

丸棒の圧縮縦衝撃における応力およびその伝播

北村 茂*・青木元也*

The Stress Propagation in Cylindrical Bars due to Compressive Impact

By

Shigeru KITAMURA and Genya AOKI

Abstract

The propagation of stress waves produced in cylindrical bars due to longitudinal impact is described. The experiments are performed using a set of two bars which are suspended horizontally by cords from a suitable frame work so that they are free to swing in the direction of their length and to collide end to end. The analysis is carried out using one dimensional theory of stress wave propagation.

The effects of bar length, impact velocity, contact face flatness and dimensions of bars are presented on the impact loads and stresses. The condition for the separation of two contacted bars is explained.

1 緒言

一般に衝撃試験で用いられる荷重の計測方法は、試験片自体にひずみゲージを貼付する方法と、ロードセルを取付けて計測する方法とがある。

種々の衝撃試験機に採用されている荷重検出方法には、試験片の固定端側に取付けられたロードセルによって、試験片の変形荷重を測定しようとする後者の方法であるが、この方法については以前よりいくつかの問題点が指摘されている^{1,2)}。例えば、測定した荷重と試験片が受けた荷重との間には、位置および時間的ずれがあるために、測定値が直ちに試験片の変形荷重とならない場合が往々にしてある。また試験片とロードセルとの接触面においては、応力波が透過と反射をくり返すために測定波形は複雑な時間変動を伴なう。

これらの問題点を少なくした計測方法にホプキンソン棒試験方法がある³⁾。この試験方法は2本の長い弾性棒を応力波が伝播して戻ってくるまでに、現象を計測しようとする方法で昔から多く使用されている。この方法は装置に固定部がなく、余計な振動を誘発せず、測定系の慣性が効いてこないし、又大きなひずみ速度が得られるという利点がある。

本研究ではこのホプキンソン棒試験方法を利用して、2本の丸棒間の種々の条件下における縦衝撃によって生ずる応力およびその伝播について実験的および解析的な検討を行なった。これによって、構造物をなす試験体の衝撃試験における荷重の測定方法についての指針を得ようとするものである。

2 実験方法

使用した実験装置は図-1に示すように1対の振り式治具から構成されている。振り式治具には1.67mの腕があり、任意の長さおよび太さの棒を弾性入力棒として取付けられる。動く部分にはベアリングを入れ、摩擦が少ないようにしてある。もう一方の試験治具には出力棒が左右の振れが少ないようにチェーンで水平に吊されている。入力棒を振下し、所定の衝撃速度で出力棒に衝突させた。出力棒を鉄網ブロックに取換えた実験、さらに入力棒のかわりにハンマの打撃による検討も行なった。

なお、実験に供したみぎ棒はS45Cで、衝突面は入念に旋盤仕上げし、できる限り面接触の状態になるようにした。

まず、丸棒の軸方向および円周方向に貼付されているひずみゲージの出力特性について調べた。軸方向に1枚貼付した1ゲージ法、軸方向と円周方向に各1枚ずつ貼付した2アクテブゲージ法、軸方向に2枚対称

*船体構造部

原稿受付：昭和60年11月6日

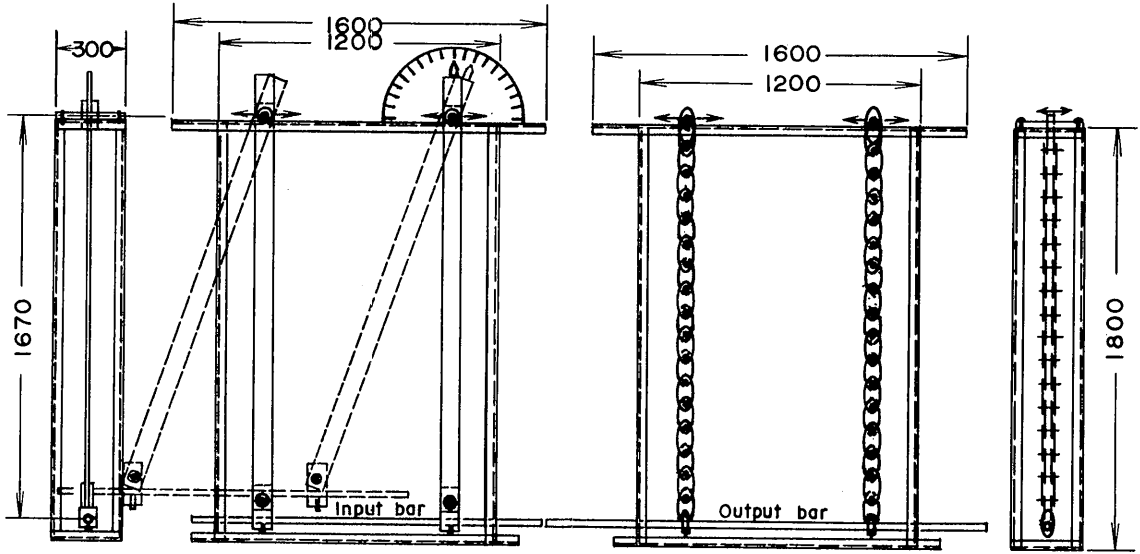


図-1 振り式実験装置

に貼付した対辺2アクテブゲージ法および軸方向と円周方向に対称にそれぞれ2枚ずつ貼付した4アクテブゲージ法により計測した出力波形を写真-1にそれぞれ示す。ハンマの打撃により圧縮パルスを入力したもので、4アクテブゲージ法では1ゲージ法および2アクテブゲージ法で認められる片あたりなどによる波形のひずみはほとんど認められない。1ゲージ法で軸方向および円周方向の出力波形をそれぞれ別々に求めると写真-2(a)のようになる。また4アクテブゲージ法および対辺2アクテブゲージ法で計測した波形を比較す

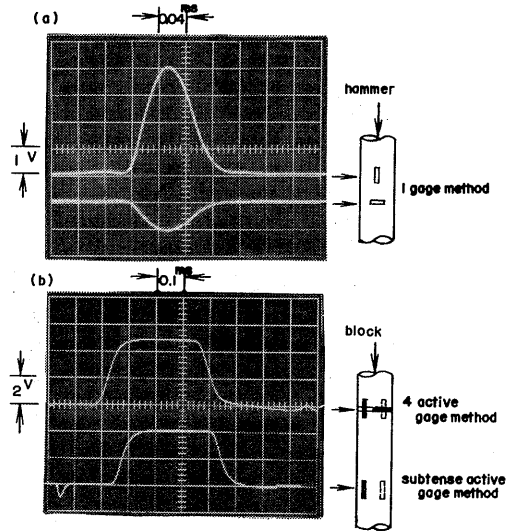


写真-2 軸方向および円周方向に貼付したひずみゲージの出力波形

ると写真-2(b)のようになる。このように4アクテブゲージ法は円周方向のひずみゲージの利得を有効にえて、かつ片あたり等による波形のひずみを修正している。そこで、ここで行なった実験では4アクテブゲージ法を用いることとし、次いで測定系の衝撃応答について調べた。

