

砂の弾塑性構成式の締固め改良地盤への適用性に関する基礎的研究

京都大学大学院 フェロー会員 岡二三生
正会員 小高猛司
不動建設(株) 正会員 ○日置和昭

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、締固め改良地盤における耐震性評価手法の見直しに関する研究が熱心に行われており¹⁾、従来の設計（密度増加の効果のみを考慮）では考慮されていなかった静止土圧係数 K_0 の増加効果や、砂杭部分の効果を積極的に評価するための解析手法についても検討が行われている^{2)~3)}。

本研究では、岡らによる非線形移動硬化則に基づいた砂の弾塑性構成式^{4)~6)}の締固め改良地盤への適用性を確認するため、締固め改良前後に行った調査結果を踏まえた非排水三軸圧縮試験及び同構成式を用いた数値シミュレーションを実施し、締固め改良地盤における材料パラメータの設定方法について検討を行った。

2. 締固め砂杭工法による改良効果

従来、締固め砂杭工法の改良効果は標準貫入試験(N 値)により確認されてきた。しかし、当現場（佐原試験工事；千葉県佐原市郊外）においては、 RI 密度検層、孔内水平載荷試験（セリボーリングタイプ⁷⁾）を実施し、地盤の連続的な密度分布や K_0 の測定を行った⁷⁾。締固め改良前後における間隙比 e と平均有効応力 σ'_m の関係($G.L. - 10.5m$ 付近)を図-1に示す。同図より、締固めによる改良効果は、主として間隙比の減少（密度増加）及び平均有効応力の増加（ K_0 値が増加したためである）として捉えることができる。

3. 試料の特徴と試験条件

非排水三軸圧縮試験は、試験工事現場で採取した攪乱試料（乾燥試料）を用いて行った。試料の主な物性値を表-1に示し、等方圧縮特性を図-2に示す。豊浦砂のように粒子が堅固で細粒分を含まない砂は、平均有効応力の増加に伴う間隙比の減少は少なく、その圧縮性は無視できるものと考えられている。しかし、今回、試験に用いた試料は、細粒分含有率を比較的多く含むため、平均有効応力の増加に伴う間隙比の減少が顕著に認められた。

次に、試験条件を表-2に示す。なお、せん断速度は軸ひずみ $0.2\%/min$ とし、限界軸ひずみは 30% とした。

4. 砂の弾塑性構成式を用いた数値シミュレーション結果及び考察

非排水三軸圧縮試験結果及び岡らによる非線形移動硬化則に基づいた砂の弾塑性構成式を用いた数値シミュレーション結果を図-3～4に示す。岡らの報告⁶⁾では、間隙比の変化に応じて変相応力比 M_m^* を変化させることで、Castro の実験結果⁸⁾（試料は、圧縮性の小さい Banding 砂）と類似のシミュレーション結果が得られている。しかし、本研究では、①試料の圧縮性が大いことと、②間隙比の変化に伴う M_m^* の変化が小さかったことから、擬似過圧密比 OCR^* に着目して数値シミュレーションを実施した。数値シミュレーションに用いた材料パラメータ一覧を表-3に示す。 OCR^* 及び非線形移動硬化パラメータ (G_{max}^p , G_{min}^p , C_f) 以外のパラメータは全て試験結果を基に設定した値である。応力-ひずみ関係からは、非線形移動硬化パラメータについてさらなる検討が必要であることを示唆されるが、有

Keywords：砂の弾塑性構成式，締固め砂杭，間隙比

連絡先（〒110-0016 東京都台東区台東1丁目2番1号，TEL：03-3837-6034，FAX：03-3837-6158）

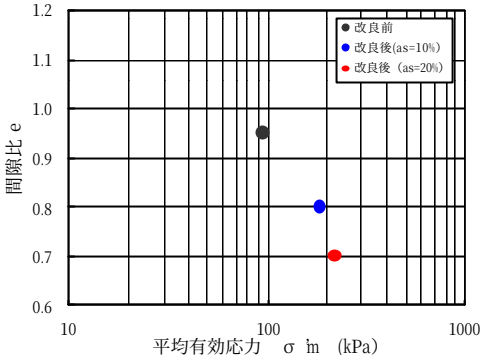


図-1 締固め砂杭工法による改良効果

表-1 試料の主な物性値	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	2.763
最大間隙比 e_{max}	1.361
最小間隙比 e_{min}	0.864
砂分含有率 (%)	86.1
シルト分含有率 (%)	10.1
粘土分含有率 (%)	3.8
50%粒径 D_{50} (mm)	0.2675
均等係数 U_c	8.06
分類名	細粒分混じり砂

