

III-671 長フーチングを有するハイブリッドケーソンの静的FEM解析

NKK 正会員 納見昭広 NKK 正会員 長山秀昭 NKK 正会員 関口 宏二
運輸省港湾技研 正会員 清宮 理 NKK 正会員 田中征登

1. はじめに

軟弱地盤上の岸壁や護岸の設計では、地盤の円形すべりを抑止するために、サンドコンパクションパイル工法（SCP）や深層混合処理工法（DMM）による地盤改良が採用される場合が多い。全工費に占める地盤改良費の割合は大きいので、①ケーソン堤体幅を広くする、②ケーソンの設置位置を深くするなどにより地盤改良範囲を節減でき経済設計が可能となる場合がある。

ハイブリッドケーソン¹⁾（鋼-コンクリート合成構造ケーソン）の場合、堤体幅を広くする方法としては、函体幅を必要最小限に抑えてフーチングを長く張り出して函体の代替とするのが合理的である（図1参照）。このような構造物を設計する場合には、①フーチングの円形すべりに対する抑止効果や、②フーチングに発生する断面力を予め把握しておくことが必要となる。今回、長フーチングを有するケーソン周辺地盤の応力変形状態およびフーチングに発生する断面力に関して、静的FEM解析により検討したので、その一部をここに報告する。

2. 解析条件

(1) ケーソン岸壁の断面

図1に長フーチングを有するハイブリッドケーソン岸壁の断面図を、表1に解析に用いた土質定数を示す。堤体全体幅は19.0mで、函体幅8.0m、フーチングの長さは、前側3.0m、後側8.0mとした。函体幅およびフーチングの長さは、フーチングが無くても円形すべり安全率1.0以上でかつフーチング先端の円形すべり安全率1.25以上を確保するように決めた。

(2) 解析手法

解析は、弾・粘塑性理論を取り入れた二次元有限要素解析プログラム²⁾を用いて行った。ケーソン函体および地盤は平面ひずみ要素で、フーチングはビーム要素でモデル化し、フーチング底面と基礎捨石との間には、滑動に対する安定性を評価できるジョイント要素を配置した。解析は、次の4ステップで行った。①しゅんせつ直後（自重解析）、②ケーソン設置後、③埋立直後（上載荷重無し、残留水圧共無し）、④埋立後（上載荷重 3t/m^2 、残留水圧 1.5t/m^2 の計 $q=4.5\text{t/m}^2$ を考慮）。SCP改良地盤のヤング係数は文献3)を参考に決めた。

3. 解析結果

(1) 地盤の応力変形状態

埋立後（上載荷重 $q=4.5\text{t/m}^2$ ）の地盤変位を図2に、また地盤の塑性領域の状況を図3に示す。なお、図3には円形すべり解析⁴⁾から求まるすべり円を併せて示した。図2より、岸壁背後が沈下し岸壁前面側に回り込むような変形状態となって

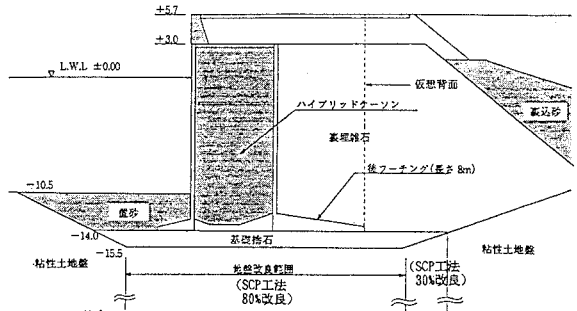


図1 ハイブリッドケーソン岸壁断面図

表1 土質定数

土質	ヤング係数 $E(\text{t/m}^2)$	ポアソン比 ν	単位重量 $\gamma(\text{t/m}^3)$	粘着力 $C(\text{t/m}^2)$	内部摩擦角 $\phi(\text{deg})$
裏込石	10,000	0.375	1.8 (1.0)	0.0	40
裏込砂	10,000	0.375	1.8 (1.0)	0.0	30
液状土	210C	0.450	1.8 (1.0)	1.0	0
SCP(80%)	3,584	0.400	1.9 (0.9)	0.0	30
粘性土地盤	210C	0.450	1.5 (0.5)	0.20+0.13Z	0

* () 内は水中重量

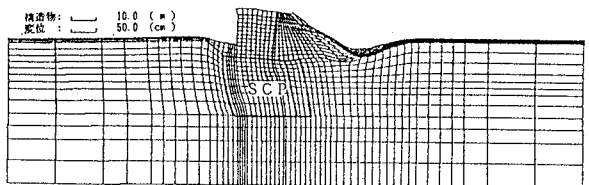


図2 埋立後の地盤変位

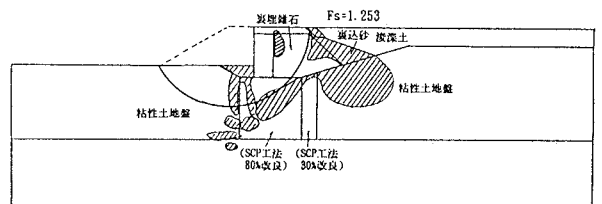


図3 埋立後の地盤塑性領域とすべり円

いる。また、図3より、フーチングを横切る塑性領域は見られないが、ケーソン直下のサンドコンパクションで改良した支持地盤で局部的に塑性破壊が生じている。これらの塑性領域は連続しておらずまた、円形すべり解析の安全率 F_s が1.253であることから地盤全体のすべり破壊につながるものではないと考えられる。

