(現三菱地所設計株式会社)京都大学大学院 北野 貴士

- ○京都大学大学院 学生会員 赤木 俊文
 - 京都大学大学院 正会員 木元 小百合
 - (財)防災研究協会 フェロー 岡 二三生 京都大学大学院 正会員 肥後 陽介 京都大学大学院 学生会員 岩井 裕正

ここで ρ^{α} は α 相の密度, n^{α} は体積率, q_{M}^{α} は質量フラ ックスベクトル, \dot{m}^{α} は分解による質量変化速度である.

2.3 エネルギ保存則

系全体のエネルギ保存則は以下のようになる.

2.4 繰返し弾粘塑性構成式

本研究ではOkaら¹⁾の繰返し弾粘塑性モデルを用いる. 全ひずみ増分は弾性ひずみ増分と粘塑性ひずみ増分の和 で表される.構成式中で過圧密境界面と静的降伏関数に おいて MH による硬化を考慮した.

3. 解析モデル

解析モデルを図-1に示す.モデル上面を海底面とし, 水深1000m,斜面の傾斜10°の海底面下280mに厚さ45m の MH 層を含む海底地盤が存在するとしている.モデル の両端には,要素両端が等しく変位する自由地盤部を与 える.モデル底面は粘性境界とする.用いたパラメータ を表-1に示す.これらのパラメータは,MH 開発対象海 域でのボーリング採取試料の種々の試験結果²³³から決定 しているが,繰返し三軸試験結果が得られていないため 決定できないパラメータがある.そのため,表中の*の パラメータを3ケース設定して解析を行った.解析ケー スを表-2に示す.ケースAのパラメータに比べ,ケース Bはせん断強度が大きく,ケースCでは小さくなるパラメ ータを用いる.入力地震動には,杉戸らによる大阪市の 工学的基盤での地震動(震源:紀伊半島,アスペリティ位 置:基本ケース)⁴を用いる.入力地震動を図-2に示す.

4. 解析結果

図-3 に斜面法肩節点 7571 の各ケースの応答加速度を 示す. どのケースでも概ね入力波と同等の応答加速度と なっている. 図-4 に節点 7571 の各ケースの水平変位時刻 歴を示す. 地震動により変位が生じているが,最終的な 変位量は小さい. 図-5 に解析終了時刻の 320 秒での法面 周辺における有効応力減少比分布図を示す. どのケース でも法肩部分で有効応力減少比は負の値となっており,

1. 研究の背景と目的

近年、メタンハイドレート(以下、MH とする)が新し い資源として注目されている。2013年2月から3月にか けて愛知県渥美半島沖合の東部南海トラフ(第二渥美海 丘)において世界初となる MH の海洋産出試験が行われ たが、その南海トラフはプレート境界に位置しており、 近い将来に巨大地震が発生すると考えられている。そこ で本研究では MH による強度増加、透水係数の MH 飽和率 依存性を考慮した繰返し弾粘塑性構成式を用いた動的解 析手法により、地震時における MH 含有地盤の動的な変 形挙動をシミュレートすることを目的としている。

2. 多相地盤における支配方程式の定式化

MH 含有地盤の構成材料を土粒子(S相),ハイドレート (H相),水(W相),ガス(G相)とし、多孔質媒体理論に基 づき、多相混合体として支配方程式を定式化する.未知 数は、土骨格の加速度、水圧、ガス圧、温度である.

2.1 応力の定義と運動量保存則

全応力テンソル σ_{ij} は各相の分応力テンソルの総和で表 されるとする.

$$\sum_{\alpha} \sigma_{ij}^{\alpha} = \sigma_{ij} \quad (\alpha = S, W, G, H)$$
(1)

構成式中の応力変数として、全応力テンソル σ_{ij} から平均間隙 E^{F} を引いたものである骨格応力 σ'_{ij} テンソルを用いた、ここで応力テンソルは引張りを正としている.

$$\sigma_{ii} = -P^F \delta_{ii} + \sigma'_{ii} \tag{2}$$

ここでsは飽和度, P^{W} , P^{G} は間隙水圧および間隙ガス 圧である.各相の運動量保存則を足し合わせることで, 公称応力テンソル Π_{ii} を用いた運動量保存則が得られる.

$$\Pi_{ji,j} = \rho_0^M \left(\dot{v}_i^{SH} - \overline{F}_i \right) \tag{3}$$

 \dot{v}_i^{SH} は固相の加速度、 \overline{F}_i は物体力ベクトル、 ρ_0^M は質量 密度である.

2.2 質量保存則

固相, 液相, ガス相, ハイドレート相の各相について 質量保存則は以下のように表される.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho^{\alpha} n^{\alpha} \right) = -q^{\alpha}_{Mi,i} + \dot{m}^{\alpha} \quad \left(\alpha = S, W, G, H \right) \quad (4)$$

メタンハイドレート,動的解析,南海トラフ,傾斜地盤

^{〒651-8540} 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 TEL075-383-3193

有効応力が増加している.図-6 に蓄積粘塑性偏差ひずみ 分布図を示す.どのケースでも法肩部分で粘塑性偏差ひ ずみが大きくなっている.以上より,地震動による応力 が法肩部分に集中し,粘塑性ひずみが生じたと考えられ る.蓄積粘塑性偏差ひずみは最大で約0.05%と小さい.