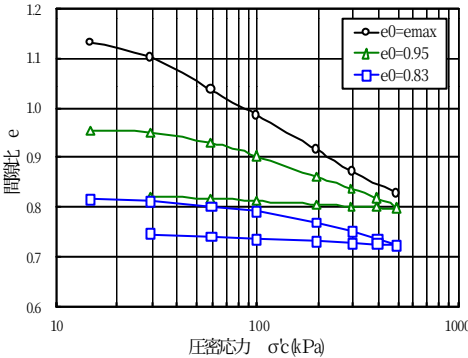


図-2 試料の等方圧縮特性

表-2 非排水三軸圧縮試験条件		
目標間隙比 e	圧密応力 (kPa)	備考
0.95	49, 96, 196	改良前
0.80	49, 186, 392	改良後($a_s=10\%$)

効応力経路については、試験結果と類似のシミュレーション結果が得られた。次に、 OCR^* と状態変数 $\psi^9)$ 及び状態指数 $I_s^{10)}$ との関係を図-5～6に示す。同図より、 OCR^* と ψ 及び I_s は良い相関関係にあることがわかる。岡らの報告⁶⁾においては、 I_s を用いて M_m^* に関連付けているが、 OCR^* についても ψ や I_s と関連付けることが可能であると考えられる。

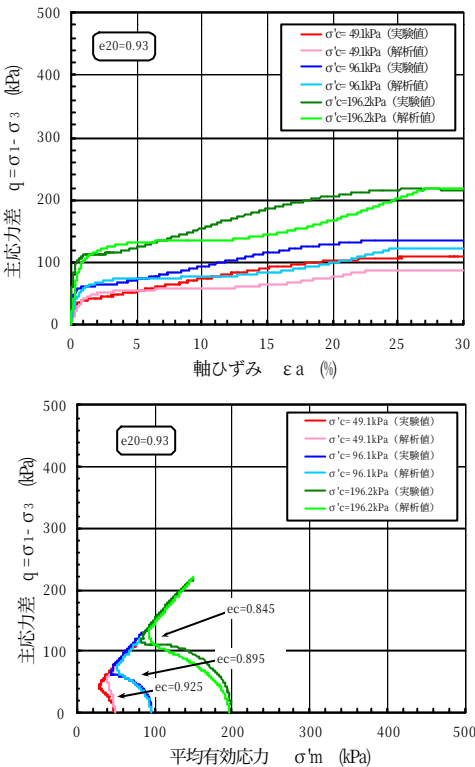


図-3 数値シミュレーション結果($e_{20}=0.93$)

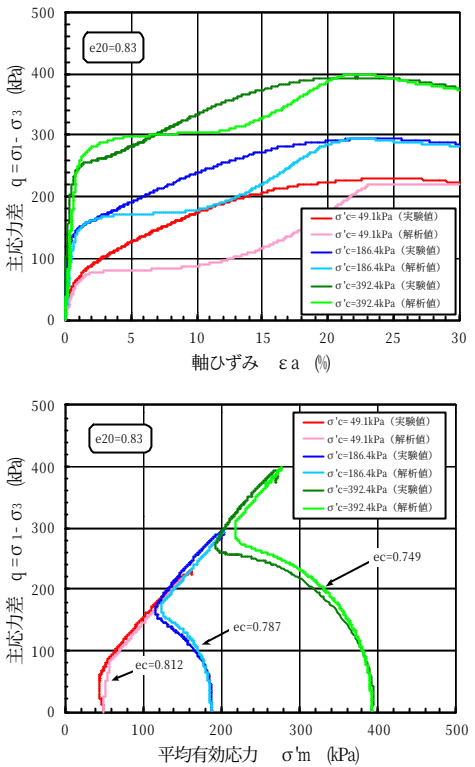


図-4 数値シミュレーション結果($e_{20}=0.83$)

