

III-428

石油タンク基礎(直接基礎)の信頼性解析について

清水建設(株) ○正会員 前 孝一 正会員 鈴木 健

1. まえがき

石油タンク基礎を建設する場合は、建設地域の地盤の沈下・支持力・液状化が問題となる。従来、技術者は設計に用いる土質定数を工学的判断により、不均一さを考慮して決定してきた。本研究においては、信頼度を定量的に求める方法として修正二次モーメント法を用い、沈下・支持力・液状化の超過確率を算出し、モデル地盤での期待総費用を求めた。ここではその解析事例を示す。なお、本研究で対象とした石油タンク基礎は、図-1に示すような構造である。

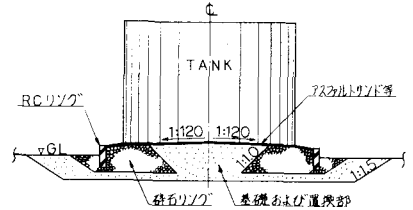


図-1 タンク基礎図

2. 解析方法

沈下・支持力・液状化の検討に用いる性能関数として次式を用いた。

$$\textcircled{1} \text{沈下} \quad Z_1 = S_o - \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \left(\frac{C_{ei} H_i}{1 + o_i} \frac{P_{oi} + \Delta P_i(K_s)}{P_{ci}} \log \frac{P_{oi} + \Delta P_i(K_s)}{P_{ci}} + \frac{0.04 P_{oj} H_j}{N_j} \log \frac{P_{oj} + \Delta P_j(K_s)}{P_{cj}} \right) \dots (1)$$

$$\textcircled{2} \text{支持力} \quad Z_2 = N_o (1.3 C_{nc} + 0.3 \gamma_1 B N_f + \gamma_2 D f N_q) - Q_o(K_s) \dots (2)$$

$$\textcircled{3} \text{液状化} \quad Z_3 = N_o \left\{ 0.0082 \sqrt{\frac{10N}{\sigma'_v + 7}} + A - (1 - 0.015X) K_s \frac{\sigma'_v}{\sigma_v} \right\} \dots (3)$$

ここに、 S_o 、 $Q_o(K_s)$: 使用限界または終局沈下量(m)、設計震度毎の地盤反力(tf/m²)

N_o 、 N_{oi} 、 N_{oj} : モデル化に伴う補正係数

C_{ei} 、 o_i 、 C_i 、 U_i : 各粘性土層の圧縮指数、初期間隙比、粘着力(tf/m²)、圧密度

H_i 、 P_{oi} 、 $\Delta P_i(K_s)$ 、 P_{ci} : 各粘性土層の層厚(m)、土被り圧(tf/m²)、増加荷重(tf/m²)、先行荷重(tf/m²)

H_j 、 P_{oj} 、 $\Delta P_j(K_s)$ 、 P_{cj} : 各砂質土層の層厚(m)、土被り圧(tf/m²)、増加荷重(tf/m²)、先行荷重(tf/m²)

N 、 N_j 、 A 、 N_c 、 N_f 、 N_q : 各砂質土層のN値、平均粒径D₅₀に応じた値(A=0.05~0.19)、支持力係数

γ_1 、 γ_2 、 B 、 D 、 X : 土の単位体積重量(tf/m³)、タンク直径(m)、地表面からの深さ(m)

σ_v 、 σ'_v 、 K_s : 全上載圧(tf/m²)、有効上載圧(tf/m²)、標準設計震度

上記の土質定数のうち、アンダーラインを付したものを確率変数として取扱い、それぞれ独立で正規分布と設定した。また、非線形関数である性能関数(1)~(3)式を破壊点廻りにテーラー展開し、1次項を用いて線形化して安全性指標 β を求めた。¹⁾ なお、地震時荷重は水平方向慣性力を考慮し、離散量として取扱った。

