

## 地下タンクの耐震性能照査 -凍結止水性能判定方法に対する一提案-

東京ガス(株) 正会員 中野正文\*<sup>1</sup> 川村佳則\*<sup>2</sup>  
 大成建設(株) 正会員 常見昌朗\*<sup>3</sup> 山本 平\*<sup>3</sup>

### 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<sup>1)</sup>」(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、レベル2地震に対する止水性能照査では、照査項目を「残留ひび割れ幅」とし、その限界値を「LNGから供給される冷熱で浸透水が凍結する程度」としている。

通常運転時のLNG地下タンク躯体は、基本的には凍結止水により止水性が担保されていることから、周辺地下水の躯体内への浸透は無いが、レベル2地震により躯体中の鉄筋が降伏するような大きなひずみが発生した場合には、凍結したコンクリートにひび割れが残留し、そのひび割れを通じて周辺地下水が躯体内へ浸透することとなる。従って、前記の止水性能照査の限界値は、「ひび割れを通じて浸透する浸透水が躯体内面へ到達する前に凍結する程度のひび割れ幅」と解釈できる。

本稿では、上記ひび割れ幅の限界値を非定常熱伝導解析を用いて算定する方法について提案を行なう。

### 2. 解析方法

解析を簡略化する為に2つの仮定を置く。まず、凍結したコンクリートひび割れ中の浸透水の流速は、常温のコンクリートひび割れ中の浸透水の流速と同一とする。これは、常温におけるコンクリートひび割れ中の浸透流に関するいくつかの実験式が提案されていることによる。次に、ひび割れ内での浸透水の移動は考慮しない。これにより、流体の移動をモデル化する様な解析プログラムを必要とせず、汎用プログラム等で解析が可能となる。

図1に対象とする地下タンクの一般構造図を、図2に解析モデルの概要図を示す。モデル化の範囲は、水平方向には躯体内面から側部ヒーター位置までとし、高さ方向にはひび割れ間隔分の高さをモデル化した。躯体内面側は保冷材を熱伝達要素でモデル化し、内面温度はLNG温度の-162とした。側部ヒーター位置は等価平均温度とした。また、ひび割れ部の浸透水をモデル化する為の要素(水要素と呼ぶ)を水平方向に付加し、水要素とコンクリートや地盤の要素が節点を共有しないように、インターフェース要素を配した。更に、モデル全体の上下面の温度を同一とする温度境界条件(温度連続条件)を与え、ひび割れが等間隔で連続的に存在することをモデル化した。

上記モデルを用いてひび割れ幅の限界値を算定する手順を以下に示す。

- (1) コンクリートのひび割れ幅を設定し、ひび割れ面における浸透水の流速を算定する
- (2) (1)で算定した流速より、浸透水がコンクリート躯体を通過する時間Tを算定する
- (3) 先のモデルを用いて定常熱伝導解析を行ない、温度の初期値(通常運転時の温度分布)を設定する
- (4) 水要素及びインターフェース要素を浸透水の初期温度に設定して非定常熱伝導解析を開始する
- (5) 時間Tにおける温度分布から、設定したひび割れ幅での凍結止水の有無を確認する
- (6) コンクリートひび割れ幅の設定値を変更し、(1)~(5)を繰返すことにより、凍結止水可能なひび割れ幅の限界値を決定する

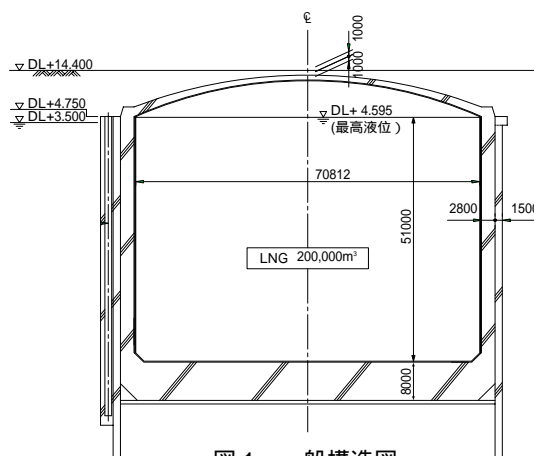


図1 一般構造図

キーワード：地下タンク、性能照査型設計、止水性能、耐震

\* 1 〒230-0055 神奈川県横浜市鶴見区扇島 4-1

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

\* 2 〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20

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

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

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

### 3. 解析例

前述の手順に従い、対象タンクに対して解析を行なった結果を示す。解析に用いた熱物性値を表1に示す。

手順(1)：ひび割れ幅を 0.3, 0.5, 0.7, 1.0mm の 4 ケース設定して、各ひび割れ幅に対する流速を算定する。流速の算定には、寺山らの提案式<sup>2)</sup>を用いた。ここで、水圧 P は  $0.3\text{N/mm}^2$  とする。

手順(2)：側壁厚 2.8m から、側壁内の通過時間を算定する。算定結果を表2に示す。

手順(3)：定常熱伝導解析により初期（通常運転時）温度分布を求める。解析モデルを図3に示す。

手順(4)：水要素及びインターフェース要素を初期温度 16 にて水平方向全体に瞬間的に発生させ、非定常熱伝導解析を開始する。これは、16 の水がひび割れ内に瞬間的に満たされたことと同じである。この時、インターフェース要素の特性として比熱を 0 とし、ひび割れ直角方向のみに熱を伝えるものとした。

