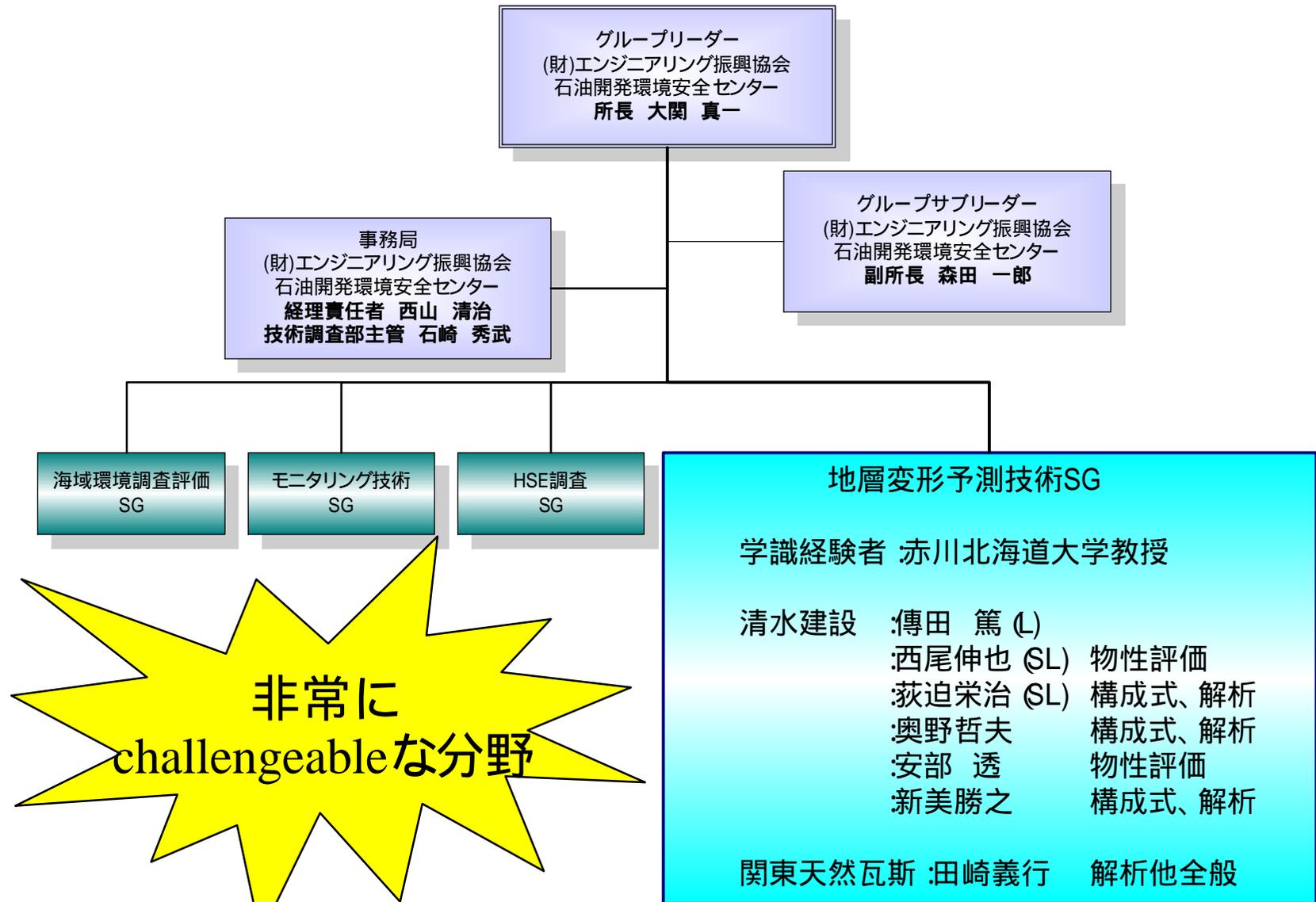


メタンハイドレート資源開発 環境影響評価G
地層変形予測SG

平成13年度 報告

(財)エンジニアリング振興協会
清水建設(株)
関東天然瓦斯開発(株)

