

# 側方拘束土の振動締固めに関する実験的研究

正員 村山 朔郎\*  
 正員 谷本 喜一\*\*  
 準員 松野 三朗\*\*\*

## 1. 緒 言

振動締固めには種々の要素が影響をもつて、現場実験のみによつて締固め機構を明らかにすることは極めて困難である。そこで著者らはモールド及び振動機を用いた室内実験によつて締固め性状を究明し、現場における締固め機構の解明をはかつた。

## 2. 実験装置及び方法

使用したモールドは JIS A 1210 に規定されたものと同一寸法を有するが、側面の上下 2か所にスリットを設けてある。このスリットは後に述べるように試料の内部摩擦に関する測定に利用されるものである。

振動機は位相可変の偏心質量を有する two-mass 型のもので（自重 4.4 kg, 最大出力 100 kg), 1/8HP 可変速モータによりフレキシブル・シャフトを介して駆動される。振動荷重は振動機下部に取り付けられたプランジャー（断面直径約 10 cm）を通じて試料上面に伝えられる。

試料は大阪府庭園淨水場から採取した砂質土（以後土 A と記す）及び京都大学土木工学教室校庭の砂質土（以後土 B と記す）の 2種で、それらの粒径加積曲線を 図-1 に示す。

締固めは便宜上 2層にわけて行い、各層について加振中ならびに加振後に次の測定をした。

振動締固め機構を究明する場合には、土質（本実験では上記の砂質土のみ使用）、試料含水比、振幅、振動数、振動力及び振動機全重量（プランジャー及び附加加重錐の重量を含む）などが重要な影響をもつものと思われる所以、これらの量を種々に変えてその効果について知る必要がある。従つて振幅測定にはダイヤル

・ゲージ振動計を用い、振動数はモータ回転数をタコ・メータで読み、偏心質量の位相差と振動数から振動力を計算した。各層の加振時間を一応 3 分間と限定したが、これは予備実験によつて求めた締固めがほぼ飽和する時間である。加振後試料の含水比及び乾燥密度を求めた。

振動締固めにおいては試料が振動することによってその物性が静止時と異なつてくると考えられる。またその主なものは試料の内部摩擦変化であろう。これを検証するため、0.1 mm × 13 mm の断面を有する鋼製ストリップをモールド側壁のスリットにあらかじめそう入しておき、加振中ならびに加振直後にスプリング・バランスで引き抜いて、抵抗の差異を調べた。この引き抜き抵抗は眞の内部摩擦を示すものではないがその間接的指標として簡単であり、また後に述べるように締固め効果と密接な関係にあるものである。

## 3. 実験結果

### i) 含水比特性

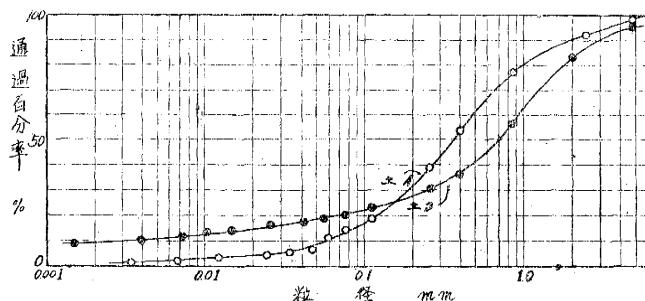
試料含水比のみを変化させ、振動条件その他の締固めの条件を同一とした場合の締固め特性を示すもので、JIS の標準締固め試験と同種類のものである。実験結果は 図-2 に示す通りで、振動締固めにおいても締固め勢力に応じて最適含水比、最大乾燥密度が変化する。図に示した結果は振動条件としては 2種類のみであるが、これを変化させた場合も傾向としては類似している。また土 B に関する結果はほぼ同一であるので省略する。なお図に記した  $\alpha$  は次のように定義される量である。

