

# 飽和砂の動的不安定性の一評価<sup>1)</sup>

東北大学工学部 諸戸靖史

飽和砂地盤の液状化可能性を判断するためには、現地盤の状況、動的外力の様子、砂の変形特性などの各種の要素を総合的に考慮する必要性があらう。しかし、考慮する要素が多くその手法が複雑なものであれば実務上魅力の無いものになってしまう。本文では、ダイレイタンシーに基づく砂の潜在的な圧縮性に着目し飽和砂の不安定性を示す一つの目安につき考えと共に  $N$  値を用いた簡単な飽和砂地盤の液状化可能性に対する規準を示す。

三軸圧縮装置によりゆるい砂を排水状態でセン断すると、図-1 に示すような変形をする。ここに、

$$\begin{aligned} \text{セン断ヒズミ } \gamma &= \varepsilon_1 - \varepsilon_3, \text{ 体積ヒズミ } v = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_3 \\ \text{偏差応力 } q &= \sigma_1 - \sigma_3, \text{ 平均主応力 } p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3) \\ \text{応力比 } e &= q/p, \quad K = \sigma_3/\sigma_1 \\ \sigma_1: \text{軸圧}, \sigma_3: \text{側圧}, \varepsilon_1: \text{軸ヒズミ}, \varepsilon_3: \text{側方ヒズミ} \\ v_d: \text{ダイレイタンシーによる } v \end{aligned}$$

砂が圧縮から膨張に轉る点の応力比を  $e_c(K_c)$ 、セン断ヒズミを  $\gamma_c$  とする。筆者らは近年の実験データを整理して  $e_c = f(e)$ 、 $f(e)$ ;  $e$  の単調増加関数あるいは定数、であることを示した。<sup>2)</sup> ダイレイタンシーによる圧縮量  $v_d$  は、セン断変形が単調に増大する場合には、 $\gamma$  に対して単調に増大する。したがって  $\gamma_c$  の値が大きいものほど( $e_c$  の値が大きいものほど)セン断時の砂の体積圧縮性が大きいことがわかる。 $e_c$  が大きいほど( $e = q/p = \frac{3(1-K)}{1+2K}$  であるから  $K_c$  が小さいほど)セン断時における潜在的な砂の圧縮性が大きいことがわかったが、実際の地盤はそれが正規に堆積したものであれば静止土圧係数  $K_0$  が  $K_0 = 1 - \sin \phi'$  で示されるような静止状態にある。したがって、現地盤を念頭にして砂のもつ動的な不安定性を考える場合は、その不安定性の目安として次のような指標を用いることができるであろう。

$$I = K_0 - K_c \quad \dots \dots \dots (1)$$

つまり、 $I$  が大きいほどダイレイタンシーによる砂の圧縮性が大きく、飽和状態で動的なセン断が加わった場合の間引き水圧の高まりが激しいものであると考えられる。事実、応力比を一定にしたまま供試体を圧縮する試験( $K$ -一定試験)により圧の圧縮性を調べてみたところ、図-2 に示すように式(1)の  $I$  の値が大きいほどセン断による砂の圧縮性が大きくなっている。図-2 において、 $v/p \pm$  の値は  $v$  (体積ヒズミ) と  $p$  (平均主応力) の関係を  $v \sim p \pm$  で整理したときの直線の傾きである。また、 $K$ -一定試験においては体積ヒズミ  $v$  と軸ヒズミ  $\varepsilon_1$  の関係が直線的なものであることを考慮し、各  $K$ -一定試験により  $\varepsilon_1/v$  の値を求め、 $\varepsilon_1 = v$  なる  $K$  の値を内挿して  $K_0$  値を求めた。 $K_c$  の値は側圧一定試験から求めたもので、それらの値を用いて式(1)の  $I$  の値を算出している。

さて、Jaky の半実験公式  $K_0 = 1 - \sin \phi'$   $\phi'$ : 内部マサワ角 (2)

