

電子計算機とその応用(7)

電子計算機の鉄道部門における応用

大 地 羊 三*

1. 電子計算機による計算

電子計算機について正しい理解をもたない人々の間には、次のごとき誤った考えを持つ人がいる。その第一は、電子計算機は万能の機械で、スイッチ一つで必要な計算ができると考えている人であり、第二は、電子計算機は単にタイガー計算機・電動計算機を高速化したもので、連立一次方程式または逆行列を計算するのに便利な機械であると考えている人である。

電子計算機の機能を一言でいうと、人間にできる情報処理はなんでもでき、しかもその速さ・正確さは人間とくらべものにならないほどすぐれている機械であるといえる。例えば速さの点では、人間で10時間かかる10行10列の行列の演算を小型電子計算機(Bendix G-15)で10秒、大型電子計算機(IBM 704)で0.6秒で実施する。また正確さの点では、普通の人間は200の数字を写すと1つの誤りを犯すといわれているが、電子計算機では機械が故障している特別の場合をのぞけば皆無といって差し支えない。しかし電子計算機で一つの問題を解くためには、計算機の運転を開始するまえに、計算の手順または情報の処理方法を逐一正確にきめておかなければならない(この計算の手順をきめる命令群のことをプログラムといっている)。これで初めて書いた二つの考え方は誤っていることがわかるであろう。わが国でも、電子計算機で計算したという論文が見られるようになったが、その多くが単に連立一次方程式の解、あるいは逆行列の計算だけに電子計算機を利用していることは残念なことである。

次に電子計算機の構造の要・命令の種類およびその機能などについて説明すべきであるが、この点については別に説明があると思われるので割愛し、ある問題を電子計算機にかけるかどうかを判断するために注意すべきことを箇条書にしておく。

(1) 人間にできる情報処理は何でもできると書いたが、電子計算機にも得意な仕事と不得意な仕事がある。電子計算機ができることは、(a) 四則演算、(b) 論理的な演算、(c) 多くのものを比較してその中から一つのものを選ぶこと、(d) 数字を記憶したり、再製したりする

こと、(e) 紙テープ・パンチカード・磁気テープ・磁気ドラムなどに書かれた命令、またはデータを互いにやりとりすること、(f) プログラムに従って自動的に四則演算その他情報処理を行なうこと、(g) チェックのためのプログラムがつくってあれば自分で演算結果のチェックを行なうこと、などである。

一方電子計算機が不得意なことは、(a) 絵や色を判別すること、(b) くずれた文字を判別すること、(c) 平面内にランダムにおかれた点の間の関係を求めること、などである。

(2) 前にも述べたとおり電子計算機は、人力にくらべて数千倍から数万倍の速さで、しかも正確に問題を処理してくれる。しかし今までにあまり問題にならなかった計算手順を正確にきめ(Programming)、電子計算機のわかる言葉で命令を書く(Coding)という新しい仕事ができる。このProgrammingおよびCodingでは熟練した人でも30の命令に一つの割合で誤りを犯すといわれており、プログラムが完成するまでには、かなりの時間と手数がかかるものである。従って同じプログラムが何回も数多く使用されるものでないと電子計算機には不向きである。

(3) 当然のことであるが人間が考えてできない問題は、プログラムをつくることができない。従って何とかなるだろうというような甘い考えではなく、この方法なら確実に答が得られるということがわかってからでないと無駄である。

(4) 数表をつくるような問題は一考を要する。いつ用いられるかわからないような場合の答まで数表につくっておくことがよいか、必要とするたびごとに計算する方がよいか、よく考えて見なければならぬ。つまり数表にするか、プログラムの形にしておくかを考える。

(5) どの電子計算機でも、連立一次方程式・高次代数方程式・逆行列・固有値問題などを解くための一般的なプログラム(Sub Routine)ができているが、それを利用すべきか、または与えられた問題、独自のプログラムをつくるべきかは問題によってそのつど判断しなければならない。すでにできているSub Routineは一般的な問題を解くようにできているため、個々の問題に対しては無駄な計算をすることがあり、そのため計算時間が長くなるのが普通である。

2. 行列算の利用

ある問題を、電子計算機で計算させることにきめた場合、最初にやらなければならないことは、計算の手順をプログラミングすることである。従来の計算手順をそのまま踏襲するものとすれば、計算書の内容を調べ、その順序に従ってプログラミングすればよい。簡単な構造物ならばこの方法でも差し支えないが、複雑な高次の不静