写真-3には平衡状態にあるブリッジの一边に綱製ばねで作ったスイッチ(S)を瞬時に投入し、バランスが

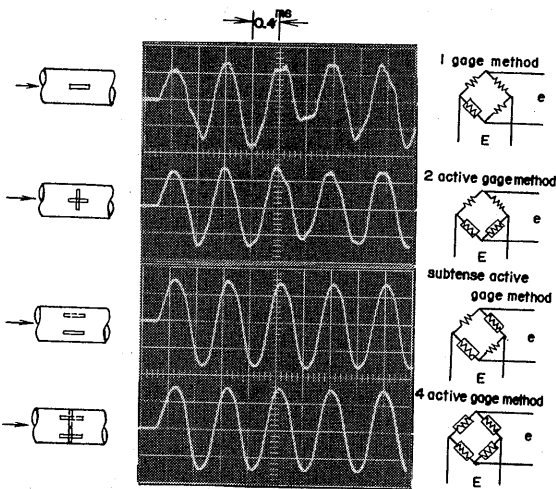


写真-1 各測定法による出力波形

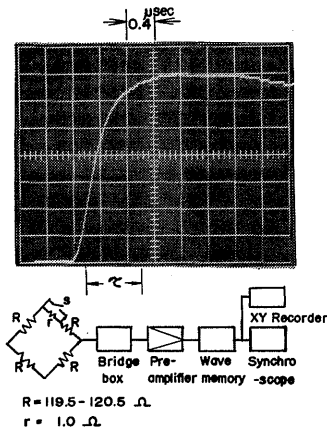


写真-3 計測波形の立上り特性

くずれたときの衝撃応答波形を示す。立上り時間(τ)は $0.7\mu\text{sec}$ 、遮断周波数は 500KHz となり、大井ら⁴⁾の結果 ($0.9\mu\text{sec}$, 389KHz) より良好な値がえられた。従って、ゲージおよび測定系の衝撃応答特性は今回の棒の縦衝撃の実験では満足できるものであるといえる。

ひずみゲージは昭和測器製の $N11\text{-FA-5-120-11}$ (ゲージ率2.1, ゲージ長さ5mm, 抵抗 120Ω) の箔ひずみゲージを使用した。ゲージで検出された波形は直流増幅器 (昭和測器製5391) を経て, トランジエント・メモリ (理研電子 TCED-4000S) に記憶され, シンクロスコープ (岩通製 DS-5016) 又は XY レコーダ (横河製3033) で記録した。その時のブロック線図を写真-3に付記する。

3 弾性応力波の伝播理論

棒の一端の軸方向に速度 V で衝撃荷重を与えると, 衝撃面には σ_0 の応力が生じ, この応力が棒の内部を C_0 の速度の波動として伝播する。これらの関係は縦弾性係数および比重量をそれぞれ E , γ とすると

$$\sigma_0 = EV / C_0 \quad (1)$$

ただし, $C_0 = gE / \gamma$ で与えられる^{5,6)}。

断面積 A_1 の弾性出力棒の一端を断面積 A_2 で材質が同じ弾性入力棒によって衝突した場合には, 衝撃面に発生する出力棒, 入力棒の応力 σ_1 , σ_2 は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sqrt{\frac{\gamma E}{g}} \cdot \frac{A_2}{A_1 + A_2} V \\ \sigma_2 &= \sqrt{\frac{\gamma E}{g}} \cdot \frac{A_1}{A_1 + A_2} V \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

棒の衝撃面に発生する圧縮応力 σ_1 , σ_2 は C_0 の速度で伝播し, 他端が自由端ならば異符号の引張応力となり, 固定端ならば同符号の圧縮応力となって反射する。

また, 断面積が A_1 から A_2 へと変化する不連続面に到達した応力波の反射率 α および透過率 β は次式で示される。

$$\alpha = \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1}, \quad \beta = \frac{2A_1}{A_2 + A_1} \quad (3)$$

この式から明らかなように, $1 \geq \alpha \geq -1$, $2 \geq \beta \geq 0$ である。

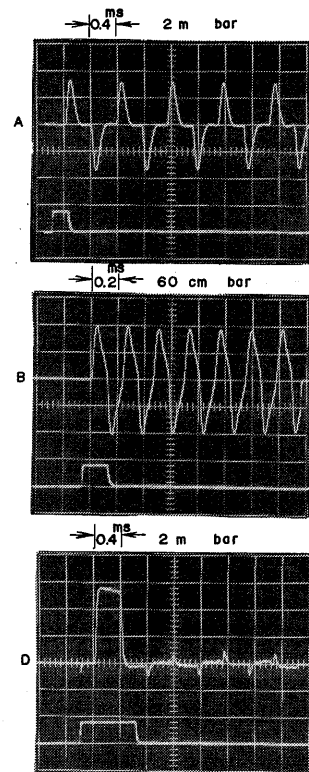


写真-4 応力の時間変動波形

棒の端面に縦衝撃荷重を与えたときに, 応力の時間変動は, 荷重の継続時間 (接触時間) W および棒の長さ L によって種々の形態をとる。写真-4にA, B, D 3種類の波形の例を示し, それぞれ棒の中央位置における応力の時間変動を示す。写真の下側のパルス波形は継続時間 (接触時間) を示している。応力の時間変動のこのような差異は図式解法によって説明することができる。衝撃端より継続時間の十分に長い圧縮荷重 (σ) が伝播し, 他端で引張荷重 ($-\sigma$) となり反射し, 最

