

地震時の砂質地盤の沈下に関する模型振動実験

建設省土木研究所 正員 龍岡文夫
建設省土木研究所 学生員 吉田精一
中央大学 学生員 池本正英

§1. はじめに

砂質地盤が地震時にかり込み沈下することが知られている。とくに液状化を生じたと思われる場合は、その沈下量も大きい。(参考文献1) 今回、小型の砂箱振動実験を空気乾燥砂と飽和砂について行ない、動的沈下の実験的検討を行なった。これまでに各所で数多くの砂箱振動実験が行なわれているが、今回の主な目的は乾燥砂と飽和砂での沈下過程と沈下量の比較である。

§2. 実験装置・実験方法・使用した砂

写真1. 図-1に示す砂箱とロッキングが生じないように2台の油圧式水平補助振動台の上に載せ油圧によって支え、振動力は電磁式アクチュエーター(MB社製)によって与えた。波形はSIN波である。砂箱の振動方向の壁は、下部ヒンジの可動であり、その方向の拘束力は与えなかった。砂箱の重量は、アクチュエーターの能力のほぼ限界にある為、加振周波数を変えた予備の実験によって最も大きな加振力を生ずる12Hzで実験をした。加振時間は30と60秒である。測定は図-1に示す計器で行なった。(加速度計; 容量2G・ツンコー社製、変位計; 差動トランス型・共和電業社製、間隙水圧計; 容量400g/cm²・ST研究所製)記録は、電気的なものは電磁オシロで行ない、砂層上面、砂中層A、B、Cの位置の測定は目測で行なった。

実験リストを表-1に示す。砂はいずれも空気乾燥状態をホッパーから落下させた。飽和砂層は水中に落下させることによって作成した。D1はD2よりも密になるようにした。ホッパー移動速度は約20cm/秒である。砂は水洗入向砂($G_s = 2.877$, $D_{50} = 0.31$ mm, $D_{60} = 0.52$ mm)を用いた。図-1に示すA、B、C層は豊浦砂で作った薄い層である。

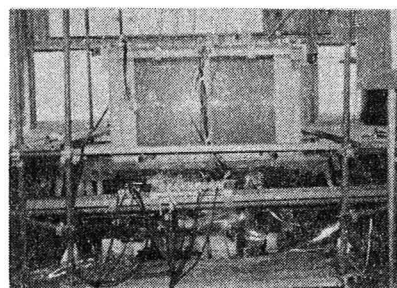


写真-1.

実験段階		台加速度 (公称) gal				加振時間	Hz
		I	II	III	IV		
A							
乾燥	D ₁	0.83	100	200	250	300	60
	D ₂	0.90	100	200	250	300	30
飽和	S ₁	0.80	100	150	250	100	60
							12

$G_s = 2.877$
 $D_{50} = 0.31$ mm
 $D_{60} = 0.48$ mm
 $D_{90} = 0.52$ mm

シルト分以下 Cut

表-1

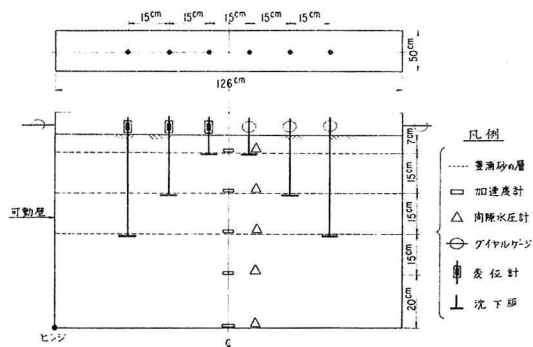


図-1.

