

## 建築物の津波波力に関する数値実験と検証

### Numerical Model Test and Validation for Tsunami Force of Building

- 桜庭 雅明, 日本工営株式会社, 茨城県つくば市稲荷原 2304, E-mail:sakuraba-ms@n-koei.jp  
野島 和也, 日本工営株式会社, 茨城県つくば市稲荷原 2304, E-mail:nojima-kz@n-koei.jp  
Masaaki SAKURABA, Nippon Koei Co.,Ltd, 2304,Inarihara,Tsukuba,Ibaraki,300-1259,Japan  
Kazuya NOJIMA, Nippon Koei Co.,Ltd, 2304,Inarihara,Tsukuba,Ibaraki,300-1259,Japan

This paper presents the study of a tsunami force around building. In recent study, several formulas to estimate a tsunami force easily have been developed by using hydraulic model test and numerical simulation. In order to validate several formulas, comparison between the 3-D free-surface model (CADMAS-SURF/3D), 2-D shallow water model and estimation by several formula have been carried out. And study of the aperture ratio of building has also investigated using CADMAS-SURF/3D.

#### 1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震の津波遡上により多くの建築物が倒壊する被害が発生した。これを契機に、津波による波力算定が検討・改定されている。津波荷重は各種の水理模型実験により静水圧に水深係数を乗じる方法もしくは抗力・慣性力の形式で表現される方法で求められており、汎用的なものとなっている。ただし、来襲する津波によりそれぞれ精度が異なり、適用限界等を踏まえた汎用性については更にケーススタディが必要である。

本研究は、3次元の自由表面流れ解析により津波の水位、波力を算定して、建物にかかわる波力を算定する。その結果と建築物津波荷重指針<sup>1)</sup>より提示される津波波力算定式による結果と比較を行った。また、実用的によく用いられる2次元浅水流モデルでも同様の条件の計算を行い津波波力算定式により得られる波力の妥当性を検証した。これらの結果から波力算定式の適用性・限界について考察した。また、3次元計算は建築物の開口部の影響を考慮することができるため、この影響も数値計算より考察した。

#### 2. 計算方法

本研究に用いた数値解析方法は2種類採用している。建物にかかる津波波力を算定するために、CADMAS-SURF/3D<sup>2)</sup>による3次元自由表面流計算を行った。CADMAS-SURF/3DはVOF法に基づく自由表面流れ計算法であり、境界条件に水位変化や流速を入力することにより、波の変形を計算できる。本研究では、Fig.1に水路の条件に対して津波段波を再現するために、境界条件として2~10cmの段波を与えた。建物の位置は汀線から15cmとした。波力の算定は、建物にかかる格子点の圧力を積分した値とし、これを数値計算により直接求められる波力とした。波力算定式による方法は後述する。

また、平面2次元計算の結果から波力の評価を行うために、浅水流モデルに基づく2次元計算を行った。浅水流モデルの数値解析法はStaggered-Leap Frog法を用いている。

対象とする水路及び構造物の形状をFig.1に示す。CADMAS-SURF/3Dで用いた格子は最小格子幅として鉛直格子幅0.2cm、水平格子幅1cmとした。また、2次元浅水流モデルで用いた格子は1cmの正方格子とした。

#### 3. 津波波力の算定

本研究では、建築物荷重指針に記載されている津波波力と計算で直接得られる波力の違いを考察するために、以下の波力算定式を波力を算定した。なお、波力算定式を求めるための水位と波力

は構造物前面の水位と流速を採用している。

- (1) ファウジラ<sup>3)</sup>

$$F = \frac{C_{D1}}{2} \rho B h_i(t) v_i(t)^2 \quad (1)$$

$$C_{D1} = 2.0 + \frac{5.4 h_{i\max}}{D}, \quad (0.01 < \frac{h_{i\max}}{D} < 0.17)$$

