III−34　　路床・路盤構造体内の応力分布に関する実験的研究

京都大学工学部　正員　赤井浩一
電力中央研究所　正員　塩見　哲

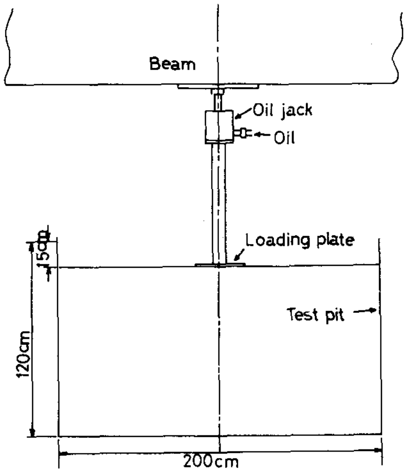
1. 概説

路床・路盤構造体内の応力分布を調べるために大型の土槽を用いる模型実験を行なった。構造体の機能上，対象とした条件は通常の静的荷重のほかに，動的荷重による地盤内応力の特性，載荷速度と応力の関係，支持荷重と応力の関係，荷重波形と応力の関係などを調べた。

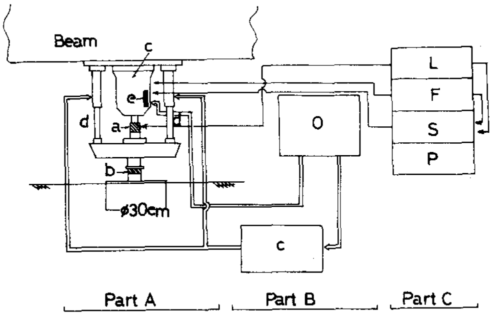
2. 実験装置と方法

使用した大型土槽は縦横2m，高さ1.2mの鋼製で，土槽内には底から1.05mまで土を入れた。路床・路盤の模型となる土には砂，砂質ロームそれぞれ一層系と上層が砂(厚さ30cm)，下層が砂質ロームの二層系の3種を用いた。載荷板は半径 $a=15cm$ の鋼製の剛性載荷板と水袋を用いたたわみ性載荷板の2種である。図−1は静的載荷試験，図−2は動的載荷試験の装置の概要を示す。図−2においてAは荷重発生部であって，a：制御用ロードセル，b：計測用ロードセル，c：動荷重シリンダー，d：支持荷重シリンダー，e：サーボバルブを示す。またBは動力部であって，O：油圧源，C：支持圧力保持装置である。またCは制御部であって，L：荷重増幅器，F：関数発生器，S：サーボアンプ，P：圧力源制御装置である。動的載荷装置は電子油圧式の起振機を主体とし，静的支持荷重の容量は2 ton，振動荷重は±500kg，ピストンストロークは10cmである。

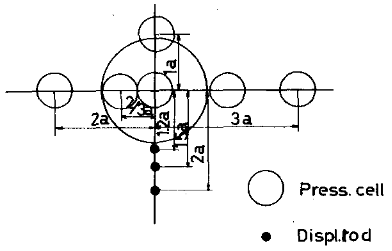
土中に埋設した土圧計は容量が1 kg/cm²のものと2 kg/cm²のものの2種であって，深度は0.5a，1a，2aおよび3aのおのおのである。これらの深さにはまた沈下測定桿も設置され，載荷板の変位はダイアルゲージで測られた(図−3参照)。



図−1



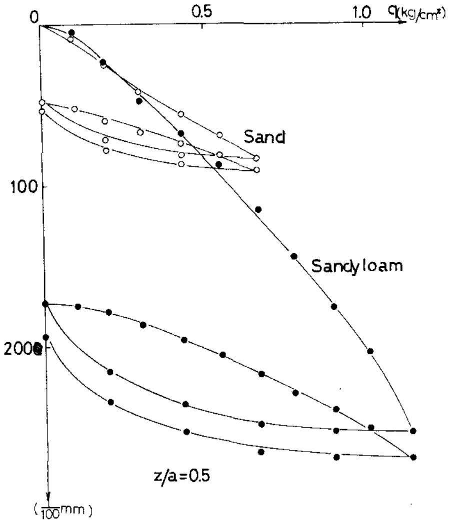
図−2



図−3

静的載荷試験では油圧ジャッキにより荷重を段階状にかけ，最大平均接地圧は1.14 kg/cm²とした。1段階の増加荷重は0.10 kg/cm²であって，最大荷重到達後は0.20 kg/cm²ずつの段階状除荷を行なった。

