

京都大学工学部 正員 工博 長尾 義三
 京都大学工学部 正員 工修 松尾 稔
 京都大学大学院 学生員 ○上田 茂

§. 1. まえがき. 港湾構造物の耐震設計において、地震時の土圧、地盤支持力、斜面の安定、地盤と構造物との振動の相関性等は重要な問題である。二小らの問題を究明するために、まず、振動中の砂の運動状態を知る必要がある。この意味で、振動箱につめた砂に水平振動を与え、振動中の砂層内加速度の鉛直分布、振動後の単位体積重量、および、間けう比を振動前のそれと比較し、二小らと流動現象との関連を定性的に把握しようと努めた。

§. 2. 実験装置. 使用した振動装置は、三相交流電動機による回転運動を、カムにより水平運動に変換する機構の振動台に、高さ100cm、幅100cm、長さ120cm、の箱を取り付けたもので、側壁の一方は強化ガラスにより、内部を透視しうようになっている。可能な振動数の範囲は40~600 R.P.M. 最大変位は±2cm である。加速度測定用ピックアップとして、ひずみゲージ式、容量±2G の市販の加速度計を用いた。そして振動中二小が砂と一休運動を保ちうように、底部に厚紙と薄肉スポンジを重ねて貼り付けた。この方法で得られた砂層内加速度記録は、ある程度の加速度の範囲までは振動台の台加速度記録と、周期、振幅とにおいて相関性が比較的高い。(図1参照)したがって、加速度記録が砂層の加速度を表わしているとみて大うな間違いないと思われる。

§. 3. 実験方法. 使用した砂は、乾燥状態の豊浦標準砂である。振動箱内への詰め方にはバケットを利用して1mの高さから落下させ、緩詰め状態とした。密詰め状態は、変位振幅±0.5cm、振動数180 R.P.M. で振動を与えながら詰めした場合とした。いずれの場合にも、加速度計と単位体積重量測定用の内径7.4cm、高さ5cm、のブリキ製の缶を底面から $d=10\text{cm}$, 20cm , 30cm , 40cm の各位置に埋込んだ。また、二小らの位置には、ガラス面に沿って糸くずを水平に敷き、泥下量を調べた。振動の与え方は次の通りとした。イ)、変位振幅一定、振動数漸増。ロ)、振動数一定、変位振幅漸増。また、振動数、および変位振幅の上昇時間は一定とし、加振時間には加速度記録、内部砂層に着けるしい異常が認められない場合は2~3分とし、その他の場合は適宜増減した。

§. 4. 実験結果とその考察. 今回の実験は、地震時において砂が壁体に及ぼす圧力や、支持力を解明するための予備的実験である。砂の流動性が、構造物の安定性にとって大うな影響を与えることは、新潟地震の被害にみられるとおりである。この意味で、実験結果は加振による砂層内の加速度の特性、単位体積重量、間けう比の変化、および、二小らと砂の流動現象との関連を考え合わせて整理した。図1は、変位振幅一定、振動数漸増の場合の加速度の変化の例である。この図から、砂が振動台と一休となり、運動している範囲(図1, a)で $400\text{gal}_{\text{以下}}$ において台加速度と砂層内加速度とはほぼ同じ値を示している。以上のことから、砂層の加速度の測定値はほぼ正当であると考えるのであろう。図2, a), b), は緩詰め、変位振幅一定の場合に関して、砂層内加速度の、台加速度に対する比を振動数に対して描いたものである。図2, c), は密詰めの場合である。図2, a), b), 中の顕著なピークを呈する振動数とをえげa) では150 R.P.M. b) では190 R.P.M. のところにおいて

砂層上部での流動現象が明確に観察された。一方、

図からわかるように、砂層上部の加速度記録には数多くの小さなピークがあらわれている。このことから、砂層上部は常に流動をともなう不安定な状態にあり、砂粒子の再配列を行いつつに流下が進んでいると考えられる。図2, c), をa), b), と比較すれば、振動初期に小さなピークがあらわれる点では一致するが、今回の実験の振動数の範囲内では、前者の場合のように、後半における顕著なピークはみられない。このことから、一たん締め固められた砂層は、流動化しなれないことがわかる。表1は振動試験前後の単位体積重量、表2は同じく間げき比である。また、わ

