# 粒子法による橋桁に作用する津波外力評価の精度検証

九州大学大学院	学生会員	$\bigcirc$	田邊	将一
九州大学大学院	正会員		浅井	光輝
九州大学大学院	正会員		園田	佳巨

# 1. はじめに

東日本大震災における構造物の津波被害を受け,津 波外力の定量的な評価手法が求められている.本研究 では,橋桁に作用する流体力評価に焦点をあて,小型 模型実験結果と数値解析結果とを比較検証し,その後, 現実的なサイズ・形状の橋桁に作用する流体力の大き さを見積もる方針とした.解析手法は,粒子法の一つ である SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)法を採用 し,境界条件の取り扱い方法について新たな提案した 後に,その精度と有用性を確認した.

#### 2. 解析手法

SPH 法とは、物体を有限個の粒子に離散化し、対象と する粒子の物理量を影響半径内に存在する近傍粒子に 重み関数をかけて、一種の重み付き平均として近似す る手法である.本研究では特に、非圧縮性流体解析用 に開発された Incompressible SPH (ISPH) 法の改良案で ある非圧縮条件緩和型 ISPH 法<sup>[1]</sup>を用いているが、詳細 は文献を参照されたい.

## 3. 境界処理法

本研究では図-1に示す仮想マーカー(以下マーカーと称す)を用いて,流速に関するすべり条件(あるいは非す べり条件)と圧力のノイマン条件を満足する境界処理方 法を提案し,その精度を検証した.以下に提案手法の 手順を簡単に述べる.まず,マーカーは壁境界面を挟 み壁境界粒子と対称な位置に配置する.次に,マーカ ー上での物理量(流速と圧力)を SPH 法の考え方から内 挿近似する.ここで,マーカーは SPH 法の近似に直接 関与せず,壁粒子に適切な物理量を与えるための計測 点として使う.

すべり条件を満足させるには、壁粒子はマーカー上 での流速 $\nu_{\nu}$ と鏡映対称な流速となればよいので、以下 の式より与えられる.

キーワード: Tunami, SPH, Fluid Force

連絡先:〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番 九州大学 伊都キャンパス W2 号館 11 階 1102 号室 Tel/Fax 092-802-3370



(1)

ここで*M* はミラーリング操作を与えるための2階のテ ンソルであり、壁の内向き法線ベクトル $n = (n_1, n_2, n_3)^T$ を用いて与えられる.

非すべり条件を満足させるためには、マーカー上での流速 ν<sub>ν</sub> と点対称な流速となればよいので、点対称テンソルル *R* を用いて次の変換式より壁粒子に速度を与える.

$$\boldsymbol{v}_{w}^{'} = \boldsymbol{R}\boldsymbol{v}_{v}$$
 ,  $\boldsymbol{R}_{ij} = -\delta_{ij}$ 

圧力ノイマン条件まで同時に満足するには、マーカー 上での値を参照し、壁粒子に適切な圧力を与える必要 がある、壁粒子上では速度の法線方向はゼロとなるの で、壁面上での流速を $v_{w0}$ とすると式(2)を満たさなけれ ばならない.

$$\boldsymbol{v}_{w0} \cdot \boldsymbol{n} = 0 \tag{2}$$

それから,式(3)を参照すれば,この条件が成立するためには式(4)の非一様的圧力ノイマン条件を満足しなければならない.

$$\frac{D\boldsymbol{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho^0} \nabla P + \underbrace{v \nabla^2 \boldsymbol{u} + \boldsymbol{g}}_{f}$$
(3)

$$\partial p / \partial \boldsymbol{n} = \rho \, \boldsymbol{f} \cdot \boldsymbol{n} \tag{4}$$

なお、SPH 法において非一様的圧力ノイマン条件を満 たすには、マーカー上での圧力  $p_v$ 及び外力  $f_v$ を用い て式(5)により評価する圧力  $p'_w$ を与えればよい.なお、

Fx(N)

d は境界面から対象とする壁粒子までの距離を、 $\rho$ は 水の密度を表し、 $\langle \cdot \rangle$ は SPH 法による近似値を示す.

$$p'_{w} = \langle p_{v} \rangle + 2d\rho \langle f_{v} \rangle \cdot \boldsymbol{n}$$
(5)

#### 4. 解析内容

#### (1)解析例

今回橋桁に作用する流体力の評価例題として,中尾 ら回によって行われた実験を挙げた.この実験では,貯 水部に溜めた水を前面に取り付けたゲートを開くこと で放水し,津波を模擬した波を橋梁模型に衝突させる ものである.その際,桁に作用する流体力を計測した. 解析モデルを図-2 に,橋桁模型の詳細を図-3 に示す.







図-3 橋桁模型の詳細

解析には九州大学のスパコン, FUJITSU PRIMEHPC FX10を用いた. 解析条件の詳細は表-1に示す.

表-1 解析条件

粒子間隔	総粒子数	時間増分	実時間	解析時間(384core)
0.5cm	約 800 万	0.001sec	15sec	約 140 時間

### (2)解析結果

図-4 に長方形・逆台形断面の解析モデルに,境界条件としてすべり条件を与えた場合の水平方向力の結果 を,図-5 に逆台形断面の鉛直方向力の結果をそれぞれ 示す.両断面ともグラフの挙動は実験値とおおよそ一 致していることが分かるが,水平及び,鉛直方向圧力 の最大値が実験値よりも若干低くなっている.これは, 実験の波が段波状になっているのに対して,すべり境 界を与えた解析の場合,波の先端形状が実験よりも 鋭角になり,桁に衝突する面積が減少したことが要因 として考えられる.



図-5 鉛直方向力

# 5. 結論

津波力の評価を想定した小型模型実験結果との比較 検証より,数値解析の精度を確認し,十分に実用的な 範囲で流体力を予測可能であることを確認した.現在, 実際の寸法を用いた橋桁モデルで,流体力評価を実施 中である.現時点では,橋桁が固定された条件に限定 して流体力の精度検証のみを実施しているが,今後, 橋桁の移動まで評価可能な計算ツールへと発展させて いく予定である.

#### 謝辞

本研究の一部は、日本橋梁建設協会より研究助成を受 けました。また、立命館大学・伊津野教授、土木研究 所・中尾尚史様には実験のデータ等を提供していただ きました.ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

[1]M. Asai, AM. Aly, Y. Sonoda and Y. Sakai, A stabilized incompressible SPH method by relaxing the density invariance condition, Int.l J.for Applied Mathematics, Vol.2012(2012), Article ID 139583
[2]中尾尚史,糸永航,松田良平ら:基本的な断面形状の橋梁 に作用する津波外力に関する実験的研究,土木学会論文集

Vol.67,No.2(応用力学論文集 Vol.14), I\_481-I\_491,2011.