* 正員 国鉄鉄道技術研究所構造物研究室

定構造物を解く場合だと、計算書そのものがほう大であり、計算が錯綜していてどこから手をつけてよいかとまどうことが多い。

そこで計算手順が一目してわかるように数式化する必要がある。このためには行列算が最も適している。 m 行 n 列の行列には $m \cdot n$ 個の元素がふくまれている。従って行列を用いれば性質の似た $m \cdot n$ 個の物理量の間の関係を一式で表わすことができる。しかし、一つの行列方程式を実際に計算しようとするとき、 $m \cdot n$ 個の物理量に対して四則演算をくり返さなければならず、非常に手間がかかるので、行列算は理論の展開にだけ利用され、実用計算には不向きなものと考えられていた。

電子計算機による計算が可能になった現在では、情勢が一変している。1.でも述べたごとく、電子計算機の計算速度は人力と比較にならないほど早く、しかも正確である。従って計算が複雑で手間がかかるということは、もはや問題でなくなった。その反面プログラミングというやっかいな問題が現われ、電子計算機で犯す誤りの大部分がここにあるといわれている。この誤りは、行列を用いて全体を見とおす方程式をつくることによってある程度解消される。

以上の理由から最近各国で行列に関する関心が深まり、行列による構造物の解法に関する論文^{9)~10)}が数多く発表されており、一方電子計算機による構造物計算を主題にした論文はそのほとんど全部が行列を用いている。また電子計算機に関する特集号をのせた雑誌や講演会の報告⁹⁾を見ると、多数のページが行列算に関する論文に書かれているのが現状である。

行列についてさらにくわしく説明するためには紙数が足りないので割愛し、行列算を用いると問題がどのように簡単になるかを知るために、二つの例題だけをあげておく。

(1) 不静定構造物の物理量 $[A]$ は、静定基本形の物理量 $[A_0]$ 、不静定力 $=-1$ を載荷したときの静定基本形の物理量 $[a]$ および構造物の剛性を表わす物理量 $[L]$ を用いて(1)式のごとく表わすことができる¹¹⁾。

$$[A] = [I - a(aLa)^{-1}aL][A_0] \dots \dots \dots (1)$$

(2) 行列 $[A]$ の逆行列がわかっている場合、 $[A + d]$ の逆行列は(2)または(3)式によって求めることができる(これはいわゆるイテラチオン法の行列による表示である)。

$$[A + d]^{-1} = [A]^{-1} \{ [I] - [d \cdot A^{-1}] + [d \cdot A^{-1}]^2 - [d \cdot A^{-1}]^3 + \dots \} \dots \dots \dots (2)$$

$$= \{ [I] - [A^{-1} \cdot d] + [A^{-1} \cdot d]^2 - [A^{-1} \cdot d]^3 + \dots \} [A]^{-1} \dots \dots \dots (3)$$

3. 電子計算機の鉄道部門における利用

電子計算機は大別して、事務計算と技術計算の二つに

利用されている。事務計算ではデータの数が多く分類に手間がかかるが計算は簡単な場合が多く、これに反して技術計算ではデータの数は少ないが計算が複雑で手間のかかる場合が多い。また最近ではこれらとは別に化学工場の自動制御、飛行場における航空機の発着の制御などの Real Time Control に電子計算機を利用することが研究され、逐次実用化されている。

視野を鉄道部門に限って、もうすこしくわしく述べると、米国の一級鉄道、例えば New York Central, Pennsylvania, Great Northern などでは大型 (IBM 705, R.R. UNIVAC I など)、あるいは中型 (IBM 650 など) の電子計算機を使用しており、また欧州諸国の鉄道では IBM およびフランスの Bull 社の製品が使用されている。仕事の内容のうち事務計算としては給料計算・貨物収入・旅客収入・資材管理・旅客統計・運転計算などがあり、また技術計算としては土木・機械・電気の各分野にわたった広範囲な各種の問題に利用されている。

