

## 工学博士福井伸二君の「薄板の深絞り加工に関する研究」に 対する授賞審査要旨

福井伸二君は二十六年間にわたり表題の研究を基本問題より工業に直接関連する部面まで詳細に行ない、主なる論文は約二十五篇に上っているが、便宜上「基本加工の研究」「実際との中間領域の研究」「工業への寄与」に分けるとが出来、いずれも数篇の論文より成っている。

### 一、基本加工の研究

薄板を素板として容器や構造物を作ると、軽くて強く、ほとんど機械的表面仕上加工を必要としない物が出来る。ここで底のある複雑な三次元的形状を作るのは技術的に最も困難であるが、製品の形に相応した加工工具の組合せを使い、力をかけながら、素板の塑性変形を利用して加工するのが深絞り加工である。これは準備がよく調っていると同一形の容器を量産するのに便利であつて、現代の量産方式に不可欠のものとして重要視されている。

この方法を活用し、また発達させるには基本的特性を充分に解明しておくべきであるのは当然であつて、従来多くの研究者によつて種々の面から研究され、特に一九二六年頃から発表された M. Sommer, F. Siebel, G. Sechs 等の研究は今なお有名である。しかしこれらにおいて、加工工具、特にダイスはダイス面が軸に対して直角な平面ダイスである。変形過程中、素板の厚み変化を省略し、二次元歪二次元応力状態として取扱っている。実験した寸法範囲が

割合にせまく、また力のかかり方も特殊である等、一般性をかき、不満足な点があげられる。その後最近まで発表された外国、および日本国内の研究についても同様な傾向が認められる。そこで福井君はそれまで国内で公表された研究はほとんど皆無であったので、一九三三年頃以降、これらを打開し、現象に忠実に基本的特性を求めべく努力した。

まず最も基本的形状である円筒形の場合に、ダイス面が頂角任意の円錐面の一部である円錐ダイスを考え、平面ダイスも特別な場合として包含されるよう一般化し、実際の変形では素板の厚み変化は相当な量になるので考慮に入れ、ダイス面に接する素板の外周部、その内方の連結部、更に側壁部に分けてそれぞれの力の釣合基本式を導いた。また円錐ダイスの方が使用上有利であることを指摘した。

前述のように厚み変化は考慮に入れたが、厚み方向の応力は省略し得る程度であるので、三次元歪二次元応力状態として取扱ひ、素板の塑性条件は現在も最も広く支持されている剪断歪エネルギー説に従ひ、かつ相当応力と相当歪の間には $n$ 乗則が成立するとし、歪方程式と組合せて前記各部の釣合式を解き、素板内の応力分布、歪分布、加工具にかかる力を求めた。実際の計算は外周部から出発して数値積分により逐次内部の値を算出し、求められた歪分布、加工具にかかる力は実測値と適合するのを確かめ、変形過程の塑性力学的解明を行なった。特に連結部についての考察と取扱ひは従来にない詳細なものであり、全般として現状において最も一般化され、かつ近似度の高い結果である。

一方實際面を考慮して、塑性条件が剪断応力説に従うとした場合も含めて種々近似計算法を考察した。

以上の考察の当否を調べ、或いは外から加えるポンチ力、およびダイス面にかかるしわ抑え力に関する問題の直接的解明に資するため、圧電現象を利用してこれらを同時に、連続的に忠実に記録する装置を考案、製作し、実際にお

こり得る種々の加工条件のもとで、素板の材質、寸法、加工具の形状、寸法を広い範囲に変えて実験研究を行ない、さらに高温度における加工をも取扱ひ、一般的基本特性を明らかにした。

これらの研究は前記 G. Sachs の著書等外国の著名な書籍にしばしば引用されて居る。

## 二、実際との中間領域の研究

前述の研究を一般的な実用とより密接に結びつけるには、加工物そのものの大きさの影響、形状の影響等を明らかにしておく必要がある。従つて円筒形の場合、加工後の径一〇〇mm程度の大形に至るまで、数種の板につき系統的な実験研究を行い、寸法効果特性を明らかにし、ポンチ力、およびしわ押え力の実用的算定に便利な実験公式を示した。さらに形状については円筒形について基本的と考えられる正四角筒、矩形筒について系統的な研究を行ない、円筒形の特性は定性的にあてはまる、と同時に、形による特異性を明らかにした。これらの問題についても断片的な研究は多少発表されているが、まとまったものとしては最初のものであり、これらの結果を組合すことにより複雑な形状についても類推出来る。