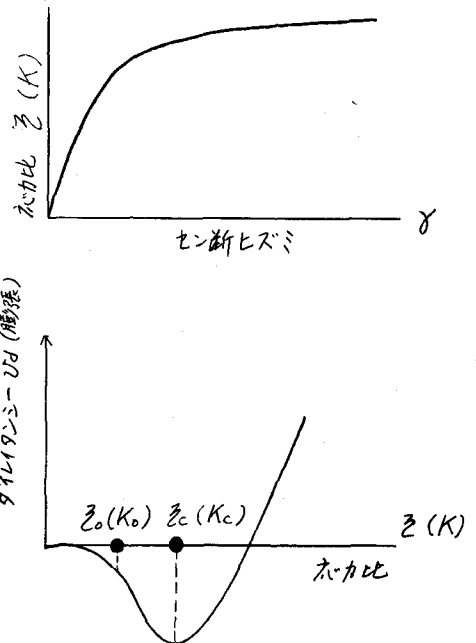


図-1 ゆるい砂の変形(三軸圧縮)

を用いて式(1)を書き直してみると

$$I = (1 - K_c) - \sin \phi' \quad (3)$$

通常行なわれる側圧一定試験では間ゲキ比の大小にかかわらず  $K_c$  の値はあまり変化しないことが報告されている。この場合、

$$I = \text{const.} - \sin \phi' \quad (4)$$

$$I = K_0 - \text{const.} \quad (5)$$

と書ける。ここで興味あることには、静止土圧係数  $K_0$  や内部マサワ角  $\phi'$  がセン断時における砂の圧縮性と関連していることである。

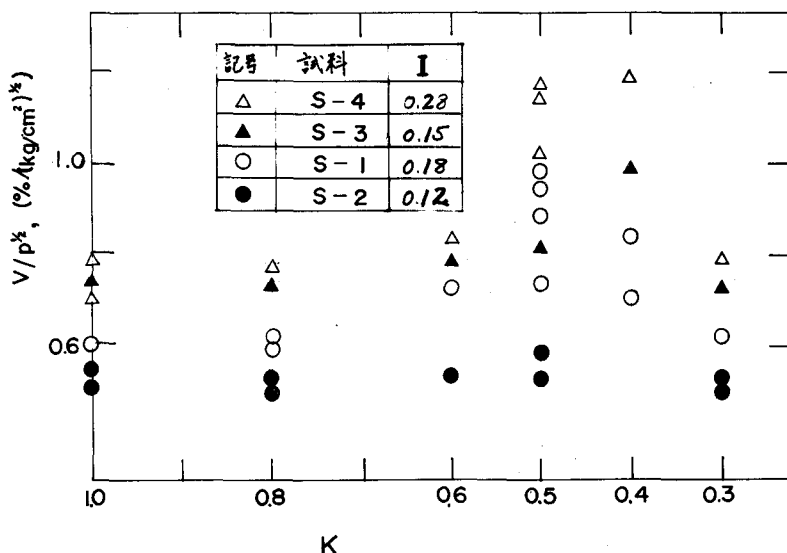


図-2 砂のセン断による圧縮性

上述のことから砂地盤の  $K_0$  値あるいは内部マサワ角  $\phi'$  が動態時の不安定性と密接に関連していることが推論される。しかし、砂地盤の工学的指数について通常知ることができるのは  $N$  値である。もっとも、 $N$  値自体がなりバツキのある観測値であり、 $N$  値は何かという本質的な問いに対する明確な解答も聞かれていないようである。そして、飽和砂地盤の液状化の判定手段に  $N$  値を用いることに対する不満もあることは事実である。しかし、実務上構造物の対象となる砂地盤の強度や締り具合と  $N$  値により判断することが多く、 $N$  値を用いた実用的な液状化判定規程を示すことはことに要望されているものである。 $N$  値は砂地盤の不安定性や強さの指標となろう。

$N$  値は、テルファギー・ベックにより地盤の締り具合(相対密度)および内部マサワ角と関連づけて整理されている。 $N$  値がセン断強さを表わすものであれば、その値は拘束圧に比例するものであろうし、 $N$  値が締り具合を表わすものであれば、その値は拘束圧に無関係であるはずである。 $N$  値は地盤の深さと直線的な関係をもつものとして整理している人もいれば、 $N$  値は有効拘束圧の平方根に比例しているとして整理している人もいる。筆者が山所で埋立てた比較的均質な飽和砂地盤とみなせる地盤で得られた  $N$  値と深さ  $z$  (m) との関係と調べてみた例では