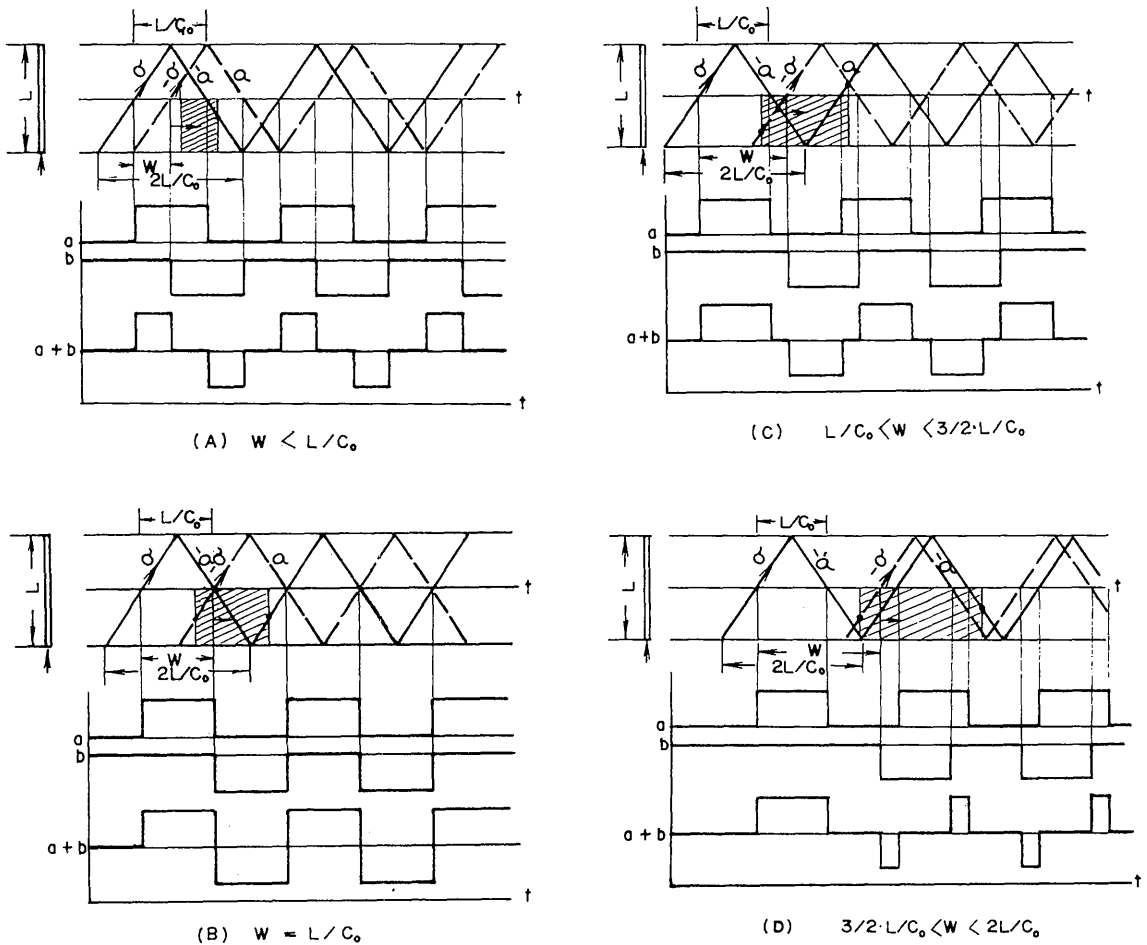


図-2 図式解法による応力の時間変動波形

初の圧縮荷重を打消しながら伝播する。ひずみゲージの貼付位置で計測される波形は、圧縮方向の矩形波として L/C_0 の周期で計測される (a)。衝撃端に継続時間 W の矩形波が加わった場合には、圧縮荷重と同じ大きさの W 時間遅れて加わり始める引張荷重 ($-\sigma$) を同様に考えることができる (b)。従って、それぞれの荷重によって生ずる応力を加え合えれば、任意の断面における応力の時間変動を知ることができる (a+b)。図-2における (A) の場合 ($W < L/C_0$) では、継続時間 W の応力波形の圧縮と引張とが時間 L/C_0 毎に交互に現われている。写真-4の波形 A がその場合の例といえる。(B) の場合 ($W = L/C_0$) では、交互に生ずる圧縮と引張の応力における時間間隔と継続時間とが同じ値 $W = L/C_0$ であり、この場合の例が写真-4の波形 B に示されている。(C) および (D) の場合 ($L/C_0 < W \leq 2$

L/C_0) においては、最初の応力波の継続時間は入力波 W のそれより短い L/C_0 であるが、2 番目以後のそれは $(2L/C_0 - W)$ となり、時間 L/C_0 毎に現われている。特に $W = 2L/C_0$ のときは最初の応力波だけ現われることになり、その場合の例を写真-4の波形 D に示した。

4 実験結果および考察

4.1 接触時間

直径 20mm 、長さ 1500mm で衝突面より 500mm 離れた位置にひずみゲージを貼付した棒を入力棒とし、同径の長さ 2000 、 1000 および 600mm で衝撃端よりそれぞれ 500 、 500 および 300mm 離れた位置にひずみゲージを貼付した 3 種類の出力棒に速度 140cm/sec で衝突させた。

接触時間 (継続時間) は入出力棒の間をスイッチとした回路を作り、このスイッチの接触中のみ導通の生

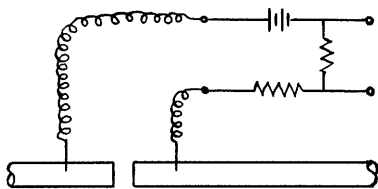


図-3 スイッチ回路

ずる回路によって計測した。その回路を図-3に示す。
 上記の3ケースの実験における応力の時間変動を写真-5に示す。また接触時間が各写真の最下段に示されている。応力値は各ケースとも 2.8kg/mm^2 であるが、接触時間が最初のケースでは $790\mu\text{sec}$ 、あとの2ケースでは $600\mu\text{sec}$ となっている。

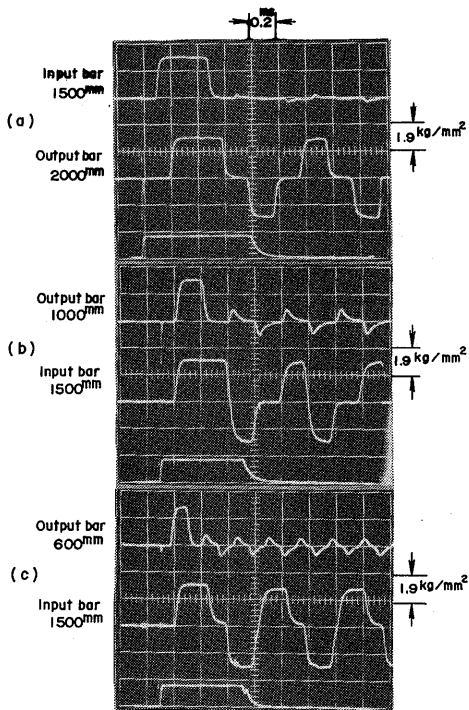


写真-5 同径入出力棒の衝突時の応力の時間変動波形

衝突によって両棒に生ずる応力は(2)式から求められ、また図式解法により応力波の時間による変動を知ることができる。図-4(a)に実験を行なった3ケースについての解析結果を示す。

入力棒の長さ 1500mm 、出力棒の長さ 2000mm の場合、

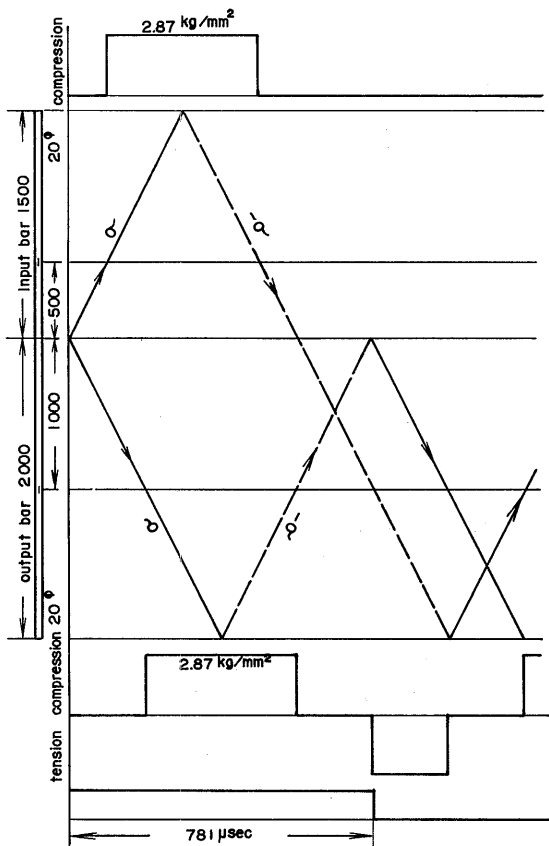


図-4(a) 同径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法
 (入力棒 $20\text{mm}\phi$ 、 1500mm 、出力棒 $20\text{mm}\phi$ 、 2000mm)

