

BEM-VOF 結合解析法の拡張と安定性の向上

九州大学大学院工学府 学生員 ○久留島暢之 金 相昊
 九州大学大学院工学研究院 正会員 山城 賢 吉田 明德
 九州共立大学工学部 正会員 鄒 曙光

1 はじめに

著者らは図-1に示すように、全計算領域のうち構造物のごく近傍では、砕波等の強非線形現象を解析できるVOF法を、構造物からある程度離れた計算領域では、計算精度に優れ計算時間が短くて済む境界要素法(BEM)を適用して、この両者を結合することで互いの欠点を補い、且つ、利点を活かした数値解析モデルの開発を行っており、これまでに、沖側にBEMを岸側にVOFを配置(2領域結合)した数値モデルを用いて、有限振幅波および不規則波による波の伝播や没水構造物と波との非線形干渉について、VOF単独の計算と同程度の計算精度で計算時間を大幅に短縮できることを確認し結合解析法の優位性を示した(例えば、鄒ら、2003, 2004)。本研究では、本結合解析法をBEM-VOF-BEMの3領域結合に拡張し、さらなる計算時間の短縮を試みた。

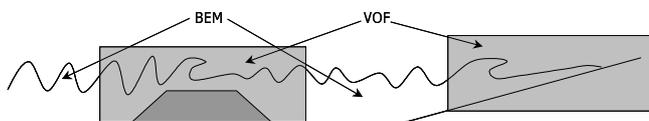


図-1 結合法概念図

2 結合解析法の概略

BEM-VOF 結合解析法では、接続境界における流速と圧力の連続性をもとに、図-2に示すように、BEMの計算領域とVOFの計算領域をある幅で重複させて結合する。VOFでは入力境界において、鉛直流速と水平流速が必要なため、BEM領域内のポテンシャルを求め、水平方向および鉛直方向の差分をとってVOFの入力値とする。一方、BEMでは、境界条件として、VOF領域内にある仮想境界上のポテンシャルとその法線微分値が必要なため、VOF

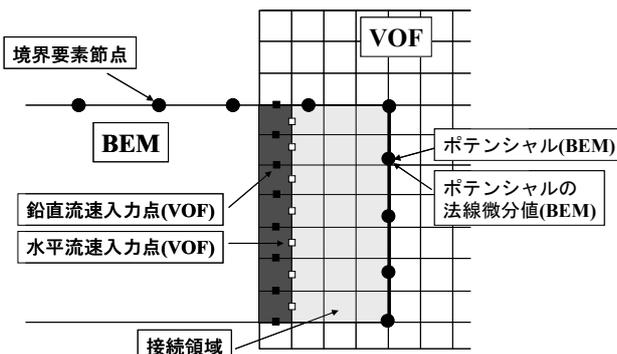


図-2 BEMとVOFの結合法

で算定される圧力と流速からベルヌーイの圧力方程式をもとにポテンシャルを算定し、水平流速をポテンシャルの法線微分値とする。これにより双方向への波動の伝播が可能な結合解析法となる。具体的な処理については鄒ら(2003)に詳しい。なお本研究における3領域結合においては上述の結合法をVOF領域の両端に適用している。

3 計算結果の検討

3.1 試計算

計算領域は図-3に示すように、VOF領域の両側にBEMを配置し、両側のBEMの端部に数値消波フィルター(大山・灘岡, 1991)を設置した。また、造波ソースを沖側BEM領域のスポンジ層前面に設け入射波を発生させた。BEM領域の幅を4.3L(スポンジ層幅2.0L, Lは入射波の波長)、VOF領域の幅を2.5L, 接続領域の重複幅を0.3Lとした。水深hを1mとし、入射波は周期T=3.0s(kh=7.2), 波高H=0.18mの第5次ストークス波とした。計算時間は30周期であり、計算時間間隔はBEMを0.01sとし、VOFはBEMの1ステップにつき15ステップの計算を行う。両側のBEMはともに沖側および岸側境界と水面境界の要素数をそれぞれ10, 120(要素間隔:0.036L)とし、VOFの水平方向と鉛直方向のセルの数はそれぞれ300(セル幅:0.0083L), 50と設定した。

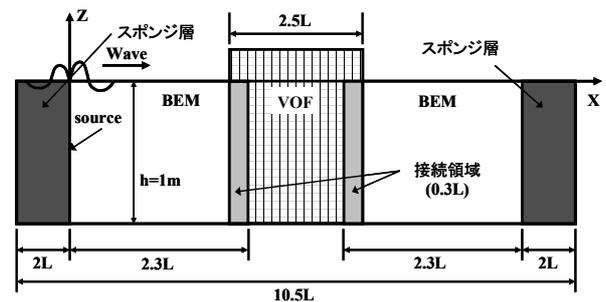


図-3 計算条件

図-4はt=30T(計算終了時)における水面波形で、実線はBEMとVOFの2領域結合(BEM領域4.3L(スポンジ層2.0L), VOF領域6.5L(スポンジ層2.0L)), プロットは3領域結合による結果を示している。3領域結合の場合、VOF領域岸側の一部をBEMに置き換えており、VOFの計算領域が縮小されているため計算時間は2領域結合のおよそ1/3に短縮されたが、図からわかるように水面波