手順(5)：各ひび割れ幅に対する解析結果を図4に示す。凍結止水可能なひび割れ幅の判定は、側壁躯体内で全ての水要素が凍結温度以下になっている状態とする。これは、今回用いたモデルにて側壁外面の水要素が側壁内透過時間 T の内に凍結するのであれば、実際に流体の移動を考慮したとしても側壁外面側から浸入した水は側壁内面に到達する以前に凍結すると考えられるからである（但し、この時運動エネルギーは非常に小さいものとして無視できると考える）。凍結温度を 0 と仮定すると、図4の白色部分が未凍結部分となり、ひび割れ幅 0.5mm では側壁全体が凍結しているのに対し、0.7mm では側壁の半分程度までしか凍結していない。このことから、凍結止水可能なひび割れ幅の限界値は 0.5~0.7mm 程度と判断できる。

### 4. まとめ及び今後の課題

本稿では、非定常熱伝導解析を用いて凍結止水可能なひび割れ幅の限界値を算定する方法を提案した。この方法では、解析の簡略化の為にいくつかの仮定を設けたが、ひび割れ幅がレベル2地震時の性能にとってクリティカルとなる場合には、例えば水の移動を考慮した解析の様な、より合理的な解析手法に対するアプローチが必要となる。今後試設計等を通じてそれらの検討を行なう予定である。

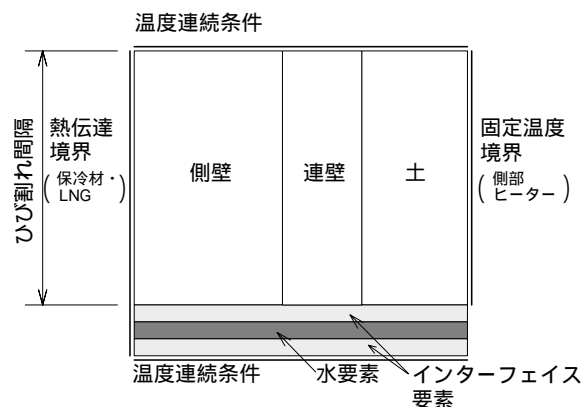


図2 解析モデル概要図

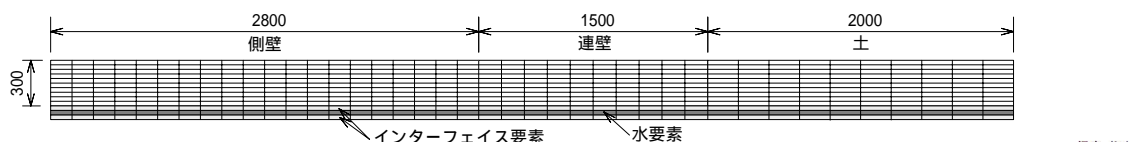


図3 解析メッシュ図

表1 解析に用いた熱物性値

|        | 熱伝導率<br>kJ/mh | 比熱<br>kJ/kg | 潜熱<br>kJ/kg | 密度<br>kg/m <sup>3</sup> |
|--------|---------------|-------------|-------------|-------------------------|
| コンクリート | 8.37          | 0.84        | 0.00        | 2450                    |
| 土      | 凍結後           | 10.13       | 1.21        | 91.6                    |
|        | 凍結前           | 5.90        | 1.80        |                         |
| 水      | 凍結後           | 7.91        | 2.09        | 332.8                   |
|        | 凍結前           | 2.09        | 4.19        |                         |

表2 ひび割れ内の流速算定結果

| ひび割れ幅<br>(mm) | 漏水量<br>(cm <sup>3</sup> /s/cm) | 流速<br>(cm/s) | 側壁内通過時間<br>(s) |
|---------------|--------------------------------|--------------|----------------|
| 0.3           | 0.21                           | 7.0          | 40             |
| 0.5           | 0.98                           | 19.5         | 14             |
| 0.7           | 2.68                           | 38.2         | 7.3            |
| 1.0           | 7.80                           | 78.0         | 3.6            |

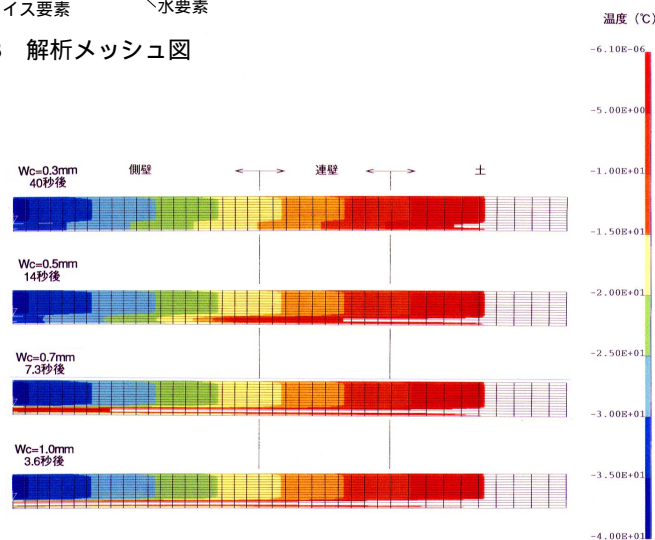


図4 解析結果

- (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  
 2) プレストレスによるひび割れ幅の低減効果, 土木学会第 43 回年次学術講演会(昭和 63 年 10 月)