入力棒の上端で反射された引張応力は出力棒のものより早く衝突面に到達して出力棒へ透過する。この時間 $2 \times 1500\text{mm} / 5120\text{m/sec} = 586\mu\text{sec}$ で、入力棒に生じている応力は圧縮と引張が相殺するために零となり、変位速度も零となる。即ち入力棒の速度が衝突直前の V であったものが、この瞬間に零になる。一方出力棒の下端で反射された引張応力は入力棒の上端からのものが到達するまでは先に生じている圧縮応力を打消しながら伝播する。そして時間 $2 \times 2000\text{mm} / 5120\text{m/sec} = 781\mu\text{sec}$ には衝突面に到達する。しかし入出力棒が接している衝突面では、これ以前の $586\mu\text{sec}$ に既に応力と変位速度は零になっていて、ここに下端からの引張応力が到達すれば、出力棒の衝突面の応力は引張、変位速度は下方へ $V/2$ になる。すなわち $781\mu\text{sec}$ で入出力棒の接触面の変位速度が異なるから、入出力棒は離れることになる。

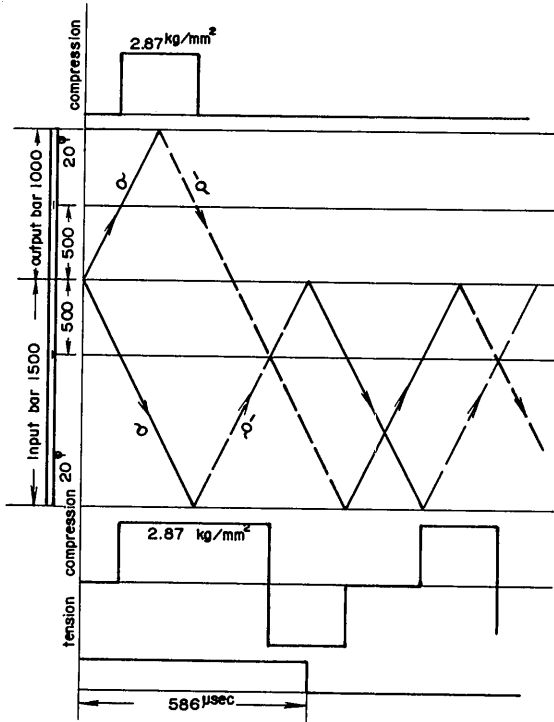


図-4(b) 同径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法
(入力棒 20mm φ, 1500mm, 出力棒 20mm φ, 1000mm)

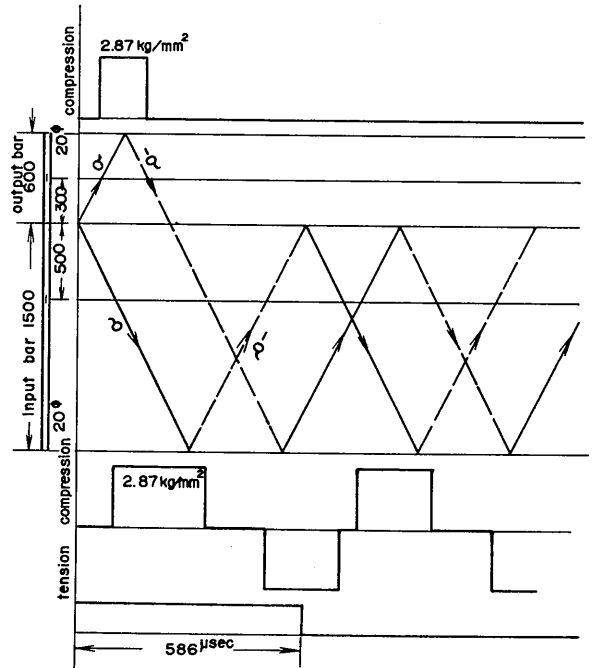


図-4(c) 同径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法
(入力棒 20mm φ, 1500mm, 出力棒 20mm φ, 600mm)

入力棒1500^{mm}より短い出力棒1000, 600^{mm}の場合について、図式解法の結果を図-4(b), 図-4(c)にそれぞれ示す。

出力棒の上端で反射した引張応力は入力棒のものより早く衝突面に到達し入力棒に透過する。この時間はそれぞれ $2 \times 1000^{mm} / 5120^{m/sec} = 319 \mu sec$, $2 \times 600^{mm} / 5120 = 234 \mu sec$ で、出力棒に生じている応力は圧縮と引張が相殺するために零になり変位速度も零になる。一方、入力棒の下端で反射された引張応力は出力棒の上端からのものが到達するまでは先に生じている圧縮応力を打消しながら伝播する。そして586 μsec には衝撃面に到達する。しかし衝突面ではこれ以前に応力と変位は零になっていて、ここに下端からの引張応力が到達すれば、入出力棒は離れることになる。

写真-5の実験結果と図-4の図式解法による解析結果とは応力値および接触時間ともに良く対応している。従って、応力値が零の状態の接触面に引張応力が到達したときに両棒が離れるという前述の結論が正しいということが出来る。

(190)

4.2 反射率および透過率

入力棒として長さ530^{mm}で、直径が20^{mm}φと10^{mm}φの両棒を使用し、出力棒は長さ2000^{mm}で直径10, 16, 20および30^{mm}φと4種類の太さの棒を用い、速度140^{cm/sec}で衝突させた。この時の応力の時間変動波形と継続時間の関係を写真-6にそれぞれ示す。

上段と中段には出力棒と入力棒との応力の時間変動波形が示されており、また下段には継続時間が示されている。この写真に示されている5ケースについて、出力棒および入力棒の第1波目の応力値 (^{kg/mm²}) と継続時間 (μsec) を読みとると(1)4.2, 1.1, 780 (2)3.2, 1.6, 780 (3)2.9, 2.8, 780 (4)1.6, 3.4, 400 (5)1.1, 4.3, 250となっている。また第1波目以後における応力値の時間変動も入出力棒の断面積の比によってそれぞれ異なっている。

実験で得られた上述の結果を以下に解析的に検討してみる。衝突時においては両棒に生ずる応力値は(2)式によって求めることができる。また衝突時に生じた応力波が、それぞれ棒の自由端で反射して衝突面(接触

面)に戻ってきたときの反射率 α および透過率 β は(3)式から求めることができる。ただし、ここで引張応力波が接触面に到達したときの考え方について説明をつけ加える。即ち、(3)式で求められる透過応力波の値が、その透過された棒にその時点で生じている圧縮応力の値より小さいときには(3)式がそのまま成り立つとす