§3. 乾燥砂の実験結果

図-2に典型的な記録を示す。これは、実験D2で段階IVのものである。実験は全て表-1に示すように、段階的に公称加速度を増加させて行なった。飽和砂の場合のみ、段階IVで公称台加速度を下げていく。ここでの公称加速度とは、そのようになるよ

うに振動台加振力をセツトしたという意味である。実際には加振能力限界で実験しているので、この公称加速度とは異なった台加速度が生じた。図-2によると、乾燥砂の場合は加振最初の沈下量が大きく徐々に沈下率が減少してゆくこと、現象がほぼ定常的であることが分かる。図-3は実験D1での各段階の振動モードを示すものであり、上層になる程加速度の高さに対する変化率(これを $\partial\alpha/\partial z$ と記す)が大きくなっている。これは、実験D2についても同様であった。砂層中に生ずるせん断歪 γ は $\partial\alpha/\partial z$ に比例する。 $f=1/2\text{Hz}$ として図-3の段階IVでの全層に対する平均 γ を求めると、 $(750-400) \times 2\pi f \times 10$ で大体 10^{-3} になる。図-4に実験D1での実測台加速度に対する諸手段で推定した各層の同隙比変化を示している。興味深いことに $\partial\alpha/\partial z$ が大きくなる上層ほど同隙比変化が大きい。実験D2について同様の整理をしたのが図-5であり、この場合も上層ほど体積収縮が大きい。これはせん断歪が大きい程沈下が大きく生ずることを示しており、検討の結果によると $\gamma=10^{-4}$ では余り体積収縮は生ぜず、 $\gamma=10^{-3}$ になると大きく収縮するようである。

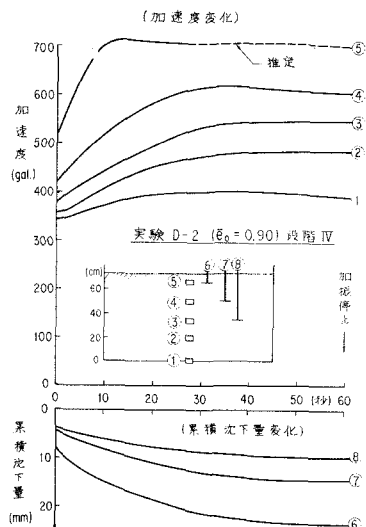


図-2. 乾燥砂実験の典型的な記録

乾燥砂実験 ($\bar{\epsilon}_0=0.83$) D1

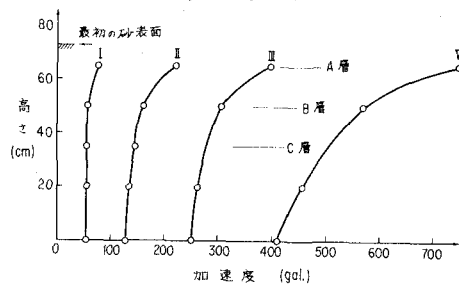


図-3. 乾燥砂実験の加速度分布

§4. 飽和砂の実験結果

図-6に飽和砂での典型的な実験結果を示す。乾燥砂の場合と異なり、現象がきわめて非定常的であることが分かる。台加速度も激しく変化している。これは全て同隙水圧の激しい変化に伴う砂層内の有効応力の激しい変化、それに伴うせん断剛性率、砂層の固有振動数、そして砂層+砂箱+振動台系の固有周期等の激しい変化によるものである。図-7に図-6のステップd)~f)での加速度分布を示す。全層にわたってほぼ完全に液状化しているステップe)での台加速度がきわめて大きくなっているのは、液状化前の12Hzよりもはるかに大きい砂層の固有周期が、液状化によって加振周波数の12Hzに近づき共振現象を生じたものと思われる。又、液状化が生じている砂層より上の加速度は、ほぼ

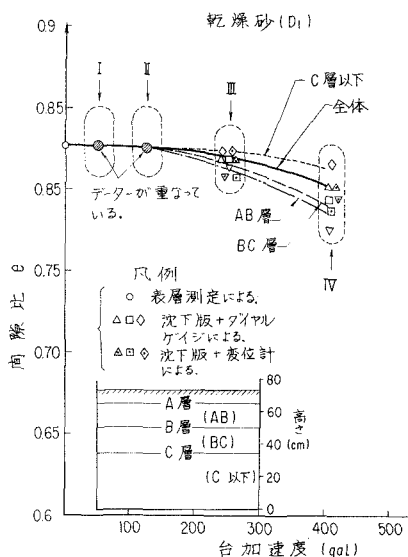


図-4.

