

メタンハイドレートを含んだ土の三相モデルに関する検討

横浜国立大学大学院 工学府 学生会員 ○石川 知弘
横浜国立大学大学院 工学研究院 谷 和夫

1. はじめに

現在、メタンハイドレート(以下 MH)を含んだ土についての、基本的な物理量に関する用語が統一的に使用されていないため、技術情報の伝達や蓄積に問題がある。そこで、技術用語の定義を明確にするために、地盤工学をベースとした新しい三相モデルを考案した。

2. メタンハイドレートを含んだ土の三相モデル

MH を含んだ土の三相(固相、液相、気相)を図-1 に示すように、以下に構成要素に分類した

固相は、土粒子、ハイドレート、氷の三つの物質によって構成される。地盤工学では、固相は土粒子のみであったが、ハイドレートが永久凍土下にも存在することを考慮して、ハイドレートと氷を追加した。氷については、追加することとした。また液相は、水のみで変わらない。気相は、炭化水素ガス及びそれ以外の空気の二つで構成される。地盤工学では、気相は空気のみであったが、ハイドレートを含んだ土を考えた場合、炭化水素ガスはハイドレートとの相変換において考慮する必要があるため、空気とは独立したものとして追加した。

各構成要素 A の体積 V_A ・質量 m_A とすると、飽和度 $S_{r,A} = V_A/V_e \times 100(\%)$ (degree of A saturation/A saturation), $c_A = m_A/m \times 100(\%)$ (ratio of A content), $C_A = m_A/m_{sp} \times 100(\%)$ (rate of A content) となり、従来の地盤工学における飽和度、含水比および含水率と同じ形の定義式で表される。 V_{sp} 、 V_e はそれぞれ土粒子、間隙の体積を表す。間隙比 e は地盤工学と同様に $e = V_e/V_{sp}$ と表されるものとした。

これらの物理量の名称、定義式を決定するにあたって、既往の研究と本研究において提案した間隙比および飽和度を表-1, 2 に比較した。MH を含む土は間隙部分の比率および MH が間隙に占める割合が重要だからである。地盤の間隙部分を表す物理量として、土粒子の体積との比を表現した間隙比と、全体積中の割合を表した間隙率ないし孔隙率がある。MH の生産過程で温度・圧力等の外部条件で変化してしまう全体積 V よりも、普変量として扱うことのできる土粒子の体積 V_{sp} を基準とした方がよいと考えられる。よって、本研究では、地盤工学で用いられている間隙比を用いることを提案する。間隙に占めるハイドレートの割合を表現する物理量は、定義式は統一されているものの、名称に関しては三種類の名称が使用されている。MH の生産過程では状況が充填よりも分解であること、また、地盤工学で扱われてきた用語を優先する観点から飽和度という名称に統一することを提案する。また、水および氷についても同様に飽和度を定義するものとした。

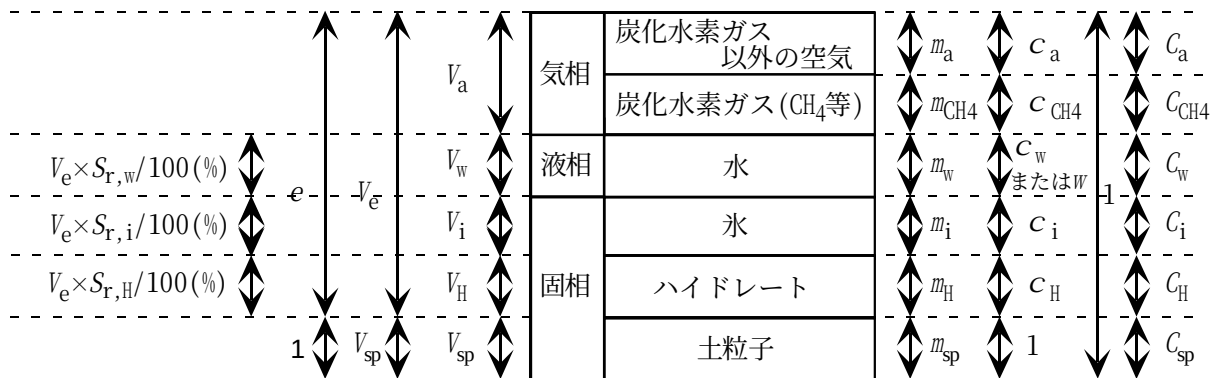


図-1 メタンハイドレートを含んだ土の三相モデル

キーワード：メタンハイドレート・三相モデル・飽和度・含有率

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 Tel 045-339-4030

表－１ 既往の研究における定義との比較(間隙部分の比率に関する用語)

日本語表記	記号	英語表記	定義式	分野
間隙比 ¹⁾	e	void ratio	V_e/V_{sp}	地盤工学(主に土質工学)
間隙率 ¹⁾	n	Porosity ^{4),5)}	V_e/V	地盤工学(主に岩盤工学)
孔隙率 ^{2),3)}	ϕ			資源工学

表－２ 既往の研究における定義との比較(間隙に占めるハイドレートの割合を表現する用語)

日本語表記	記号	英語表記	定義式	分野
ハイドレート飽和度	$S_{r(H)}$	degree of hydrate saturation	$(V_H/V_e) \times 100\%$	地盤工学(主に土質工学)
ハイドレート充填率 ³⁾	S_h	hydrate saturation ^{4),5)}	V_H/V_e	地盤工学(主に岩盤工学)
ハイドレート飽和率 ²⁾				資源工学