大形の場合には、しわの発生防止、加工後の弾性恢復による形状不整形の防止が実際問題として重要な事項であるが、これらの目的のためにしわ押え力、絞りビード等が用いられる。基本研究における加工過程中の押え力変化状況からも考察して、押え力を適当に調節しつつ、またビードの高さも変化せしめるのが有利であることを知り、実用上便利な方法を考察し、試験によって効果をたしかめ、目下実用化を進めている。

以上は固体のポンチ、ダイスを組合わせる場合であるが、これらの加工具を製作するのは容易でなく、手数、費用

を要し、實際上難問題の一つである。従つていずれかを省略出来れば実用上有益な場合が多い。そこでこの線に沿つたいくつかの方式が現在行なわれていて、その中でアメリカで考案されたハイドロフォーム法（液圧成形法）は代表的な一つであつて、加工工具がいずれか一方だけですむと同時に、製品の表面、及び寸法精度が良好で、一回に与え得る加工度も高い等の利点があり、わが國の工業規模においては頗る有利な方法と考えられる。これはダイスを内部液圧を適当に調節する高液圧室で代用する特殊な深絞り加工法とみなすことが出来る。アメリカでは原理についての研究発表はされなかつたので、前述の基本研究の手法を發展させ、三次元歪三次元応力状態としての解析的研究と同時に系統的な実験研究を行ない、この方法の特性を解明し、利点、欠点を明らかにした。ほとんど同時にわが國、およびドイツにおいても研究が発表されたが、福井君の結果は現在最も近似度が高く、系統的なものと考えられている。ここで普通行なわれているままでは、しわ押え力が必要値の数十倍程度に高いのが最大の欠点であるのを指摘し、しわ押え力が必要値程度に調節可能なように複動化することにより、この方法の効果を一層高め得る方法を考案し、試験の結果予想を確め、さらに現在使われている装置を多少改修すれば、機械の容量をほとんど変えずに四倍程度の大形の加工が可能であることを確かめ、実用化を進めている。

### 三、工業への寄与

前述の結果は日用品、電氣器具部品、自動車及び車輛部品、航空機部品、建物部品等の量産工業の進歩・改善に広く寄与してきているが、特に最近の顕著な具体例の一、二は次の如くである。

一つは円錐ダイスを利用した素板の深絞り性能試験法の提案である。古来頗る多くの方法が行なわれて来たが、影

響する因子が複雑なため確実なるものは見当らなかつた。数多の間接的方法は信頼出来ない場合が多いので、成る可く簡単な深絞り加工を行なつて判断する直接法が関係者の中で重要視されてきた。しかし多くの直接法も平面ダイスを使うため、装置が複雑となり、取扱いも面倒で、多種類の素板を短時間に比較するのは困難で、結果の信頼度も低い。円錐ダイスを用い、素板の厚みに対しダイス角、および寸法が適当であればしわ押え力は不要となり、取扱いも簡単で得られた結果の判断も容易になる。そこで実用される板厚みの範囲に対して適当な加工の基準寸法を決定し、数種の直径の試片を相当用意して深絞り加工限を求めて判断する方法を示した。これではまた手数と時間の点から実用には不便であるので、さらに考察を進め、簡便法を考案し、現在では一種類の直径の試片数枚用いるのを実用法として提案して居り、これは素板の異方性の程度も同時に比較試験出来て便利である。そこで業界の注意をひき、最近数年来自動車工業、鉄鋼工業等十二社が福井君の協力を求めて、適性使用が著しく普及してきている。

なおこの問題は International Deep-Drawing Research Group (IDDRG) を通じ、或は個別に欧米諸国の関係者の注目をひき、一九六〇年五月のパリにおける会合で討議されるであろう。

他の一つは前述の液圧成形法であつて、容量八〇〇トンの成形機を国産し、工業的規模に近いものまで実際的研究を行ない、その結果はすでに電気工業界の一部で生産に利用され顕著な成果をあげ、また欠点を除いた改良形式も工業化の努力が行なわれている。

## 要約

これを要するに、福井君は永年にわたつて「薄板の深絞り加工に関する研究」に従事し、独創的な着想を駆使し、

基本問題を理論ならびに実験の両面から詳細に解明し、さらに實際作業に密接に關係する領域も広く系統的に研究して、數多の新しい知見を見出したと共に、工業に直接寄与する独特な考案と成果を提供して開拓的な業績を示した。なおこの一連の研究は多くの研究者・技術者によい刺激を与え、研究と技術改善の進展の原動力となり、斯界の進歩に貢献している功績は多大である。