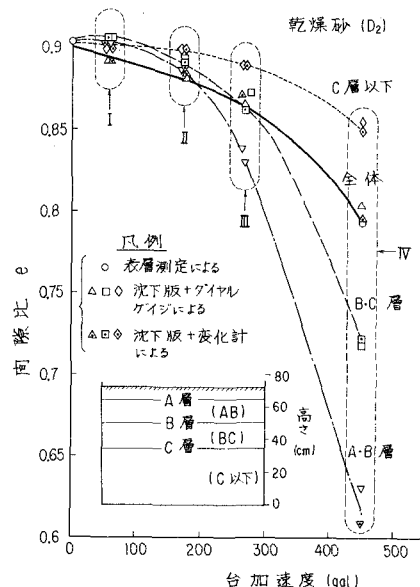


図-5.

ゼロになっている。飽和砂の場合は、乾燥砂の場合とは異なり、加振当初はほとんど沈下が生ぜず、過剰間隙水圧 u が上昇しはじめた直後に沈下が始まはじめる。図-6をよく見ると、上層ほど u が初期有効拘束圧に等しくなり、その層の加速度がほとんどゼロになる(すなわち完全液状化する)のが一番早く、又一番あとまで完全液状化状態が続いており、それに対応して体積収縮が一番あとまで続いている。そして、加速度が回復してゆく直後に沈下がおさまる。図-8は、実験S1での各実験段階での液状化の程度を示す。「底面での過剰間隙水圧が、最大値になったときの間隙水圧分布」である。段階Iでは上層のみ液状化し、下層は不完全液状化を生じ、段階II、IIIでは、全層にわたって完全液状化が生じた。段階IVでは、全く液状化が生じなかった。図-9は、突測の台加速度に対する実験S1での間隙比変化を示すものである。段階Iでは、完全に液状化が生じた上層のみ大きく体積収縮が生じ、不完全液状化が生じた下層はほとんど体積収縮が生じていない。完全液状化が生じると、全層にわたって激しく体積収縮が生じている。実験S1での段階IIIまでで、体積歪は $\Delta e / +e_0 = 0.16 / 1 + 0.08 \approx 0.09$ である。

ここで乾燥砂の実験との比較を行なってみると、次のことが分かる。(1). 全体の体積収縮量は、同じ台加速度に対して飽和の場合の方が乾燥の場合よりもはるかに大きい。(台加速度300galで約5倍)(2). 乾燥砂の場合は、台加速度200galまではほとんど体積歪は生じないが、飽和の場合は200galで液状化が生じ激しい体積収縮が生じている。(3). 乾燥砂の場合は、上層ほどセン断歪 γ が大きくなり上層ほど体積収縮量が大きいが、飽和の場合は完全液状化が生ずると全層にわたって体積収縮量が大きくなっている。これは図-7の加速度分布を見て分かるように液状化が生ずると、全層にわたって $\partial u / \partial z$ が、従って γ が非

