

2-2 Shock-tubeを用いた土中の波動伝搬実験

京都大学工学部
京都大学大学院
同

赤 井 浩 一
堀 正 幸
霜 上 民 生

1. 序 従来の一次元応力波伝搬実験では、ある材料供試体のロッドの一端を物体で打撃することによりパルス的な応力を得て、ロッド内に伝わる応力をピックアップするという手法が多く用いられてきた。しかし打撃による表面応力はその密度波形もまちまちであり、また得られる応力の大きさの調整もむづかしく、実験手法としてはむしろ原始的な方法である。一方、Shock-tubeでは画一的で明瞭な衝撃面をもつ非常に高速の衝撃波が得られる。Shock-tubeの歴史は古く、気体力学の分野においてその理論は十分体系化されており、この装置を用いて得られる衝撃波の大きさおよび波形は理論的に計算でき、かつ調節が容易である。われわれはShock-tubeで得られる衝撃波を一次元側方拘束ロッドの土供試体の表面に加えるべく装置を製作し、応力波伝搬実験の精度を増すことを意図した。

2. Shock-tubeの構造と実験方法 今回設計製作したShock-tubeによる土の衝撃載荷装置を図1に示す。普通Shock-tubeは高压・低压の2室からなるものが多いが、実験の安全性を高めると同時に正確に制御された衝撃圧力を得るため、今回のものには窒素ガスを用いる2段隔膜方式を採用した。実験操作は、各室にそれぞれの圧力を吸入しおえたのち、中圧室の圧力を抜き去ることにより高压室と中圧室の圧力差が大きくなって膜Aが破れ、それとほとんど同時に膜Bも破れて衝撃波が低压室に伝搬する。膜A、Bはアルミ板(厚さ0.05mm, 0.1mm, 0.2mm および0.3mm)を用いた。次に低压室の末端に接続させる供試体部の寸法は内径76mm, 長さ2mである。この供試体部分はい取り外しが可能な5つのセグメントからなり、長さ40cm, 内径74mmの特殊モールドで突固めた土試料を挿入しやすいように考慮されている。供試体部分の鉄管の内面は十分研磨されており、土試料には非常に薄いテフロンシートを巻き、さらにそれらの間には油を塗布して管の内面での摩擦を減じ、できるだけ正確な拘束一次元状態をつくり出すようにしている。土中に埋め込んだ各種ピックアップのリード線を引き出すため、管の継目には切欠きが存在する。

土試料として含水比5~7%で突固めた砂質ロームを用いた。密度は3種類で、干げき比では0.66~0.67, 0.56~0.58, 0.47~0.49である。

供試体の衝撃端に作用する衝撃応力は、低压室の末端から5cmの距離の点に取りつけられる圧力変換器により観測される。

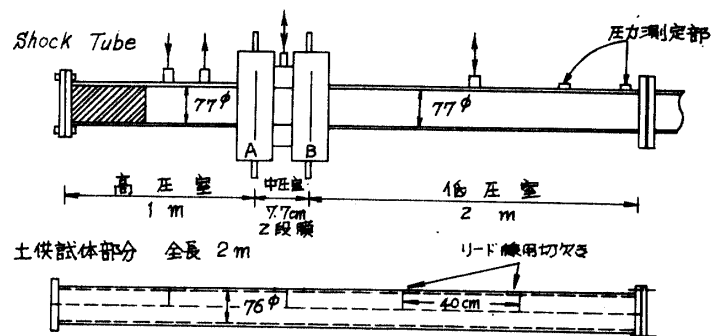


Fig.1

図2はこの表面圧力と供試体内各深さの点における応力をシンクロスコープで記録した一例である。また1つの測点について応力と同時に土中ひずみの測定も行ない、動的応力-ひずみ曲線を描いたものが図3である。このさいひずみ計には静電容量式のものをを用いた。

