

(94) 動的繰返しせん断による砂質土の間隙水圧上昇過程 (その2)

応用地質株式会社○今野 政志

横田 耕一郎

古田 一郎

1. まえがき

基礎および地盤の地震時安定問題を取扱う場合に、土の動的せん断時の過剰間隙水圧上昇過程を知ることは大切なことである。特に砂質土の場合には、終局的には液状化に至り、また、液状化に至らない迄も有効応力の減少につながるため、構造物や地盤の地震時安定性に重大な影響を及ぼすことが考えられる。

筆者等は、これまでも振動三軸試験機を用いた液状化試験結果から、液状化に至るまでの過剰間隙水圧上昇過程を整理し、その時間経過について各種の関数表現を検討し、実用的な観点から簡単な関数形を提案している。

本報告は、その後に得られた液状化試験データを用いて、提案した関数形を検証するとともに、間隙水圧上昇曲線の形状と土質定数等との関係を調べ、間隙水圧上昇過程を簡易評価するための基礎的な検討を行ったものである。

2. 試料および実験条件

表-1に検討に用いた試料の概要を示す。Site A~Dの試料は、深度16m以浅の沖積砂層からツイストサンプラーによって採取した不攪乱試料である。また、豊浦砂(標準砂)と宮城砂は攪乱試料であり、特に宮城砂は、1978年宮城県沖地震の際に液状化して実際に噴出した砂である。

試験は、通常の軸方向加振型の振動三軸試験機を使用して、応力制御により0.5Hzの正弦波で行った。供試体寸法は、不攪乱、攪乱試料ともに直径 ϕ 5cm、高さ h 10cmである。また、有効拘束圧 σ'_{v0} は、不攪乱試料については、現地の有効上載

表-1 検討に用いた試料

圧 σ'_{v0} を、攪乱試料については、一律に 1.0 kgf/cm^2 とした。

3 間隙水圧上昇過程

液状化試験結果から、各試料の液状化に至るまでの間隙水圧上昇過程を調べた。試験結果の基本的整理方法としては、 $r_u(\Delta u/\sigma'_{v0}) \sim r_N(N/N_0)$ で整理し、各試料の間隙水圧上昇過程の違いについては、

この $r_u \sim r_N$ 曲線の形状で調べる

試料名		深 度 (m)	有効拘束圧 (kgf/cm^2)	R_L	γ_d (gf/cm^3)	F_c (%)
不 攪 乱	Site A	3.00 - 13.00	0.50- 0.78	0.243- 0.598	0.975- 1.650	4.5- 42.5
	Site B	3.00 - 10.00	0.50- 1.50	0.182- 0.296	1.394- 1.559	2.5- 7.0
	Site C	3.00 - 4.00	0.50	0.264- 0.502	1.069- 1.526	23.0- 26.5
	Site D	3.00 - 16.00	0.50- 1.51	0.210- 0.470	1.28 - 1.62	4.0- 17.0
攪	豊浦砂	—	1.00	0.141- 0.178	1.40 - 1.53	0
乱	宮城砂	—	1.00	0.156- 0.205	1.38 - 1.50	2.0

