

鋼吊橋の耐震解析における幾何学的非線形性の影響に関する研究

九州大学大学院工学府
九州大学大学院工学研究院

学生員 ○崔 準 祐
フェロー 大 塚 久 哲

1. まえがき

吊橋は、全体構造系としての固有周期が長いこと、免震効果を有している橋梁形式と考えられているようである。しかし吊橋は非常に高い可撓性を有する構造物であるため、地震時の応答変位が耐震設計の評価指標とされる場合があり、地震時の応答変位を精度よく計算する必要がある。そのため、ステップごとに釣り合い位置を求める幾何学的非線形性を考慮した地震応答解析を行うことが望ましいと考えられる。ここでは、全長 1260 m の長大吊橋について幾何学的非線形性を考慮した地震応答解析を行い、微小変形理論による結果と比較し、幾何学的非線形性の影響を評価した。

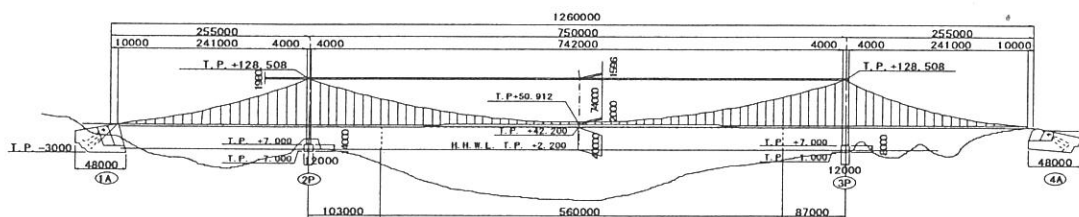


図-1 解析対象橋梁 (単位mm)

2. 解析概要

解析対象とした道路吊橋は、図-1に示す中央支間 750 m、サグ比 1/10、側径間 255 m の 3 径間 2 ヒンジ補剛箱桁吊橋である。補剛桁は鋼床版箱形式、主塔は単セル鋼ラーメン直塔形式とした。なお、両側径間は等径間化であり、全体的に対称な橋梁形式となっている。

図-2は解析モデルを示したものである。桁、主塔ははり要素で、ケーブルは圧縮力を受け持たないようにスケルトンを定義したケーブル要素とした。また、今回解析に用いたケーブル要素はケーブルの導入張力の設定による初期形状の決定が可能であるため、初期応力状態を考慮した解析を行った。

減衰にはレーリー減衰を用い、検討モデルに対して次数を決定した。なお、幾何学的非線形解析には Update Lagrange 法を用いた。入力地震波は、道示標準波である TYPE I、TYPE II、経験的手法により想定された海洋型タイプの関東地震波 (M7.9) を用いた。また、地盤は 1 種地盤とし、ケーブル以外は線形部材とした。図-3は入力地震動の変位応答スペクトルである。

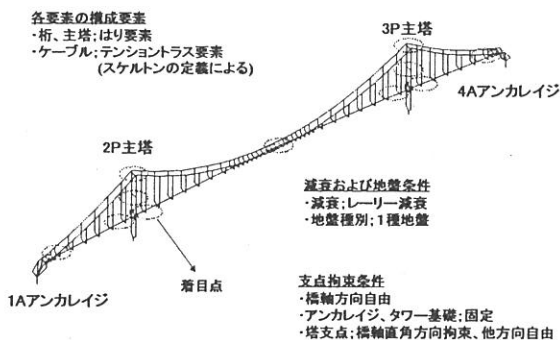


図-2 解析モデル

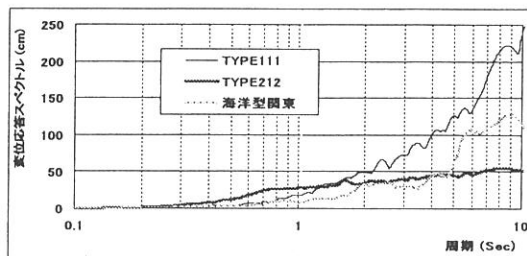


図-3 入力地震動の変位応答スペクトル

3. 解析結果

(1) 固有値解析

表-1は、幾何学的非線形性を考慮した固有値解析の結果で、主桁の変位モードが卓越する固有周期を示したものである。1次モードは固有周期13.113秒で、2次モードは7.594秒で中央径間部の主桁が大きく変形するモードである。図-3の入力地震動の変位応答スペクトルから判断できるように、TYPE I、海洋型タイプの関東地震のような長周期地震波作用時の変形量が大きいと予測できる。

