

鹿島建設技術研究所 正員 平和男
〃 正員 日紫喜 剛 啓
〃 正員 村田 俊彦

1. はじめに オープンケーソン工法においては、ケーソンを安全、かつ計画的に沈設させるために、ケーソンの掘削に伴う沈下の時期や量を予測しておくことが重要である。しかし、ケーソンの沈下は、種々の要因が影響し合っ生ずる現象であるため、地盤とケーソンの力のつり合いから、沈下の時期や量を精度よく予測することが難しい。そこで、ケーソンの沈下予測へのアプローチとして、オープンケーソン工法で施工した大型のLNG地下式貯槽(図-1)での実測データを用い、統計的手法(重回帰分析)を適用してこの現象と種々の要因との関係について調べた。

2. 調査要因とデータの採取 ケーソンの沈下現象を支配している力は、ケーソンの自重、刃口部の地盤支持力及びケーソン側面の摩擦力の三つである。しかし、地盤支持力と摩擦力は、精度よく測定することが難しいため、ここでは、表-1に示すように、この三つの力に影響を及ぼし、かつ実用性を考慮して簡単に調査できるものを要因として選定し、調査した。なお、表-1に示した $X_1 \sim X_7$ の要因は、表-2に示すように、刃口部の掘削形状を表したものである。

3. 解析方法 ケーソンを安全にかつ計画的に沈設させるためには、各掘削段階において ①、ケーソンが沈下し始めるのかどうか(沈下の有無) ②、沈下するとしたら、その量(沈下量)はどうか、を予測しておく必要がある。一方、ケーソン沈下時の速度や量を観察してみると、今回の例では緩やかに沈下する場合と沈下し始めてから数秒のうちに沈下が終了する場合とに大別でき、前者の沈下量は比較的小さく、後者の沈下量は比較的大きかった。

そこで、図-2に示すように、一つのサンプルを、各掘削段階の開始から終了までと考えて、判別分析の概念を適用して分析することにした。すなわち、沈下有り及び

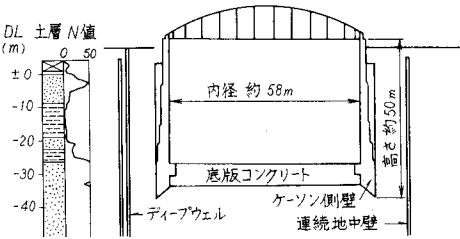


図-1 LNG地下式貯槽の形状寸法

表-1 調査要因とデータの採取方法

項目	記号	調査要因	採取方法
説明変数	X_1	掘削指数 a_1 (m)	刃口部近傍の地盤の形状寸法を現場で測定
	X_2	掘削指数 L_1 (m)	
	X_3	掘削指数 a_2 (m)	
	X_4	掘削指数 L_2 (m)	
	X_5	掘削指数 G_x (m)	
	X_6	掘削指数 G_y (m)	
	X_7	掘削部断面積 A (m ²)	ケーソン重量と接地長さから算定
	X_8	接地圧 w/l (t/m ²)	
	X_9	ケーソンの重量 W (x10 ³ t)	設計値
	X_{10-1}	刃の硬層: $X_{10-1}=0, X_{10-2}=0$	土質柱状図及び観察
	X_{10-1}	刃の砂層: $X_{10-1}=1, X_{10-2}=0$	
	X_{10-1}	刃のシルト層: $X_{10-1}=0, X_{10-2}=1$	標準貫入試験
	X_{11}	刃口部地盤のN値	
	X_{12}	刃口部のシルト層の厚さ (m)	土質柱状図及び観察
	X_{13}	降雨量 (mm/週)	土質柱状図及び観察
	X_{14}	側壁部のシルト層の厚さ (m)	
目的変数	X_{15}	摩擦指標 W/S (t/m ²)	ケーソン重量とケーソン側面積から算定
	X_{16}	刃口先端の深さ (m)	レベル測量
	X_{17-1}	補工 無: $X_{17-1}=0, X_{17-2}=0$	現場で記録
	X_{17-2}	エア: $X_{17-1}=1, X_{17-2}=0$	
	X_{17-2}	水: $X_{17-1}=0, X_{17-2}=1$	レベル測量及び観察
	X_{18-1}	沈下の状況 無: $X_{18-1}=0, X_{18-2}=0$	
	X_{18-2}	緩: $X_{18-1}=1, X_{18-2}=0$	
	X_{18-2}	急: $X_{18-1}=0, X_{18-2}=1$	レベル測量と沈下計
	X_{19}	前回の沈下量 (mm)	
	X_{20}	前回の不等沈下量 (mm)	レベル測量と沈下計
目的変数	1	沈下量 (mm)	レベル測量と沈下計
	2	沈下の状況	観察
	3	平均沈下速度 (mm/s)	沈下曲線から算定
	4	最大沈下速度 (mm/s)	沈下曲線から算定

