

平成14年度 主な開発目標－1

感度解析

地盤に関する各種パラメータが地層変形に及ぼす影響度の把握

POINT

生産に伴うMH層の変動をどう模擬するか
解析モデルとしての地層構成、物性値等の妥当性

平成14年度 主な開発目標－2

地盤物性の評価

氷模擬試料の強度・変形特性の把握
低温高圧三軸試験装置の仕様検討
メタンハイドレート生成装置の設計・製作

POINT

氷の存在状態による力学的挙動の相違
せん断中の体積変化・弾性波速度・比抵抗の測定
密度、粒度分布、MHの存在状態の再現性

平成14年度 主な開発目標－3

構成式およびプログラム開発

海底地盤の沈下現象・解析事例に関する既往研究調査
解析コード・既往構成式の調査
開発プログラムの概略基本構造の検討

POINT

陸上地盤と海底地盤の力学的相似性
既往構成式の適用性評価

報告内容

地盤物性の評価

- 氷模擬試料の三軸圧縮試験結果
- 低温高圧三軸試験装置の仕様検討
- メタンハイドレート生成装置の設計・製作

感度解析・構成式の構築

- 解析方法・解析条件
- 解析結果
- 海底地盤の沈下現象と解析事例
- 地盤材料の構成式

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム
平成14年度成果報告会

地盤物性の評価

環境影響評価G・地層変形予測SG

清水建設（株）
関東天然瓦斯開発（株）



財団法人 エンジニアリング振興協会

氷模擬試料の三軸圧縮試験

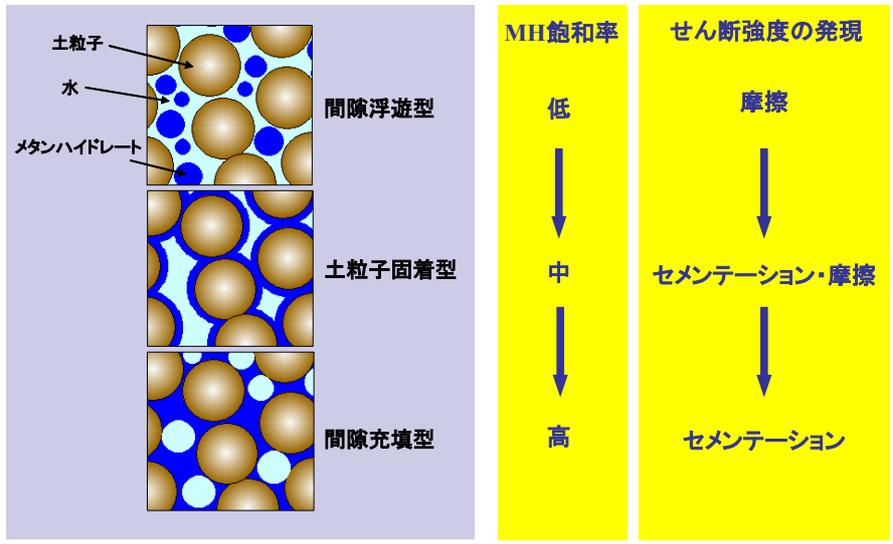
メタンハイドレートと氷

密度・せん断弾性係数(G)・体積弾性係数(K)が類似

目的

- 試料中の氷（メタンハイドレート）の存在状態が力学特性に与える影響の把握
- 模擬メタンハイドレート試料作成手法の検討

メタンハイドレートの存在状態



氷模擬試料の三軸圧縮試験

試料	砂質土	<ul style="list-style-type: none"> 豊浦砂 間隙氷 (MHIに相当) 不凍水 (間隙水に相当) 	状態A: 間隙氷が浮遊
			状態B: 間隙氷が土粒子に固着

試験条件	圧密非排水条件	間隙水圧測定経路は塩水充填
	有効拘束圧	1MPa、2MPa、4MPa
	バックプレッシャー	0.3MPa
	ひずみ速度	0.1%/min
	供試体温度	-10℃

氷模擬試料(状態 A)の作成方法

状態 A : 間隙浮遊型

1. -20°C の冷凍室内で超音波加湿器から噴霧された水を急速冷凍することにより氷微粉末を作成
2. 乾燥させた所定量の豊浦砂と混合
3. 供試体作成モールド内で静的に締固めて作成



