

津波により漂流した大型船舶の衝突による 長大斜張橋主塔の衝突荷重分布に関する解析的検討

九州大学 学生会員 ○永原 稔之

九州大学大学院 正会員 崔 準祐

九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、津波により漂流した船舶が周辺の橋梁構造物に衝突するなどの被害を生じさせた。橋梁などの構造物の設計においてこうした船舶による衝突荷重を適切に考慮する必要があるが、衝突荷重の評価やその設計手法について確立されていない現状である。本稿では、地震によって発生した津波により漂流する大型船舶が長大斜張橋の主塔部に衝突した際の衝突荷重分布を求めることを目的とし、数値シミュレーション解析による検討を行った。さらに、正規分布より求められる衝突荷重分布の推定値と解析値の比較を行い、推定値の妥当性を検討した。

2. 解析モデルおよび解析ケース

2.1 解析対象主塔

本解析で想定する主塔の構造概要を図-1 に示す。橋長約 900m の鋼斜張橋の鋼製主塔を対象とし、ソリッド要素を使用してモデル化した。また同図には主塔基部の断面図を示しており、本研究では船舶による衝突荷重分布を精度よく評価するため、主塔において船舶に衝突される主塔断面については細かく分割した。また基部下は固定とした。

2.2 解析対象船舶

本解析で用いた衝突船舶モデルは、船長 227m、幅 36m、高さ 23m の質量 15000 トンの LNG 船を対象とした。船体はシェル要素としてモデル化し、主塔に衝突する船のバルブ部分に対しては、衝突時の変形を精度よく評価するため、内部構造も詳細にモデル化した。

2.3 船舶－主塔衝突解析のモデル化

解析モデルを図-2 に示しており、本モデルは流される船舶のバルブ部分が主塔の柱部に衝突するモデルになっている。漂流時の船舶は操縦不能状態になり、X 軸方向に流速 0.6m/s の津波に流される状態を仮定している。また、減衰と重力については、本解析において衝突荷重分布に与える影響が小さいもの

として考慮していない。解析ソフトは、LS-DYNA (Ver.971) を用いた。

2.4 解析ケース

本検討では、衝突する位置の高さの違いにより衝突荷重分布がどのように変化するのかについて検討を行った。ここでは、主塔柱の断面変化位置に船舶が衝突した際の衝突力が大きくなると考え、高さ 5.3m (Case1)、13.5m (Case2)、20.8m (Case3) の 3 つケースで衝突解析を行った。各ケースの衝突する部分を拡大した図を図-3 に示す。

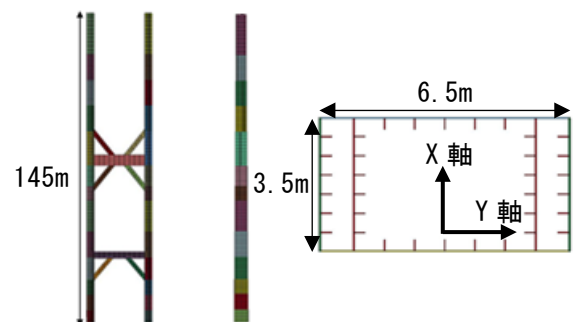


図-1 対象主塔の構造概要

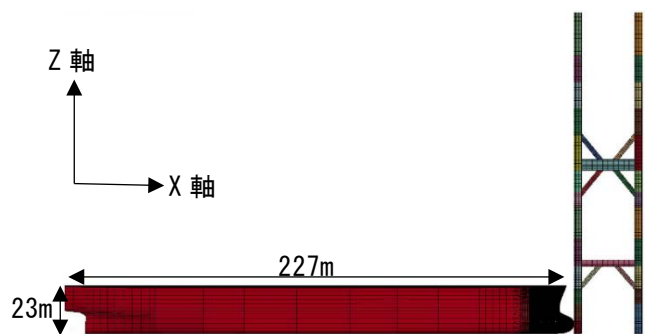


図-2 解析モデル (Case1)

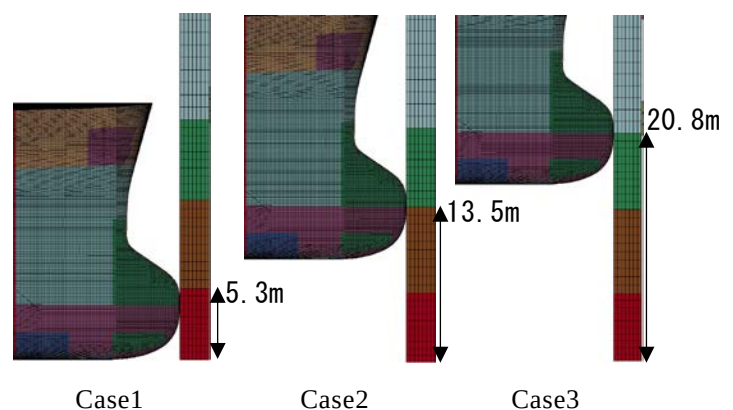


図-3 各ケースの衝突位置

3. 衝突する高さの違いによる衝突荷重分布の比較

Case1, 2, 3 の解析結果の比較を図-4、船舶の衝突による主塔柱の変形図を図-5 に示す。各ケースの最大衝突力を比較すると、Case1 で 14920kN、Case2 で 12719kN、Case3 で 12102kN であり、Case1 が最も大きいことがわかる。主塔の断面が変形することで衝突エネルギーを吸収するが、主塔の基部付近に衝突する場合は、基部下を固定としているため、衝突エネルギーを主塔全体で吸収しにくい状態になる。このため、吸収する衝突エネルギーが少なくなり、衝突面にかかる衝突力が大きくなったと考えられる。

