

東海大学工学部 森田定市 宇都一馬 冬木衛

1. まえがき 従来、くい打ちや標準貫入試験など、縦衝撃をうける物体中に伝播する応力の測定は「抵抗線ひずみゲージ」-「増巾器」-「オシロスコープ」の系列で計測されることが多い。しかし、このような高速現象を測定するには応答周波数の高い測定器を用いる必要がある。

本研究は、高い抵抗値の箔ひずみゲージあるいは半導体ひずみゲージを用いることによって、前置増巾器なしに、シンクロスコープを作動させるというものである。高い抵抗値のひずみゲージを用いることにより、高いプッシュ電圧をかけることができ、したがって大きな出力電圧が得られるものである。前置増巾器を設けることによって生ずる雑音の影響を減らすことができる。このような高速現象を測定する上に問題となるつぎのような点について基礎的な研究を行なった。①リード線の種類および長さの変化による影響。②ひずみゲージの種類による影響。③雑音の問題。④現場測定にともなう問題。あわせて弾性波動方程式による理論値と実測値の比較、クッションの問題について、三つの考察を行なった。

2. 実験方法 実験装置は写真-1に示すような自由落下式衝撃装置でおよそ5mの鉛直に立てられた四本の支柱の中央に3本のアルミ製の案内棒が支えられている。ハンマーはこの筒を自由落下して支持台の上に立てられた実験棒の先端に衝突する。実験棒は径25mm、長さ100cmの軟鋼丸棒である。ハンマーも実験棒と同じ材質で、径および長さをいろいろに変化させてある。実験棒には図-1に示す位置に半導体ひずみゲージ(抵抗値 $R=2k\Omega$ 、ゲージ率 $\alpha=170$ 、ゲージ長 $l=4mm$)および箔ひずみゲージ($R=500\Omega$ 、 $\alpha=2.1$ 、 $l=5mm$)をEP-17で貼つてある。中心に対して対称な位置に貼つた2枚を直列につ

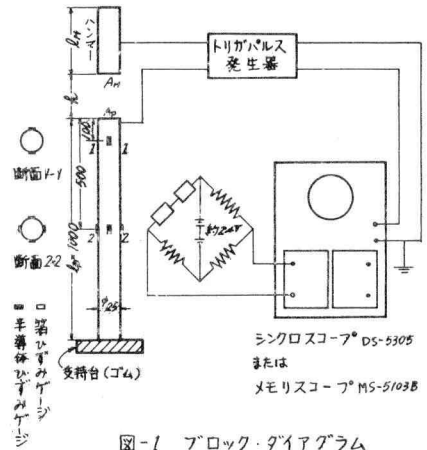


図-1 ブロック・ダイアグラム

はき、ノイズストンブリッジの一边とする。リード線は、同軸ケーブル3C2A、長さ約5mである。ブリッジ電源には鉛蓄電池12Vを直列に2個つないだ。これによると1000μのひずみに対して、半導体ひずみゲージで約0.90V、箔ひずみゲージで約0.013Vの出力電圧が得られた。測定にはデュアルビームシンクロスコープDS-5305およびメモリスコープMS-5103Bを用

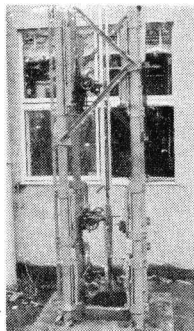


写真-1 実験装置

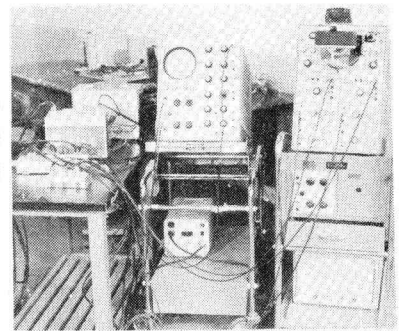


写真-2 測定器

いた。ユニットとしては、半導体ひずみゲージ用として、SP-20D-A (最大感度 $50 \text{ mV}/\mu\text{m}$, 周波数特性 10 MHz 以上, 立ち上がり時間 $0.035 \mu\text{s}$ 以下), 箔ひずみゲージ用として、SP-02DFH-A (最大感度 $1 \text{ mV}/\mu\text{m}$, 周波数特性 350 kHz 以上, 立ち上がり時間 $1 \mu\text{s}$ 以下) を使用した。

