

吊橋（平戸大橋）の地震応答に及ぼすケーブルの緩みの影響

長崎大学大学院 学生会員○窪田 圭吾
三菱重工業(株) フェロー 犬束 洋志

長崎大学工学部 正会員 呉 慶雄
長崎大学工学部 フェロー 高橋 和雄
長崎大学工学部 正会員 中村 聖三

1. はじめに

多様な構造形式を持ち、地震時の挙動が複雑な吊橋は、動的照査法による地震応答評価を行うことが規定されている。吊橋においてはケーブルのモデル化が振動特性評価に与える影響は大きく、幾何学的非線形およびケーブルの緩みを考慮した解析を行うことが重要である¹⁾とされている。特に、レベル2の強地震が作用する場合にはケーブルに緩みが発生することが考えられるが、ケーブルの緩みを考慮した研究例は少ない。

著者らは、建設当時国内最大級の吊橋として架設された長崎県の平戸大橋を解析対象とし、幾何学的非線形性のみを考慮した解析を報告している²⁾。本研究ではケーブルの緩みも考慮した複合非線形地震応答解析を行い、メインケーブルおよびハンガーに緩みが発生する可能性を検討し、緩みが各部材の応答に与える影響を明らかにする。

2. 解析モデル

本研究では、2ヒンジ単純吊橋である平戸大橋を解析対象とする。平戸大橋は橋長709.4m、中央径間465.4m、幅員10.7mである。解析にあたって、補剛トラスは各部材をはり要素としてモデル化を行う。メインケーブルおよびハンガーは係数励振振動を考慮することができる3次元ケーブル要素³⁾を用いてモデル化を行う。解析対象橋梁である平戸大橋の解析モデルを図-1に示す。

メインケーブルおよびハンガーの緩みの影響を評価するための二つのモデルを図-2に示す。緩みを無視した通常のモデル（線形ケーブル）と、ケーブルの緩みを考慮し、ケーブルの応力が零より小さいときにヤング係数を零とするモデル（非線形ケーブル）を用いる。

減衰マトリクスは各要素の要素減衰定数を評価した剛性比例型減衰を用いる。ここで、要素減衰定数は、補剛トラスおよび主塔では0.02、ケーブルおよびハンガーでは0.01とする。

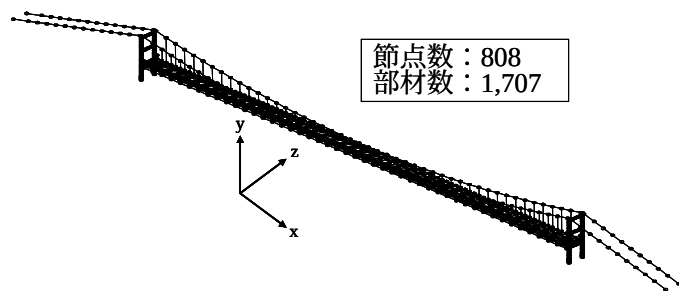
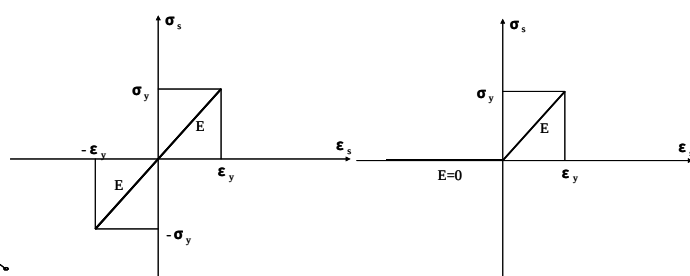


図-1 解析モデル



(a) 線形ケーブルモデル (b) 非線形ケーブルモデル

図-2 ケーブルの応力-ひずみ曲線

3. メインケーブルおよびハンガーの緩みが発生する可能性の検討

橋軸方向にタイプIIの標準地震波T221を入力する場合の地震応答解析の結果を示す。

メインケーブルの最大軸力を図-3に、ハンガーの最大軸力を図-4に示す。ここでは最大軸力 N を初期軸力 N_0 で除して無次元化した値を示している。また、図-5にメインケーブル中央部および中央ハンガーの軸力時刻歴応答を示す。ハンガーでは、図-4より中央部付近で軸力が零より小さくなり緩みが発生している。図-5よりハンガーでは緩みが発生するため非線形ケーブルを用いると軸変位が大きくなる。メインケーブルでは、図-3より端部にいくほど変動は大きくなるが圧縮力は生じていない。図-5によりメインケーブルでは初期軸力が大きいいためハンガーの緩みの影響は小さいといえる。