特に建設および施設の分野について調べると、事務計算としては踏切事故統計・保線統計・工事工程計算・施設統計・荒廃量調査・資材運用計画・財産台帳整理などがあり、技術計算としては構造物設計計算・構造物振動解析・土質力学計算・流土計画計算・曲線勾配改良計算・測量計算・測量データ処理・線区別輸送量予測計算・貨車分解組成計画・貨車適正集結計画・最適設備容量計算・線路容量換算線路延長キロ計算・線路抵抗計算、などがある。

わが国の国鉄でも本社に中型の UNIVAC File、鉄道技術研究所に小型の Bendix G-150 D 電子計算機をそなえてそれぞれ事務計算、技術計算を行なっている。また鉄道に関係する Real Time Control として配車・列車の発着・座席の予約などに用いる電子計算機の研究が進められ、その一部は実用化の段階になっている。

4. Bendix G-15 D による技術計算の例

鉄道技術研究所の Bendix G-15 D で実施している技術計算のうち、土木に関係あるものについて述べる。

(1) レール沈下曲線の計算

当研究所計画管理研究室の池守技師が作成したもので、レールの沈下曲線を

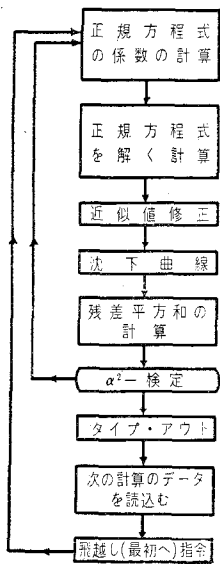
$$y = Ce^{-\alpha t} - \beta t - C \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 y : レール面の高さ、 t : 測定時点、 $\alpha \cdot \beta \cdot C$: 定数とし、 $\alpha \cdot \beta \cdot C$ を Deming の最小自乗法によって求める問題である。Block Diagram は 図-1 のごとくであり、計算時間は測定値 21 個のときで 1 くり返し約 4 分、全計算時間は最高 30 分程度である。

(2) 合成桁の設計計算

構造物設計事務所の中野職員が当研究所計画管理研究室の中西職員の指導を受けて作成したもので、曲げモー

図-1 レール沈下曲線計算の Block Diagram



(残差平方和が一定値以上であれば計算を繰返す)

メント・せん断力・支点反力などを与えて、設計示方書・許容応力度にマッチした合成桁の断面を決定しようとするもので、その Block Diagram は図-2のごとくである。

(3) ローゼ桁の影響線の計算

著者が 1960 年 8 月に作製したプログラムで、その計算式¹¹⁾は (5) 式のごとくであり、Block Diagram は図-3 に示すごとくである。

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \Sigma \rho' + (\bar{h}) [uL^{-1}O](h) \\ (H_{inf}) &= -\frac{1}{\mu} (\bar{h}) [uL^{-1}OS^{-1}] \\ [M_{inf}^0] &= [S^{-1} + h \cdot H_{inf}] [u \cdot L^{-1}] \\ [M_{inf}^u] &= [S^{-1} + h \cdot H_{inf}] - [M_{inf}^0] \\ [\eta_{inf}] &= [M_{inf}^0] [OS^{-1}] \end{aligned} \right\} \dots \dots (5)$$

ただし $\Sigma \rho' = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\lambda_i^2}{O_i A_{oi} E} + \frac{\lambda_i^2}{u_i A_{ui} E} \right\}$

$$[O] = \begin{pmatrix} O'_{a1}, O'_{b2} \\ O'_{b2}, O'_{a2}, O'_{b3} \\ \dots \dots \dots \\ O'_{bn-2}, O'_{an-2}, O'_{bn-1} \\ O'_{bn-1}, O'_{an-1} \end{pmatrix}, \quad \left(\begin{aligned} O'_{ai} &= \frac{1}{3E} \left\{ \left(\frac{O}{I_0} \right)_i + \left(\frac{O}{I_0} \right)_{i+1} \right\} \\ O'_{bi} &= \frac{1}{6E} \left(\frac{O}{I_0} \right)_i \end{aligned} \right)$$

$$[u] = \begin{pmatrix} u'_{a1} & u'_{b2} \\ u'_{b1} & u'_{a2} & u'_{b3} \\ \dots \dots \dots \\ u'_{bn-2} & u'_{an-2} & u'_{bn-1} \\ u'_{bn-1} & u'_{an-1} \end{pmatrix}$$

