

ニューマチックケーソン初期沈下時における支持力式の検討

オリエンタル白石(株) 正会員 ○大石 雅彦
Delft University of Technology Johannes Martinus Verstijnen

Delft University of Technology Mark Voorendt
Bentley Systems, Inc. Kancharla Varun Choudary

1. はじめに

近年、ニューマチックケーソン（以下、ケーソン）の大型化が進み、ケーソン初期沈下の安全性を確保し、より正確なケーソンの沈下制御を行うためには、支持力の評価が重要となってきた。本稿では、異なる地盤条件でのFEM解析により支持力を求め、現行の支持力式による結果と比較検討することでその適用性を検討した。

2. 現行の支持力式

ケーソン初期の沈下作業は図-1に示すように、ケーソン自重に対して、作業室内の掘残し土砂の幅を調整することでケーソンの沈下を制御する。したがって、ケーソン沈下作業においては、掘残し土砂による支持力の評価が重要となる。現行のケーソン初期沈下時の支持力は掘残し土砂の底面水平面を載荷幅とした、地盤の全般せん断破壊を基にした支持力式で計算されている¹⁾。この支持力の求め方に対して、a)掘残し土砂を剛体と仮定している、b)偏心・傾斜を考慮せず中心載荷としている、c)土砂セントル、ケーソン躯体による地盤の初期応力を無視している、d)3次元の効果を直接考慮していない等の課題が考えられる。

3. FEM解析による支持力

FEM解析の手順は図-2に示すように実際の施工過程をモデル化し、荷重載荷では、計算可能な最大荷重を支持力とした。今回検討のケーソンの諸元は大型ケーソンを想定して、ケーソン幅を $b_0=16\text{m}$ 、刃口幅を $w=2.0\text{m}$ 、刃口高さを $H=2.3\text{m}$ とした。地盤はモールクーロンの弾・完全塑性モデルとし、表-1に示すように地盤条件を設定した。地盤のポアソン比は全て0.3とした。

表-1 地盤条件

	c (kN/m ²)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	E (MPa)
掘り残し土	5.0	35.0	21.0	40.0
底面 地盤	5.0	15.0	15.0	1.0
		20.0	17.0	2.5
		25.0	19.0	5.0
		30.0	20.0	10.0
	10.0	15.0	15.0	1.0
		20.0	17.0	2.5
		25.0	19.0	5.0
		30.0	20.0	10.0
	15.0	15.0	15.0	1.0
		20.0	17.0	2.5
		25.0	19.0	5.0
		30.0	20.0	10.0

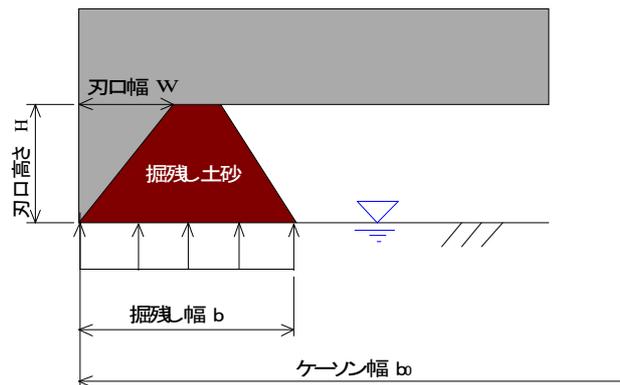


図-1 初期沈下時の掘削状況

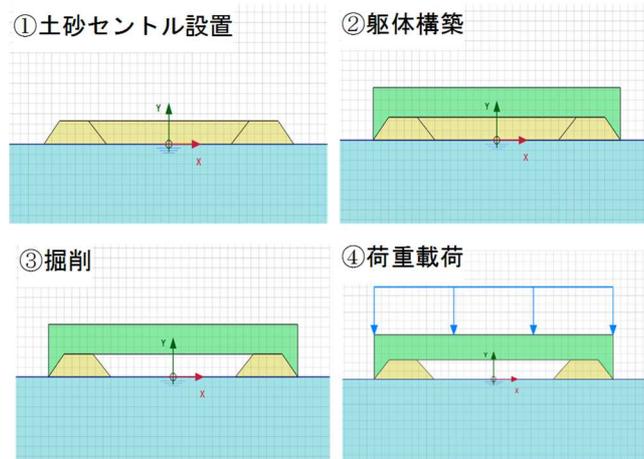
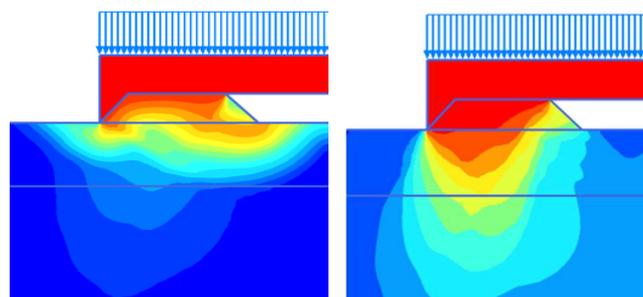


図-2 解析手順



a) $\phi=15^\circ$ b) $\phi=30^\circ$
図-3 変位分布($b=10\text{m}$, $c=5\text{kN/m}^2$)

キーワード ニューマチックケーソン, 支持力, FEM解析

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲 5-6-52 オリエンタル白石(株) TEL03-6220-8061

FEM 解析結果の例として、 $b=11\text{m}$, $c=5\text{kN/m}^2$ の条件で、 $\phi=15^\circ$ と $\phi=30^\circ$ の場合の最大荷重時の掘残し土砂付近の変位分布を図-3 に示す。 $\phi=15^\circ$ の場合、明確な土くさびは生じておらず、地盤は局部せん断破壊の様相を示している。 $\phi=30^\circ$ の場合、地盤は全般せん断破壊の様相を示している。

