

京都大学工学部 正会員 赤井 浩一

京都大学大学院 学生員 〇堀 正幸

1. 序 土中の任意点での応力量, ひずみ量といかに精査よく計測するかということは土質力学の実験的研究ならびにそれに立脚している理論的研究にとり極めて重要である。しかし、わが国において土中の任意点でのひずみ計測が可能装置の開発が遅れているのが現状である。筆者らは土中の一次元応力波伝播実験において土中に生ずる一軸方向の動的ひずみ量を計測するという必要性に直面し、土中ひずみ計の試作に努めた。その結果、従来空気中で使われてきた静電容量式の微小変位計を利用して土中に小さなコンデンサーを形成することによりその極板間の距離の変化と電容量の変化とを測ることに従って、めんどろはキャリブレーション試験とすることなく精査の良いひずみ計測が可能であることが判明した。

2. 原理および装置 図-1に示すような2枚の導体板が、ある媒質中に平行に置かれるとき、貯えられる静電容量 C は次式で与えられる。

$$C = \frac{A \epsilon_0 \epsilon_s}{D} = 8.85 \times \frac{A \epsilon_s}{D} \quad [\text{pF}] \quad (1)$$

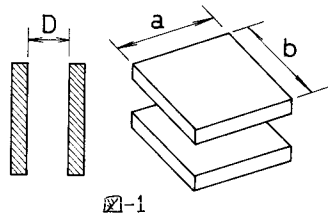


図-1

ここに、 A は導体板の面積、 D は極板間隔、 ϵ_s は極板間の媒質の比誘電率、 ϵ_0 は定数。一方、微小変位計の内部には図-2のようなコンデンサーによるブリッジが組まれている。ここに、 C_3, C_4 は固定コンデンサー(100 pF)、 C_2 はバリコンである。また C_a は土中に形成されるべきコンデンサーであり、 C_b (20 pF)は C_a の静電容量が不足の場合に補助されるバリコンである。いま、 $C_a + C_b$ と C_1 と置き換えるならば、 C_1, C_2, C_3, C_4 の4つのコンデンサーによるブリッジの平衡条件は次式である。

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4} = 1 \quad (2)$$

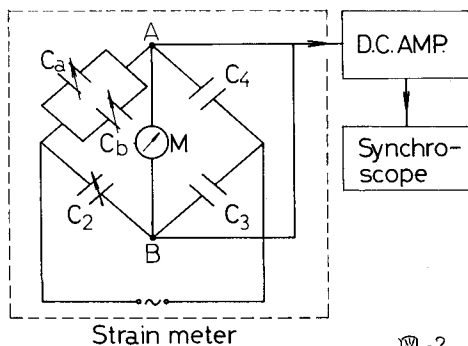


図-2

この場合、 C_1 は土中にコンデンサーを形成した時点である静電容量が決まるから実際の操作としては、 C_2 のバリコンと C_1 と等しくなるように調節すればよい。その段階では、A、B間に電位差がなく、メーターMに電流は流れていない。次に、土外力を受け、変形すると土中コンデンサーの極板の距離に変化が生じ式(2)の平衡条件が破れ、それによつてA、B間に電位差が生ずると同時にメーターに電流が流れる。土中コンデンサーの極板として当初2.5 cm × 1.5 cmの薄い銅板にエナメルで被覆したものを用いていたが土試料に与えるおれの影響が大いと考えられ、その後は長さ6 cm、直径2.5 mmの金属針とビニール管で被覆したものを用いている。それによつて試料に与えるおれの影響を減少できると同時に、土中に形成されるコンデンサーの初期容量を小さくするという利点も生じた。実験ではこの2本の針を土中に平行に差し込んでコンデンサーを形成した。

3. キャリブレーション 図-1のような2枚の導体板がある媒質中に置かれた場合に貯えられる静電容量は式(1)で表わされるが、実験で用いている2本の針が平行に置かれた場合に貯えられる静電容量は計算上は極めて複

