

LNG 地下タンクを対象とした多方向加振による 3 次元非線形地震応答解析

東電設計	正会員	○茂木寛之
同上	正会員	山谷 敦
東京電力	正会員	権守英樹
同上	正会員	海津信廣

1. はじめに

これまでの LNG 地下タンクを対象とした動的解析では、地震動の加振方向を一方向としている場合が多いが、実際の地震荷重は多方向から作用するため、一方向加振では表せない損傷が発生している可能性がある。本検討では、地震荷重の持つ多方向性がタンク躯体の挙動にどのような影響を及ぼすのか検討した。

2. 解析モデル

解析に用いた 3 次元タンク～地盤連成系のフルモデル¹⁾を図 1 に示す。地層構成は、地表面から G.L.-20.1m までが盛土・埋戻土($V_s=200\text{m/s}$)、それ以深は洪積層($V_s=255\sim 542\text{m/s}$)となっており、モデル化領域は躯体直径の 11 倍とした。地盤は 20 節点ソリッド要素でモデル化し、地盤のせん断応力～ひずみ関係は大崎モデルで規定した。側壁は 8 節点の非線形シェル要素で、底版は線形の 20 節点ソリッド要素でモデル化し、両者を PC 鋼棒を模擬した要素で連結した。側壁の鉄筋比は 0.7%とした。タンクと地盤の境界には、垂直方向の引張側と剥離した時のせん断方向の剛性を 0 とすることで剥離・すべりを模擬した接触要素を配置した。接触要素の特性を図 2 に示す。次に、無限に広がる遠方地盤を模擬するため、対象とする解析領域の周りに剛性・質量・せん断強度を通常の 1000 倍の値にした擬似遠方地盤モデルを躯体直径分取り付けた。なお、今回のモデルでは、散乱波を吸収するためのダッシュポットを考慮しなかった。

3. 解析条件

図 1 に示した解析モデルを用いて、入力地震動水平二方向(x 方向:タンク円周 0～180° 方向, y 方向:タンク円周 90～270° 方向)を同時入力とした場合と水平一方向(x 方向のみ)を入力とした場合の 2 ケースについて、3 次元地震応答解析を実施した。入力地震動は、首都直下地震 M7 相当となるように 1987 年千葉県東方沖地震の x, y 方向の地表面観測記録(LNG 基地で観測)を基盤面まで引き戻して得られた波形を振幅調整することにより作成した。作成した入力地震動 x, y 方向(入射波+反射波)を図 3 に示す。最大加速度は x, y 方向とも約 290gal となっている。解析は、自重解析と地震時解析の 2 段階で実施した。自重解析は擬似遠方地盤の全節点を鉛直ローラとし、剥離・すべりを模擬する接触要素のせん断剛性を 0 として実施した。地震時解析は擬似遠方地盤の全節点を水平ローラに変更し、接触要素のせん断剛性を数値解析上大きい値に戻して実施した。荷重は、内部ガス圧、液圧、地震時屋根荷重を考慮した。計算時間間隔は 0.02s とした。

4. 解析結果

側壁下端要素の面内・面外せん断力の和で評価した荷重～変位関係の比較を図 4 に示す。二方向加振については、荷重が最大となる方向(タンク円周 30～210° 方向)および 90～270° 方向に着目した。(a)図では、両ケースはよく一致しているが、(b)図のように、両ケースの応答が異なる方向もあることがわかる。また、両ケースの挙動はほぼ弾性範囲内となっている。主引張・主圧縮ひずみ最大値の時刻歴の比較を図 5 に示す。二方向加振の主引張・主圧縮ひずみは一方向加振に比べ全体的に大きくなっているが、両ケースの最大値に関しては同程度となっている。最大荷重時のせん断ひずみ分布の比較を図 6 に示す。二方向加振はタンク円周 75～165° 方向、一方向加振は 45～135° 方向の中腹～下方部でせん断ひずみが卓越、つまり、面内力が卓越している。タンク側壁の面内せん断剛性残存率の比較を図 7 に示す。両ケースとも、タンク円周 90～135° 方向下

キーワード ; LNG 地下タンク, 多方向加振, 3 次元有限要素解析

連絡先 (住所 ; 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3・TEL ; 03-6372-5559・FAX ; 03-6372-5595)

