

津波が橋梁に及ぼす波力の数値計算に関する研究

防衛大学校 ○山口 翔平
 防衛大学校 正会員 藤間 功司
 防衛大学校 正会員 嶋原 良典
 防衛大学校 学生会員 笠原 健治

1. はじめに

2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震及びインド洋大津波は、スマトラ島北西部のみならずインド洋に面する国々に多大な被害を与えた。その一部として、海岸線近傍に立地する橋梁構造物の津波による落橋や橋台の洗堀等の被害が報告されている。

河口や河川内に位置する橋梁構造物に作用する津波荷重を、明確に研究したものはきわめて少ない。このことから庄司・森山(2008)は、力学的相似を考慮した実験によって、津波波力が橋梁構造物に被害を及ぼす境界について検証した。

本研究では、CADMAS-SURF/3D 及 Leap-Frog 差分法を用い、庄司・森山が行った実験の数値計算を実施し、波力の再現性から、その適応性について検討した。

2. 庄司・森山の水利実験の概要

幅 0.4m 長さ 15m の水槽を用いて実験を行った。実験条件として静水深 $h=0.02\text{m}$, 0.04m の 2 通りとした上で、貯水部と一様水深部の水位差を変化させることで津波高さを変化させ、ゲート急開流れを発生させて津波を再現した。津波はゲートから 3m~4m 付近において巻き波状に砕け始め、橋桁を設置するゲートから 5.4m の位置においては、砕波段波津波となって橋桁に作用する。その上で、各実験に対して、津波流速、津波波力、橋前面・背面の津波波高を計測した。

3. 数値計算方法と計算条件

(1)数値モデル

①CADMAS-SURF/3D

非粘性・非圧縮流体を対象に X 方向・Y 方向・Z 方向において Navier-Stokes の式を用いた 3 次元モデルである、VOF 法によって自由表面を解析している。

②浅水理論の基礎方程式

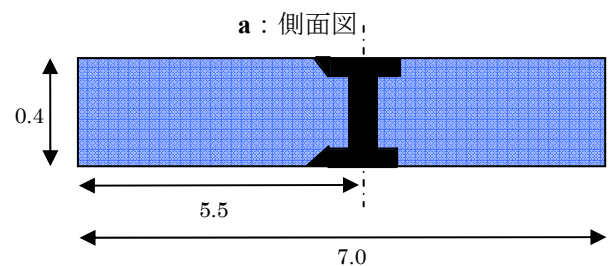
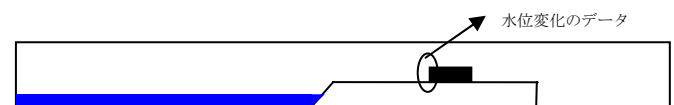
オイラーの式がもとになっており、鉛直方向に海底から水面まで積分して求められる。数値計算の方法としては、Leap-Frog 差分法を使用する。

(2)計算条件

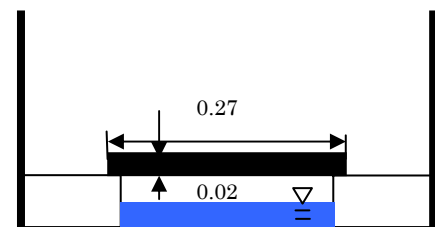
2 つの数値モデルの計算条件を格子間隔・グリッド数・実再現時間・計算時間について表-1 に示す。計算領域を図-1 のような、長さ 7.0m、幅 0.4m、高さ 0.16m の水槽に設定した。水槽の左側より 5.5m の地点に橋桁を置き、境界条件として、庄司・森山が実験によって得た水位の時系列を入力し、橋桁前面の波高及び橋桁に作用する波力の時系列を出力した。

表-1 計算条件

	CADMAS-SURF/3D		浅水理論	
格子間隔	1 cm	2cm	1cm	2cm
グリッド数	700×40×20	350×20×20	700×40	350×20
実再現時間	10 (s)	10 (s)	10 (s)	10 (s)
計算時間	2 時間 3 分	15 分	2 分	1 分



b: 平面図



c: 断面図

図-1: 数値計算における地形データ

キーワード 津波波力, CADMAS-SURF/3D, 浅水理論, 橋梁

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL : 046-846-3810 (内線 3524)

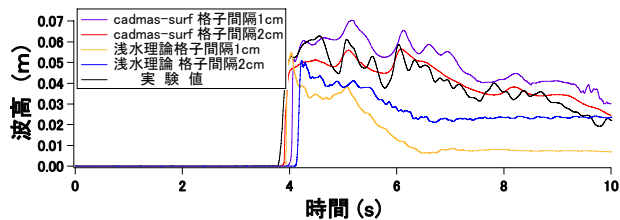


図-2-a 水深4cm時の水位変化(橋桁有)