ハンマーを砧の高さから落下させると、衝突した瞬間に実験棒には $\sigma_p = \frac{A_H}{A_H + A_P} \sqrt{2E\delta h}$, ハンマーには $\sigma_{H_0} = \frac{A_P}{A_H + A_P} \sqrt{2E\delta h}$ なる応力が生じ、 $C = \sqrt{E/\rho}$ なる速度で他端に向かって伝播しはじめる。この理論的解析は参考文献(1)を参照されたい。

3 実験結果

(a) ハンマーの長さの変化による影響 (落下高 $h = 121.4 \text{ cm}$, 理論値 $\sigma_p = 1000 \text{ kg}/\text{cm}^2$, 横軸 $100 \mu\text{s}/\text{div}$)

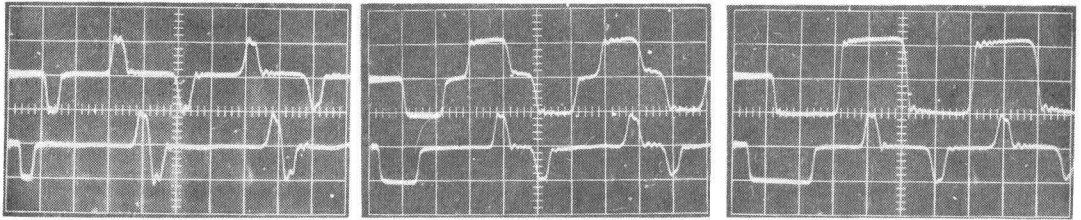


写真-3 $l_H = 10 \text{ cm}$, 測定応力 $\sigma_p = 1020 \text{ kg}/\text{cm}^2$, 写真-4 $l_H = 30 \text{ cm}$, $\sigma_p = 1040 \text{ kg}/\text{cm}^2$, 写真-5 $l_H = 50 \text{ cm}$, $\sigma_p = 1030 \text{ kg}/\text{cm}^2$

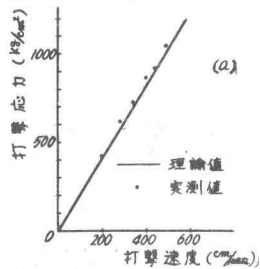


図-2 理論値と実測値との比較

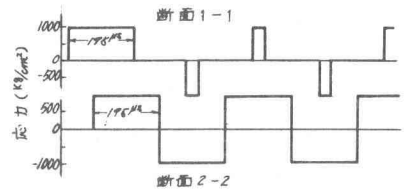
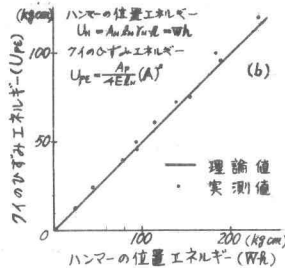


図-3 写真-5の場合の理論波形

理論値と実測値との比較を図-2に示す。(b)図のひずみエネルギー U_{pe} は写真-3~5などの図形面積 A をプラリメーターで測定して求めた。 U_{pe} はハンマーの位置エネルギー U_H の $1/2$ になる。

(b) ハンマーの径の変化による影響 (落下高 $h = 100 \text{ cm}$, 横軸 $100 \mu\text{s}/\text{div}$, 感度 $0.5 \text{ V}/\mu\text{V}$)

