

I-336 超音波パルスエコー法における媒体表面の応力波入射特性

川田工業（株）	正員	小笠原照夫
北見工業大学	同	大島 俊之
同	同	三上 修一
同	同	菅原 登

1. まえがき

近年の構造物の健全度診断の必要性の増加により、構造部材内部を超音波等による非破壊試験により検査する手法が発達しつつあるが、このように内部構造を超音波により精度良く明らかにするためには探査波の構造内部での変形を詳細に明かにする必要がある。この探査波の変形に影響を及ぼす因子としては波動の振動数やモードおよびその分散、構造部材による内部減衰などが上げられ、特にこの内部減衰の検討には複雑な解析を必要とする。本研究ではこれらに関連して構造部材に入射される応力波の入射特性について若干の解析結果をのべる。

2. 計測システムの応答特性

実験で得られる応力波の波形はいくつかの測定プロセスを経由して観測されるので、ここではまず増幅回路システム全体（プリアンプ、ディスクリミネータ）の周波数応答特性を検討するため、ファンクション・ジェネレータを用い、入力 $\sin$ 波の周波数を変化させ、出力波の増幅率、位相遅れを測定した。得られた結果を図1（増幅率）、図2（位相遅れ）に示している。図1において増幅率の値はファンクション・ジェネレータからの入力電圧の20倍の出力を100%として示している（ここで用いているプリアンプの増幅率は常に20倍の増幅を基準としている）。この図より増幅回路全体としては20kHz～800kHzの範囲でほぼ平坦となる周波数特性を有することがわかる。実験で主として用いる周波数帯は50kHz～400kHzであり測定には十分である。また図2の位相遅れの結果については30kHz～200kHzの範囲では小さいが、入力周波数が高くなると位相遅れが大きくなり、また低くなると応答波が先行する特性となっている。

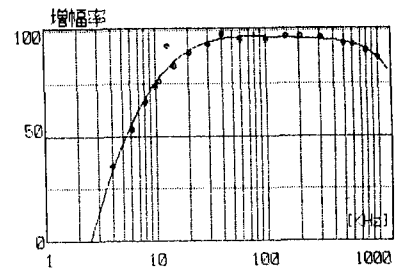


図1 増幅率

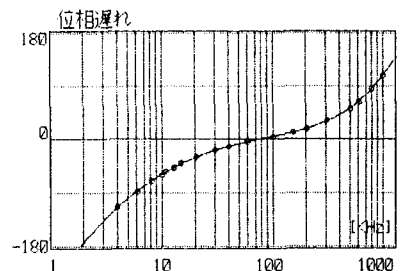


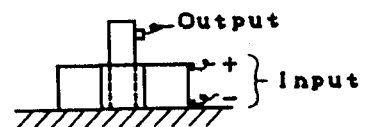
図2 位相遅れ

3. センサー自身の振動応答特性

ここでは入射及び受波用として用いるセンサーの振動応答特性について検討した結果についてのべる。センサー構造は圧電材料による振動子本体がモールド内部でエポキシ樹脂により接着固定されている構造となっており振動体として単純な系ではない。このセンサー自身の振動応答特性に影響する因子としては

（1）センサーと媒体のインピーダンス比などの影響（2）センサー自身の共振周波数による違い（3）センサーと媒体の接触圧などが考えられるので、2、3の方法によりこれを検討した。

まず（1）のインピーダンス比の違いによるセンサー自身の応

図3 円環センサーと
円柱センサーの組合せ

答に関する実験についてのべる。センサーを取り付ける媒体としてはここでは鋼材とモルタルを対象とし、弾性定数、密度、振動体としての固有振動数、振動減衰率などが異なる2種の媒体との連成振動応答を測定した。図3のように入射用の円環形センサーと受波用の円柱形センサーを組み合わせて媒体上に設置し、入射センサーに異なる継続時間のパルス電圧を加える。入射センサーは共振周波数100kHzであり、パルスの継続時間に応じて異なる入射波形を放射するが、これは一般に半無限媒体上に設置した円環体の動的加振問題となる。このようにして放射された応力波は入射センサーの円環内部（内側）に配置された受波センサーにより応答波形として計測される。図4には鋼材表面に入射された波形とそのスペクトルの一例を示している。