表-3 材料パラメータ一覧

	改良前 ($e_0=0.93$)			改良後 ($\alpha=10\%$) ($e_0=0.83$)		
e	0.925	0.895	0.845	0.812	0.787	0.749
σ'_{m0} (kPa)	49.1	96.1	196.2	49.1	186.4	392.4
λ	0.0567	0.0567	0.0567	0.0359	0.0359	0.0359
κ	0.0091	0.0091	0.0091	0.0082	0.0082	0.0082
M_m^*	1.190	1.190	1.190	1.190	1.190	1.190
M_m^*	1.170	1.170	1.170	1.150	1.150	1.150
σ'_{mb} (kPa)	108.0	144.1	255.1	157.1	335.5	588.6
OCR^*	2.2	1.5	1.3	3.2	1.8	1.5
E (kPa)	16,000	26,500	38,000	25,500	41,500	50,000
G^p_{max}	150	150	150	250	250	250
G^p_{min}	10	10	10	10	10	10
C_r	40	40	40	80	80	80
ψ	-0.059	0.003	0.052	-0.172	-0.013	0.051
I_s	1.831	0.950	0.581	3.423	1.107	0.660

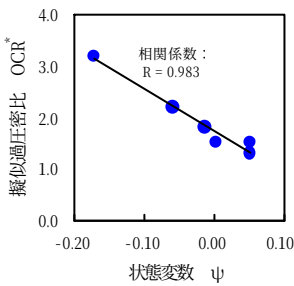


図-5 OCR^* と ψ の関係

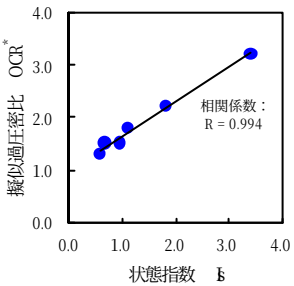


図-6 OCR^* と I_s の関係

5. おわりに

岡らの報告⁶⁾と本研究により、非線形移動硬化則に基づいた砂の弾塑性構成式に含まれるパラメータ (M_m^* 、あるいは OCR^*) を ψ や I_s と関連付けることで、締固めによる改良効果が表現できる可能性を見出すことができた。今後は、非排水繰返し三軸試験結果についても同様な数値シミュレーションを実施し、締固め改良地盤における材料パラメータの設定方法について、さらに詳細に検討を行う予定である。

【参考文献】

1)山本実：液状化対策工法の動向と課題－土質試験・調査の新しい視点から－，地質と調査，pp.9～16，1997
2)野津光夫ほか：SCPで改良された砂質地盤の地震時有効応力解析におけるモデル化，第35回地盤工学研究発表会，pp.2417～2418，2000
3)三輪滋ほか：SCP改良地盤の地震時挙動の評価におけるモデル化に関する問題点の整理，第35回地盤工学研究発表会，pp.2419～2420，2000
4)Okada, F., Yashima, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S.: Geotechnique Vol.49, No.5, 1999
5)岡二三生ほか：定常状態を考慮した砂の弾塑性構成式に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会，第III部門，2000
6)岡二三生ほか：間隙比の影響を考慮した砂の弾塑性構成式について，土木学会第56回年次学術講演会，第III部門，2001（投稿中）
7)山本実ほか：静的締固め砂杭工法の改良効果－佐原試験工事－，第32回地盤工学研究発表会，pp.2317～2318，1997
8)Castro, G.: Division of Engineering and Applied Physics, Harvard University, 1975
9)Been, K., Jefferies, M.G.: Geotechnique Vol.35, No.2, 1985
10)Ishihara, K.: Geotechnique Vol.43, No.3, 1993