地層変形予測技術SG 検討体制



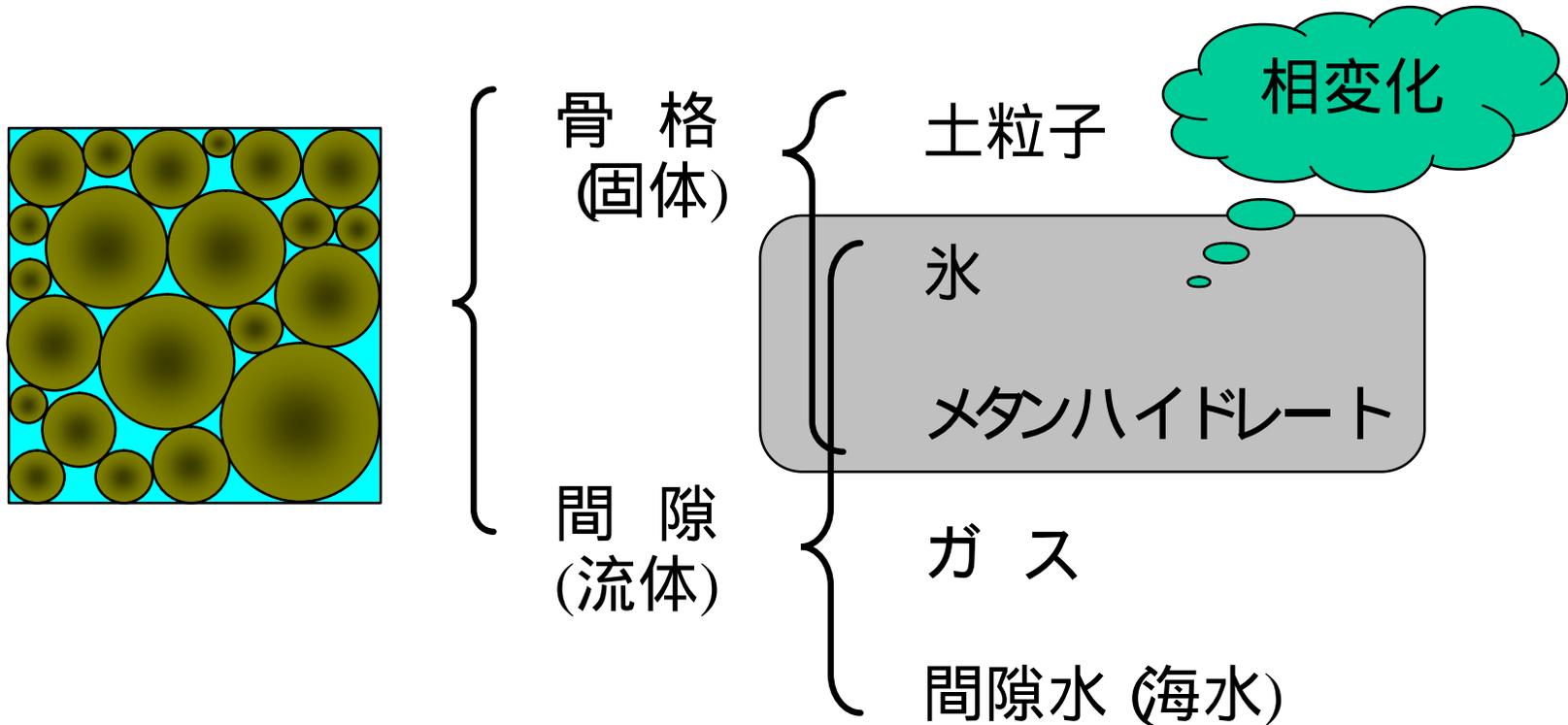
非常に
challengeableな分野

地層変形予測技術SGの目標

1 .地層変形モニタリングの基礎データ提供
測定項目、測定箇所、測定精度...

