上路式鋼トラス橋の津波時挙動に関する数値的検討

Numerical Study on Behavior of Upper Deck Type Steel Truss Bridges Subjected to Tsunami

塚田健一*

Kenichi TSUKADA

*構造強度学研究室(指導教員: 斉木 功 准教授)

近年の津波災害により、下部構造や支承の破壊によって橋梁が流出する被害が数多く報告されている. そのため、それらが十分な耐荷力を有していた場合の上部構造そのものの被害に関する知見は十分とは言えない. 橋梁の中でも、トラス橋はその桁高から津波により損傷しやすいと考えられる. 特に上路式では桁高が高くなるが、一方で対傾構により横荷重に抵抗することができる. 本研究では、上路式鋼トラス橋の津波時挙動を数値解析により明らかにし、効率的な補強方法を提案した.

Key Words : steel truss bridge, nonlinear finite element analysis, tsunami load, sway bracing

1. はじめに

近年の津波被害の調査¹⁾より,橋梁被害の特徴として 支承部や下部構造の破壊により桁が流失するということ が明らかになってきた.そのため,それらが健全であっ た場合,上部構造の津波耐荷力に関しての知見は十分と は言えない.トラス橋はその桁高から津波による被害を 受けやすく,特に上路式では桁高が高いために大きな転 倒モーメントが発生しうると考えた.そこで本研究では 上路式鋼トラス橋の津波時挙動を数値解析により明らか にし,それをもとに耐荷力を向上するための補強方法を 提案する.

2. 対象橋梁及び数値解析モデル

橋長70m,幅員8.6m,桁高10m,主構間隔8mの 単径間上路式プラットトラス橋を道路橋示方書²⁾に準 じて設計した.有限要素モデルの作成にあたり,RC 床版を板要素,鋼部材を梁要素によりモデル化し,格 点間は剛結,床組と床版間は剛体要素で結合した.鋼 材はすべて SM400 を想定した弾塑性体として、線形等 方硬化則及び von Mises の降伏条件を用いて, Young 率 2.1×10¹¹ N/m²,初期降伏応力 235 N/m²,塑性係数を Young 率の 10⁻² 倍とした. RC 床版は弾性体とした. この有限要素モデルを基本モデルとし、図-1に示す. 数値解析モデルとして,基本モデル,引張型モデル,ア ウトリガーモデル、ラティス型モデルを用いた. 引張型 モデルは、圧縮側端対傾構及び圧縮側端下横構が座屈し たと想定し同部材を取り除いたモデルである. アウトリ ガーモデルは、端ストラットを延長し、その端点と端垂 直材上端部を接続した主構面外に張り出すモデルであ る. ラティス型モデルは、図-2に示すように端対傾構及 び端下横構の骨組を格子状に組んだモデルである.

各数値モデルの解析には、幾何学的および材料非線形 を考慮した汎用ソフト NX NASTRAN を用いた.



図-2 ラティス型モデルにおける端対傾構及び端下横構

3. 津波外力モデル

津波外力を横方向力と上揚力が作用するものとして 考えた.横方向力は,道路橋示方書の風荷重に準じた水 平圧力から求め,流速5.0 m/s のときの主構片面の単位 部材長あたりの荷重 $W_{\rm H}$ とした.流速の変化を考慮する ため,荷重パラメータfを導入し, $f \times W_{\rm H}$ として主 構片面へ載荷する.上揚力は,静水面と下弦材下面との 距離が3m,津波高さが上弦材まで達するとして,幸左 ら³⁾の桁橋への上揚力モデル算定式を用いて橋軸方向単 位部材長あたりの荷重 $W_{\rm V}$ とした. $W_{\rm V}$ は流速に依存せ ず一定とし,橋軸方向まわりの転倒モーメントを増加さ せる W_{H} と同じ主構面下弦材のみへ載荷した.

死荷重による橋軸方向単位長さあたりの荷重 $D \ge W_V$ は流速に依存しないため、 $D \ge W_V$ を先行載荷した後 に、 $W_H \ge f$ によりゼロから漸増載荷させることとし た.よって荷重の大きさを $D + W_V + f \times W_H$ とした.

引張により相当塑性ひずみが2%となるときを、もしくは座屈により荷重が極大となるときを橋梁の崩壊と定義し、このときのfを耐荷力fmaxとする.

