

防衛大学校 正員 竹田 仁一  
 防衛大学校 〇正員 藤本 一男  
 防衛庁 正員 寄田 修

1. はじめに

大地震の場合のように、土・構造物系の動的相互作用の対象のすみが大さい場合、もはや弾性的取扱いが許されないと考えられる。筆者らは、このような場合について数年連続的研究を行なってきた。この問題を複雑にしているのは次のような事項である。

- (1) 構造物をとりまく土(特に隣接する土)の構成方程式は非線型であり、またダイラタンシーの影響も受ける。
- (2) 系の変形速度は、外力の載荷速度および大きさ、構造物の固有振動数との関係によって大きく変化する。従って、相互作用に影響をもつと考えられるその率 effect についても変形速度の広い範囲にわたって知る必要がある。
- (3) 変形速度が土中応力の伝播速度と Comparable の大きさになると、相互作用には応力波の影響が加わる。
- (4) この問題の解決には、系の境界における動的な連続条件も明らかにされる必要がある。

筆者らは、取扱いを簡単にするため二次元透視槽について研究したが、その一環として行なった透視槽による実験を報告する。この実験では、写真撮影により砂と構造物の変形性状を求め、既往の研究結果とあわせて、種々の検討を行なった。なお、動的載荷の場合は、高速度カメラにより撮影した。

2. 実験装置と実験方法

本実験では、一定密度に充てんした二次元透視槽(図-1)中の砂層に載荷棒で種々の速さの荷重を加え、砂の移動、砂中応力等を測定した。砂層には構造物として鋼製シリンダー(外径100mm、長さ100mm、厚さ4.0mmおよび0.5mm)を埋設したものと、埋設しないもの合計3種である。載荷速度は3段階で、載荷棒の平均変位速度 $\delta = 0.1 \text{ mm/s}$ (静的)、 $\delta = 6 \text{ mm/s}$ (準動的)、 $\delta = 4800 \text{ mm/s}$ (動的)である。砂の移動を知るため、写真に示したように、マーク棒を配置した。このマーク棒(直径3mm、長さ97mm)はアルミパイプの周囲に樹脂をつけ、それに砂をまぶし、パイプの中には砂を詰め、周囲の砂と同じ動きをするようにしてある。また、棒端は、黒いマークを貼りつけ、アクリル板面にシリコンゲリスを介して密着させた。載荷は静的ではジャッキ、準動的では油圧ラム、動的ではトーションバーのねじりモーメントのエネルギーにより載荷棒を震入させた。マーク棒の移動は写真撮影を行い、フィルム解析装置によって測定したが、動的載荷の場合は高速度カメラ(撮影速度約3800コマ/s)を用いて行なった。また応力測定用の圧力計は、砂槽中のマーク棒の一部、シリンダーの周辺および、載荷棒の先端に配置した。また、使用した砂は豊浦産標準砂で、気乾状態の砂を密度 $1.528 \text{ g/cm}^3$ になるように締め固めた。

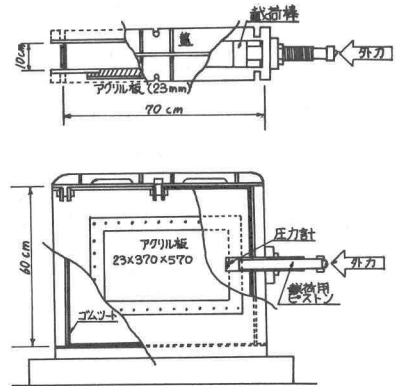


図-1. 実験用透視砂槽

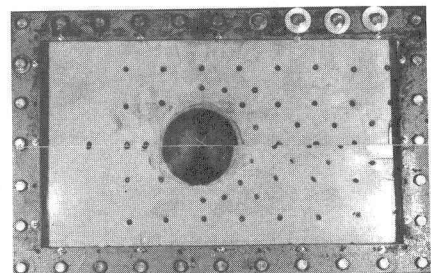


写真. 砂層のマーク棒およびシリンダーの設置  
 (上): 実験開始前. (下): 実験中(静的)

