メタンハイドレート資源開発と地盤工学との係わり

清水建設(株) 技術研究所 傳田 篤

1. はじめに

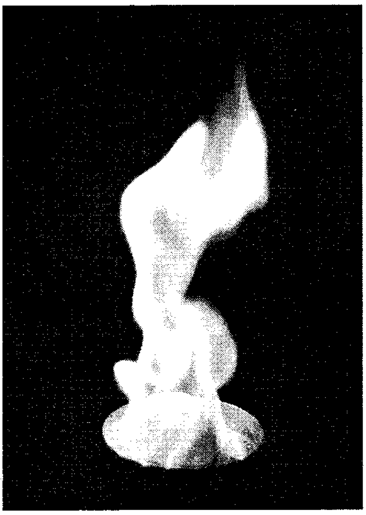
メタンハイドレートは、石油・天然ガスに代わる次世代資源として期待されている。エネルギー資源に乏しい日本周辺にも、現在の日本の天然ガス消費量にして約 100 年分にも相当する資源量が賦存していると推定されている[1]。この膨大なメタンハイドレートを資源として有効利用することを目的として、経済産業省では「わが国におけるメタンハイドレート開発計画」を策定し、その計画の下に「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」を組織し、海外との技術交流を行いながら精力的な研究開発を進めているところである。

本論では、まずメタンハイドレートの概要紹介からはじめ、わが国における開発取り組みの概要および地盤工学的な観点からの課題等について紹介する。

2. メタンハイドレートの概要

水分子が水素結合によって作る格子状のゲージの中に、メタン分子が取り込まれた水和物がメタンハイドレートである。メタンハイドレートは、見掛け上シャーベット状の氷に類似しており、物性値としても氷に近い値が報告されている(表－1)。

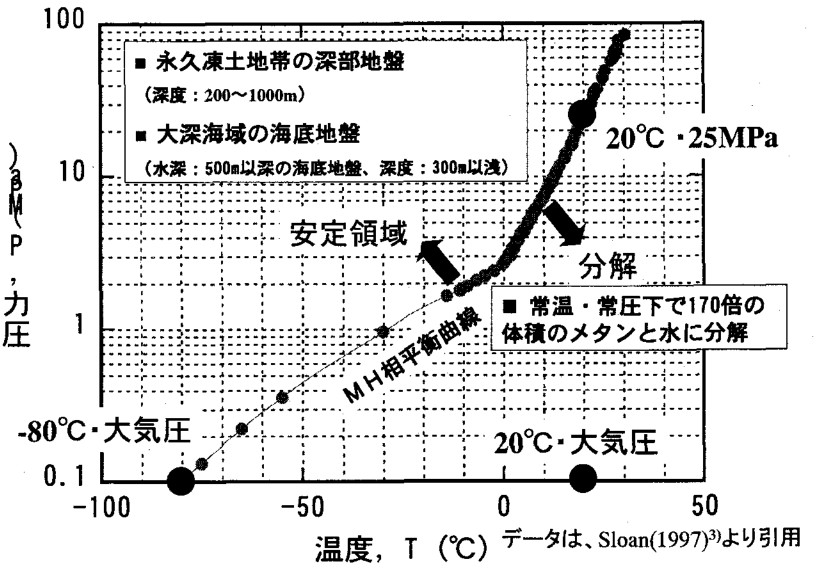
低温高圧の環境条件下で安定に存在し、常温常圧下ではメタンと水に分解する。1cc のメタンハイドレートは、常温常圧下では、170cc のメタンガスと 0.8cc の水に分解する。自然界においても、永久凍土地帯の深部地盤や大深海域の海底地盤内で天然のメタンハイドレートが存在している。海域では、水深約 500m 以深で安定的に存在しうる温度・圧力条件に達するが、海底地盤の地温が深度と共に増加するため、メタンハイドレートの生成条件が満たされる下限深度もある。この深度は地温勾配に依存するが、水深 1000m に海底面があるとした場合、概ね海底面下 200m ～300m である(図－2)。



図－1 “燃える氷”メタンハイドレート

表－1 氷とメタンハイドレートの比較 [2)]

特 性	氷	メタンハイドレート
ρ g/cm^3	0.916	0.912
V_P m/sec(at 0℃)	3800	3300
V_S m/sec(at 0℃)	2020	1700



