

砂の動的性質に及ぼす砂に含まれる粘土の影響
(振動貫入試験機による砂の動的性質について)

日本大学理工学部 正員 宮 森 建 樹

1. まえがき

筆者は昨年簡便な振動貫入試験機を用いて振動貫入を受けたときの砂の諸性質、たとえば砂の粒径分布、間ゲキ比および振動加速度と貫入量および貫入速度などの関係から流動性について若干の検討を加えたが、その後ひきつづいて粘土を含んだ砂について同様の実験を行なったので、その結果について報告する。

砂はある程度以上の加速度の振動を受けると流動化し、セン断抵抗が著しく減少することは一般によく知られている事実である。また粘性土においても振動加速度の増大とともにセン断抵抗は減少するが、砂に比較するとその減少の割合も小さく、流動化することはないといっても過言ではあるまい。このように流動化し易い砂に少量の粘土が含まれる場合、その動力学的な性質は著しく異なるものと考えられる。この砂に含まれる粘土が土の動力学的な性質に及ぼす影響を調べるために振動による貫入試験を行ない、粘土混入量と貫入量および貫入速度、振動加速度と貫入速度および貫入量などの関係を求め、検討を加えた。

2. 振動時の砂および粘土の力学性状

振動時の土のセン断強さについて過去のデータ¹⁾を整理してみると図-1のようになる。これは静的な状態における土のセン断強さと対する振動時のセン断強さの比と振動加速度との関係を示したものである。実線は一定の垂直応力を与えたセン断箱中の乾燥砂に、上下方向の振動を加え、その振幅と振動数を変えたとき、振動加速度の増加に伴うセン断強さの低下の割合を表わしている。破線は海底粘土に対する同様の結果を示したものである。この図から前述のように振動加速度の増加に伴ってセン断強さが減少するが、その傾向は乾燥砂の方が粘土に比較してより著しく、振動加速度が500 gal程度になると急激にセン断強さは減少し、1000 galでは静的な強さの20%程に低下することがわかる。

振動時の土のセン断強さと対する振動時のセン断強さの比

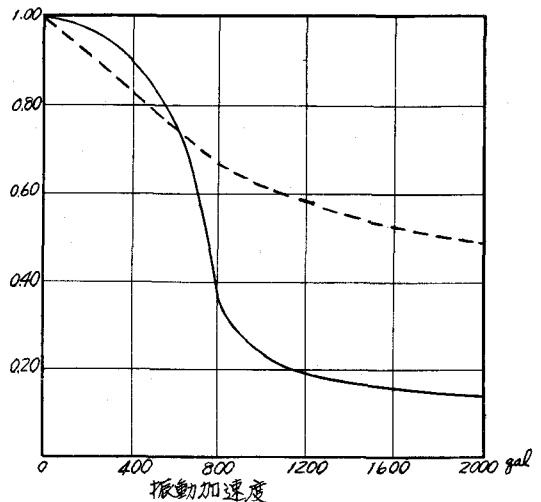


図-1. 加速度と土の強さの関係

3. 実験に用いた土の性質と実験方法

実験には砂として豊浦標準砂を、粘土としてはギブシ粘土を用いた。これらの土の粒径加積曲線は図-2の曲線Aおよび曲線Fである。標準砂は粒径が0.3 ~ 0.15 mmの均一な砂である。ギブシ粘土は粘土40%、シルト56%、砂4%から成り、その塑性限界は58.5%、塑性限界および塑