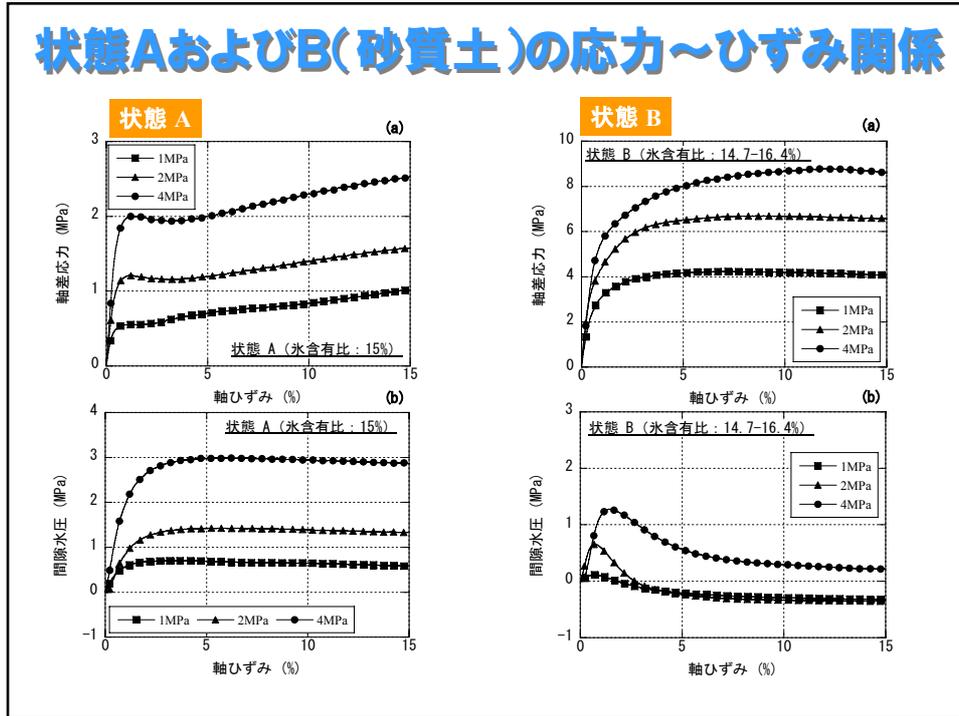
氷模擬試料(状態 B)の作成方法

状態 B : 土粒子固着型

1. 乾燥させた豊浦砂を空中落下法で供試体作成モールドに詰める
2. 供試体下部から水浸飽和させた後、所定の含水比となるよう供試体上部から10kPaのエアを圧入して脱水
3. 一次元凍結試料作成装置にて、供試体下部から凍結