4. 解析結果及び考察

各モデルの基本モデルに対する鋼重を考慮した耐荷力 向上をパラメータ $\beta = W/W' \times f'_{max}/f_{max}$ により評価す る. Vは基本モデルの端対傾構及び端下横構の鋼重であ る. W', f'_{max} は検討後の同部材の鋼重及び耐荷力であ る.

基本モデルでは圧縮側端対傾構の格点中間部が座屈 し, *f*_{max} = 0.68 であった.

(1) 引張型モデル

引張型モデルでは $f'_{max} = 0.58$ であり、基本モデル で座屈に至ったf = 0.68では、引張側端対傾構及び端 下横構すべての箇所で相当塑性ひずみが 2%を超えてい た.このことより、基本モデルでは圧縮側端対傾構で座 屈した直後に引張側同部材が破断すると考えられ、設計 で考慮されていない圧縮部材の座屈は本橋全体の崩壊を 引き起こす critical member といえる.critical member を圧縮部材ではなく引張部材とすることで耐荷力向上を 目論み、引張型モデルの端対傾構及び端下横構の断面積 を増加させ解析を行った.端対傾構及び端下横構の鋼重 増加を 200% としたとき f > 1となり、**表**-1 にそのと きの基本モデルからの鋼重増加と f'_{max} を示す.**表**-1 よ り、端対傾構及び端下横構断面積を両方同時に増加させ たほうが、どちらか一方を増加させるよりも f'_{max} 及び β の向上を期待できることがわかった.

(2) アウトリガーモデル

アウトリガーの斜材には垂直材と同じ箱型断面を用 い,ストラットを両端部から両側4m張り出した.座屈 時の変形図を図-3に示す. RC 床版は図において省略し た. $f \wr f'_{max} = 0.95$ まで単調に増加し,固定ヒンジ側 端下横構で座屈した.基本モデルの critical member であ る圧縮側端対傾構は,アウトリガーを追加したことによ り軸力が基本モデルの軸力の 1/2 程度に減少し,座屈は 発生しなかったが,端下横構に座屈が発生した.また, アウトリガーを端対傾構の鋼重に加味するとして β を求 めると, $\beta = 0.41$ であり,効率的な補強ではなかった.

(3) ラティス型モデル

固定ヒンジ側から数えて二番目の下横構で最初に座屈 が生じ一旦 f は減少したが、その後に f は上昇し可動ヒ ンジ側端対傾構で座屈が生じ $f'_{max} = 1.37$ となった. 最初の座屈時の変形図を図-4 に示す.端部から二番目 の下横構の座屈後に f が一度上昇したことから同部材の 座屈は critical member でなく、端対傾構の座屈が critical member であることがわかった.また、流速 5 m/s に 相当する f = 1 のとき、モデル内において座屈の発生は なく最大相当塑性ひずみも 0.1% 程度であった.

図–5に、基本モデル及びラティス型モデルのfとモデル内で最大の相当塑性ひずみの関係を示す。ラティス型モデルでは初期降伏がf = 0.9程度であり、基本モデルに対し本橋への損傷の進行を遅らせることが確認された。また、 $\beta = 2.01$ であることから、効率的な耐荷力の

表-1 端対傾構及び端下横構鋼重増加割合及び解析結果



図-3 アウトリガーモデルの座屈変形 (f = 0.95, 変形2倍)



図-4 ラティス型モデルの座屈変形 (f = 1.37, 変形2倍)



図-5 荷重パラメータ f と相当塑性ひずみの関係

向上がなされた.各数値モデルの結果より,このラティ ス型モデルを提案することにした.

参考文献

- 国立技術政策総合研究所,独立行政法人土木研究所:東北 地方太平洋沖地震による橋梁の被災調査概要報告,2011.
- 日本道路協会: 道路橋示方書·同解説Ⅰ共通編Ⅱ鋼橋編, 2012.
- 3) 幸左賢二,宮島昌克,藤間功司,小野祐輔,重枝未玲,廣 岡明彦,木村吉郎:津波による道路構造物の被害予測とその軽減策に関する研究,道路政策の質の向上に資する技術 研究開発成果報告レポート,No.19-2,新道路技術会議, 2010.

(2013年2月12日提出)