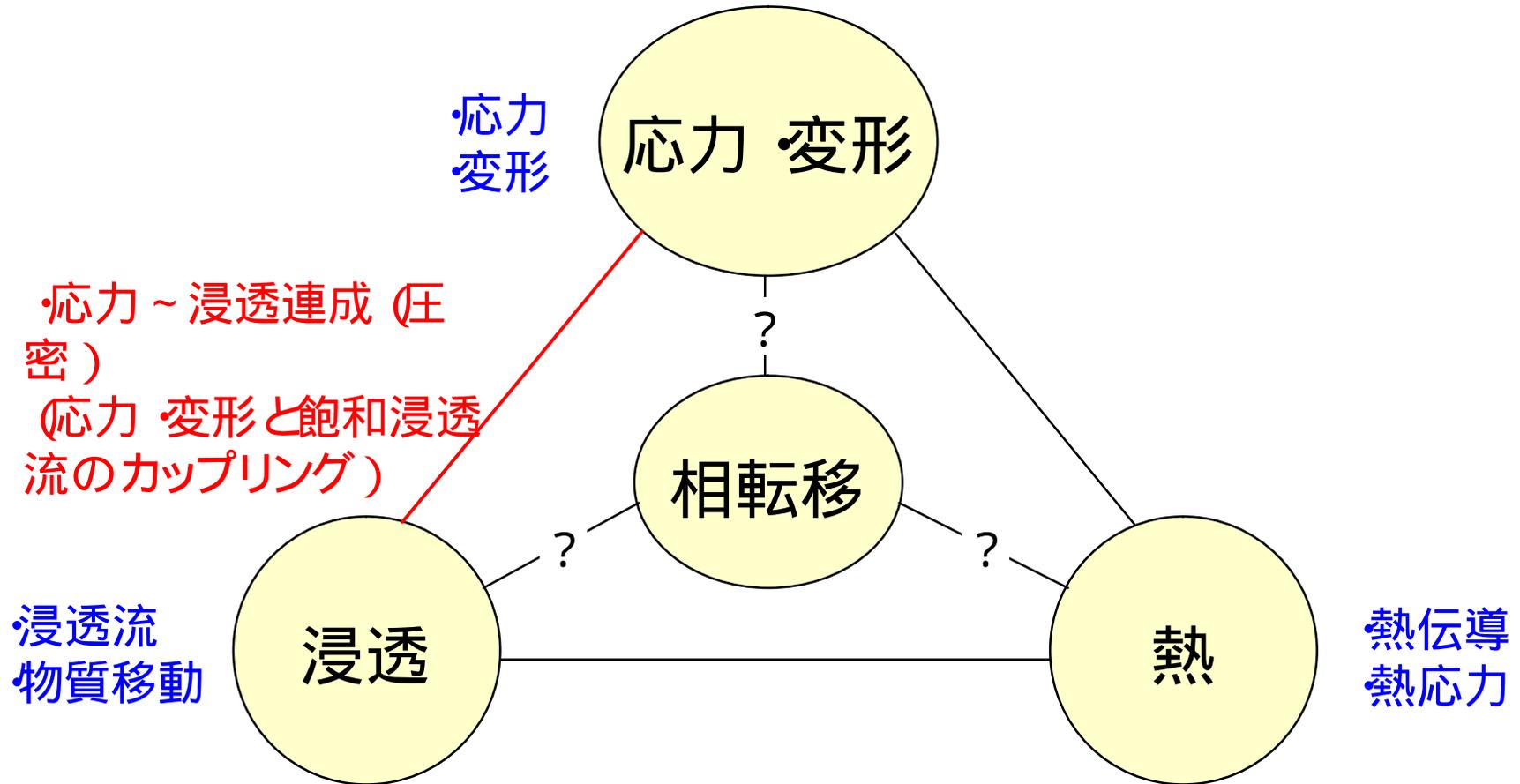
2 .生産時安全基準設定の基礎データ提供

地盤の中で何が問題となるか



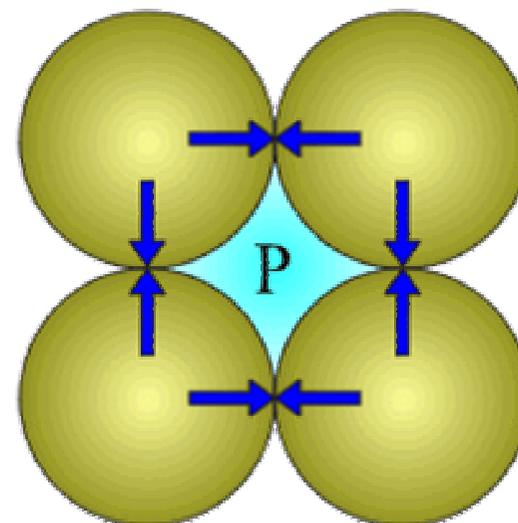
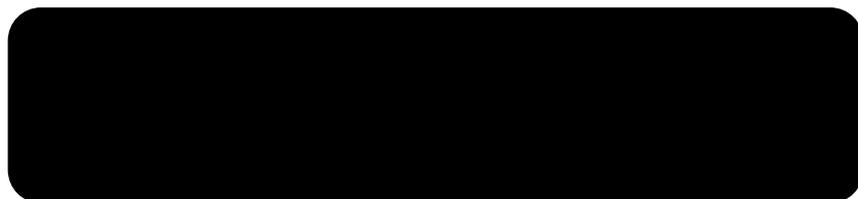
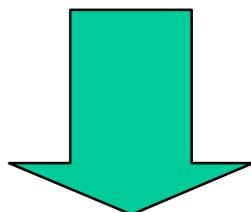
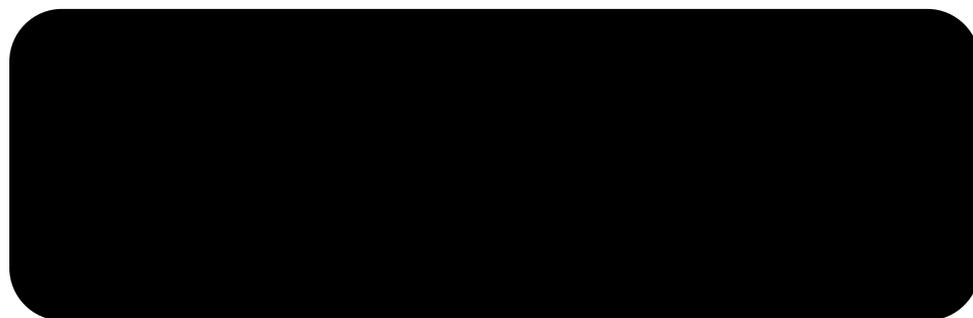
$$\text{全応力} = \text{固体間接触応力} + \text{間隙圧} \\ \text{(有効応力)}$$

地盤に関連する問題



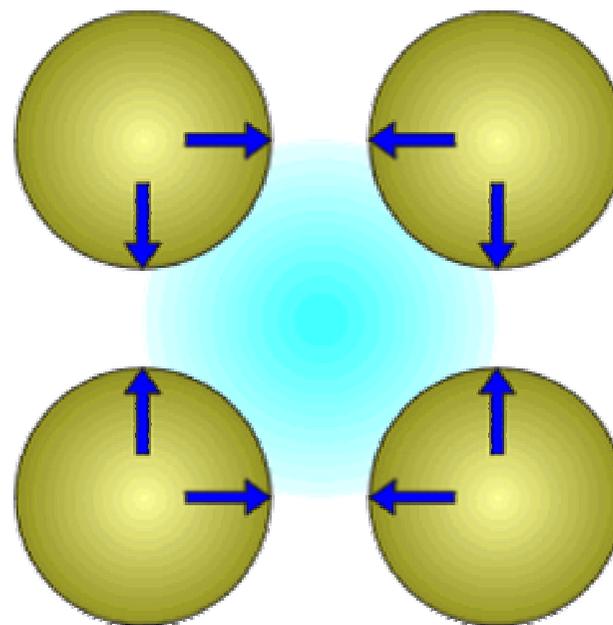
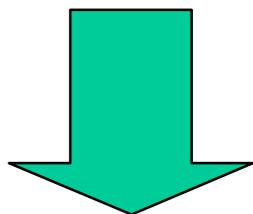
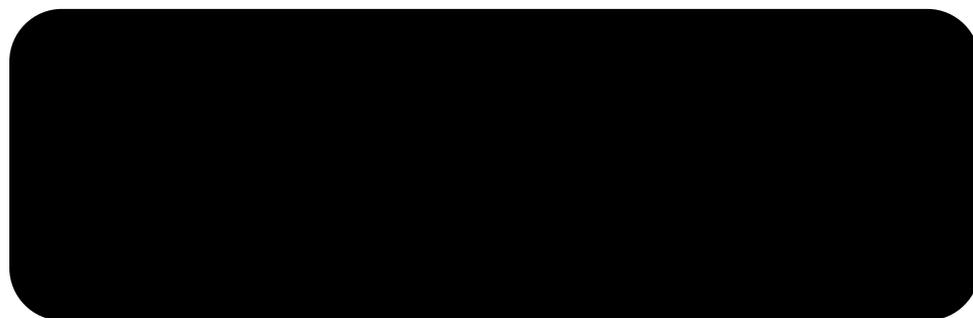
地盤の中で何が問題となるか