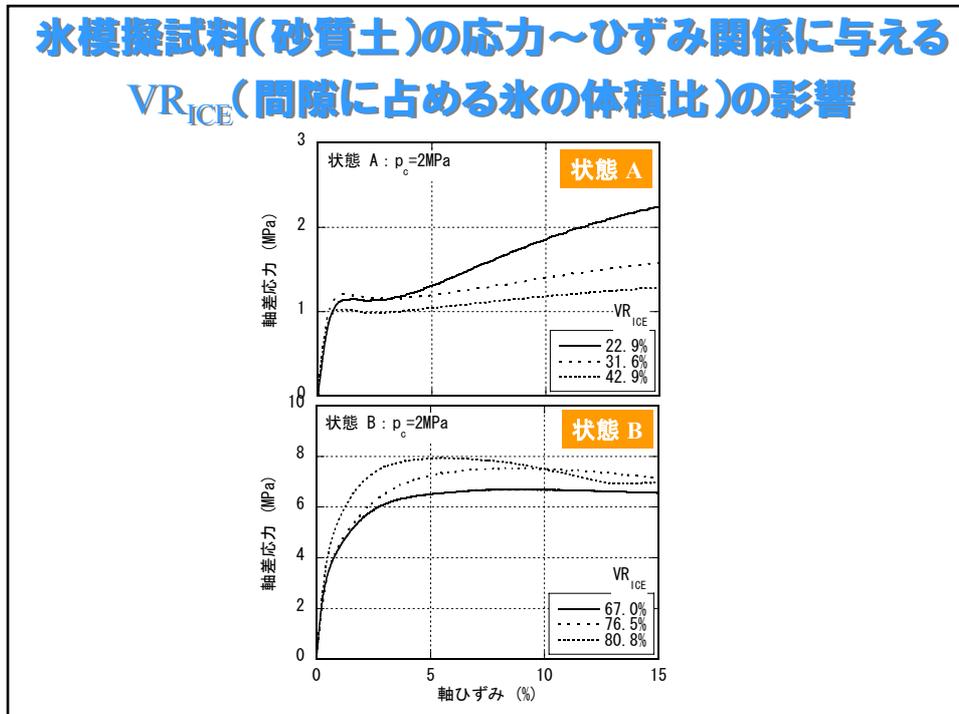


状態AおよびB(砂質土)の応力～ひずみ関係

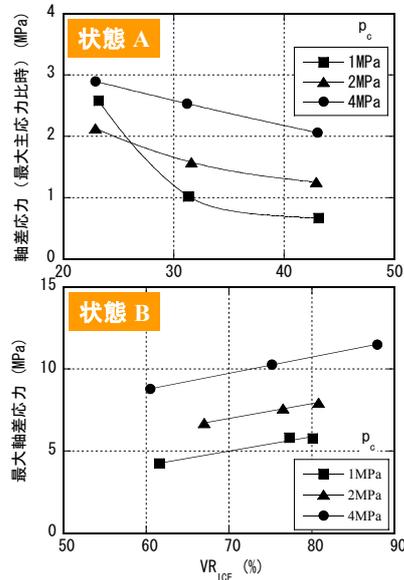


氷模擬試料(砂質土)の応力～ひずみ関係に与える

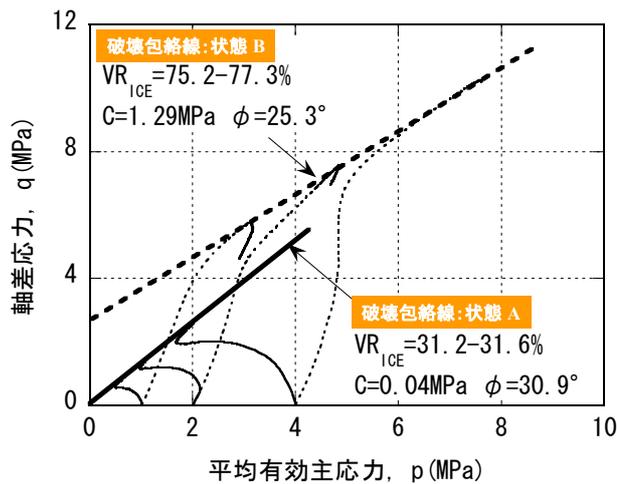
VR_{ICE} (間隙に占める氷の体積比)の影響



氷模擬試料(砂質土)の強度に与える VR_{ICE} (間隙に占める氷の体積比)の影響



状態AおよびB(砂質土)の有効応力経路

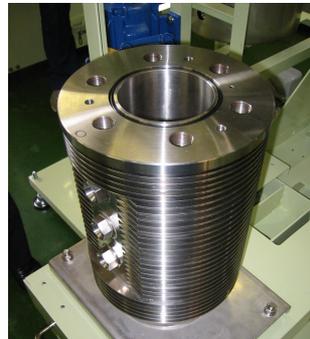


状態 A: 砂粒子と氷粒子が混合した緩い粒状体
 状態 B: 砂粒子の接点近傍にセメンテーションが発達した粒状体

メタンハイドレート生成装置



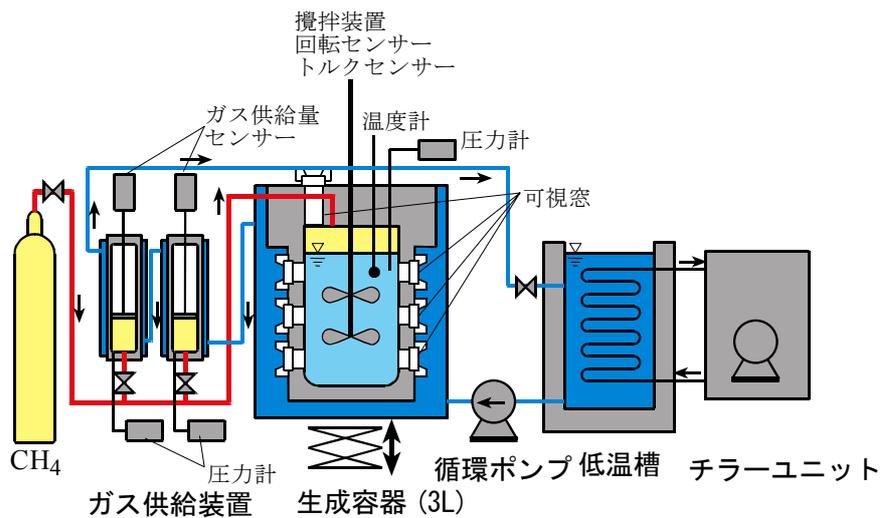
装置概観



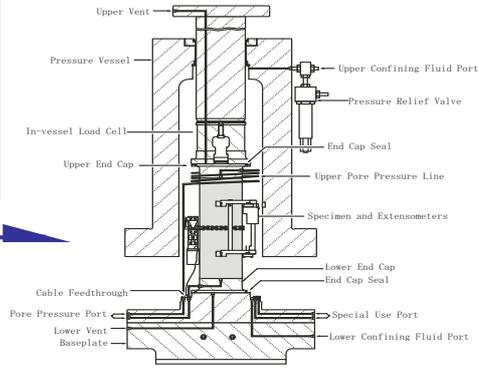
