

鋼トラス橋の時刻歴応答解析に用いる鋼部材の応力-ひずみ関係のモデル化に関する検討

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○道谷 梓 大阪大学大学院工学研究科 正会員 小野 潔

大阪大学大学院工学研究科 学生員 今村 哲平 大阪大学名誉教授 フェロー 西村 宣男

(株)地震工学研究開発センター 正会員 野中 哲也 (株)地震工学研究開発センター 正会員 馬越 一也

1. はじめに

道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編¹⁾(以下,「道示 V」という)では,地震に対して複雑な挙動を示す構造物に対して,動的解析を行うこととされている. 鋼トラス橋は複雑な挙動を示す構造物の一つであると考えられ,ファイバーモデルを用いた動的解析を行う例が報告されている. 他方,ファイバーモデルを用いた動的解析結果は応力-ひずみ関係の影響を受けることが知られている. しかしながら,ファイバーモデルを用いて鋼トラス橋の動的解析を行う際の適切な応力-ひずみ関係は提案されていないのが現状であると考えられる. また,既往の研究²⁾によると,鋼トラス橋の弦材などの主として軸力を受ける鋼部材では,降伏応力に達する前に全体座屈を起し,軸力-軸方向変位関係が非対称となることが報告されている. そのため,より適切に鋼トラス橋の地震時応答を評価するためには,圧縮側では全体座屈を考慮した応力-ひずみ関係を考える必要がある. そこで,本稿では,上落式鋼トラス橋を対象に,鋼部材の応力-ひずみ関係を変えて,レベル 2 地震動を入力地震動とした時刻歴応答解析を行った. そして,その解析結果をもとに,鋼部材の応力-ひずみ関係のモデル化が鋼トラス橋の地震時応答に与える影響について検討を行った.

2. 解析モデルおよび解析条件

2. 1 解析モデル

本研究では,複合非線形骨組解析プログラムとして,汎用プログラム EERC³⁾を用いて解析を行った. 対象とした上落式鋼トラス橋の解析モデルを図-1 示す. このモデルは JSSC のモデル⁴⁾を参考に局部座屈が発生しないように上下弦材,斜材,垂直材の板厚を 22 mm に変更している. 上下弦材,斜材,垂直材以外のコンクリート床版などのモデル化は, JSSC のモデル化⁴⁾の通りとした. また,各部材の要素分割は 4 分割以上とし,トラス弦材と腹材格点部の結合条件は剛結とした. 拘束条件は表-1 に示す. なお要素分割数,格点部のモデル化,床版のモデル化については今後詳細な検討が必要であると考えられる.

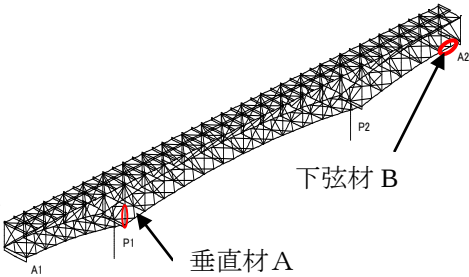


図-1 解析モデル

表-1 変位の拘束条件

支点	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
A1,P1,P2	自由	拘束	拘束
A2	拘束	拘束	拘束

2. 2 応力-ひずみ関係のモデル化

上下弦材,斜材,垂直材に対して図-2(a), (b), (c)に示す 3 つの応力-ひずみ関係を用いて解析を行った. 図-2(a)は 2 次勾配を $E/100$ とした応力-ひずみ関係(以下,「対称バイリニアモデル」という)である. 図-2(b)は圧縮において鋼部材の全体座屈による非線形性を考慮した応力-ひずみ関係(以下,「非対称バイリニアモデル」という)である. 図-2(c)は鋼部材を弾性体とした応力-ひずみ関係(以下,「線形モデル」という)である. 図-2(b)における圧縮側の 2 次勾配 E' は既往の研究²⁾を参考に決定し

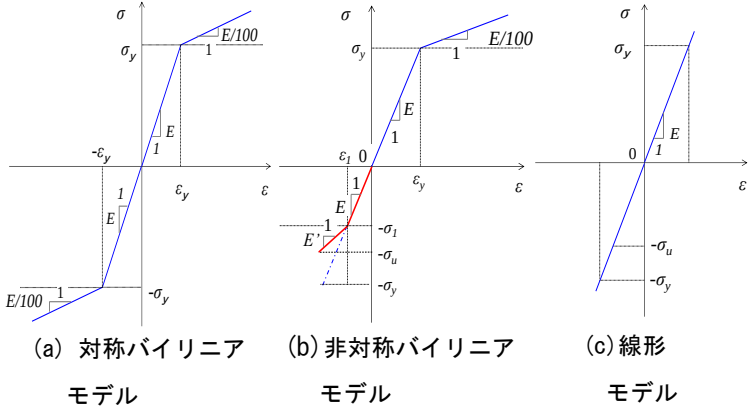


図-2 応力-ひずみ関係のモデル化

キーワード ファイバーモデル, 応力-ひずみ関係, トラス弦材, 全体座屈, 時刻歴応答解析

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL06-6879-7598

た. 図-2(b), (c)の σ_u は道示⁵⁾鋼橋編に記載されている溶接箱形断面鋼長柱の座屈応力度を用いた. また, 本稿では図-2(a)において勾配が変化する σ_1 を線形限界応力ということにする.