難形状になると思われる。しかし、空气中で二本の針の間隔と静電容量の間の関係を実験的に求めたところ式(1)と同じ形の関係になることがわかった。すなわち、

$$C_0 = \frac{a}{D_0} \quad [\text{pF}] \quad (3)$$

ここに、 C_0 は初期静電容量、 D_0 は二本の針の初期間隔、 a は上の比誘電率や板の大きさなどに依存する係数であるが、微小変形の範囲だけと扱うとすれば実験中、上の物性は大きく変化しないと考える、一定としてもよいだろう。土が変形して二本の針の間隔は板の間に微小の変化 ΔD が生じたとすると、それに対応する静電容量の変化 ΔC は ΔD が極めて微小であるという仮定のもとで式(3)より次式と導くことができる。

$$\Delta C = -\frac{a}{D_0^2} \Delta D = -\frac{a}{D_0} \times \frac{\Delta D}{D_0} = -C_0 \frac{\Delta D}{D_0} \quad (4)$$

上式において $\Delta D/D_0$ は上のひずみに相当する量であるから、式(4)はひずみは静電容量の変化に比例することを意味している。通常、記録装置は電圧の変化を取り出すものが多いから使用する記録装置による静電容量の変化と電圧の変化の間の関係とあらかじめ求めておく必要がある。この関係は初期容量 C_0 に依存する。 $\Delta C = 1 \text{ pF}$ としたときの電圧の変化量と求めた例を図-3に示す。いづれにしても、ある初期容量が決まれば、電圧の変化と静電容量の変化との間には比例関係が成立し、次式の形で与えられる。

$$\Delta V = \frac{1}{k} \Delta C \quad (5)$$

ここに、 k は比例定数である。従って、式(4)と(5)より一軸方向のひずみ量は次式によって換算できる。

$$\epsilon = \frac{\Delta D}{D_0} = -\frac{\Delta C}{C_0} = -\frac{k}{C_0} \Delta V \quad (6)$$

上式より k と C_0 の値と実験に先立って求めたおきえすれば、土中の微小ひずみと容易に求めることができる。但し、式(6)のひずみ ϵ と ΔV の線形関係が成立するのは2% ひずみ以下であることが実験的に確かめられている。

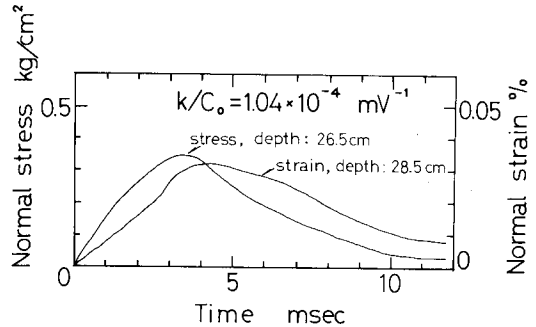


図-4

4. 応用例 上述の静電容量式のひずみ計を用いて一次元波動伝播実験での粘土試料の一点でのひずみを測定された。同時に応力の測定も同一地点で行われ波動伝播時の応力-ひずみ曲線について検討を試みた。波動形式はRod waveである。図-4はシンクロスコープでとられた応力-時間、ひずみ-時間関係の一例であり、この時のひずみ計の式(6)の係数 k/C_0 の値は $1.04 \times 10^{-4} \text{ mV}^{-1}$ であった。図より各時刻毎の応力とひずみの値をプロットして応力-ひずみ曲線を描いたのが図-5である。図5より初期接線弾性係数を求めると 1700 kg/cm^2 となり、一方、Rod waveのwave frontでの波速を用いて弾性係数を計算すると 1730 kg/cm^2 であった。これらの考察より、ひずみ計の動的応答性の良好さと、ひずみ測定の精度の良さを確認することが出来るものと思われる。

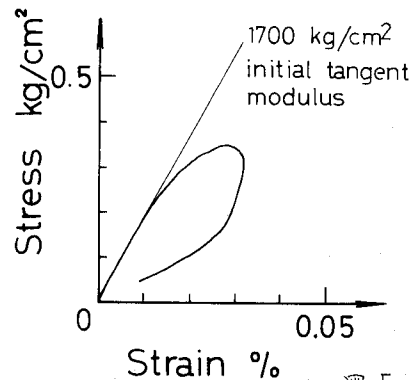


図-5