

平均化手法に基づく改良地盤の変形解析

九州大学工学部 学○鷹崎 徹 正 落合英俊 正 安福規之
正 大嶺 聖 正 大野司郎

1. はじめに

軟弱な地盤上に構造物を建設する場合に用いられる地盤改良工法の中に、深層混合処理工法や、サンドコンパクションバイブル工法などがある。これらの工法によって改良された地盤は、いずれも杭状の改良体を有する地盤である。このような杭状改良地盤を厳密に3次元解析をする場合は、入力データの作成や計算時間が、大幅に増加してしまう。このため、改良地盤を2次元問題に置き換えて解析することが一般に行われている。

本文では、著者らが提案している、改良地盤を等価な地盤に置き換えるための平均化手法¹⁾を用いて、改良率と改良効果の関係を明らかにするとともに、水平変位を抑止するための盛土のり尻部のみを改良した場合の改良効果を考察する。

2. 平均化手法に基づく改良地盤のモデル化

杭状改良地盤を図-1に示すように、鉛直方向と水平方向で材料定数が異なる異方性材料と考える。このとき、改良土と未改良土に作用する応力分担を考慮して、改良地盤の弾性係数及びポアソン比を求めると、FEM解析に用いるための改良地盤の応力-ひずみ関係は次のように表される。

$$\{\bar{\epsilon}_i\} = [\bar{C}_{ij}] \{\bar{\sigma}_j\}$$

ここで、

$$[\bar{C}_{ij}] = \begin{bmatrix} \bar{C}_{11} & \bar{C}_{12} & \bar{C}_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \bar{C}_{12} & \bar{C}_{11} & \bar{C}_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \bar{C}_{13} & \bar{C}_{13} & \bar{C}_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bar{C}_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{C}_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{C}_{66} \end{bmatrix}$$

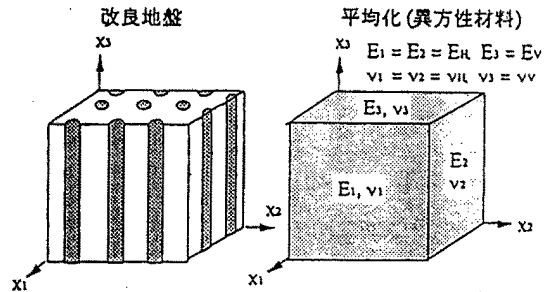


図-1 平均化手法による改良地盤のモデル化

$$\bar{C}_{11} = 1/\bar{E}_H, \bar{C}_{12} = -\bar{\nu}_H/\bar{E}_H, \bar{C}_{13} = -\bar{\nu}_V/\bar{E}_V$$

$$\bar{C}_{33} = 1/\bar{E}_V, \bar{C}_{44} = 1/\bar{G}, \bar{C}_{66} = 1/\bar{G}_H$$

$$\bar{E}_H = \frac{(b_1 - 1)f_s + 1}{f_s b_1/E_s + (1 - f_s)/E^*}$$

$$\bar{\nu}_H = \frac{f_s b_1 \nu_s/E_s + (1 - f_s)\nu^*/E^*}{f_s b_1/E_s + (1 - f_s)/E^*}$$

$$\bar{G} = \frac{(b_4 - 1)f_s + 1}{f_s b_4/G_s + (1 - f_s)/G^*}$$

$$\bar{E}_V = \frac{(b_3 - 1)f_s + 1}{f_s b_3/E_s + (1 - f_s)/E^*}$$

$$\bar{\nu}_V = \frac{f_s b_3 \nu_s/E_s + (1 - f_s)\nu^*/E^*}{f_s b_3/E_s + (1 - f_s)/E^*}$$

$$\bar{G}_H = \frac{(b_6 - 1)f_s + 1}{f_s b_6/G_s + (1 - f_s)/G^*}$$

$$b_1 = b_2 = (E_s/E^*)^{1/2}, \quad b_4 = b_5 = (G_s/G^*)^{1/2}, \quad b_6 = (G_s/G^*)^{1/2}$$

ここに、 f_s :改良率 σ :応力 ϵ :ひずみを表し、添字sと*は、改良土と未改良土を表す。

3. 解析結果と考察

2. で述べた平均化手法に基づき、改良地盤のFEM解析を行った。解析条件は、図-2に示す様に盛土直下全てを改良したもの(ケース1)と盛土のり尻部のみを改良したもの(ケース2)の2通りとした。改良土と未改良土の弾性係数の比、 E_s/E^* を、2, 5, 10の3パターンにおいて、改良率を、それぞれ、0, 20, 40, 60, 80%と変化させた。又、ポアソン比は $\nu_s = 0.3$, $\nu^* = 0.4$ とした。

図-3は、ケース1での改良地盤の盛土中心直下の鉛直変位 S を改良率0%の場合の鉛直変位 S_0 で除した値($=S/S_0$)と改良率 f_s の関係を示したものである。この図から、 E_s/E^* の値が大きいはど S/S_0 の減少の割合が大きくなり、鉛直変位に対してかなりの改良効果が表れていることがわかる。