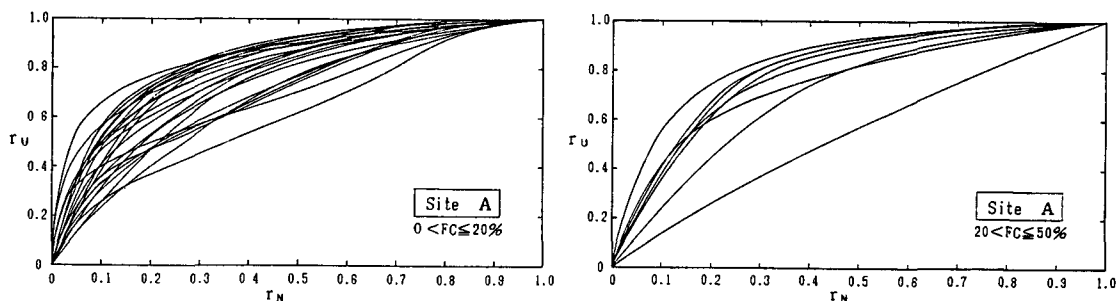
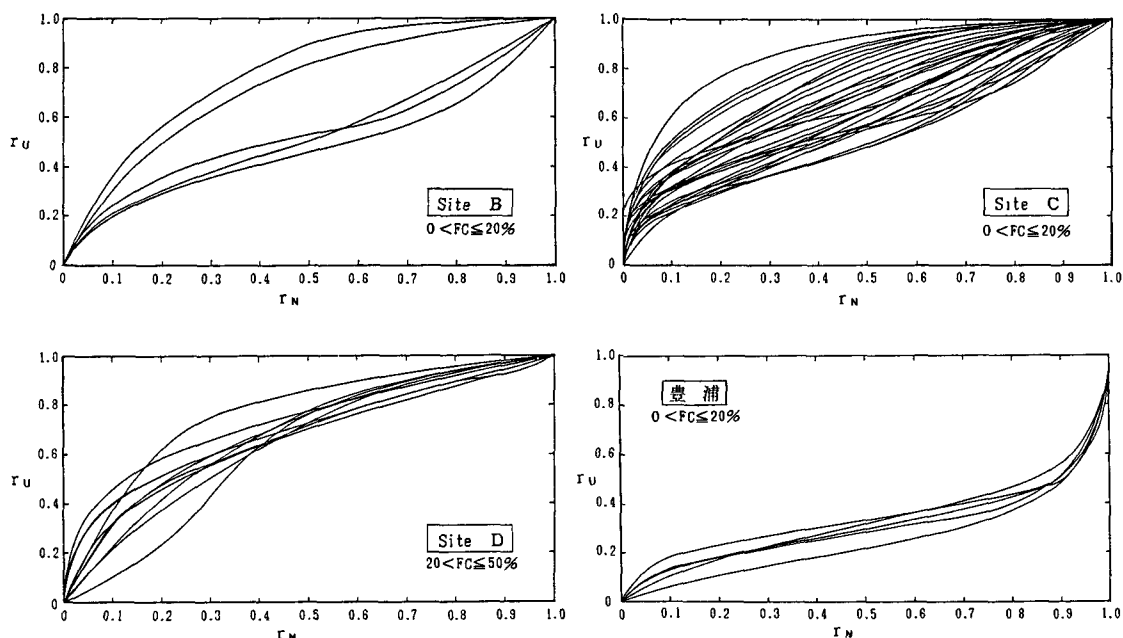


図-1 (その1) $r_u \sim r_N$ の関係



ことにした。ここで、 Δu : ある繰返し回数までの蓄積過剰間隙水圧、 N : 繰返し回数、 N_0 : 初期液化化に至る繰返し回数、である。

図-1に各試料毎の $r_u \sim r_N$ の関係を示した。なお、Site Aについては、粒度分類により完全な砂と分類される $FC \leq 20\%$ を基準に2つに分けて示している。図のように、 $r_u \sim r_N$ 曲線は、各試料、各供試体毎にさまざまな形状を示しているが、次のようなことが言える。

- ・不攪乱試料の場合には、いずれのSiteについてもかなり幅を持った曲線群となっている。
- ・細粒分含有率 FC が多い($20 < FC \leq 50\%$)、少ない($0 < FC \leq 20\%$)に関係なく曲線の形状は類似している。
- ・攪乱試料の場合には、不攪乱試料に比べてその曲線群の幅は小さくまとまっている。
- ・不攪乱試料と攪乱試料では、曲線の形状が著しく異なっている。すなわち、不攪乱試料の場合は、上に凸型の曲線となるのに対して、攪乱試料の場合には、下に凸型の曲線を示している。なお、ここで取扱った攪乱試料の密度は、緩～中詰めのものであり、密詰めの場合には、不攪乱試料に類似した曲線形状を示すことがこれまでの結果で得られている。

以上のことがらは、筆者等がこれまで報告してきた傾向と基本的に同じである。

4. $r_u \sim r_N$ の関数形

筆者等は、seedが提案した関数形 $r_N = ((1 - \cos \pi \cdot r_u) / 2)^{\alpha}$ が試験結果で得られる $r_u \sim r_N$ の関係を必ずしも適切に表現しきれないことから、種々の関数形の検討を行い、その中から、 $r_u \sim r_N$ の関係を表わしうる関数形として2つの関数形を提案してきた。これらの関数形の適用性について、今回のデータをもとに検討を行った結果、攪乱および不攪乱試料のいずれの $r_u \sim r_N$ の関係も、次式の関数形1つで適切に表現できることがわかった。

$$r_N = 1 - \left(\frac{1 + \cos \pi \cdot r_u}{2} \right)^{\alpha} \quad \dots \dots (1)$$

図-1 (その2) $r_u \sim r_N$ の関係

ここで、(1)式の α をパラメータとして $ru \sim rN$ の曲線群を示すと図-2のようになる。

5. 関数の係数と土質定数等との関係

まず、各試料の各供試体毎に(1)式の係数 α を求めた。

(1)式において

$$ru' = (1 + \cos \alpha \cdot ru) / 2 \dots \dots (2)$$

$$rN' = 1 - rN \dots \dots (3)$$

とおけば、 $ru' \sim rN'$ の関係は、両対数で表示すれば当然のことながら直線となる。図-3は、その1例としてSite Aの4供試体分の結果を示したものである。したがって、このようにして得られる $ru' \sim rN'$ 関係の直線の傾きが(1)式の係数 α となる。

