

液状化地盤の変形特性

九州工業大学工学部 ○ 安田 進
基礎地盤コンサルタンツ 中島敬祐

◆まえがき◆

地震時のゆるい砂地盤の液状化に関する研究は、ここ20年余りの間に数多く行われてきた。その成果をとり入れ、実務的にも液状化発生の予測と対策が多くの構造物に対して行われるようになってきている。ただし、現状では液状化の発生が予測されるとすぐ対策をとることが行われており、予測された液状化に対して構造物がどの程度不安定になるか、また本当に対策は必要か、といった検討は行われていない。これは、液状化した地盤での構造物の挙動（沈下量や構造物に発生する応力など）を検討する方法の研究があまり行われてこなかったためと考えられる。合理的な耐震設計を行うにはこの面の研究が必要であり、いくつかの構造物について研究が始められつつある。例えば、埋設管に対しては、液状化による地盤の変状（永久変位や沈下量など）をまず求めておき、それを地盤のバネを介して構造物に与える方法が用いられようとしている。この場合、バネ常数を液状化にともなってどのように変化させればよいかを知る必要がある。この点について振動三軸試験を行って検討してみた。

◆実験内容および方法◆

埋設管を対象とした場合、図-1に示した3つの液状化状態を考慮しておく必要がある。まず、地下水位以下で地震動の繰返しせん断力により直接液状化する層がある。その上層には、地震動そのもので液状化しなくても下層の液状化層からの過剰間隙水圧の伝播により間接的に液状化する層がある。これは地下水位以下だともともと飽和した状態にあり、地下水位上だと当初は不飽和の状態にある。

そこで、表-1に示すように、これらの3つの状態を想定して実験を行うことにした。また、試料の状態もゆる詰め（ $D_r = 22\%$ ）、ゆる詰め（ $D_r = 50\%$ ）、密詰め（ $D_r = 80\%$ ）の3種類を考慮しておくことにした。

用いた装置は通常の振動三軸試験装置であり、試料も豊浦標準砂を用いた。飽和状態の供試体は B 値 ≥ 0.95 とし、 2.0kgf/cm^2 のバックプレッシャーを加えた。これに対し、不飽和状態の供試体では、まず乾燥砂を詰め、セットした後に下部から単に通水だけを行った状態とした。有効拘束圧 σ'_v はすべて 1kgf/cm^2 とした。

これらの供試体に対し、図-2に示すように、加振により通常の液状化試験（ただし20波でストップ）を行う方法と、供試体内に水圧を送りこむ方法とにより、供試体内に過剰間隙水圧を発生させ、ただちに静的圧縮荷重（非排水、 $\epsilon = 15\%$ まで1~2分程度のスピード）を行い、応力~ひずみ関係を求めた。ただし、繰返しせん断力や送りこむ水圧の値を変え、 Δu の値をいくつか変えた実験を行っている。

地表面	飽和状態	Δu の発生原因
間接液状化層	不飽和または飽和	液状化層からの伝播
液状化層	飽和	繰返しせん断力

Δu : 過剰間隙水圧

図-1 3種の液状化状態

表-1 実験を行った条件

	相対密度 (%)	(L)	(M)	(D)
飽和, 水圧	22	50	80	
飽和, 加振による Δu の発生 (SC)	1	2	3	
飽和, 水圧の送りこみ (SB)		4	5	
乾燥, 通水後水圧の送りこみ (UB)		6	7	