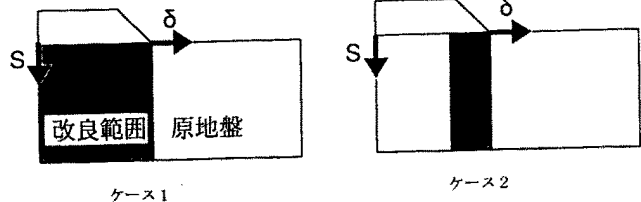


図-2 地盤改良ケースのモデル

又、 E_s/E^* が10程度では、改良率が約30%以上で S/S_0 の変化が小さくなるため、 E_s/E^* が大きい場合には、小さな改良率でも十分改良効果が期待できる。

一方、図-4は、のり尻部の水平変位 δ を、改良率0%の場合の水平変位 δ_0 で除した値($=\delta/\delta_0$)と f_s の関係を示したものである。この図から、水平変位に対しては鉛直変位と同様に E_s/E^* が大きくなるほど改良効果が認められる。したがって、盛土直下全体を改良する場合、水平、鉛直変位ともにその効果はかなり期待できる。また、 E_s/E^* 値が大きい場合、改良率が小さくても有効であることがわかる。

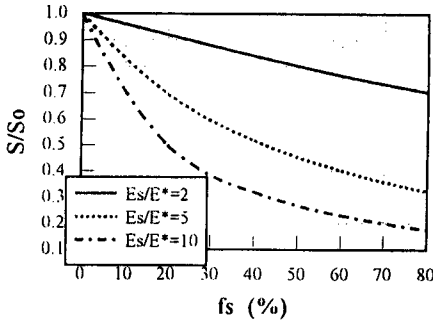


図-3 盛土中心直下の鉛直変位と改良率の関係(ケース1)

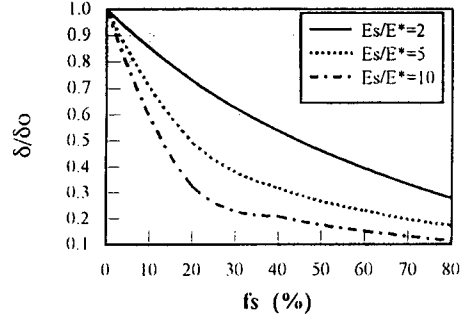


図-4 のり尻部の水平変位と改良率の関係(ケース1)

次に、ケース2における、 S/S_0 と f_s の関係を表したものが図-5であり、 δ/δ_0 と f_s の関係を示したのが図-6である。この2つの図から、鉛直変位に対しては、目立った効果は表れていないが、水平変位の抑止には十分効果があるといえる。ただ、ケース1と比較して、その値は小さく、 E_s/E^* 値の違いによる差異が小さい。

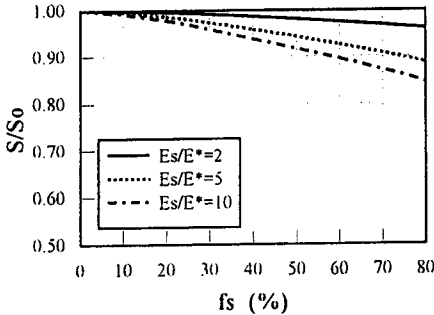


図-5 盛土中心直下の鉛直変位と改良率の関係(ケース2)

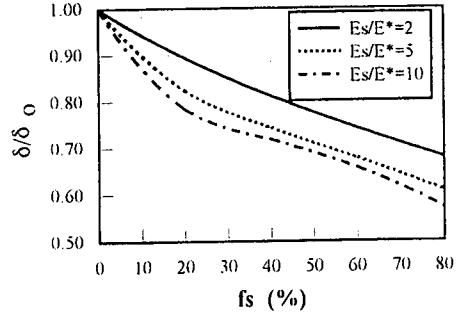


図-6 のり尻部の水平変位と改良率の関係(ケース2)

最後に、ケース2におけるのり尻鉛直断面図における水平変位と深度との関係を示したのが、図-7である。 $b_1 (=b_2)$ の値を $(E_s/E^*)^{1/6}$ と (E_s/E^*) と取ったときの両者の違いによる水平変位の差は大きく、前者の値が後者より上回っている。このことは、水平方向の応力分担割合の評価が、解析値を大きく左右することを示している。

4. まとめ

1) 盛土直下を全て改良したケースにおいて、改良土と未改良土の弾性係数の比が大きい場合、小さな改良率でも十分な改良効果が期待できる。 2) 盛土ののり尻部のみを改良した場合でも水平変位の抑止には、十分効果がある。 3) 平均化手法に基づく変形解析において、改良土と未改良土に作用する応力分担の評価が解析結果上大きな影響を及ぼす。

<参考文献>大嶺 聖他: 杭状改良地盤の弾性係数の評価とその適用, 平成7年度土木学会西部支部研究発表会, 1996, (投稿中)

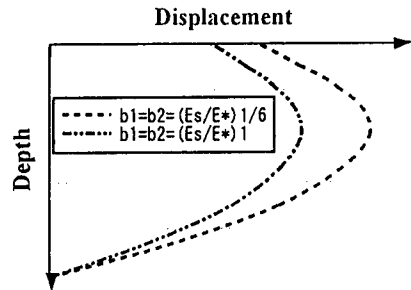


図-7 改良地盤の側面の変位形状
(改良率 $f_s=60\%$, $E_s/E^*=10$)