地盤中のメタンハイドレートの分解



地盤の中で何が問題となるか

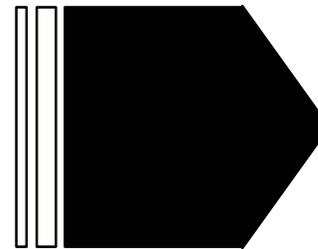
地盤中にメタンハイドレートが生成



問題解決のために何を明らかにすべきか

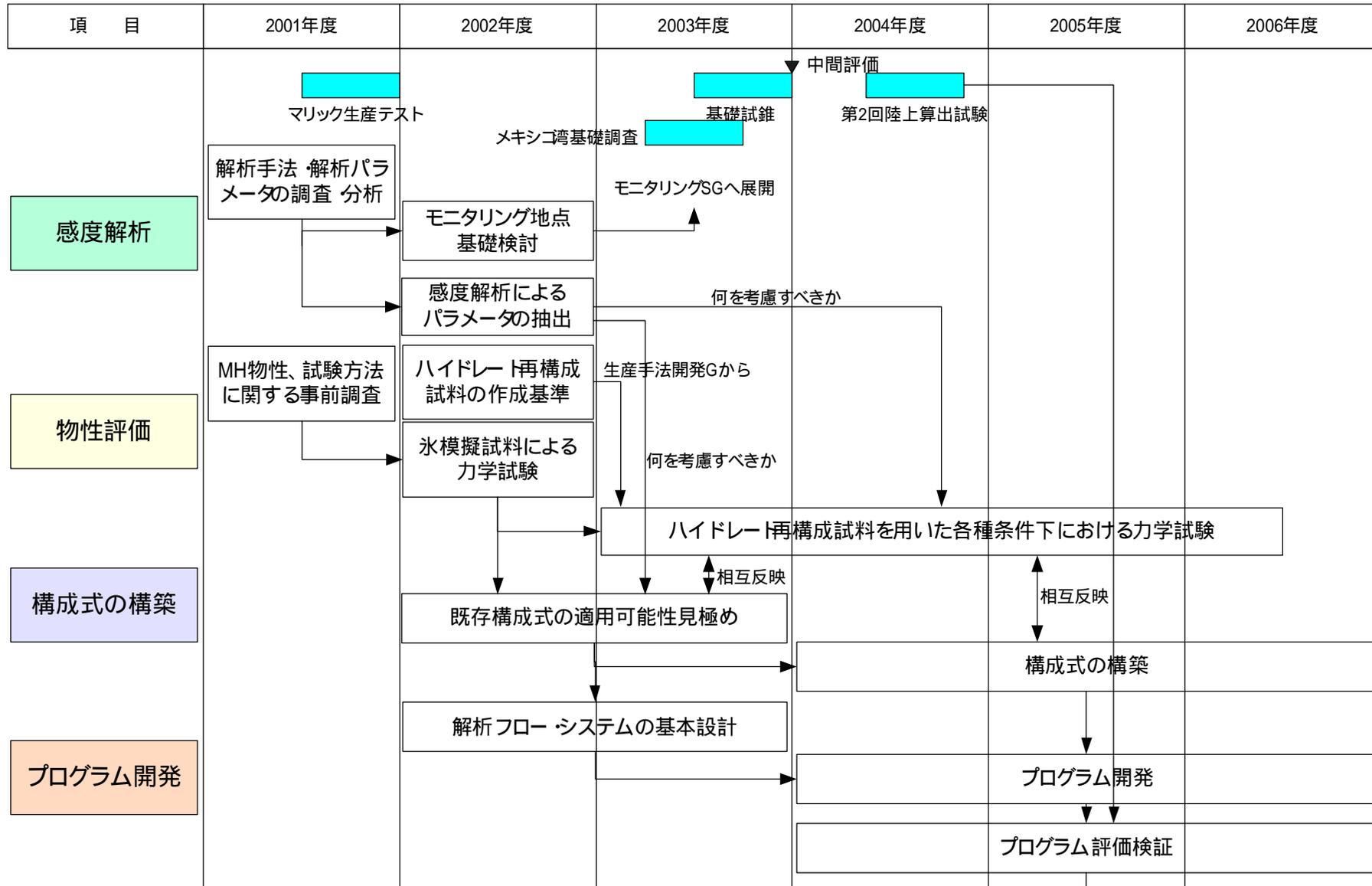
ハイドレートを含む地盤の物性評価
特に力学特性

構成式の構築
応力と変形を結ぶ関係式



地盤変形予測
プログラム

Phase 全体工程



第1回海洋生産試験に展開

平成14年度 主な開発目標

感度解析

地盤物性が地層変形に及ぼす影響度把握

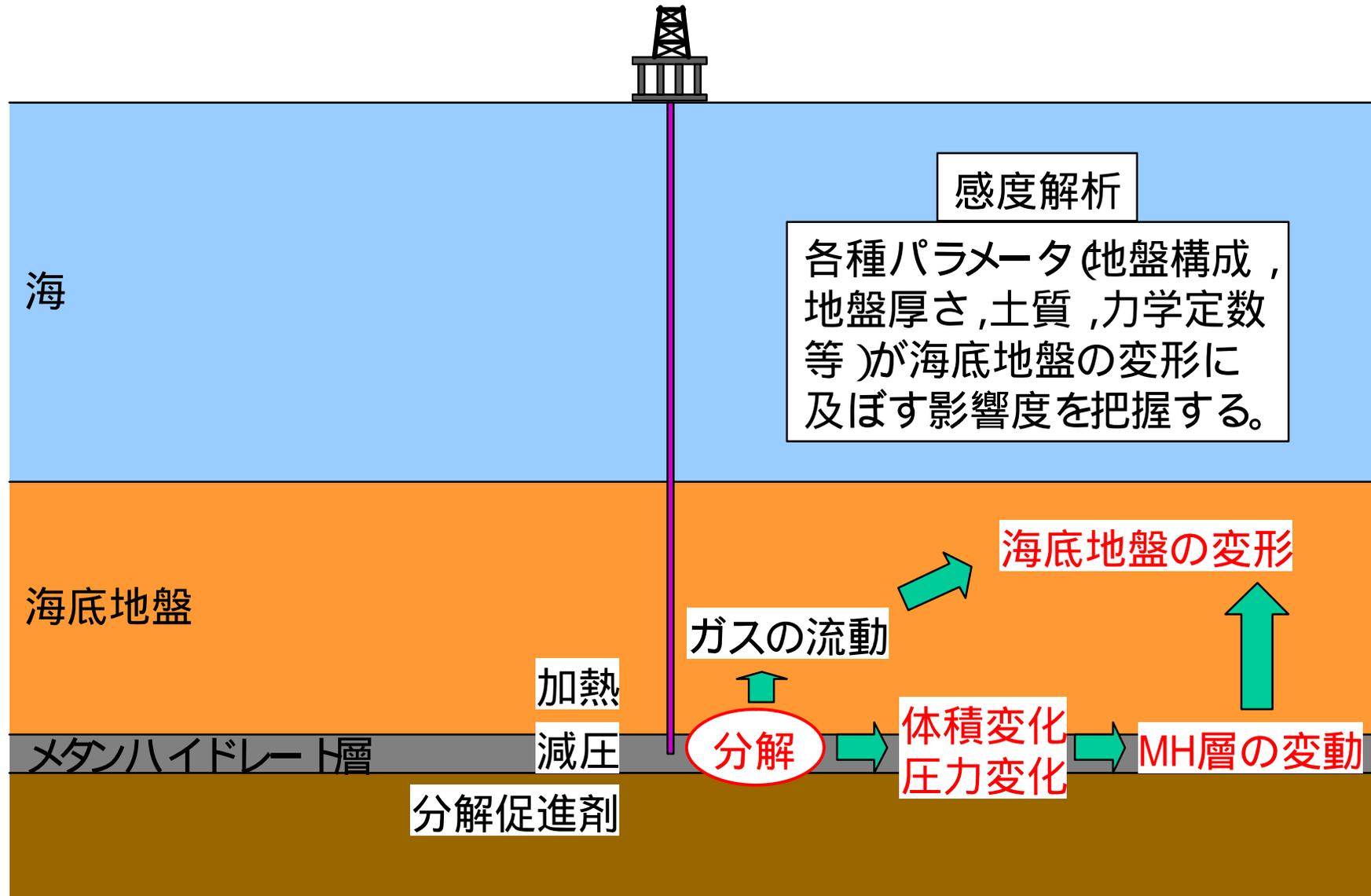
POINT

どのような境界条件を与えるべきか

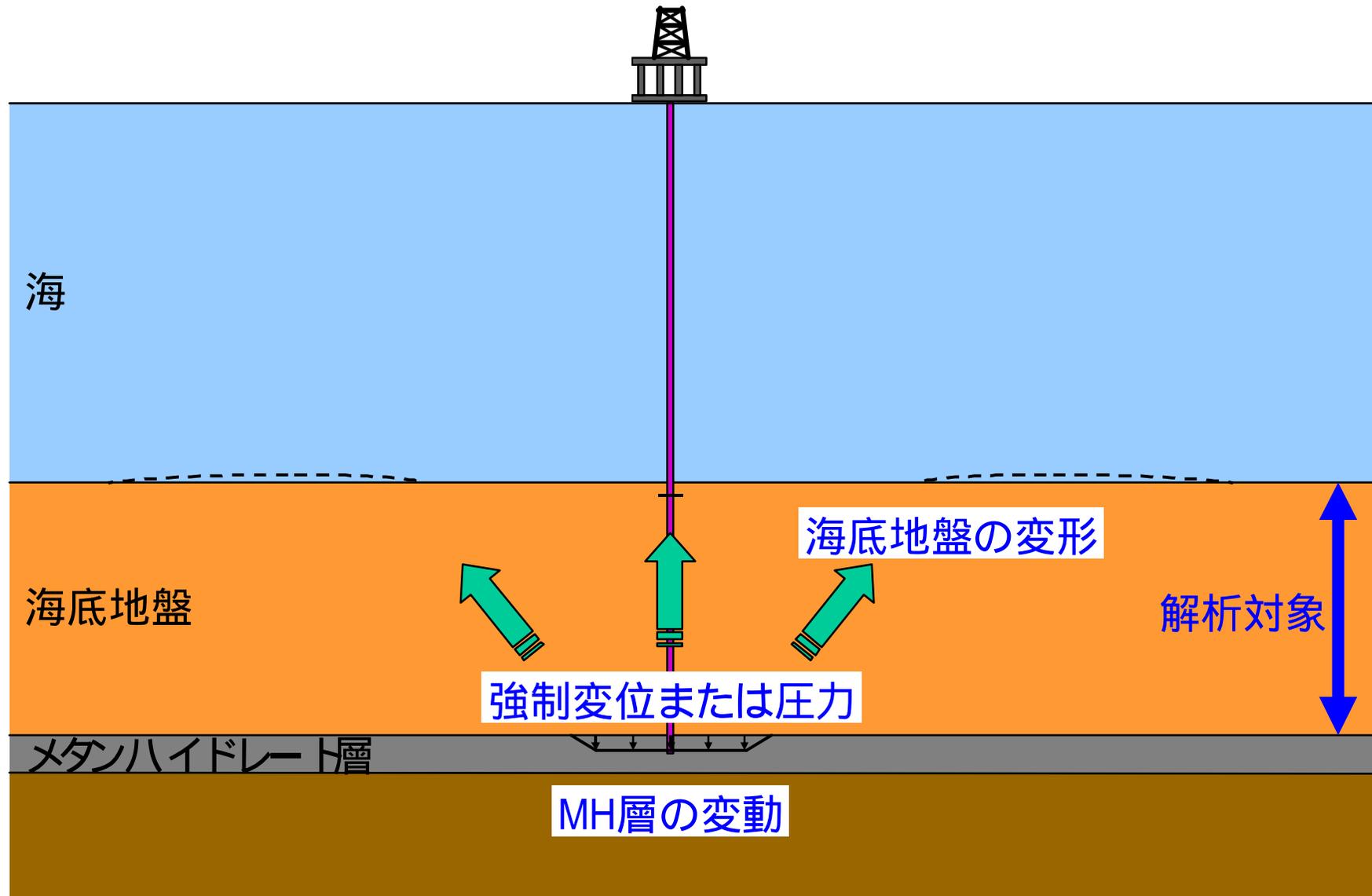
強制変位、圧力の分布形状

解析モデルとしての地層構成、物性値の妥当性

メタンハイドレート生産に伴う現象と感度解析



感度解析の方法



地盤変形解析プログラムの現況

可
部分的に可
× 不可

プログラム名		2D-	3D-	Mr. Soil3D	AFIMEX	AFIMEX/3D	2D-Consoil	CONHEAT	SIGMA/W	SAS2D	SAS3D	SOIL2N/PV	SOIL2C	PLAXIS	FLAC	FLAC3D	UDEC	3DEC	2D-Block	NASTRAN	ABAQUS	ADINA	Marc	DIANA	CAEFEM	
解析手法		FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FDM	FDM	DEM	DEM	DEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	
解析次元	2次元																									
	軸対称	×	・			・	×			×	・	×			×	・	×	・	×							
