

# 球形ガスホルダー基礎地盤の地震時～地震後挙動の2次元・3次元解析の比較

(一社)GEOASIA 研究会 正会員 高稲敏浩

東京ガス(株) 正会員 小林実央, 小口憲武

名古屋大学 正会員 野田利弘, 中井健太郎, 曾根好徳

(公財)地震予知総合研究振興会 正会員 浅岡顕, 大保直人

## 1. はじめに

高度な安全性が要求される球形ガスホルダーでは、「激甚」シナリオに対する対応が求められている。既報<sup>1)</sup>では、杭が損傷し機能しない状態を想定し、L2地震動入力時の球形ガスホルダー基礎地盤に対して2次元平面ひずみ条件での水～土連成有限変形解析<sup>2),3),4)</sup>を実施し、地震中～地震後の基礎の不等沈下の可能性などを検討した。しかしながら、ガスホルダーは、水平方向に有限な延長を有する直径40m程度の構造物であり、2次元平面ひずみ条件が、過大な結果を示している可能性もある。そこで、本報では、球形ガスホルダーの形状をモデル化した3次元解析を実施し、2次元解析との比較の結果について述べる。

## 2. 解析条件

検討に用いた地盤は、図1に示すように10層からなる地盤で深さ2~8mがN値10以下の緩い砂層で、その下15mにわたってN値がほぼゼロの軟弱な粘性土層が存在する軟弱な地盤である。解析に用いた有限要素メッシュおよび境界条件を図2に示す。3次元解析は、対称性を仮定し半断面をモデル化した。また、水理境界は、側方および底面を非排水境界、表面は排水境界(大気圧)とした。

工学的基盤面にあたる地盤下端は、底面粘性境界( $V_s=420\text{m/sec}$ )を設定し、 $x$ 方向には周期境界を設定した。ガスホルダーの剛性については、所定の固有周期となるよう構成部材の材料定数を設定した。また、2次元平面ひずみ条件でのガスホルダーの重量は、ガスホルダー直径位置の1m幅に相当する荷重を与えた。計算では、ガスホルダー構築を有限要素の追加で再現し、圧密が終了するまで放置した。その後、地盤底面の全節点の $x$ 水平方向にL2地震動(図3)を入力した後、さらに圧密が終了するまで解析を実施した。

図4は地震終了時の平均有効応力減少比分布を示す。シルト混じり細砂層では液状化している。図5は2次元および3次元解析で得られたせん断ひずみである。液状化したシルト質砂層でせん断ひずみが顕著に発生し、地震後N値がほぼゼロで剛性が低いシルト質粘土層で圧密沈下が生じ、せん断ひずみが大きくなって