4. 衝突荷重分布の推定値と解析値の比較

本検討で用いた衝突荷重分布の推定値は、文献 1) で用いられる手法と同様に、船舶は主塔に衝突した後に停止すると仮定し、その時に失う運動量が正規分布に従った衝突荷重分布に変わると考えた。衝突荷重分布を時間 t の関数として式(1)に表す。

$$F(t) = \frac{m v}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$F(t)$ は衝突荷重分布、 m は船舶質量、 v は衝突速度、 σ は標準偏差、 t は時刻、 μ は平均値（衝突時間の半分）とする。衝突時間は衝突荷重分布が正規分布に従うことを仮定するため、 6σ に等しいものとした。

本検討では、解析結果から衝突時間は Case1 で 2.3 秒、Case2 と Case3 で 2.8 秒となり、式(1)にそれぞれ代入して衝突荷重分布 $F(t)$ を求め、解析値と比較を行った。こうした正規分布より求めた値を推定値とし、解析値と比較したものを図-6 に示す。Case1、Case2、Case3 で解析値が推定値よりそれぞれ 5443kN、4869kN、4252kN 大きいことがわかる。これは、解析の場合、推定値の仮定と違い、船舶が主塔に衝突した直後に完全に停止せず、衝突後に主塔が船舶を跳ね返す力が衝突力に反映されていることが原因と考えられる。

5. まとめ

本数値シミュレーション解析により、船舶が斜張橋主塔の基部付近に衝突した場合、基部上面への衝突時に比べ衝突力が大きくなる可能性があることがわかった。また、本解析で得られた衝突力が正規分布より求められた推定値より高く評価されたが、今後様々な衝突条件に対して解析を実施し、衝突荷重の評価手法について更なる検討を進める予定である。

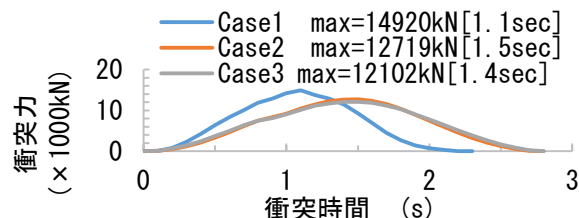


図-4 解析による衝突荷重分布

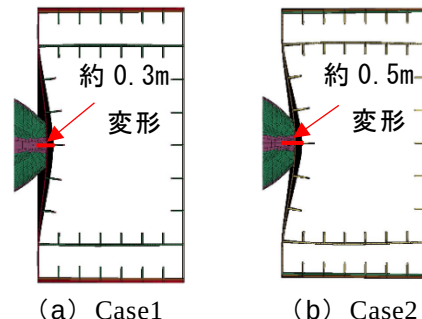
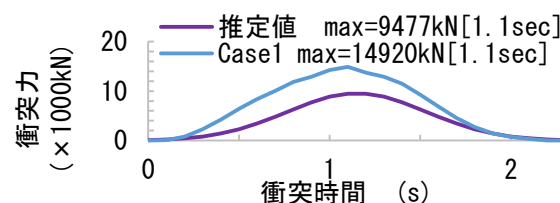
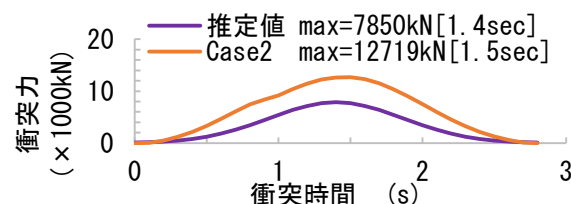


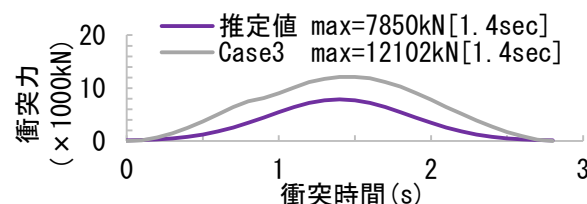
図-5 船舶の衝突による主塔柱の変形図



(a) Case1 と比較



(b) Case2 と比較



(c) Case3 と比較

図-6 衝突荷重分布の推定値と解析値

謝辞

船舶のモデル化に際しては、九州大学大学院の吉川孝男教授ならびに川崎重工業(株)の孝岡祐吉様にご指導いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 馬越一也, 葛漢彬, 野中哲也, 原田隆典, 村上啓介: 津波襲来時における大型漂流物の長大橋衝突シミュレーション, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2, I_222-I_227, 2012.