

基礎地盤コンサルタンツ(株) 正員 ○ 安田 進

〃

山口 勇

〃

田中 猛

◆ まえがき ◆

地震時の地盤の液状化を考慮して構造物の安定性を検討する場合、構造物によって問題点が多少異なり、検討するために必要な値も違ってくる。直接基礎では鉛直支持力、クイ基礎では鉛直支持力に加えて水平支持力、そして埋設物では浮上に対する抵抗力の値が必要である。これに対し、土構造物では過剰間隙水圧、水門などでは地盤の沈下量も必要となる。液状化の程度とこれらの値との間にはまだあまり確立された関係はないが、最近道路橋示方書では橋梁基礎の場合の液状化程度と土質定数の低減割合の関係を規定したりしている。そこでは液状化の程度を表す指標として繰返しせん断抵抗率(流動化に対する抵抗率) F_L (=繰返し強さ応力比 R /繰返しせん断応力比 L) を用いている。この値は連続量であるため、上述の検討に必要な値との関係がつけ易い。ここでは、検討に必要な値のうち過剰間隙水圧、沈下量ととりあげ、豊浦標準砂での液状化実験結果をもとに、 F_L とこれらの関係を導き出してみた。

◆ 豊浦標準砂での液状化実験 ◆

液状化特性を求めるために、動的ねじりせん断試験装置を用いて、中密の豊浦標準砂についての液状化試験を行なった。この場合、通常の液状化試験以外に、繰返し荷重を20波で止めて排水させる実験も行なった。なお、本装置を用いた場合の繰返し強さ応力比(液状化応力比)は、図1に示すように振動三軸試験装置を用いたそれとほぼ一致している。

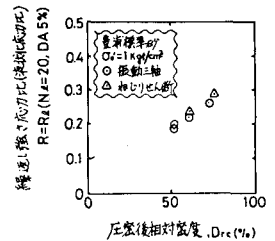
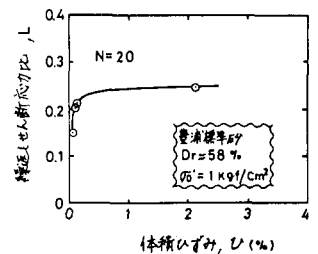
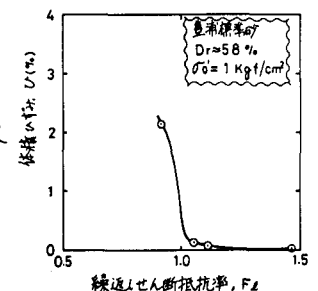
◆ F_L と沈下量関係 ◆

繰返し荷重を20波で止めて排水させると、繰返しせん断応力比 L (繰返しせん断力/有効拘束圧) と排水による体積ひびみ ϵ_v の関係が求まる。これを示したのが図2である。一方、繰返し荷重を20波で止めて、通常の液状化試験を行なうと、図4のように繰返しせん断応力比 L と液状化回数 N_L の関係が得られる。この図から例えば20波加えた場合に1度液状化する応力比 (=繰返し強さ応力比 R) が得られるため、図2の各点について縦軸の L で R を除すと、繰返しせん断抵抗率 F_L が求まることになる。このようにして F_L と ϵ_v の関係に直してプロットすると図3となる。従って図3を用いれば F_L の値から ϵ_v が、ひいては原地盤での沈下量が予測出来ることになる。なお20波をとったのは地震波の有効な繰返し回数を考えてのことである。

◆ F_L と過剰間隙水圧関係(龍岡の方法) ◆

筆者達は最近行なわれた液状化試験結果を整理して、繰返しせん断応力比と液状化回数の関係等の正規化を行なっている。この手法をさらに進めて、龍岡は F_L から過剰間隙水圧を求める方法を導き出した³⁾。この方法に従って実験結果を整理すると以下のようになる。

通常液状化実験結果を整理すると L と N_L の関係が図4のように、また繰返し回数比 (=繰返し回数 N /液状化回数 N_L) と過剰間隙水圧比 u/σ'_0 (過

