

浸透固化改良土の一軸圧縮過程における負圧発生と強度発現メカニズム

日本大学 工学部 学生会員 ○佐藤 海渡 非会員 斎藤 有沙
 五洋建設株式会社 正会員 秋本 哲平 正会員 上野 一彦
 日本大学 工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

近年発生した大地震では、液状化被害が多数報告されている。被害を軽減するために例えば、構造物直下地盤の液状化対策として浸透固化処理工法が用いられている。既存の研究では、浸透固化改良土は、一軸圧縮試験を実施すると、ダイレイタンスーにより負圧が発生し、それにより強度発現することが明らかになっている^{1), 2), 3)}。しかし、この負圧による強度増加のみで、強度発現メカニズムを説明することはできない。加えて、強度発現に及ぼす相対密度や薬液濃度の影響は不明である。そこで本研究では、改良土の内部に超小型の間隙水圧計を設置して一軸圧縮試験を行って、相対密度や薬液濃度の影響について検討し、強度発現メカニズムを考察した。

2. 実験方法

試験には東北珪砂6号を用いた。物理特性を表-1に示す。また、薬液のシリカ濃度は6%と10%とし、配合を表-2に示す。実験ケースは表-3に示すように、相対密度と薬液濃度の違いに着目した。供試体の目標相対密度は40%、60%、80%とした。供試体は、直径5cmの型枠に薬液を6cm程度の高さまで入れて試料を水中落下させた。本実験では小型の間隙水圧計（センシズ製、HWT-8VC-100KP-50-100-LP）を用いた。寸法は直径8mm、高さ15mmであり、測定可能範囲は-100～100kN/m²である。また、間隙水圧計は供試体中心位置に設置した。なお、供試体は3本ずつ作製し、養生期間は14日間とした。一軸圧縮試験は、JIS A 1216に準拠して速度1%/minで载荷した。

3. 実験結果

一軸圧縮試験結果を表-3に示す。相対密度と一軸圧縮強さの関係を図-1に示す。相対密度80%の平均一軸圧縮強さは相対密度40%のときと比べて、薬液濃度6%で1.2倍、薬液濃度10%では1.3倍の値が得られ、相対密度が大きくなると強度も大きくなる傾向を示した。

また、薬液濃度に着目すると10%の q_u は濃度6%の2~3倍となった。

$Dr=60\%$ における応力-ひずみ関係及び間隙水圧-圧縮ひずみ関係の例を図-2に示す（ケース1-2、ケース2-2）。応力-ひずみ関係はひずみが2%前後で応力が最大となった。間隙水圧は薬液濃度6%では、ひずみが0.5%付近まで若干の正圧、薬液濃度10%では、ひずみ1%付近までに薬液濃度6%のときよりも大きな正の間隙水圧が発生

表-1 試料の物理特性

$\rho_s(g/cm^3)$	e_{max}	e_{min}	$D_{50}(mm)$	U_c	U_c'
2.658	0.856	0.56	0.35	1.73	1.1

表-2 薬液配合表

薬液濃度 (%)	EO硬化剤 (g)	特殊シリカ (g)	EOリアクター (g)	反応剤 (g)	水 (g)	合計 (g)	pH
6	92.4	120.5	11.4	37.4	797.2	1,059	3.9
10	224.0	120.5	40.1	49.8	676.0	1,110	3.0

表-3 一軸圧縮試験結果

実験ケース	薬液濃度 (%)	相対密度 (%)	湿潤密度 $\rho_t(g/cm^3)$	乾燥密度 $P_d(g/cm^3)$	一軸圧縮強さ $q_u(kN/m^2)$	最小間隙水圧 $U_{min}(kN/m^2)$	$q_{u2}(kN/m^2)$	$q_{u1}(kN/m^2)$
1-1	6	40	1.99	1.53	94.78	-21.30	60.04	34.74
1-2		60	2.04	1.58	89.78	-25.47	71.79	17.99
1-3		80	2.05	1.64	109.46	-21.25	59.90	49.56
2-1	10	40	2.03	1.53	199.40	-12.65	35.66	163.79
2-2		60	2.05	1.58	200.13	-32.78	92.41	107.72
2-3		80	2.06	1.64	262.80	-32.22	90.81	171.98

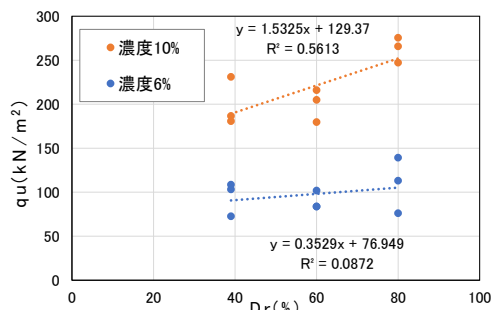
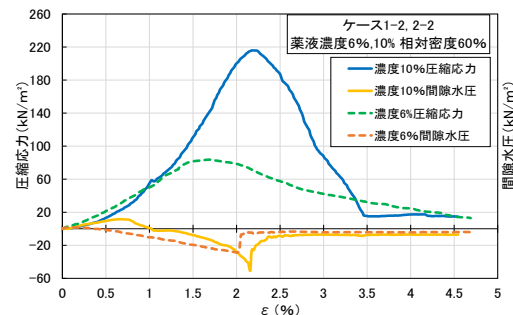
図-1 相対密度と q_u の関係

