

第II部門 IB法を用いた流体力評価に関する一考察

京都大学工学部 学生員 ○秦 慎太郎
 京都大学防災研究所 正会員 川中 龍児
 京都大学防災研究所 正会員 米山 望

1. はじめに

日本の沿岸地域は津波の被害を受けやすく、これまでも数多くの津波が日本の沿岸に襲来し、多大な被害をもたらしてきた。津波による被害には津波波力による直接的な被害だけでなく、漂流物による二次災害があり、過去の震災においても津波漂流物による被害は様々発生している。そこで本研究では、津波によって発生する漂流物の挙動及び漂流物に作用する流体力を解析することを目的として、IB法を用いた漂流物挙動解析手法を用いる。IB法とは、物体内に仮想的な流速を考え、物体内部も流体の一部として計算することで、複雑な幾何形状を持つ物体を表現する方法である。IB法を用いた物体境界表現方法が妥当性を有するかということを検証するために、任意の形状の物体を一樣流中に設置し、IB法を用いて二次元解析を行った。具体的には、IB法を用いて様々な形状の物体を表現し、一樣流中での流体力を平面二次元で解析を行い、検証と考察を行う。流体力の評価には抗力係数を用いた。

2. 数値解析の概要

IB法を用いた本研究の数値解析では、連続的に質量保存修正項 D_{IB} 、非圧縮性流体の運動方程式に外力項 f_{IB} を加えた式(1)、式(2)を基礎方程式とする。

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = D_{IB} \tag{1}$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{v}) = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{f}_{IB} \tag{2}$$

ここで外力項 f_{IB} は次式(3)で表され、

$$\mathbf{f}_{IB} = \frac{\mathbf{v}_s - \mathbf{v}^{**}}{\Delta t} \tag{3}$$

\mathbf{v}_s は物体内部の仮想速度、 \mathbf{v}^{**} は物体がない場合の速度である。ここで、物体内部の仮想点の速度は、物体の境界条件を満たすように物体外部の流速から外挿して求める。また、質量保存修正項 D_{IB} は式(4)で表される。

$$D_{IBi,j} = \frac{a_{i+1,j} \mathbf{u}_{i+1,j} - a_{i,j} \mathbf{u}_{i,j}}{x_{i+1} - x_i} + \frac{a_{i,j+1} \mathbf{v}_{i,j+1} - a_{i,j} \mathbf{v}_{i,j}}{y_{j+1} - y_j} \tag{4}$$

式(4)で $a_{i,j}$ は物体内部で0、外部で1とする。

次に平面二次元解析の座標系を図-1に示す。また図-2に設置する物体と流速の条件、また、角柱については流下方向に対して角度を変化させたときの解析を行った。物体について、物体重心が平行平板間の中央に位置するよう設置している。

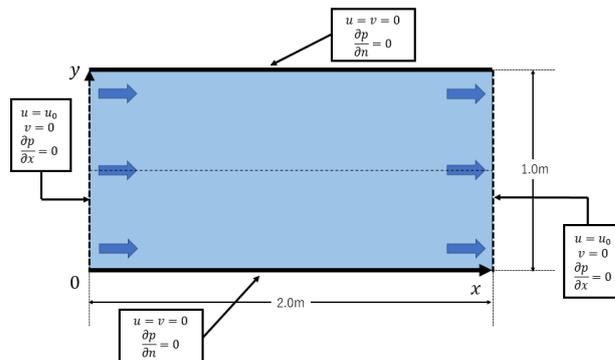


図-1 二次元解析の座標系と境界条件

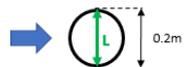
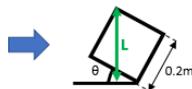
断面形状	角度	流速	レイノルズ数
	-	v=0.25m/s	Re=50000
		v=0.50m/s	Re=100000
		v=1.0m/s	Re=200000
		v=2.00m/s	Re=400000
		v=3.00m/s	Re=600000
	$\theta=0\sim 45^\circ$	v=1.0m/s	$Re = \frac{vL}{\nu}$

図-2 設置する物体と流速の条件

3. 解析結果と考察

(3-1) 円柱での解析結果

本研究での円柱を設置した場合での圧力分布の解析結果を図-3に、また既往の風洞実験によるレイノルズ数と抗力係数の関係と解析結果の比較を図-4に示す。

レイノルズ数が 2.0×10^5 までの解析結果は実験値と概ね一致している。しかし、レイノルズ数が 3.0×10^5 を超えると実験値は抗力係数が急激に下がるが解析値は 1.4 付

近にとどまっている。本解析では、乱流の影響を考慮しなかったため、抗力係数の急低下の主たる原因と考えられる再付着が表現されずに抗力係数の急低下をおこさなかったものと思われる。以上のことから、レイノルズ数が 3.0×10^5 を超える流れに対しては今後検証を行っていく必要がある。また、各流速値での解析で、抗力係数が実験値より 0.2 程度大きい値をとったことについては後流域の低圧力の領域が大きくなったことが原因と考えられるが、この領域が大きくなることについては、IB法によるものなのか、流体解析手法によるものなのかについては、今後検討が必要である。