る。しかし、透過引張応力波の値がそこに生じている圧縮応力の値より大きいときには、両棒は離れて接触面は自由端になると考える。従って、到達した引張応力波は同じ大きさの圧縮応力波となって反射する。また、その時点で接触面において両棒に生じていた圧縮応力の値が零となるわけであるから、その圧縮応力の値と同じ大きさの引張応力波が両棒に発生したと考える。以上の手法に基づいて写真-6に示した各実験のケースについて図-5に図式解法により解析的に示した。

入力棒530mm, 20mm ϕ と出力棒2000mm, 10mm ϕ とを衝突させた場合について図-5(a)に示す。入出力棒の衝突面に発生した圧縮応力は棒の上下端に向って伝播し、入力棒の圧縮応力は引張応力となり衝突面に到達し(3)式による反射、透過が行なわれる。出力棒には圧縮応力4.59kg/mm²が存在するが、入力棒から透過した引張応力1.84kg/mm²は圧縮応力の一部を消失させながら伝播し、その値は2.75kg/mm²となる。出力棒の圧縮応力は上

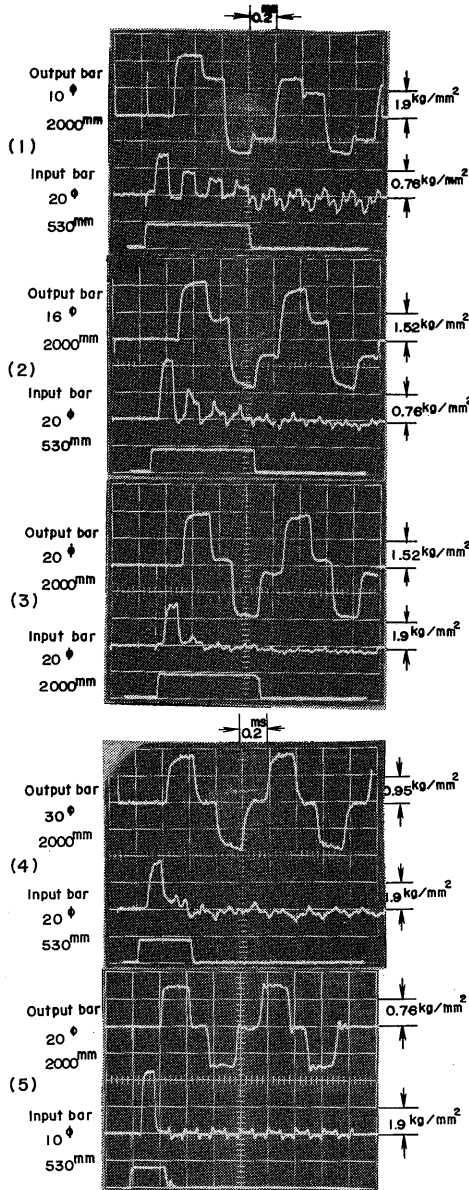


写真-6 異径入出力棒の衝突時の応力の時間変動波形

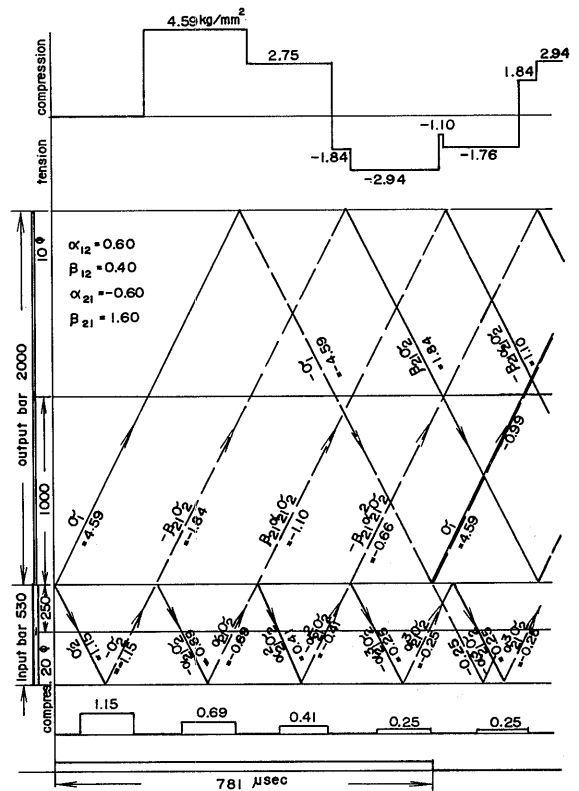


図-5(a) 異径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法 (入力棒20mm ϕ , 530mm, 出力棒10mm ϕ , 2000mm)

端で反射し引張応力となって衝突面へ向う。入力棒の圧縮応力 0.25 kg/mm^2 のところに、出力棒の大きな引張応力 4.59 kg/mm^2 が到達するために、入出力棒は $781 \mu\text{sec}$ で離れる。そして到達した引張応力 4.59 kg/mm^2 は同じ大きさの圧縮応力となって出力棒へ反射する。また、その時点で出力棒および入力棒の接触面において生じていた圧縮応力値 0.99 kg/mm^2 および 0.25 kg/mm^2 を打消すために、それらと等しい大きさの引張応力波がその時点で発生すると考えて、それ以後の解析を進めている。

図-5(b)に示した入力棒 $20 \text{ mm}\phi$ と出力棒 $16 \text{ mm}\phi$ の衝突については、衝突面に発生した圧縮応力は両棒の上端、下端に向かって伝播し、短い入力棒の圧縮応力は反射して引張応力となり速く衝突面に返ってくる。出力棒への透過は(3)式に従って引張応力となり、圧縮応力の一部を打消しながら伝播する。出力棒の反射引張応力 3.50 kg/mm^2 が衝突面に達した時には、入力棒に生じている圧縮応力が 0.02 kg/mm^2 とほとんど零に近いために両棒は離れる。

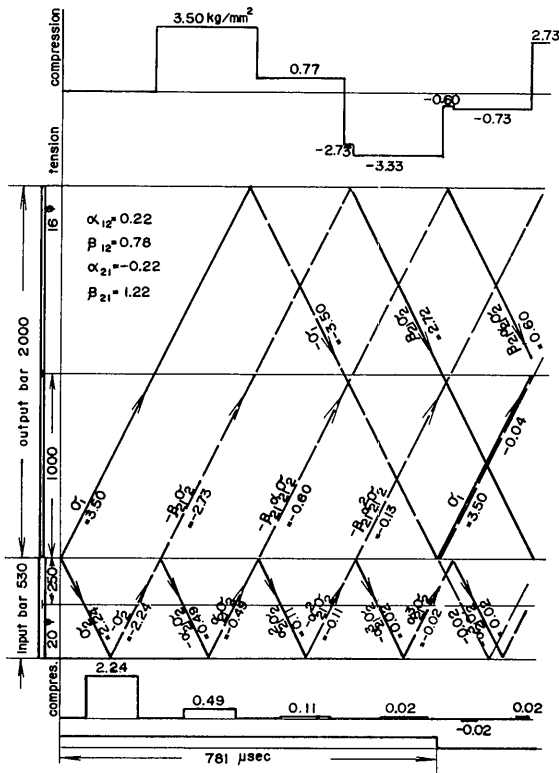


図-5(b) 異径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法

(入力棒 $20 \text{ mm}\phi$, 530 mm , 出力棒 $16 \text{ mm}\phi$, 2000 mm)