	3次元	×			×		×	×	×	×		×	×	×	×		×		×							
地盤の 構成式	弾性	等方性																								
		直交(積層)異方性						×					×					×	×	×						
	非線形弾性	Duncan-chang		×							×	×			×	×	×	×	×	×	×	×	×	?	×	
		電中研方式		×			×	×		×	×	×			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	弾完全塑性	Mohr-Coulomb				×	×				×	×	×	×						×						
		Drucker-Prager					×	×		×			×	×	×					×						
	弾塑性	cam-clay	×	×		×	×			×	×	×	×				×	×	×	×	×	×			×	
弾粘塑性	関口 - 太田	×	×			×			×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
No-tension		×	×			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×										
不連続性(ジョイント要素等)			×				×		×	×	×															
盛土解析																	×	×	×	×		?	?		×	
掘削解析	100%解放																			×		?	?		×	
	掘削解放率による計算																			×	?	×	×	×	×	
連成解析	応力 - 浸透	×	×			×			?			×								×	?	?	?		×	
	応力 - 浸透 - 熱	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
物性変更による解析機能の有無		×	×		×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	
開発元 販売元		(株)地層科学 研究所	(株)地層科学 研究所	(株)ORCソ リューションズ	富士通エフ・ア イ・ピー(株)	富士通エフ・ア イ・ピー(株)	(株)地層科学 研究所	(株)ORCソ リューションズ	(株)アエニツク スリサーチ	(株)ダイナテツ ク	(株)ダイナテツ ク	基礎地盤コンサ ルトンツ(株)	基礎地盤コンサ ルトンツ(株)	日本電子計算 (株)	(株)ORCソ リューションズ	(株)ORCソ リューションズ	(株)ORCソ リューションズ	(株)ORCソ リューションズ	(株)地層科学 研究所	(株)構造計画 研究所	ヒビット・カー ルン・アランド ・センインク	(株)構造計画 研究所	(株)ORCソ リューションズ	日本電子計算 (株)	(株)エヌ・エス ・ティ	

代表的な地下流動解析プログラムの現況

プログラム名	2D-Flow	3D-Flow	Dtrans2D +EL	Dtrans3D +EL	CatsFlow	GEOFLOWS-V3 (GETFLOW)	FERM(FEGM)
次元	2	3	2	3	3	3	3
離散化	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM	FDM	FEM
定常						×	
非定常							
透水異方性							
飽和							
不飽和							
移流							
拡散	?	?			?	?	?
分散					×		
遅延(吸着)					×		
減衰					?		
密度流					×		
多相流(気・液)	×	×	×	×	×		?
熱連成	×	×	?	?	×		?
化学反応	×	×	×	×	×	×	×
開発元 配布元	(株)地層科学 研究所	(株)地層科学 研究所	岡山大学, ダイヤコンサル タント, 三菱マテリア ル	岡山大学, ダイヤコンサル タント, 三菱マテリア ル	(株)CRCソ リューションズ	東京大学ほか	(財)電力中央 研究所