図-2 合成桁の設計計算の Block Diagram

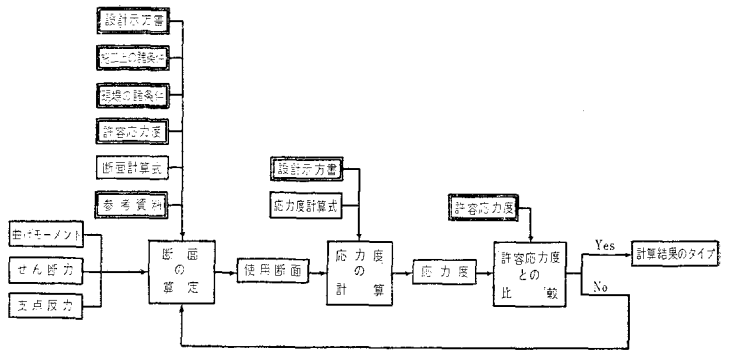
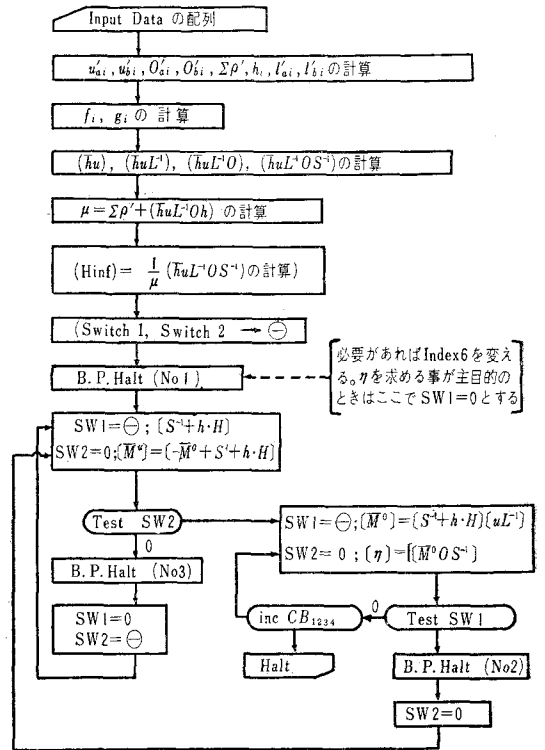


図-3 ローゼ桁の影響線計算の Block Diagram



$$\left(\begin{aligned} u'_{ai} &= \frac{1}{3E} \left\{ \left(\frac{u}{I_u} \right)_i + \left(\frac{u}{I_u} \right)_{i+1} \right\} \\ u'_{bi} &= \frac{1}{6E} \left(\frac{u}{I_u} \right)_i \end{aligned} \right)$$

$$[S] = \begin{pmatrix} (1/\lambda_1 + 1/\lambda_2), -1/\lambda_2 \\ -1/\lambda_2, (1/\lambda_2 + 1/\lambda_3), -1/\lambda_3 \\ \dots \dots \dots \\ -1/\lambda_{n-2}, (1/\lambda_{n-2} + 1/\lambda_{n-1}), -1/\lambda_{n-1} \\ -1/\lambda_{n-1}, (1/\lambda_{n-1} + 1/\lambda_n) \end{pmatrix}$$

(h) = 格点の高さをたてに並べた列ベクトル
 (H_{inf}), [M_{inf}⁰], [M_{inf}^u], [\eta_{inf}] = それぞれ水平軸力, 上弦格点の曲げモーメント, 下弦格点の曲げモーメント, 格点のたわみの影響線行列
 (), [] = 転置行列

O_i, A_{oi}, I_{oi} = それぞれ第 i 上弦材の長さ, 断面積, 断面二次モーメント

u_i, A_{ui}, I_{ui} = それぞれ第 i 下弦材の長さ, 断面積, 断面二次モーメント

λ_i = 格間の長さ E = ヤング係数

このプログラムを用いて計算を行なった三種類のローゼ桁について, 計算時間をあげると次のごとくである。

格間 10 で $[M_{inf}^0]$ と $[M_{inf}^u]$ を求める場合
3 時間 30 分

格間 12 で $[M_{inf}^0]$ と $[M_{inf}^u]$ を求める場合
7 時間 20 分

まだ実際の桁について $[M_{inf}^0]$ と $[r_{inf}]$ を求めたこととはないが, 上記の時間から推定すると,

格間 10 のとき 6 時間 30 分, 格間 12 のとき 14 時間 0 分くらいになると思われる。これらの所要時間は予期した以上に長いものである。所要時間がこのように長くなった理由は, 計算機が小型で記憶容量が少ないので, 計算に必要な行列を行列の形で Store せず, 最小限度の元素だけを Store しておき, 必要の生じたときにくり返し計算を行なわせたためである。現在必要な行列を磁気テープに Store させることによって, 計算時間を短縮するように改良したプログラムを作製中で, これが完