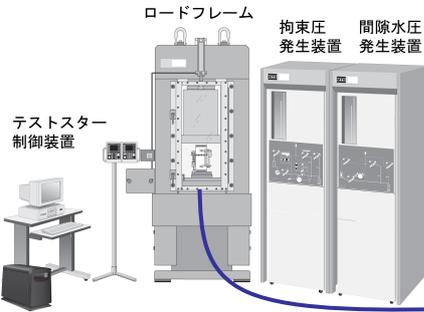
圧力容器

- 容量 3000cc
- 最大圧力 20MPa
- 温度範囲 -20℃～60℃

メタンハイドレート生成装置系統図



低温高圧三軸試験装置(2003年秋導入予定)



Typical Triaxial Cell Assembly

- 最大拘束圧 **50 MPa**
- 最大軸荷重 **1600 kN**
- 温度範囲 **-20°C~25°C**
- 最大供試体サイズ **φ 100mm · h 200mm**
- 弾性波 (S波・P波) 速度計測
- 比抵抗計測

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム
平成14年度成果報告会

感度解析・構成式の構築

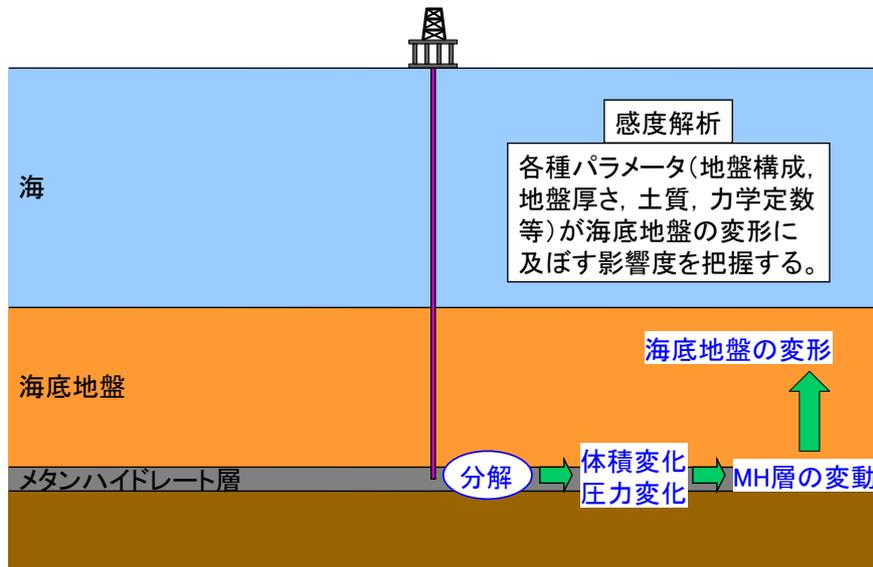
環境影響評価G・地層変形予測SG

清水建設(株)
関東天然瓦斯開発(株)