- (2) ファウジラ<sup>3)</sup>

$$F = \frac{C_{D2}}{2} \rho B h_i(t) v_i(t)^2 + C_M \rho B W h_i(t) \frac{\partial v_i(t)}{\partial t} \quad (2)$$

$$C_{D2} = 2.0, C_M = 1.0, \quad (0.01 < \frac{h_{i\max}}{D} < 0.17)$$

- (3) 有川ら<sup>4)</sup>

$$F = \frac{a^2}{2} \rho B g h_{\max}^2 \quad (3)$$

$$a = 1 + 0.5(1 + \zeta) Fr^2 \quad (1 < Fr < 4)$$

- (4) 朝倉ら<sup>5)</sup>

$$F = \frac{a^2}{2} \rho B g h^2, a = 3.0 \quad (4)$$

ここに、 $F$ は波力、 $C_D$ は抗力係数、 $C_M$ は慣性力係数、 $\rho$ は水の密度、 $B$ は建築物の幅、 $h, v$ は建築物前面の水深、流速、 $Fr$ はフルード数、 $D$ は海岸線からの距離、 $a$ は任意の係数、 $\zeta$ は水位を表す。

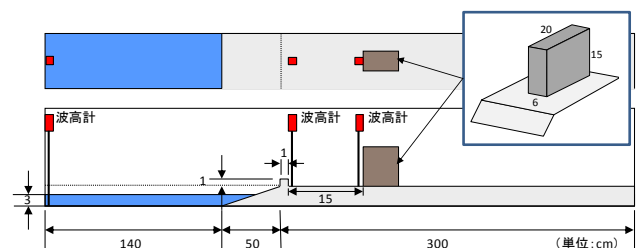


Fig. 1 Numerical Flume and Condition

#### 4. 計算結果及び考察

- (1) 3次元計算による波力と算定式の比較

CADMAS-SURF/3Dによる建物周辺の段波の遡上状況をFig.2

に示す。この建物に全体に作用する波力がどのようになるかを次に検討結果を示す。を Fig.3 に段波条件が最大値となる水位差 10cm の場合における CADMAS-SURF/3D により直接求めた波力および(1)~(4)式に示す波力算定式から得られる結果の比較を示す。この結果より、数値計算から直接求められる波力は最大で 10kN 程度であることがわかる。水位および流速から算定式により求めた波力は大きな差異が見られる。特に、有川らの方法で求めた波力はピークで数値計算による波力の 3 倍以上となっている。この中で最も数値計算による波力に近いのはファウジ(2)式の方法である。ファウジの方法(2)式は抗力と慣性力の両方を考慮した式となっているが、慣性力の影響を考慮した場合に精度が高くなることわかる。なお、これまで津波荷重の算定に用いられてきた朝倉の方法はピークの出現する時刻が異なる結果となっている。

### (2) 2次元計算から求めた波力の精度検証

次にCADMAS-SURF/3Dで得られた波力と2次元浅水流モデルから得られる水位と流速を用いた場合の算定波力の比較を Fig.4 に示す。この結果から有川らの方法では波力ピーク時周りで不安定な振動が見られている。これは、段波の水位差 10cm と比較的厳しい初期水位の条件を用いていることから、遡上先端の流速が不安定になることが考えられる。その影響を除けば数値計算から求められる波力に近い値になる。浅水流モデルで算出される流速が断面平均であるために、フルード数が3次元計算で得られるものと異なるためであると考えられる。なお、3次元計算に近い値となるファウジ(2)式の方法はピーク時に過小評価となった。その他の算定式はいずれも過大評価となった。

### (3) 開口部の影響

CADMAS-SURF/3Dにより建築物の開口部のある場合について計算を行い、影響を考察した。Fig.5に各段波条件と開口率における作用波力の関係を示す。図中には近似曲線も示す。これらの結果より、水位差5cmおよび10cmの場合においては、①開口率に比例して作用波力が低減する、②作用波力は直線的に低減する、③段波条件が大きな津波ほど低減率は大きくなること分かった。①②については受圧面積が変化することで作用波力が低下しているものと考えられる。また、既往の報告<sup>9)</sup>でも開口率と波力は直線的に低減することが確認されており、本検討の結果は整合が取れたものとなっている。

## 5. おわりに

本研究において、津波段波による建築物へ作用する波力の影響を3次元の数値計算に求め、津波波力算定式と比較を行った。また、建築物の開口部の影響についても考察した結論は以下に示す通りである。