成すれば, 計算時間は半分以下になるものと期待している。

(4) 平行弦連続ワーレン トラスの影響線の計算

これは著者が最近作製したプログラムでその計算式¹²⁾は, (6)式のごとくであり, Block Diagram は 図-4 のごとくである。

$$[N_{inf}] = \{ [I] - [n] [\bar{n} \rho n]^{-1} [\bar{n} \rho] \} [N_{oinf}] \} \dots (6)$$

$$[r_{inf}] = [N_{oinf}] [\rho] [N_{inf}]$$

ただし $[I]$ = 単位行列 $[\bar{r}]$ = 転置行列

$[N_{oinf}]$ = 連続トラスの軸力の影響線行列

$[r_{oinf}]$ = 連続トラスのたわみの影響線行列

$[\rho] = s_i / EA_i$ (s_i, A_i = それぞれ i 部材の長さおよび断面積, E = ヤング係数) を対角元素とする対角行列

$[n]$ = 第 i 列が不静定反力 $X_j = -1$ を載荷したときの静定基本形の軸力となっている行列

$[N_{oinf}] = [N_w] [M_{oinf}]$ = 静定基本形の軸力の影響線行列

$$[M_{oinf}] = \frac{\lambda}{n} \begin{pmatrix} 1 \cdot (n-1) & 1 \cdot (n-2) & 1 \cdot (n-3) & \dots & 1 \cdot 1 \\ 1 \cdot (n-2) & 2 \cdot (n-2) & 2 \cdot (n-3) & \dots & 2 \cdot 1 \\ 1 \cdot (n-3) & 2 \cdot (n-3) & 3 \cdot (n-3) & \dots & 3 \cdot 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 \cdot 1 & 2 \cdot 1 & 3 \cdot 1 & \dots & (n-1) \cdot 1 \end{pmatrix}$$

$$[N_w] = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ c \\ b \\ a \end{pmatrix} \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ c \\ b \\ a \end{matrix}$$

$$\begin{cases} a = -s/\lambda h \\ b = 1/2 h \\ c = s/\lambda h \\ d = -1/h \end{cases}$$

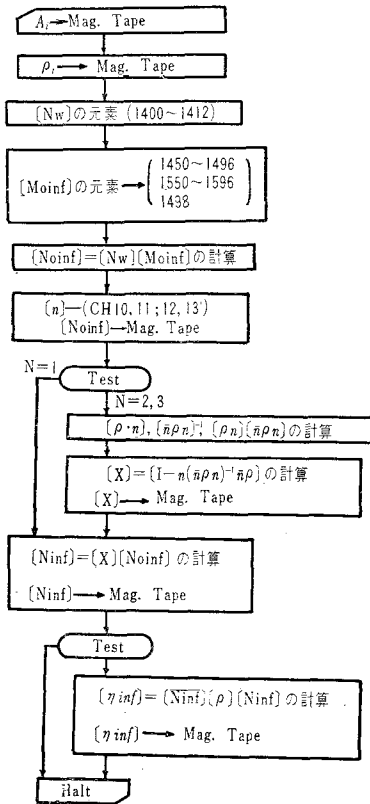
λ : 格間長, h : トラスの高さ, s : 斜材の長さ

まだ実際のトラスについて計算を行なったことがないので, 所要時間ははっきりしないが, いままでに行なった予備計算の経験から, 18 パネルのトラスで 5~6 時間かかるものと思われる。

参考文献

- 1) "Electronic Computer Issue", Civil Eng. 28-5 (1958)
- 2) "Conference on Electronic Computation", Committee on Electronic Computation, Structural Division ASCE (1958)
- 3) R.K. Livesley & T.M. Charton: "Analysis of Rigid Frames by an Electronic Digital Computer", Engineering (London) Vol 176 p.230 & Vol 177 p.239 (1954)
- 4) B. Klein: "A Simple Method of Matrix Structural Analysis", J. Aero Sciences 24-1 p 39/46 (1957)