一方，動的載荷試験では荷重は矩形波と $q=q_s+q_d \sin 2n\pi t$ で表わされる正弦波荷重を使用した。そして支持荷重 q_s を3段階（0.45 kg/cm², 0.66 kg/cm², 0.88 kg/cm²）に変化させ，動的振幅は $q_d=0.21$ kg/cm² を，振動数は $n=0.5$, 1, 5 cps の3種を用いた。なお矩形波においては，振動数は1 cpsのみで実験を行なった。また載荷板は剛性のものだけを用いた。

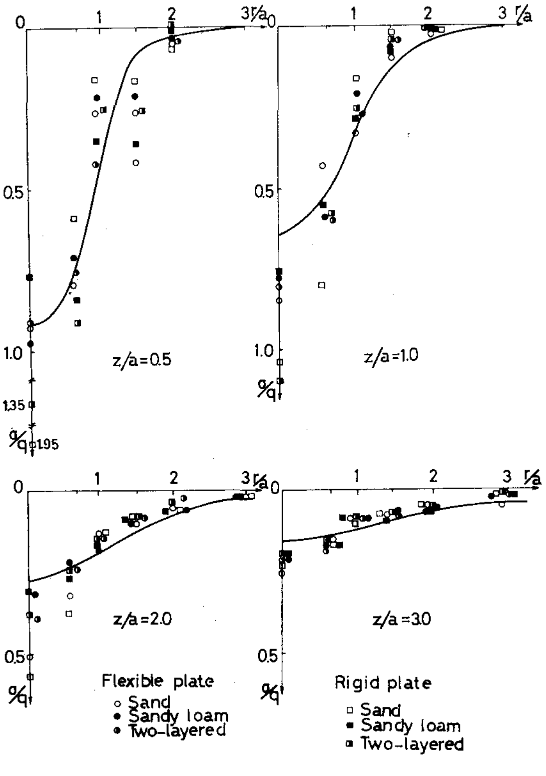


図－4

3. 静的載荷実験の結果と考察

図－4は砂および砂質ロームのおのおの一層系に対する $z=0.5a$ の深さでの荷重－変位曲線を示す。この場合，載荷板円周外の砂は，たとえ荷重が増加していっても荷重分担率はほとんど増加せず，載荷板直下の応力にのみ増加がみられる。すなわち荷重増加にともなう応力集中度の減少は荷重分担領域の増加にともなうものではなく，部分的な締固まりのために周辺部の砂の荷重分担率が増加したものと考えられる。

図－5は砂または砂質ロームの一層系と，この両者による二層構造体内の静的鉛直応力分布を，たわみ性および剛性載荷板のそれぞれについて比較して示したものである。この図を含めて以下では地盤内応力はすべて上載荷重 q との比で無次元化して示す。この図から，砂質地盤では弾性論による理論値（実線）と比べて応力がいちじるしく載荷板直下に集中すること，剛性載荷板を用いた場合二層系内の応力は砂と砂質ローム各一層系の中間値となるが，たわみ性載荷板では3種の場合とも地盤内応力に大差はないことがわかる。結局地表に近いところでは，応力分布は土質よりむしろ載荷板の剛性に左右されるが，深所では土質の影響のほうが大きくなるものといえる。



