

橋桁に作用する水平・鉛直波力の計算精度に関する検討

防衛大学校 学生会員 ○中川 太介
 防衛大学校 正会員 嶋原 良典
 防衛大学校 正会員 林 建二郎

1. 背景と目的

2011年3月11日に発生した、三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、道路・橋梁・鉄道をはじめとする社会インフラに大きな被害が出た。これまで、橋梁に作用する波力に関する実験例は数多く報告されており、また、数値計算により実験で得られた波力の再現も行われているが、その計算精度に関してはまだ不明確な点が多い。本研究は、段波状の津波が橋梁に作用する水平波力と鉛直波力に関する水理実験の再現計算を行い、数値モデルの再現精度について検討したものである。

2. 実験及び計算方法

(1) 実験の概要

清水・庄司(2013)¹⁾が行った水理実験の概要は以下の通りである。図-1は実験装置であり、全長17m、幅0.4m、高さ0.3mの矩形断面水路である。貯水部と一様水深部の水位差を変化させ、ゲート急開流れを発生させることで巻き波砕波型の段波を再現している。橋桁模型は1種類とし、橋桁の中心部がX=1.5mの位置にくるように設置している。橋桁に作用する波力の測定には3分力計を用いており、水平波力と鉛直波力を測定している。さらにX=0mで水位を、橋梁前面(X=1.4m)の位置で水位と進行方向の流速を測定している。

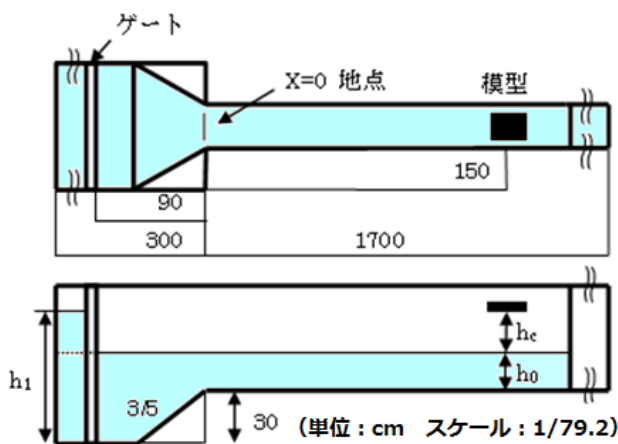


図-1 実験装置の概要

(2) 計算方法と整理

本研究ではVOF法及びSMAC法を用いた数値波動水路プログラムであるCADMAS-SURF(2次元版)²⁾を用いて、水理実験を再現する。本研究では、静水深 h_0 を50mmから20mm(桁下高 h_c 0mmから30mmに相当)まで変化させた計21の実験ケースについて計算を行った。水理実験で測定したX=0mにおける水位と流速を入力することで、水位、流速、橋桁に作用する水平波力と鉛直波力を計算した。計算条件として、空間格子間隔は $\Delta x = \Delta z = 2\text{mm}$ とした。

結果の整理として、実験波形に対する計算波形全体のばらつき具合を量的に表すため、式(1)に示す二乗平均平方根(RMS)誤差を用いて評価した。

$$\text{RMS} = \frac{1}{\zeta_{e_{\max}} - \zeta_{e_{\min}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\zeta_{e,i} - \zeta_{m,i})^2}{n}} \quad (1)$$

ここで、 ζ_e は実験値、 ζ_m は計算値、 n は時系列データ数、である。また、橋桁に衝突する津波の相対的な位置を表す指標として実験の最大津波波高 H_A と桁下高 h_c の比をとった相対桁下高 h_c/H_A を定義した。 h_c/H_A が1に近いほど津波の上部が桁に作用し、逆に h_c/H_A が0に近いほど津波の下部が桁に作用することになる。

3. 結果と考察

(1) 水平波力と鉛直波力の計算精度

相対桁下高 h_c/H_A と通過波水位・水平波力・鉛直波力との関係をそれぞれ図3, 4, 5に示す。これらの図から、 h_c/H_A が0.5を下回る条件では水位の誤差が10%、波力の誤差が20%程度に収まり、0.5を超える条件では水平・鉛直波力ともに誤差が大きくなることがわかる。 h_c/H_A が大きいケースは、波高水深比(H_A/h_0)が大きい設定となっており、津波自体の再現が難しくなる傾向にある。したがって、波力の誤差が大きくなる原因は、津波自体の再現性が影響していると考えられる。

キーワード 数値流体計算, 津波, 橋梁, 波力

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL. 046-841-3810 E-mail: shigi@nda.ac.jp