このようにして、各試料の全供試体の α を求め、この α と土質定数等との関係を調べてみた。

図-4は、 α と相対密度の関係を示した。相対密度は、実測されているものについてはその値を用い、実測はされていないが、 N 値、 $\sigma v'$ が得られているものについては、便宜的にMeyerhofの相対密度の推定式 $Dr^* = 21 \sqrt{\frac{N}{0.7 + \sigma v'}}$ から求め用いた。図のように、相対密度が大きくなるにしたがって α は順次小さくなる傾向が見られる。

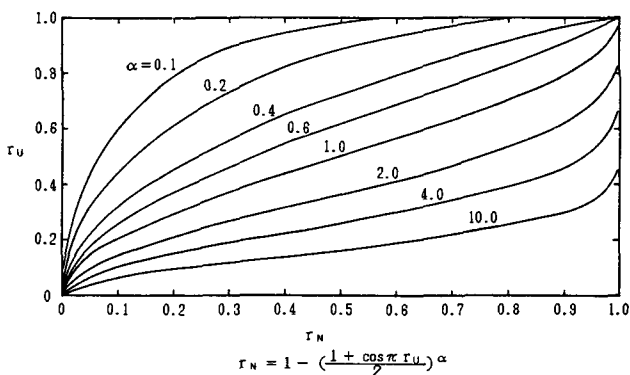


図-2 提案した関数による $ru \sim rN$ の関係

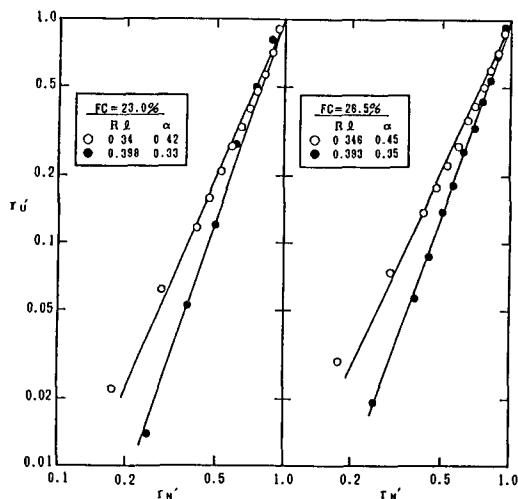


図-3 $ru' \sim rN'$ 関係の例 (Site A)