図－5

4. 動的載荷実験の結果と考察

図-6(a)〜(c)は $n = 1$ cps の振動数をもつ正弦波荷重に対して，$z = 0.5a$ なる深さでの鉛直応力 σ/q の水平方向分布を砂層，砂質ローム層および二層系のそれぞれについて示したものである。各構造体とも支持荷重の影響があるとみられるのは $z = 1.0a$ の深さまでであった。

まず砂層構造体については，図-6(a)から支持荷重の増加とともに $r = 0$（載荷板中心直下）では地盤内応力が減少し，$r = 2/3 \cdot a$ では逆に幾分増加する傾向がみられる。これは載荷板下の砂の締固まりによって粒子間摩擦が増大したためと考えられる。次に砂質ローム層構造体では，図-6(b)から支持荷重の増加とともに $r = 0$，$2/3 \cdot a$ で応力が減少している。これはせん断抵抗の動員される領域が広がったことによるものであろう。また二層構造体については，図-6(c)から支持荷重 $q_s = 0.45$ 〜 0.66 kg/cm² 程度ではほとんど応力が変化せず，$q_s = 0.88$ kg/cm² になって載荷板下のすべての位置で地盤内応力が大きく出ている。これは粘性をもつ下層と剛性載荷板との間に砂層が挟まれたことによる一種のサンドウィッチ効果であろう。

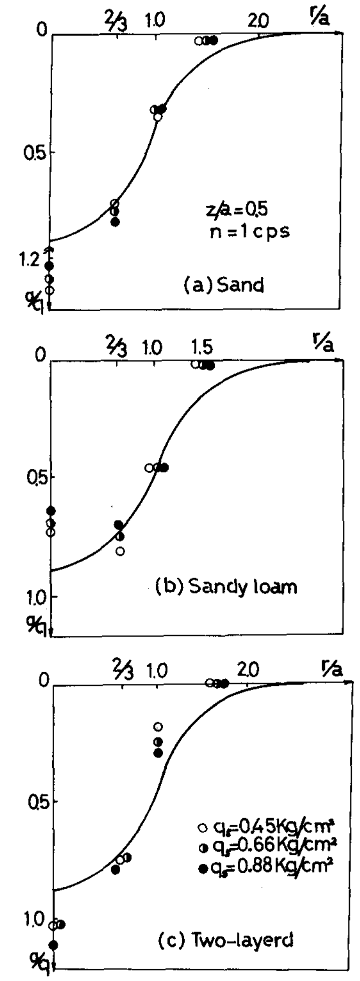


図-6

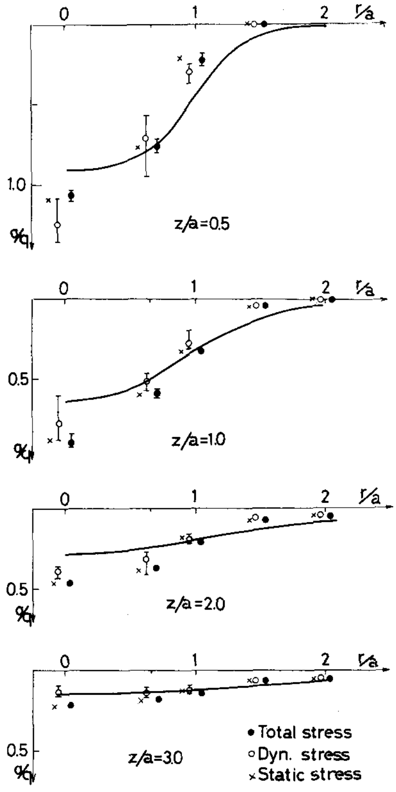
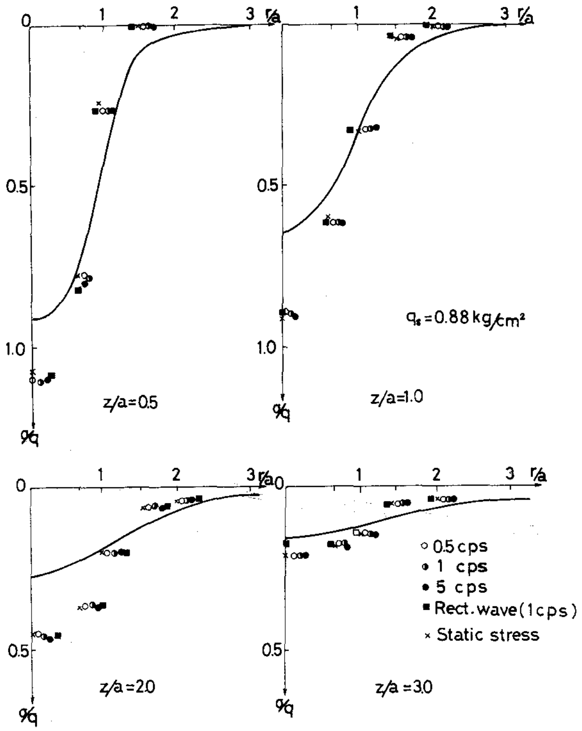