$20 \text{ mm}\phi$ の同径棒が衝突した場合について図-5(c)に示す。入力棒を往復した引張応力 2.87 kg/mm^2 は(3)式に従って衝突面では反射が起らないで、すべて衝突面を透過し出力棒を伝播する。衝突時の圧縮応力波が出力棒を往復した時に入出力棒は離れ、衝突面はこの瞬間より自由端になる。その時の継続時間は前述の結果と同じ $781 \mu\text{sec}$ である。

入力棒 $20 \text{ mm}\phi$ と出力棒 $30 \text{ mm}\phi$ との衝突の場合を図-5(d)に示す。入力棒の下端の自由端で反射した引張応力 3.97 kg/mm^2 が接触面に到達した時の計算上の透過応力は $\beta_{21}\sigma_2 = 0.62 \times 3.97 = 2.46 \text{ kg/mm}^2$ の引張応力となり、これはその時点で出力棒に生じている圧縮応力 1.77 kg/mm^2 より値が大きい。従って、この時点で両棒は離れ衝突面は自由端になると考える。入力棒の引張応力 3.97 kg/mm^2 は同じ大きさの圧縮応力として反射し、またこの時点で両棒の衝突面に生じていた圧縮応力と同じ大きさの引張応力が生じて両棒をそれぞれ伝播する。従って、入力棒においては反射した圧縮応力波と

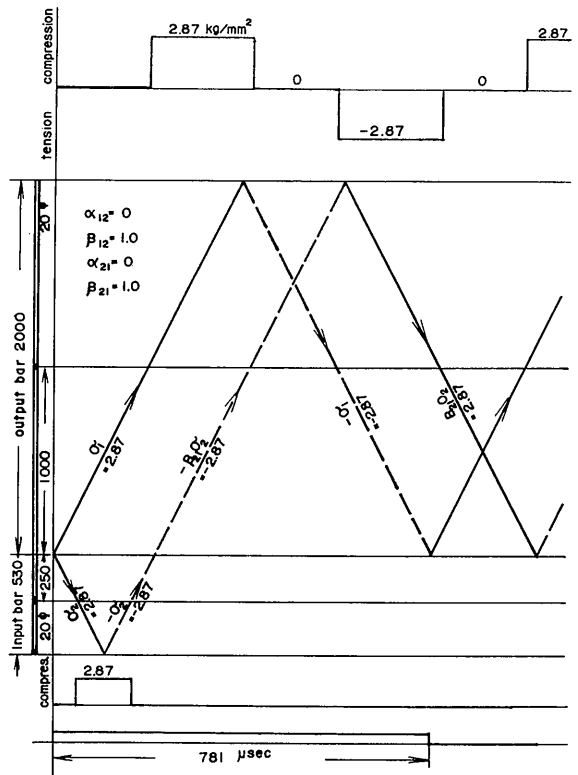


図-5(c) 同径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法

(入力棒 $20 \text{ mm}\phi$, 530 mm , 出力棒 $20 \text{ mm}\phi$, 2000 mm)

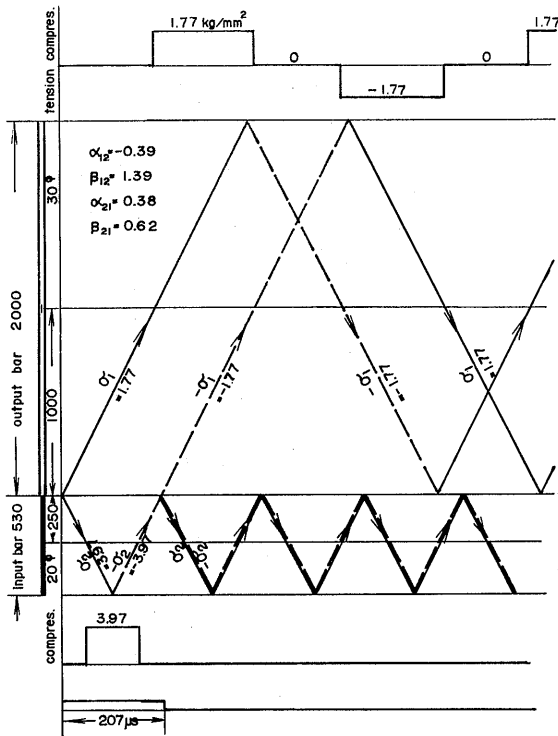


図-5(d) 異径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法
(入力棒 20mm φ, 530mm, 出力棒 30mm φ, 2000mm)

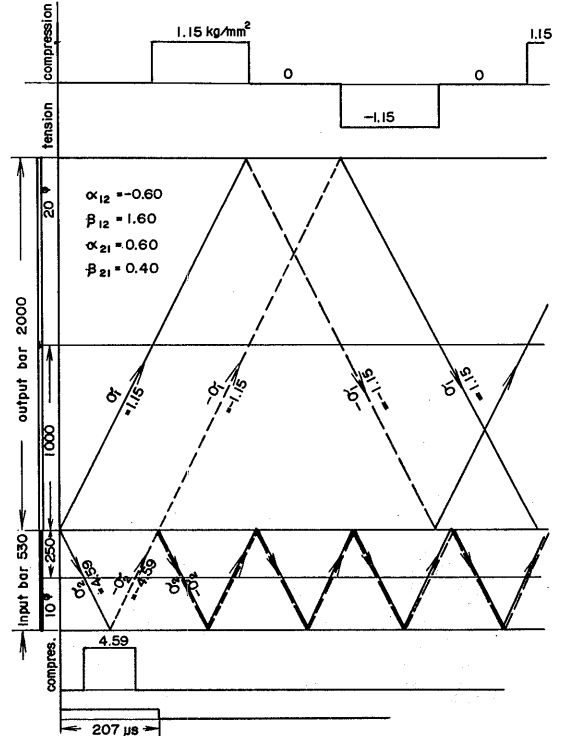


図-5(e) 異径入出力棒の衝突時の応力波の伝播における図式解法
(入力棒 10mm φ, 530mm, 出力棒 20mm φ, 2000mm)

新たに生じた引張応力波とが相殺して、この時点以後では応力は零の状態となる。同様に出力棒においても衝突面に生じた引張応力 1.77kg/mm²が圧縮応力を消失させながら伝播する。

次に、直径 10mmφ の入力棒と直径 20mmφ の出力棒の衝突の場合を図-5(e)に示す。図-5(d)の場合に比べて、衝突時に両棒に生ずる応力値の差が大きくなっているが、それ以外の挙動はすべて同じである。

