

過剰間隙水圧とせん断剛性および体積ひずみの関係に関する考察

(独) 港湾空港技術研究所 正会員 菅野 高弘, 中澤 博志
 復建調査設計株式会社 正会員 ○藤井 照久, 山田 和弘, 木村 康隆

1. まえがき

締固め工法を実施した改良地盤では、隣接する非改良地盤との境界付近において非改良地盤の液状化に伴う過剰間隙水圧が加えられるため、改良地盤内にも過剰間隙水圧が伝播することが知られている¹⁾。この伝播されてくる過剰間隙水圧が、地震後の地盤の剛性や過剰間隙水圧の消散に伴う体積ひずみにどのような影響があるかを調べられた事例は少ない。

本研究では、石狩湾新港で採取した砂を用いて、強制的に間隙水圧を負荷させた試験を実施し、水圧が負荷される前後のせん断剛性と水圧消散に伴う体積ひずみを計測した。さらに、ほぼ同じ過剰間隙水圧を繰返しせん断によって発生された試験も行い、両試験の結果について比較検討した。

2. 試料および試験概要

(1) 試料：本研究で用いた試料は、平成19年に実施された人工液状化実験²⁾が行われた石狩湾新港で採取した砂である。砂の物理特性は、 $G_s=2.680$, $e_{max}=1.528$, $e_{min}=0.874$ であった。また、図-1には、粒径加積曲線を示している。

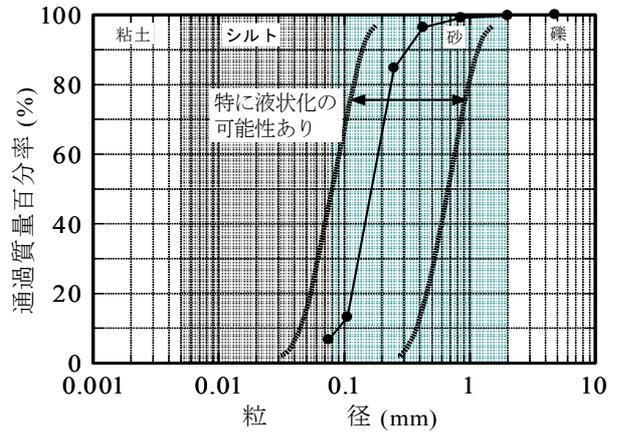


図-1 試験に用いた試料の粒径加積曲線

表-1 試験ケース

	過剰間隙水圧比 $Lu = \Delta u_{max} / \sigma'_c$			
	0.20	0.36	0.83	1.00
ケースA 非排水繰返しせん断	0.20	0.36	0.83	1.00
ケースB 背圧付加試験	0.20	0.40	0.80	0.95

圧密圧力： $\sigma'_c = 50kPa$

(2) 試験概要：試験装置は、キャップに受信用のベンダーエレメント (以下 BE)、ペDESTAL に送信用 BE を設けた繰返し三軸試験機である。供試体は、空中落下法によって、現地の相対密度 ($Dr \approx 73\%$) を目標に作成した。試験は、以下の手順で行った。

a) 所定の拘束圧 ($\sigma'_c = 50kPa$) まで等方圧密した後、BE 試験を実施し、間隙水圧を付加させる前のせん断弾性波速度 (V_s) を計測し、せん断剛性率 (G_{ini}) を求める。

b) 非排水状態の供試体に間隙水圧 (Δu_{max}) を負荷させる。ここで、間隙水圧を負荷させる方法として以下の2ケースを行った。

- ① ケースA：非排水状態のまま供試体に繰返しせん断を加え、任意の過剰間隙水圧を発生させる。
- ② ケースB：非排水状態のまま背圧を供試体に付加させ、任意の間隙水圧を発生させる。

なお、各ケースで負荷させた過剰間隙水圧比 $Lu (= \Delta u_{max} / \sigma'_c)$ は、表-1 に示すとおりである。

c) 間隙水圧を負荷させ後、非排水状態で再度 BE 試験を行い、過剰間隙水圧発生した状態のせん断剛性率 (G_{after}) を求める。

d) 排水バルブを開放し、過剰間隙水圧を消散させ排水量を測定する。

3. 試験結果

図-2 は過剰間隙水圧比 (Lu) とせん断剛性率 (G) の関係を示した結果である。図中、 $Lu=0$ 上にあるプロットは各条件で間隙水圧を負荷させる前の G の値 (G_{ini}) である。なお、 $Lu=0.95$ 以上になると BE 試験による正確なせ

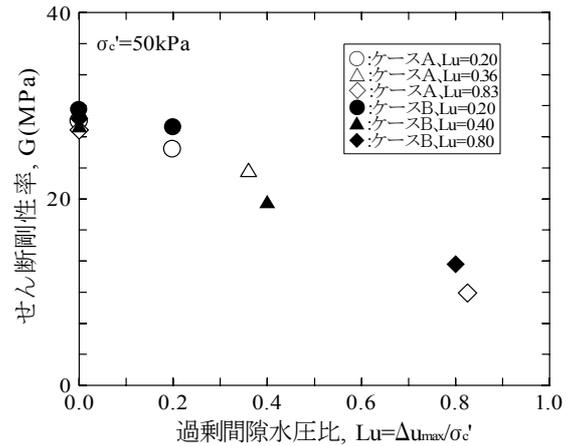


図-2 せん断剛性率と過剰間隙水圧比の関係

キーワード 締固め工法, 過剰間隙水圧比, せん断剛性率, 体積ひずみ, 最大せん断ひずみ

連絡先 〒101-0032 東京都千代田区岩本町3丁目8-15 復建調査設計株式会社 TEL 03-5835-2631

せん断弾性波速度の計測が困難となったため $Lu=0.95$ 以上の値は示していない。図-3 は、間隙水圧を負荷させた後のせん断剛性率(G_{after})を負荷させる前のせん断剛性率(G_{ini})で除した値と Lu の関係をまとめたものである。これらの図より、 Lu が増加するに伴いせん断剛性率は、徐々に低下し、ゼロに近づいていく。また、その傾向はケースAとケースBとの間にほとんど差異はないことがわかる。これは、砂地盤の剛性は間隙比が同一の場合、間隙水圧の上昇方法に関係なく、平均有効主応力のみに依存しているものと推察される。