$$\alpha = (\text{振動機全重量}) / (\text{振動力})$$

### ii) 振動数特性

\* 工学博士、京大教授、工学部土木工学教室、\*\* 神戸大講師、工学部土木工学教室、\*\*\* 建設技官、土木研究所

図-1 粒径加積曲線



振動数のみを変え、他の振動発生条件、土質条件を一定とした場合の締固め特性を調べた結果 図-3を得た。

図-2 含水比特性

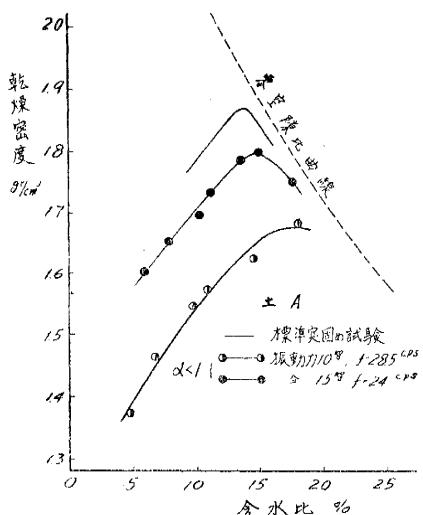
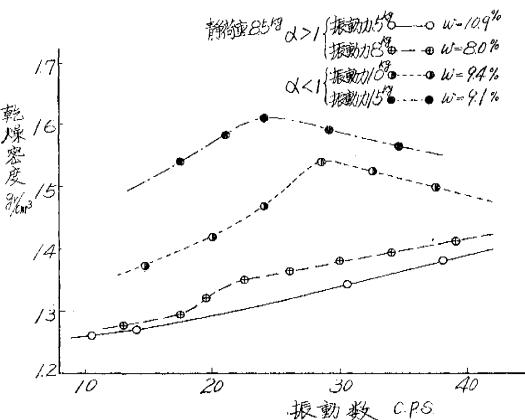


図-3 振動数特性



図にみるように  $\alpha < 1$  なる場合には特定の振動数でもつともよく締ることがわかる。すなわち最適振動数が存在することになるが、その値は図においても知られるように一般に振動力その他によつて決められるようである。また  $\alpha > 1$  なる場合には振動数の増加とともに次第に締固め度も高くなつてゐるが、これは 40 cps までの結果であるから一概にそうであるとは言えない。むしろある振動数において最大乾燥密度が得られると考える方が常識的でもあり、事実ローラの締固め試験ではそれを裏書するような結果がでている。本実験では振動機その他の能力の点で高い振動数について実験できなかつたのは残念である。

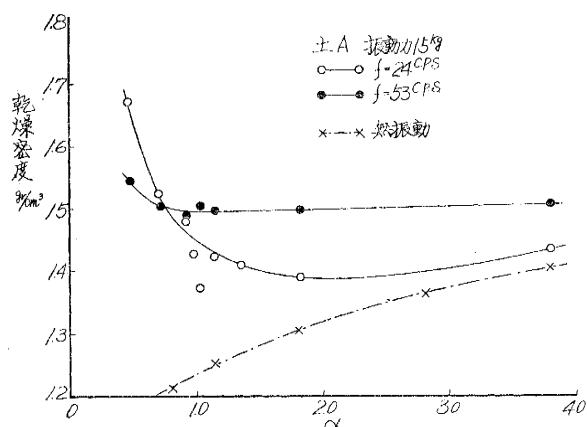
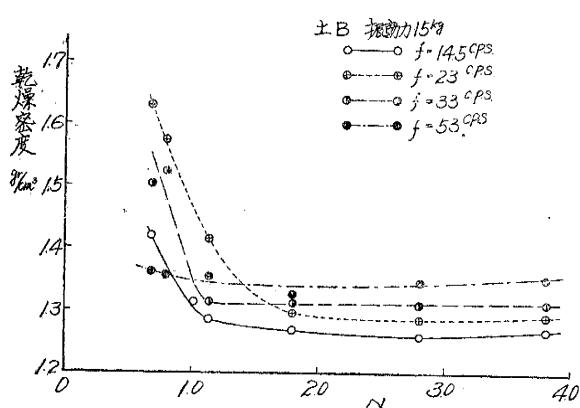
いずれにしても、 $\alpha > 1$  の場合には一般に  $\alpha < 1$  の場合の最適振動数よりも高い振動数を用いる方が有利であることが言える。

### iii) $\alpha$ 特性

ii) において  $\alpha < 1$  の場合と  $\alpha > 1$  の場合は締固め特性が若干異なることを述べた。ここで振動力を一定として附加重錘を加減することにより振動機重量を変えて  $\alpha$  を変化させた場合、締固め効果がどのようになるかを試験した。結果は土Aについては図-4、土Bについては図-5 のようである。