わい、実験において、砂層上部の流動化が明確に観察されたのは、変位振幅 $\pm 0.5\text{ cm}$ では、振動数230 R.P.M.でこの台加速度は685 galである。同じく $\pm 1\text{ cm}$ では、190 R.P.M. 699 gal, $\pm 1.5\text{ cm}$ では、150 R.P.M. 592 galである。この結果は、石井等が小石混砂で行った実験結果とほぼ一致する。ところで、地震時における土圧や支持力を究明するためには、振動状態における砂のせん断強度特性を解明することが基本的かつ最も重要な課題であり、本研究もこれを目標としているが、現在は、いまどの点に達していない。そこで、いまかりに、現在震度法に用いられている方法と実験結果を対比してみると以下のようなのである。 $\tan E = \frac{\sigma_v}{1 \pm \sigma_v}$ として、流動化したときの加速度をこの式に用いると、 $\tan E$ は0.6~0.7となる。一方砂層が流動化する直前に、砂層表面はすでに平均3~4 cmほど流下しており、その後急激に流下量の増大がみられた。したがって流動する前の砂の単位体積重量と間げき比は、試験後のそれとあまり変わらないと考えられる。すなわち表1, 2を参照して、これらの値はそれぞれ約1.45, 0.83程度と推定された。これらの値から流動前のせん断抵抗角 ϕ は35°程度と考えられる。震度法においては、見かけの内部摩擦角を $\phi^* = \phi - \tan^{-1} \frac{\sigma_v}{1 \pm \sigma_v}$ で与えることにしているが、これに先の諸値を代入すると ϕ^* は0に近い値となる。

5. あとが、今回の実験の結果の要点をまとめると以下のようなのである。1) 乾燥砂の流動化は緩詰め状態の砂では600~700 galで生ずるが、密詰め状態の砂では流動化しなかった。2) 砂層内加速度の台加速度に対する比と振動数の関係をプロットすると、一定の台加速度に対して、けん着ピークが生ずる。3) 2の点と砂の流動化の間には密着関係がある。

図1. 加速度記録。

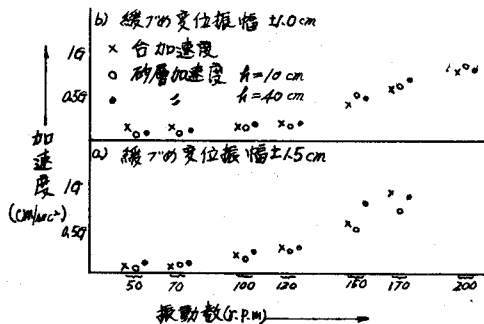


図2. 台加速度に対する加速度比

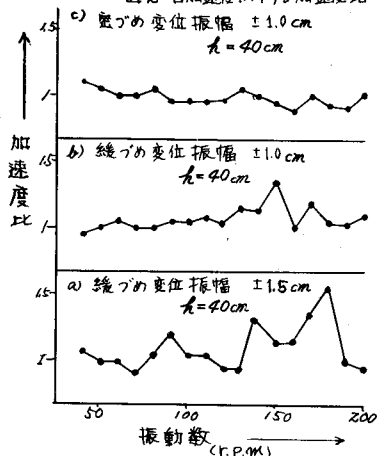


表1. 振動前後の単位体積重量 (g/cm³)

高さ	緩詰め ± 0.5	緩詰め ± 1.5	密詰め ± 1.0
10	1.387	1.427	1.400
20	1.360	1.456	1.370
30	1.443	1.475	1.457

表2. 振動前後の間げき比

高さ	緩詰め ± 0.5	緩詰め ± 1.5	密詰め ± 1.0
10	0.87	0.82	0.79
20	0.91	0.78	0.79
30	0.81	0.76	0.78