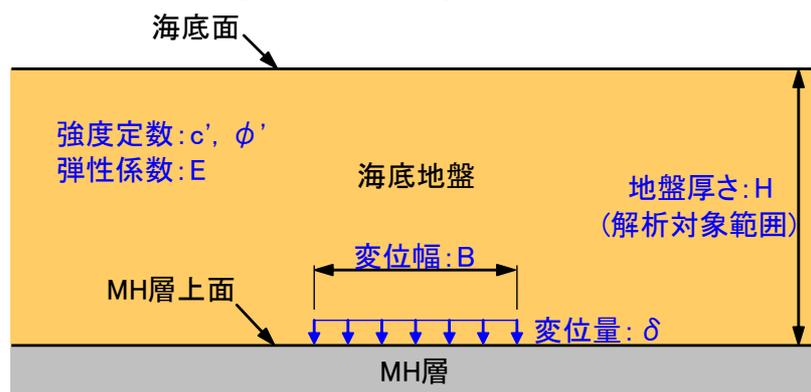


財団法人 エンジニアリング振興協会

メタンハイドレート生産に伴う現象と感度解析



解析方法と解析条件

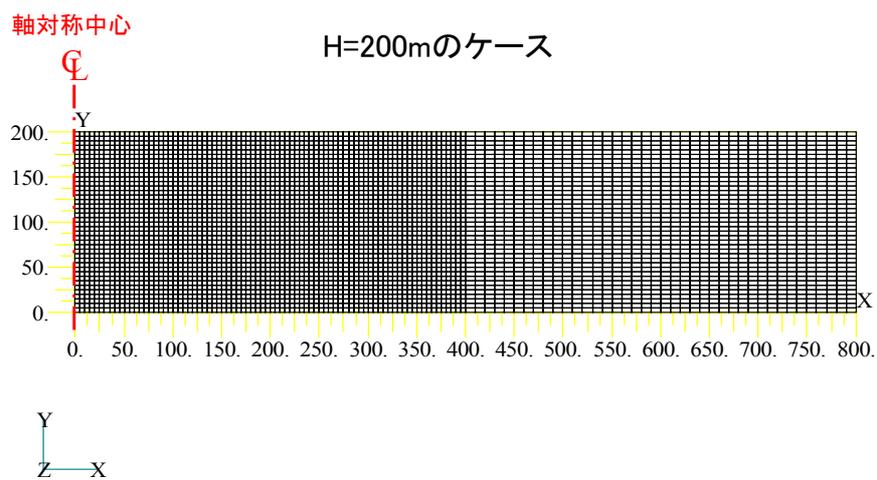


- 解析手法: 有限要素法(FEM)による軸対称弾塑性変形解析(有効応力解析)
構成式は弾完全塑性モデル
- 解析領域: 海底面~MH層上面
- 外力 : 生産に伴うMH層変動を模擬する強制変位を解析領域最下端
(MH層上面)に与える。

解析ケース

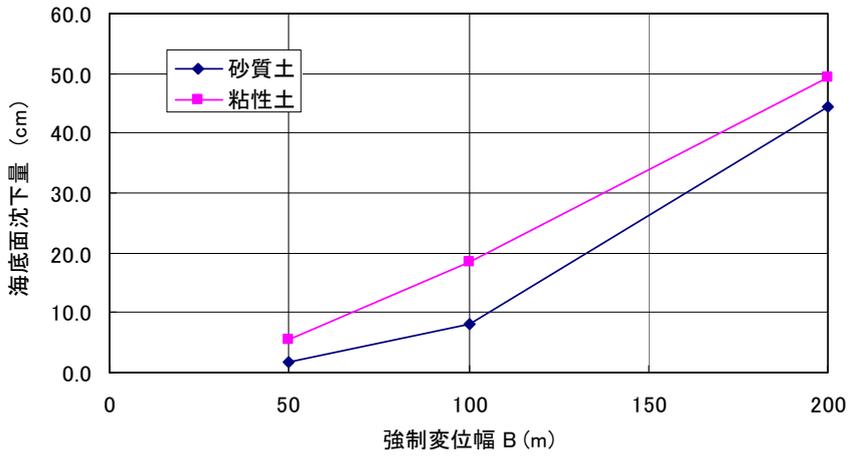
No.	地盤構成	地盤厚さ H(m)	土質	内部摩擦角 $\phi'(^{\circ})$	弾性係数 E(MPa)	強制変位量 δ (m)	強制変位幅 B(m)	
1	1層	400	砂質土	38	300	1	100	
2			粘性土	30	50	1	100	
3		200	砂質土	粘性土	45	300	1	100
4				砂質土	600	1	100	
5				砂質土	2	100		
6				砂質土	200			
7				砂質土	100			
8				砂質土	50			
9				砂質土	100			
10				砂質土	100			
11				砂質土	100			
12				砂質土	100			
13		200	粘性土	粘性土	30	300	1	100
14				粘性土	35	50	1	100
15				粘性土	100	1	100	
16				粘性土	2	100		
17				粘性土	200			
18				粘性土	100			
19				粘性土	50			
20				粘性土	100			
21				粘性土	100			
22				粘性土	100			
23	2層	200	上層:砂質土	38	300	1	100	
24			下層:粘性土	30	50	1	100	
25			上層:粘性土	30	50	1	100	
26			下層:砂質土	38	300	1	100	

