

鶴見つばさ橋の構造パラメータの変化に対する振動モードの連成と地震応答の感度

筑波大学 学生会員 ○相良 翔 正会員 庄司 学

1. はじめに：本研究では、長周期のインフラ・ライフラインの代表例である吊形式橋梁の鶴見つばさ橋に焦点を当て、系の振動モード特性を踏まえ、構造パラメータの中の支配的なパラメータである弾性拘束ケーブルの軸剛性を変化させた場合の東北地方太平洋沖地震本震相当の地震動に対する地震応答の感度を明らかにする。

2. 鶴見つばさ橋の FE モデル：3 径間連続鋼斜張橋である鶴見つばさ橋の非線形フレームモデルを文献¹⁾²⁾に基づき構築した。主塔、主桁、端橋脚の横梁は線形梁要素でモデル化した。主塔並びに端橋脚の横梁の位置から基礎の天端までが橋脚基部と定義され、それらを非線形の梁要素でモデル化した。なお、その非線形性を表す曲げモーメント M と曲率 ϕ の関係は鉄筋で拘束されたコアコンクリートの破壊過程を考慮し、4 次の勾配まで考慮してモデル化した。主ケーブルは 6 種類の断面積を有し、引張方向に軸力のみを伝達するトラス要素としてモデル化した。基礎と地盤間のモデルは、橋軸方向及び橋軸直角方向における並進ばね、回転ばね及びそれらの連成を考慮した Sway-Rocking モデルでモデル化した。これらの非線形性は荷重—変位並びに荷重—回転角を 4 次の勾配まで考慮してモデル化した。ストッパーは非線形のばね要素、ベーンダンパーは非線形の粘性要素でモデル化した。弾性拘束ケーブルは、1 主塔につき約 117m のケーブルが 4 本ずつ設置されており、初期張力が最大で $9.0 \times 10^6 \text{ N}$ のトラス要素でモデル化した。ペンデル支承、鉛直支承はトラス要素、水平支承はばね要素としてモデル化した。境界条件は基礎—地盤間のばねの固定点を全方向固定、橋脚基部と基礎—地盤間のばねの取付部を鉛直方向並びに鉛直軸回りに対して固定とし、その他の節点については全て自由とした。以上のモデルを標準モデルと呼び、図 1 に標準モデルの 1 次から 6 次までの固有モード図を示す。

3. 本解析で用いるサイト波：東北地方太平洋沖地震で発生した地震波を 2 秒以上の長周期帯を計算できる空間 4 次、時間 2 次精度の有限差分法により推定した。計算領域は吸収領域を含め東西 635km×南北 668km×深さ 100km とした。上限周波数は 0.4Hz とした。サンプリング時間は 0.001s、計算時間は 250s とした。格子サイズは不連続面以浅は水平方向 200m 四方、鉛直方向 100m であり、不連続面以深はその 3 倍とした。吸収境界領域の減衰定数は不連続面以浅は 0.0025、以深は 0.0075 とした。得られた加速度波形を P1~P4 の各基礎の節点に多点異入力した。

4. 弾性拘束ケーブルの軸剛性に対する感度解析：弾性拘束ケーブルの軸剛性を減少させていった場合の 1 次モードから 6 次モードまでの固有周期の変化を図 2 に示す。図 3,4 に弾性拘束ケーブルの軸剛性の減少率(以下、減少率とする)が 50%,70%の場合の 1 次から 6 次モードまでの固有モード図を示す。図 5 に減少率が 50%の場合の P3-P4 間主桁での応答の時刻歴を示す。図 2 より、主桁遊動円木モードが主桁水平曲げ対称 1 次モードに近接し、その結果、主桁遊動円木モードの LG 方向の振幅が減少し、UD 方向の振幅が増大した。主桁遊動円木モードの寄与が大きい P3-P4 間主桁での LG 方向の応答が減少し、UD 方向の応答が増大した。図 6 にこのときのベーンダンパー並びに P3 位置基礎—地盤のばねの応答履歴を示す。主桁遊動円木モードが主桁水平曲げ対称 1 次モードに近接した場合、LG 方向の制振装置であるベーン型オイルダンパーの応答は増大し、P3 位置基礎—地盤間のばねの LG 方向の応答は減少した。図 7 に、減少率が 70%の場合の中央径間主桁での応答の時刻歴を示す。このとき、図 3,4 より、主桁遊動円木モードの振動モードの UD 方向の振幅は減少率が 50%のものよりも小さくなっているが、図 2 より、主桁遊動円木モードと主桁鉛直曲げ対称 1 次モードの固有周期が近接した結果連成が生じ、主桁鉛直曲げ対称 1 次モードの UD 方向の振幅が増大した。このため図 7 のように、主桁鉛直曲げ対称 1 次モードの寄与が大きい中央径間の主桁において UD 方向の応答が増大した。図 8 にこのときの P3 主塔橋脚並びにストッパーの応答履歴を示す。減少率が 70%のとき、P3 主塔橋脚の TR 軸周りのモーメントも増大した。LG 方向の制振装置であるストッパーの応答は減少した。弾性拘束ケーブルを設置しない場合である減少率が 100%の場合には、図 2 より、主桁遊動円木モードの固有周期がさらに増大し 14.237s に至り、入力地震動の振動数帯域から外れたため、LG 方向の応答がさらに減少した。

