

日本大学理工学部 正員 浅川 美利

“ “ 〇 宮 森 建 樹

1. まえがき

振動時の砂の性質は耐震工学および施工法工、非常に重要な問題であり、過去において数多くの貴重な研究がなされてきた。そして振動加速度と砂の液状化、せん断強度、乾燥密度および間ゲキ比などの関係が明らかにされてきている。振動時の砂の性質を左右する要因としては粒度分布、形状、間ゲキ比および含水状態などが考えられるが、本研究では特にそれらの要因の中から砂の粒度分布を取りあげた。そしてそれが振動時の砂の性質にどのような影響を及ぼすかについて実験を行ない、三種類の粒度分布の異なった砂に対して、間ゲキ比、振動数および含水状態と貫入片の動的貫入量との関係をしらべた。

2. 試験機について

動的な試験機としては

- i) 軽便であり、また短時間で簡単に砂の動的性質を知ることができる、
- ii) 加振中に、自由に振動数および振幅を変えることができる、
- iii) 少ない試料でも試験が行なえる、

という理由から電磁式の振動貫入試験機を採用した。この振動貫入試験機は電磁式の加振器に直径12 mm、コーン先端角60°の貫入片を接続したもので、その一般図と諸元を示すとそれぞれ図-1、表-1のようになる。

表-1 試験機の性能

項目	諸元
寸法	幅 92.5 × 奥行 75.0 × 高さ 146.5 cm
加振器重量	20 kg
静荷重	0 ~ 20 kg (荷重間隔 0.5 kg)
動荷重	0 ~ ± 5 kg
振幅	0 ~ 4 mm
振動数	15 ~ 500 cps (正弦波)
振動方向	垂直方向

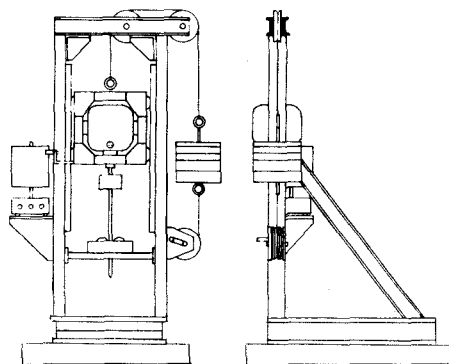


圖-1 試驗機一般圖

3. 試料について

試料は相模川産の砂で、その比重は2.69である。採取試料はかなり粗なものを含んでいたのでフルイ分けを行ない、2mmフルイ通過分の砂を実験に用いた。この砂の粒径加積曲線を示すと図-2の試料-Iのようになる。この粒度分布は新潟の砂のそれとよく似ており、液状化しやすい砂であるといえる。他の試料の調整に際しては、Terzaghiは不安定な砂の性質として $D_{10} < 0.1\text{mm}$ 、均等係数 $e < 5$ を示しているが、ここでは D_{50} をほぼ一定に保ち、均等係数を変化させて図-2の試料-II、III

に示すような粒度分布を定めた。

上記のようにして調整した試料をCBRモールドに詰め、それぞれ i) 流し込みによる方法、ii) 突棒による一層、10回の突固め方法、iii) コンクリート用バイブレーターと突棒の併用による方法によって締め固め、試料作成を行なった。なお飽和砂の締め固めは乾燥試料のそれに準じて行なった。

これらの試料の性質を一括して示すと表-2のようになる。

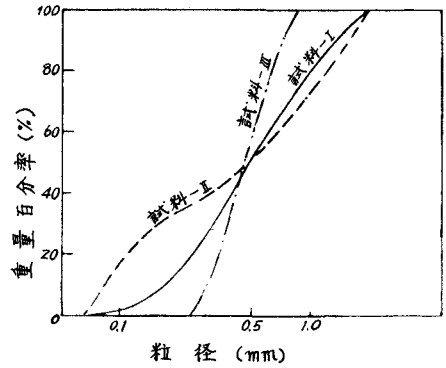


図-2 試料の粒径加積曲線

表-2 試料の性質

試料番号	D ₅₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	均等係数	間ゲキ比		備 考
					乾燥砂	飽和砂	
試料-I	0.48	0.17	0.60	3.53	$e_1 = 0.69$ $e_2 = 0.60$ $e_3 = 0.52$	$e_1 = 0.69$ $e_2 = 0.60$ $e_3 = 0.50$	自然採取試料から粗なものを(粒径2mm以上)を除いた試料。
試料-II	0.48	0.088	0.66	7.50	$e_1 = 0.52$ $e_2 = 0.41$ $e_3 = 0.33$	$e_1 = 0.52$ $e_2 = 0.42$ $e_3 = 0.34$	最大密度を得る Fuller の粒度曲線に準じて調整された試料。
試料-III	0.44	0.28	0.48	1.71	$e_1 = 0.87$ $e_2 = 0.73$ $e_3 = 0.64$	$e_1 = 0.87$ $e_2 = 0.73$ $e_3 = 0.64$	粒径が0.25~0.84mmの試料