解析モデル(FEMメッシュ)



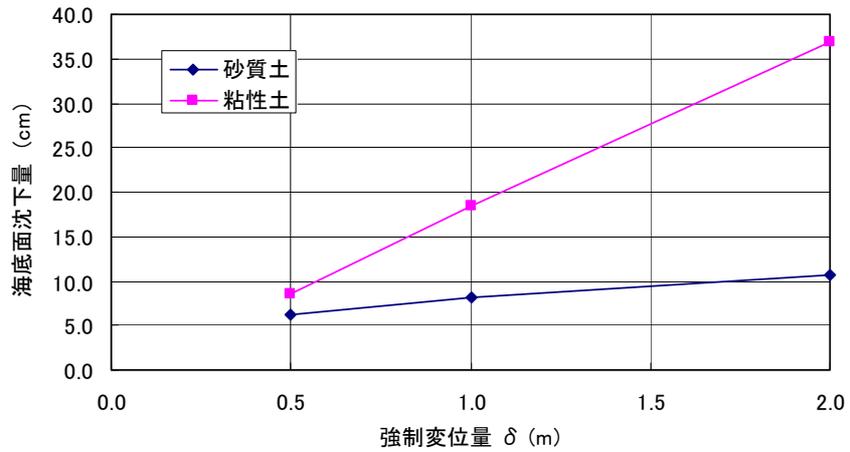
強制変位幅の影響

地盤厚さH=200m, 強制変位量 $\delta = 1\text{m}$
弾性係数E=300MPa(砂質土), 50MPa(粘性土)
内部摩擦角 $\phi' = 38^\circ$ (砂質土), 30° (粘性土)



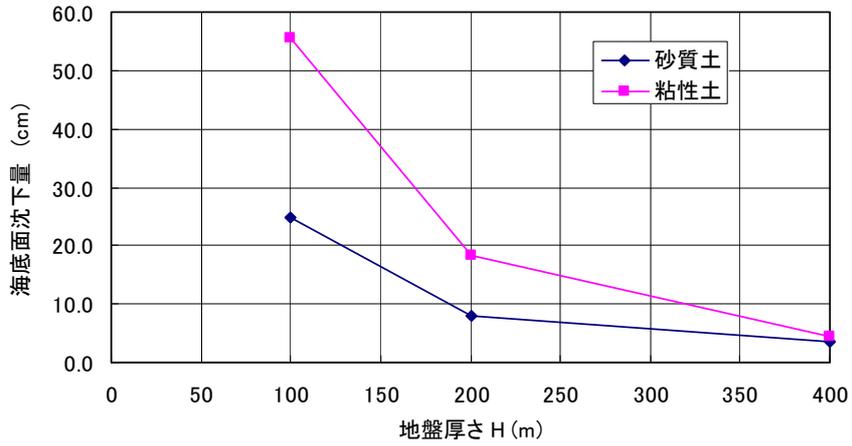
強制変位量の影響

地盤厚さH=200m, 強制変位幅B=100m
弾性係数E=300MPa(砂質土), 50MPa(粘性土)
内部摩擦角 $\phi' = 38^\circ$ (砂質土), 30° (粘性土)