キーワード 東北地方太平洋沖地震、長周期地震動、振動モード特性、弾性拘束ケーブル、連成振動

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 大学院理工情報生命学術院 システム情報工学研究群 TEL029-853-7368

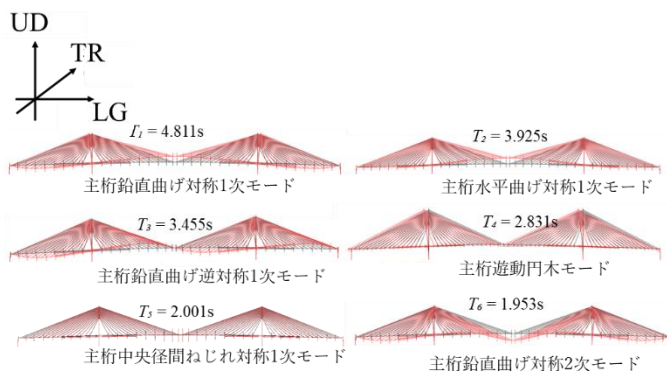


図-1 標準モデルのモード図

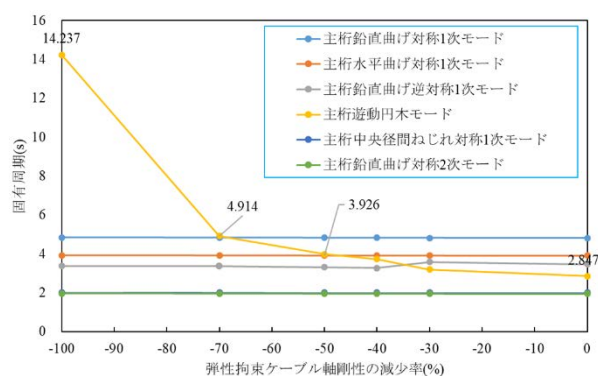


図-2 弾性拘束ケーブルの軸剛性の減少に対する固有周期の感度

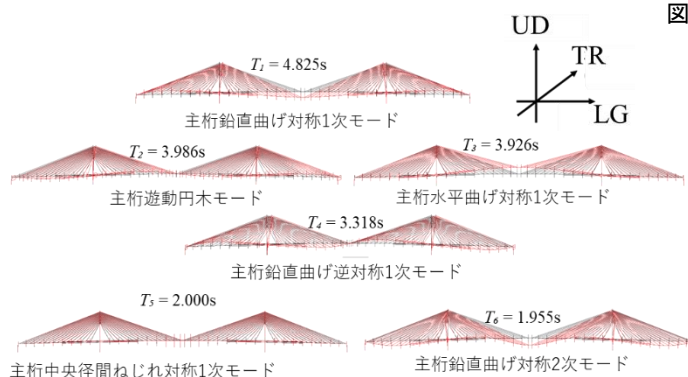


図-3 弾性拘束ケーブルの軸剛性の減少率 50%の場合

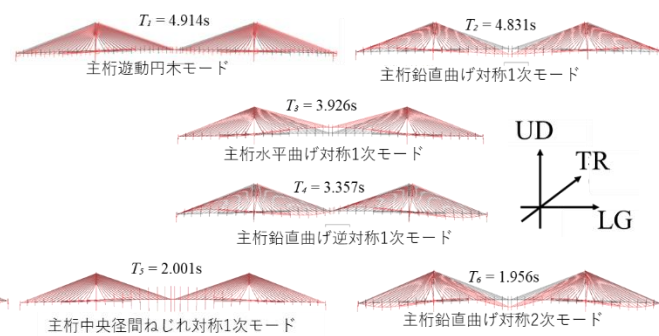
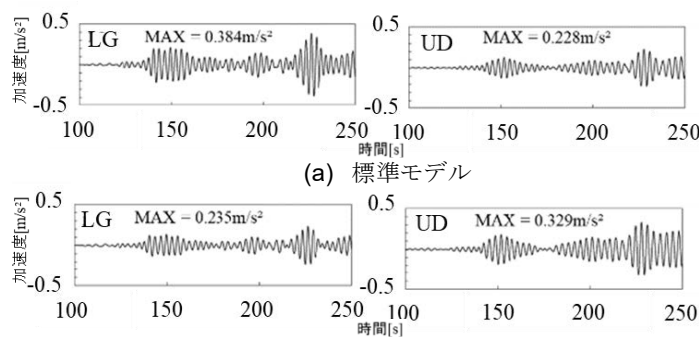


図-4 弾性拘束ケーブルの軸剛性の減少率 70%の場合



(b) 弾性拘束ケーブル軸剛性の減少率 50%

図-5 P3-P4 間主桁での応答加速度時刻歴

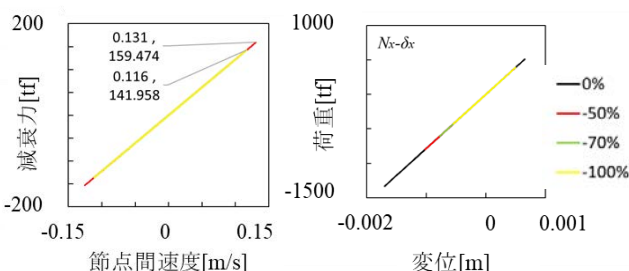
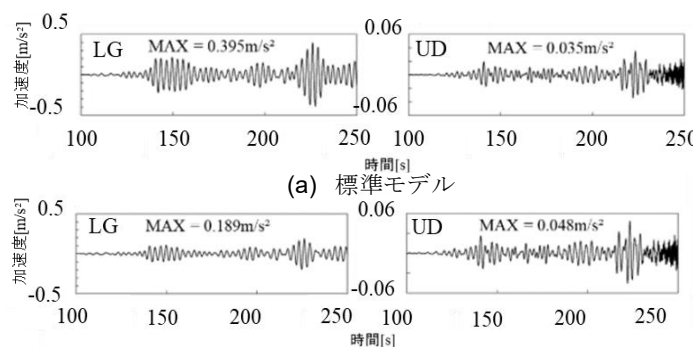


