

BEM-VOF 結合波動場解析法の改良

九州大学 学生員 〇 亀子健太 古本裕一 金 相昊
九州大学 正会員 山城 賢 吉田明德

1. はじめに

著者らはこれまでに、BEM と VOF を双方向に結合した波動場解析法を提案¹⁾し、VOF 単独による計算と少なくとも同等の精度で、かつ格段に短い時間で計算できることを示した。VOF 法を用いながらも計算時間を大幅に短縮できるという本解析法の利点は、不規則波を対象に長時間（有義周期で数 100 周期程度）の計算を行う場合に特に発揮される。しかしながら、著者らが以前に提示した BEM と VOF の結合法では、結合部の最適な領域長が入射波の波長に依存し、幅広い周波数帯にエネルギーを有する不規則波を対象とする場合には、高周波数成分や低周波数成分を必ずしも十分に伝播できず、結合領域で反射や極短周期の振動が発生するという問題があった。本研究では、この問題を克服するため BEM-VOF 波動場解析法の結合法を再度検討し、より厳密に結合を行う方法を考案することともに、VOF 領域の両側に BEM を配置した 3 領域結合の計算に拡張し、本解析法の適用性の向上を試みた。

2. 結合法の改良

BEM-VOF 波動場解析法では、BEM と VOF の計算領域を一部重ねて、互いに他方の計算結果を境界条件とすることで双方向に結合しており、この重複した領域（結合領域）では BEM と VOF のそれぞれで水面波形の計算を行っている。両者の水面波形は本来一致するものであるが、特に不規則波の場合は、計算が進むにつれ結合領域におけ

る BEM と VOF の水面波形が次第にずれ、前述の問題が生じる。そこで、各計算ステップにおいて、図-1 に示すように結合領域の BEM 側では BEM の水面位置に、VOF 側では VOF の水面位置に無理なく接続するよう、重み付けして平均し両者の水面波形を一致させることとした。また、水面位置のみを修正しても計算は安定せず、水面位置の変化に伴って、BEM においては水面境界のポテンシャルとその法線微分値および要素間の距離に関する積分量などについて再計算を行い、VOF においては VOF 関数 F の修正を行っている。これに加え、中央差分を用いた諸量の時間発展に対する安定化処理（平滑化）、および計算アルゴリズムの修正を行った。

3. 改良した結合法の検証

図-2 に示す一定水深の計算領域（領域幅は $0.3L_{1/3}$ ）において Bretschneider - Mitsuyasu 型スペクトルを有する不規則波 ($T_{1/3}(g/h)^{1/2}=9.39$, $H_{1/3}/h=0.05$)を用いて $100T_{1/3}$ 間の計算を行った。図-3 に計算開始後 $30T_{1/3}$ における結合領域の水面波形を示す。従来の結合法では結合領域で BEM と VOF の水面波形に差が生じているが、改良した結合法では、各計算ステップについて水面の接続処理を行うため、波形に差がほとんど生じず、各計算ステップにつきごく僅かな補正量で両者の水面波形は一致する。図-3 は水面変動のスペクトルの空間変化を示している。従来の結合法では、結合