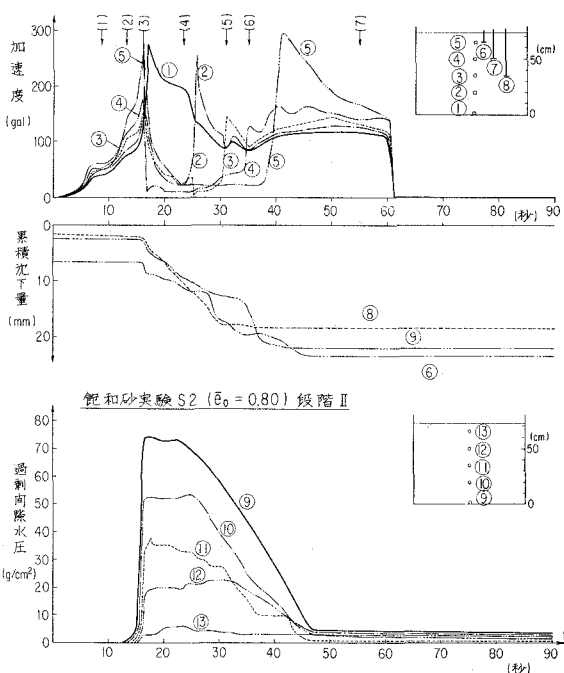


図-6. 飽和砂の典型的な記録

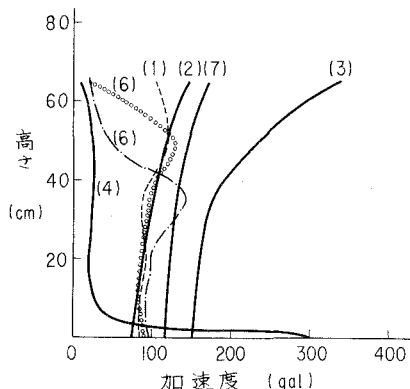


図-7. 実験S2(段階II)における加速度分布変化

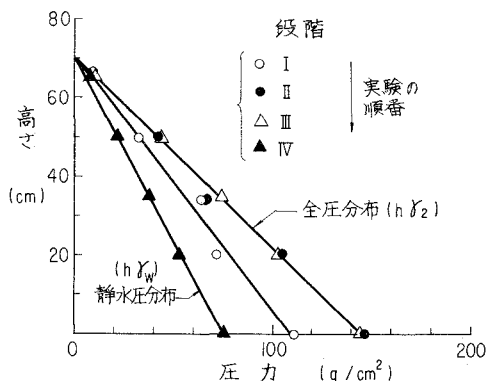


図-8. 底面で過剰間隙水圧が最大値になった時の分布(実験S1)

常に大きくなり、全層にわたる激しい攪乱が生ずるためである。又、飽和砂の場合は水が下からふき上げるため、液状化後上層が若干ゆるいままであるようである。これは再液状化問題を考えるときには、注目すべきことかもしれない。

S5. 結論

飽和砂層の場合は、完全液状化が生ずると、乾燥砂の場合よりはるかに大きな沈下が生ずる。乾燥砂の場合は地表近くでのみ大きな体積収縮が生ずるため、深い砂層全体にわたって体積収縮が生ずる可能性は小さい。飽和砂層の場合は、深い層でも完全液状化が生ずると、全層にわたって激しく体積収縮が生ずる。過剰間隙水圧が上昇しても完全液状化が生じなければ、体積収縮量は小さい。

本実験を遂行するにあたって、振動研究室長岩崎敏男氏の御指導を得た。末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献1.

栗林・龍岡、吉田

(1972) "明治以降の本邦の地盤液状化履歴" 土木研究所彙報第30号

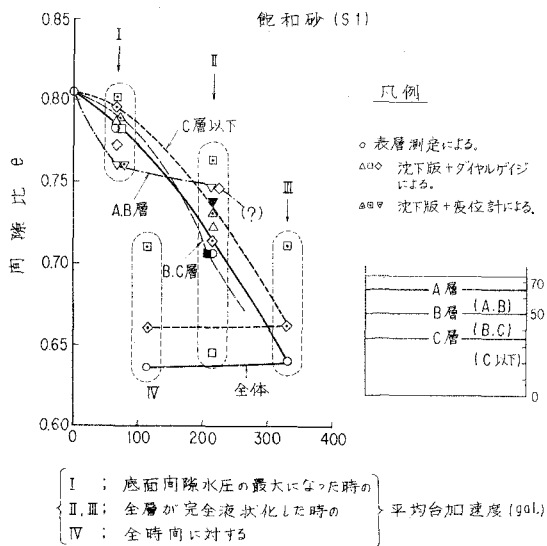


図-9. 飽和砂実験での間隙比変化