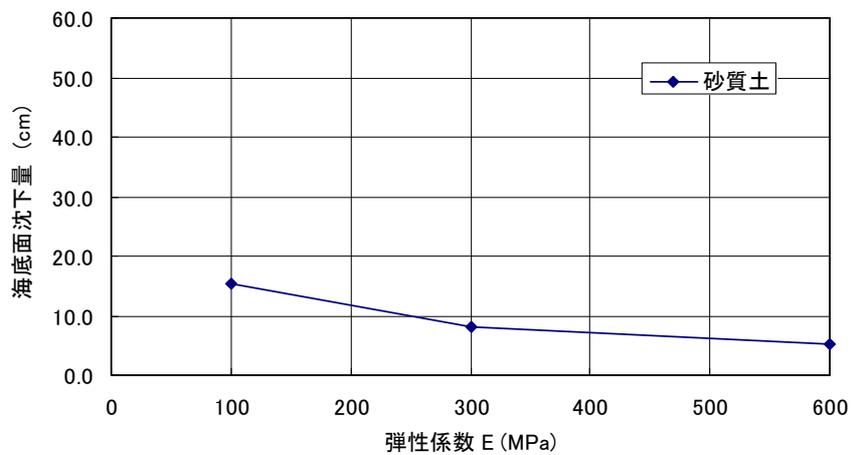
地盤厚さの影響

強制変位幅 $B=100\text{m}$, 強制変位量 $\delta=1\text{m}$
弾性係数 $E=300\text{MPa}$ (砂質土), 50MPa (粘性土)
内部摩擦角 $\phi'=38^\circ$ (砂質土), 30° (粘性土)



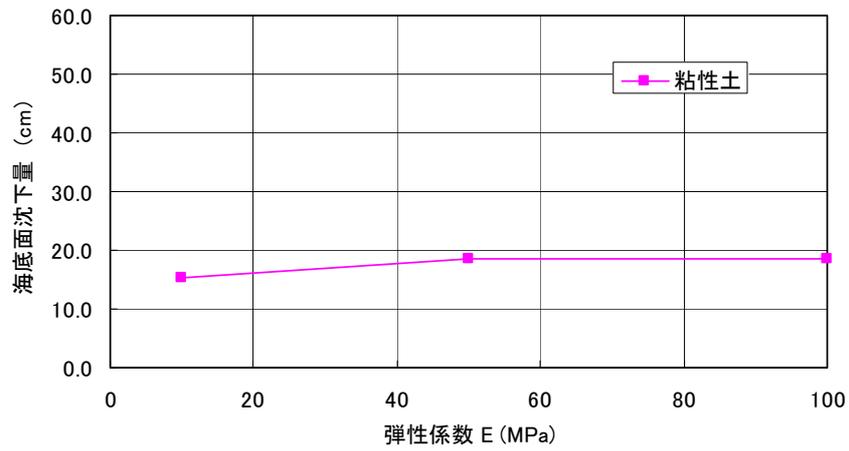
弾性係数の影響 (砂質土)

強制変位幅 $B=100\text{m}$, 強制変位量 $\delta=1\text{m}$
地盤厚さ $H=200\text{m}$, 内部摩擦角 $\phi'=38^\circ$



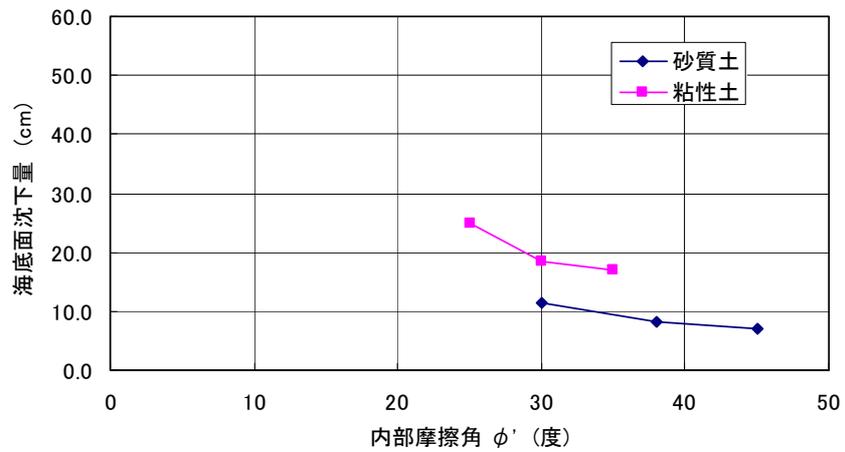
弾性係数の影響 (粘性土)

