

III-218

液状化強度曲線のX-Yプロットに見られる砂の変形特性の応力依存性

大成建設(株) 正会員 五十嵐 俊一

1. はじめに

土の液状化現象には、繰返しせん断力による土の塑性変形特性、ダイレタンシー及び間隙水の排水条件等の土の性質が複雑に関わっていると考えられるが¹⁾、液状化強度曲線の形状は全体としてこれらの性質を表現していると考えられる。これを、定量的に捉えるために、試験データ(N,R)に変数変換を施し、これをX-Y平面にプロットすることで新しい係数を定義することが提案された²⁾。ゆる詰めから中密な砂については、非排水せん断試験結果は、X-Y平面上で直線になり、この傾きと切片から限界転位角と正規化した液状化エネルギーとよばれるパラメータが求められることが一斉試験のデータによって確かめられた³⁾。密な砂については、X-Yプロットは直線にならない。ここでは、X-Yプロットの意味と砂の塑性変形特性について考察する。

2 X-Yプロットのエネルギー的意味

X-Yプロットは、繰返し非排水せん断試験結果(N,R)に次の変数変換を行って求められる。

$$(N, R) \rightarrow \left(X = \frac{1}{R_1^2}, Y = \ln NR_1^2 \right) \dots \dots \dots (1)$$

この変換のXとYは、それぞれ試験の管理値であるせん断力振幅 τ_d とN回の繰返しせん断力が供試体にした仕事を初期鉛直有効上載圧 σ_v' で無次元化したものの対数に対応する。YをXについて直線回帰したときの切片と傾きをそれぞれ $\ln \varepsilon^2$ 、及び、 $\kappa^2 \tan^2 \phi_c$ として、正規化した液状化エネルギー ε^2 と限界転位角 ϕ_c と呼ばれる係数が定義されている。切片 $\ln \varepsilon^2$ は、X=0即ち、 $R_1 = \infty$ の応力振幅で供試体に所定の歪みを生じさせるときに必要な仕事の対数である。限界転位角 ϕ_c は、砂の内部摩擦が滑べりブロックを用いてモデル化出来ると仮定して得られる次のような解析的な減衰定数h-応力比 R_1 関係の形状を表すパラメータである⁴⁾(図1)。

$$h = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta D}{E_s} = \frac{1}{2\pi} \exp \left(- \frac{\kappa^2 \tan^2 \phi_c}{R_1^2} \right); \kappa = \frac{\sigma_{m0}'}{\sigma_{v0}'} = \frac{1+2K_0}{3}, R_1 = \frac{\tau_d}{\sigma_{v0}'}, E_s = \frac{\tau_d^2}{2G} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 ΔD は、1サイクル当たりの損失エネルギー、 E_s は、歪みエネルギーである。Gは、等価せん断剛性で応力振幅と歪み振幅の比である。また、 K_0 は、側圧係数である。正弦波状の一定振幅 τ_d のせん断力を繰返し作用させると歪み振幅が次第に増大し、2%、5%等の所定の大きなせん断歪み振幅に達する。この時までの累積損失エネルギー $D = N\Delta D$ が応力振幅に依存せず一定値であると仮定して式(2)を用いると、式(3)の液状化強度曲線の解析解が得られる。これが、式(1)のX-Y変換で上述の限界転位角と正規化した液状化エネルギーとよばれるパラメータを持つ直線になる。

$$\varepsilon^2 = NR_1^2 \exp \left(- \frac{\kappa^2 \tan^2 \phi_c}{R_1^2} \right); \varepsilon^2 = \frac{D}{(\sigma_{v0}'^2/G)}, \bar{G} = \frac{\tau_d}{\gamma_d} = \frac{R_1 \sigma_{v0}'^2}{N} \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_{di}$$

3 密な砂のエネルギー的非線型性

土質工学会によって行われた一斉試験のデータをX-Yプロットし、この直線性を検討したところ、相対密度70%迄は、相関係数で0.7以上の値を得た³⁾。しかし、相対密度が、80%以上になると図2に示すようにX-Yプロットは非線型性を呈しむしろ下に凸の放物線に近づくことが解つ