(2) フーチングに発生する断面力

ケーソン設置直後、埋立後のフーチングに発生する断面力（曲げモーメント、せん断力）を図4に示す。同図より、前フーチングは、埋立の進行とともに発生断面力は増加し、後フーチングは、ケーソン設置直後に断面力が大きいものの、埋立後は減少する傾向にあることが分かる。

ケーソン周辺地盤の応力状態分布の一例として、フーチング底面地盤反力およびフーチング上面土圧を図5に示す。同図より、埋立後の後フーチングの地盤反力と上面土圧はほぼ釣り合っており、これが、断面力減少の原因と考えられる。

(3) 仮想背面土圧分布

仮想背面土圧のうち水平土圧に関してクーロン主動土圧、静止土圧($K_0=1-\sin\phi$)と比較したのが図6である。同図より、水平土圧は主動土圧をやや上回っていることが分かる。次に、FEM解析の鉛直土圧と水平土圧の比($=\tan\delta$ に相当)を図7に示す。同図より、FEM解析では $\tan\delta=0.5$ 前後であり、通常的设计計算で用いられる $\tan\delta=0.27$ ($\delta=15^\circ$)より大きい。なお、図6のフーチングの仮想背面土圧を用いて剛体釣合いよりフーチング下部の反力分布を求めたところ、FEM解析による地盤反力分布と良く一致した(図5参照)。

4. まとめ

SCP地盤改良上に設置された長フーチングを有するハイブリッドケーソンの静的FEM解析を行った結果以下のことが分かった。

- ① 後フーチングを横切る地盤の塑性破壊領域は形成されない。
- ② 後フーチングはケーソン設置直後に最大断面力が発生し埋立とともに断面力が減少する傾向にある。
- ③ フーチングの底面反力・部材力は、仮想背面を仮定した提体の力の釣合計算である程度挙動を説明できる。

参考文献

- 1) (財)沿岸開発技術研究センター(1991):合成版式ケーソン設計マニュアル。
- 2) Sekiguchi, K. et al. (1992): Soils & Foundations, Vol. 32, No. 3, PP. 1-14.
- 3) 関口宏二, 南部俊彦(1993):第28回土質工学研究発表会発表予定。
- 4) 日本港湾協会(1989):港湾の施設の技術上の基準・同解説改訂版。

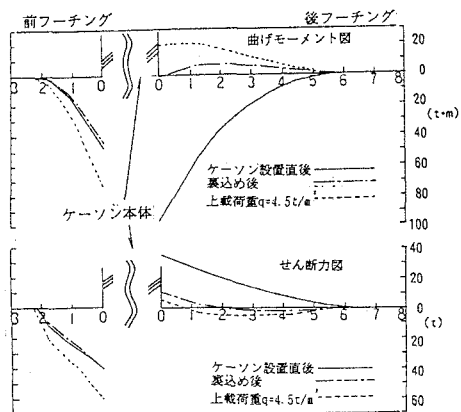


図4 ケーソンに発生する断面力

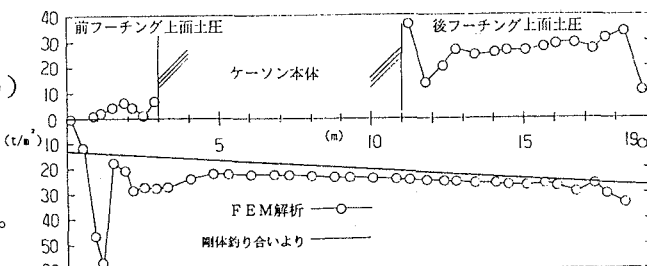


図5 フーチング底面地盤反力および上面土圧

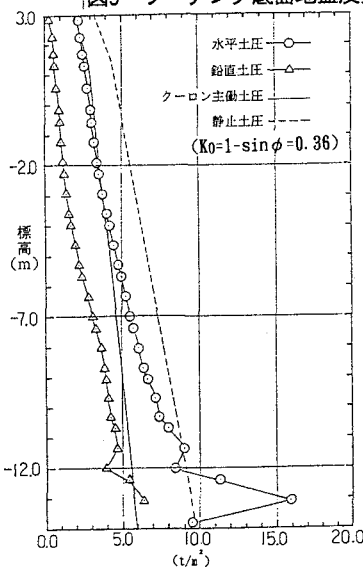


図6 仮想背面土圧

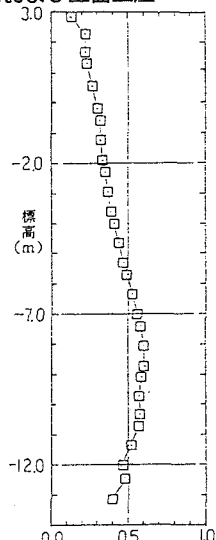


図7 鉛直土圧と水平土圧との比 (FEM解析)