3. 土質調査結果を用いたシミュレーション結果

①既往の石油タンク基礎(38基)の地盤を砂質土地盤と互層地盤に区分し、(1)式および表-1に示す土性値を用いて沈下量を算出し、使用限界沈下量 S_o をこえる超過確率Pf(安全性指標 β)を求めた。その結果を図-2に示す。

②(3)式および表-2に示す土性値を用いて、新潟地区における液状化の発生確率を求めた。その結果を図-3に示す。この図には、「FLと液状化あるいは非液状化の発生確率の関係」²⁾を併記した。

4. モデル地盤での期待総費用の検討結果

(1)~(3)式を用いて、N=10の砂地盤とこれをN=15に改良した地盤を対象に、表-3に示す条件で標準設計震度毎にタンク基礎の不等沈下・支持力・液状化の超過確率(安全性指標 β)を求めた。その結果を図-4に示す。さらに、図-5に示す某地区の1年、20年、50年の超過確率³⁾を離散化して生起確率を求め、最大加速度を平均加速度に変換して耐用年数毎の期待総費用を求めた。その結果を図-6に示す。

この図から分かるように、耐用年数10年を境にして、地盤改良の有無による期待総費用が逆転する結果となった。なお検討にあたって、タンク基礎の不等沈下量は沈下量から推定し、この場合の限界不等沈下量を40cmと設定した。またタンク基礎は剛体として取扱い、タンク破壊時の費用は建設時の10倍とした。

表-1 タンク基礎地盤の土性値

地盤区分	標高(m)	土層名	平均値(標準偏差)	標準偏差	N値	単位体積重量 γ (t/m ³)	圧縮係数Cc	初期液状化係数 β	標準貫入抵抗 N_{60} (kg/cm ²)	層厚H(m)	土粒子の平均粒径 P_{50} (mm)	土粒子の最大粒径 P_{100} (mm)	増加荷重 ΔP (t/m ²)
砂質土池底	-3.24	砂質土	X	1.00	29.4	1.80			3.27	2.94	10.83		
		砂質土	O	0.05	16.8	0.16			0.69	0.26	0.28		
	-6.65	砂質土	X	1.00	18.3	1.60			3.38	8.59	10.50		
		砂質土	O	0.05	8.0	0.16			3.46	0.79	0.27		
正層地盤	-3.24	砂質土	X	1.00	29.4	1.80			3.24	2.92	10.83		
		砂質土	O	0.05	16.8	0.16			0.41	0.26	0.28		
	-4.32	砂質土	X	1.00	15.1	0.88	1.93	1.08	6.65	10.61			
		砂質土	O	0.20	0.15	0.30	0.32	1.48	0.58	0.27			
地盤	-12.17	砂質土	X	1.00	19.3	1.60			7.85	13.74	10.20		
		砂質土	O	0.05	8.0	0.16			3.50	0.95	0.26		

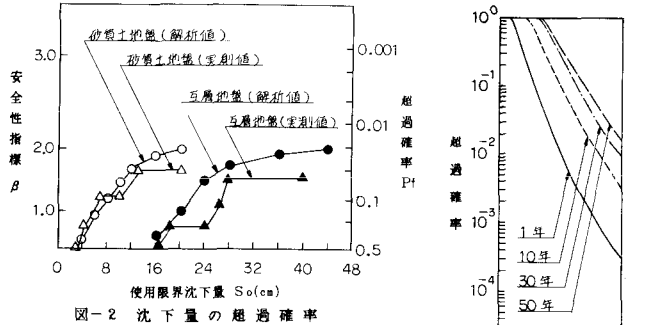


図-2 沈下量の超過確率

表-2 新潟地区の地盤の土性値(ボーリング個数:4)