性指数はそれぞれ 36.7 % , 21.8 % である。

砂と粘土の混合割合は粘土の混入重量百分率をそれぞれ 3 , 6 , 10 および 25 % とし、そのときの粘土の含水比を 58 % とした。

これらの混合土の粒径加積曲線は図-2 の曲線 B , C , D および E に示すごとくであり、またその諸性質は表-1 に示す通りである。

このような配合割合で調整した試料をスパーサーディスクを

はずした C B R 容

器 (内径 150 mm

高さ 175 mm) に

詰め込む。一定の

締固めの状態が得ら

れるように混合土

に対しては 3 層に

分けて容器に詰め、

ヒズミ制御型の載

荷装置を用い、載荷強度 1.0 kg/cm^2 の荷重をかけて締固める。なおこのときできるだけ間ゼキ比が一定になるように十分注意を払った。乾燥砂と飽和砂の締固めは突き棒によって行なった。このようにして作成した供試体に対して、まず静荷重 0.5 kg をかけてクイ (貫入棒: 直径 12 mm , 先端角 60°) を貫入させ、クイが静止したのちに振幅 0.5 , 0.75 , 1.0 および 1.25 mm , 振動数 15 , 20 , 25 および 30% の振動を与えて貫入させ、そのときの振動加速度と貫入量を測定した。

4. 実験結果とその考察

4-1. 振動による貫入量

乾燥砂、粘土混入率 3 , 10 および 25 % の供試体に対する貫入量と時間の関係を示したのが図-3 の A , B , C および D である。粘土を含まない乾燥砂では貫入初期における貫入が著しく、貫入開始から 5 秒後には全貫入量の約 90 % 以上が終了し、その後打ち止まりの現象が見られる。粘土混入率が 3 % の土では貫入初期における貫入量は乾燥砂のそれと比べて小さく、貫入開始後 10 秒程度では打ち止まりの現象は見られなくなり、

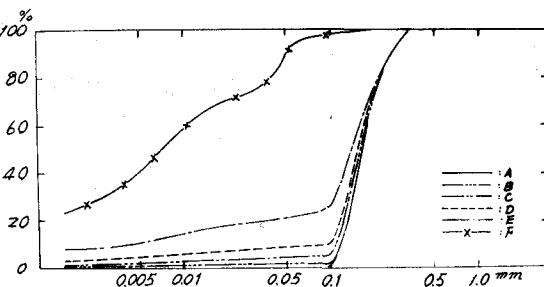


図-2. 試料の粒径加積曲線

表-1. 試料の性質

試料	D ₅₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	均等係数	間ゼキ比	備考
粒度-A	0.17	0.12	0.18	1.5	0.87	気乾燥状態
粒度-A	0.17	0.12	0.18	1.5	0.86	飽和状態
粒度-B	0.17	0.12	0.18	1.5		キダシ粘土混入率 3%
粒度-C	0.17	0.10	0.18	1.8		" 6%
粒度-D	0.17	0.08	0.18	2.3		" 10%
粒度-E	0.17	0.05	0.18	3.6		" 25%

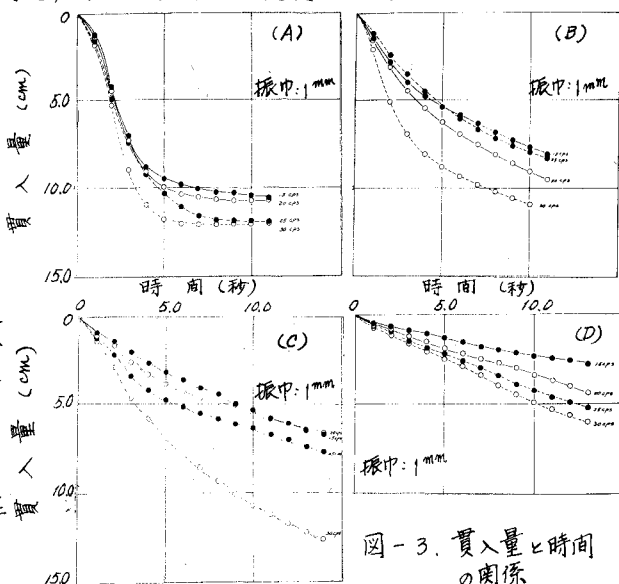


図-3. 貫入量と時間の関係

ゆるやかな曲線に沿って増大してゆく。さらに粘土混入率が増し25%になると各時間における貫入量は他の試料よりそれに較べて非常に小さく、時間に関してもほぼ直線的に増大する。