図-2 応力ひずみ関係、間隙水圧-ひずみ関係の例（相対密度 60%）

した。その後、間隙水圧の増分はマイナスに転じて負圧が発生し、応力の最大値付近で負圧の絶対値も最大となり、クラックの発生とともに負圧が減少して大気圧に戻る傾向を示した。この傾向は、すべての試料で確認することができた。なお負圧は、正のダイレイタンスによって発生し、大気圧と負圧の差が拘束圧として働くことで改良土の強度増加に寄与すると考えられる。

ここで正のダイレイタンスに依存して発現する強度を q_{u2} とする。参考文献³⁾より q_{u2} は図-3に示すように、負圧に依存して発現することが分かっている。そこで、本検討では、発生した負圧の絶対値の最大値(最大負圧)から q_{u2} を(1)、(2)式により算定した。ここで、 q_{u1} は負圧発生前の粘着力成分に依存する強度と考えられる。

$$c_0 = \Delta u \times \tan \phi \cdots (1)$$

$$q_{u2} = 2c_0 \tan(45 + \phi/2) \cdots (2)$$

なお、(1)式中の ϕ は内部摩擦角であり、ここでは東北珪砂6号のCD三軸圧縮試験により求めた $\phi = 35.8^\circ$ を用いることとする。

一方、 q_{u1} は次式で求める。

$$q_{u1} = q_u - q_{u2} \cdots (3)$$

実験結果に上式を適用して求めた q_{u1} と q_{u2} をまとめて表-3に示した。

q_{u1} と q_{u2} が一軸圧縮強さに占める割合を図-4に示す。薬液濃度6%では、 q_{u1} の割合が全体の1/3程度と小さいのに対し、薬液濃度10%では q_{u1} の割合が半分以上占める結果となった。これより、薬液濃度を6%から10%にすると、固化に伴う付着強度が卓越し、一軸圧縮強度も大きくなるという傾向を示した。

q_{u1} と q_{u2} の関係を図-5に示す。薬液濃度6%では q_{u2} 側にプロットされているのに対し、薬液濃度10%では q_{u1} 側に結果が偏っている。そのため、薬液濃度6%では、ダイレイタンスによる強度発現の割合が大きく、薬液濃度10%では付着強度による強度発現の割合が大きいといえる。

4. まとめ

浸透固化改良砂の一軸圧縮試験を行って供試体内部の間隙水圧を測定した結果、以下のことがわかった。

- 1) 浸透固化改良により得られる強度は、粘着力成分に依存する q_{u1} と負圧発生に伴うダイレイタンスに依存する q_{u2} の組合せで発現する。
- 2) 薬液濃度6%はダイレイタンスに依存する q_{u2} が卓越した。一方、薬液濃度10%では粘着力成分に依存する q_{u1} が卓越した。最大負圧の大きさは薬液濃度によらず同程度であった。
- 3) 薬液濃度の増加により粘着力に起因する付着強度が卓越することで、薬液濃度10%のほうが6%の2～3倍ほどの一軸圧縮強さが得られた。

5. 参考文献

- 1) 森麟, 田村昌仁:水ガラス系固結砂の強度に関する工学的特性, 土木学会論文集, 第370号, III-5, pp. 113~122, 1986.
- 2) 佐々木隆光, 末政直晃, 島田俊介:薬液注入工法における非アルカリ系注入材の主剤が固化特性に及ぼす影響, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 74, No. 1, p. 92-105, 2018.
- 3) 秋本哲平, 上野一彦, 仙頭紀明, 海津竣也, 木村海斗:薬液注入改良土の強度発現に及ぼす負圧の影響, 第56回地盤工学研究発表会, -13-3-5-07-2021.

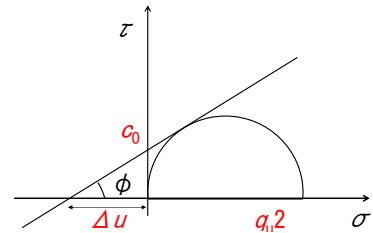


図-3 q_{u2} の推定

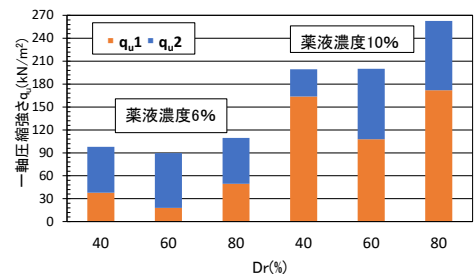


図-4 一軸圧強さに占める
 q_{u1} と q_{u2} の割合

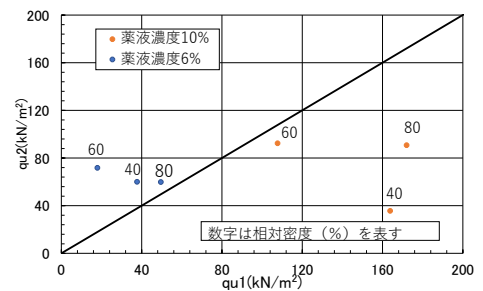


図-5 q_{u1} と q_{u2} の関係