標高(m)	土層名	平均値(標準偏差)	標準偏差	N値	単位体積重量 γ (t/m ³)	圧縮係数Cc	標準貫入抵抗 N_{60} (kg/cm ²)	層厚H(m)	有効土圧 σ_v (t/m ²)
-6.75	砂質土	X	1.00	6.26	1.80	0.31	6.75	3.45	
	砂質土	O	0.20	3.42	0.18	0.20	3.77	0.61	
-7.75	砂質土	X	1.00	3.75	1.80	0.02	1.00	6.55	
	砂質土	O	0.20	1.71	0.18	0.001	1.41	1.33	
-15.00	砂質土	X	1.00	22.90	1.80	0.28	7.25	9.85	
	砂質土	O	0.20	10.21	0.18	0.08	2.87	1.56	

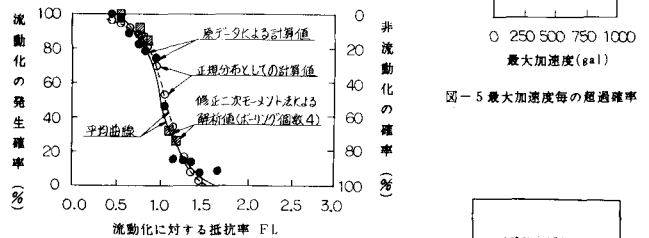


図-3 新潟地区におけるFLと液状化の発生確率の関係

表-3 モデル地区の地盤改良前・後の土性値

項目	地盤改良前	地盤改良後
圧縮係数Cc	1.0	0.2
砂質土の層厚H(m)	10.0	2.0
単位体積重量 γ (t/m ³)	2.0	0.2
土粒子の平均粒径 P_{50} (mm)	7.0	1.0
増加荷重 ΔP (t/m ²)	8.24	0.82
N値	1.0	15
平均貫入抵抗 N_{60} (kg/cm ²)	0.04	0.01
支持力係数 N_f	4.09	0.17
支持力係数 N_q	7.19	0.23
タンク底重 W (t/m ²)	20.0	2.0
タンク直径 D (cm)	20.0	20.0

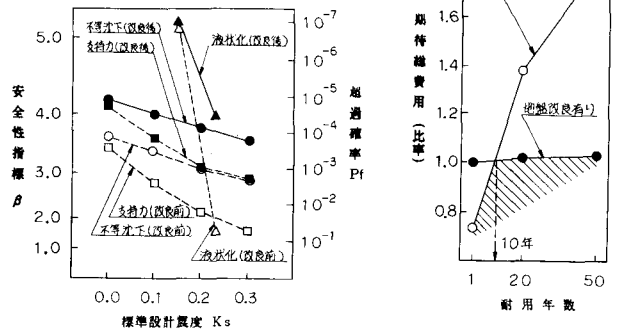


図-4 標準設計震度毎の不等沈下・支持力・液状化

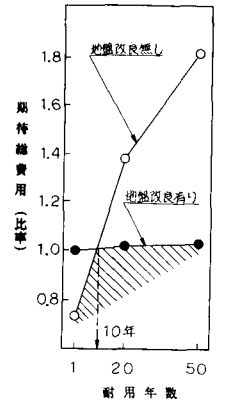


図-5 耐用年数と期待総費用の関係

5. 今後の課題

本研究においては、石油タンク基礎を対象にして修正二次モーメント法を用いた信頼性解析を行い、一応の成果を得ることができた、しかしながら、現時点ではまだ次のような課題が残されている。すなわち、

- (1) 各変数間の相関性および各性能関数間の相関関係の考慮
- (2) 種々の地盤での超過確率の検証
- (3) 期待総費用の算出方法の明確化

等である。今後さらに研究を進めて、これらを明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) Ang, A.H-S. and Tang, W.H. (1984): Probability Concepts in Engineering Planning and Design
- 2) 土木研究所資料第1729号: 地震時における砂地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究
- 3) 石川裕: 歴史地震資料に基づく地震動確率曲線に影響する要因、土木学会第18回地震工学研究発表会
- 4) 星谷勝: 確率論手法による構造解析