(注) 表中の数値はCASEの番号を示す

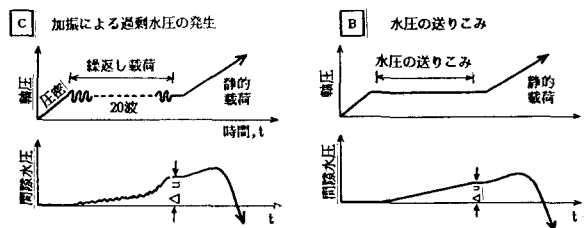


図-2 過剰間隙水圧の発生方法

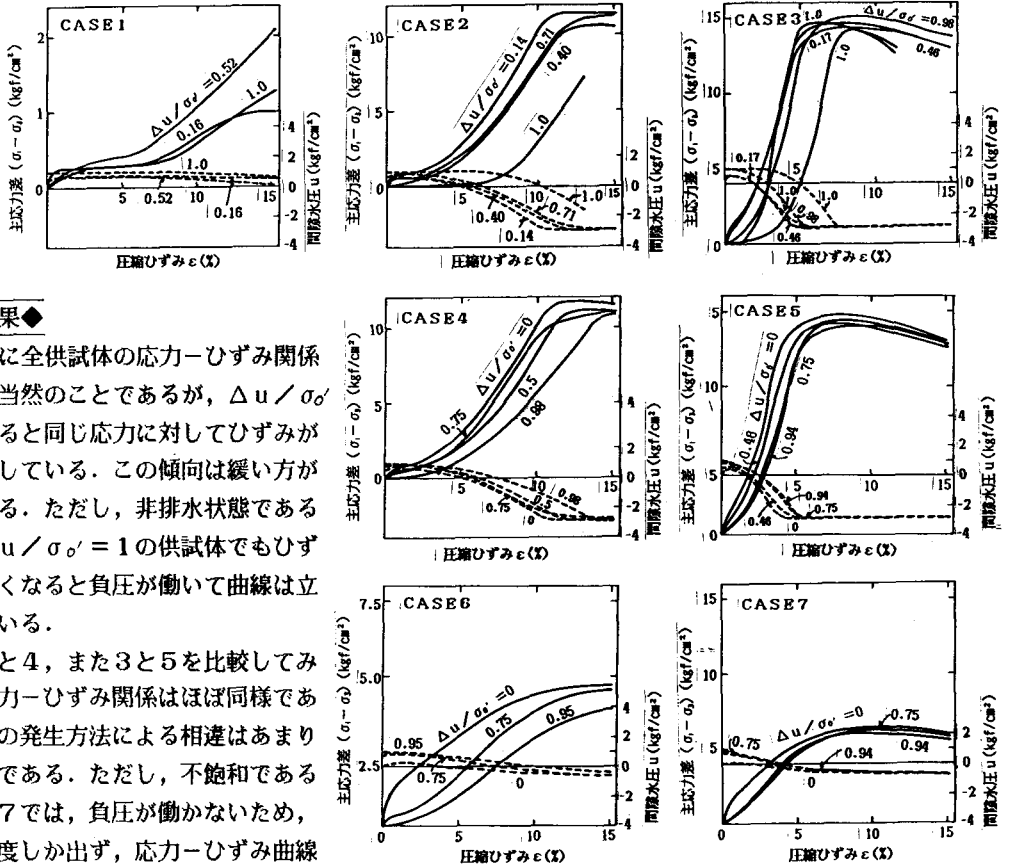


図-3 過剰間隙水圧発生後の応力-ひずみ関係

◆実験結果◆

図-3に全供試体の応力-ひずみ関係を示す。当然のことであるが、 $\Delta u / \sigma'_0$ が大きくなると同じ応力に対してひずみが多く発生している。この傾向は緩い方が顕著である。ただし、非排水状態であるため、 $\Delta u / \sigma'_0 = 1$ の供試体でもひずみが大きくなると負圧が働いて曲線は立ってきている。

CASE 2と4、また3と5を比較してみると、応力-ひずみ関係はほぼ同様であり、 Δu の発生方法による相違はあまりないようである。ただし、不飽和であるCASE 6と7では、負圧が働かないため、小さな強度しか出ず、応力-ひずみ曲線も異なっている。

次に、図-3から初期接線係数 E_i とピーク強度の50%の時点における接線係数 E_{50} をとって $\Delta u / \sigma'_0$ との関係でプロットしてみると、図-4、5となる。図-4では $\Delta u / \sigma'_0$ の増加とともに E_i が減少し、 $\Delta u / \sigma'_0 = 1$ では数十分の一まで低下する傾向が得られたのに対し、図-5では $\Delta u / \sigma'_0$ にかかわらずほぼ一定の E_{50} となっている。ただし、 E_{50} をとった時点でのひずみ量は異なることに注意を要しよう。

◆あとがき◆

以上、振動三軸試験装置を用いて、3種の液状化状態での变形特性をみてきた。この結果を上述した埋設管等の設計にどう用いるか今後検討してゆくつもりである。

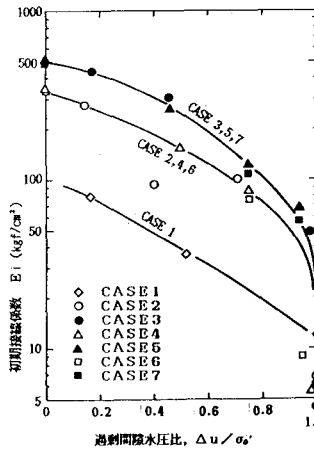


図-4 E_i と $\Delta u / \sigma'_0$ の関係

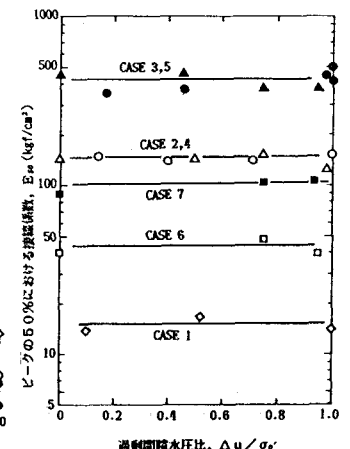


図-5 E_{50} と $\Delta u / \sigma'_0$ の関係