

深海からのメタンガス流出に及ぼすハイドレート形成過程の影響

(阪大院基工)○(正)高木洋平*、(正)伴貴彦、(正)岡野泰則、(阪大院工)國包悟、(阪大工)河原翔、

(阪大院工)加藤直三、(阪大院基工)(正)大垣一成

1. 緒言

近年、海底油田からの重油流出事故が世界各地で発生している。海底から噴出する成分は重油以外にもメタンガス等の天然ガスを含んでおり、噴出したメタンガスは深海の低温・高圧条件下ではハイドレートを形成するため、単純な気液混相流として油・ガスの挙動を予測することはできない。本研究ではメタンハイドレートの形成・分解を考慮した深海からのメタンガス追跡数値モデルを検証し、ハイドレート形成過程が計算結果に与える影響について調査を行った。

2. 数値計算法

重油・ガス流出挙動予測の第一段階としてメタンガスのみの流出を考慮した解析を行う。Figure 1 に示すように、噴出したガスはジェット/プルームを形成するため、計算ではその中心軸に沿って円盤状のコントロールボリューム(CV)に分割し、運動量・物質・熱量の保存を考慮しながら CV 内粒子数・相状態・濃度等をラグランジアン的に追跡する¹⁾。海水とプルーム内の密度が釣り合う深さに達するとプルーム相は終了し(中立浮遊層)、その後は個々の気泡粒子の併合・分裂を考慮しながら追跡を行う。全ての階層で海水へのメタンガスの溶解を考慮し、熱化学的条件によってハイドレートが形成されるとき成長速度は以下の関係式から求められる。

$$\frac{dn}{dt} = KA(f_{dis} - f_{eq}) \quad (1)$$

ここで、 dn/dt はハイドレート成長速度、 K は反応定数、 A はハイドレート粒子表面積、 $f_{dis} \cdot f_{eq}$ は溶解ガス及び三相平衡状態でのメタンのフガシティーをそれぞれ表す。ハイドレート粒子を中心にメタンガスを内包する球殻構造と仮定し、半径を r_h とすると、表面積 A は $A = 4\pi r_h^2 \Psi$ と表せる。ここで Ψ は球形からのずれを表す形状係数であり、 Ψ の増加によってハイドレート成長速度が増加する。また、ハイドレートの分解過程についても Eq. (1) と同様な式から分解速度を求めた。

計算はノルウェー沖水深 -844 m からの海水/メタンガス噴出現場実験²⁾ を模擬し、環境流体速度をゼロとした以外は同一の条件で行った。モデルに含まれる定数パラメータは Yapa et al.¹⁾ とほぼ同一であるが、形状係数 Ψ には任意性があり(Yapa et al.¹⁾ では $\Psi = 38$)、本研究ではハイドレート形成過程において Ψ を 1 から 150 まで変化させてその依存性を検討した。

3. 結果と考察

まず Yapa et al.¹⁾ と同様に $\Psi = 38$ とし、メタンガス放出 1.5 時間後でのガス粒子の鉛直方向到達深さを実験データ²⁾ と比較すると、ほぼ同程度の値(~ -200 m) になった。次に実海域での流出予測に重要となる中立浮遊層について、 Ψ を変化させたときの終端位置と到達時

間を Fig. 2 に示す。 Ψ が 1 より大きい、すなわちハイドレート粒子の表面積が球面よりも増加するとハイドレート形成が促進される。よって、プルーム内のメタンガス濃度が低くなることによって中立浮遊層終端位置は深くなり、到達時間も短くなる。しかしガス-ハイドレートの平衡がプルーム相で起こると($\Psi \geq 38$)、平衡状態となった気泡群の影響が強くなり、 Ψ の増加とともに終端位置・到達時間も増加することがわかる。

4. 結言

深海からのメタンガス流出挙動を予測する数値モデルにおいて、ハイドレート粒子の形状係数を大きくしハイドレート成長速度を上昇させると、中立浮遊層の高さや到達時間が減少し、その後増大する。しかし、これらの値の増減はメタンガス-ハイドレートの平衡がプルーム内で起こるかどうかに依存する。実海域ではメタンガスの噴出形態や周囲条件によってハイドレート形成過程は変化するため、実際の数値予測ではその依存性を考慮する必要がある。

謝辞

本研究は科学研究費補助金・基盤研究(S)(課題番号 23226017)の一部として行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) P. D. Yapa et al., OCEANS 2008, (2008).
- 2) O. Johansen et al., SINTEF Technical report (2000).

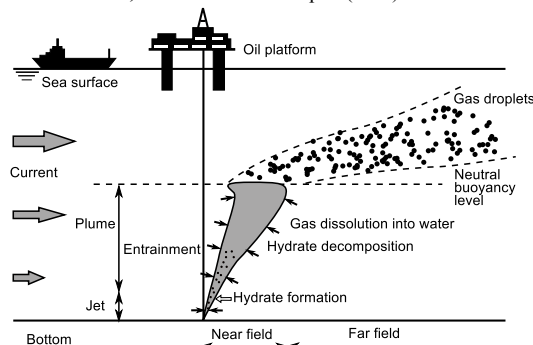


Fig. 1 Schematic of deep water gas blowout¹⁾.

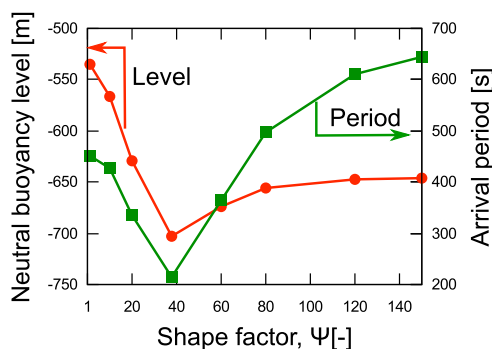


Fig. 2 Dependency of methane hydrate shape factor on neutral buoyancy level and arrival period.