

超音波映像による接合面の観察

担当者：阿部利彦

内容の要約

各種の方法で接合した材料の接合部を超音波映像で観察すると、未接合部は入射超音波を強く反射するので明るく、良好な接合部は暗く映像化されるので接合部の評価を非破壊で行うことができる。本報告では接着剤による接合面、積層型複合材の接合面およびろう付け面の超音波映像による測定例を示す。

応用分野

金属、セラミックス、プラスチックなどを接着、ろう・ハンダ付け、溶接などによって接合した部分の接合状態を非破壊で観察することができる。また、CFRPのような積層型複合材料については衝撃によって材料の内部に生じる層間剝離を映像として観察することが可能である。

詳しい内容

接合技術によれば、複雑な形状の製品を容易に作成でき、材料の組み合わせによって高機能化が達成できるなどの利点があるので、種々の長所を有する各種の接合法が実用化されている。また、ICや複合材料のように異種材料を組み合わせて構成される製品は、必然的に接合箇所を有している。接合構造を有する材料では接合状態の評価が問題とされるので、例えば溶接構造物では超音波探傷法や放射線透過法による非破壊検査が広く行われている。しかし、溶接以外の接合構造物では以下のような理由により、適切な検査法がないので接合状態の検査はほとんど行われていない。

- ① 放射線透過像のコントラストが低い。
- ② 超音波探傷における反射強度の変化が少ない。

これに対して、超音波映像によれば未接合部からの反射超音波強度の変化を、優れた空間ならびに強度分解能によって映像化することが可能であるので、以下にその例を示す。

1. 接着剤による接合面の超音波映像

100×22×5mmの炭素鋼製試験片の表面をエメリー紙#1000番で仕上げた後2つの試験片をエポキシ樹脂で接着した。十分な時間をかけて接着剤を固化させてから接着面の超音波映像による観察を行った。この場合、接着剤が水に触れる箇所は粘着テープで防水した。次にテープを除いて接着剤が水に触れる状態として90℃の水中に一定時間保持した後、接着面を超音波映像により室温の水中で観察した。図1はエポキシ樹脂の接着不良を生じた部分の映像である。Aは浸水前の像であって白い部分は空気存在によって超音波が強く反射されたことを示している。Bは23時間水中で加熱した後の映像である。Bでは、未接着部分に水が浸入した結果、この部分の超音波の反射が減少して灰色になり未接着部分と接着部分との境界のコントラストも低下している。この低下の原因として次の2点が考えられる。

(1)吸水による接着剤の変化。(2)未接着部分に浸入した水による錆の発生。

水による接着剤の劣化や錆の発生は接着の信頼性を損なう重大な問題であるが、超音波映像によればそれらに関する情報を得ることができる。

2. CFRP内部剝離の超音波映像

CFRP（炭素繊維強化複合材料）は、繊維方向のそろったプリプレグテープの繊維方向を変えながら高分子樹脂で接合したものであり、各層が接合されるとともに樹脂と繊維も接合によって構成されている材料である。従って、これらの接合部の剝離は材料の強度、信頼性に強く影響するので、その検出法の確立が強く要望されていた。しかしながら、CFRPはX線に対する吸収係数が小さいので、層間剝離の検出は困難であり、また、繊維と樹脂の剝離は起こるにしてもきわめて微小部分であるので、有効な検出法は確立されていなかった。一方、