換算式： $e = n/(1-n) = \phi/(1-\phi)$ ， $e = \{1 + (c_w + c_i + c_h)/100\} / \rho_t - 1$ ， $S_{r,H} = (c_h \cdot \rho_s) / (e \cdot \rho_h)$

３．メタンハイドレートを含んだ土の三相モデルを用いた計算

海底の MH 層の構成要素の物理量の間に成り立つ関係式を示す。地盤は、MH を含んだ飽和土(気相を含まない)を仮定する。この時、土(土粒子の密度 $\rho_s=2.65\text{g/cm}^3$)、海水(温度 $T=5^\circ\text{C}$ 、塩分濃度 $=35\%$ 、海水の密度 $\rho_w=1.027\text{g/cm}^3$)、MH(組成式 $\text{CH}_4+5.75\text{H}_2\text{O}$ 、ハイドレートの密度 $\rho_{MH}=0.917\text{g/cm}^3$ 、MH の分子量 $B_{MH}=119.5\text{g/mol}$)を構成要素として仮定する($T=5^\circ\text{C}$ のため水は含まない)。計算するにあたって、式①～⑤を与えた。それぞれ①メタンガスの質量(B_{CH_4} ：メタンガスの分子量)、②分解率($m_{d,H}$ ：mass of dissociated hydrate)、③ハイドレートの密度、④間隙の体積、⑤MH 飽和度の定義式を表す。これらの式を用いて 1m^3 の MH 層から得られるメタンガスの質量 m_{CH_4}/V を求める式⑦が得られ、 m_{CH_4}/V の比は MH 飽和度 $S_{r,H}$ 、分解率 R_d に対して線形に増加し、間隙比 e に対しては非線形に増加する。

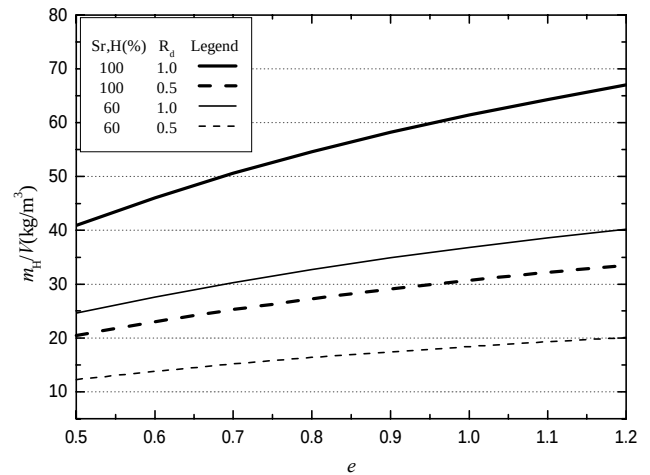
図－２に、間隙比($e=0.5\sim 1.2$)に対する m_{CH_4}/V の比を分解率ごとに描画した。間隙比 e ・MH 飽和度 $S_{r,H}$ ・分解率 R_d から、採取されるメタンガスの質量を求めることができようになり、今後メタンガスの生産量を把握する際に、非常に有用な関係であると考えられる。

$$m_{CH_4} = m_H \cdot R_d \cdot (B_{CH_4}/B_H) \cdots \textcircled{1} \quad R_d = (m_{d,H}/m_H) \cdots \textcircled{2}$$

$$m_H = \rho_H \cdot V_H \cdots \textcircled{3} \quad V_e = V \cdot \{e/(1+e)\} \cdots \textcircled{4}$$

$$S_{r,H} = (V_H/V_e) \times 100 \cdots \textcircled{5}$$

$$m_{CH_4}/V = \rho_H \cdot (B_{CH_4}/B_H) \cdot \{e/(1+e)\} \cdot (S_{r,H}/100) \cdot R_d \cdots \textcircled{6}$$



図－２ 間隙比 - 単位メタンガス重量関係

４．まとめ

- ①地盤工学の枠組みをベースに、MH を含んだ土に関する三相モデルを作成した。
- ②MH を含んだ土の各構成要素の物理量の名称、定義式の決定、および、それらの間に成り立つ関係を求めた。
- ③モデルを用いて、 1m^3 の MH から生産されるメタンガスの質量を推定する関係式を示した。

参考文献

- 1)安田進,山田恭央,片田敏行著:土質力学,オーム社,1997.2)駒井武:メタンハイドレート生産手法開発と浸透率の評価,(独)産業総合技術研究所 地圏資源環境研究部門成果報告,2003.3)棚橋学:メタンハイドレート資源の開発,物理探査,第 55 巻,第 5 号, pp.403-412,2002.4)Masuda, Y., Kurihara, N., Ohuchi, H., Sato, T.: A field-scale simulation study on gas productivity of formations containing gas hydrates. Proc 4th Int.Conf.on Gas Hydrate,vol.1 pp.40-46,2002 5)Jennin, L.,Bayi, A.,Renard, G.,Bonneyfof, O.,IM.Herri. Formation & Dissociation of Methane Hydrates in Sediments Proc 4th Int.Conf.on Gas Hydrate,vol.2 pp.802-806,2002

