

LNG 地下タンクの3次元地震応答解析

解析技術サービス 正会員 ○湯浅 明

解析技術サービス 星 裕一

東電設計 小山 宣治

東電設計 若林 敏

1. はじめに

著者らは、重要構造物である LNG 地下タンク躯体について高レベル地震動に対する性能照査型設計を実施すべく、躯体及び地盤の3次元非線形履歴モデルのプログラム開発を行っている¹⁾²⁾。地盤の構成モデルは拡張大崎モデル³⁾を組み込んだ。今回は、レベル1地震動相当であるが既設の LNG 地下式貯槽の地震観測結果の数値シミュレーションを行い開発プログラムの検証を行った。その結果について報告する。なお、プログラムは解析コード ABQUS⁴⁾にユーザーサブルーチンとして組み込んでいる。

2. 拡張大崎モデルの概要²⁾³⁾

本構成モデルを(1)(2)式に示す。地盤のせん断剛性のひずみ依存性を(1)式に示す偏差応力及び偏差ひずみの第2不変量を変数として双曲線モデルに適用したものである。

$$J_2' = \frac{J_2}{2G_0} \left(1 + A \left| \frac{J_2}{\tau_f} \right|^B \right) \quad (1)$$

$$I_1 = I_1(t) + 3K^t \Delta I_1' \quad (2)$$

ここに、 J_2 ：偏差応力の第2不変量、 J_2' ：偏差ひずみの第2不変量、 G_0 ：初期せん断弾性係数、 τ_f ：最大せん断強度、 A, B ：パラメータ、 I_1 ：直応力の第1不変量、 $\Delta I_1'$ ：直ひずみの第1不変量増分、 $I_1(t)$ ：1時刻前の直応力の第1不変量、 K^t ：接線体積弾性係数である。

履歴曲線は、(1)式に対しMasing則を用いている。

表 - 1 解析に用いた地盤条件

区分 番号	層区分	層厚 (m)	質量密度 ρ (t/m ³)	せん断波 速度 V_s (m/s)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大せん断 強度 τ_f (kN/m ²)	大崎モデル パラメータ α	大崎モデル パラメータ β
1	Fs	9.80	1.78	151	4141	0.495	1.17	1.00	-
2			1.78	151	4141	0.495	1.99	3.44	1.78
3			1.78	151	4141	0.495	3.00	3.44	1.78
4			1.80	151	4188	0.495	3.79	3.44	1.78
5	As1	4.20	1.70	184	5873	0.493	5.78	3.44	1.78
6	Ds1-1	6.70	1.90	336	21888	0.477	-	-	-
7			1.90	336	21888	0.477	-	-	-
8			1.90	336	21888	0.477	-	-	-
9	Ds1-2	9.20	1.90	336	21888	0.477	-	-	-
10			1.90	336	21888	0.477	-	-	-
11	Ds2	22.3	1.88	372	26547	0.473	-	-	-
12			1.88	372	26547	0.473	-	-	-
13			1.88	372	26547	0.473	-	-	-
14			1.88	372	26547	0.473	-	-	-
15			1.88	372	26547	0.473	-	-	-
16			1.88	372	26547	0.473	-	-	-
17			1.88	372	26547	0.473	-	-	-
18	Dg3	22.1	1.93	445	38999	0.461	-	-	-
19			1.93	445	38999	0.461	-	-	-
20			1.93	445	38999	0.461	-	-	-

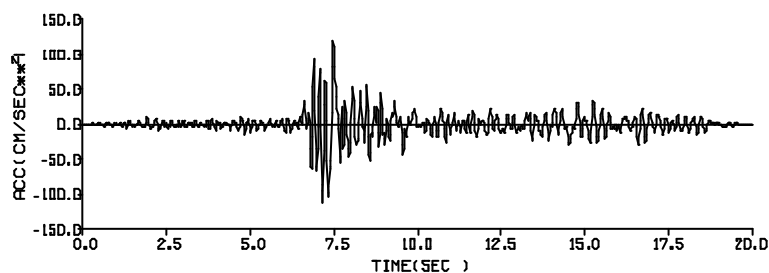


図 - 1 観測加速度記録（解析入力加速度）

3. 数値シミュレーション

3.1 観測事例

数値シミュレーションは、文献5)に記載されている既設の LNG 地下式貯槽の地震観測結果について行った。本観測記録では、地表面で 100 gal を超える観測記録が得られている。本サイトの地盤条件、工学基盤での観測加速度記録(解析用入力加速度)を表 - 1 及び図 - 1 に示す。図 - 1 より、拡張

キーワード：LNG 地下タンク、地震観測シミュレーション、動的非線形解析、3次元モデル

連絡先：〒104-0051 東京都中央区佃 3-2-10 オーケンビル TEL03-5548-5711 FAX03-5548-5720

大崎モデルは、せん断波速度 V_s が 300m/sec 以下である F_s 層、 A_{s1} 層に適用した。

次に、FEM モデルを図 - 2 に示す。タンク躯体は直径 67m、深さ 34m、連壁の長さ 27m で、これらを線形部材とし文献 5) の物性値を用いた。FEM 領域の地盤の長手方向の長さはタンク直径の約 6 倍とした。

