

鹿島建設(株) ○正会員 見坊 東光 正会員 山本 正明
正会員 清水 保明

1. まえがき

地上オイルタンクが機能を失う原因の一つに基礎地盤の不等沈下がある。不等沈下には、タンク中心部と側板部の沈下量の差によるものと、タンク側板部(タンク円周部)の沈下量の差によるものの2種類がある。タンク本体に悪影響を及ぼす不等沈下はタンク側板部(タンク円周部)の不等沈下であり、タンク側板の変形、浮屋根の上下動の不可、油漏れの原因となる。このため消防法ではタンク側板部(タンク円周部)の沈下に対して規制値を定めており、規制値を越えた場合タンクの使用が禁止される。

不等沈下の生じる主な要因として、①土層厚の不均一さ、②沈下に影響する土性値の不均一さ、が考えられる。従来、技術者は工学的判断により不均一さを考慮し設計を行ってきたが、不均一さを定量的に考慮し不等沈下に対する安全性の定量化ができれば、より合理的な設計を行うことが可能となる。すなわち設計時の不等沈下に対する安全性の指標として確率を用いれば、同一の安全性をもったタンクを設計することが可能となる。また不等沈下量の実測値と計算値の比較から、解析法の精度を把握し、設計規準値の見直しを行うことも可能となる。

本報告ではその第1歩として、現行設計法を用いることを前提とし、不等沈下量の設計基準値超過確率(以下不等沈下量超過確率という)の算定法とその計算事例を示す。

2. 解析法

(1) 不等沈下量超過確率算定法 — 1次ガウス近似法(2次モーメント法)により算定するものとする。

(2) 性能関数 — $Z = \text{基準値} - \text{不等沈下量} = (D/100)^* - (Ns \cdot S_{\max} - Ns \cdot S_{\min})$

ここに、 Z ; 性能関数 D ; タンク本体直径(m) Ns ; 沈下式の補正係数 * ; 水平地盤
 $S_{\max}$; タンク側板部の最大沈下量(m) $S_{\min}$; タンク側板部の最小沈下量(m)

オイルタンクの基礎地盤の沈下量の算出にあたっては、消防法の告示で示されている次式を用いることとする。すなわち、粘性土層は次のイ.の式により、砂質土層はロ.の式によるものとする。

$$\text{イ. } S = \int_1^{\frac{Cc}{1+e_0}} \log \frac{P_1 + \Delta P}{P_0} dz \quad \text{ロ. } S = 0.04 \int \frac{P_1}{N} \log \frac{P_1 + \Delta P}{P_1} dz$$

ここに、 S ; 沈下量(m) Cc ; 標準圧密試験により求めた圧縮指数
 e_0 ; 標準圧密試験により求めた初期間隙比 P_1 ; 有効土被り荷重(t/m²)
 ΔP ; タンク荷重による増加地中応力(t/m²) P_0 ; 圧密降伏荷重(t/m²)
 Z ; 地表面からの深さ(m) N ; 標準貫入試験値

3. 計算事例

(1) 計算の前提条件 — ①沈下計算式に含まれる全ての変数を確率変数として扱うものとする。ただし、今回は ΔP を確定値として扱った。②各確率変数は正規分布形とする。③各確率変数は独立とする。

(2) タンクの仕様 — ①タンク本体直径 $D=40.0\text{m}$ 、②側板高 $H=22.0\text{m}$ 、③最高液面高 $H_0=20.0\text{m}$

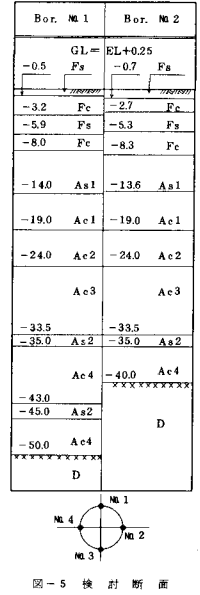
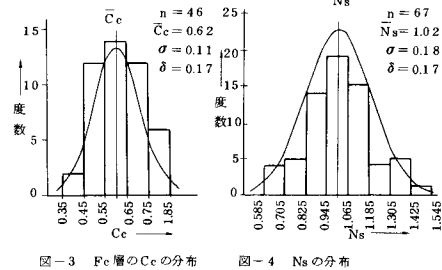
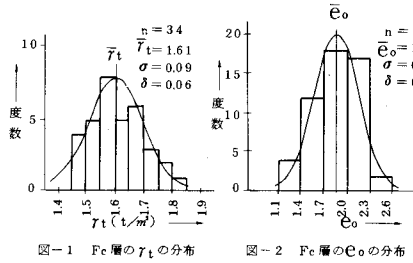
(3) 荷重条件 — ①タンク重量、②内容物重量(満液状態)、③マウンド重量、を考える。その結果、基礎地盤に作用する荷重は、 $\omega=22.6\text{t/m}^2$ となった。

