

LNG 地下タンクの性能照査型設計における解析手法に関する一考察

東京ガス（株） 正会員 中野正文^{*1} 川村佳則^{*2}
 大成建設（株） 正会員 ○ 曾田暢一^{*3} 山本 平^{*3}

1. はじめに

1999 年 12 月に「LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針」（土木学会）が発刊され、LNG 地下タンクの性能照査型設計に対する一つの方向性が示された。その中で、耐震性能照査に用いる解析手法を大きく 4 タイプに分類している。この分類の特徴は、手法 1 から手法 4 に向かい、解析手法及び構造特性のモデル化のそれぞれを高度化している点にある。性能照査型設計体系において、高レベル地震動に対する耐震性能照査では、より現実の挙動を模擬できる手法 4（動的非線形解析手法）が合理的な設計には望ましいと考えられるが、現状の技術レベルでは困難な手法である。

そこで本稿では、より現実的な手法として、材料非線形応答変位法解析を用いて耐震性能照査を行なうことを念頭におき、その妥当性の検討を行なうと共に、実務設計に用いる場合の問題点や課題について整理することとした。

2. 検討条件

検討対象は図 1 に示す 200,000kl の地下タンクとした。解析は解析手法及びモデル化の異なる 4 ケースについて行なった。CASE-1,-2 は図 2 (a) に示す様に連続地中壁の影響は考慮せず（以下 Type-A と呼ぶ）、躯体のみをシェル要素にて、周辺地盤はバネ要素にてモデル化した応答変位法解析とした。CASE-3 は図 2 (b) に示すように連続地中壁の影響を考慮し（以下 Type-B と呼ぶ）、躯体及び連続地中壁をシェル要素にて、周辺地盤をバネ要素にてモデル化した応答変位法解析とした。CASE-4 は図 2 (c) に示すように Type-A にて周辺地盤をソリッド要素でモデル化し、時刻歴動的解析を行なった。

入力地震動は、図 3 に示す加速度応答スペクトルに、兵庫県南部地震にて採取されたポートアイランド波をフィッティングさせた波とし、基盤に 2E 入力した一次元地盤応答解析（SHAKE）を行なった。CASE-1,-2,-3 のバネ値は一次元地盤応答解析結果の収束剛性から算定し、応答変位は Type-A, Type-B それぞれ躯体下端、連壁下端からの最大相対変位とした。

また、CASE-4 は一次元地盤応答解析の収束剛性を等価剛性として解析を行なった。解析ケースを表 1 に示す。

比較検討は、CASE-1 と CASE-4 から解析手法の違いを、CASE-2 と CASE-3 から連壁の影響を、CASE-1 と CASE-2 から荷重条件の影響について行なうこととした。

キーワード：地下タンク、性能照査型設計、RC 非線形解析、耐震

* 1 〒230-0055 神奈川県横浜市鶴見区扇島 4-1

* 2 〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20

* 3 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1（新宿センタービル）

TEL.044-392-7182 FAX.044-287-2180

TEL.03-5400-7583 FAX.03-3578-8365

TEL.03-5381-5417 FAX.03-3342-2084

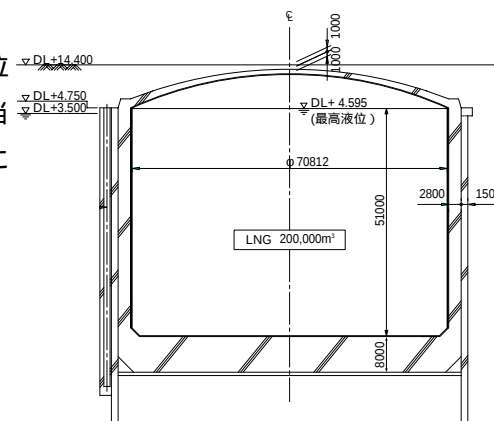
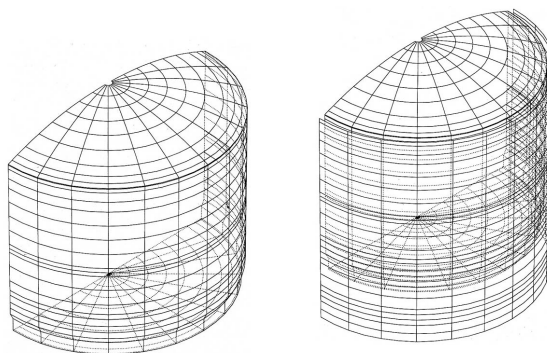
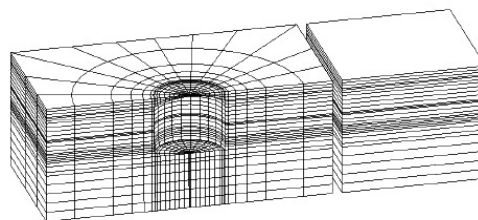


図 1 一般構造図



(a) 応答変位法(Type-A) (b) 応答変位法(Type-B)



(c) 時刻歴動的解析(Type-A)