図-4, 5 によれば  $\alpha = 1$  附近を境として  $\alpha$  が小さい場合に締固め度が大きいことが知れる。常識的に考へれば一定振動力においては、静荷重が大きい方が締固め度も大きいと思われがちであるが事実は反対である。この理由は後に述べるように振動振幅あるいは振動エネルギーに帰着せしめられる。

図-4 の鎖線は無振動状態で振動機重量を載

図-4  $\alpha$  特性(土A)図-5  $\alpha$  特性(土B)

せた場合の結果で、この横軸は  $\alpha$  における振動機重量で記入してある。静荷重増加とともに乾燥密度が高くなることは当然で、これを振動載荷の場合と比較するとき  $\alpha$  が増大するにつれ振動効果が減少することが知れる。

#### 4. 考 察

前節の振動数特性、 $\alpha$  特性は一応の締固め特性を表わしているけれども、締固め機構を考える際にはさらに進んだ考察が必要である。以下に述べるのは含水比が一定(約 10 %)の場合について資料を整理した結果である。

2. において記したように、加振中ならびに加振後のストリップの引抜き抵抗を測定したが、その結果一般に動態時の引抜き抵抗値は静止時のそれより小さいことが知れた。そこで

$$\text{比摩擦} = (\text{動態時引抜き抵抗}) / (\text{静止時引抜き抵抗})$$

なる量を定義し、この量と乾燥密度との関係を求めて 図-6を得た。図-6によれば  $\alpha < 1$  の場合には測定値がばらついて両者の関係は明らかでないが、 $\alpha > 1$  の場合には比摩擦の減少すなわち試料内部のかみ合いが減少するにつれて乾燥密度が増加することがわかる。一方比摩擦と振動加速度とは関連性があるから<sup>1)</sup>、振動加速度と乾燥密度との間にも関連性があるものと考えられる。振幅測定値から加速度を計算し、乾燥密度との関係を求めるとき 図-7 が得られる。図-7より  $\alpha > 1$  の場合には加速度の増加とともに乾燥密度が増加することが知れる。 $\alpha < 1$  の場合には両者の間に関連性がみ出だされないので図中には省略した。

さらに種々の実験を行い、加速度と乾燥密度との関係を半対数紙上に図示すると 図-8 のようになる。これはすべて  $\alpha > 1$  の場合で、種々の振動条件における実験の結果を総合したものであるが、振動条件の如何にかかわらず振動機重量(上載荷重)と加速度のみによって乾燥密度が決定されることを表わしている。しかも平行な直線で示されることは、加速度が零(無振動)の場合の測定値からも裏づけされる。

つぎに振幅と乾燥密度との関係を調べて 図-9を得たが  $\alpha > 1$  の場合に両者の関連性がはつきりわからないにかかわらず、 $\alpha < 1$  の場合には振幅増加とともに乾燥密度は増大することが知れる。