- 3次元の自由表面流の計算から直接波力を算定した結果と既往の算定式と比較した結果、同等の傾向を示す式および過大評価となる式があった。流速、水位の変化の影響度合いからこのような差異が生じたと考えられる。
- 2次元の浅水流モデルによる算定式と比較した結果、数値不安定が生じる傾向が見られるが同等の傾向が見られる式があった。
- 開口部の影響により段波の大きい場合が波力の減衰が大きいことが数値計算より説明することができた。

今後は、建築物の配置、大きさ等の様々なケーススタディを行い、数値計算及び津波波力算定式の適用性および妥当性の検証を更に進める予定である。

## 参考文献

- (1) 日本建築学会, "建築物荷重指針・同解説(2015)", 日本建築学会 (2015), 643p.
- (2) 財団法人沿岸技術研究センター, "CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発", 沿岸技術ライブラリー No.39(2011),235p.
- (3) ファウジ, 嶋原, 藤間, 水谷, "陸上構造物に作用する津波波力の推定手法に関する考察", 土木学会論文集 B2, Vol. 65, No.1, (2009), pp. 321-325.
- (4) 有川, 大家, "防潮堤背後の建物に作用する津波力に関する実験的検討", 土木学会論文集 B2, Vol.70, No.2(2014), pp.I\_806-I\_810
- (5) 朝倉, 岩瀬, 池谷, 高雄, 金戸, 藤井, 大森, "護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究", 海岸工学論文集, Vol.47,(2000),pp.911-915
- (6) 松富, 決得, 嶋津, 長沼, 桜井, "開口部を有する RC 造建物における津波の水平力と鉛直力の低減", 土木学会論文集 B2, Vol.70, No.2(2014), pp.I\_371-I\_375

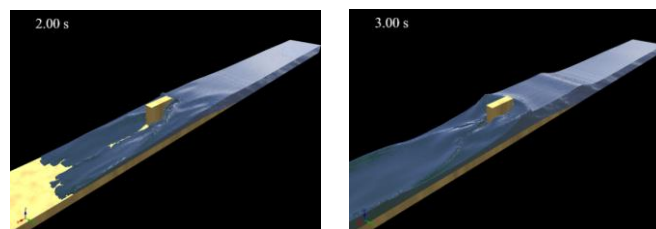


Fig. 2 Numerical Result (Snapshot)

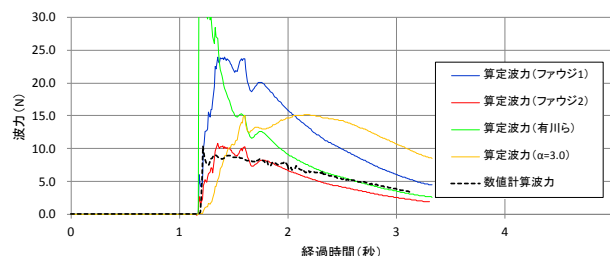


Fig. 3 Comparison of Tsunami Force Time Series (1)

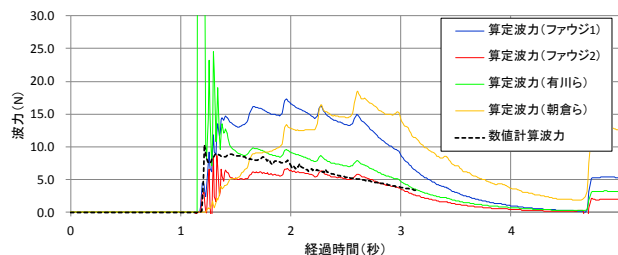


Fig. 4 Comparison of Tsunami Force Time Series (2)

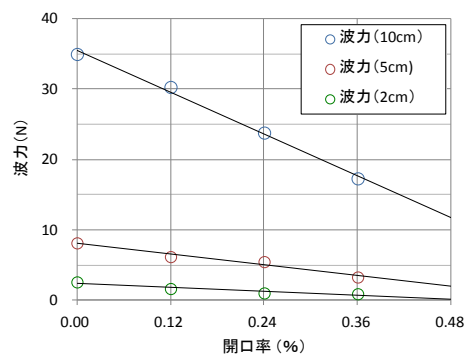


Fig. 5 Relation between Aperture Ratio and Tsunami Force