図 2 解析モデル

3. 検討結果

CASE-1 と CASE-4 より解析手法の違いによる影響を比較検討した。変形図を図 4, 5 に示す。躯体の最大引張主ひずみは CASE-1, CASE-4 それぞれ 1850μ 、 1550μ 、側壁上下端の相対変位はそれぞれ 101mm 、 61mm であった。全体的な変形は両ケース共面内せん断変形が卓越するモードであるが、最大主ひずみ発生点は CASE-1 では 90° 側で面内せん断が支配的であるのに対し、CASE-4 では 180° 側の曲げ変形が支配的である。また、CASE-4 では地盤の 2 次モードの変形により側壁にも 2 次モードの変位が発生している。これらの結果から、時刻歴動的解析の方が合理化の可能性があると思われるが、解析実行時間が膨大になることや時刻歴で照査する必要があること等、設計作業には手間がかかる手法である。応答変位法解析はやや安全側ではあるものの、動的解析とほぼ同等の結果を与えることから、設計の簡便性等を併せて考えれば、応答変位法が妥当な選択であると考えられる。

CASE-2 と CASE-3 より連壁の影響を比較検討した。躯体の最大引張主ひずみは CASE-2, CASE-3 それぞれ 3100μ 、 990μ 、側壁上下端の最大相対変位は 125mm 、 72mm であった。これより、連壁が躯体に及ぼす影響は非常に大きく、連壁は仮設構造物ではあるもののその影響を適切に評価することが合理的な設計の為には必要不可欠であると考えられる。

CASE-1 と CASE-2 より荷重条件による影響を比較検討した。躯体の最大引張主ひずみは CASE-1, CASE-2 それぞれ 1850μ 、 3100μ 、側壁上下端の最大相対変位は 101mm 、 125mm であった。これらの差は、CASE-2 では温度及び内圧の影響により側壁下部にひび割れが生じている状態に地震荷重が作用する為、側壁下部での変形が生じ易くなっていることによる。この結果より、躯体の剛性、ひいては荷重作用状態を適切に考慮した解析を行なうことが重要と考えられる。

4. まとめ及び考察

本稿では非線形応答変位法を念頭におき、地下タンク躯体の設計に用いる場合の問題点や課題を把握する為に、4 ケースの解析を行ない比較検討した。今回の解析及び比較検討を通じ、地下タンクの性能照査型設計における各種問題点や課題について以下に考察する。

- ・材料非線形解析を用いた場合、照査項目にはひずみや変位等も含まれるため、限界状態設計法の安全係数の設定においては、コンクリート標準示方書に示された内容に加え、照査項目に対応した付加的要素を考慮する必要がある
- ・非線形解析においては、その構成則の良否が解析結果に大きく影響する為、構成則の妥当性を安全係数に盛り込むようにしなければならない
- ・非線形応答変位法は現状の技術レベルでは適切な解析手法であると考えられる
- ・合理的な設計の為には、連壁の影響を適切に考慮する必要がある
- ・荷重作用状態を適切に考慮する為に、躯体構築過程を追ったステップ解析が必要になると考えられる

表 1 解析ケース

	解析手法	解析モデル	検討荷重状態
CASE-1	応答変位法	Type-A	自重及び地震荷重
CASE-2	応答変位法	Type-A	低水位・満液・温度あり・地震時
CASE-3	応答変位法	Type-B	低水位・満液・温度あり・地震時
CASE-4	時刻歴動的解析	Type-A	自重及び地震荷重

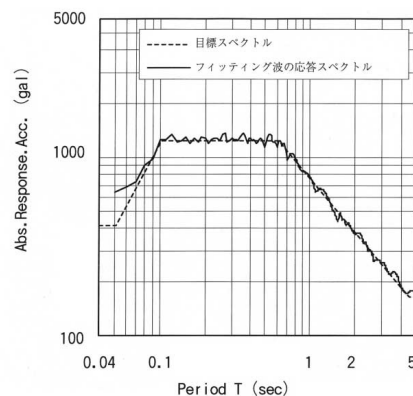


図 3 加速度応答スペクトル

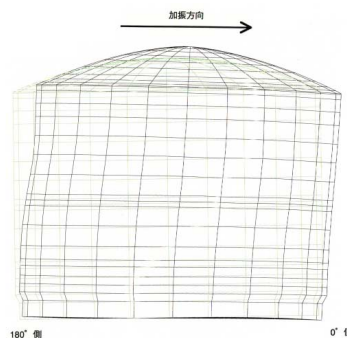


図 4 解析結果変形図(CASE-1)

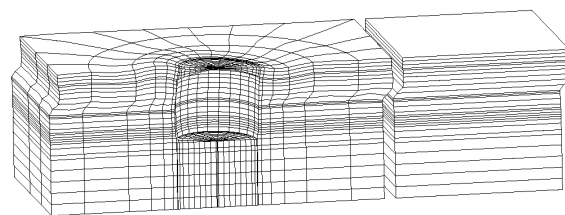


図 5 解析結果変形図(CASE-4)

(参考文献) 1) LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針, 土木学会 平成 11 年 12 月