

北海道大学工学部 正員 〇土岐 祥介

〃 〃 三浦 清一

〃 学員 寺山 朗

(1) まえがき： 地震のような周期の短い繰返し応力を砂地盤が受けると、間ゲキ水圧が生じ液状化を起こす。その後、この間ゲキ水圧の消散に伴って、大きな沈下が生じる。このような動態時の間ゲキ水圧発生機構については、いまだ不明な点が多い。そこで、種々の応力経路のもとで静的に繰返し応力を与えた場合について、排水条件で生じる体積ヒズミと、非排水条件において発生する間ゲキ水圧との相関について検討し、間ゲキ水圧の発生機構ならびにその予測法に関して考察を行なった。

(2) 実験方法： 試料は、飽和した豊浦標準砂 ($G_s=2.65$) で、初期間ゲキ比 e_0 は、0.660 (Dense), 0.780 (Loose) の 2 種類である。供試体のセツトは、すべて水中で実施し、圧密前に 20 kg/cm^2 のバックプレッシャーを与えた。繰返し載荷応力の経路は、側圧 σ_r を一定にし、繰返し応力 σ_v を次に示す①②③の方法により排水(D)および非排水(U)条件で載荷し、載荷回数は10回である。①所定のセン断応力 σ_{se} まで軸圧 σ_a を増し、等方応力状態に戻す (圧縮・片振り)、② σ_{se} から σ_a を減じ、等方応力状態に戻す (伸張・片振り)、③ σ_{se} から σ_{se} まで載荷する (圧縮・伸張・両振り)。 σ_{se} および σ_{se} と D, U 条件での圧縮および伸張セン断試験から得られた各々のセン断強度 σ_{max} との比を R とし、 $R=0.4, 0.6, 0.8$ の 3 種類の σ_{se} を載荷した。また、後述する K_r を求めるために、等方応力載荷除荷試験を実施し、得られた体積ヒズミに対して、Roscoeの方法によるメンブレン貫入量補正を行なった。

(3) 実験結果および考察： D試験における繰返し載荷回数 N と、 N 回目までに残留する体積ヒズミ ΔE_{vn} との間には、ハ木²⁾ 大岡³⁾ の実験結果と同様、 e_0 , R および応力経路によらず、(1)式で表わされる双曲線の関係が認められる。

$N/E_{vn} = b \cdot (N+a) \cdots (1)$ この結果の代表例を、両振りの場合について図-1に示す。(1)式中の a 値は、表-1に示すように片振りと両振りの場合で異なった値となる。次に、 N 回から $(N+1)$ 回目までの1サイクルに残留する体積ヒズミ ΔE_{vn} は、(2)式で与えられる³⁾。

$$\Delta E_{vn} = E_{v(N+1)} - E_{vn} = (\frac{1}{b}) \cdot a / (N+a) \cdot (N+a+1) \cdots (2)$$

ここで、 $1/b$ は σ_{se} , e_0 および圧密圧力 σ_{co} に依存するので、ハ木²⁾ の方法に従って、 e_0 をパラメーターに $1/b$ と σ_{co} の関係を両対数目盛でプロットすると、図-2の直線関係が得られる。 λ を直線の勾配、 C を $\sigma_{co} = 1.0$ の時の $1/b$ とすれば、この関係は(3)式で与えられる。 $1/b = C \cdot (\sigma_{co})^\lambda \cdots (3)$ (λ は表-1参照)

また、 C 値は有効拘束圧力 σ'_c と間ゲキ比 e に依存すると考えられるが、ここでは繰返し応力載荷中 e を一定 ($e=e_0$) とみなし、

表-2

C と σ_{co} の関係を示したのが図-3である。 e_0 および応力経路によらず、ほぼ原点を通る直線で表わすことができる。

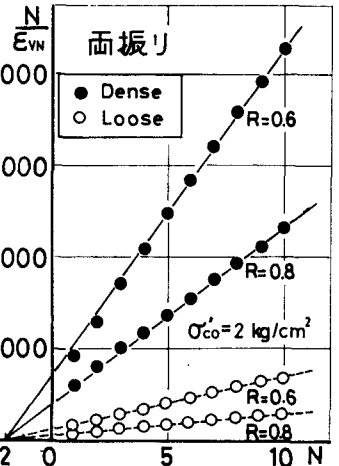


図-1 N/E_{vn} と N の関係

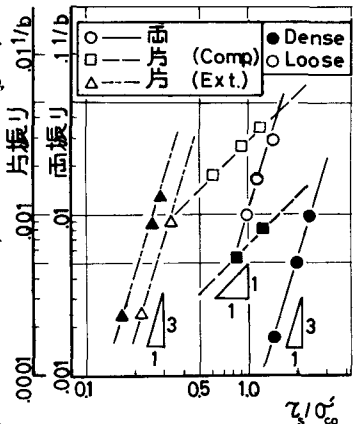


図-2 $1/b$ と σ_{co} の関係

表-1

	a	λ	$\alpha (\times 10^{-2})$	
			Dense	Loose
面振り	2.0	3	0.0300	0.5500
片振り (Comp.)	0.8	1	0.0339	0.1200
片振り (Ext.)	0.8	3	2.5000	3.6360

この関係は、直線の勾配を α (表-1参照)として、 $C = \alpha \cdot \sigma_c'$ ----- (4) で示される。次に、(2)式に(3)および(4)式を代入すると、 $\Delta E_{vn} = \alpha \cdot \sigma_c' \cdot (\tau_s/\sigma_c')^2 \cdot \alpha / (N + \alpha) \cdot (N + \alpha + 1)$ ----- (5) が得られる。