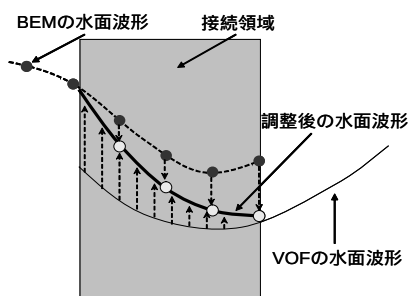


図-1 水面波形補正の概略

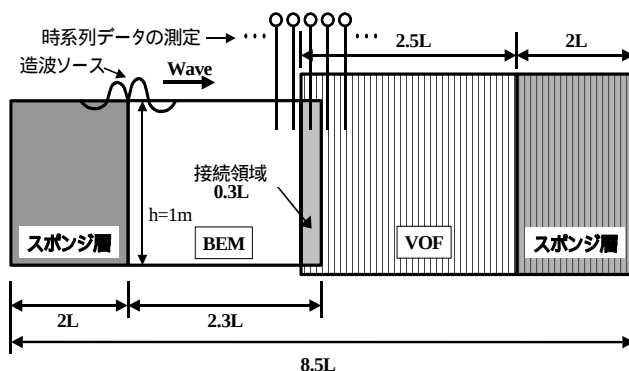


図-2 計算領域

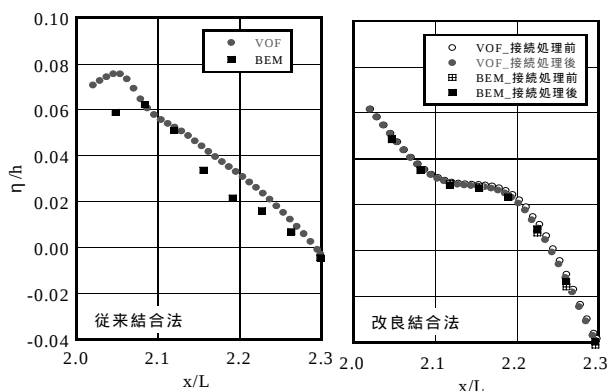


図-3 結合領域における BEM と VOF の水面波形

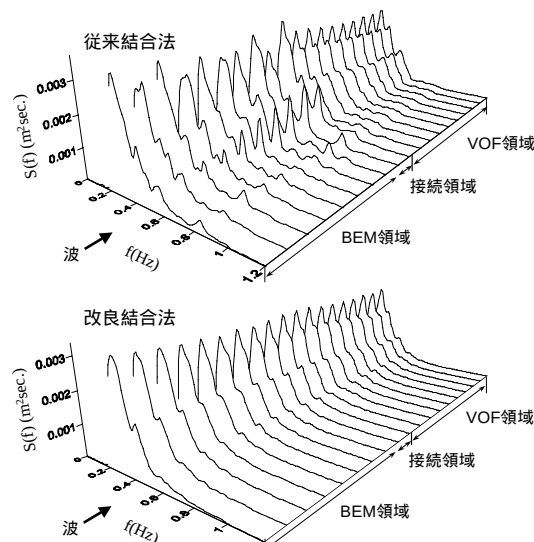


図-4 スペクトルの空間変動

領域で反射や微振動が生じているため、BEM 領域のスペクトルは空間的に大きく変動している。これに対し改良した結合法では、計算領域全体を通してスペクトル形状はほぼ一定であり、結合領域幅の入射波の波長に対する依存性が明らかに低減しているとともに計算精度と安定性が格段に向上している。

4.3 領域結合による適用性の向上

図-5 に示す 3 領域結合による計算を行った。入射波は第 5 次ストークス波で波高と周期はそれぞれ $H=0.1\text{m}$, $T=2.0\text{s}$ であり、全計算領域($10L$)の両側には減衰領域($2.0L$)を設定した。VOF の計算格子は水深の 0.04 倍の正方格子とした。計算時間は 30 周期(T)、時間間隔(DT)は BEM と VOF 共に $T/2000$ とした。以上の条件での 3 領域結合(以下 BVB)の計算を行い、比較のため、岸側の BEM の領域を VOF 領域とした 2 領域結合(以下 BV)による計算も行った。図-6 は計算開始後 30 周期における空間波形の計算結果と理論値との比較である。

岸側に行くほど計算値は理論値と若干差が生じているが、BVB のほうが理論値とよく一致している。図-7 は各観測点での波高比を示したものである。BV と BVB とともに波高が空間的に小さくなるが、減少する程度は BVB より BV のほうが大きいことが分かる。VOF 法は波が伝播するにつれ波高が小さくなることが知られており、VOF の計算領域が相対的に小さい BVB の計算のほうが波高の減少の程度は小さくなっている。

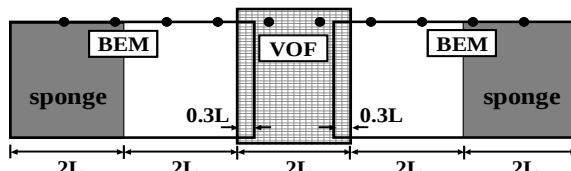


図-5 計算領域

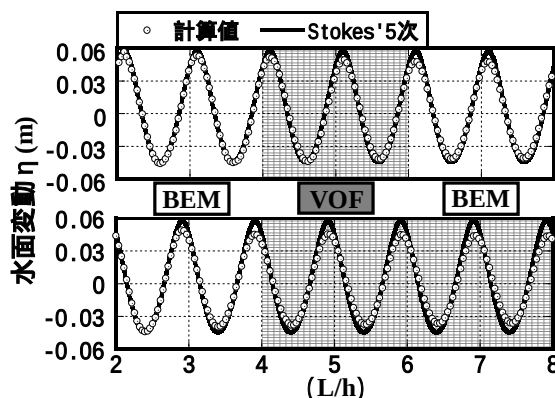


図-6 理論値と計算値の比較(上: BVB, 下: BV)

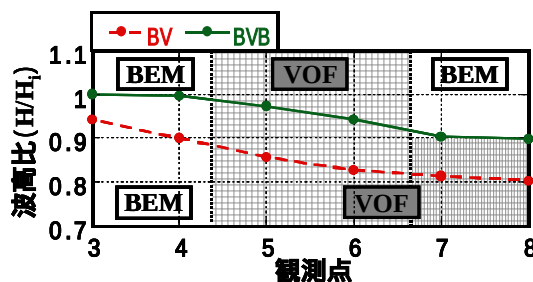


図-7 観測点での波高比

5. まとめ

結合法を改良した BEM-VOF 波動場解析法は長時間の計算を必要とする不規則波について精度良く安定した計算を行うことができるため、不規則波を対象とする種々の問題についての詳細な検討が可能となった。また、3 領域結合による計算が可能であることから、砕波後の再生した波の伝播などを取り扱う場合にはより有用な解析法となる。

参考文献

- 1) エン曙光, 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, 海岸工学講演会論文集, 第 51 巻, pp.31 ~ 35.