図1. $R \sim D_r$ 関係図2. L と ϵ_v の関係図3. F_L と ϵ_v の関係図

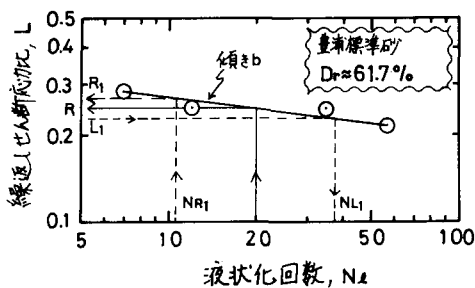


図4. $L \sim N_e$ 関係

剰間隙水圧/有効拘束圧)の関係が図5のように求まる。図4は両対数で表わると一般に直線になるため、 $L = a N_e^b \dots (1)$ と書くことが出来る。今、地盤内のある深度に L_1 なる繰返しせん断応力比が加わったとすると、図4に示した様に液状化回数 N_{L1} が求まり、 $L_1 = a N_{L1}^b \dots (2)$ と表わせる。また、例えば N_{R1} 波を地震時の有効な繰返し回数とった場合、この深度での繰返しせん断強さ応力比 R_1 は図4に示したように求まり、 $R_1 = a (N_{R1})^b \dots (3)$ と表わされることになる。そして、この深度での F_e は (3) と (2) で除して得られ、これを変形すると $(N_{R1}/N_{L1}) = (F_e)^{1/b} \dots (4)$ なる関係が導かれる。一方、 N_{L1} が L_1 の応力比で液状化する回数、 N_{R1} がその途中の段階と考えると、 N_{R1}/N_{L1} は繰返し回数比 N/N_e と同じ意味となるため、図5を用いて U/σ'_0 を求めることが出来る。つまり、図5である N/N_e に対する U/σ'_0 を求め、一方この繰返し回数比を (4) 式に代入して F_e を計算して、結局 F_e と U/σ'_0 の関係を得ることが出来る。このようにして図4、5から F_e と U/σ'_0 関係を求めると図6となる。なお、地震波のピーク後には過剰間隙水圧が上昇していくことに着目して、龍岡(は4)式の代りに $(N_{R1}/N_{L1}) = 1/2 (F_e)^{1/b}$ ととることも提案している。

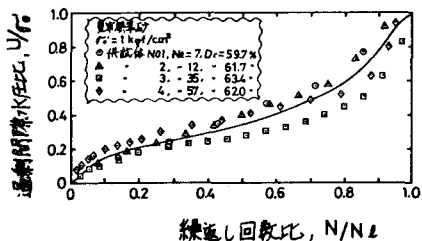


図5. $N/N_e \sim U/\sigma'_0$ 関係

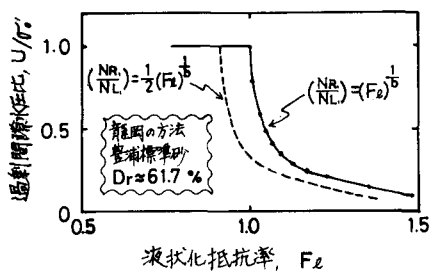


図6. F_e と U/σ'_0 関係図 (4a1)

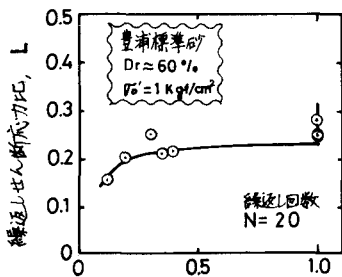


図7. $L \sim U/\sigma'_0$ 関係

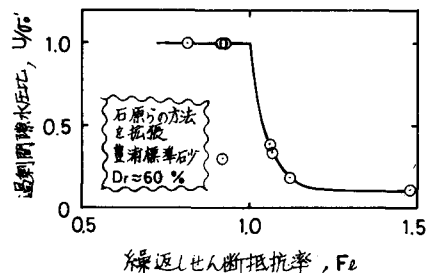


図8. F_e と U/σ'_0 の関係図 (4a2)

◆ F_e と過剰間隙水圧比関係 (石原らのまとめ方に従った方法) ◆

石原らは L とある繰返し回数 (ここでは前と同様に20波をとってみる) で生じる残留過剰間隙水圧比 U_r/σ'_0 との関係を図7のようにまとめることを提案している³⁾。この関係図を利用すれば F_e と U_r/σ'_0 関係が得られる。つまり図2から図3へまとめ直したように各点の L で R を除すと F_e が得られる。このようにして F_e と U_r/σ'_0 (U_r と U はここでは同じ意味となる) を求めると図8となる。

◆ まとめと今後の課題 ◆

繰返しせん断抵抗率と沈下量、過剰間隙水圧比関係が以上のようにして導かれた。ただし、図3、6、8の関係は一般的なものではないことに注意を要す。例えば、液状化し難い土では図6、8において右上に位置するような関係となりがらであり、また図3は平面ひずみ状態にとっても異なった値となるかもしれない。今後これらの点についてゆきたいと考えている。

- ◆ 参考文献 ◆ 1) 龍岡文夫, 安田進, 岩崎敏男, 常田賢一 (1980), "Normalized Dynamic Undrained Strength of Sands Subjected to Cyclic and Random Loading," 工学会論文報告集, Vol. 20, No. 2 2) 龍岡文夫, "私信"
- 3) 石原研而, 安田進, 川畑豊 (1973), "地震時に発生する動的間隙水圧," 土学会第28回年次学術講演会