2. 3 動的解析条件

入力地震波としては, 道示V¹⁾の参考資料に示されるI種地盤のタイプIIの地震波II-I-1を用い, この入力地震波を橋軸方向, 橋軸直角方向に作用させた. また, 対象橋梁に対して死荷重が作用したときの静的解析を行い, これを初期状態とし, 幾何学的非線形性を考慮して時刻歴応答解析を行った. 積分法としては, ニューマークの β 法を用い, $\beta=1/4$ とした. 減衰についてはレーリー減衰を使用した. そしてレーリー減衰で採用する2つのモード次数は, 固有値解析結果をもとに, 橋軸方向では2次(固有周期を0.487秒)と3次(固有周期を0.467秒), 橋軸直角方向では1次(固有周期を0.662秒)と7次(固有周期を0.203秒)とした.

3. 解析結果

動的解析結果のうち, 橋軸直角方向において応答軸力が最も大きかった部材である垂直材Aと, 橋軸方向において応答軸力が最も大きかった部材である下弦材Bの位置を図-1に示す. それぞれの応答ひずみ ε を降伏ひずみ ε_y で除した $\varepsilon/\varepsilon_y$ の時刻歴を図-3, 図-4に示す. また図-5(a), (b)には垂直材A, 下弦材Bにおける応力-ひずみ関係の時刻歴, 圧縮側において座屈強度 σ_u/σ_y , 引張側において降伏応力 σ_y/σ_y をそれぞれに示す. 図-3より非対称バイリニアモデルにおいて $\varepsilon/\varepsilon_y$ に大きく差がみられる. この理由として図-5(a)に示すような非対称バイリニアモデルにおける σ_1 が σ_y より小さいため, 圧縮側のひずみが大きくなったことが考えられる. 一方, 図-4より対称バイリニアモデルにおいて差が見られる. この理由として図-5(b)より圧縮側のひずみが対称バイリニアモデルでは降伏応力を超えて塑性化していることが考えられる. 図-5(a), (b)よりどちらの部材についても圧縮側においては座屈強度, 引張側においては降伏応力と応答値との関係がそれぞれのモデルによって異なるため, 応力-ひずみ関係のモデル化の違いが耐震性能評価に影響を与えることがわかる. よって合理的に鋼トラス橋の耐震性能評価を行うには応力-ひずみ関係のモデル化を適切に行う必要がある.

4. まとめ

本稿では, 鋼部材の圧縮側における応力-ひずみ関係の違いが鋼トラス橋の地震時応答に与える影響について検討を行った. その結果, 応力-ひずみ関係のモデル化によってひずみ, または直応力の時刻歴応答に差が見られ, 耐震性能評価に影響を与えることがわかった. 今後, より適切な鋼部材の応力-ひずみ関係のモデル化について検討を進める予定である.

【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002年3月.
- 2) 谷上裕明: 軸力が卓越する矩形断面鋼部材の耐荷力および変形性能に関する研究, 大阪大学修士論文, 2011年2月.
- 3) (株)地震工学研究開発センター: EERC/Fiber User's Manual, 2007年.
- 4) (社)日本鋼構造協会: ファイバーモデルを用いた鋼橋の動的耐震解析の現状と信頼向上, 2009年9月.
- 5) 国土交通省: 道路橋示方書, 2012年2月.

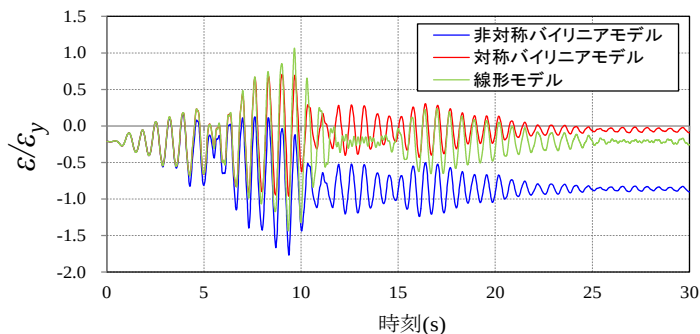


図-3 垂直材 A における $\varepsilon/\varepsilon_y$ の時刻歴応答

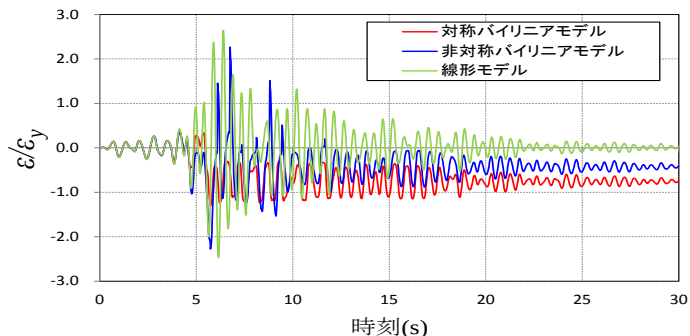
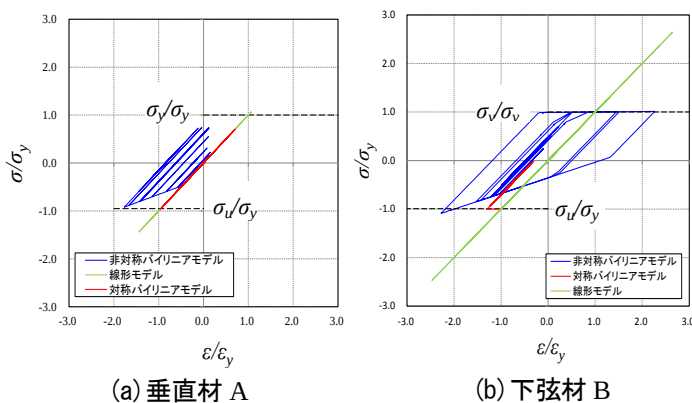


図-4 下弦材 B における $\varepsilon/\varepsilon_y$ の時刻歴応答



(a) 垂直材 A

(b) 下弦材 B

図-5 応力-ひずみ関係の履歴