

学 前田 若一 (新潟大) 学 大石 浩彦 (新潟大[院])
 正 原 利昭 (新潟大) 正 高野 英資 (新潟大)
 正 宮島 雅博 (新潟大)

1 結 言

接触圧力を正確に測定することは工学的に極めて重要な意味を有し、理論的にも実験的にも研究されている。従来の実験的測定法として、剥圧ピン、感圧フィルム、表面粗さを利用する方法が知られている。また最近では超音波を利用する方法が伊東⁽¹⁾、提⁽²⁾、水口⁽³⁾、らによって扱われ、その実用性が示されるとともにポルト締結体や開口リング等に関するいくつかの測定結果が与えられているが、これらは主として金属材料間の接触圧力を扱った場合であり、非金属材料を測定した例は少ないようである。

そこで、本研究では、超音波探傷器を用いて校正実験による物体同士の反射波特性と接触圧力との関係を求め、円形パンチおよび長方形パンチをそれぞれ同種の材質からなる平板に押し付けた場合の接触圧力を測定した。

2 測定方法

2.1 測定原理 超音波の基本的性質として、一定媒質中を一定の音速で伝播する超音波は音響インピーダンスの異なる境界面に達した場合、一部は反射し他は透過することが知られている。このとき、反射波音圧 R と入射波音圧 R_0 との関係は次式で与えられる。

$$R = R_0 R \quad \dots \dots (1)$$

ここで R_0 は音圧反射率であり、音響インピーダンスが共に等しい固体同士が接触する接触境界部では、真実接触部で $R=0$ 、非接触部で $R=1$ となる。また、接触面に作用する垂直荷重と真実接触面積との関係は、接触部近傍が完全に弾性的な場合には比例⁽⁴⁾、完全に塑性的な場合にはほぼ比例する⁽⁵⁾。実際の接触面では、接触部の変形は弾塑性的と考えられ、真実接触面積の増加とともに垂直荷重もほぼ比例して増加すると考えられる。したがって、超音波探傷器を用いて真実接触面積の変化を反射波音圧の変化として検出すれば接触圧力を測定することが可能となる。

2.2 校正実験 接触圧力を測定するためには被測定物と同じ状態の材料を用いて接触圧力と反射波特性の関係を調べておく必要がある。そこで、SS41、アクリル、塩化ビニールを用いて校正実験用パンチ(30×30×20)を各α2個ずつ製作し、それぞれの場合について互にこれらを押し付け、反射波特性を調べた。

これらパンチの大きさは、超音波の指向特性を考慮して決定しており、同時にその表面粗さは測定結果に強く影響を及ぼすことから出来るだけ測定条件が良くなるように表面をラップ仕上げた。また、パンチを圧縮する際、曲げの影響を出来るだけ除去するために上部に鋼球を介して負荷した。なお、負荷装置は一定荷重状態でパンチを圧縮しておく必要があるため、ここでは材料力学試験機(島津製作所製)を使用し、これによる目盛を読み取って負荷荷重値を決定した。本研究では通常の垂直探傷子のみを使用しており、測定表面に對するこの探傷子の設置の仕方が結果に大きく影響を及ぼす場合があるため、ここでは文献(3)と同様にして探傷子とおもりを一体化する方法を用いた。

接触面での反射波音圧は超音波探傷器(東京計器製)のプラウン管上に現れる第1反射波の波高値をX-Yレコーダー(森田測器製)により記録して読み取った。使用した垂直探傷子は、I:周波数2.25MHz振動子直径φ13mm、II:周波数5MHz振動子直径φ64mmであり、接触媒質としてマシン油(φ120)を使用した。なお、校正実験用パンチの材料中における音速を5900m/sに設定した。

図2はアクリル製パンチを用いた場合の接触圧力と反射波特性の関係を示したものである。図中の縦軸目盛の E_R は反射波特性であり、次式で与えられる。

$$E_R = 1 - h_e/h_{e0} \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 h_e と h_{e0} はそれぞれパンチに圧縮荷重を加えた場合と加えない場合の反射波の波高値である。他方、横軸の R_0 はパンチ接触部の単純平均接触圧力値(=圧縮荷重/接触部面積)である。図2より、負荷過程における R_0 と E_R の関係は直線関係とはならずほぼ上に凸の曲線と与えられ、除荷過程では負荷過程の場合とは異なり、常に E_R は負荷時の場合より大きな値となる。これは、除荷とともに本来ならば空隙となるべき部分が圧縮したままの状態であるためと思われる。また、この場合接触部の表面粗さが大きくなるとともに E_R 値は小さくなり、反射波音圧の変化量は減りうる。また、パンチが他の材質の場合においても同様な結果が得られた。