図－2　メタンハイドレートの平衡条件

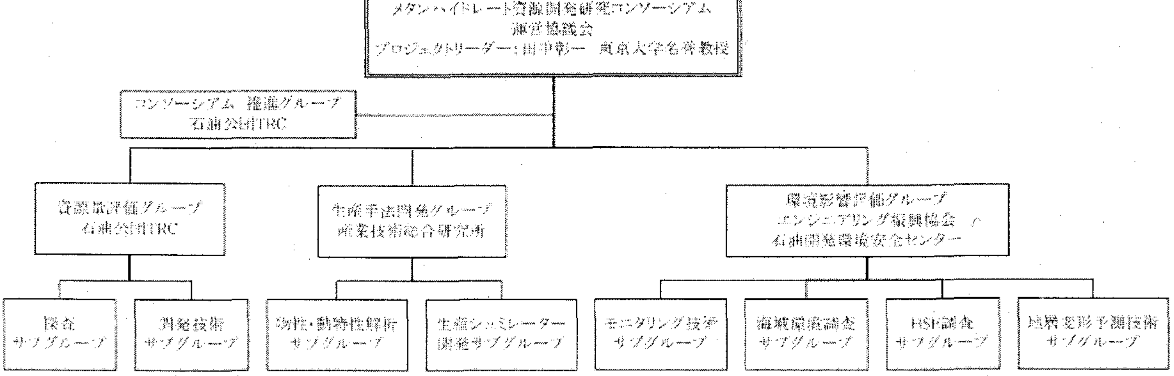
3. わが国のメタンハイドレート資源開発の取り組み概要

前述のように、経済産業省では「わが国におけるメタンハイドレート開発計画」を策定し、その計画の下に「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」を組織し、精力的な研究開発を進めている（図－3）。研究組織としては、研究コンソーシアムの最高議決機関である運営協議会の下、資源量評価グループ、生産手法開発グループおよび環境影響評価グループの３グループから構成されており、それぞれ次のような役割を担っている。

①資源量評価グループ：日本列島周辺、特に南海トラフ海域におけるメタンハイドレートの賦存海域と賦存量の把握

②生産手法開発グループ：メタンハイドレートの基礎的物性の把握とメタンハイドレート濃集層を対象とした効率的な生産技術の研究開発

③環境影響評価グループ：メタンハイドレート生産に伴って発生しうる、海生生物、水質、地盤等への影響の度合いを予測、把握するための技術の研究開発、生産時における安全管理に関する調査研究



図－3　メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムの研究体制

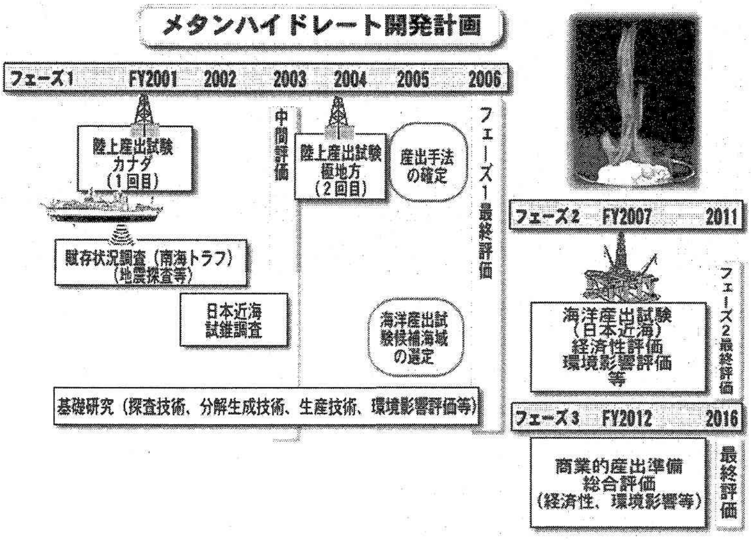
全体計画としては、図－4に示すように３つのフェーズに分けられており、それぞれおおまかには次のような位置づけにある。

①フェーズ１(2001 年～2006 年)：フェーズ２で予定している日本近海での実産出試験のための基本的要素技術の開発

②フェーズ２(2007 年～2011 年)：フェーズ１で開発した技術の実証確認

③フェーズ３(2012 年～2016 年)：商業生産にいたるまでの総合評価試験

2001 年にフェーズ１の研究開発が始まり、最終段階であるフェーズ３の完了まで、実に全体で 16 年間にもわたる大型プロジェクトである。

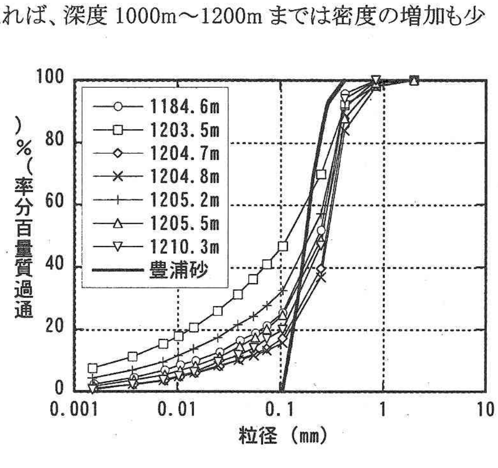


図－4　メタンハイドレート資源開発研究全体計画概要 [4)]

4. 南海トラフ海底地盤の概要

メタンハイドレートの広域的分布が確認された南海トラフにおいて基礎試錘が実施され、物理探査による調査が行われている[5)]。採取したコアで測定した粒径加積曲線を図－5に示す。図中の採取深度は、海面からの深度であり、海底面の深度は 945m である。メタンハイドレートが分布する深度は、1152m～1210m 程度とされており、全てのコアはメタンハイドレート分布深度から採取されたものである。粒度組成としては、細粒分混じり砂および細粒分質砂に分類され、概ね粒度分布の良い試料である。一方、LWD(Logging While Drilling) による密度検層によれば、深度 1000m～1200m までは密度の増加も少なく、1.8 g/cm^3 程度の値が報告されている。