以上、図-5に示した図式解法による解析結果が写真-6の実験結果と良く対応していることから、ここで用いた応力波の反射および透過についての考え方が正しいものであるといえる。ただし、図-5(d)に示した場合における継続時間には計算値と実験値とで差がみられるが、これは実験に用いた丸棒の接触面における加工精度等に起因するものと考えられる。

4.3 衝撃応力の大きさ

出力棒には長さ 1500mm、直径 20mmφ の棒を使用し、入力棒には長さ 2000mm で直径 10, 16, 20, 30, 40mmφ と太さを変えた棒を振り式治具に取付け、140cm/sec で衝突

させた時に、両棒に生ずる衝撃応力を求めた。また、衝突面が 160mm × 170mm で奥ゆき 290mm の鉄鋼ブロックに衝突させた時の応力を求めた。

入力棒および出力棒の断面積をそれぞれ A₁ および A₂ とし、A₂/A₁ に対する入力棒および出力棒の応力値 σ₁ および σ₂ を図-6 に示す。また、その時の応力の時間変動を写真-7 および写真-8 にそれぞれ示す。

棒の断面積が異なれば接触面における応力と変位速度は非接触部分があるために一様でないが、これらは共に断面上で一様に変化するものと仮定している。

入出力棒に生ずる応力およびそれらの和は(2)式を書き改めて次のように表わせる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= V \sqrt{\frac{\gamma E}{g}} \cdot \frac{A_2/A_1}{1 + A_2/A_1} \\ \sigma_2 &= V \sqrt{\frac{\gamma E}{g}} \cdot \frac{1}{1 + A_2/A_1} \\ \sigma_1 + \sigma_2 &= V \sqrt{\frac{\gamma E}{g}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

これらの式から求まる値も図-6 に併せて示した。こ

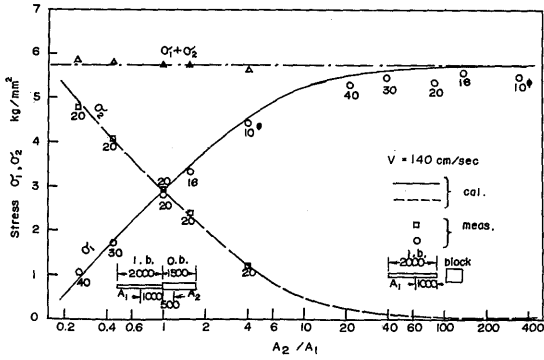


図-6 衝撃応力の大きさと計算値との比較

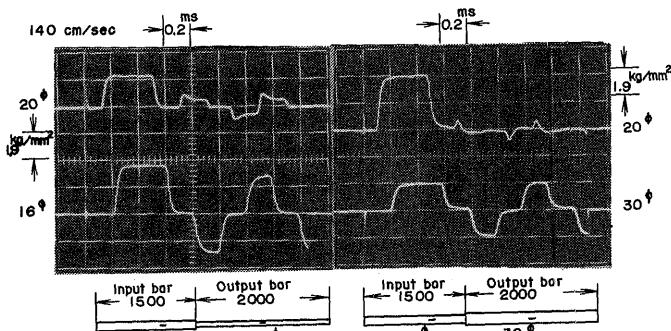


写真-7 異径棒の衝突による応力の時間変動波形

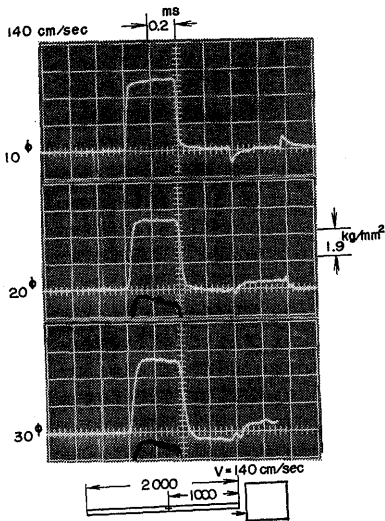


写真-8 棒とブロックの衝突による応力の時間変動波形

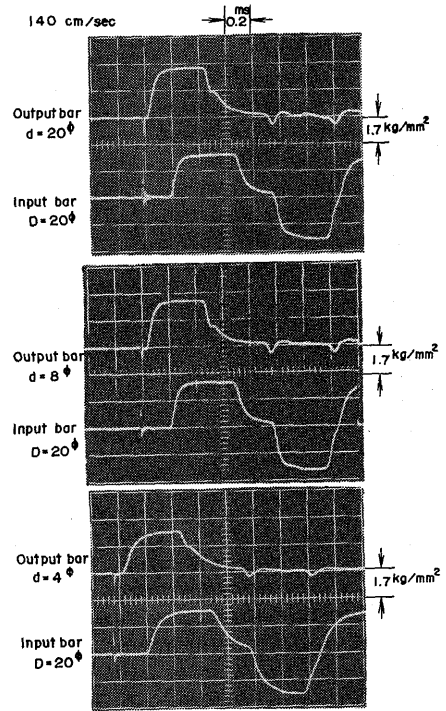


写真-9 衝突面の接触状態が波形におよぼす影響

の図における計算値と実験値との比較から $0.2 < A_2/A_1 < 5$ の範囲では一次元伝播理論を用いても実用上十分な精度の計算値が得られるということが出来る。またブロックと棒の場合のように、非常に断面積の差がある場合 ($A_2/A_1 > 20$) でも棒に生ずる応力値についての計算値と実験値との差は 5% 程度である。

4.4 衝突面の影響

棒と棒の縦衝撃の実験では完全な面接触となりにくい。これが応力の時間変動におよぼす影響を調べるために、直径 $20\text{mm}\phi$ で長さ 600mm の出力棒の打撃面の先端 2mm の部分を施盤で削り、切削し直径を d とした。

この出力棒に直径 $20\text{mm}\phi$ で長さ 1500mm の入力棒を衝突させて、両棒に生ずる応力の時間変動を調べた。写真-9, 10 に実験結果を示す。写真-9 には衝突速度 140cm/sec における $d = 20\text{mm}\phi$, $8\text{mm}\phi$ および $4\text{mm}\phi$ の 3 ケースについて示す。なお応力の計測位置は出力棒では衝突面から 50mm 、入力棒では衝突面から 500mm である。先端の d が小さいほど応力の立ち上がりの傾斜が緩くなっているのがわかる。写真-10 に先端の $d = 8\text{mm}\phi$ の場合について、 $70, 140$ および 210cm/sec の 3 ケースの衝突