5. 結論と今後の課題

応力,ひずみは法肩部分に集中したが,今回の解析条件では地滑りのような大きな変形は見られなかった.今後の課題として,動的三軸試験に基づき材料定数を決定する必要がある.また,MHの産出には大きな減圧を伴い,MH分解によるガス圧の発生,MHの固着を失うことによる地盤の強度低下が考えられる.このようなMH産出中の地盤に対する動的解析も行う必要がある.今回の入力地震動には大阪市の工学的基盤での南海トラフ地震予測波を用いたが,海底地盤での観測波などについても検討する必要がある.



図-1 解析モデル

表-1 解析に用いるパラメータ

	• · ·		
		材料1 材料2 材料3.4	modulate a trade as
初期間隙比	e ₀	1.00	理性体(材料4)
初期飽和度	s ₀	1.00	初期間隙比 e ₀ 1.00
土粒子の密度(t/m ³)	ρ°	2.7	ラメ定数(kPa) λ 2.28 x 10
水の密度(t/m ³)	ρ ^w	1.00	
重力加速度(m/s ²)	g	9.81	アルE奴(KPa) μ 1.15 X 10
最大飽和度	Smax	1.00	<u>土粒子の密度(t/m³) ρ[®] 2.7</u>
最小飽和度	Smin	0	弾性波速度(m/s) Vs 909
水分特性曲線の形状パラメータ	α'	0.012	弾性波速度(m/s) Vn 1700
水分特性曲線の形状パラメータ	n'	1.7	デル(2世)(11/0) 10 1700
透水係数(m/s)	k _w	1 × 10 ⁻⁹	
透気係数(m/s)	k _g	1 × 10 ⁻⁸	透気係数(m/s) k _G 1×10 ⁻⁸
透気・透水係数のパラメータ	Ck	2	,
圧縮指数	λ	0.185	
膨潤指数	κ	0.0116	
無次元化初期せん断弾性係数	G ₀ /σ' _m	*	
破壊応力比	M _f *	1.16	3
変相応力比	M_m*	1.16	
移動硬化パラメータ	B ₀ *	*	
移動硬化パラメータ	B1*	50	
移動硬化パラメータ	Cf	5	
移動硬化パラメータ	A2*	5.9	50 O-
移動硬化パラメータ	B2*	1.8	
内部構造パラメータ	n=σ'/σ'	0.6	
内部構造パラメータ	β	5	
過圧密比	OCR	5 1.5 1.2	-2
粘塑性パラメータ(1/s)	C1		
粘塑性パラメータ(1/s)	C ₂	÷	0 40 80 120 160 200 240 280
粘塑性パラメータ	mʻ	26.6	Time(sec)
せん断弾性係数のひずみ依存性の	a	*	図-9 入力波
パラメータ	u		
せん断弾性係数のひずみ依存性の パラメータ	r	0.4	
		表-2 解析	ケース

				-		-	
解析ケース	ケースA		ケースB		ケースC		
材料番号		材料1.2	材料3,4	材料1.2	材料3,4	材料1.2	材料3,4
無次元化初期せん断弾性係数	G ₀ /σ'm	90	128.25	200	300	75.2	88.5
移動硬化パラメータ	B ₀ *	200	350	200	350	100	200
せん断弾性係数のひずみ依存性のパラメータ	α	10	10	10	10	20	20
粘塑性パラメータ(1/s)	С	1 × 10 ⁻⁷	1 × 10 ⁻⁷	1 × 10 ⁻¹⁰	1 × 10 ⁻¹⁰	1 × 10 ⁻⁷	1×10^{-7}



ケースB 図-6 蓄積粘塑性偏差ひずみ分布図

×10:576 ×10:3768×10

280×10*560 ×10*840 ×10*1.12×10*1.40×10*

ケースC

参考文献

0°192×10°289×10°385

ケースA

- Oka, F. and Kimoto, S., Constitutive modeling of geomaterials, Qing Yang, Jian-Min Zhang, Hong Zheng and Yanping Yao eds., Advances and New applications, Springer Series in Geomechanics & Application, Springer, pp.215-221, 2012.
- 2) 西尾伸也, 荻追栄治, 傳田篤, 田中洋行, 平川博之, 第3回 メタンハイドレート総合シンポジウム CSMH-3 講演集, 産 業技術総合研究所メタンハイドレート研究センター, 東京, pp.15-16,2011.
- 3) 最明和樹, 京都大学卒業論文, 2012.
- 4) 杉戸真太、久世益充、近藤巧巳、岐阜大学流域圏科学研究センター報告, pp. 45-48, 2012.

メタンハイドレート、動的解析、南海トラフ、傾斜地盤

〒651-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 TEL075-383-3193