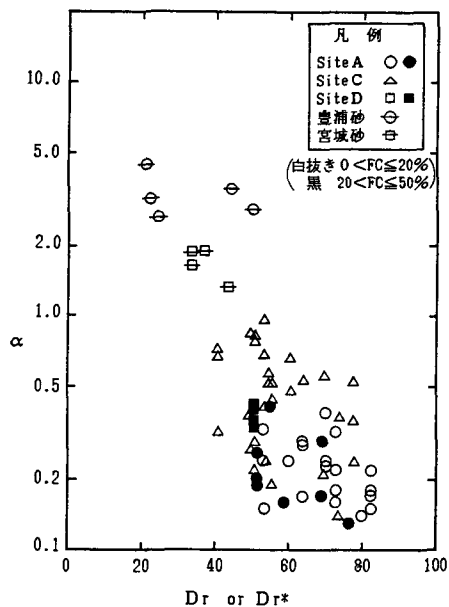


図-4 $\alpha \sim Dr \text{ or } Dr^*$ の関係

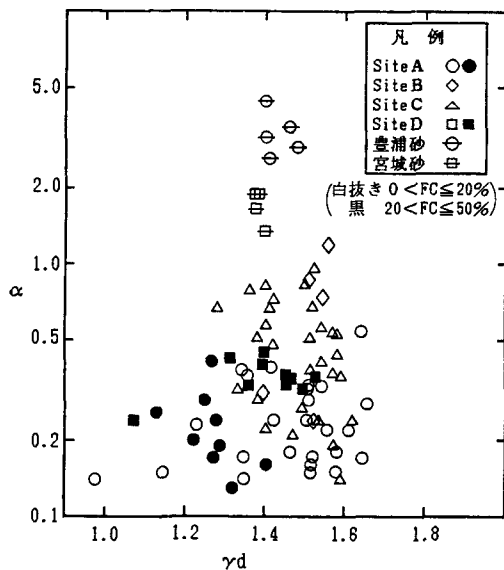


図-5 $\alpha \sim \gamma_d$ の関係

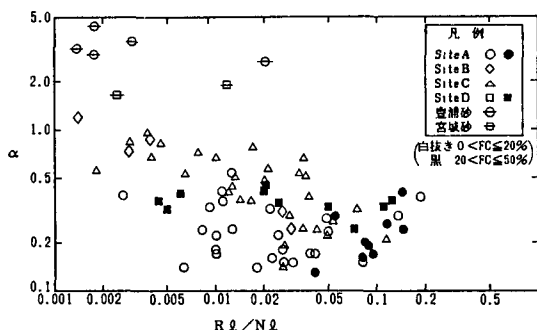


図-6 $\alpha \sim R\ell/N\ell$ の関係

図-5は、 α と乾燥密度 γ_d の関係を示した。各試料毎に見ても両者には明瞭な相関は見られない。

次に、図-6は、 α と $R\ell/N\ell$ の関係を示している。これは、同じ $R\ell$ でも試料の特性によって得られる $N\ell$ は異なるため、 $R\ell/N\ell$ をパラメータに α との関係を調べたものである。結果的には、全体に右下がりの傾向が見られるものの明瞭な相関は示していない。

また、図-7は、 α と $N\ell$ の関係である。右上がりの傾向があるが明瞭な相関は見られない。

一方、図-8は、 α と応力比 $R\ell$ の関係を示したものである。上述してきた種々の関係に比べ比較的良好な相関が見られ、 $R\ell$ が大きくなるにしたがって α が順次小さくなる傾向が明瞭に見られる。

以上、 α と土質指数等との関係を調べたが、 α は $R\ell$ と最も良い相関を示すことがわかった。 α と $R\ell$ の関係を回帰式で表わすと次のようになる。

$$0 < FC \leq 20\%$$

$$\log \alpha = -2.363 \log R\ell - 1.624 \quad \dots \dots (4)$$

$$20 < FC \leq 50\%$$

$$\log \alpha = -0.888 \log R\ell - 0.879 \quad \dots \dots (5)$$

6. あとがき

一定応力振巾による完全非排水せん断下での砂の過剰間隙水圧上昇過程は、その試料に付加される応力比(τ/σ_v')を知ることにより、(4)、(5)式を用いて予測することがほぼ可能となった。ただし、検討に用いた試料は、攪乱および正規圧密の不攪乱沖積砂であるため、洪積砂あるいは過圧密状態にある砂に対しては適用できない。今後、これらの砂での過剰間隙水圧上昇過程の予測方法の検討を行うとともに、予測結果の適用面についても検討を加えていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 塚元、木呂子、今井「動的繰返しせん断による間隙水圧の上昇」土木学会第32回年次学術講演会
- 2) 今井、横田「動的繰返しせん断による砂質土の間隙水圧上昇過程」第5回地震工学シンポジウム

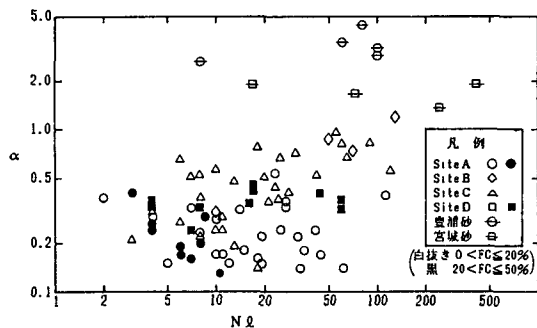


図-7 $\alpha \sim N\ell$ の関係

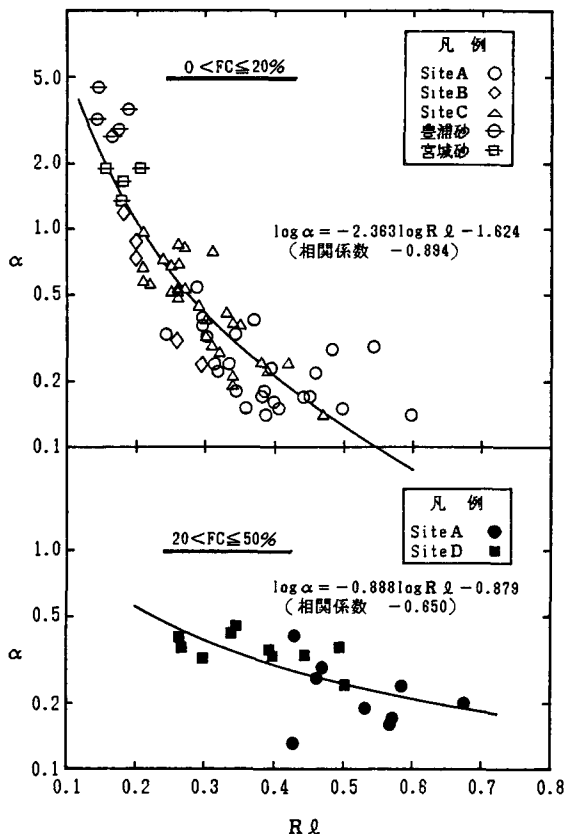


図-8 $\alpha \sim R\ell$ の関係