図-4は粘土混入率を横軸にとり、縦軸に貫入開始5秒後の貫入量をとってそれらの関係を振動数別に示したものである。この図から粘土混入率が3%になると貫入量が小さくなるので動力学的な性質は乾燥砂とは著しく異なり、粘土混入率が増大するに従って貫入量が減少してゆく傾向を示すことがわかる。

4-2. 貫入速度

土が流動化するときの貫入に対する先端抵抗、周囲摩擦抵抗が小さくなるため貫入速度が大きくなる。したがって振動貫入時の貫入速度の大小が土の流動化現象の程度を表わすひとつの指標になると考えられる。時間を横軸にとり図-3から求めた貫入速度を縦軸にヒッて図示したのが図-5である。

Aは乾燥砂を、B、CおよびDはそれぞれ粘土混入率3、10および25%の結果を示している。乾燥砂では初期における貫入速度が大きく、貫入開始後2~3秒で振動数のいかに拘らず最大(3~3.5 cm/sec)になる。その後、速度は急激に減少して7~8秒にはほとんどゼロに近くなる。

これに対し粘土を含む土では粘土の混入率の増大とともに初期における速度は小さくなり、一定の大きさで示すようになる。これらのことから以下のようなことが推察される。振動数15~30%, 振動加速度600~2000 galの振動を与えたとき、乾燥砂では振動数に拘らず極めて短時間(貫入後約5秒間)にクイの周辺の砂が流動化し、抵抗が減少するので貫入量、貫入速度はともに大きいが、その後砂粒子は再配列により密な状態に締固められるので抵抗が増大してクイは貫入しなくなる。粘土を含む土では粘着力によって流動化しにくくなるが、粘土混入率が3%の上では初期における速度も大きく、流動化の傾向が見られる。粘土混入率が25%になると貫入速度は小さく、またほとんど変化していないので、このような土では振動を受けても土の力学的性質は変わらないといえる。