4. 実験結果とその考察

上記の三種類の粒度分布の異なった砂に対して、静荷重0.5kg、振幅1mm、振動数15、20、25および30cpsで貫入試験を行なった。これらの実験の結果を示すところになる。

i) 貫入量と f 土(振動数×時間)の関係

動的貫入量と f 土の関係の一例を示すと図-3のようになる。この図から、間ゲキ比と振動数によって多少の相違があるが、貫入初期においては曲線の勾配は大きく、 f 土が増大するとともに勾配は減少し、最終的には一定の貫入量に落ちつくことがわかる。これは貫入量が増大するとともに砂中の貫入部の周囲面積が大きくなることと、振動によってコーンの先端部の砂が締め固められ、先端地圧が増大するのと考えられる。

ii) 全貫入量と間ゲキ比の関係

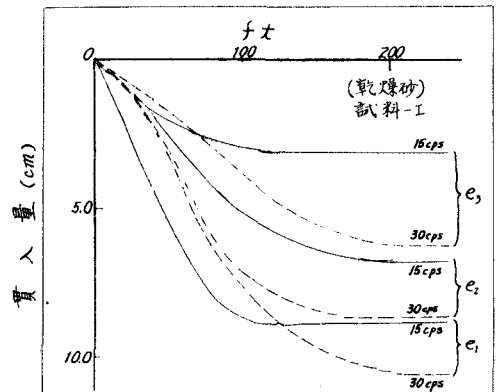


図-3 貫入量- f 土曲線

乾燥砂と飽和砂における全貫入量と間ゲキ比の関係を示すと図-4(a), 図-4(b)のようになる。これらの図から、乾燥砂においてもまた飽和砂においても、同一粒度分布の砂では間ゲキ比の大小によって、全貫入量は著しく変化していることがわかる。

砂の粒度分布による影響については実験数が少ないので極端であることはできないが、実験の結果からはつぎのようなことが推察される。

粒度分布の異なる砂に同一の締固め法によって締め固めても、当然間ゲキ比は変わってくるがそのような試料に対する貫入量にはあまり差がない。たとえば、乾燥砂では流し込み方法によって得られた最もゆるい状態の間ゲキ比は試料-Iでは $e_1 = 0.69$ 、試料-IIでは $e_1 = 0.52$ 、試料-IIIでは $e_1 = 0.87$ 、であるが、振動数が20cpsのときの貫入量はそれぞれ10, 9.3, 9.3 cmとほとんど変らない。このように粒度分布が異なる砂では間ゲキ比の大小によって貫入量を比較することはできないし、また大きな密度を得やすい砂の方がかならずしもより安定であるとはいえない。また飽和砂においても大体似たようなことがいえる。

したがって、砂の動的な問題をあつかう場合、砂の性質を間ゲキ比のみで判断することは危険であり、その砂の性質、あるいは粒度分布、形状と砂の状態、あるいは間ゲキ比、含水状態を考慮しなければならない。

つぎに、 $e_1 - e / e_1 - e_3$ を横軸にとり、貫入量を縦軸にとって乾燥砂の振動数20cpsに対する結果を示したのが図-5であるが、この図から粒度分布の異なる砂においても実験を行なった間ゲキ比の範囲では、間ゲキ比が大きくなるにしたがって、貫入量は同じような傾向で増大していることがわかる。

iii) 静的貫入量(P_0)と動的貫入量(P_0)の関係

横軸に間ゲキ比を取り、縦軸に P_0/P_0 をとって試料-I, IIIの乾燥砂の結果について整理したのが図-6である。この動的貫入量と静的貫入量の比 P_0/P_0 は動的貫入の効果を表わしている。この図からつぎのようなことが考えられる。