振幅は振動エネルギーと相関性があるから、 $\alpha < 1$  の場合には

図-7, 8 加速度と乾燥密度との関係

図 7

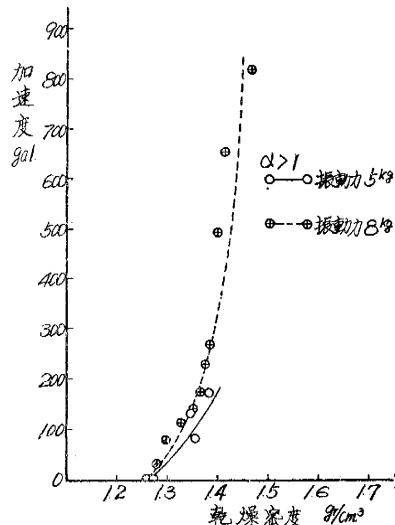


図-6 比摩擦と乾燥密度との関係

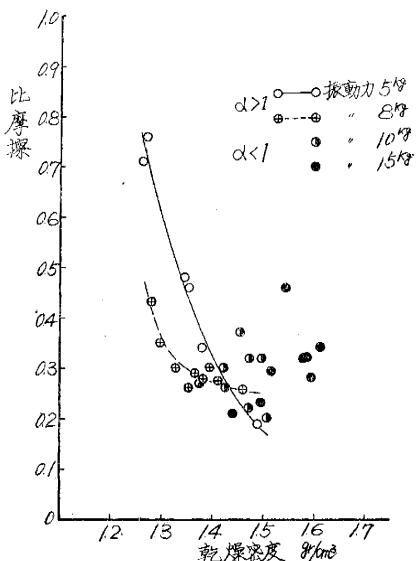
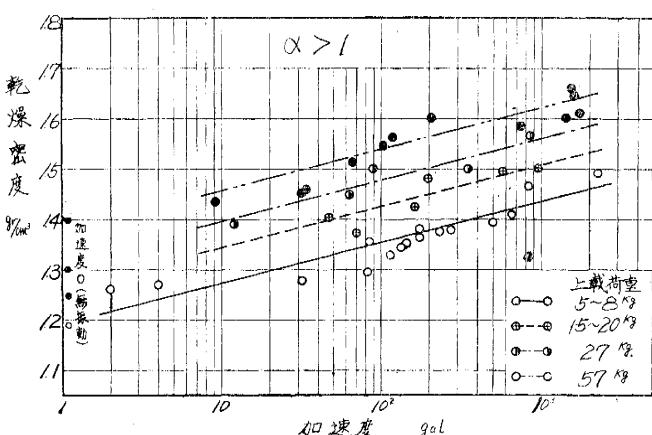


図 8



振動エネルギーと乾燥密度との間に関連性があることが予想される。 $\alpha < 1$  の場合には振動力が振動機重量を上回

るから、理論的に言つて振動機は跳び上ることになる。すなわちこの場合の締固めは衝撃的である。衝撃エネルギーと乾燥密度との関係を求める前に、まず衝撃エネルギーを次のように定義する。

1サイクル衝撃エネルギー =  $\{(\text{振幅}) \times \{(\text{振動機重量}) + k \times (\text{振動力})\}$  ここで振幅は全振幅を表わし、落下高に外ならない。また  $k$  は理論的に言えば 0 と 1 の間の値をとり、振動条件、試料弹性などによつて変化するので、その決定は困難である。ここでは一応  $k=1/2$  とおいて衝撃エネルギーを定義して以下の整理を行つた。

このようにして計算した 1 サイクル当りの衝撃エネルギーと乾燥密度との関係を図示すると 図-10,11 が得られる。図-10 は土 A 図-11 は土 B に関する結果であるが、 $\alpha < 1$  なる場合にはいずれも半対数紙上で直線関係にあることがわかる。 $\alpha > 1$  の場合には関連性はみられない。なお  $\alpha < 1$  の場合には衝撃的締固めであるので、ランマーによる締固めに類似しているが、事実図中に示したランマーによる締固め結果と比較するとき両者の測定結果が同一直線上にあることよりその類似性が一層明確になる。

図-10,11 に示した 1 サイクル当りの衝撃エネルギーとそれによる締固め範囲の乾燥密度との関係は種々の振動条件に対する実験結果を単に衝撃エネルギーのみで整理したものである。従つてこの結果によれば、 $\alpha < 1$  の場合には他の加振条件にかかわらず衝撃エネルギーの大小によつて到達すべき締固め度が一意的に決定されることになり、他の加振条件は直接的因子ではないことになる。たとえば最適振動数は振動機と試料とから成る振動系の共振振動数に近いから、その場合には振幅が大きくなり、衝撃エネルギーもまた大となるため締固め度が高くなるものと解釈される。

## 5. 要 約

以上述べたことがらの要点を整理すればつきのようになる。

i) 振動締固め機構は  $\alpha > 1$  なる場合と  $\alpha < 1$  なる場合とでまったくその様相が異なる。

ii) 含水比が一定の場合、 $\alpha > 1$  なる振動においては締固め度は振動加速度と振動機重量とで決定される。その関係は 図-8 にみる通りである。

iii) 含水比が一定の場合、 $\alpha < 1$  なる振動においては締固め度は振動(衝撃)エネルギーによつて決定され、その関係は 図-10,11 に示すようである。