(4) 各確率変数の統計量 — 各確率変数の一覧表を表-1に示す。確率変数のヒストグラムの事例を図-1~4に示す。なお地盤に関する各統計量はタンク建設地点全体のデータを統計処理したものである。

(5) 検討断面 — 側板部4本のボーリングに対し、各確率変数の平均値を用い事前の沈下計算を行い、最大、最小の沈下量が生じるNo.1, 2の断面に着目し検討するものとした。検討断面を図-5に示す。

表-1 確率変数一覧表

確率変数		個数	平均値	変動係数
単位体積重量	γ (t/m ³)	Fs	1.8 (1.0)	0.06 注1
		Fc	1.6 (0.6)	0.06
		As	1.8 (1.0)	0.06 注1
		Ac	1.6 (0.6)	0.06
土層厚	H(m)	—	H _i	0.08 注1
増加地中応力	ΔP (t/m ²)	—	2.26 α	0.0
有効土被荷重	P _i (t/m ²)	—	$\sum_{i=1}^n H_i \cdot \bar{\gamma}_i$	(A)
圧密降伏荷重	P ₀ (t/m ²)	—	同上	同上
初期間隙比	e ₀	Fc	53	1.87
		Ac1	10	1.23
		Ac2	11	1.78
		Ac3	19	2.27
		Ac4	15	1.10
圧縮指数	C _c	Fc	46	0.62
		Ac1	8	0.42
		Ac2	11	0.72
		Ac3	15	1.02
		Ac4	13	0.39
N 値	N	Fs	131	4.1
		As1	381	17.6
		As2	33	9.0
		As3	67	1.02
沈下式修正係数	N _s	—	67	1.02



ここに、Fs ; 埋立砂層 D ; 洪積層 注1 ; 値は推定値である。
Fc ; 埋立粘土層 α ; 地中応力係数 地下水位 ; 確定値とした (EL - 2.0)
As ; 沖積砂層 $\bar{H}_i$; } i 層の H、 (A) = $\frac{[\sum \{(\bar{H}_i \cdot 0.08)^2 + (\bar{\gamma}_i \cdot 0.06)^2\}]}{\sum \bar{H}_i \cdot \bar{\gamma}_i}$
Ac ; 沖積粘土層 $\bar{\gamma}_i$; } γ の平均値

(6) 解析結果

- 計算不等沈下量の平均値は、 $S = S_{max} - S_{min} = 0.02$ m となり、基準値 $D / 100 = 0.4$ m を満足している。また不等沈下量の標準偏差は、 $\sigma_s = 0.09$ m となる。
- 不等沈下量超過確率は $P_f = 1.7 \times 10^{-6}$ ($\beta = 4.7$) となる。

4. 今後の課題

- 分布形の影響を考慮する必要がある。例えば N 値が小さい土層に対しては対数正規分布形の方が適合する場合もあるものと思われる。
- 各変数の相関性、例えば初期間隙比と圧縮指数の相関性を考慮する必要がある。
- 土性値の位置的相関を考慮する必要がある。計算例で用いた地盤に関する各確率変数の変動係数はタンク建設地点の敷地全体 (約 500m × 500m) のデータを統計処理しており位置的相関性を考慮していないが、位置的相関性を考慮すれば変動係数は小さくなると考えられる。変動係数をパラメータにした場合の不等沈下量超過確率の傾向を図-6に示す。図より超過確率は変動係数により、大きく変化することがわかる。
- 不等沈下量超過確率の基準値を設定する必要がある。設定法としては、既往の設計事例の不等沈下量超過確率算定結果を基にする方法、期待費用最小化基準による方法等が考えられる。
- 各確率変数の影響度を調べる必要がある。影響度を把握できれば、調査等を重点的に行う必要のある変数を抽出し効率の良い調査を行うことが可能と思われる。
- 実際の荷重変動を考慮した不等沈下量超過確率の検討を行う必要がある。荷重変動を考慮した不等沈下量超過確率が把握できれば、より合理的な設計が可能となる。

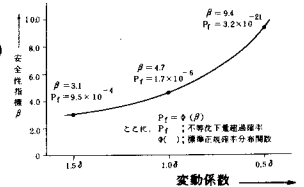


図-6 変動係数と安全性指標の関係

参考文献 1) 危険物技術研究会, 屋外タンク貯蔵所基礎の規制基準解説, 技報堂, 昭和58年1月
2) 岡林郁夫, 石油タンク基礎の理論と実際, 鹿島出版会, 昭和58年2月