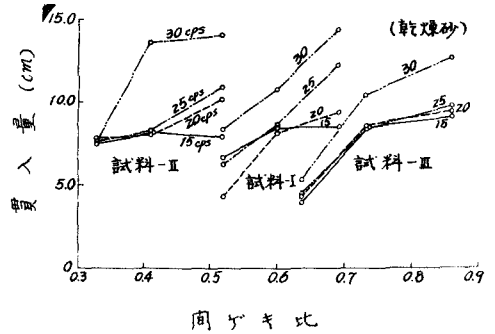


図-4(a) 全貫入量—間ゲキ比曲線

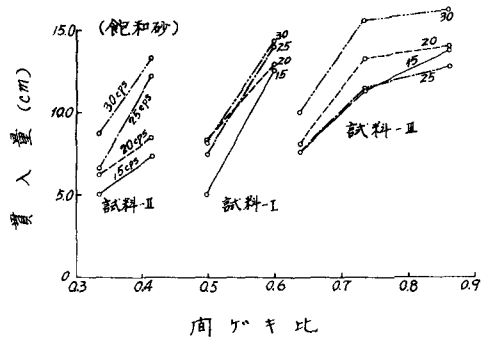


図-4(b) 全貫入量—間ゲキ比曲線

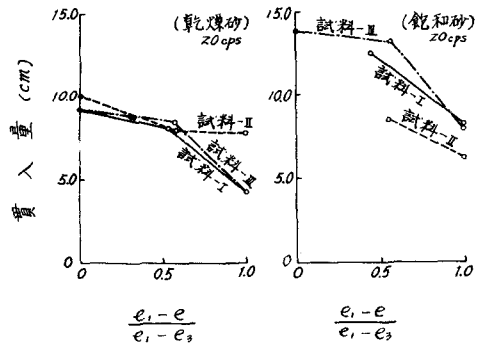


図-5 全貫入量と $\frac{e_1 - e}{e_1 - e_3}$ の関係

すなわち、周ゲキ比が小さいときは貫入抵抗が大きいために動的な貫入効果はあまり期待できない。また周ゲキ比が大きいときは動的貫入量そのものは他の場合に比較して大きい、振動によって砂が締め固まり貫入抵抗が大きくなるためにそれほど量とはならず、逆に静的貫入量が多いので動的な貫入効果は小さくなる。これらの場合に較べて、中間的な締め固め具合の砂では静的貫入量に比較して動的貫入量が多く動的な貫入効果は最も著しいといえる。

iv) 振動加速度

振動加速度の測定は貫入片に取り付けた加速度計（共和電業：120A-5C、容量±5G）によって行なったが、実験に先立って試験機を空中で振動させることによって加速度計の検定をした。この記録から加振器は空中では振動数15 cps以上ではほぼ正弦振動をしていることがわかった。

貫入時の振動加速度と周ゲキ比の関係の一例を示すと図-7のようになる。この図によると貫入時の加速度は周ゲキ比が大きいときには計算値の1.3～1.6倍程度であるが、周ゲキ比が小さくなると1.7～3.9倍とかなり大きくなっている。しかもこの傾向は振動数が小さいときにより顕著である。このような現象は周ゲキ比が大きい場合は貫入抵抗が小さいために空中振動に近い振動を行なうが、周ゲキ比が小さくなると貫入抵抗が増大し振動が衝撃的になるためであろうと考えられる。

5. おまじ

以上まとめるにつぎのようになる。

i) 実験に用いた試料の限りでは、粒度分布の異なる砂を同一の方法で締め固めると当然周ゲキ比は変わるが、貫入量にはあまり差がない。

ii) 最もゆるい状態と密な状態のあいだに動的な貫入効果の最も期待できる状態がある。

本研究では砂の動的性質に影響を及ぼす要因の一つとして粒度分布を採り上げ実験を行なったが、今後はさらに幅広い粒度分布をもった土に対して実験するとともに、この機械の特徴を生かして砂の力学的性質と貫入量との関連性を求め、動的サウンディング試験機としての適用性を検討していく預りである。

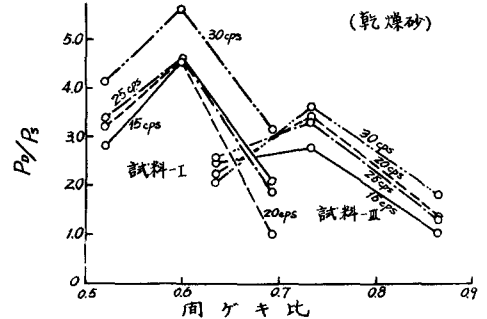


図-6 P_0/P_s と周ゲキ比の関係

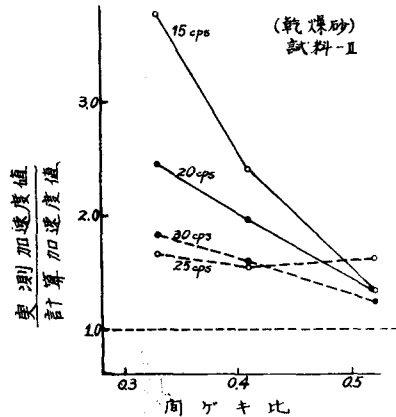


図-7 実測値/計算値と周ゲキ比の関係