$$N = 2.4 z^{3/4} \quad (6)$$

であつた。おそらく  $N$  値は砂地盤の強度および圧縮性の双方に関係するものであろう。したがって、締り具合を示す相対密度および相対密度によりおもに定まると考えられる内部マサワ角と拘束圧に関係する  $N$  値と結びつけて考えることは厳密には不合理のように思える。しかし、工学的なとりあつかいにおいて、平均的な  $N$  値を用いて対象とする砂地盤の「強さ」(セン断強度と締り具合を含めた一統の外れに対抗する強さを意味する)といったものを考えれば、 $N - Dr - \phi$  ( $N$ :  $N$  値,  $Dr$ : 相対密度,  $\phi$ : 内部マサワ角)を一線上にもってきて結びつけることも可能となろう。このように考え、飽和砂地盤の「強さ」を  $N$  値で代表させれば、地震力の大きさを地盤表面の最大水平加速度を表わし、液状化の可能性に対する一つの判定規程を示すことができるであろう。ニード等の資料により、飽和砂地盤の平均的な  $N$  値、地震の地表面最大水平加速度の大きさ

$\alpha_s = A_s/g$  ( $A_s$ : 地表面最大水平加速度,  $g$ : 重力の加速度) および 液状化の生起の状況を知り  
 図-3 のような一つの簡単な液状化判定規準を作ってみた。土田<sup>4)</sup>もこのような図を発表している。

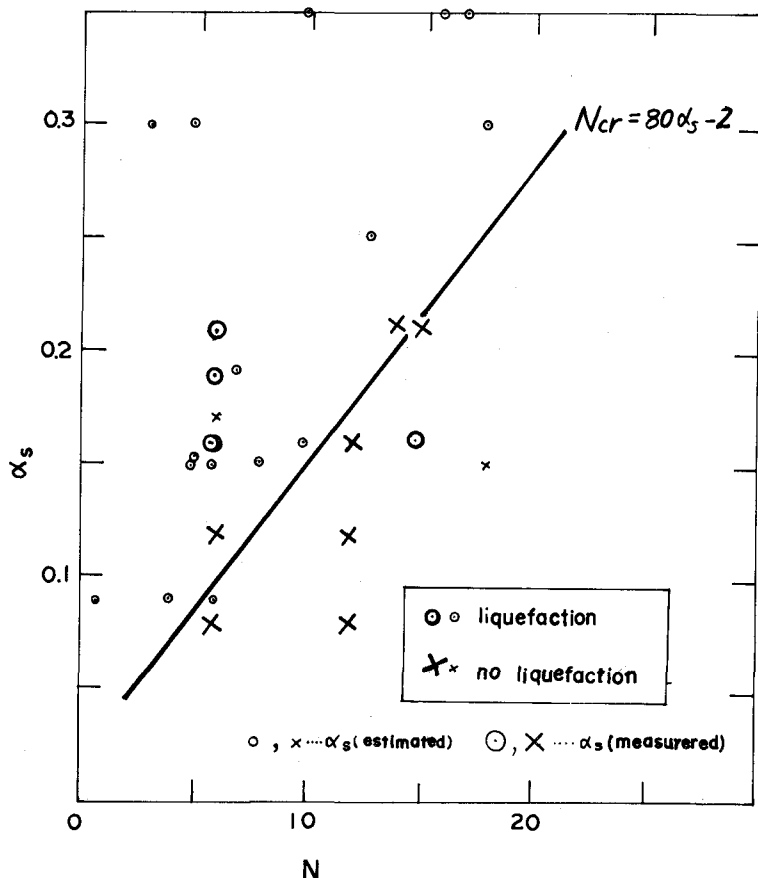


図-3 限界  $N$  値:  $N_{cr}$

限られた資料ではあるが一応 図-3 において 液状化に対する限界  $N$  値線が引ける。しかし、その線はあるゆとをもった区間に分布するように思われる。したがって、図-3 に示す限界  $N$  値:  $N_{cr}$  として

$$N_{cr} = 80 \alpha_s - (6 \sim 0) \quad (7)$$

が考えられる。そして、図-3 から判断する限り

$$N_{cr} = 80 \alpha_s - 2 \quad (8)$$

が少し安全側の規準を与えようであるが、どうであろうか。

- 1) 8th ICSHFE, Specialty Session No. 8, Discussion 2" 報告1丸。
- 2) 諸河, 海上 "砂の變形における状態関数", 土工学会論文報告集投稿中
- 3) Seed, H.B. and Idriss, I.M., "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," Proc. ASCE, Vol. 97, SM 9, (1971), 1249-1273
- 4) 土田, "金沢研究所の振動実験結果にもとづいた液状化の予測," 第14回土工学会シンポジウム論文集, 土工学会, (1971) 21-26