平成14年度 主な開発目標

地盤物性の評価

MH (氷模擬試料)を含有する地盤物性把握
力学試験装置の仕様検討
再構成試料製造装置の設計・製作

POINT

土粒子・不凍水・氷の力学的な相互作用の評価
せん断中の間隙水圧とガス圧との分離測定
密度、粒度、MHの空間分布の再現性
生産手法開発Gとの連携



メタンハイドレートを含有する試料 の力学的性質に関する研究事例

	山口大学工学部 兵動研究室	USGS Woods Hole FC
試料	顆粒状のMHと砂を 混合・加圧して作成	砂供試体中にガスを注入し、 温度低下によりMHを生成
供試体	直径：15mm 高さ：30mm	直径：70mm 高さ：140mm
試験方法	ひずみ制御 圧密・非排水せん断 (間隙圧測定なし)	ひずみ制御 圧密・非排水せん断 (間隙圧測定)
目的	強度に与える温度の影響 拘束圧依存性	せん断に伴う間隙圧変化



メタンハイドレートを含有する 試料の力学的性質（研究の現状）

- 力学的性質を求めるための再構成試料の作成方法や試験装置についての検討事例は極めて少ない
- 土骨格、間隙空気、間隙水、メタンハイドレートの応力分担、有効応力の定義など、未解明な問題が山積み
 - ▶ 先駆的な研究事例を参考に試験装置の速やかな導入を図る
- 想定される生産条件に対応した試験条件・応力経路の設定が不可欠
 - ▶ 生産手法開発グループとの連携が重要



力学試験条件

メタンハイドレートを含有する再構成試料

MH含有層に外力（or 変位）が作用する場合

- 研究実施例はある
- ひずみ制御の三軸試験
- 基本的特性の把握



生産に伴いMH含有層が変形する場合

- 研究実施例はない
- 間隙圧制御の三軸試験
- 応力経路依存性の把握
- 応力経路の設定：生産手法開発グループの成果を適用



再構成試料の力学特性

原位置凍結サンプリングでの研究事例

洪積砂礫地盤

- 構造物の支持地盤
- 粒子間結合力が小さい
 - ➡ 乱れの少ない試料の採取が困難
- 強度・変形特性が未解明

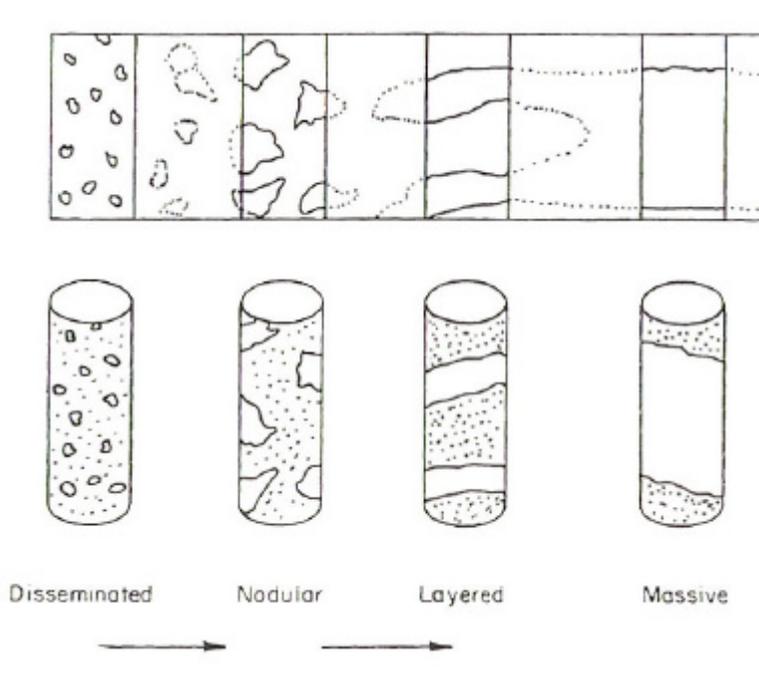


原位置凍結サンプリングによる 不攪乱試料採取

- 大型動的三軸試験・せん断波速度測定
- 乱れの評価
- 不攪乱試料と再構成試料の比較

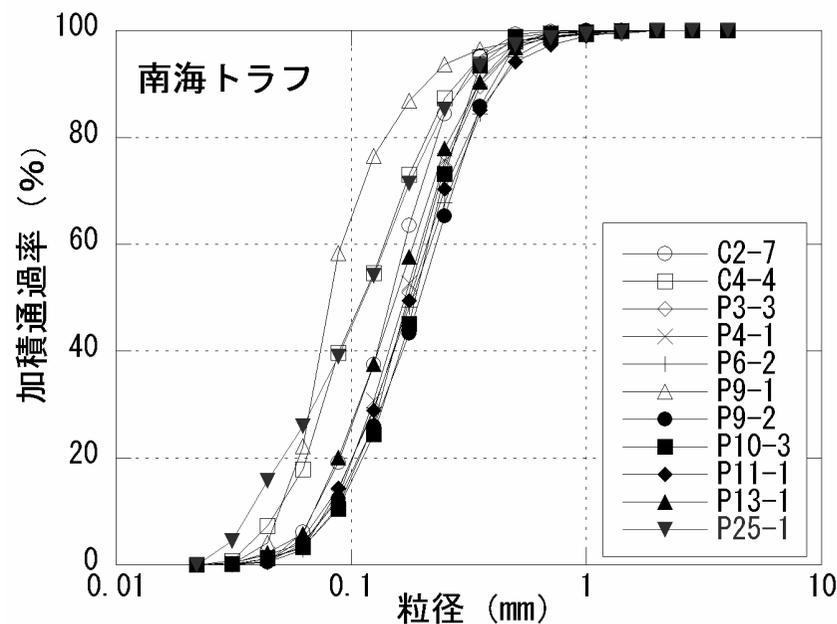


メタンハイドレートを含有する 再構成試料



MHの空間的分布

Malone, R.D. (1985)