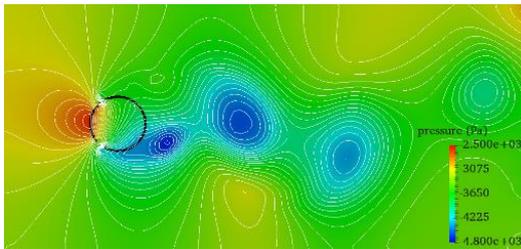


図-3 円柱での圧力分布 ($v=1.0\text{ m/s}$, $t=3.68\text{ s}$)

<解析結果>

流速[m/s]	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00
レイノルズ数Re	5.0×10^4	1.0×10^5	2.0×10^5	4.0×10^5	6.0×10^5
抗力係数Cd	1.41	1.34	1.40	1.59	1.44

図-4 風力実験による結果と解析結果の比較

(3-2) 角柱での解析結果

次に IB 法の特徴である、直交格子内部に物体境界を表現することができるという点に着目し、正方形断面の角柱物体を 0° から 45° まで回転させたときの抗力係数について解析した。角柱を設置した場合での圧力分布の解析結果を図-3~図-7 に、また横軸に角度 θ 、縦軸に抗力係数をとって $\theta=0^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ$ の点で抗力係数を図-8 に示す。 $\theta=0^\circ, 45^\circ$ での抗力係数は既存実験値からそれぞれ 2.0 と 1.6 であると考えられており、解析結果と概ね一致しているといえる。 $\theta=5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$ での抗力係数はそれぞれ 1.91, 1.88, 1.77, 1.63 となり、グラフからも分かるようにプロットした点を結ぶと概ね直線的になることから、 θ が大きくなるにつれて抗力係数が一定の割合で小さくなるということが分かった。 θ が大きくなるにつれて投影面積が大きくなるのが原因であると考えられ、抗力係数と投影面積の関係を満たしているといえる。また、IB法を用いることで

物体を回転させた場合の抗力係数について容易に求めることができるということが分かった。

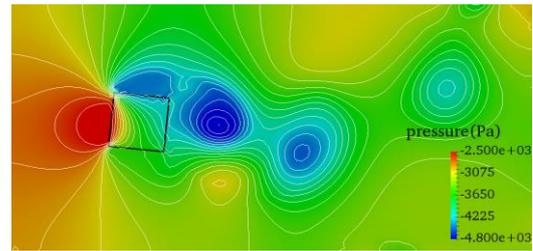


図-5 角柱での圧力分布 ($v=1.0\text{ m/s}$, $t=1.96\text{ s}$ $\theta=5^\circ$)

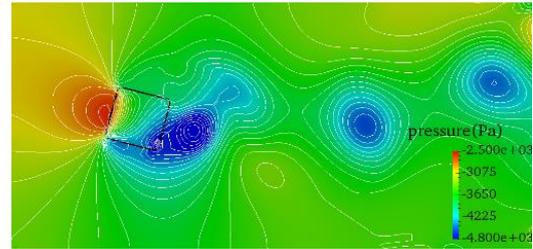


図-6 角柱での圧力分布 ($v=1.0\text{ m/s}$, $t=2.16\text{ s}$ $\theta=15^\circ$)

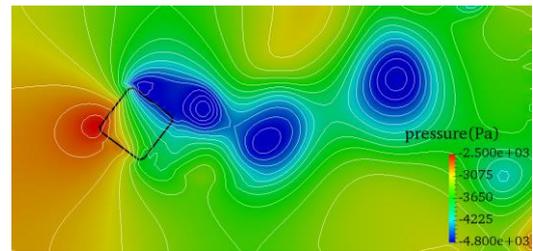


図-7 角柱での圧力分布 ($v=1.0\text{ m/s}$, $t=2.10\text{ s}$ $\theta=35^\circ$)

<解析結果>

角度($^\circ$)	0	5	15	25	35	45
抗力係数Cd	2.02	1.91	1.88	1.77	1.63	1.58

図-8 流下方向から θ 回転させた角柱での抗力係数

4. 結論

本研究では、任意形状の物体に作用する流体力の解析を目的として、IB法を用いた基礎的な検証を行った結果、従来の実験などから抗力係数がわかっている形状の物体の流体力を本解析法で算出し、実験値と比較した結果、概ね一致した。また、流下方向からの角度を妥当な結果を得た。今後はこの解析手法を三次元解析手法に追加して漂流物等の流体力解析を行っていく。また漂流物の挙動解析についても併せて詳細に予測できるように検討していく。

参考文献

R.Mittal, G.laccarino: Immersed Boundary Methods, Annual Review of Fluid Mechanics, 37, 239, 2005