

【251】

氏 名	真 崎 才 次 ま さき さい じ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 265 号
学位授与の日付	昭 和 44 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	放電成形法の塑性力学的研究

論文調査委員 (主 査)
教 授 大矢根守哉 教 授 福田国彌 教 授 奥島啓式

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、主として放電成形法での加工条件と加工量についての塑性力学的解析と、それに関連した実験について述べたものである。

放電成形用素材の変形量に関する従来の研究は、充電エネルギーと変形量の関係を取扱っている。しかし変形に直接関係するのは充電エネルギーでなく、素材に作用する圧力波の波形である。したがって放電成形法による素材の変形量を定量化するためには、電極間での発生圧力に関する知識が必要であると述べている。素材に作用する圧力波の波形は、放電条件、素材の材質と寸法、成形用水槽の使用条件らによって大きく変化するので、変形量を一般的な式で表示することは非常に困難であること、またその解決には衝撃的な圧力下での素材の高速変形に関する塑性力学的な研究が必要であることを述べている。またこれらの複雑な問題を単純化した問題に変換し、著者の研究方法を明らかにしている。

本論文は下記の10章によって構成されている。

第1章では、水中細線放電と水中放電によって発生する圧力波に関する研究を取扱っている。まず、圧力ピックアップによる測定方法を説明し、水中細線放電の場合には細線の種類・寸法と圧力波 形 の 関 係 を、水中放電の場合には電極間の長さや圧力波形の関係を調べ、ついで圧力波がもつ機械的エネルギーを計算し、充電エネルギーから機械エネルギーへの変換効率を求めている。

第2章では、水中細線放電によって発生する圧力波について放電回路のインダクタンスと金属細線の寸法の影響を調べている。その結果、充電エネルギーの大きさによって、圧力波の大きさが最大になる最適線径の存在を指摘している。充電エネルギーが細線を爆発させるのに十分であれば、インダクタンスは小さいほど大きな圧力を示している。また充電エネルギーが十分であり、細線の体積を一定とするならば、線長を短かくし、線径を大きくすると効率は著しく改良されることを指摘している。実験範囲において効率は約20%に達している。

第3章では、周辺固定の円板に作用する圧力と円板の初期の運動に関する解析を取扱っている。前章ま

で述べた圧力波は円板面に衝突する以前の圧力波であり、円板に作用する圧力を求めるには、円板の運動を考慮しなければならない。円速が加速される間、円板の周辺部を除きその大部分は未変形のままで変位するとして解析が行なわれている。円板に作用する圧力波の形状と大きさが、 M の値、すなわち円板面の単位面積当りの円板の質量と単位面積当りの圧力波の質量の比によって与えられている。 M の値が小さければ、円板に作用する最高圧力は入射圧力波の圧力より小さくなり、一方円板の最高速度は入射圧力波の最高粒子速度より大きくなり、圧力の作用時間は短くなると指摘している。圧力波のエネルギーから円板の塑性仕事への変換効率は、 M の値が約0.5のとき最大であることを示している。

第4章では、衝撃的な内圧をうける薄肉円筒の動的変形に関する解析を取扱っている。最終変形形状を支配する塑性ヒンジの運動を動学的、塑性力学的に考えている。円筒材料は剛完全塑性体で、その変形は降伏条件とその他の仮定の下にひずみ増分理論を用いて解析されている。衝撃的な圧力を受ける円筒の変形過程、最終変形量、最終変形形状、変形終了時間が求められ、数値計算の結果を示している。最終変形形状は次の3つに分類されている。

- (1) 塑性ヒンジが円筒中央に達すると同時に円筒側壁の運動が停止する場合、最終変形形状は丸みを示す。
- (2) 円筒側壁が停止する以前に塑性ヒンジが円筒の中央に達する場合、最終変形形状は中央の尖った形になる。
- (3) 塑性ヒンジが円筒中央に達する以前に円筒側壁の運動が停止する場合、最終変形形状は一様な変形部が中央に残る形になる。

第5章では衝撃的な圧力をうける円板の動的変形に関する解析を取扱っている。解析は運動方程式、降伏条件、その他の仮定をもとに行なわれ、その結果として板の張出し高さか円板材料の変形応力、その密度、円板の半径と板厚、圧力波の力積などによって示されている。

第6章は円板の動的変形に関する実験的研究を取扱っている。すなわち第3章と第5章の解析結果を実験的に検討している。円板材料の材質と変形応力を変えるために、アルミニウムと18—8ステンレス鋼の円板を用いている。円板の運動は電気カメラを用いて約 $50\mu\text{sec}$ の時間の単位で観測されている。解析結果と実験結果は非常に一致を示している。

第7章は円筒の動的変形に関する実験的研究を取扱っている。すなわち第4章の解析結果を実験的に検討している。水中細線放電によって発生する圧力波を円筒の変形に利用する場合、円筒内面で反射圧力波が生じ、これは円筒内面に再作用する。そうすると解析のときに用いた条件を満足しなくなるので、反射圧力波の大きさができるだけ小さくなるようにして実験を行なっている。円筒の変形過程は電気カメラによって約 $10\mu\text{sec}$ の時間の単位で観測されている。円筒の変形では、円筒側壁が半径方向に一様に変位しながら、リング肩部に発生した塑性ヒンジが円筒中央に伝播していることを明らかにしている。変形過程、最終変形量、変形時間に関する解析結果と実験結果は非常に一致を示している。

