

真空圧密による粘土の強度増加特性

信州大学大学院 学○滝 祐司

信州大学工学部 正 梅崎健夫

信州大学工学部 正 河村 隆

1. はじめに 軟弱地盤改良工法の一つである真空圧密工法は、改良区域の地盤内を真空ポンプにより減圧し、圧密を促進させる工法である。本文では、真空圧密工法の施工過程における地盤内の応力・変形状態を考慮した、3つの状態をモデル化して示し、それぞれを模擬した三軸圧縮試験の結果に基づいて、真空圧密を受ける粘土の強度増加特性について検討した。

2. 真空圧密工法における応力・変形状態のモデル化と試験概要

真空圧密工法¹⁾における地盤内の間隙水圧は、図-1に示すように、鉛直ドレーンの打設深度まで一様に減少する。地表面において達成できる最大の真空圧は -78.4 kN/m^2 程度であり、この場合、深度約8mまでの部分の間隙水圧は負圧（大気圧以下）となり、それ以深の部分では間隙水圧が正圧のままで低下する。そのため、間隙水圧の減少とともに地盤内の有効応力が増加する。その結果、図-2に示すように、地盤の沈下とともに改良区域の端部で中心方向に向かう水平変位が大きく生じ、改良区域近傍の地表面には顕著な開口クラックも生じる。このような変形挙動に基づいて、梅崎ら²⁾は地盤内の変形状態として、側方変形条件(Case(A))および側方拘束条件(Case(B))の2つの典型的な状態が存在することを実証し、その時の応力経路が図-3に示すように、それぞれ、 $O \rightarrow A$, $O \rightarrow B$ の経路となることを報告している。本文では両者の中間的な応力・変形状態である図-2中のCase(C)の状態を取り上げた。そのときの有効応力経路は図-3に示すように、 $O \rightarrow C$ の経路として近似される。本文において実施した三軸圧縮試験においては、 $p_0' = 135 \sim 145\text{ kN/m}^2$, $p_1' = 210 \sim 230\text{ kN/m}^2$ とした。背圧 $BP = 196\text{ kN/m}^2$ を載荷した供試体を p_0' まで K_0 圧密し、これを初期状態として、図-3に示す3つの応力経路で p_1' まで圧密し、その後、非排水せん断を実施した。試験方法の詳細は文献2)を参照されたい。

3. 試験結果および考察 試料には NSF(B)粘土 ($\rho_s = 2.726\text{ g/cm}^3$, $w_L = 73.9\%$, $I_p = 40.8$)を用いた。図-4に K_0 圧密から上記の3つの条件での圧密および非排水せん断過程までの有効応力経路を示す。 K_0 圧密過程では $K_0 = 0.60$ の K_0 線を辿る。また、破壊線は $M = 0.98$ であり、いずれも同一の破壊線に至る。

図-5に試験後含水比 w_f と非排水せん断強度 $C_u = q_{\max}/2$ の関係を示す。図中の2つの強度線は $K_0 \overline{CU}$ 試験(Case(B))および別途実施した $\overline{CU}$ 試験により求めたものである。両者の傾きは等しく、いずれも段階載荷圧密試験の結果と等しい。また、同一の w_f に対して、 K_0 圧密の場合が等方圧密の場合よりも C_u が大きいことが報告されている³⁾。そして、Case(A)とCase(C)の場合は2つの強度線の間に位置する。

