

I-99 超音波探傷法の数値シミュレーション

運輸省	正員	吉見昌宏
東京工大	正員	三木千寿
長岡技大	正員	池田清宏

1. はじめに

鋼構造物部材の余寿命を破壊力学の手法により予測する際、部材中に含まれる欠陥の位置・寸法・形状・方向等のパラメータは予測結果の精度を大きく左右する重要なパラメータとなってくる。超音波探傷法がこれらの欠陥パラメータの定量的な非破壊評価技術として期待されている。

材料内での欠陥の位置決定は、欠陥エコーの到達時間のみに着目すればよく比較的簡単である。一方、寸法・形状・方向など他のパラメータの決定には多点で測定した超音波の振幅や周波数成分など多くの情報を活用しなければならない。そのためには欠陥を含む材料内部での波動性状を明らかにする必要がある。

そこで本研究では超音波を用いて材料中の欠陥の定量的な情報を得ることを目的とし、欠陥エコーの波動性状について数値シミュレーションと実験により検討した。

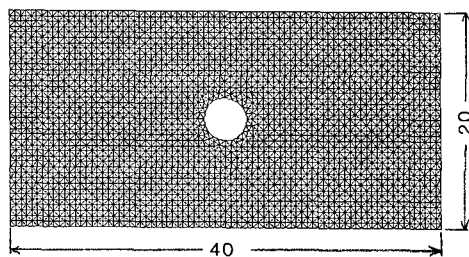
2. シミュレーション方法

本研究では中央に円孔、楕円孔、スリットのはいった20×40mmの長方形板の超音波による振動性状を有限要素法により解析した。要素分割および欠陥の詳細を図-1に示す。

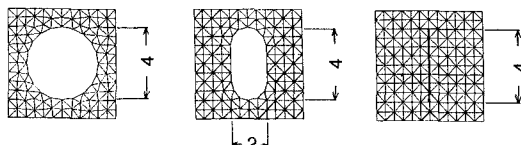
応答解析における時間積分法には線形加速度法を採用した。また運動方程式においては減衰項の係数はゼロとした。これは実際に板材を用いて底面からの反射波の振幅を測定したところ拡散によるもののみという結果が得られたことによる。

超音波探傷の数値シミュレーションを行うに当たり注意を要することは、波の波長が非常に短いことである。通常超音波探傷試験で用いられる波の周波数は1~10MHzであることを考慮し、今回のシミュレーションでは入力波の周波数は1MHzとした。このとき縦波の波長は5.9mm、横波の波長は3.2mmとなる。節点の間隔は0.5mmとし空間メッシュの安定条件として一般に用いられている縦波波長の1/10以下とした。逐次計算の時間間隔は0.05μsとした。この時間間隔が大きすぎると安定した解が得られないが、時間間隔0.01μsで行った予備解析の結果とほぼ同一の結果が得られたため、0.05μsは適当な値と判断した。

超音波探傷において興味ある波は、探触子や亀裂の周辺の限られた領域から発生する波だけである。しかしこの領域だけを全領域から切り出して有限要素法を用いて解くと切り出した面上における波の反射が問題となる。このような反射を除く手法として無反射境界という概念提案されている。ここではCundallが提案した、境界近傍だけで複



(a) 要素分割



(b) 欠陥部詳細

図-1 解析モデル (単位: mm)

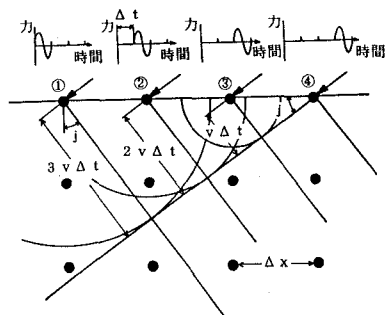


図-2 波の入力方法(斜角法)