3. 2 解析結果

加速度時刻歴波形について観測記録との比較を示す。図 - 3 は、タンク間地表面の水平 (X)

方向の加速度の比較である。観測記録の最大値は 174gal であり、解析結果の最大値 122gal と発生時刻はほぼ等しいが大きさは解析結果の方が 30%程度小さい。しかし、文献 5) による等価線形解析結果によるタンク間地表面の最大加速度は 124gal であり、本解析と同じ値となった。一方、位相については、本解析結果と観測記録はほぼ一致した波形となった。次に図 - 4 は、タンク側壁頂部の水平 (X) 方向の加速度の比較である。観測記録の最大値は 80.7gal であり、解析結果の最大値 87.4gal とほぼ等しい値 (誤差で 8%程度) となった。一方、位相については、本解析結果は観測記録とほぼ一致した波形となった。

表 - 2 に躯体に作用する最大土圧の比較を示す。本解析による土圧は、観測値に比べ大きい、等価線形解析結果とほぼ等しい値となった。

4. まとめ

本報では、レベル 1 地震動相当であるが既設の LNG 地下式貯槽の地震観測結果の数値シミュレーションを行い開発プログラムの検証を行った。その結果、地盤加速度については観測値とほぼ等しい結果になったが、躯体に作用する土圧については差があり今後の検討課題となった。今後は、今回明らかにされた課題を検討し、さらに、レベル 2 地震動の解析を行い非線形性や動的相互作用の強い条件での検証を行っていきたい。

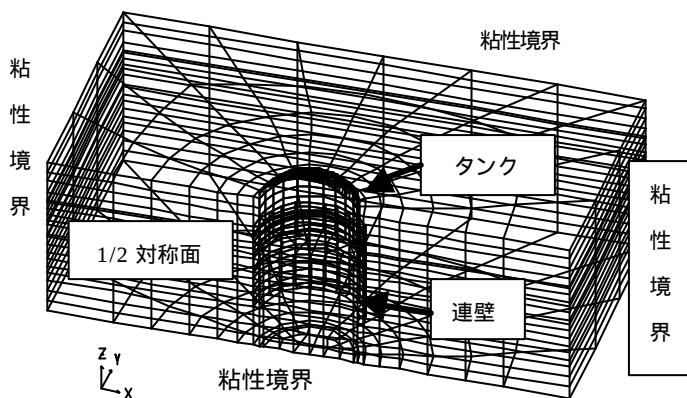


図 - 2 FEM モデル

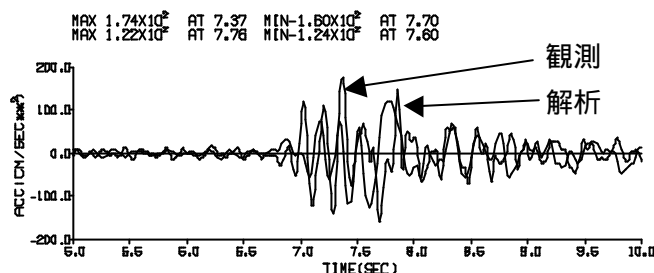


図 - 3 タンク間地表面

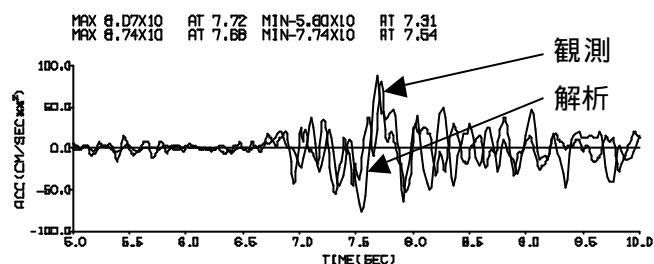


図 - 4 タンク側壁頂部

表 - 2 最大土圧の比較

	観測記録 ⁵⁾ N/cm ²	等価線形解析 ⁵⁾ N/cm ²	大崎モデル による結果 N/cm ²
側壁上部(DP01)	0.872	2.783	2.881
側壁上部(DP05)	0.529	3.001	2.293
連壁頂部(DP11)	1.372	2.548	1.764

[参考文献] 1) 土木学会; 9 8 コンクリートライブラリー, LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針, pp104. ~ 111. 2) 湯浅, 星, 小山, 若林; 3 次元非線形履歴モデルによる地盤の地震応答解析, 第 36 回地盤工学研究発表会, 2001 年 6 月. 3) Ashraf Adel SHAWKY; 地中鉄筋コンクリート構造の静的及び動的な非線形解析, 東京大学博士論文, 1994 年 9 月, pp75 ~ 80. 4) HIBBIT, KARLSSON & SORESEN, INC. ABAQUS/Standard Version 5.7. 5) 土木学会; 9 8 コンクリートライブラリー, LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針, pp85. ~ 91.