

北見工業大学	正員	菅原 登
北見工業大学	正員	山崎 智之
北見工業大学		久恒 雅人
北見工業大学	正員	大島 俊之

1. まえがき

構造部材あるいは構造物の健全度を診断する際に重要なことは、部材内部における欠陥検出の高精度化を図ることである。近年超音波による非破壊試験が普及し、これに関する実験や理論解析が盛んに行われているが、なお研究課題は残されており、超音波試験による定量的非破壊評価の向上を目指して多くの研究が開発されつつある。欠陥を有する部材中を伝播する超音波は、欠陥によって応力波動としての散乱現象を発生し、波動モードは複雑に変換する。本研究では、欠陥部における複雑な応力波動の伝播現象を理解し、解析する上で有効な visual simulation の応用を試みた。解析に用いた供試体は基礎的な例として、モルタル製の2次元長方形梁の内部にスリット状の欠陥がある場合、また底部に隅角欠陥がある場合などであり、部材上縁からの入射波は、欠陥部においてどのような応力波動伝播現象を示すかを理論的に求めた。ここでは、FEMの解析手法によって求めた変位をデータとして visual simulation により表示することにより、応力波動伝播の動的現象を把握できることを示す。

2. 欠陥を有する部材中の応力波動伝播挙動の visual simulation

部材上縁に作用された入射波は、応力波動として時間の経過と共に伝播して部材内部の欠陥あるいは部材底面の欠陥に到達して反射波になる。この場合、反射波にはそれぞれ異なった角度を有するP波及びS波が発生して複雑な反射現象を呈する。また、欠陥部では波動が回り込む回折現象が発生する。すなわち、部材中の応力波動は欠陥部で複雑な伝播現象を発生することになる。ここで試みた解析の手法は以下の通りである。コンピュータを使用して、先ずFEMの解析手法により時刻歴応答解析を行ってメッシュ節点における動的変位を求める。次にこの求めた値をデータとして workstation に転送して scientific visual analysis を行い、最後に欠陥部における応力波動伝播現象を2次元表示のカラーコピーとして出力する。

(1) 数値計算

計算モデルの供試体は両端で単純支持されたモルタル製の2次元長方形梁とし、この内部あるいは底部に欠陥を有する場合について考える。供試体のうち2例のモデルは図-1及び図-2の通りである。供試体をFEMの解析手法により定式化すれば、振動系全体の動的応答に関する次の式が得られる。

$$[M] \{\ddot{\delta}\} + [C] \{\dot{\delta}\} + [K] \{\delta\} = \{p\} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $[M]$ = 質量マトリックス、 $[C] = \alpha [M] + \beta [K]$ = 減衰マトリックス、 $[K]$ = 剛性マトリックス、 $\{\delta\}$ = 変位ベクトル、 $\{p\}$ = 外力ベクトルである。式(1)を解いて応力波動応答関数が得られる。数値計算に用いた値は次の通りである。 $E = 3.00 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $G = 1.25 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\nu = 0.17$ 、 $\rho = 2.3 \text{ gf/cm}^3$ 、 $\alpha = 23500$ 、 $\beta = 3.472 \times 10^{-8}$

また、入射波は超音波実験で得られたものを図-3のようにモデル化し、振幅を $0.5 \mu\text{s}$ 間隔で継続時間 $200 \mu\text{s}$ までを集中荷重として、梁中央の上縁に作用させた。メッシュ節点における変位応答については、 $5 \mu\text{s}$ 間隔で $200 \mu\text{s}$ まで計算を実行し、求めた数値をファイルに収めて workstation に転送した。workstation においては、メッシュ節点における変位にスプライン補間法を行って simulation の精度向上を図った。なお、欠陥及び入射波は中心線に対称な場合を想定したので計算は全体の1/2について実行した。