第8章は放電成形法における円板と円筒の変形量に関する解析と実験を取扱っている。円板の変形の場合、水頭が大きくなると金属ガスの振動によって発生する圧力波があることを述べている。まず金属細線が急激に爆発して発生する圧力波、すなわち第1圧力波による円板の変形量を解析的に求め、この結果を、ア

ルミニウムと18—8 ステンレス鋼の円板を用いて実験的に検討し、変形量に関する実験式を示している。

円筒の変形の場合、円筒内面での反射圧力波が再作用する条件の下に、円筒の変形量に関する解析を行っている。その結果をアルミニウム、銅、鋼の円筒を用いて実験的に確かめている。

第9章では工業上利用の便のため変形量に関する相似法則を誘導している。素材の変形量は第8章の実験式を用いて見積ることが出来る。しかしそのためには放電条件と圧力波エネルギーまたは圧力波力積の関係を知らなければならない。金属細線の爆発現象が非常に複雑であるので、現在この関係は定量化されていない。したがって放電成形法による変形量を一般的に見積るためには膨大なデータを保有しなければならない。この解決法として著者は第8章での実験式をもとにして、変形量に関する相似法則を提案している。この法則は工業用の大型放電成形機による実験によって検討されている。また著者以外の研究者により発表されたデータもこの相似法則の妥当性の検討に用いられ、満足すべき結果をえている。

第10章は円筒素材の金型中での変形に関する研究を取扱っている。ここでは第8章での実験式とエネルギー保存則をもとにして変形量の解析を行ない、その結果をアルミニウムと銅の素材での実験により検討している。その結果、第9章の相似法則が金型中での変形の見積にも有効であることを指摘している。

最後の結論では、上記の10章でえられた研究成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

放電成形法は近年開発された塑性加工法であるが、素材の変形形状と変形量に関する従来の大部分の研究は、特定の放電成形機を利用して特定の材質と寸法の素材を加工する場合にのみ適用できるにすぎず、その研究成果を他の放電成形機による一般の素材の加工に適用することが出来ないことは明らかである。その理由は

- (1) 放電により生ずる液体中の圧力波の波形やそのエネルギーなどはコンデンサの容量と充電電圧のほか、回路の抵抗・容量・インダクタンス、爆発用金属細線の材質・寸法などに支配されるが、それに関する一般則がまだ明確にされていないこと
- (2) ある波形をもつ圧力波が金属素材に作用したとき、素材の塑性力学的挙動は素材の形状・寸法・材質によって異なるが、これに関する研究がまだ殆んどされていなかったこと

である。また多くの研究者の実験結果のまとめ方では、必要な因子を見落しており、統一的な結論を導きえない。これに対してこの論文では素材の加工量（塑性変形量）の普遍的な見積法を明らかにしている。

まず第1章、第2章においては爆発用の金属細線の種類と寸法、放電回路の特性、充電エネルギーなどと圧力の関係を調べ、電気的エネルギーから機械的エネルギーへの変換効率やその最適条件をある程度明らかにしている。しかしまだ不十分であるので、著者は第9章において加工量に関する相似法則を導くことにより、必ずしも発生圧力波の特性が知られてなくても加工量を見積れる方法を見出している。

つぎに圧力波形と素材の変形形状の解析的關係を求めることが必要であるが、従来から殆んどされていなかった。第3章から第5章までにおいて、単純化された波形の入射圧力波および素材の特性をもとにして動力的および塑性力学的な立場から、素材の受ける圧力と素材中の塑性波の伝播を解析し、変形過程中的素材の挙動と最終的な素材の加工量を圧力波の力積・エネルギー、素材の寸法・密度・変形応力などの

関数として導くことに成功している。

ついで第6章，第7章において，円板および円筒状の素材について放電成形を行ない，変形の時間的経過を高速度カメラで観察し，また最終変形形状を測定し，上記の解析結果と実験結果とが極めてよく一致することを確かめている。

第3章から第7章までの解析および実験は比較的単純化された圧力波形による変形について行なわれたものであり，放電成形を工業的に用いる場合には複雑な波形の圧力波が再三にわたって素材に衝突し，素材の変形挙動もこれに応じて断続的である場合が多い。この場合に対して著者は第8章において上記の解析結果を一般化し，また工業用大型装置による実験によって解析結果の有用性を確認している。

以上の解析には圧力波のエネルギー・力積などが必要な因子として含まれているが，これらの因子は個々の放電成形装置の特性に影響されるもので，その関係を明確にすることが望ましいが，また極めて困難であり，たとえその関係が明らかになっても圧力波のエネルギーや力積を計算するのは面倒である。装置や圧力波の特性を知らなくても加工量を見積ることが出来るようにするため，著者は第9章において素材の変形量・材質・寸法と加工条件との間に相似法則を導き，これによりある放電成形装置による任意の素材の加工量の見積を行なうことが出来るようになった。

第10章ではさらに金型を用いた円筒状素材の加工に対しても著者の理論の適用の可能性を示している。

これを要するに，本論文は放電成形における素材の変形量について塑性力学的に解析し，その結果の有用性を実験的に確かめ，さらに変形に関する相似法則を導くことにより解析結果の工業的利用を便利にしたもので，学術上，工業上寄与するところが少くない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。