

シェル要素を用いた斜張橋主塔部と船舶の衝突解析による主塔部の挙動評価

九州大学 学生会員 ○平野 翔也

九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀
九州大学大学院 正会員 崔 準祐

1. はじめに

平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波により船舶が漂流し、港湾部の橋梁に衝突する被害が多数確認された。そこで本研究では、湾内を航行中の船舶が津波により制御不能となり、港湾部に位置する斜張橋主塔に衝突するという想定のもと、斜張橋全体モデルによる衝突解析を行った。本稿では、衝突部をファイバー要素にしたモデルと局所的な変形が考慮できるシェル要素にしたモデルを用い、衝突部の挙動や主塔部の変位応答の比較について紹介する。

2. 解析対象橋梁と解析モデル

解析対象橋梁を図-1 に示す。船舶による衝突を受ける斜張橋主塔柱部は、衝突による断面の局所変形を考慮できるようにシェル要素でモデル化を行い、その他の部分はファイバー要素でモデル化を行っている。後述するが、一部をシェル要素にしたため、応答を正しく評価できるかどうか、斜張橋主塔柱部もファイバー要素でモデル化した数値モデルも合わせて準備した。本解析では、斜張橋は港湾を横断するように架けられており、衝突力は海側の主塔柱部に対し、橋軸直角方向に与えている。

3. 衝突外力と衝突力の入力方法

衝突外力については、文献 1) を参考にし、以下の

式を用いた。

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

$$\mu = \frac{T}{2} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\mu}{3} \quad (3)$$

ここで、 F は衝突外力、 m は船舶の質量、 v は船舶の衝突時の速度、 T は衝突継続時間、 μ は正規分布における平均値、 σ は正規分布における標準偏差である。本稿では、船舶の質量が 50000 トン（全長約 190m）、衝突時の速度が 1.1m/s、衝突継続時間が 1 秒と仮定した場合の結果を示す。入力値については文献 1) を参考にして決定した。作成した衝突外力波形を図-2 に示す。同図に示すように、衝突前の 0.5 秒間と衝突後の 1.5 秒間は衝突力をゼロとし、最大衝突力は 131651kN である。

続いて、衝突力の入力方法と衝突力を与える位置であるが、斜張橋全体をファイバー要素でモデル化した場合は、海側の主塔柱部の 1 つの節点（基部から高さ 10m の節点）に図-2 に示す衝突力を入力した。主塔柱部をシェル要素にした場合、図-3 に示すとおり、主塔柱部とは離れた点に衝突力入力用の節点を設け、その節点と衝突を考慮した部分のシェル要素を構成する節点を剛棒で連結し、衝突力を主塔柱部に伝えている。