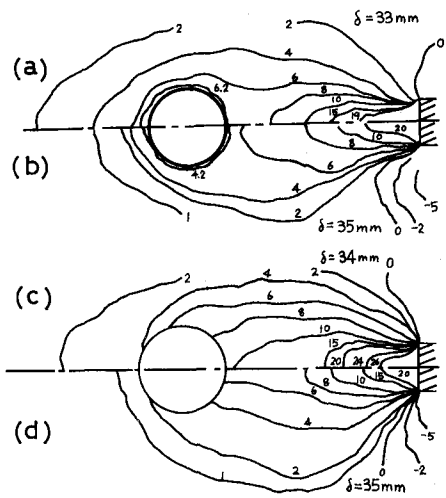


図-2. 載荷軸方向の等変位線の1例(単位mm)  
 (a),(b) 厚さ4mmシリンドラ埋設 (a),(c) 動的載荷  
 (c),(d) 厚さ0.5mmシリンドラ埋設 (b),(d) 静的載荷

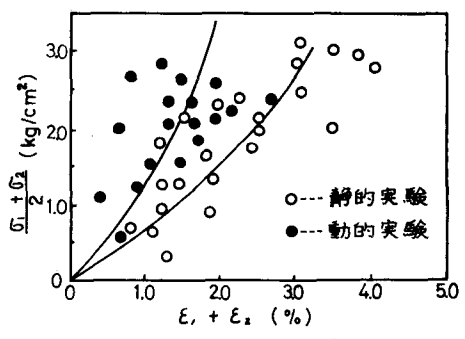


図-3. 平均主応力と体積ひずみの関係

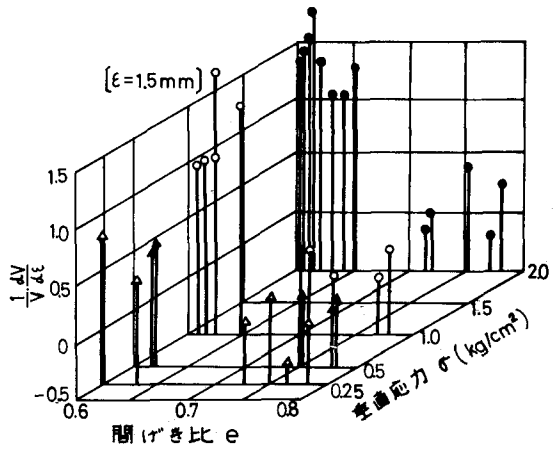


図-4. 体積変化率の増分とせん断ひずみ増分の比

### 3. 実験結果と考察

透視円槽中の砂およびシリンドラの変位は、シリンドラの厚さおよび、載荷速度によって変化することがこの実験で明瞭に認められた。図-2はシリンドラを埋設した場合の実験で、載荷荷が約35mm貫入したときの等変位線(載荷軸方向)であるが、載荷が動的な場合(図-2(a),(c))、静的載荷(図-2(b),(d))と比べ、大きな変位が遠くまでおこなわれている。また、載荷軸付近に変位が集中する傾向がある。静的載荷の場合、載荷荷の上下の位置では載荷方向と逆方向の変位がかなり生じるが、動的載荷ではこの傾向は少ない。このような載荷速度による差異は、応力についても見られるが、変位についての傾向は応力におけるより明瞭であることが認められた。

シリンドラの変形については剛性シリンドラでは局部的変形が少なく、全体が移動する。薄いシリンドラでは局部的変形が顕著で、特に載荷軸付近で変形が極めて大きくなる。この傾向は、動的載荷の場合に著しい。このように、載荷速度によって、砂および、シリンドラの変形が異なるのは、前述のように、土の載荷速度による応力ひずみ関係の変化、および応力波の影響が加わるためと考えられる。

### 4. 砂の変形性状

この種の問題を解析するためには、砂の変形性状は状態方程式が知らなければならない。砂の変形を Spherical stressによる圧縮と deviatorial stressによる剪断変形(ダクタイル性を含む)とに分けることができると仮定し、本実験の載荷軸上の主応力軸と考えられる方向について前者の検討を行なった(図-3)。静的な場合と動的な場合との差が顕著である。後者について、静的な場合の剪断にともなう容積変化率と剪断ひずみ増分との比、間げき比(その時々の)および、垂直応力間との関係を図-4に示した。剪断応力増分と剪断ひずみ増分との比についても同様の検討を行なった。動的な場合についても今後検討を行う。

本実験は、本年卒業生1名、幾田、児玉両氏の卒業研究論文に負う所が多い。両君に対し謝意を表する。

参考文献 1) 竹田、藤本、鈴木、"土-構造物系の動的相互作用に関する基礎的研究" 48年土木学会全国大会。外  
 2) 竹田、立川、藤本他、"地中構造物の動的応答研究" 48年土木工学研究発表会。