

信頼性設計手法による浮き型 SCP 改良地盤の鉛直载荷に対する安定性の検討

（独法）港湾空港技術研究所      正会員    ○高橋   英紀  
同   上                                      正会員    北詰   昌樹  
同   上                                      正会員    中村   健

1. 目的

近年，経済的な設計・施工が望まれており，サンドコンパクションパイル（以下，SCP）工法においても，現行設計法で許容されている範囲内で改良率の低減や改良断面の縮小が図られている．このように経済的な地盤改良を施した地盤の挙動に関しては，ほとんど研究が進んでいないのが現状であるので，筆者らは経済的な地盤改良工法の検討を進めている<sup>1)</sup>．本稿では，着底型と浮き型 SCP 改良地盤の鉛直载荷に対する安定性に関して，FEM 解析を用いた信頼性設計手法によって検討した結果について述べる．

2. FEM 解析と信頼性設計手法の概要

信頼性設計を行う場合，従来から用いられている地盤安定に関するつりあい式を性能関数とする場合が多い．近年，FEM 解析精度や計算機の処理能力が向上し，FEM 解析を性能関数としてモンテカルロシミュレーションを行うことも可能となってきた．そこで本研究では，FEM 解析を信頼性設計に適用して，鉛直载荷に対する地盤の安定性を検討した．

鉛直载荷に対する安定性を照査するための指標には，FEM 解析に得られる地盤全体の安全率を用いた．本解析で安全率を算定する方法はせん断強度低減法としたが，この方法の信頼性は過去に確かめられている<sup>2)</sup>．

FEM 解析メッシュを図-1 に，計算に用いた土質定数を表-1 に示す．別途行った遠心模型実験<sup>2)</sup>を参考に計算断面と土質定数を決定している．図-1 の太枠内の要素は同じ土質定数とし，地盤の強度については，表-1 に示したものを平均値として括弧内の変動係数に従ってばらつきを持たせた．

信頼性設計手法による安定性照査方法は以下のとおりである．標準正規分布に従う乱数から表-1 に示した平均値と変動係数を用いて1組の土質定数を決定し，この土質定数に対して FEM 解析を行い鉛直载荷に対する安全率を求める．これを繰り返し行うことによって多数の安全率を求め，土質定数のばらつきを考慮した安全率の分布を算定した．本研究ではこの繰り返し回数を 500 回とした．また，安全率が正規分布に従うと仮定すると，分布の平均値を標準偏差で除して安全性指標 $\beta$ を求めることができる．

3. 鉛直载荷に対する安全率の出現頻度分布

(1) 異なる鉛直荷重に対する出現頻度分布の形状

繰り返し計算を行って求めた地盤の安全率の出現確率密度分布を図-2 に示す．図は，同じ土質定数を持った着

キーワード 信頼性設計法，FEM 解析，浮き型 SCP 改良地盤，鉛直载荷，安定性

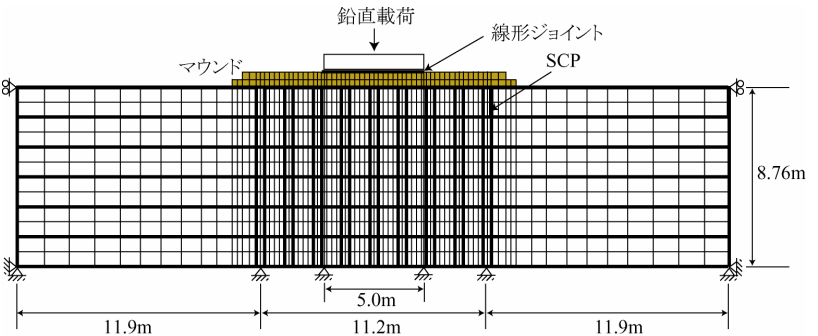


図-1 FEM 解析メッシュ

表-1 土質定数（括弧内は変動係数）

| (a) 粘土層                   |                            |                                |                                |                            |          |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------|
| G.L.<br>m                 | $E_u$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\nu_u$                        | $\gamma'$<br>kN/m <sup>3</sup> | $c_u$<br>kN/m <sup>2</sup> | $\phi_u$ |
| 0.0~-1.5                  | 430                        | 0.49                           | 6.1(0.03)                      | 1.6(0.1)                   | 0.0      |
| -1.5~-2.9                 | 1060                       |                                | 6.5(0.03)                      | 4.4(0.1)                   |          |
| -2.9~-4.4                 | 1700                       |                                | 6.8(0.03)                      | 7.3(0.1)                   |          |
| -4.4~-5.8                 | 2340                       |                                | 7.0(0.03)                      | 10.4(0.1)                  |          |
| -5.8~-7.3                 | 2970                       |                                | 7.2(0.03)                      | 13.5(0.1)                  |          |
| -7.3~-8.8                 | 3610                       |                                | 7.3(0.03)                      | 16.7(0.1)                  |          |
| (b) SCP                   |                            |                                |                                |                            |          |
| $E'$<br>MN/m <sup>2</sup> | $\nu'$                     | $\gamma'$<br>kN/m <sup>3</sup> | $c'$<br>kN/m <sup>2</sup>      | $\phi'$                    |          |
| 50                        | 0.30                       | 9.6(0.03)                      | 0.0                            | 37.2(0.034)                |          |
| (c) マウンド                  |                            |                                |                                |                            |          |
| $E'$<br>MN/m <sup>2</sup> | $\nu'$                     | $\gamma'$<br>kN/m <sup>3</sup> | $c'$<br>kN/m <sup>2</sup>      | $\phi'$                    |          |
| 34                        | 0.30                       | 9.4                            | 10.0                           | 37.2                       |          |