このように、南海トラフにおいてメタンハイドレートが存在するのは、水深 1000m～2000m の海底面下 200m～300m の比較的ルーズな砂質土層であるが、粘性土層についてもあまり圧密やセメンテーションが進んでいるとは言えず、全体として固結度は高くない。



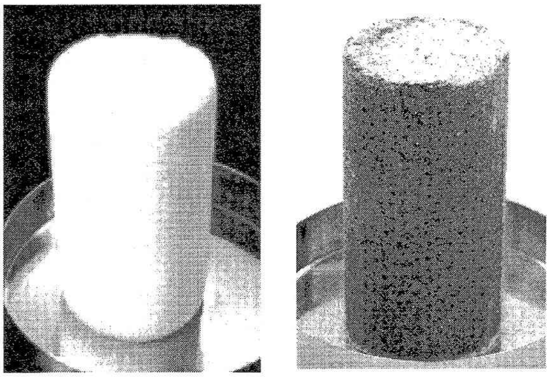
図－5　採取コアの粒径加積曲線

5. 地盤工学的課題

地盤中のメタンハイドレートからメタンガスを生産する方法としては、①熱刺激法、②減圧法、③インヒビター注入法などが検討されている。いずれの方法も、地盤中でメタンハイドレートの平衡状態を変化させ、メタンガスと水とに分解することによって、メタンガスだけを採取しよ

うとするものである。地盤中に存在する固体のメタンハイドレートが気体と液体とに相変化することから、それによって地盤の骨格構造の変化や間隙圧の変化に起因した大規模な地盤変形が発生する可能性が懸念されている。

このような地盤変形を予測、評価するためには、メタンハイドレートを含有する地盤の力学特性を把握することが重要であるが、大水深海域の海底浅層部で、しかも固結度の低い地盤から、乱れの少ない試料を採取することは容易なことではない。このため、室内においてメタンハイドレートを含有する様々な状態の模擬試料を作成し、低温高圧下での三軸試験を実施し、その力学特性を把握しているところである。



図－6　人工的に合成したメタンハイドレート試料
（右は模擬地盤試料の間隙内に合成させたメタンハイドレート）

先に述べたフェーズ1までの段階で、メタンハイドレート含有地盤の力学特性をもとに、メタンガス生産による海底地盤の変形予測プログラムのプロトタイプを開発することになっている。

また、上記以外の地盤工学的な観点からの課題としては、以下のような項目が考えられている。

①大水深での地中地盤変位のモニタリング技術（一部はモニタリング技術サブグループで検討中）
②大水深軟弱海底地盤の地盤改良技術
③傾斜海底地盤での地すべり対策（メタンハイドレート含有地盤が潜在的なすべり面となる可能性が考えられる）
④動的力学特性の把握（広域にメタンハイドレートの分布が確認されている地域と将来地震が発生する可能性が高いとされる地域が重複している）
⑤地盤変形等を考慮したメタンガス生産施設（井戸等）の設計、解析技術
⑥地盤変形の予測結果や計測結果からのメタンガス生産に対する安全基準の検討（フェーズ2後半以降から？）

6. おわりに

従来、メタンハイドレートの研究としては、理化学的観点からの物性研究、地球科学、地質学的観点からの成因や特性等に関する研究、あるいは石油工学的観点からの地盤内の多相移流解析や物理探査技術等に関する研究などが中心であった。メタンハイドレート地盤内の応力や変形を対象とした地盤工学的な研究開発は、まだ始まったばかりであり、何もわかっていないに等しい状況にある。したがって、今後研究が進むにつれてつぎつぎと新しい工学的問題にも出くわすことになろう。2003 年 12 月に幕張で開催されたマリック国際シンポジウム（わが国が中心となってカナダで実施したメタンハイドレートの陸上産出試験に関する報告会）においても、今後の地盤工学的取り組みの重要性が議論されたところであり、今後の精力的な取り組みと成果に期待したいところである。この種の調査研究は、広くさまざまな観点からの調査研究が望まれるところであり、一人でも多くの土木工学、地盤工学の関係者からの参加を期待したい。

参考文献

1）佐藤幹夫・前川竜男・奥田義久、「天然ガスハイドレートのメタン量と資源量の推定」、地質学雑誌、Vol.102、No.11、pp.959－971、1996
2）http://www.netl.doe.gov/scng/hydrate
3）Sloan,E.D.Jr., “Clathrate hydrate of Natural gases”, 2nd edition, Marcel Dekker, Inc., 1997
4）http://www.mh21japan.gr.jp/japanese/index.html
5）平成 11 年度　国内石油・天然ガス基礎調査　基礎試錘「南海トラフ」調査報告書、石油公団、2000.