次に、非排水条件においては、N回から(N+1)回目までの1サイクルで残留する間ゲキ水圧 ΔU_N によって、有効応力が減少し、可逆的体積ヒズミ $-\Delta E_{vrN}$ が生じる。ここで、水が非圧縮性で、非排水条件より体積変化は0であるから、 $\Delta E_{vn} + \Delta E_{vrN} = 0$ なる関係が成立するものとするれば、 ΔU_N は(6)式で示される。 $\Delta U_N = K_r \cdot \Delta E_{vn}$ (6) ここに、 K_r は等方応力載荷・除荷試験における可逆的体積ヒズミ E_{vr} の除荷曲線の接線係数である。等方応力載荷・除荷試験から得られた結果を、両対数目盛でDenseの場合について図-4に示してある。図より、除荷曲線は σ_c' の値によらず平行関係を満足していることが認められる。そこで、除荷および載荷曲線から、(7)式、(8)式が導かれる。

$$(E_{vr}/E_{vr}) = (\sigma_c'/\sigma_c')^m \text{ ----- (7) }, \quad E_{vr} = k_2 \cdot (\sigma_c')^n \text{ ----- (8)}$$

ここで、 m 、 n はそれぞれ除荷および載荷曲線の勾配であり、 k_2 は $\sigma_c' = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の時の E_{vr} である。これらの値は表-2に示してある。次に、(7)式に(8)式を代入すると、 $E_{vr} = k_2 \cdot (\sigma_c')^n \cdot (\sigma_c'/\sigma_c')^m = k_2 \cdot (\sigma_c')^{n-m} \cdot (\sigma_c')^m$ ----- (9) が得られる。

また、 K_r は次式で与えられる。 $K_r = d\sigma_c'/dE_{vr} = (\sigma_c')^{1-m}/k_2 \cdot m \cdot (\sigma_c')^{n-m}$ ----- (10)

(6)式に、(9)および(10)式を代入すると、任意の1サイクル載荷後に残留する間ゲキ水圧 ΔU_N として(11)式が得られる。

$$\Delta U_N = \frac{(\sigma_c')^{2-m}}{k_2 \cdot m \cdot (\sigma_c')^{n-m}} \cdot \frac{\alpha}{(N + \alpha)(N + \alpha + 1)} \cdot \alpha \cdot (\tau_s/\sigma_c')^2 \text{ ----- (11)}$$

図-5および図-6に、上記3種のU試験($\sigma_c' = 2.0 \text{ kg/cm}^2$)から得られた実験値と、(11)式による予測値を繰返し回数Nに対して示してある。図-5の片振りの場合、圧縮および伸張を問わず、おおむね良い対応関係を認めることができる。しかし、DenseにおいてはN=3回目以後、予測値が若干大きめの値を与えている。また、図-6の両振りの場合、Looseの $R = 0.6$ では、N=6回目まで比較的精度良い対応関係が認められる。他のRについても、同様の傾向を示しており、例えば、 $R = 0.4, 0.8$ ではそれぞれ9回、5回目まで実験値と予測値はほぼ一致している。一方、Denseにおいては、特にNの小さい所での対応の良くないことがわかる。以上のように、Looseの場合には(11)式による予測がある程度可能であることが認められるが、Denseにおけるこの違いは、等方応力載荷・除荷曲線から K_r を評価する場合の誤差および供試体の不均一性による、体積ヒズミ等のバラツキに因るものであろう。(おとがき)； 本研究の実施に際しては、本学卒業生松庭静男、畠山収両君の協力に負うところが大きい。また、 ΔU (kg/cm²)

[参考文献]

- 1) Roscoe, et al; ASTM STP 361, pp.111-128, '63
- 2) 八木則男; 第7回土質工学会研究発表会, pp.297-300, '72
- 3) H. Oh-oka; Soils and Foundations, Vol.16, pp.9-31, '76
- 4) R. Martin, et al; Proc. ASCE, GT 5, pp.423-437, '75
- 5) 土佐他; 第31回年次講演会講演集, pp.62-63, '76

図-5 ΔU とNの関係

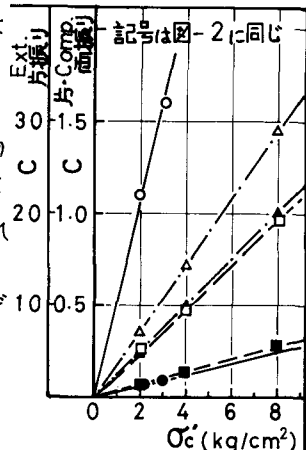


図-3 Cと σ_c' の関係

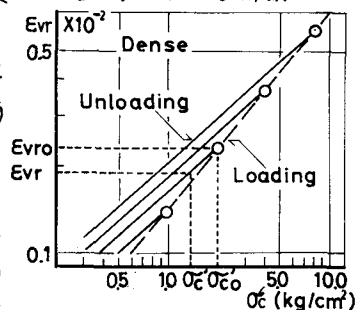


図-4 E_{vr} と σ_c' の関係

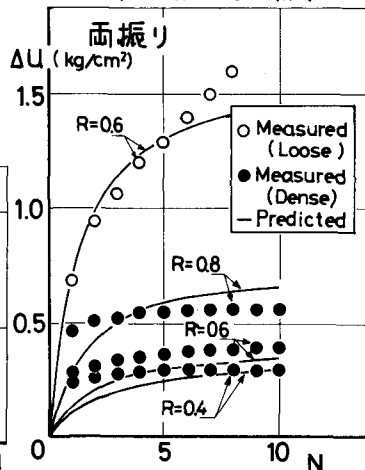


図-6 ΔU とNの関係