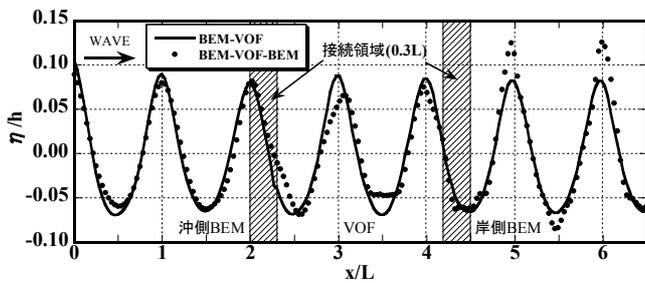


図-4 t=30Tにおける空間波形

形が乱れている。

水面波形の時間変化を調べたところ、岸側 BEM との接続領域周辺から波形の乱れが発生していることが推測できた。図-5 に岸側 BEM の接続境界の水表面におけるポテンシャル(ϕ)とその法線微分値 (ϕ_n) の時間変化を示す。図よりポテンシャルの時間変化には長周期の変動が含まれており、その法線微分値については一波毎に変動がばらついていることがわかる。BEMにおける水面変動は、運動学的境界条件からポテンシャルの微分値により決定するため、この微分値のばらつきが波形の乱れに直接影響していると考えられる。

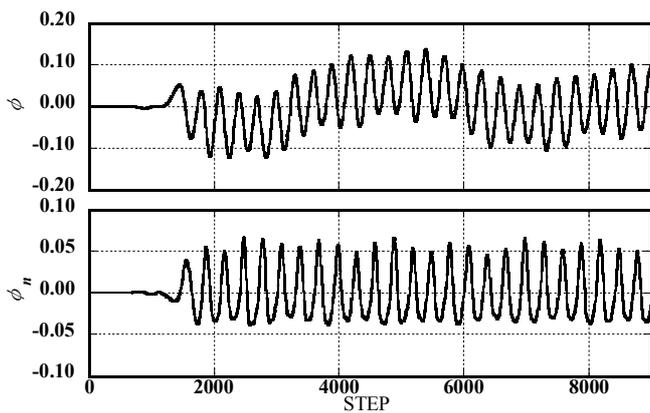


図-5 岸側 BEM の接続境界水面位置における ϕ (上段), ϕ_n (下段)の時間変化

3.2 VOF の計算精度の向上による改善

図-5 の結果より、波形の乱れは VOF から岸側 BEM への入力値(圧力, 流速)が安定していないことが原因と考えられる。そこで VOF の計算精度を高めるために、およそ 1:2 であった VOF のセルの縦横比を 1:1 とし、セルを正方形にした。それに伴い水平方向のセルの数は 540(セル幅: 0.0046L)となりセルの総数は約 2 倍になった。図-6 はセルを正方形とした場合の計算結果で、図-5 と同じくポテンシャルと法線微分値を示している。図-5 と図-6 のポテンシャルの法線微分値を比較すると一波毎の変動が収まり全体的に安定している様子がわかる。図-7 は t=30T(計算終了時)の水面波形であり、岸側 BEM 領域で波高が若干大きくなっているが、ポテンシャルの微

分値が安定することで図-4 の結果に比べ大幅に改善されている。計算時間については、セルの数が増えたことで増加したが、それでも 2 領域結合の 2/3 程度であった。

ところで、図-6 のポテンシャルの時間変化をみると、若干振幅は小さくなっているものの依然として長周期の変動が存在している。この長周期の変動は他の計算ケースについても発生することを確認しており、スポンジ層を含めた計算領域全体の長さを波長とする固有振動であることが判明している。しかし、発生の原因についてはスポンジ層もしくはスポンジ層背後の透過境界における境界処理に関連するものと思われるが、現段階では明らかではない。

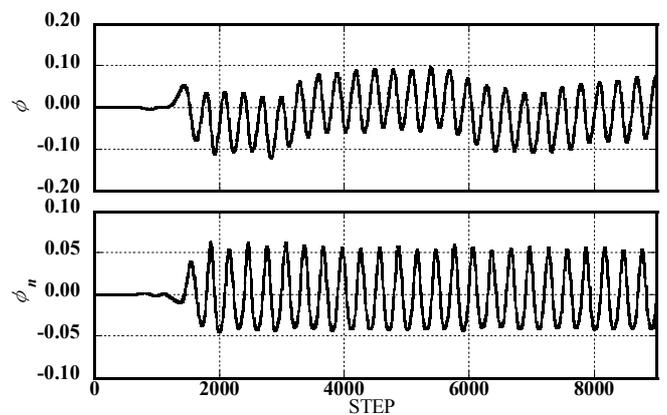


図-6 岸側 BEM の接続境界水面位置における ϕ (上段), ϕ_n (下段)の時間変化(セルの縦横比 1:1)

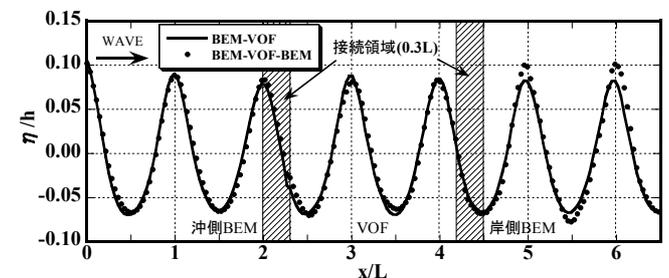


図-7 t=30Tにおける空間波形(セルの縦横比 1:1)

4 おわりに

BEM と VOF の結合解析法において、BEM へ安定した境界値を引き渡すために、VOF の計算精度をある程度高めておく必要があることがわかった。今後は、計算領域全体で生じる共振現象の原因を追究し対処するとともに、結合法の改良を含め、結合解析法の計算精度と安定性のさらなる向上を目指す。

参考文献

野 曙光・山城 賢・吉田明德・入江 功(2003) : BEM と VOF を結合した波動場解析. 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.11-15.
 野 曙光・山城 賢・吉田明德・入江 功(2004) : BEM と VOF の結合解析法による構造物近傍波動場の解析. 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.31-35.