(2) 幾何学的非線形性の影響

図-4、図-5は、それぞれ、図-2に示す着目点において、橋軸方向加震、橋軸直角方向加震に対する微小変形理論に対する大変形理論による最大応答変位の比をプロットしたものである。大変形理論による橋軸方向の応答値は、中央径間部において微小変形理論に比べ1.33倍と大きくなっており、中央径間部において幾何学的非線形性の影響が大きいことが分かる。また、橋軸直角方向には、主桁中央部において、海洋型関東地震で1.79倍、TYPE Iで0.98倍となるなど、各地震波によって発生する応答値にばらつきが見られる。これは、幾何学的非線形性の考慮による剛性変化のため、入力地震波に応じてその影響が異なると考えられる。

一方、図-6、図-7は、それぞれ、TYPE I、TYPE IIの橋軸直角方向加震時に対する主桁応答曲げモーメントを示したものである。TYPE I加震時には、中央径間部において、大変形理論による応答値が12000tf-mほど高くなっている一方、TYPE II加震時には全区間に亘って、応答の差が小さくなっており、TYPE Iのような長周期地震波の影響が大きいといえる。また、橋軸方向加震時の応答曲げモーメントに対しては、幾何学的非線形性の影響が小さく、微小変形理論により応答の評価ができた。

4. まとめ

解析対象に対して幾何学的非線形性を考慮した地震応答解析を行い、微小変形理論による解析結果と比較したところ、中央径間部の応答値ににおいて幾何学的非線形性の影響が顕著であった。これらを考慮の上、今後、ステイケーブルや伸縮装置の破損についての検討が必要であると考えられる。また、入力地震波に応じて幾何学的非線形性の影響が異なっており、種々の地震波に対する検討も不可欠であろう。

参考文献

- 1) 楠田広和：吊橋の幾何学的非線形性を考慮した地震応答解析および耐震性向上策の検討、構造工学論文集、Vol149A、2003.3
- 2) 土木学会：ケーブル・スペース構造の基礎と応用、1999.10

表-1 固有値解析結果

次数	振動数(Hz)	固有周期(Sec)	モード
1	0.0763	13.113	水平曲げ対称 1次
2	0.1317	7.594	主桁橋軸方向 1次
6	0.2182	4.583	主桁橋軸方向 2次
13	0.4134	2.419	水平曲げ対称 2次

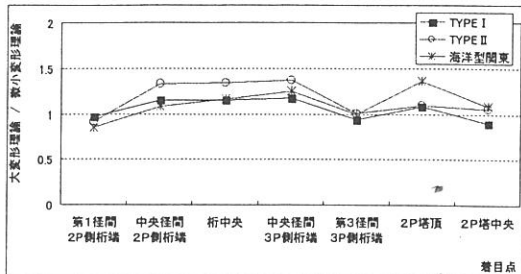


図-4 最大応答変位比較 (面内)

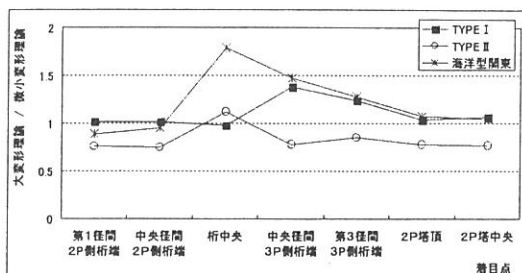


図-5 最大応答変位比較 (面外)

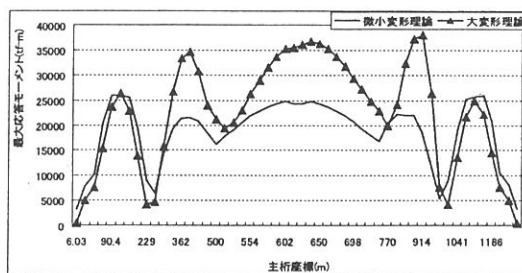


図-6 応答曲げモーメント (TYPE I 面外)

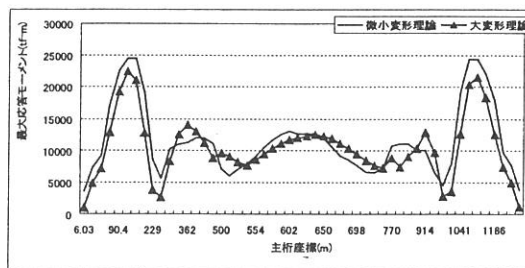


図-7 応答曲げモーメント (TYPE II 面外)