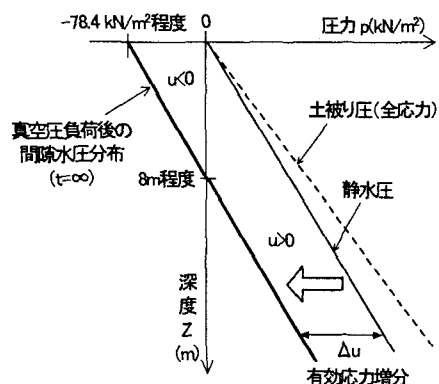


図-1 真空圧密工法による間隙水圧の変化

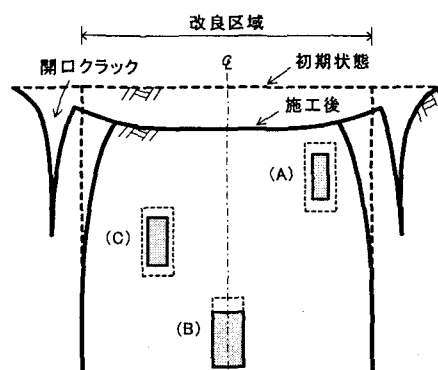


図-2 真空圧密工法による地盤の変形

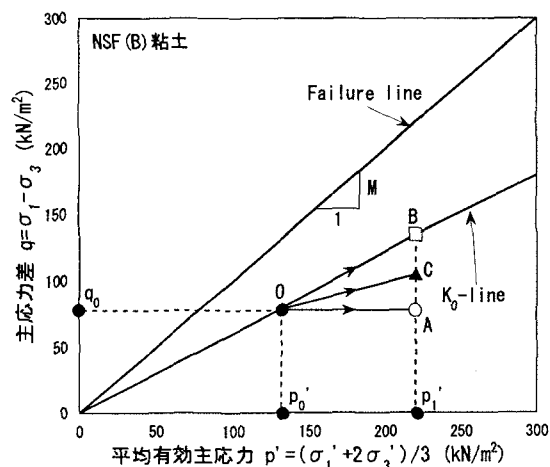


図-3 真空圧密工法を模擬した有効応力経路のモデル化

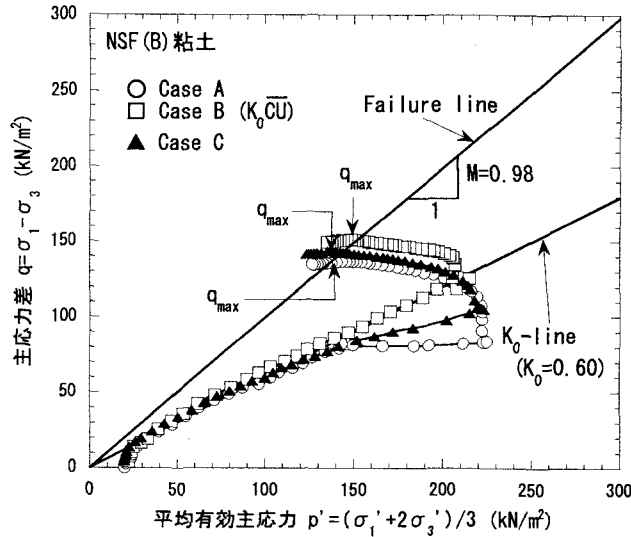


図-4 有効応力径路

図-6 にせん断前の平均有効主応力 p_1' と非排水せん断強度 C_u の関係を示す。 $K_0 \overline{CU}$ 試験(Case(B))および $\overline{CU}$ 試験における両者の関係はそれぞれ直線で表されるが、直線の傾きとして定義される強度増加率 C_u/p_1' は、等方応力状態では 0.25, K_0 応力状態では 0.36 と異なる。一方、Case(A)と Case(C)における C_u/p_1' は、 K_0 圧密と等方圧密の関係の間に位置し、それぞれ異なる。

図-7 にせん断前の鉛直有効応力 σ_{v1}' と非排水せん断強度 C_u の関係を示す。図-6 の場合と異なり、 C_u はすべての試験において唯一の直線で表される。強度増加率を C_u/σ_{v1}' と定義すれば、 $C_u/\sigma_{v1}'=0.25$ であり、これは $\overline{CU}$ 試験から得られる C_u/p の値と等しい。以上のことより、真空圧密工法においては、原位置において間隙水圧の減少量 Δu が測定できれば、その時の鉛直有効応力が $\sigma_{v1}'=\sigma_{v0}'+\Delta u$ として決定されるので、この値に $\overline{CU}$ 試験により得られる $C_u/\sigma_{v1}'(=C_u/p)$ を乗じることにより非排水せん断強度 C_u が評価できる。

4. まとめ ① w_f と C_u の関係において Case(A)と Case(C)の条件における両者の関係は $K_0 \overline{CU}$ 試験と $\overline{CU}$ 試験における強度線の中間に位置する。② C_u/p_1' は応力径路ごとに異なる。しかし、 C_u/σ_{v1}' は応力径路によらず等しい値となる。③原位置において間隙水圧の変化が測定できれば、鉛直有効応力が決定され、この値に $\overline{CU}$ 試験における C_u/p の値を乗じることにより非排水せん断強度が評価できる。