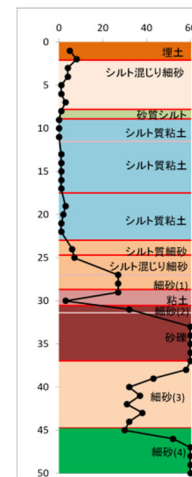


図1 柱状図

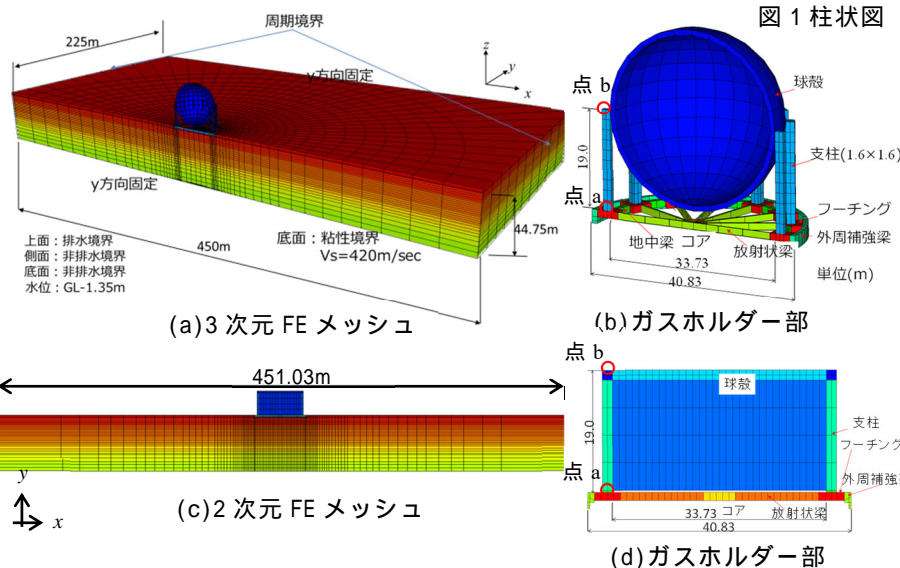


図2 有限要素メッシュ

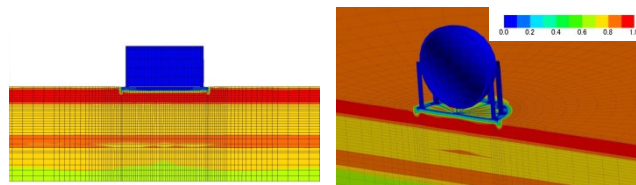
図3は入力地震動のグラフ。縦軸は加速度(gal)で-500から500まで、横軸は時間(sec)で0から60まで。グラフには441.27galのピークが示されている。

図3 入力地震動

## 3. 解析結果

図4は地震終了時の平均有効応力減少比分布を示す。シルト混じり細砂層では液状化している。図5は2次元および3次元解析で得られたせん断ひずみである。液状化したシルト質砂層でせん断ひずみが顕著に発生し、地震後N値がほぼゼロで剛性が低いシルト質粘土層で圧密沈下が生じ、せん断ひずみが大きくなって

いる。これらの挙動は、2, 3次元解析ともに同様の挙動を示している。以下に点 a、点 b (図 2 参照) の水平、沈下挙動について述べる。図 6 は、点 a および点 b における地震中の 2 次元および 3 次元解析による水平変位量を示している。また、同図には右軸を参照するそれぞれの差 (3 次元解析結果 - 2 次元解析結果) を載せている。点 a、点 b と



(a) 2次元解析 (b) 3次元解析  
図 4 地震終了時の平均有効応力減少比

2次元、3次元解析は、良く一致した挙動を示しており、水平変位の 2 次元解析と 3 次元解析の差の最大値は、点 a で 0.016m、点 b で 0.061m である。図 7 は、水平変位の地震後圧密終了時までの時刻歴を示しているが、地震後は変化がなく最終では 0.004m の差と

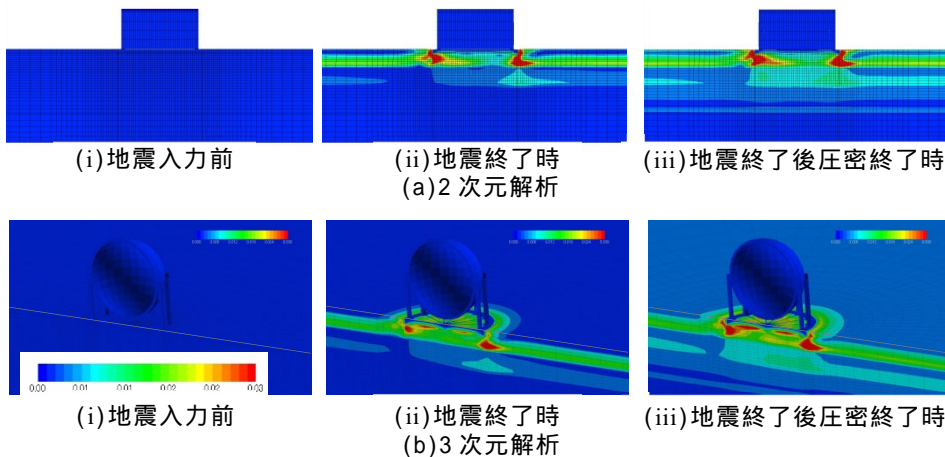


図 5 せん断ひずみ分布

なった。また、図 8 は、点 a の沈下量を示している。地震中は、砂層が液状化し、剛性が低下したため、基礎部の沈下が生じ、その後 10 日を過ぎた付近から粘性土の圧密沈下が生じ 10000 日程度で終了しているが、2 次元解析 3 次元解析ともに、全般的には同様な挙動を示している。沈