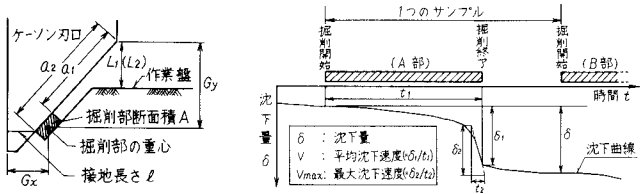


図-2 サンプルの採取要領

沈下無しの場合、沈下の有無を判別するための関係式を求めた。次に、沈下有りのサンプルを用いて、沈下速度の緩急を判別するための関係式を求めた。なお、分析に用いたサンプルは、ケーソンの累計沈下量が0m～7mまでの実測データの中から採取した56個のサンプルで、図-3及び図-4に示したように、沈下の有無及び沈下速度の緩急に層別したものである（沈下無し33サンプル、沈下速度緩15サンプル、沈下速度急8サンプル）。また、要因の抽出には、相関分析とF検定を用い、各関係式は、線型回帰モデルとして重回帰分析によって求めた。

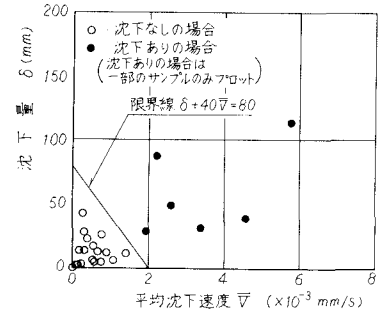


図-3 サンプルの沈下の有無への層別

4. 解析結果 沈下の有無(y_1)及び沈下速度の緩急(y_2)と要因との関係は、それぞれ次式のようにになった。

$$y_1 = 0.0028 \cdot X_8 - 0.1617 \cdot X_{10-1} - 1.1611 \cdot X_{10-2} - 0.2112 \cdot X_{11} + 0.1915 \cdot X_{15} + 0.9953 \cdot X_{17-1} - 0.0026 \cdot X_{20} - 1.0103 \quad (1)$$

$$y_2 = 1.6429 \cdot X_3 + 0.5565 \cdot X_{15} + 0.8290 \cdot X_{16} + 0.6693 \cdot X_{17-1} - 26.681 \quad (2)$$

(1)式を用いて、全サンプルを沈下の有無について判別してみると図-5に示すように、全サンプルの95%を正確に判別できた。

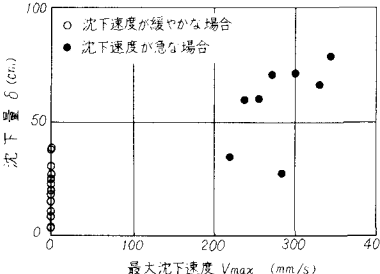


図-4 サンプルの沈下速度の緩急への層別

また、(2)式を用いて、沈下有りのサンプルを沈下速度の緩急について判別してみると、図-6に示すように、ほとんどのサンプルを正確に判別できた。これらの結果から、沈下の有無や沈下速度の緩急という沈下の現象も、精度よく判別できることがわかった。表-2は、要因及び関係式の寄与率 R^{*2} を示したものである。沈下の有無では、接地圧の寄与率だけが0.39と非常に高く、この要因が沈下の有無を説明する主要因になっている。なお、地盤の支持力に影響を及ぼす刃口部の土質やN値の寄与率は小さいが、これは、サンプルのほとんどが砂層に集中しており、また、砂層内のN値の変化量が比較的小さかったことによると考えられる。一方、沈下速度の緩急では刃口先端の深さが0.53、掘削指数 Q_2 が0.29及び摩擦指標が0.25と高い寄与率を持っており、これらの要因が沈下速度の緩急を説明する主要因になっている。

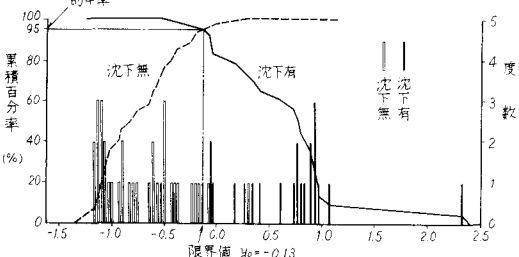


図-5 沈下の有無への判別結果

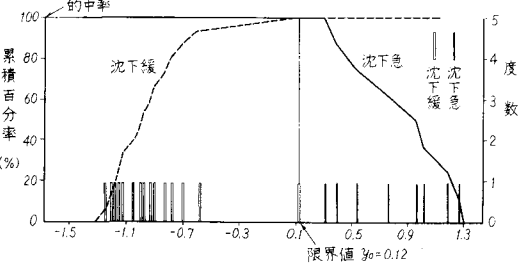


図-6 沈下速度の緩急への判別結果

(1)式及び(2)式の寄与率は、0.66及び0.86であり、予測式として適用できる程度の寄与率を持っていることがわかる。ただし、(1)式での誤差の寄与率は、0.34と高いことから、今回調査した20の要因以外にも寄与率の高い要因が潜在している可能性がある。

5. まとめ ごく限られた条件下での分析であるが、統計的手法によって、ケーソンの沈下現象と要因との関係を把握できることがわかり、ケーソンの沈下のように解析的に把握しにくい現象を説明する手段として、この手法が有用であると考えられる。

表-2 寄与率 R^{*2}

解析	要因	寄与率	解析	要因	寄与率
沈下 の有無	接地圧	0.39	沈下 速度の 緩急	刃口部の深さ	0.53
	刃口部地盤のN値	0.06		掘削指数	0.29
	補助工法	0.06		摩擦指標	0.25
	前回不等地下量	0.02		補助工法	0.05
	刃口部の土質	0.02		関係式全体	0.86
	摩擦指標	0.02			
	関係式全体	0.66			