底型 SCP 改良地盤に対して、3 種類の鉛直荷重を加えた場合の安全率の出現分布である。この図から、鉛直荷重が  $40\sim 60 \text{ kN/m}^2$  と変化しても分散にはほとんど差がないことが確かめられた。同様に、他の鉛直荷重に対する安全率の分布形状は図-2 に示した分布形状とほぼ一致し、分布の平均値が異なるだけであると考えられる。また、表-1 に示した平均的な地盤強度を持つ地盤の安全率よりも安全率の分布の平均値が大きくなる傾向があった。

## (2) 着底型と浮き型 SCP 改良地盤での出現頻度分布の形状

着底型と浮き型 SCP 改良地盤における安全率の分布の違いを検討した。それぞれの地盤の安全率の出現確率密度分布を図-3 に示す。図は、計算断面における改良壁下部の粘土層を除いて同じ土質定数のばらつきを持った改良地盤での安全率の分布である。それぞれの FEM 解析では同じ鉛直荷重を加えているので、地盤全体の強度が小さい浮き型 SCP 改良地盤での安全率の平均値は、着底型のそれよりも小さくなっている。また、浮き型 SCP 改良地盤では、表-1 に示した平均的な地盤強度を持つ地盤の安全率よりも分布の平均値が若干小さくなる傾向があった。この傾向は着底型での傾向と異なっている。

着底型と浮き型の分布形状を比較してみると、着底型での標準偏差が 0.030 であるのに対して、浮き型での標準偏差は 0.076 と比較的大きかった。SCP 改良地盤ではせん断抵抗力における改良部分の分担比が大きい。このため、着底型では粘土層の一部の強度が小さくてもそれほど安全率に影響を与えないが、浮き型では下部に改良部分がないために粘土地盤の一部の強度低下が安全率に大きく影響を与えるためと考えられる。

## 4. 地盤の安全率と安全性指標の関係

表-1 に示した平均的な土質定数を持つ地盤の安全率に対して、モンテカルロシミュレーションによって求めた安全性指標をプロットすると、図-4 のようになる。図に示すように、浮き型 SCP 改良地盤での安全率に対する安全性指標の増分は、着底型のものと比べて約 0.6 倍であり、同じ安全率であっても浮き型での安全性指標はかなり小さいことがわかる。これは、図-3 に示したように、浮き型 SCP 改良地盤での安全率の分散が着底型のものよりも大きいためである。このように、浮き型 SCP 地盤改良工法を用いると、見かけ上安全率が低下していなくても安全性指標が低下する可能性が高いことがわかった。

## 5. まとめ

鉛直荷重を変化させても、地盤の安全率の分散はほとんど変化しなかった。また、浮き型 SCP 改良地盤での安全率の分散は着底型のものと比べて大きく、従来型の限界状態設計法で着底型と浮き型で同じ安全率になるように設計したとしても、浮き型での安全性指標が小さくなる可能性があることがわかった。

## 参考文献

- 1) 中村健, 高橋英紀, 北詰昌樹: 鉛直荷重の作用する浮き型 SCP 改良地盤の破壊特性に関する遠心模型実験, 第 40 回地盤工学研究発表会発表講演集 (投稿済)。
- 2) 小林正樹: 有限要素法による地盤の安定解析, 港湾技術研究所報告, Vol.23, No.1, pp.83-101, 1984。

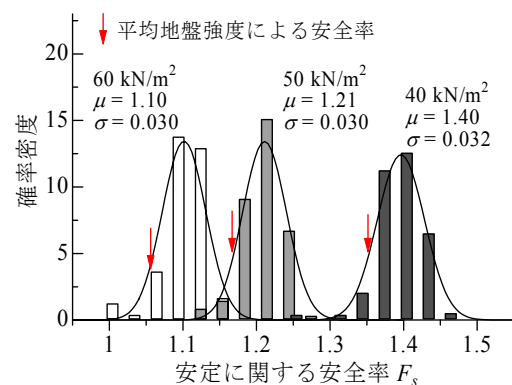


図-2 安全率の分布（異なる鉛直荷重）

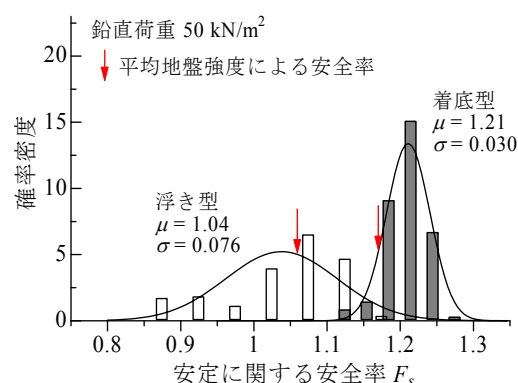


図-3 安全率の分布（着底型と浮き型）

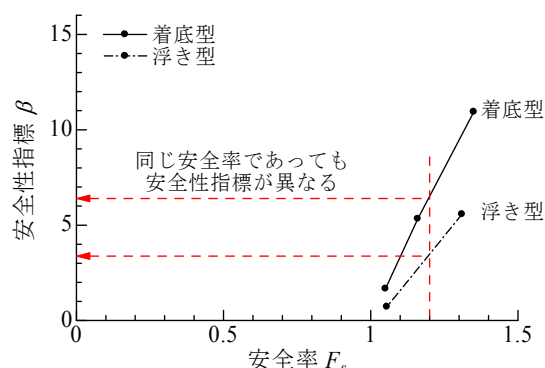


図-4 安全率と安全性指標の関係