図-6 ベーンドンパー並びに P3 位置基礎一地盤ばね応答履歴



(b) 弾性拘束ケーブル軸剛性の減少率 70%

図-7 中央径間主桁での応答加速度時刻歴

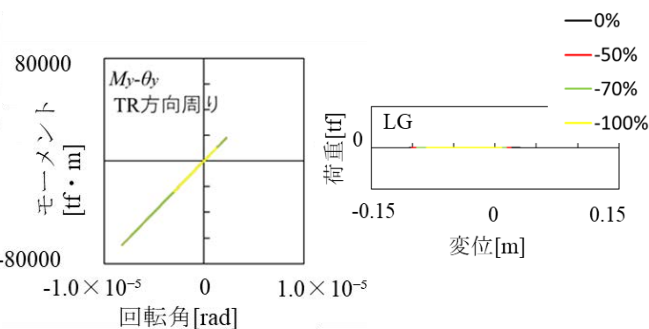


図-8 P3 主塔橋脚並びにストッパー応答履歴

5. まとめ: 鶴見つばさ橋の振動モード特性を踏まえ、構造パラメータの中の支配的なパラメータである弾性拘束ケーブルの軸剛性を変化させ、東北地方太平洋沖地震本震相当の地震動に対する地震応答の感度を明らかにした。

謝辞: 鶴見つばさ橋の構造設計データに関しては首都高速道路株式会社関係各位より貴重な研究情報を賜りました。東北地方太平洋沖地震の震源モデルは防災科学技術研究所の鈴木亘博士よりご提供いただきました。ここにすべての関係者に記して謝意を表します。

参考文献: 1)山本泰幹, 藤野陽三, 矢部正明: 地震観測された長大吊橋構造系橋梁の動的特性と動的解析モデルによる再現性, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.3, pp.738-757, 2009. 2)首都高速道路公団: 鶴見つばさ橋工事誌, pp.5-100 - 5-111, 1994.