

中央大学 学生員 野間博伸

建設省土木研究所 正員 龍岡文夫

日本大学大学院 学生員 坂場義雄

ゆるい飽和砂質地盤は、地震時に液状化する事が知られている。その過程で、液状化に及ぼす要素は多岐にわたり、液状化する砂層中の挙動は非常に複雑である。その中から、今回、小型の砂箱振動台を用いて、入力の周波数が、地盤の液状化現象に与える影響を調べる事を目的として、模型振動実験を行ったので、その結果を報告する。

表-1 実験条件

実験 ケース	砂層条件		加振条件				台加速度 (cm/s^2)				
	砂層の種類	砂層平均 粒径(mm)	入力振動数 (Hz)	加振時間 (秒)	振動数 (Hz)	振動時間 (秒)	I	II	III	IV	V
A	飽和重砂	28	10	30	300	100	150	200	100	300	
B	"	18	20	15	300	100	150	200	100	300	
C	"	20	40	75	300	100	150	200	100	300	

図-1に示す砂箱を使用した。端壁は下端ヒンジとして振動方向の拘束を減じる様にした。砂は、豊浦標準砂($G_s=2.65$, $D_u=0.2^{\text{mm}}$, $D_{50}=0.162^{\text{mm}}$, $e_{\text{max}}=0.96$, $e_{\text{min}}=0.64$)を使用し、飽和砂層は、水中に乾燥砂を落下させて作成した。砂箱を載せている振動台は、4台の油圧式補助振動台で支えている。この振動

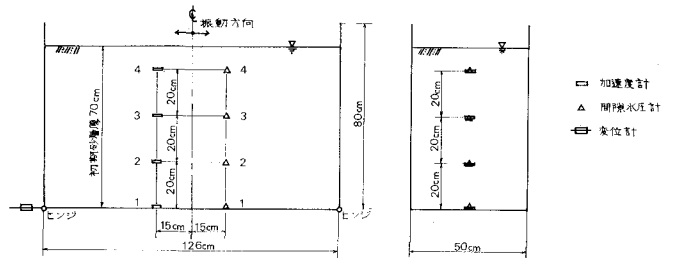


図-1 砂層模型と計器の配置

台を、油圧を用いた変位制御方式のアクチュエーター(MTS社製・容量2 ton・G)を駆動した。測定は、図-1に示す計器を使用し、加速度計・間隙水圧計には、回転しない様に振動方向の羽根を付けた。入力振動は、図-2の台加速度に見られるように、第一波から定常波が出るよう、あらかじめデーターレコーダーに記録した正弦波を入力波形とした。実験方法は、表-1に示すように、3つのケースについて実験を行ない、砂層の密度は、少しばらつきはあるが全てなるべく均一なものとした。加振は、各台加速度段階ごとに、全て300波とし、それぞれの段階の間には時間を置いて、その間、表面の地下量の測定を行った。

図-2に、実験ケースB・段階Iでの台変位・加速度・間隙水圧の記録波形を示す。各計器の位置は、図-1を参照されたい。4の間隙水圧がピークになり、順次下層へと間隙水圧がピークに達して、又砂中加速度がゼロになる場所は、移ってゆく。液状化現象は、上層から下層へと起こる事を示している。次に