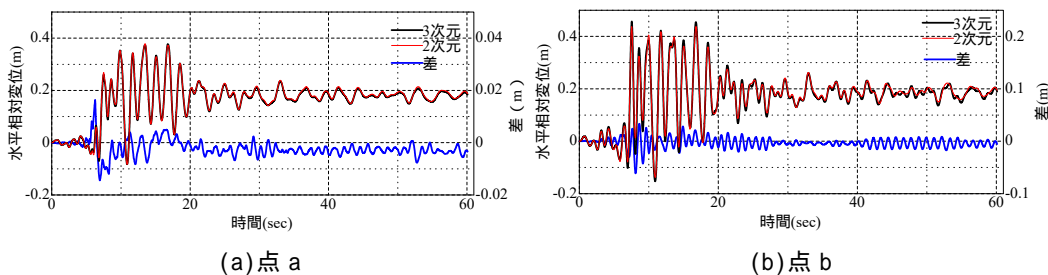


図 6 地震中の相対変位時刻歴

下量としては 2 次元の方が若干大きく、地震終了時には、2 次元解析のほうが 2cm 程度大きくなっている。解析結果一覧を表 1 に示しているが概ね良く一致している。

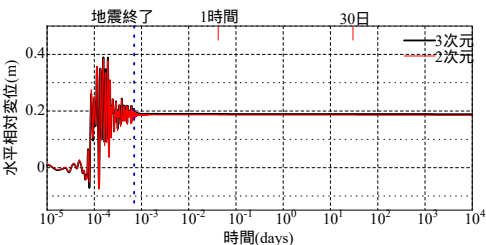


図 7 点 a 水平変位時刻歴

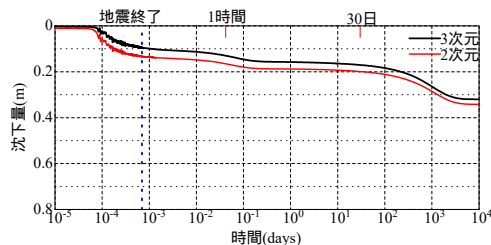


図 8 点 a 沈下時刻歴

表 1 解析結果の比較

項目	2次元解析 (m)	3次元解析 (m)	2次元解析/3次元解析 (%)	
点aの水平変位量	最大値	0.379	0.377	101
	地震終了時	0.187	0.184	102
	地震後圧密終了時	0.174	0.179	97
点bの水平変位量	最大値	0.438	0.457	96
	地震終了時	0.195	0.189	103
点aの沈下量	地震終了時	0.133	0.094	141
	地震後圧密終了時	0.342	0.320	107

#### 4. おわりに

今回の解析事例では、2次元と3次元の解析は地震中～地震後においてほぼ同様の変形挙動を示した。換言すれば、一方向加振、水平成層地盤、およびガスホルダーのような軸対称構造物で固有周期を合わせた場合には、2次元解析での耐震性の検討が可能であることが示唆される。

参考文献: 1) 高稲ら: 水～土連成有限変形解析による球形ガスホルダー基礎地盤の地震中～地震後挙動の検討, 第52回地盤工学研究発表会, 1585-1589, 2017. 2) Asaoka et al. All soils all states all round..., International Workshop on..., Hong Kong, China, pp.11-27, 2007. 3) Noda et al.: Soil-water coupled finite deformation..., S&F, 48(6), 771-790, 2008. 4) Asaoka et al.: An elasto-plastic description of two ..., S&F, 42(5), 47-57, 2002.