図-4 連続トラスの影響線計算の Block Diagram



- 5) W.P. Rodden: "Further Remark on Matrix Interpolation of Flexibility Influence Coefficients", J. Aero Sciences 26-11 p 760 (1959)
- 6) J. Szabo: "Die Berechnung von Brucken-Trägerrosten", Stahlbau 27-6 p 141/147 (1958)
- 7) V.E. Béres, V.L. Nagy & J. Szabo: "Die Berechnung raumlicher Rahmen von zuklischer Symmetrie", Stahlbau 27-11 p 281/284 (1918)
- 8) J.E. Brock: "a Matrix Method of Flexibility Analysis of Piping Systemes", J Appl. Mech. 19-4 p 501/516 (1952)
- 9) R.K. Livesley: "The Application of an Electronic Digital Computer to Some Problems of Structural Analysis", Structural Eng. 34-1 p 1/12 (1956)
- 10) H.T. Woernle: "Eine Matrizen Methode für mehrfeldrige Balken (Knicken und Schwingen)" Stahlbau 26-6 p 140/145 (1956)
- 11) 大地: "たわみの影響線行列", 鉄道技術研究報告 No. 17 (1958)
- 12) 大地: "連続桁および連続トラスの振動", 鉄道技術研究報告 No. 137 (1960)

(原稿受付: 1960.12.12)

論一文一要一旨

土木学会論文集第73号要旨

【1961年3月15日発行予定】

水平横荷重を受けるアーチ橋について

倉西茂

本論文は2本の主桁をもった鋼アーチ橋を1本のはりで代表させ、水平横荷重を受けたときに生じるねじりモーメント、曲げモーメントを求めるとともに主桁に働らく応力度を算出したものである。また横桁の曲げ剛性が橋のねじり剛性におよぼす影響や、支点に引張り応力が働らく恐れのあることを述べている。

流出を計算する場合の山腹斜面形の単純化について

金丸昭治

本論文は、総合単位図に関する基礎的研究の一部として、種々の形を有する山腹斜面上の雨水流出について考察し、その取り扱いの簡易化について二、三検討した結果を示したものである。

コンクリート ミキサにおける混合度について

柳場重正

コンクリート ミキサの基本的研究をするためには、混合効果を合理的に表示する混合度を決定することが必要である。本論文では従来採用されている判定法と、一般混合における混合過程を基本として誘導され、発表された混合度の表示法について述べ、これらのコンクリート ミキサの混合度表示に対する適応性を論じ、コンクリート ミキサが多成分系固体粒子の混合として著者が最も適応性をもつと考える判定規準の取り扱いについて述べた。

路面鉄道に生じた波状磨耗レールが受ける衝撃について

小野一良・柳場重正・成瀬忠明

路面鉄道のレールに波状磨耗が発生した場合、レールまたはまくら木が電車から受ける衝撃を測定し、衝撃の大きさと電車の速度との関係を求め、これより波状磨耗発生の原因について考察を行なった。

コンクリートの破壊強度、ひずみ能力、弾性率と破壊時間との関係

畑野正

コンクリートの動的、静的圧縮試験を同一種類の供試体に対して行ない、時間範囲を1に対して10⁶にまで拡大した場合の破壊強度、ひずみ能力、弾性率の統一的表现を試みた。この結果破壊強度については、逆数値が破壊時間の対数値と直線関係にあると表現した方がよりよい精度を与えること、ひずみ能力、すなわち最大応力時のひずみは上述時間範囲では一定と考えてよいこと、弾性率はその逆数値が破壊時間の対数値と直線関係にあるとした方が取り扱いに便利であることなどを示した。

衝撃引張荷重によるコンクリートの挙動

畑野正

コンクリートおよびモルタルの供試体に一行程の衝撃的引張荷重を加え、通常静的引張試験と比較して、その動的挙動を明らかにしようとした。この結果破壊強度の逆数値と破壊時間の対数値との間に直線関係が成立し、破壊時間の小なるほど強度は増大し、破壊強度のときのひずみ、すなわち伸び能力は破壊時間に関係なく一定となり、また弾性率の逆数値が破壊時間の対数値と直線関係にあって、破壊時間の小なるほど弾性率の増大することなどを明らかにした。