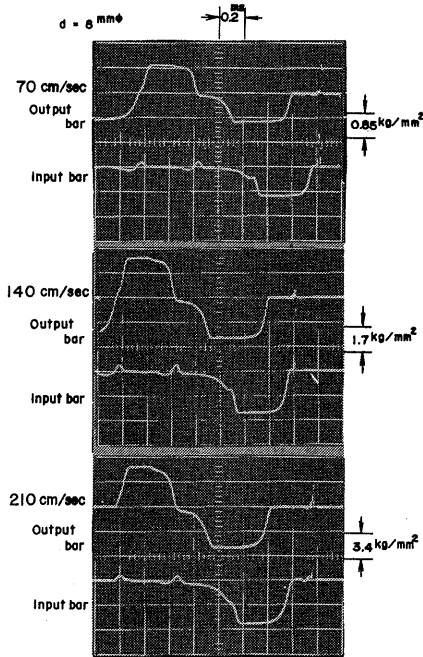


写真-10 衝突面の接触状態が衝撃速度におよぼす影響

撃速度についての実験結果を示す。立上り時間には顕著な差は見られない。

上述の実験について、前述の場合と同様な図式解法を試みることができるが、図-7に示すように非常に多くの反射および透過の繰返しが必要であるため、あまり実用的でない。そこで、ここでは任意の時間に両棒に生ずる応力を表わす式を求めることにする。図-7(b)を参照して、出力棒および入力棒において、 $(n+1)$ 回目までの応力波の合計をそれぞれ σ_{T0} および σ_{T1} とするとそれらは次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{T0} &= \beta\sigma_0 (1 + \alpha^2 + \alpha^4 + \dots + \alpha^{2n}) \\ &= \beta\sigma_0 (1 - \alpha^{2n+2}) / (1 - \alpha^2) \\ \sigma_{T1} &= \sigma_1 + \alpha\beta\sigma_0 (1 + \alpha^2 + \alpha^4 + \dots + \alpha^{2n-2}) \\ &= \sigma_1 + \alpha\beta\sigma_0 (1 + \alpha^{2n}) / (1 - \alpha^2) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(2)式および(3)式から求まる σ_0 , σ_1 , α および β を(5)式に代入して整理すると次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{T0} &= \frac{V}{2} \sqrt{\frac{\gamma E}{g}} \cdot (1 - \alpha^{2n+2}) \\ \sigma_{T1} &= \frac{V}{2} \sqrt{\frac{\gamma E}{g}} \cdot (1 - \alpha^{2n+1}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

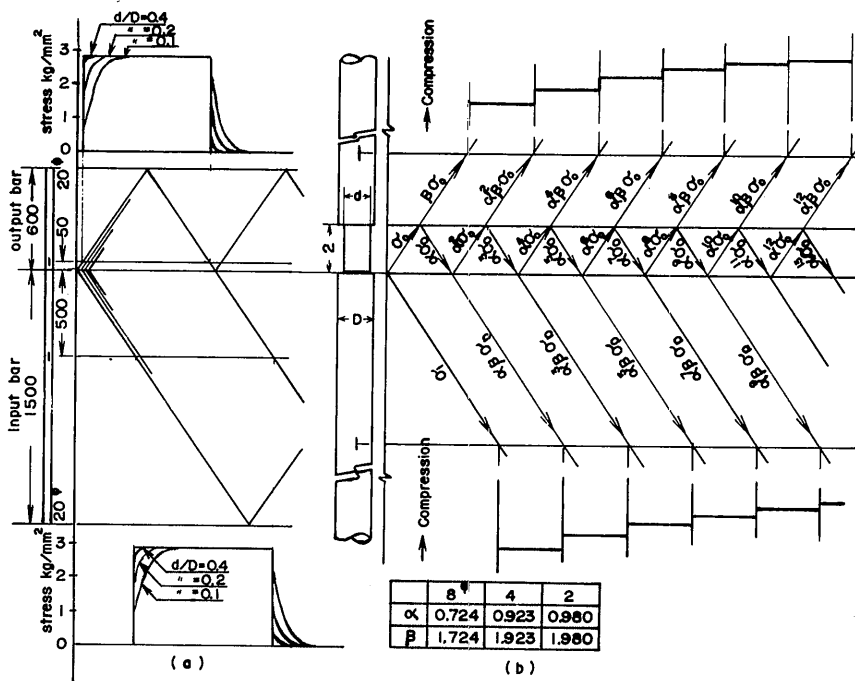


図-7 図式解法による衝突面の接触状態の影響

n は時間によって定まるから、(6)式を用いて任意の時間における入出力棒の応力値を知ることができる。3 ケースの d の値についての(6)式による計算値を図-7(a)に示した。 $d=D$ の場合は $\alpha=0$ となるから、応力波形の計算値は矩形波となる。この計算値からも先端の d が小さいほど、応力の立上りの傾斜が緩いことがわかる。なお衝撃速度と応力値の関係を図-8に示したが、実験値の方がわずかながら計算値より低くなっている。

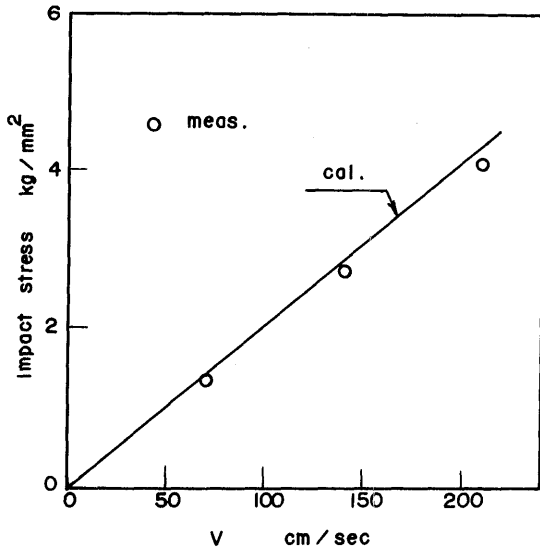


図-8 衝撃応力と衝撃速度の関係

5. 結 論

種々の条件下における丸棒の縦衝撃応答について実験的および解析的検討を行なった。得られた結果を要約すると次のようになる。

- 1) 圧縮応力状態にある2本の棒の接触面に、それより値が小さい引張応力が到達した時には、(3)式から得られる透過率および反射率が適用できる。しかし、圧縮応力の値よりも大きい引張応力が到達した場合には、(3)式は適用されず両棒は離れる。そしてそれらの圧縮応力を相殺する大きさの引張応力が衝突面に発生したとすると実験結果を良く説明できる。
- 2) 断面積の比が $0.2 < A_2/A_1 < 5$ 程度の場合には両棒に生ずる応力の値について計算値と実験値は良く一致した。また、 $A_2/A_1 > 5$ の場合でもその誤差は約5%程度である。
- 3) 入出力棒の接触面の状態が波形の立上り特性および応力値にも影響を及ぼし、接触面積が小さいほど波形の立上りは緩くなる。

参 考 文 献

- 1) 谷藤暁男, 栗原重蔵, 加賀広: 機械技術研究所報 28 (1974) No. 1, 23
- 2) 作井誠太: 鉄と鋼, 第57年 (1971) 第14号 P2300
- 3) HOPKINSON, B: Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A.213, 437~456 (1914)
- 4) 大井光四郎: 機械学会誌, 第69巻, 第575号, 1602P
- 5) 松本浩之: 機械学会論文集, 29巻197号 (昭和38-1) 49P
- 6) 中原一郎, 松本浩之: 機械学会誌, 第69巻, 第575号, P88