図1A エポキシ樹脂によって接合した鉄の接合不良部

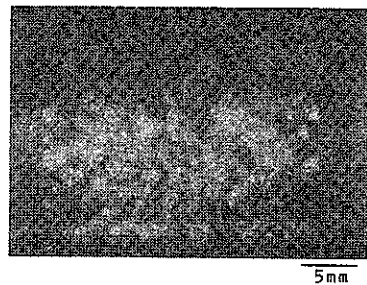


図1B 90℃-23時間水中で加熱した後の映像

CFRPは、表面が平滑であり、各層が平行に積層されているので超音波映像試験にきわめて適した材料であって、超音波映像装置を用いると繊維方向や、衝撃などによって生じるCFRP内部の剝離を層毎に分離して観察することが可能である。ここでは厚さが2mmで8プライ（〔0/+45/-45/90〕_n、0.25mm/層）の試料に衝撃試験を行った結果を示す。この試験片を直径40mmの円筒型支持台上に固定したこの中央部に1kgの重錘を落下させた後、超音波映像装置によって層毎の層間剝離を観察した。その結果、剝離面積は表面よりも内部が大きく、繊維配向方向に沿って拡大し、層間の配向角に影響されることなどが明らかになった。図2の白い部分は衝撃によって2-3層間に生じた剝離である。このように超音波映像によればCFRPの各層を分離して観測することが可能である。

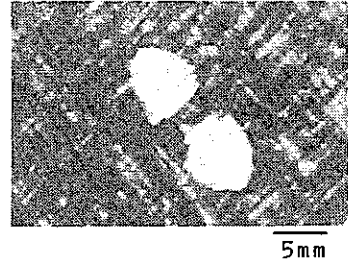


図2 衝撃によってCFRP中に生じた剝離部の映像（2-3層）

3. ろう付け面の超音波映像

ろう付け実験には次の試験片を用いた。点線の後には本分中での略称である。

(1) WC-16%Co（焼結材）……………超硬合金

(2) 銅（C1020、溶製材）……………銅

これらの材料を1辺が8mm、厚さ4mmに整形した。スペーサとして50μmφのタングステン線を介し、2つの試験片を重ね、真空中で加熱してろう付けを行った。加熱時の真空度は約10⁻⁴Torrであり、加熱温度は800~1000℃である。試験片は、両面から超音波映像を測定した後、せん断試験を行ってせん断面観察を行った。

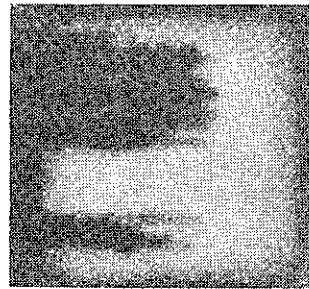


図3 銀ろうによって接合した超硬合金の接合面（超音波映像）

図3に超硬合金と銅を銀ろうで接合した試験片の接合面を、超硬合金側から測定した超音波映像を示す。

試験片の重なりのない部分では、底面からの反射超音波強度が強いので、白~灰色となっている。一方、接合した部分について見ると、暗灰色の部分と、それよりも明るい部分とに別れている。また、暗部の中央には黒い線が見えるが、これはスペーサーのタングステン線の像である。

図3の明部は、重なりのない部分と同程度の明るさであるのでこの部分は接合が充分には行われていないと考えられる。しかし、接合が充分に行われている部分では超音波反射率が減少するので図3の暗部は良好な接合がなされていると思われる。

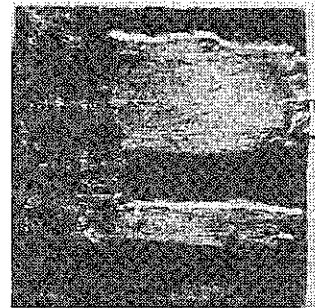


図4 同じ試験片のせん断面（光学像）

図4はせん断試験によって得たせん断面の内、銅表面の光学像を示す。図3と図4を比較すると、図3（超音波映像）の暗部に対応する部分では、接合していたが、明部は接合していなかったことが分かる。

他の試験片でも同様な結果が得られており、このことから超音波映像によって、ろう付け面の状態を非破壊で評価することが可能であることが分かった。

性 能

超音波映像によれば、金属、セラミックス、プラスチックなどの糊付け、ろう・ハンダ付け面に生じる未接合部の面積率を求めることが可能である。また、積層型複合材料の衝撃による内部剝離面積率を1層ごとに分離して測定することが可能である。接合材の強度試験結果によると、接合部の面積率と接合強度の間には高い正の相関関係が成り立っている。