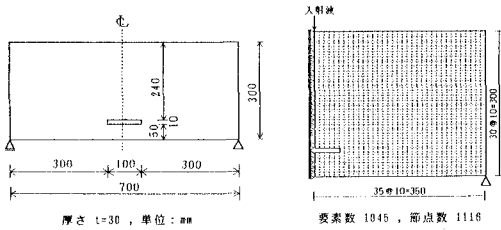


図-1 計算モデル（スリット）

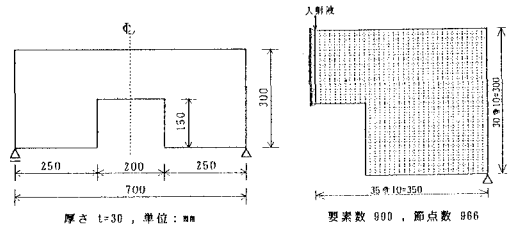


図-2 計算モデル（隅角）

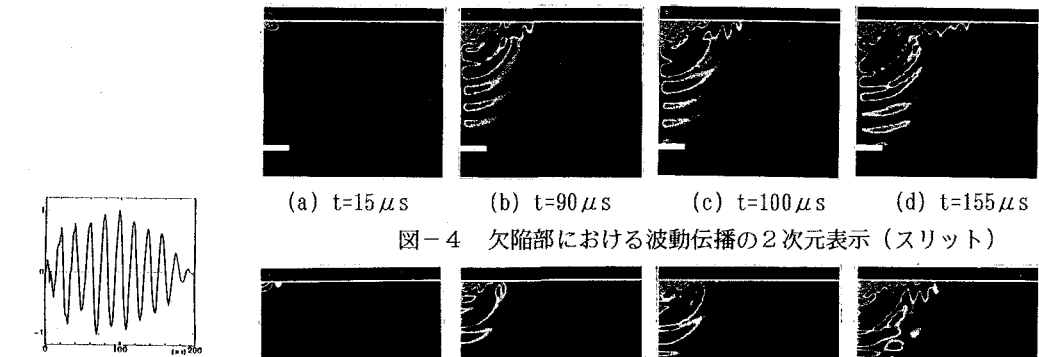


図-4 欠陥部における波動伝播の2次元表示（スリット）

図-3 入射波データ

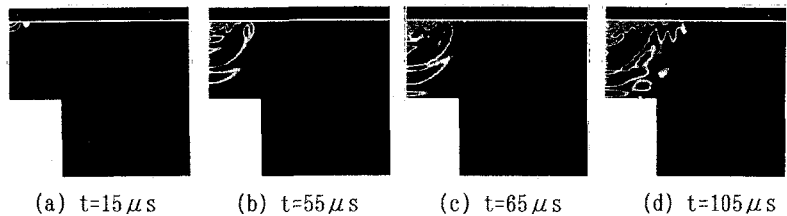


図-5 欠陥部における波動伝播の2次元表示（隅角）

（2）欠陥部における応力波動伝播挙動の visual simulation

供試体図-1及び図-2について、visual simulationにより得られた応力波動伝播の様相を示す画像の一部は、図-4及び図-5のようになる。これらから、いずれの場合も入射波を作用させた初期の段階では応力波動が同じような様相で徐々に伝播し、ある時間を経過して応力波動は欠陥部に到達する。さらに時間が経過すると欠陥部で反射及び回折などの現象が発生している様相が把握できる。部材内部にスリット状の欠陥を有する場合には、図-4の(b)及び(c)から $90\mu\text{s}$ 及び $100\mu\text{s}$ で応力波動は欠陥部で複雑な反射及び回折の現象を生じていることが確認できる。同様に底面に隅角欠陥のある場合には、図-5の(b)及び(c)から $55\mu\text{s}$ 及び $65\mu\text{s}$ で応力波動は欠陥部で複雑な反射及び回折の現象を生じていることが確認できる。

3. あとがき

欠陥を有する部材中の応力波動伝播の複雑な現象を解析する場合、年を追って高速化されているコンピュータと連携して、視覚的に物理現象を把握することのできるSVAは有力な手法といえる。今回、欠陥部において複雑な反射及び回折が発生する基礎的な visual simulation が得られたので、これを基として、欠陥の深さ、形状及びサイズなどが定量的に評価できる逆解析の手法を見出したいと考えている。

参考文献

- 1)大島、小倉、三上、菅原：超音波パルスエコー法における弾性体中の応力波動解析、土木学会第44回年次学術講演会、1989