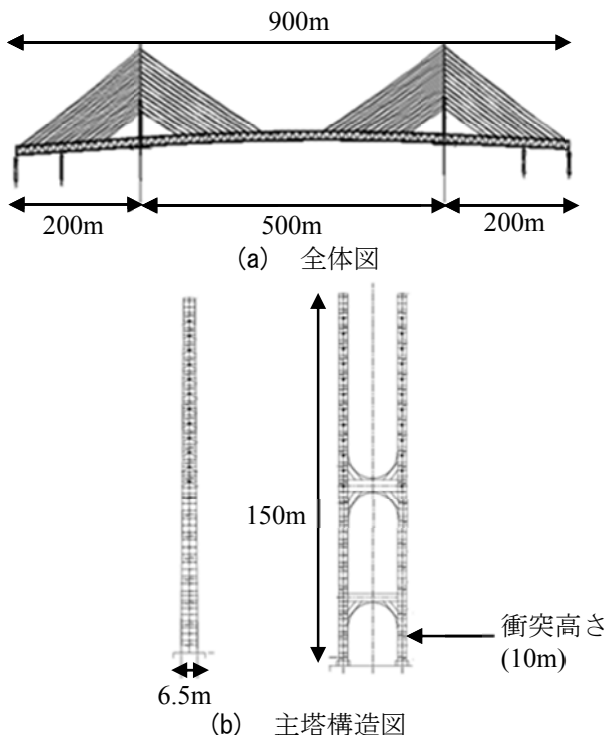


図-1 解析対象橋梁の概略図

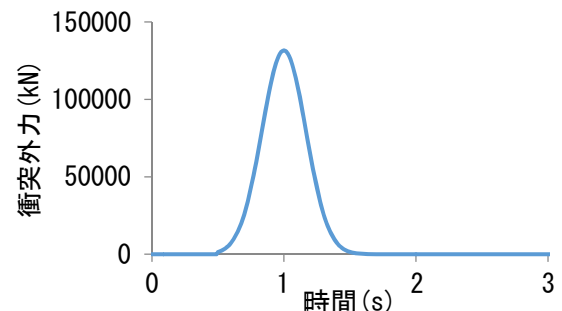


図-2 衝突外力波形

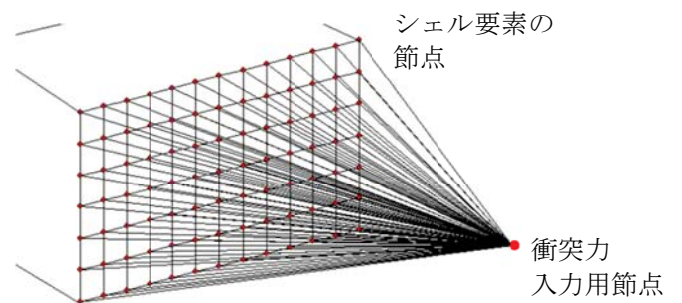


図-3 衝突力の入力方法

4. 事前解析結果

船舶の衝突により主塔頂部に生じる変位応答と比較するため、道路橋示方書の標準波（タイプⅡ-Ⅱ-1地震動）を橋軸直角方向に入力した地震応答解析を先立って行った。図-1に示す左側の主塔頂部の正側、負側の最大変位応答を表-1に示す。0.2m程度の応答値の違いはあるが、主塔高さは150mであり、要素の違いによるモデルの応答値の差はほとんどないといえる。次に、シェル要素への衝突力の伝達方法が正しいかどうかを確認するため、シェル要素が局部変形しない程度の小さな衝突力（図-2の波形の0.001倍）を入力し、斜張橋全体をファイバー要素とした場合の応答値と比較した。図-4に衝突力を与えた柱の主塔基部の応力の時刻歴波形を図-5に主塔頂部の橋軸直角方向水平変位を示す。図-4より、モデル化の違いにより、死荷重による初期応力に若干の違いが見られるが、衝突力による応力の増加量（応答値）は、ほぼ同じであった。主塔頂部の水平変位については、約 2×10^{-4} (m)程度の違いがあったが、主塔柱部をシェル要素にした場合においても衝突力は正しく伝達できていると思われる。

表-1 主塔頂部の最大変位応答

	応答値(m)	
	正側最大	負側最大
ファイバー要素	1.64	-1.86
シェル要素	1.48	-1.58

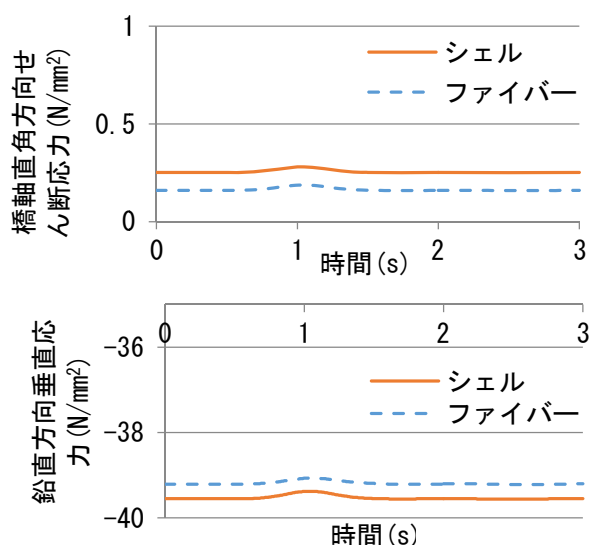


図-4 主塔基部における応力の時刻歴応答

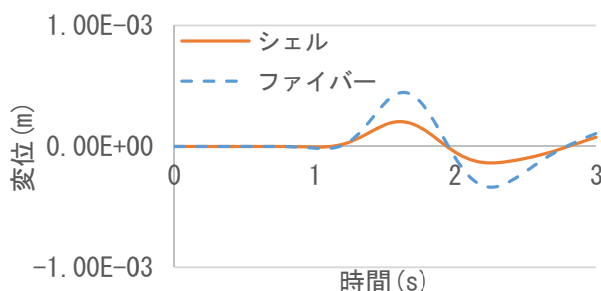


図-5 主塔頂部における変位の時刻歴応答

5. 解析結果

図-2の衝突外力波形を入力した際のシェル要素の変形図を図-6に、主塔頂部の橋軸直角方向水平変位を図-7に示す。本解析で対象とした、質量50000トンの船が衝突した場合、図-7の結果と表-1の結果より、船舶の衝突による主塔頂部の応答変位は、地震時の変位応答に比べて約33%、斜張橋全体をファイバー要素とした場合の変位と比較をすると約0.5%程度であり、応答変位だけをみれば、安全性においてはかなりの余裕度はあると思われるが、図-6に示すように局部的に主塔部が変形することも考えられるため、余震による地震時安全性などについては、さらなる検討が必要と思われる。

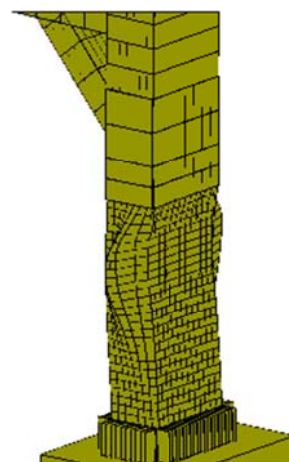


図-6 シェル要素の変形図（変形倍率15倍）

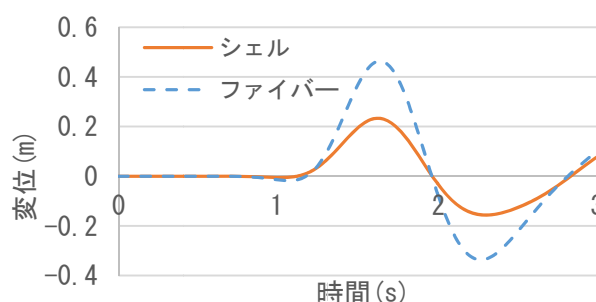


図-7 主塔頂部における変位の時刻歴応答（図-2の衝突力入力時）

6. まとめ

質量50000トンの船が解析対象橋梁に衝突した場合、主塔頂部の変位応答は、レベル2地震動に比べて約33%程度、斜張橋全体をファイバー要素にした場合と比べて約0.5%と小さいが、主塔柱部に局部変形が見られ、その後の余震などに対する安全性の検討が必要であることがわかった。

参考文献

- 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。