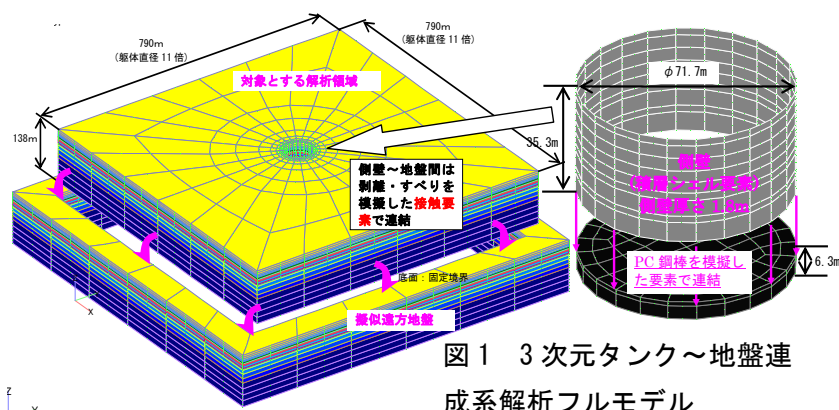


図1 3次元タンク～地盤連成系解析フルモデル

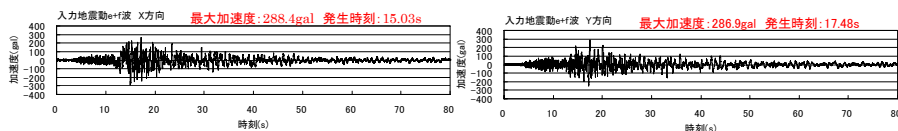
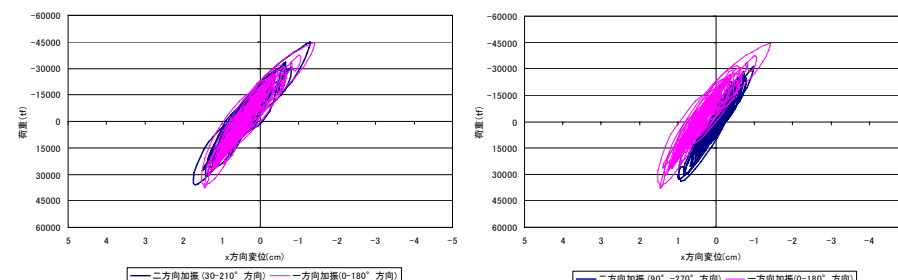


図3 入力地震動(入射波+反射波)-左:x方向,右:y方向



(a) 二方向加振(30-210° 方向) (b) 二方向加振(90-270° 方向)

図4 荷重～変位関係の比較

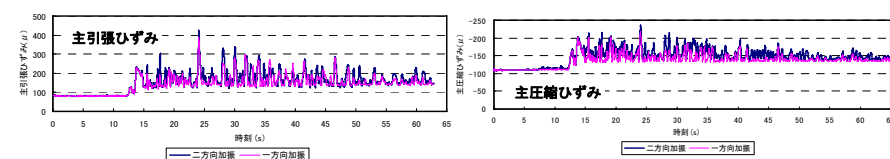


図5 主ひずみ最大値の時刻歴の比較

表1 応答値の比較

区分	照査項目	応答値		
		2方向加振	1方向加振	2方向/1方向
地震時の耐荷性能	要素の圧縮ひずみ	236μ	218μ	1.08
	要素の引張ひずみ	425μ	387μ	1.10
	面外せん断力	75.3tf/m	73.8tf/m	1.02
	側壁と底版の相対変位	0.29cm	0.28cm	1.04
地震後の止水性能	側壁頂部のオーバル変形量	0.55cm	0.44cm	1.25
	残留ひび割れ	0.06mm	0.06mm	1.00

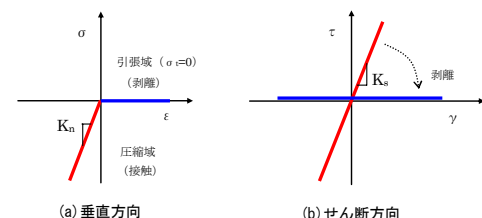


図2 タンク～地盤間の接触要素の特性

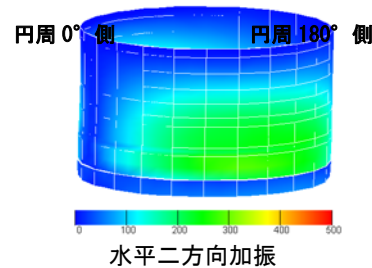


図6 最大荷重時のせん断ひずみ分布の比較



図7 躯体のせん断剛性残存率の比較

方部で剛性が低下しており残存率は同程度となっている。また、二方向加振では180°方向下方部においても剛性が低下している。よって、面内力を受ける範囲で差異は見られるが、両ケースとも面内力はタンク側壁下方部で卓越し同程度の損傷となることがわかった。最後に、応答値の比較を表1に示す。二方向加振は一方加振よりも応答値は大きくなるが、応答値の最大値で比較すると最大で1.25倍程度となりその影響は小さい。

5. まとめ

水平二方向加振の解析では、水平一方向加振よりも面内せん断力を受ける範囲が広がることから、広範囲で剛性低下しやすくなっているが、両ケースの損傷モードや最大損傷の程度に違いが見られない。また、首都直下地震M7クラスの地震に対しても、応答値が小さいことから、タンク躯体は十分な耐荷性能、止水性能を有することが推察される。

【謝辞】本検討を実施するにあたり、東京大学前川宏一教授のご厚意により3次元有限要素解析プログラムCOM3を提供して頂き、また、貴重なご意見を頂きました。ここに厚く謝意を表します。

参考文献 1) 茂木ら:地盤との相互作用に着目したLNG地下タンクの3次元非線形地震応答解析,第64回土木学会学術講演会,pp467-468,2009