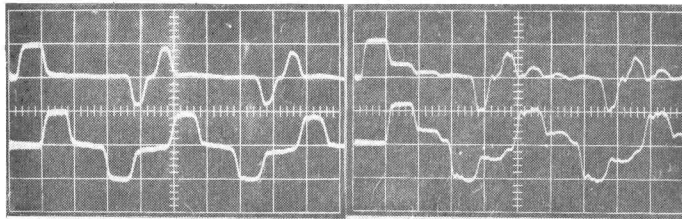


写真-6. ハンマーの径 $\phi 25 \text{ mm}$

写真-7 $\phi 36 \text{ mm}$

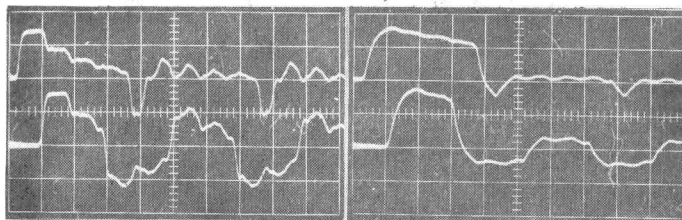


写真-8 $\phi 50 \text{ mm}$

写真-9 $\phi 100 \text{ mm}$

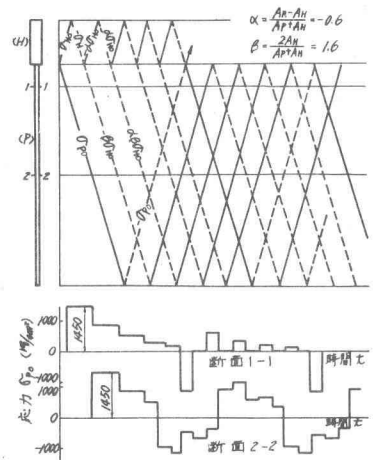


図-4 写真-8の場合の理論波形

図-4に $\phi = 50^{\text{mm}}$ の場合の理論的に求められる波形を示してある。ここに α , β はそれぞれ反射係数, 透過係数とよばれ、断面が変化する箇所での応力の反射と透過の割合を示す。図において、実線は圧縮応力, 破線は引張応力を表わす。

図-5はハンマーと実験棒の断面積の比に対して、最大応力を、いろいろな落下高さ、について表わしたもので理論値と実測値はよく一致する。

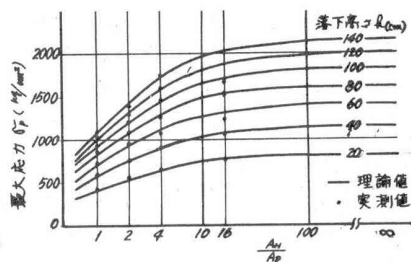


図-5

C) 線の種類およびその長さによる影響 (箔ひずみゲージを使用, 横軸 $50 \mu\text{s}/\text{div}$, 感度 $5 \text{ mV}/\text{div}$)

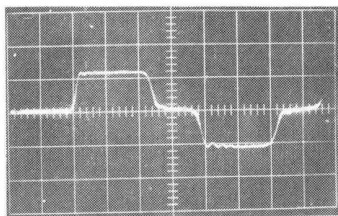


写真-10 同軸 3C2V 5m

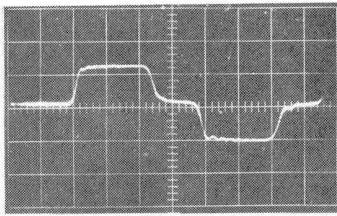


写真-11 同軸 3C2V 50m

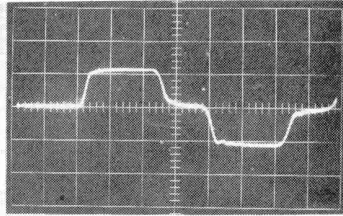


写真-12, ニットシルド 50m

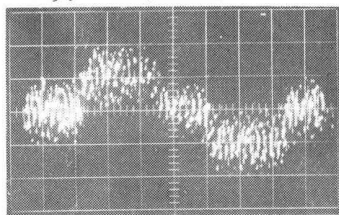


写真-13 ニット平打ちビニール線 50m

写真10~13より、ニットされたリード線をつかって差動(リード線がひこう雑音を消す方法)を使えば、線の種類およびその長さの変化による影響は認められたい。
ニット平打ちビニール線は差動をいらかせても、雑音の影響をうける。

d) ひずみゲージの比較 (ハンマーの長さ $l_H = 40 \text{ cm}$, 横軸 $50 \mu\text{s}/\text{div}$)

写真-14の波形で、上は半導体ひずみゲージ, 下は箔ひずみゲージによるものである。2つの観測波形は立ち上り特性, 最大応力に差異は認められたい。

ただし、この場合測定器の特性もよく比較である。(SP-20D-AとSP-02DFH-Aでは特性に相異がある。)

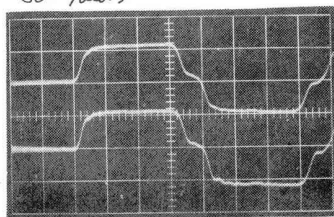


写真-14. ひずみゲージの比較

l) 時間軸を縮めた波形 (横軸 $0.5 \text{ ms}/\text{div}$)

写真-15は写真-4の時間軸を $1/5$ に縮めたもので、減衰の状態を観測した。エが1-1断面, 下が2-2断面である。減衰量は2-2断面より, 1-1断面の方が大きい。これは、実験棒の先端ほど反射波の影響を受けやすく符号がかわった反射波によって応力が一部打ち消されるためである。

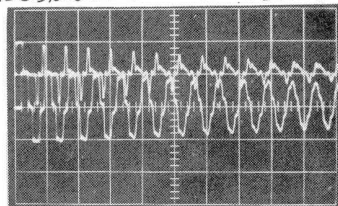


写真-15

サ) クッションを介して打撃した場合 (ハンマーの長さ $l_H = 40 \text{ cm}$, 落下高 $h = 12.14 \text{ cm}$)