4. 解析結果による支持力式の補正

現行式の支持力、FEM 解析から求めた支持力をそれぞれ BCE , FEM とし、掘残し幅比 b/b_0 に対する FEM/BCE の関係を図-4 に示す。

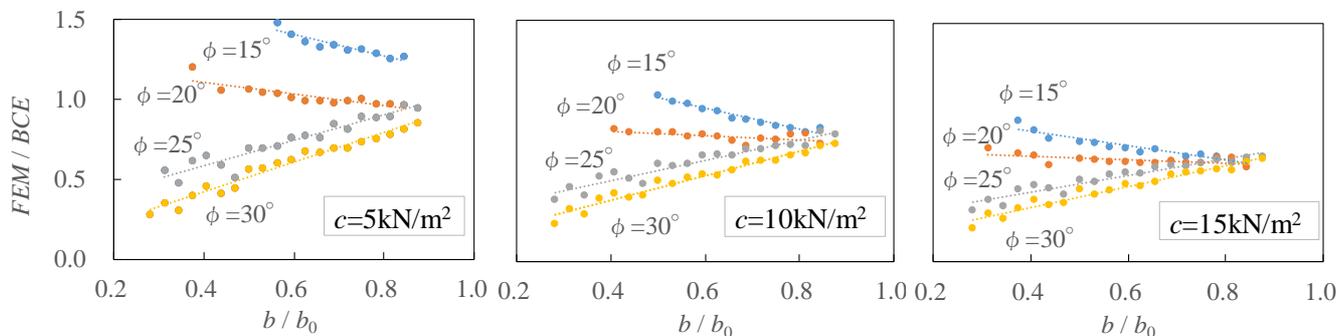


図-4 FEM/BCE と b/b_0 の関係

FEM が BCE と異なっているのは、図-3 に示したように ϕ が小さい場合、地盤は局部せん断破壊となり、 ϕ が大きい場合は、掘残し幅に比べて土くさび幅が小さいことが原因と考えられる。今回試算した範囲では、 FEM/BCE と b/b_0 はほぼ直線関係を示しており、 $FEM/BCE = \alpha b/b_0 + \beta$ に定式化できる。

さらに上記直線式の係数 α , β は地盤の強度定数 c , ϕ に関係があると考えられ、以下のように定式化した。

$$\alpha = A_1(\phi - 22)^{1/3} + B_1(\phi - 22)c + C_1c + D_1 \quad (1)$$

$$\beta = A_2\phi + B_2\phi c + C_2c + D_2 \quad (2)$$

式(1)の係数 A_1, B_1, C_1, D_1 および式(2)の係数 A_2, B_2, C_2, D_2 を最小2乗法で求め、式(1), (2)を図化したものを図-5 に示す。代表的な $c=5\text{kN/m}^2 \cdot \phi=15^\circ$, $c=10\text{kN/m}^2 \cdot \phi=20^\circ$, $c=15\text{kN/m}^2 \cdot \phi=30^\circ$ の3ケースで、式(1), (2)から求めた係数 α , β による直線と解析結果を図-6 に示す。両者は、概ね一致していることがわかる。

5. おわりに

今回の検討により、ケーソン初期沈下時の支持力が現行の支持力式よりも掘残し幅、地盤の強度定数に強く依存することが確認できた。今後、さらに3次元効果を考慮する等で解析数を増やし、実際の計測データと比較することで、支持力式の精度を高めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 日本圧気技術協会：大型・大深度地下構造物ケーソン設計マニュアル，2019.12

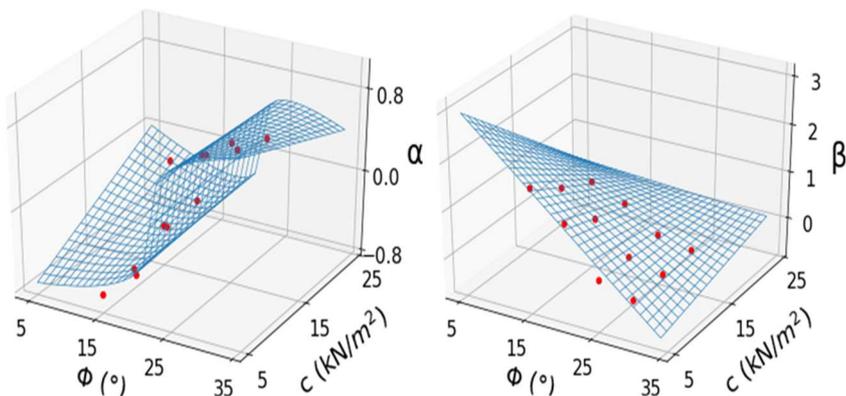


図-5 α , β と c , ϕ の関係

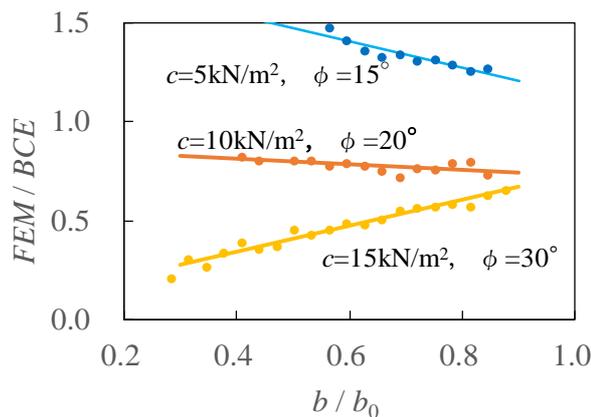


図-6 回帰式： FEM/BCE と b/b_0 の関係