強制変位幅B=100m, 強制変位量 $\delta=1\text{m}$
地盤厚さH=200m, 内部摩擦角 $\phi'=30^\circ$

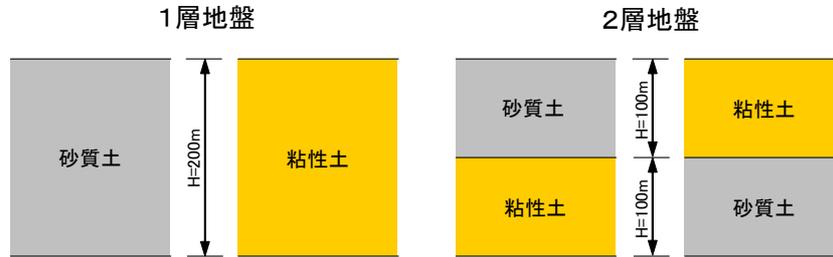


強度定数の影響

強制変位幅B=100m, 強制変位量 $\delta=1\text{m}$
地盤厚さH=200m
弾性係数E=300MPa(砂質土), 50MPa(粘性土)



地盤構成の影響



土質	海底面沈下量 (cm)
1層(砂質土)	8.1
2層(上層:砂質土/下層:粘性土)	11.8
2層(上層:粘性土/下層:砂質土)	12.1
1層(粘性土)	18.4

まとめ

- 強制変位幅すなわち生産領域の大きさが増加するにつれて海底面沈下量は大きくなる。
- 強制変位量すなわち生産によるメタンハイドレート層の変位量が増加するにつれて海底面沈下量は大きくなる。その傾向は粘性土の方が砂質土より顕著である。
- メタンハイドレート層上部の海底地盤の厚さが増加するにつれて海底面沈下量は小さくなる。
- 海底地盤の弾性係数が海底面沈下量に及ぼす影響はそれほど大きくはない。その理由は、沈下は弾性係数と塑性域の広がり両者に依存するためと考えられる。
- 強度定数(内部摩擦角)が増加するにつれて海底面沈下量は小さくなる。
- 2層地盤の海底面沈下量は砂質土1層地盤と粘性土1層地盤の沈下量の間にある。また、上層:砂質土/下層:粘性土の場合と上層:粘性土/下層:砂質土の場合の沈下量の違いは小さい。

構成式の構築

■既往研究の調査(沈下現象, 解析事例)

- 対象となる現象の概要
- 観測されている物理量の種類と値
- 数値解析を扱ったものについては解析プログラム名
- 解析概要(解析手法, 解析次元, 構成式等)
- 解析条件(解析領域の大きさ, 地盤物性値, 作用外力・変位等)
- 解析結果(変位, 沈下, ひずみ, 応力, 間隙水圧等)
- 使用された解析プログラムの概要

■解析コードの調査

■既往構成式の整理

海底地盤の沈下現象と解析事例

■北海Ekofisk油田での沈下

- 採掘に伴い、年約25～30cmの沈下が発生、1989年の累計沈下量は4.4m。
- 貯留層間隙圧は初期の48MPaから24MPaにまで減少。
- 貯留層を構成するチョークの間隙率が高いのが主な要因。

■Ekofiskを対象とした沈下解析

- 解析次元: 2次元, 3次元
- 解析手法: 有限要素法, 個別要素法
- 構成式 : 弾性, 弾塑性, 土-水連成
- 荷重 : 貯留層の圧力-時間関係
- 目的 : 将来の沈下予測, 貯留層周辺の圧力状態の把握

地盤解析で用いられている主な構成式

構成式の種類	構成モデル	特徴
弾性	等方性 直交異方性	
非線形弾性	Duncan-Chang D-min Bi-linear	
弾塑性	Mohr-Coulomb Drucker-Prager Von-Mises	弾完全塑性
	Cam-Clay 修正Cam-Clay	ひずみ硬化
弾粘塑性	関口-太田	二次圧密, クリープ

MHを含む海底地盤の構成式として考慮すべき事項

■メタンハイドレートの存在状態

●MHを模擬した氷を含んだ砂試料の三軸圧縮試験結果では、氷が土粒子と固着した状態と遊離した状態では強度・変形特性に与える氷の影響が大きく異なる。



●メタンハイドレートを含む地盤も氷模擬試料に類似した状態であることが想像される。

●メタンハイドレートの存在状態が地盤の力学特性に大きな影響を与える可能性が考えられる。

■地盤材料の破壊現象

●地盤材料はせん断変形や圧縮変形を受けると、破壊付近ですべり面や破壊面などと呼ばれるひずみの局所化(集中)した領域が発生する。

●このようなせん断帯や圧縮帯の発生が大きな地盤変形や沈下に進展する可能性がある。