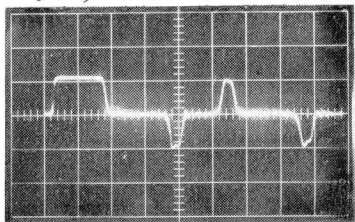


写真-16 クッションなし $\sigma_p = 1040 \text{ kg/cm}^2$

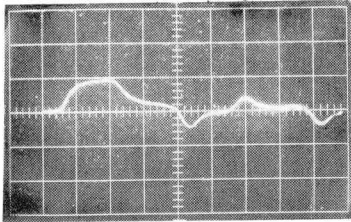


写真-17 クッションの厚さ $l_c = 0.25 \text{ cm}$, $\sigma_p = 890 \text{ kg/cm}^2$

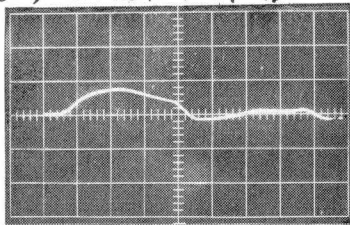


写真-18 $l_c = 1.0 \text{ cm}$, $\sigma_p = 710 \text{ kg/cm}^2$

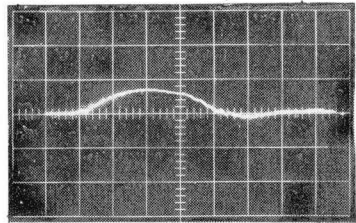


写真-19 $l_c = 2.0 \text{ cm}$, $\sigma_p = 660 \text{ kg/cm}^2$

2) 現地実測の一例

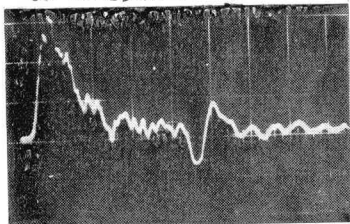


写真-20

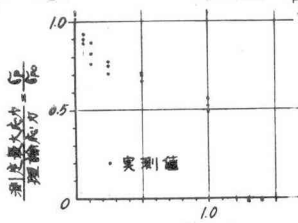


図-6 クッションの厚さ l_c の影響

図-6 はクッションのない場合の理論値に対する、測定最大応力の割合をプロットしたものである。クッションの厚さの増加に伴って、最大応力は減少する。

クッションにはナイロン(ヤング率 $E_c = 2.9 \times 10^{10} \text{ kg/cm}^2$, 単位体積重量 $\gamma_c = 1.18 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)を使った。

写真-20は断面積 $A_p = 25 \text{ cm}^2$, 長さ $l_p = 12 \text{ m}$ のH鋼ゲインと断面積 $A_H = 1180 \text{ cm}^2$, 長さ $l_H = 1 \text{ m}$ のハンマーで打撃した場合の実測波形である。測定位置は上端から 1.0 m で、半導体ひずみゲージ ($R = 1000 \Omega$, $d = 170$) を使用した。落下高 $h = 100 \text{ cm}$ である。これによると応力効率 σ_p/σ_0 は 0.605 である。

4. 必ず σ_p 波動方程式による理論値と実測値がよく一致する。測定値は $\pm 5\%$ 位の精度をもつ。ハンマーの位置エネルギーは実験棒の歪エネルギーとその歪んでいる部分の分子のもつ運動エネルギーに2等分される。ただし、不連続面においては歪み分値は0から1の間にある。抵抗値の高い半導体ひずみゲージを用いることによって、前置増幅器なしにシンクロスコープを作動させることができる。箱型ゲージでもシールドを完全にし、シンクロスコープ内蔵の最大減度 1 mV/cm の差動増幅器を使用すれば測定可能である。ひずみゲージからブリッジまでのリード線には、二芯シールドあるいは同軸コネクタを用いれば、少くとも、50 m 位までの観測は可能である。ロキイ体は生じる最大応力(正負)を求めるには、適正な位置にひずみゲージを貼らなければならない。クッションの厚さの増加につれて、最大応力は減少する。

参考文献

- 1) 宇都一馬, くい打ち込み(弾性波としての打撃応力について), 橋梁と基礎, 1-7, 1967
- 2) 五十嵐伊勢美, 半導体ひずみ計素子, 応用物理, 32巻, 10号, 1963.

この実験観測にあたっては学生森原幹雄君の絶大な協力をうけた。ここに謝意を表します。