MH含有層の粒度分布

石油公団 (1999)

■密度・粒度分布と併せてMHの空間的分布を再現する必要がある



財団法人 エンジニアリング振興協会

再構成試料の力学特性

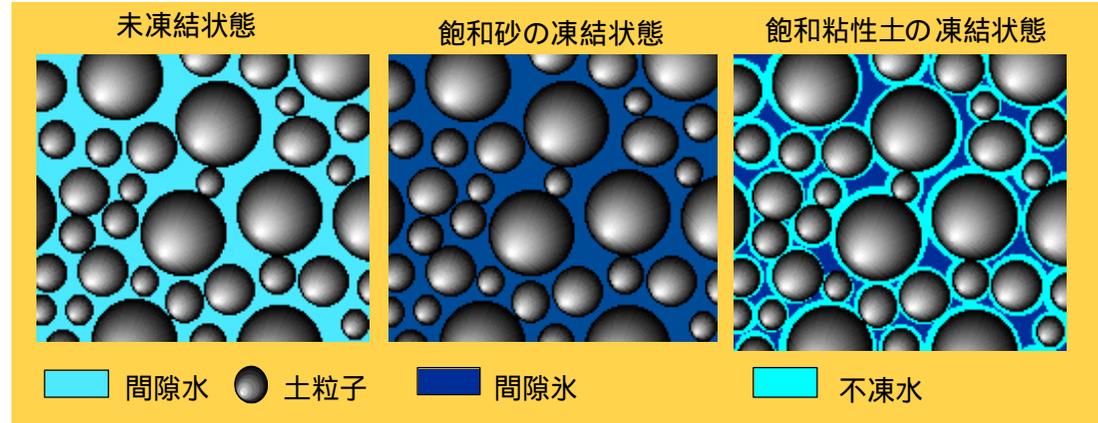
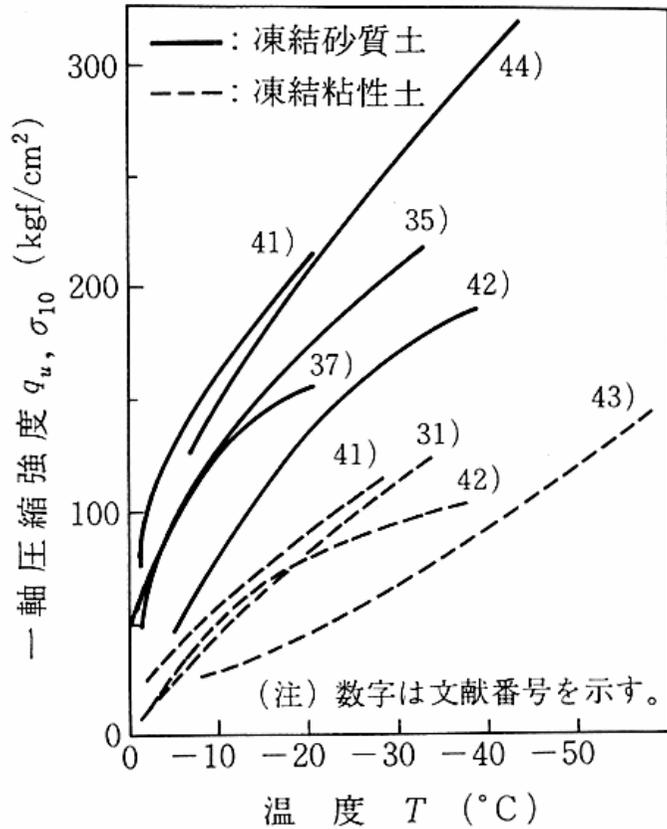
原位置凍結サンプリングでの研究事例（まとめ）

- 不攪乱試料と再構成試料（密度・粒度分布を再現）の力学的性質
 - ➡ せん断波速度、せん断弾性係数は土骨格構造の影響が卓越し、再構成試料による評価は難しい。
 - ➡ 繰り返しせん断履歴により不攪乱状態を再現することは可能
 - ➡ せん断弾性係数の低下率、圧縮強度は、再構成試料による評価が可能
- メタンハイドレート（MH）を含有する再構成試料については、密度・粒度分布と併せてMHの空間的分布をいかに再現するかが課題である
 - ➡ 生産手法開発グループとの連携が重要



凍土の力学的性質

砂質土と粘性土の凍結



- 温度低下に伴い、間隙氷の強度が増加するため、凍土の強度が増加する
- 粘性土には0 °C以下でも不凍水が存在するため、凍結による強度増加が砂質土に比べ小さい



メタンハイドレートと氷の物理的性質には類似点があり、氷模擬試料でその力学特性を調べることは重要である

強度の温度依存性

北海道大学 赤川研究室



財団法人 エンジニアリング振興協会

平成14年度 主な開発目標

構成式およびプログラム開発

海底地層、MH地盤の力学特性に関する既往研究調査
(解析事例含む)

既存構成式の調査および適用性検討

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

既存構成式の適用性評価

生産手法開発Gとの連携