た。従って、第2節で述べたエネルギー的对数線型性仮定が当てはまるのはゆるずめから中密な砂であり、密な砂は、非排水せん断による塑性変形に関してエネルギー的な非線型性を有すると言える。図2を見るとXが小さい、即ち応力比の大きい所で非線型性が顕著になっている。約20例の公開された相対密度80%以上の砂の液状化強度曲線X-Yのプロットも同様の傾向を示しており、放物線近似したときの頂点、即ち、最小の正規化エネルギーを与えるの応力比は0.25前後であることが解った。液状化強度曲線を見てもこの応力比以上では、曲線の勾配が急になっており所定のせん断歪みに達するまでに大きなエネルギーを要することを物語っている。これは、砂のダイレタンシーの応力比依存性に起因すると考えられる。

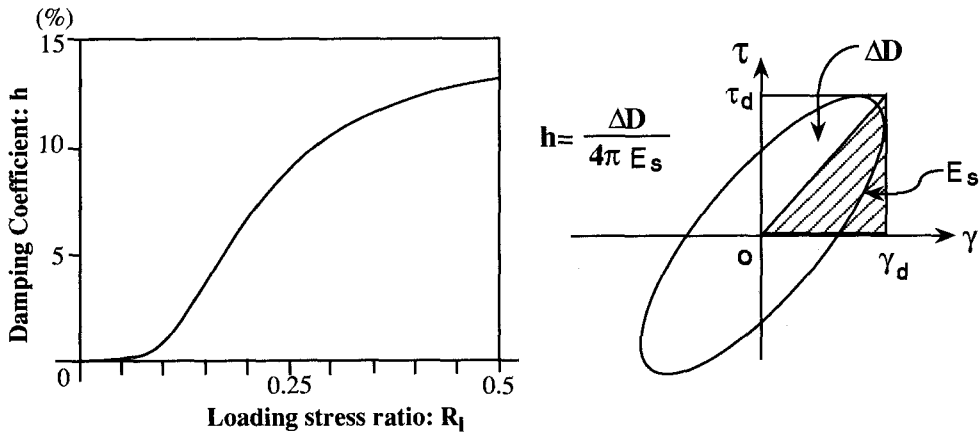


図1 砂の減衰定数のスライディングブロックモデルによる解析解

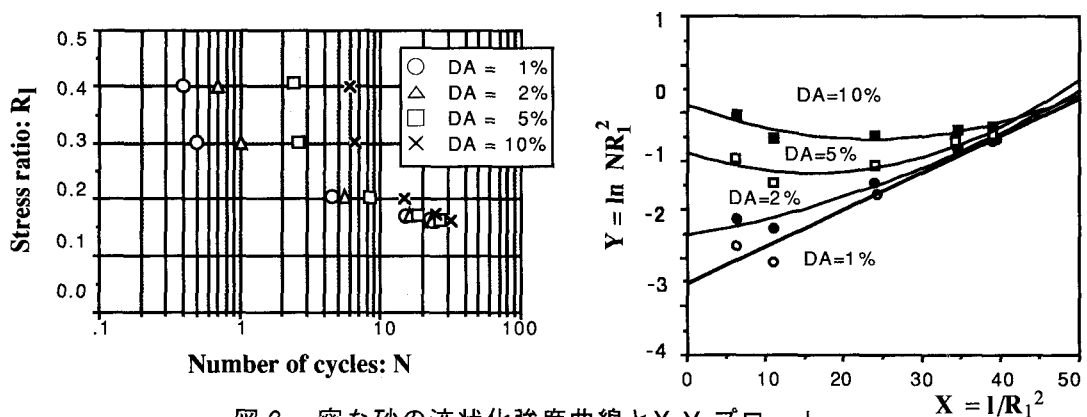


図2 密な砂の液状化強度曲線とX-Y プロット

参考文献

- 1) 土質工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで、土質工学会、1993年2月
- 2) 五十嵐 俊一：転位エネルギーによる液状化解析、第27回土質工学研究発表会講演概要集、1992年7月
- 3) 志田 智之・五十嵐 俊一：砂の液状化強度曲線から求めた限界転位角と正規化した液状化エネルギー、第28回土質工学研究発表会講演概要集、1993年7月
- 4) Igarashi, S: Dislocation Energy of Liquefaction, submitted to JSCE for possible publication, November 1991.