iv) ランマーによる衝撃締固めの機構は、振動締固めの  $\alpha < 1$  なる場合と類似している。

図-9 振幅と乾燥密度との関係

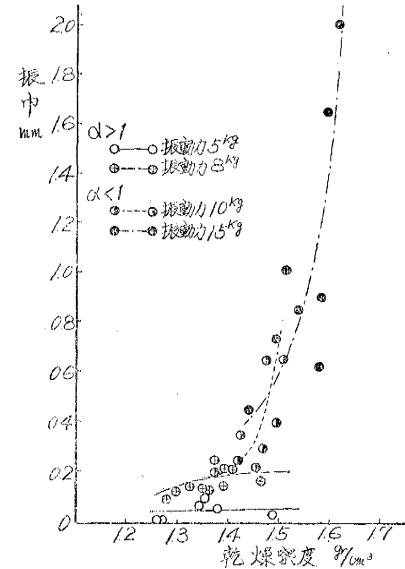


図-10 衝撃エネルギーと乾燥密度との関係(土 A)

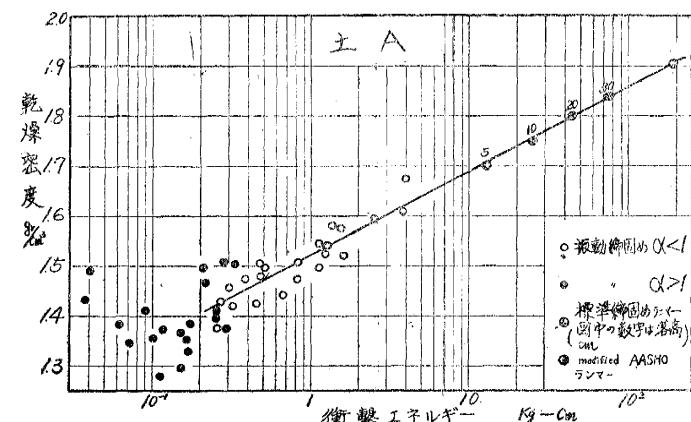
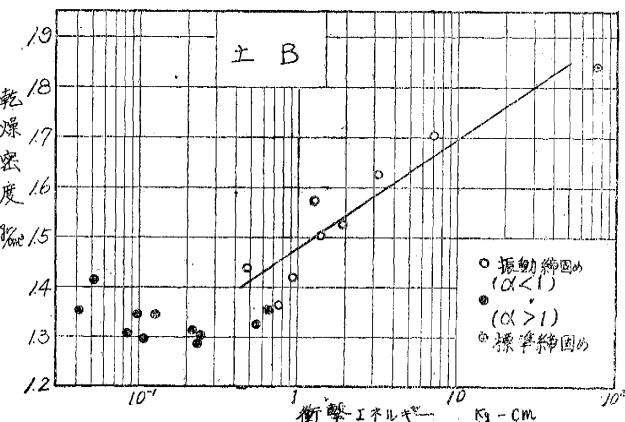


図-11 衝撃エネルギーと乾燥密度との関係(土 B)



## 6. 結 言

本論文はモールド内の試料の締固め性状について述べたもので、この結果の実用性、応用性についてはなお研究すべき幾多の問題が残されている。たとえば振動式ローラについては振動荷重のほかに輻動効果を考えるべきであり、また野外においては土は側方非拘束状態にあるから、土の側方流動の影響は当然入つてくるであろう。その他室内試験状態と現場状態との間には無視できない多くの差異が考えられる。しかしながら著者らが現地試験<sup>2)</sup>あるいは模型振動式ローラを用いた室内試験<sup>3)</sup>などについて現在までに得られた結果は本実験結果と少なくとも定性的には一致する傾向があることが知れている。模型振動式ローラによる実験は現在なお実施中であるから近くその結果を発表したい。

## 参 考 文 献

- 1) 村山朔郎、谷本喜一：軟弱な支持層を有する粒体層の振動性状について、土木学会誌 41-3, p.85 (昭31-3)
  - 2) 村山朔郎、谷本喜一、松野三朗：表面振動による砂質土の締固めについて、土木学会誌 40-11, p.598 (昭 30-11)
  - 3) 村山朔郎、谷本喜一、松野三朗、黒川史郎：土の振動締固めについて、第3回道路会議論文集, p.553 (昭 31-6)
- (昭.31.6.25)