数の解を求め重ね合わせを行う方法を用いた。図-1では左右端を無反射境界とし厚さ20mmの板の一部としての解析を行っている。

3. 波の入力方法

超音波探傷法の波の入力方法には垂直法と斜角法がある。斜角法は材料表面に対し斜めに横波を入射する方法でこの波の入射を表すには特別の工夫が必要である。ここではホイヘンスの原理の考え方をもとにしてシミュレーションにおける簡便な斜角入射の方法を考案し採用した。図-2の様に節点間隔が Δx のモデルに屈折角 j の波を入射するためには、

$$\Delta t = \Delta x \cdot \sin j / v$$

（但し、 Δx ：節点間隔、 v ：横波の波速）

で表される一定時間間隔をおきながら①、②、③…の順に進行方向に対し垂直方向に節点を加振する。図-3は $\Delta t = 0.05 \mu s$ の場合の $t = 3 \mu s$ 、 $5 \mu s$ における波面位置での変位量を表している。図中の直線OAは変位が最大となる方向を示しており屈折角は 40.5° である。上記の式から屈折角を計算すると 39.8° となりほぼ一致している。このことから今回の斜角入射の方法が妥当であることが確かめられる。

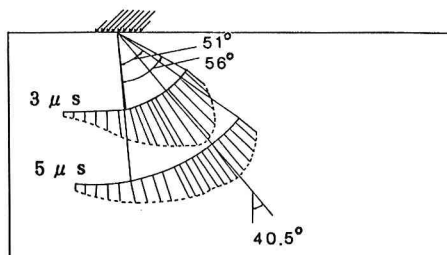


図-3 解析結果（斜角法）

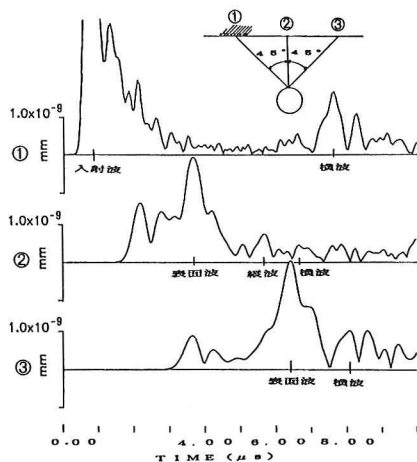


図-4 解析結果（変位応答）

4. 欠陥からのエコー

固体中で波が反射するときにはモード変換が起き縦波と横波の両方が生じる。そこで反射波の縦波と横波の区別に注目し、様々な方向に進む反射波を調べてみた。図-4は斜角法で横波を円孔に照射したときの領域上面の3点①、②、③（円孔の直上および 45° の方向）での変位応答を示したもので、縦軸はx方向とy方向を合成した変位である。欠陥からの反射波を到達時間および図-5の様な変位ベクトル図も用いて縦波と横波に区別すると①、③では横波、②では縦波が卓越することがわかった。

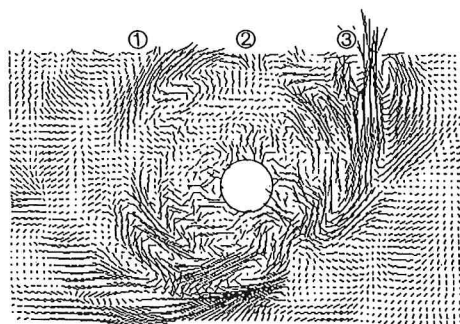


図-5 変位ベクトル図

実際に円孔を含む鋼材で斜角探触子で波を入射し、①、②、③に当たる位置で受信される波形を観察したところ解析と同様の傾向であることが確かめられた。写真-1はCRTで観察した③の位置での受信波形である。横波の方が圧倒的に振幅が大きいことがわかる。

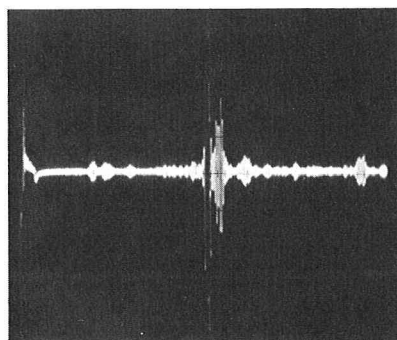


写真-1 受信波形

5. おわりに

以上のように、解析と実験により反射波の縦波と横波の分布の特性を明らかにした。なお、実験には橋梁検査センターの加藤昌彦氏、ホロソテックの梅田晶一氏の御協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。