3 実験結果および考察

校正実験で得られた結果を用いて、円形および長方

形パンチを平板に押し付け場合の接触境界面における圧力分布を測定した。図3は実験の概略図であり、剛体床の上に置かれた平板に円形パンチを押し付け、負荷荷重および第1反射波高値と校正実験の場合と同様な方法により測定した。また、接触圧力分布を定めるためにはパンチ中心を通る5方向について反射波を測定した。なお、材料中における音速と校正実験の場合と同様に5900%に設定し、接触媒質としてマニユ油(井120)を使用した。図4はSS41の平板(290×380×20mm)に円形パンチ(φ96×50mm)を押し付け、探触子Ⅱを用いて単純平均接触圧力 P_m を1.35, 2.70, 4.06, 5.41MPaと変化させた場合の測定曲線である。縦軸には $E\epsilon$ 、横軸には円形パンチ中心から探触子中心までの距離 r/L 、円形パンチの直径を L とし r/L と r との比 r/L を示す。図より $E\epsilon$ はパンチ縁近傍で急激に大きくなることわかる。また校正実験の結果と図4より接触圧力 P を算出し、 r/L との関係と示したのが図5である。いずれの P_m の場合も中心部では接触圧力はほぼ零に等しいが周辺部へ行くにしたがって大きくなることわかる。図5の結果を用いて $P_m = 5.41$ MPaの場合における等圧力線図を作成すれば図6のようになる。いずれの場合もパンチ中心部において圧力は小さく、パンチ周辺部では圧力が急激に小さくなることわかる。また、探触子ⅠおよびⅡの結果はほぼ一致しており、探触子の違いによる結果への影響はないけれども、探触子ⅡはⅠに比べて振動子直径および接触面における超音波の存在半径が小さいことを考慮すれば、探触子Ⅱはパンチ縁近傍の圧力勾配が大きい領域の測定に有利である。

次に、平板(250×250×20mm)と長方形パンチがともにアクリルの場合について実験を行った。パンチ中心を通る10方向の直線上をそれぞれ測定し、円形パンチの場合と同様にして等圧力線図を描いた。図7は、探触子Ⅱを用い、 $P_m = 2.72$ MPaとした場合の結果である。円形パンチの場合とは異なり、パンチ周辺部において接触圧力は小さく、中央部で並に大きな値になる。これは長方形パンチの厚さが20mmと他のパンチの場合に比べて薄く、そのため中央部荷重によってパンチが変形し、周辺部が浮き上がるような状態になっていることを示している。また、ここでは示していないけれども、平板とパンチを共に塩化ビニール製とした場合もやはり同様な傾向が生ずることを確認した。

以上に示した結果より、非金属を測定対象とした場合も、従来の金属同士の接触を扱った場合と同様に、校正実験により得られる接触圧力と反射波特性の関係を利用すれば、接触圧力の測定は十分可能でしかも有

効な方法であることを確かめた。

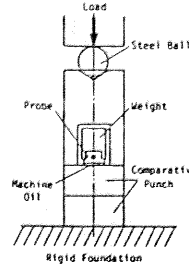


図1 実験装置

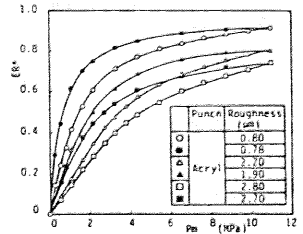


図2 校正曲線

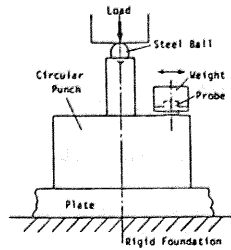


図3 実験装置

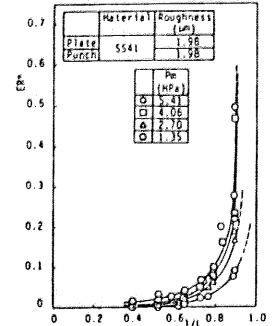


図4 反射波特性

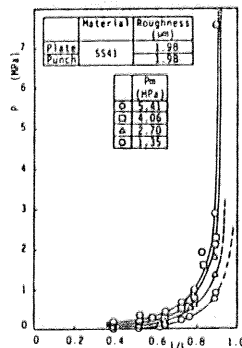


図5 接触圧力分布

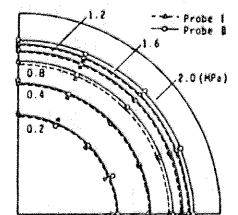


図6 接触圧力分布 (円形パンチ)

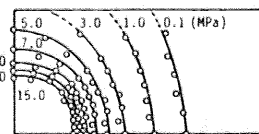


図7 接触圧力分布 (長方形パンチ)

参考文献

- (1) 伊藤・ほか2名, 機論, 48-425, C (昭57-1), 70.
- (2) 櫻・ほか3名, 機論, No.820-13 (昭57-10), 247.
- (3) 水口・ほか3名, 機論, 50-453, A (昭59), 953.
- (4) Timoshenko, S. and Goodier, J.N., Theory of Elasticity, (1951), McGraw-Hill
- (5) 築港, 潤滑, 13-3 (昭43-3), 101.