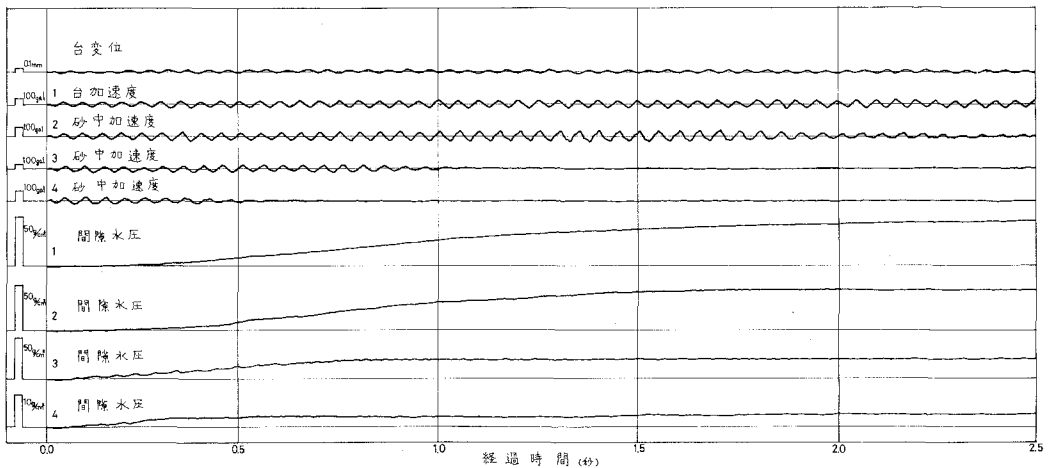


図-2 実験B・段階Iの記録波形

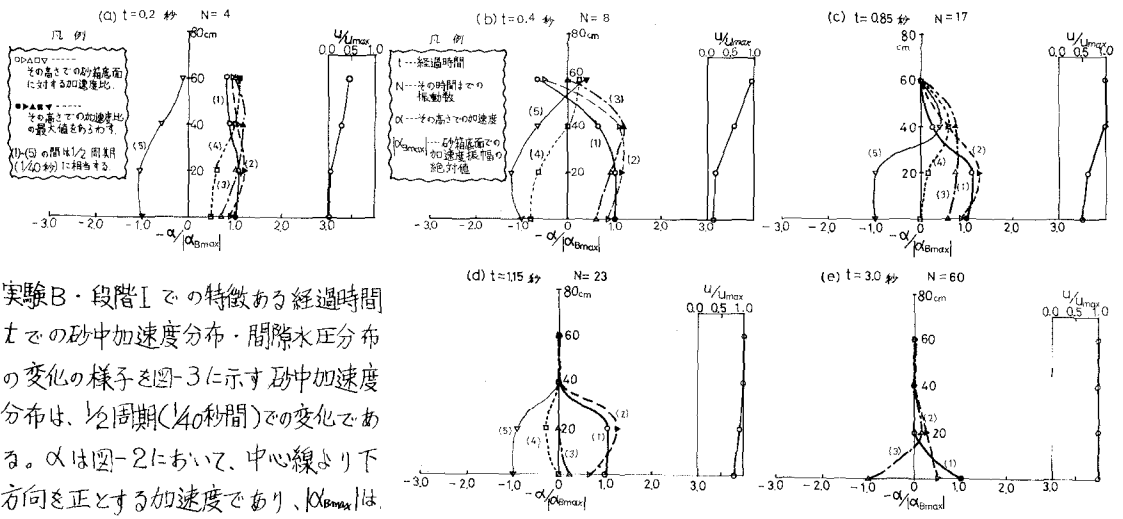


図-3 加速度分布・間隙水圧分布の時間的変化

実験B・段階Ⅰでの特徴ある経過時間
までの砂中加速度分布・間隙水圧分布
の変化の様子を図-3に示す砂中加速度
分布は、1/2周期(1/40秒間)での変化であ
る。 α は図-2において、中心線より下
方向を正とする加速度であり、 $|\alpha_{\text{Bmax}}|$ は、
砂箱底での加速度の最大値の絶対値で

ある。液状化に至る過程で、砂層は相当複雑な振動
をしていて、砂は決して剛体的な運動をしておらず、砂層
中にかなりの歪が発生している。図-4に実験A,B,Cで
の段階ⅠとⅡでの各位置の加速度がゼロになった時ま
での振動回数 N と入力の周波数 f との関係を示す。 $f=40$
Hzの実験では、加速度計2で記録された加速度は、完
全にはゼロにならなかったで、極小値を示した時までの
振動回数を示した。明らかに、加速度計2での第Ⅱ段
階の場合を除いて、 f の小さい程、液状化に必要な
くり返し回数 N は少ない事、即ち、 f の小さい程、同
じ台加速度に対して液状化し易い事を示している。これは、
恐らく、次に示す理由によるものであろう。砂中のある場所
での正弦振動中に発生する振幅は、次式であらわせる。

$$\gamma = \frac{\alpha}{2\pi f} \cdot \frac{1}{V_s} \quad (\alpha: \text{加速度}, f: \text{周波数}, V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}; S \text{ 波速度}) \quad (1)$$

この式は、 γ は α に比例し、 f に反比例する事を示している。
 α の値は f によって異なる応答値であり、今回の場合、
高さ40cmの加速度計3で記録された加速度の台加速度

に対する比 $(\alpha/\alpha_{\text{Bmax}})$ の液状化前での最大値は、 $f=10\text{Hz}$ で0.9、 $f=20\text{Hz}$ で1.18、 $f=40\text{Hz}$ で1.6であり、三者での γ の比は同一の
 V_s に対しては、(1)式から $\frac{0.9}{1.0} \cdot \frac{1.18}{2.0} \cdot \frac{1.6}{4.0} = 1:0.66:0.44$ であり、明らかに f が小さい程 γ が大きい。 γ が大きい程液状
化が生じやすくなるから、この事は、図-4の結果と矛盾ない。しかし、 f が小さい程、同一の台加速度に対して、液状化し
易いというの一般的な結論ではないように思われる。(1)式に示す様に加速度応答値 α が f によって変わり、 α/f が γ の値を
決めるからである。今回の実験から、地盤の液状化が、加速度値だけでは支配されず、入力の周波数にも支配される可
能性のある事が分った。(1)式は又、せん断応力 $\tau = G\gamma$ も f に支配される事を示している。今後は、図-3を基
にして実際の γ の値と推定をみて、上述の議論の検証を予定である。尚、本研究を進めるにあたって、振動研究
室長岩崎敏男氏の御指導、吉田精一氏の御協力を得た。末筆ながら感謝の意を表します。

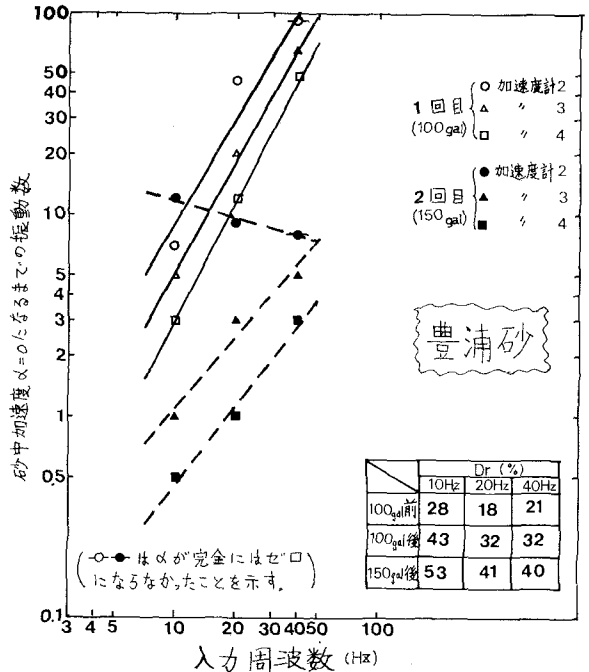


図-4 液状化するまでの振動回数と入力周波数の関係