鋼トラス上部工(片品川橋)の耐震補強設計における二次部材の限界状態に関する解析的検討

日立造船㈱ 〇正会員 松下 裕明 正会員 樫本 修二 東日本高速道路㈱ 正会員 浅井 貴幸 非会員 丸山 純一 ㈱地震工学研究開発センター 正会員 鳥越 卓志

# 1. はじめに

関越自動車道片品川橋は,群馬県沼田市付近に位置する昭和60年に開通した3連の鋼3径間連続トラス橋(図-1) である.主構高約14m~25m,主構間隔約16mでほとんどの橋脚が60m以上の高橋脚であることから多脚ヒンジ構造 が採用されている点に特徴を持つ.片品川橋の耐震性照査ではレベル2地震動に対する二次部材の限界状態として 副次的な塑性化<sup>1)</sup>を許容させる方針としたが,その限界値の設定にあたっては片品川橋の動的応答特性を考慮して 決定する必要があった.本稿は,FEM 解析および弾塑性有限変位動的応答解析により片品川橋の二次部材の限界状 態の設定方法を検討した結果について示すものである.

### 2. FEM 解析による部材の限界状態の検討

図1に示す片品川橋に対して橋軸直角方向地震時に着目し、図2に示す対傾構を含む横断面を代表断面として抽 出した上で、図3に示す様にシェルモデルでモデル化した<sup>2)</sup>.境界条件は図2に示す様に下弦材位置を拘束し、上 弦材位置に水平方向に強制変位を与えた.載荷は強制変位量を一方向に漸増させるプッシュオーバー解析、および 正負交番させながら増加させる繰り返し解析の2ケースとした.なお、解析では材料および幾何学非線形性を考慮 し、材料構成則は二次勾配が E/100 のバイリニアモデルとした.また、初期不正として初期たわみを考慮した.

図5にプッシュオーバー(一方向)解析および繰り返し載荷解析から得られた荷重(部材軸力)-水平変位関係を 示す.また,図中には比較のため弾塑性有限変位動的応答解析に用いたファイバーモデルによる解析結果を併記す る.なお,ファイバーモデルのモデル化の詳細は文献2に示すとおりである.図4に示す様に、シェルモデのでは 水平変位が約28mmに到達後、剛性低下が始まった.この時、図5のMises応力コンター図に示す様に、ガセット周 辺および箱断面からI断面への遷移区間で塑性域に達していることが分かる.さらに、一方向解析では水平変位が



キーワード 鋼トラス上部工,耐震性照査,二次部材,限界状態,FEM解析 連絡先:〒559-8559 大阪市住之江区南港北1-7-89 日立造船(株)鉄構・橋梁部 TEL:06-6569-0261 FAX:06-6569-0257

46~50mm,繰り返し解析では 40mm あるいは-34mm 程度に達した時,剛性が急激に低下を始めた.図5に一方向解析 での水平変位 46mm および 50mm で応力コンター図を示すが,剛性低下時に箱断面から I 断面への遷移区間で局部座 屈が生じていることが分かる.一方,図4にはファイバーモデルによる解析結果を併記しているが、シェルモデル と同じ水平変位を与えた時のファイバーモデル要素の最大ひずみはそれぞれ、水平変位 28mm の場合  $\epsilon_y$ ,水平変位 -34mm の場合  $10 \epsilon_y$ ,水平変位 40mm の場合  $18 \epsilon_y$ であった.よって、局部座屈を生じさせないことを部材の限界状態に設定した場合、その水平変位が-34mm 程度以下、すなわちファイバーモデルで  $10 \epsilon_y$ 以下とする必要がある.

## 3. 弾塑性有限変位動的解析による部材の限界状態の検討

塑性化した二次部材は地震時の動的応答の繰り返しによりその塑性化が進展する可能性がある.そこで,ファイバーモデルを用いた弾塑性有限変位動的解析により道路橋示方書<sup>11</sup>に示されたレベル2次地震動が連続して3回発生した場合の二次部材の塑性化の進展程度(最大応答ひずみ)を求めた.解析モデルは図-1に示す上部工全体をファイバーモデルでモデル化し,支承の免震化および巻き立てコンクリートをモデルに反映させている.モデル化の詳細は文献3に示すとおりである.図6に初回の解析で生じた最大応答ひずみに対する3回目の最大応答ひずみの関係を降伏ひずみで除して無次元化した値で示す.図に示す様に初回の最大応答ひずみが3 $\epsilon_y$ を超えると(例えば,4 $\epsilon_y$ の場合),3回目の最大応答ひずみが10 $\epsilon_y$ 以上(同,12 $\epsilon_y$ )となることから,前述の通り10 $\epsilon_y$ を二次部材の限界状態に設定した場合,初回の最大応答ひずみを3 $\epsilon_y$ 以下にする必要があることが分かる.なお,3 $\epsilon_y$ を限界値と設定した場合,図4より最大軸力の約90%程度の軸力を許容値に設定したこととなる.

### 4. おわりに

二次部材の限界状態の設定にあたり,片品川橋の検討 例を示した.なお,片品川橋では降伏ひずみの繰り返し に対する既設部材の溶接部の耐荷力評価が困難である ことから,安全性を考慮し,設定した限界値 3 ε y は形 鋼で構成された二次部材のみで採用した.この結果,具 体的な適用部位は下横構,中横構のみとなった.

本検討にあたっては、ご指導およびご検討頂いた「関 越自動車道 片品川橋補強検討委員会」〔委員長:早稲 田大学 依田照彦教授〕の委員の皆さまに感謝の意を表 します.



図 5 シェルモデルでの Mises 応力コンター図



### 参考文献

1)日本道路協会,道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編,2012.3,2)高久ほか,ファイバーモデルを用いた鋼トラ ス上部工の動的解析手法(関越自動車道 片品川橋),土木学会第 69 回年次学術講演概要集,2014.9,3) 塩畑ほか, 関越自動車道片品川橋鋼トラス上部工の耐震補強,土木学会第 68 回年次学術講演概要集,2013.9