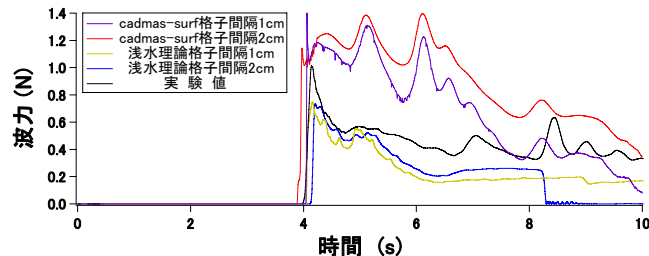


図-2-b 橋桁に作用する波力の時系列(h=0.04m)

(3) 波力の算定方法

本研究では2つの方法で波力を算定しており、CADMAS-SURF/3Dでは①の圧力を用いた方法、浅水理論では②の流速を用いた方法をそれぞれ使用している。

①圧力を用いる方法

橋の前面及び背面における圧力を求め、その圧力の積分値から橋に作用する波力を求めた。

②流速を用いる方法

抗力係数 C_d については、庄司・森山が水理実験から決定した値 ($C_d=0.95$) を用いた。ここでは、地形データから橋桁を除いた計算を行い、流速を求め、抗力として算定する。

4. 計算結果の考察

(1) 計算時間の比較

浅水理論では陽解法、CADMAS-SURF/3Dでは陰解法を使っているため、計算時間は20倍程度、浅水理論のほうが短い。また、格子間隔が1cmに比べて2cmの方が計算時間に約10倍違いがあった。

(2) 水位・波力の再現性

本研究で用いた実験条件では、最大波高は浅水理論・CADMAS-SURF/3D共に、実験値に近い値を得ることができた。しかし、橋梁に段波が衝突したあとの変化では、CADMAS-SURF/3Dについては実験値に近い値が得られたが、浅水理論では実験値と大きく異なる結果となった。更に、格子間隔が小さいものほど実験値により近い値となった。

波力においては、CADMAS-SURF/3Dでは、ピーク時の最大波力は実験値とほぼ等しい値がでており、精度は96%となった。また、格子間隔を小さくするほど

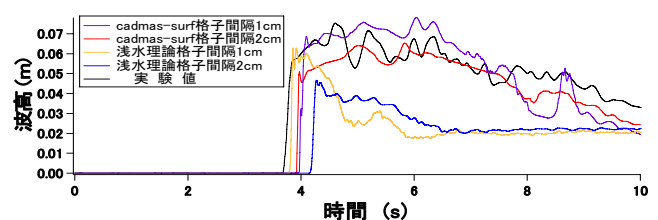


図-3-a 水深2cm時の水位変化(橋桁有)

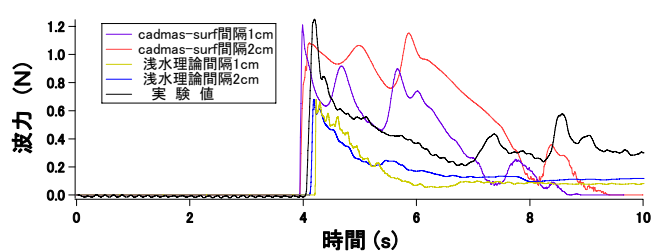


図-3-b 橋桁に作用する波力の時系列(h=0.02m)

その精度は良くなった。

一方、浅水理論では、波力の最大値は実験値に比べ、50%も過小評価する結果となった。この原因として浅水理論では、Navier-Stokesの式を簡略化した式を使用しており、津波の再現性が悪いことが挙げられる。

5. おわりに

Navier-Stokesの方程式の3次元計算では、浅水理論の2次元計算では表現することが難しかった構造物周りの複雑な流況を再現でき、水位や波力の時間変化をより精度よく再現できる。更に、時間はかかるが格子間隔を小さく設定すると精度はさらに良くなった。

今後は圧力の積分値を使った方法、流速と抗力係数もちいて波力を求める方法の2つの精度について詳しく検証する必要がある。

参考文献

- 1) 庄司ら、橋桁に作用する津波荷重の評価、構造工学論文集、第55巻A(2008)
- 2) 有川ら、3次元数値波動水槽における津波波力に関する適応性の検討、海岸工学論文集、第52巻(2005)
- 3) 後藤ら、Leap-Frog法を用いた津波の数値計算、東北大学工学部土木工学科(1985)