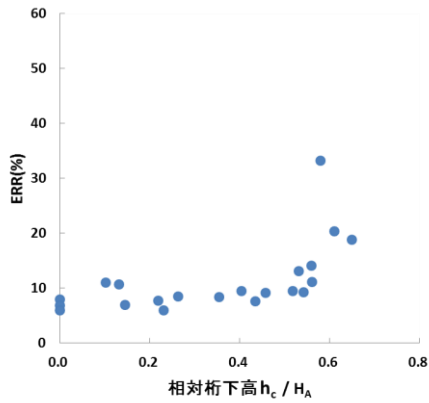


図2 相対桁下高と誤差の関係（水平波力）

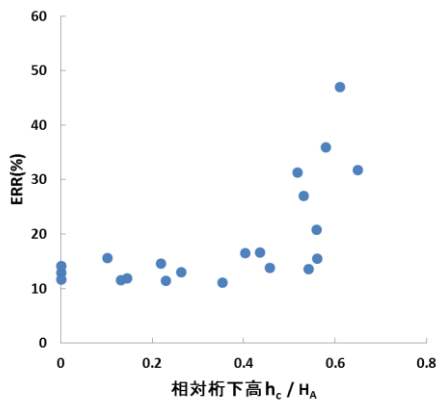


図3 相対桁下高と誤差の関係（水平波力）

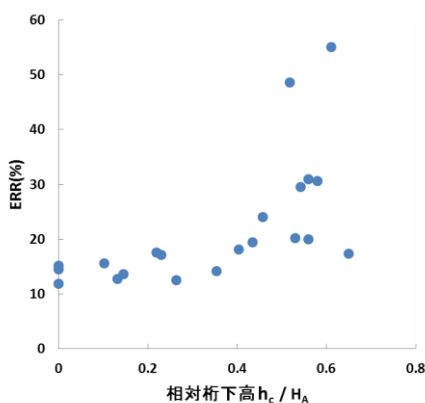


図4 相対桁下高と誤差の関係（鉛直波力）

(2) 空間解像度の違いによる鉛直波力の再現性

図5, 6は $h_0=40\text{mm}$ ($h_c=10\text{mm}$) における鉛直・水平波力の時系列であり, 計算と実験を比較している. 図から, 空間格子長が大きくなる(解像度が粗くなる)ことにより, 特に上揚力の再現性が悪くなるが, 水平波力にはそれほど違いは見られない. 水平波力は桁前面部に作用する圧力が支配的であるため, 衝突前の津波が再現できていれば再現性は良い. 鉛直波力は桁衝突後の上下面の両方の流れを精度よく再現する必要があることから, これが再現性の差として現れたと考えられる.

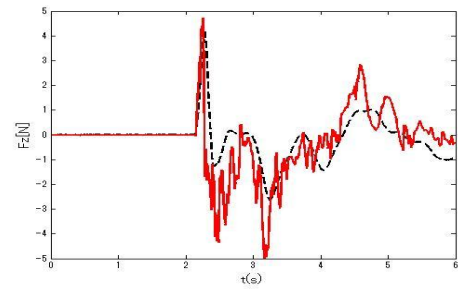
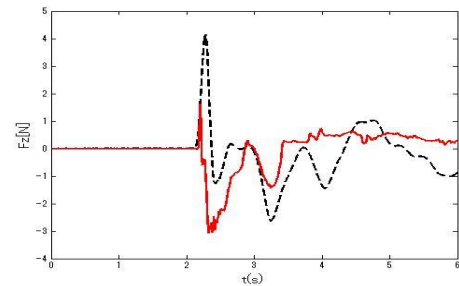
(a) $\Delta x=\Delta z=2\text{mm}$ (b) $\Delta x=\Delta z=8\text{mm}$

図5 鉛直波力の時系列の比較

(赤: 計算, 黒: 実験)

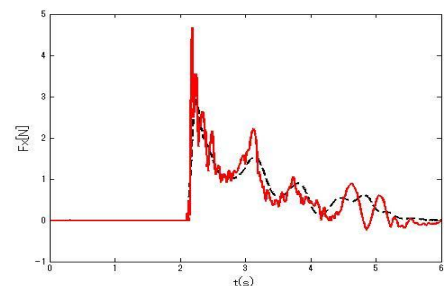
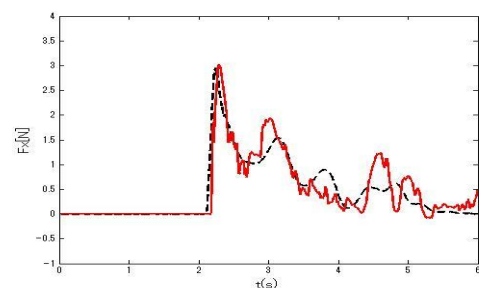
(a) $\Delta x=\Delta z=2\text{mm}$ (b) $\Delta x=\Delta z=8\text{mm}$

図6 水平波力の時系列の比較

(赤: 計算, 黒: 実験)

参考文献

- 1) 清水裕文・庄司学: 橋桁に作用する津波波力と津波流速の関係, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, I_941-I_945, (2013)
- 2) 磯部ら: 数値波動水路の研究・開発, 沿岸開発技術研究センター, pp. 457, (2001)