次に（2）のセンサー自身の共振周波数などの影響に関する実験についてのべる。センサー自身は固有の共振周波数と減衰定数を有するが、設置する振動媒体と共に前述のように動的連成問題となり、合成系としては異なる応答周波数と減衰系を有することとなる。従ってこれらの応答周波数および合成系としての減衰特性を明らかにすることが必要である。このための実験として二つのセンサー同志を向い合せて接触させ（圧接状態）、一方を入射用、他方を受波用として用い、この相異なるセンサー同志の合成系の振動応答を解析する。この問題を入射センサー及び受波センサーの質量及び振動方向の長さ、断面積、弾性係数、減衰定数をパラメータとして、一自由度系の振動応答問題としてモデル化すれば、継続時間 ΔT 、入力ステップ電圧によって生ずる全入射圧力 $F = E A \varepsilon$ （ただし ε は圧電歪）の衝撃荷重に対する2センサーの合成系の軸方向変位応答 $u(t)$ が得られる。

このセンサー同志のセンサーの応答結果の一例を図5に示すが、これらの一連の解析のうち、スペクトル解析のピーク周波数に着目すると2センサーのうち低振動数のセンサーの周波数が卓越している。すなわち高い共振周波数のセンサーを入力側にした場合でも合成系の振動としては、質量の大きい、低い周波数のセンサーの応答が卓越する結果となる。

また（3）センサーの押し付け圧力による入射波の変化を検討するため、図3の円環および円柱形センサーに特殊な治具を開発し、センサーの押し付け圧力を変化させた時の影響を検討した。これらの結果を図6に示しているが、入射波形は押し付け圧力が大きくなるほど最大振幅が大きく、また高周波成分が減少する傾向となっている。

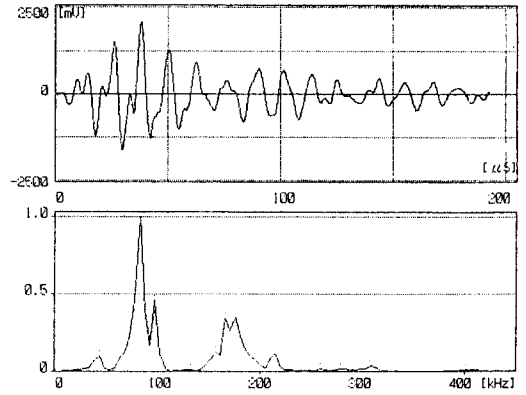


図4 鋼材への入射波形とスペクトル

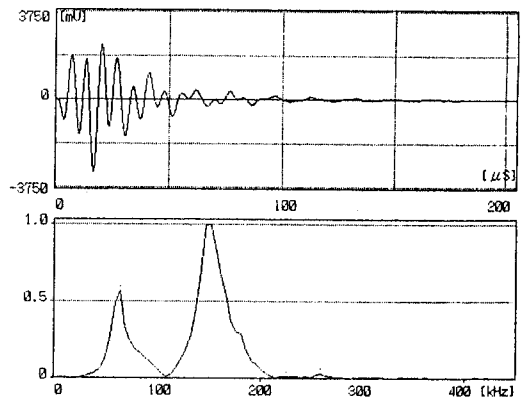


図5 2センサーの動的応答とスペクトル

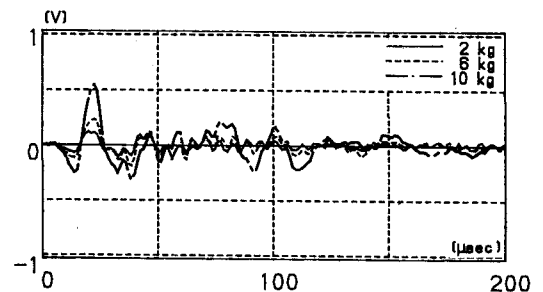


図6 押し付け圧力の影響