4-3. 振動加速度の影響

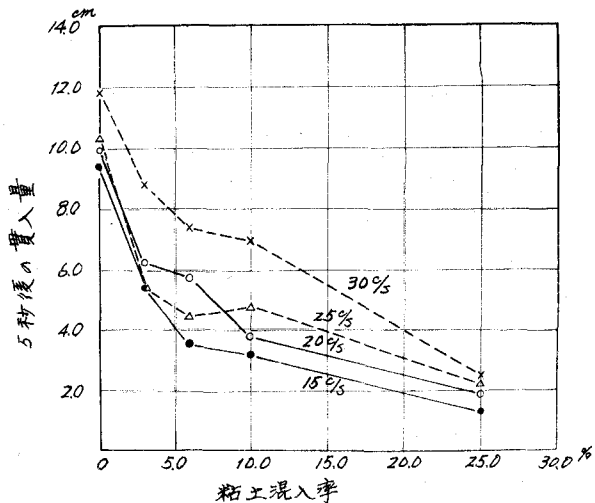


図-4. 貫入量に及ぼす粘土の影響

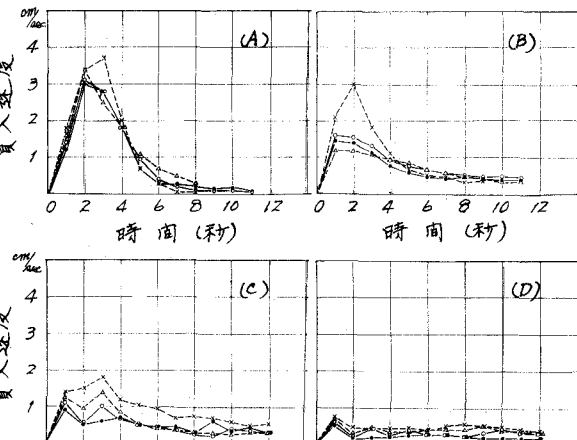


図-5. 時入速度と時間の関係

図-1からもわかるように振動加速度が500 gal 近くになると砂は流動化し、振動加速度の増大とともにクイに対する貫入抵抗は小さくなるので、当然振動加速度が大きくなると貫入速度も大きくなる。貫入時の振動加速度と最大貫入速度の関係を示したのが図-6である。A, B, CおよびDはそれぞれ粘土混入率が3, 6, 10 および25%のときの結果を示している。粘土混入率が3%の土では、最大貫入速度は他の混合土に比較して全般的に大きく、振動加速度が500 ~ 1500 gal の範囲ではその増大は0.6 cm程度でめずかであるが1500 gal 以上になると急激に大きくなる。粘土混入率が6%および10%の土ではその性状にほとんど差は見られないが、振動加速度の増大に伴って最大貫入速度も大きくなる傾向にある。これに対して粘土混入率が25%になると最大貫入速度は著しく小さく、また振動加速度が大きくなってもほとんど変化しない。これらのことより粘土混入率が10%程度までは加速度の影響によって土の力学性状は変化するが、25%になると加速度の影響を受けにくくなることがわかる。

5. おまじ

1) 乾燥砂では貫入開始後、短時間(5秒間)のうちに流動化現象を生ずるが、その後直ちに安定し打ち止まる。粘土が微少量(3%)混入すると流動化の傾向は弱まり、貫入後10秒後程度では打ち止まりは見られない。粘土混入率が25%になると貫入量は時間とともに直線的に増大し、流動化は全く見られない。

2) 振動加速度が増大すると粘土混入率が3%の土では貫入抵抗が小さくなって、最大貫入速度は大きくなる傾向を示すが、25%になると振動加速度の大小にかかわらずほとんど一定となり、振動による貫入抵抗の変化は少ない。

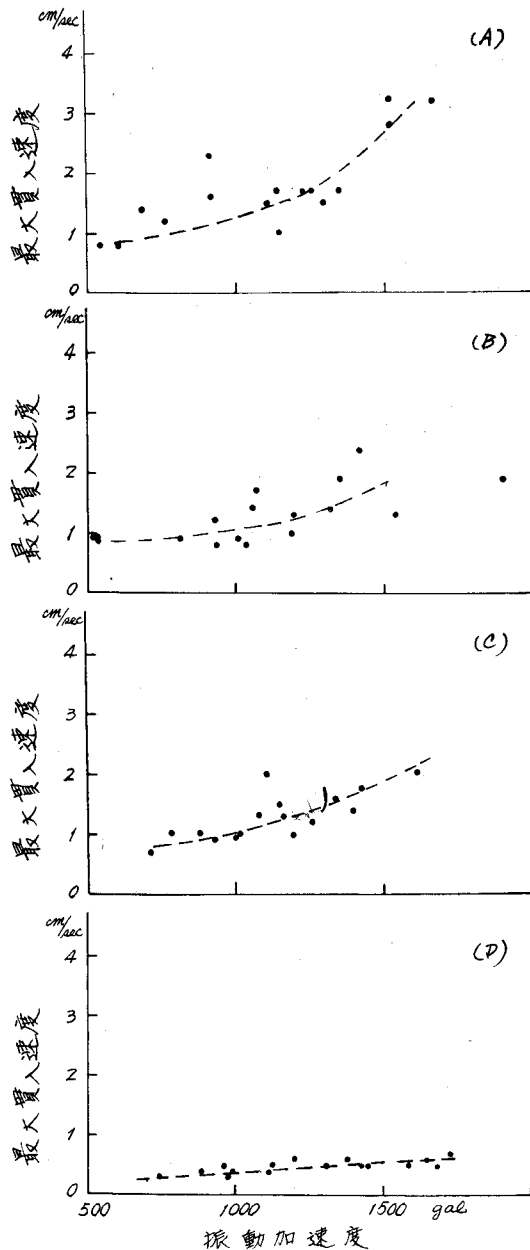


図-6. 振動加速度と最大貫入速度の関係