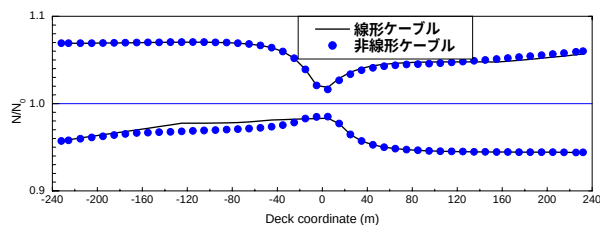


図 - 3 メインケーブルの最大軸力

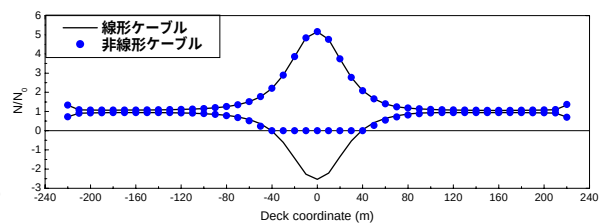
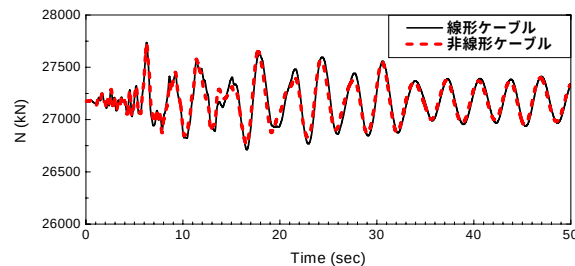
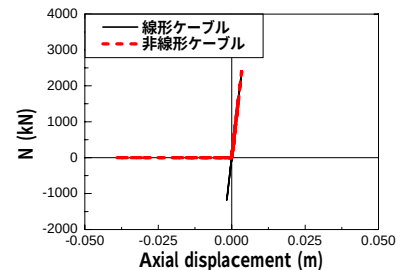


図 - 4 ハンガーの最大軸力



(a) メインケーブルの中央部



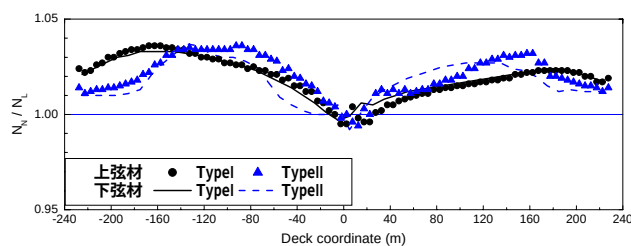
(b) 中央ハンガー

図 - 5 軸力時刻歴応答

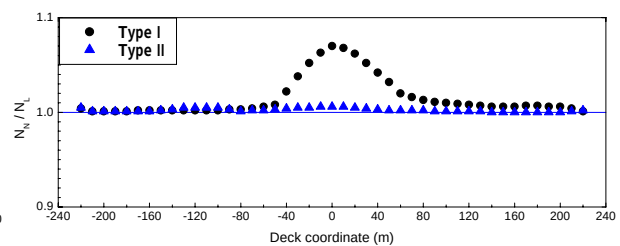
4. ケーブルの緩みが上部構造の応答に及ぼす影響

入力地震波のタイプの違いによるケーブルの緩みが上部構造の地震応答の影響を検討する。Ⅱ種地盤用のタイプⅠおよびタイプⅡの標準地震波3波形の入力地震波に対する動的解析結果の平均値を用いて評価する。図-6に橋軸方向加震時の補剛トラスおよびハンガーの最大軸力について、緩みを考慮した場合と考慮しない場合の解析結果の比を示している。ここで、 N_N は緩みを考慮した場合の最大軸力、 N_L は考慮しない場合の最大軸力を表す。ハンガーの軸力はタイプⅠの地震波を作用させた場合が大きく、圧縮力が現れるため緩みを考慮した場合に約10%大きくなる。また、ハンガーの緩みを考慮すると補剛トラスの軸力は最大約5%大きくなるが、地震波の違いによる影響は小さい。

また、橋軸直角方向に地震波を入力した地震応答を求めたところ、ハンガーに圧縮力はほとんど出現しないため、緩みの影響はないといえる。



(a) 補剛トラスの軸力



(b) ハンガーの軸力

図 - 6 緩みの影響

5. まとめ

以下に本研究のまとめを示す。

- 1) レベル2地震動を橋軸方向に作用させた場合に、中央部付近のハンガーで緩みが発生する。
- 2) ハンガーの緩みを考慮すると最大10%程度ハンガーの軸力が大きくなるが、緩みが吊橋全体の動的応答に与える影響は小さい。

参考文献

- 1) 大塚久哲, 楠田広和: 吊橋の幾何学的非線形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, Vol.49A, pp.521-530, 2003.3
- 2) 郭軍, 呉慶雄, 高橋和雄, 中村聖三, 犬束洋志: 平戸大橋の固有振動特性および耐震性に関する研究, 平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集第1分冊, pp.A-100-A-101, 2004.3
- 3) 高橋和雄, 大淵隆司, 呉慶雄, 中村聖三: 有限要素法によるケーブルの振動解析, 長崎大学工学部研究報告, 第33巻, 第61号, pp.103-108, 2003.7