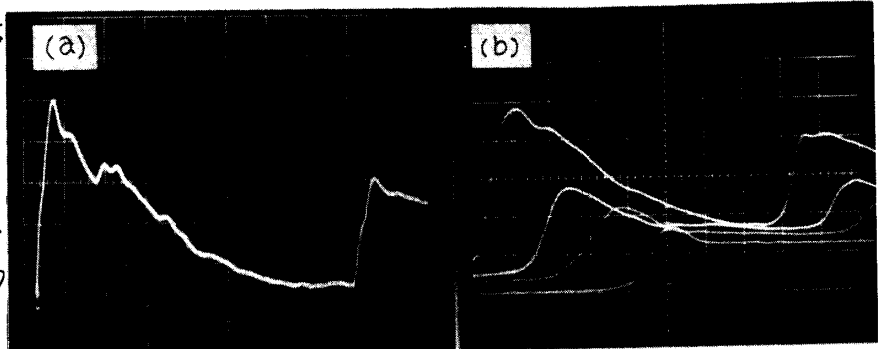


Fig.2

3. 実験結果と考察 土供試体にかかる表面圧力波形は、図2(a)のように衝撃面を含んで0.6~1.4msecで急激に立ち上がり、最大応力に達してから指数的に減衰してゆく。またピーク応力の距離による減衰の様子は、図2(b)のような一連の記録から応力の無次元表示を行ない、半対数紙上にプロットすると図4が得られる。この図から明らかに、供試体の固さ比べ小さいほど応力の減衰は少なく、またピーク応力は伝搬距離とともに指数関数的に減衰する。

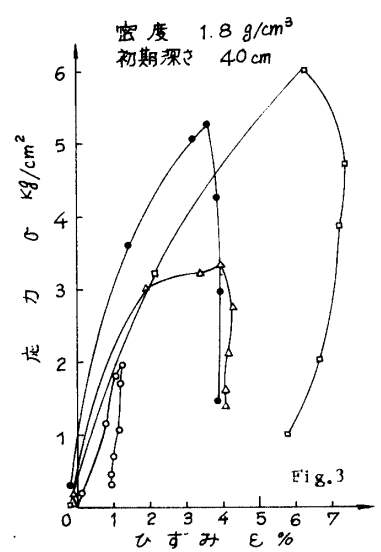


Fig.3

一般に指数減衰型のスパイクパルスを一端にけるVoigtモデル内の一次元応力波伝搬の理論解は、ラプラス変換の手法により無次元変数(ξ, τ)を用いて次式で示される。

$$\Sigma'(\xi, \tau) = \frac{\xi}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2 \tau) \int_0^\tau \frac{g(\tau, \eta)}{\sqrt{\eta}} \exp\left\{-(\xi+1)\eta - \frac{\xi^2}{4\eta}\right\} d\eta$$

ここに ξ は表面圧力波形の減衰係数であり、関数 $g(\tau, \eta)$ については省略する。図2のような実験記録を用いて解析曲線のあてはめを行なうと、一例として図5のような結果が得られる。このデータでは $X \approx 60\text{cm}$ までの波動減衰の様子はレオロジー定数 $E = 150\text{ kg/cm}^2$, $1/\mu = 5.0\text{ kg}\cdot\text{sec/cm}^2$ をあてはめれば実験値とよく合う。さらに距離の大きいところでは、実験値は理論値よりもいくぶん減衰が大きい。

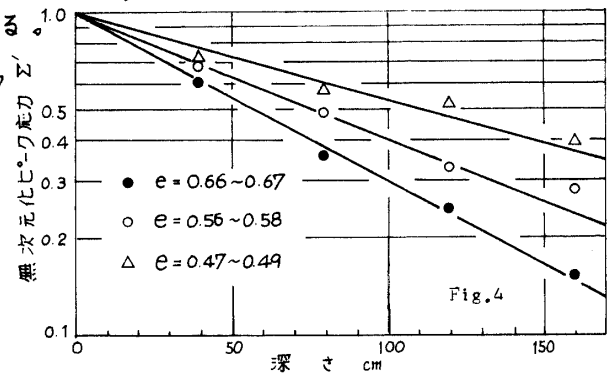


Fig.4

Shock-tubeの設計と製作にあたって本学部航空工学科・神元五郎教授の有益な指導と助言をいただいた。またこの実験において、とくに土中ひずみの測定に關する項は大学院学生、安藤信夫君の助力に負うところが多い。ともに謝意を表する。

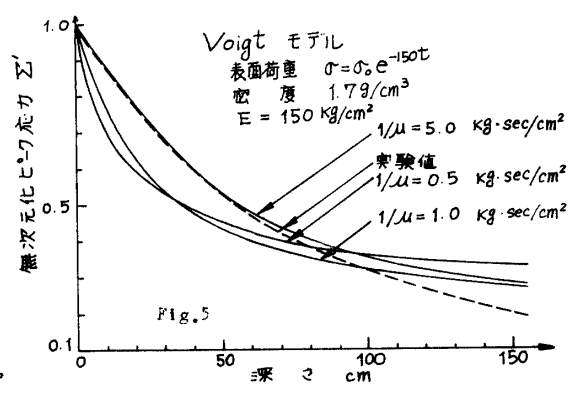


Fig.5