積

※斜材SMA490材　制震ブレースSS400材を使用
※各数字はもとの斜材を1としたときの断面積を示す
※ ■ ・・・制震ブレース配置層

	①-3	①-2	①-1
3層	0.5	1	1
2層	1	0.5	1
1層	1	1	0.5

	②-23	②-12	②-13
3層	0.5	1	0.5
2層	0.5	0.5	1
1層	1	0.5	0.5

	③
3層	0.5
2層	0.5
1層	0.5

	②-23-1	②-23-2	②-12-1	②-12-2	②-13-1	②-13-1
3層	0.25	0.5	1	1	0.25	0.5
2層	0.5	0.25	0.25	0.5	1	1
1層	1	1	0.5	0.25	0.5	0.25

	③-1	③-2	③-3	③-4	③-5	③-6
3層	0.25	0.75	0.75	0.5	0.25	0.5
2層	0.5	0.5	0.25	0.25	0.75	0.75
1層	0.75	0.25	0.5	0.75	0.5	0.25

キーワード：鋼アーチ橋，耐震性能向上策，制震ブレース
連絡先：〒464-8603　名古屋市千種区不老町　TEL 052-789-4617

こでは傾向を見抜くため，**表-1** に示すように，制震ブレースの配置箇所と各層の制震ブレースの断面積の割合をパラメトリックに変え，全 20 パターンの制震ブレース付き端柱モデルを用意した．本例題では各モデル名は最初の囲み数字が制震ブレースを配置する層の数，2 つ目の数字が配置する層の数字（下から 1 層，2 層，3 層），3 つ目の数字は断面積のパターンを分けるためのものである．

図-3 と同様に地震応答解析結果としてひずみ分布を**図-4** に示す．以上の結果より，制震ブレースを配置する際の指標を以下にまとめる．

(i) 制震ブレースを配置することによりその層の柱のひずみは増加する．そこで，配置する層にはもともと軸ひずみが比較的小さい層（或いはその付近の層）を選択する． これは，例えば図-4(a)(b)のようにある 1 層のみ制震ブレースに取り替えた場合は，その層の剛性が構造物全体の中で局部的に弱くなるため，ひずみが集中して発生するためである．

(ii) その上で，ひずみが比較的大きい部位（或いはその付近）の制震ブレースには大きな断面積を与える．また，逆にひずみの発生が小さく収まった部位には小さな断面積の制震ブレースを与える． さらに局所的なひずみ集中を生じさせないために，制震ブレースは複数の箇所に配置し，断面積は各層で極端な格差が生じないようにバランスよく与えることが望ましい．

以上より，構造物に過度なひずみ集中を起こさないことが重要である．

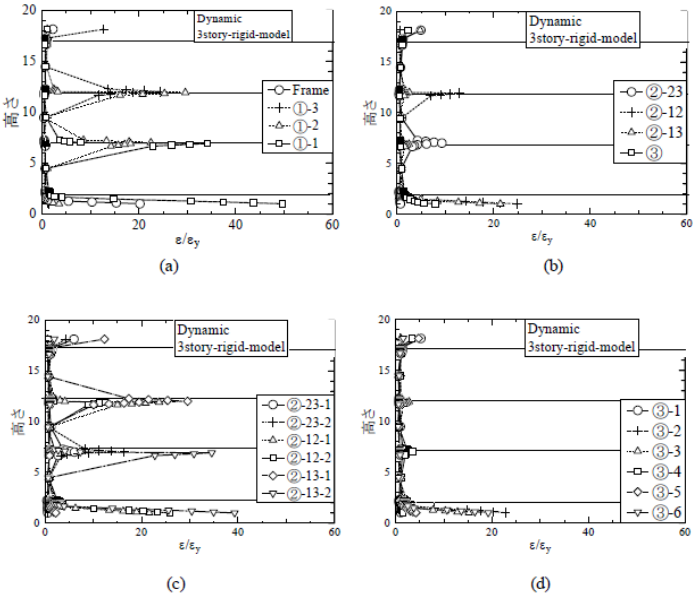

図-4 端柱モデルの地震応答解析結果

5. ひずみ分布により制震ブレースの諸量を推定するガイドライン

この指針を基に，アーチ橋などにも適用可能な制震ブレースを導入する際のガイドラインを提案する．そのフローを**図-5** に示す．本研究ではフロー中の①の制震ブレースの諸量の初期値の決定法として，(1)配置箇所は対象橋梁のひずみ分布を基に，前節の指針に従い選択する，(2)断面積は，選択した配置層に生じた平均ひずみの比率を断面積の比率として採用する，という方法を提案した．実際に端柱モデルに対して本方法を適用した結果，制震ブレースの初期値では大きな応答の低減効果は得られなかったが全 6 回の繰り返し計算の結果，元のひずみを約 1/5 にまで低減できることを確認した．

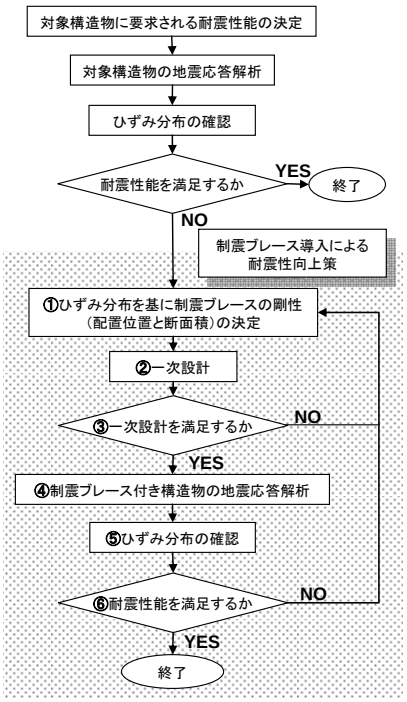

図-5　ひずみ分布による推定法のフロー

6. アーチ橋に対する最適な制震ブレース導入の試み

本方法を実際にアーチ橋に適用する．本研究では本アーチ橋に期待する耐震性能として健全度 2 以内を掲げる．これは具体的には全部材の軸ひずみを $2\varepsilon_y$ 以内に収めることで表される．ここで，本アーチ橋に過度なひずみ集中を起こさせないための制震ブレースの配置パターンはいくつか考えられるが，本例題では端柱については全層，アーチリブについては 2～4 層に配置することを選択した．そして，この配置層の平均ひずみの比率に基づいて制震ブレースの断面積の比率を得た．なお，本研究では制震ブレースの断面積の最大値を元の斜材の 1/3 と設定した．これは既往の研究や経験に基づいた本対象アーチ橋における値である．

以上より得られた制震ブレースを導入した本アーチ橋に対して地震応答解析を行ったところ，一次設計を満足し，なおかつ地震応答解析結果から，全部材の軸ひずみが，耐震基準である $2\varepsilon_y$ 以内に収まっていることが確認できた．

参考文献

1) 日本鋼構造協会・鋼橋の性能照査型耐震設計法検討委員会（2003）：土木鋼構造物の動的耐震性能照査法と耐震性向上策，鋼橋の性能照査型耐震設計法検討委員会（委員長：宇佐美勉），383p.