図-4 は、間隙水圧消散後の体積ひずみと Lu の関係を示したものである。 Lu が 0.4 付近まではケースAとBはほとんど同じ体積ひずみを示しているが、 Lu が 0.8 を越えた付近からケースAの体積ひずみが急激に増える結果となっている。一方、ケースBは Lu が 0.95 以上となってもほとんど体積ひずみは大きくならない。このことから、体積ひずみは過剰間隙水圧と一義的な関係はないものといえる。

図-5 は、体積ひずみの変化が大きく表れたケースAのみについて繰返しせん断中に発生した最大せん断ひずみと体積ひずみの関係を示したものである。図中に示している実線と破線は石原らが行った結果³⁾である。これらの結果より体積ひずみは石原らの結果と同様に、最大せん断ひずみとの間に密接な関係があること、つまり非排水状態で土粒子の移動がなければほとんど体積ひずみは発生しないことが再確認された。

4. まとめ

- 1) 過剰間隙水圧の上昇方法に関係なく、過剰間隙水圧比とせん断剛性率は一義的な関係にある。
- 2) 過剰間隙水圧と体積ひずみの間には、一義的な関係はない。

以上のことから、締固め改良された地盤が非改良地盤からの過剰間隙水圧の伝播により間隙水圧が上昇した場合には、平均有効主応力との関係が密接な地盤剛性は影響を受けるものの、伝播してきた間隙水圧の消散に伴う変形は微小であることが推察される。

参考文献

- 1) 井合進・小泉勝彦・倉田栄一：液状化対策としての地盤の締固め範囲に関する基礎的研究, 港湾技研資料 No.590, pp.1-66, 1987.
- 2) 中澤博志・菅野高弘：空港施設の液状化挙動に関する実物大実験概要, 第 43 回地盤工学研究発表会, pp.1827-1828, 2008.
- 3) Ishihara, K. and Yoshimine, M.: Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquake, Soils and Foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188, 1992.

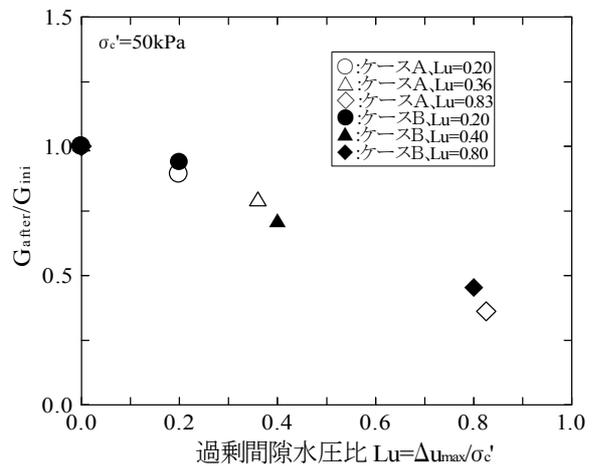


図-3 G_{after}/G_{ini} と過剰間隙対圧比の関係

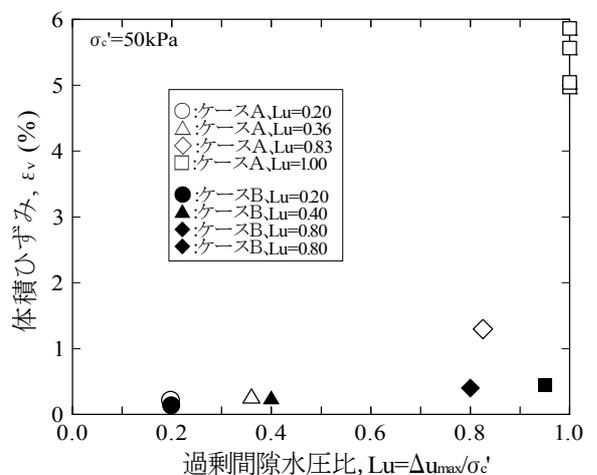


図-4 体積ひずみと過剰間隙対圧比の関係

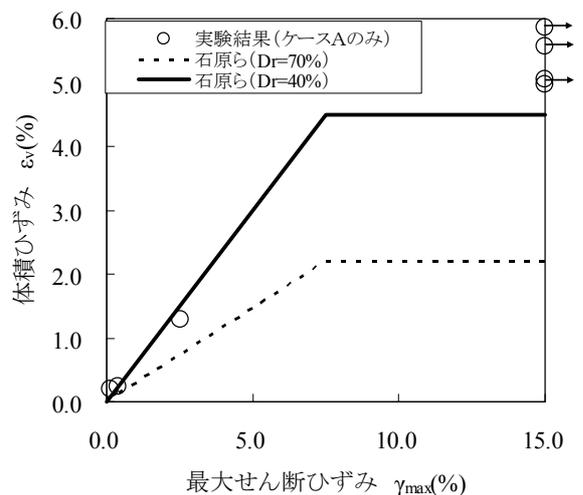


図-5 体積ひずみと最大せん断ひずみの関係