図-7

次に二層系地盤について静的応力，動的応力およびこれらの合成応力の比較を行なう。図-7は地盤内各深度における三者の応力分布を示すが，この図から動的応力の散らばりは深度の小さいところで大きいこと，$z = 0.5a$ の深さを除いて合成応力は静的応力にほぼ等しいか，少し小さい値を示すことが知られる。

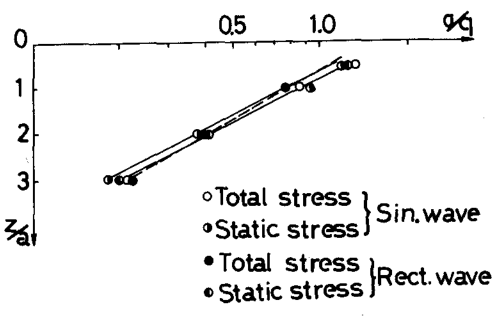
最後にやはり二層系について，地盤内での応力におよぼす振動数と振動の型の影響を調べることにする。二層系地盤に動的な載荷を与えると，二層の境界面において通過する応力波のほかに反射波が生じる。これらの波は縦波，横波，表面波からなり，したがって測定される応力値も一層系の場合とは当然異なるものが期待される。図－8は二層系地盤の各深度における応力を示しているが，これより次のことが言えるであろう。すなわち，さきの静的載荷実験からもわかるように，載荷板直下への応力の集中は $z=2a$（境界面）程度ではそれほど大きくなく，この付近では下層の影響は比較的小さい。また下層に用いた砂質ロームは若干粘性を有し，かつこの層内の応力値自体が小さいので，下層は振動荷重に対しては剛性層のようにふるまう。したがって全体として二層構造体をみるとき，動的な荷重に対しては剛な層上に層厚 $2a$ の砂層がある場合の状態と同様な結果となった。もし上層の厚さをさらに小さくすれば，これとは異なった応力分布となることが予想される。



図－8

荷重波形が二層系地盤内の応力分布に与える効果は図－8にみるようにあまり顕著ではない。ここでは図示していないが，砂質ローム一層系において矩形波の場合，正弦波に比べて載荷板の中心軸上で応力が大きく，$r=2/3\cdot a$ では逆に小さくなっているのと対照的である。

深さによる地盤内応力の減少の様子は図－9に示されている。与えた荷重は正弦波と矩形波の両者であるが，前者の場合には地盤内応力がピークに達するまで若干の立上り時間を要したが，一方後者では瞬間的にピークに達した。図では荷重波形の影響をみるだけの目的で，振動数としては1 cpsをとっている。この図から地盤内応力が深さとともに指数的に減少していることが知られる。



図－9

この研究には，昭和43年度文部省科学研究費（試験研究）の交付を受けた。また実験には学部学生米田光明君（現南海電鉄KK土木部）の助力を得た。さらに一部土圧計の製作と検定にさいして名古屋大学工学部 市原松平教授・植下 協 助教授の指導と助言をいただいた。いずれも付記して深甚の謝意を表するものである。