【参考文献】1)梅崎健夫, 塩野敏昭, 永山勝, 有田良治, 二ノ宮秀彦, 林宏親: 軟弱地盤改良における真空圧密工法の適用性, 地盤工学会創立 50 周年記念 第 44 回地盤工学シンポジウム ―地盤工学の現状と今後の展望―, pp.217-222, 1999, 2)梅崎健夫, 河村隆, 鈴木俊介, 飯塚貴久: 真空圧密工法の施工過程を考慮した粘土の圧密および強度増加特性, 施工過程を考慮した地盤の変形・破壊予測に関するシンポジウム, pp.93-100, 2002, 3)赤井浩一, 足立紀尚: 有効応力よりみた飽和粘土の一次元圧密と強度特性に関する研究, 土木学会論文集, No.113, pp.11-27, 1965.

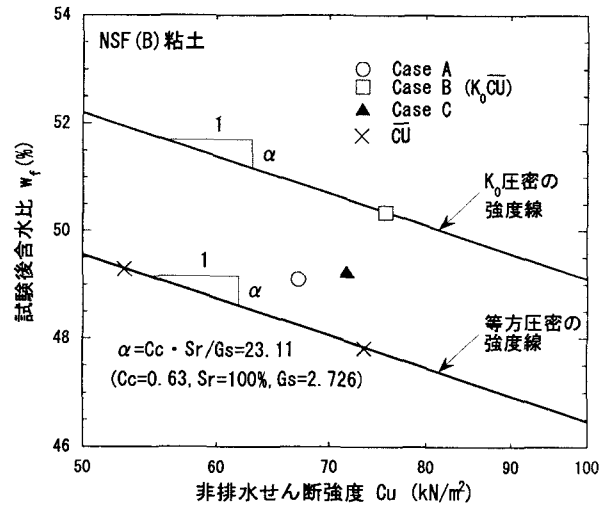


図-5 含水比と非排水せん断強度の関係

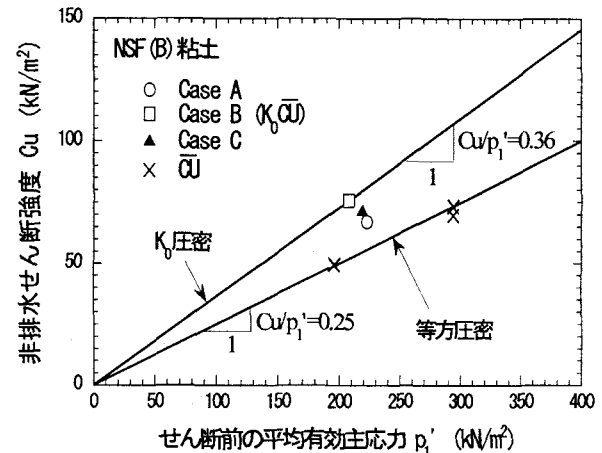


図-6 せん断前の平均有効主応力と非排水せん断強度の関係

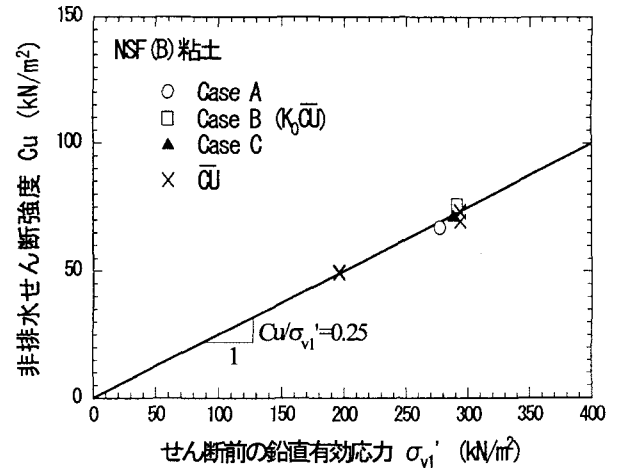


図-7 せん断前の鉛直有効応力と非排水せん断強度の関係