

I-27

欠陥を有する部材中の応力波動散乱の解析

北見工業大学 正員 菅原 登
 北見工業大学 正員 山崎 智之
 函館どつく(株) 寺田 寿
 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、なお研究課題は多く、超音波試験による非破壊評価の向上を目指しての研究が開発されつつある。超音波による診断の精度は、部材表面から入射される応力波動の伝播挙動の解析の精度に大きく依存しており、部材内部の微小欠陥を検出するためには、入射波の特性を把握することが必要となる^{1), 2), 3)}。また、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、複雑に波動モードの変換が生ずる。本研究では、この散乱現象に着目し、目には見ることができない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 Scientific Visual Analysis (SVA) の応用を試みた。解析に用いた供試体は、2次元長方形梁の内部あるいは端部にスリット状の欠陥がある場合、また底部に切欠きがある場合などであり、部材上縁からの入射波は、どのような波動散乱を発生する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結果を Computer Graphics (CG) により表示することにより、この物理現象を可視化し、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散乱現象の可視化

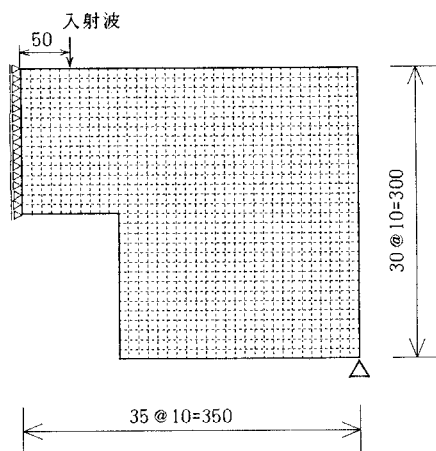
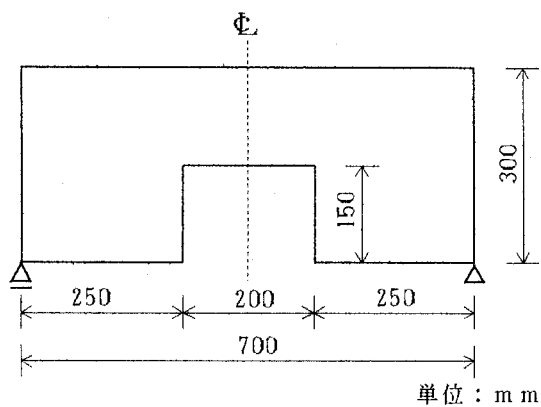
部材上縁に作用された入射波は、応力波動として時間の経過と共に伝播して部材内部の欠陥あるいは部材の底面に到達して反射波になる。この場合、反射波にはそれぞれ異なった角度を有するP波及びS波が発生して複雑な反射現象を呈する。また、欠陥部では入射方向と反対側つまり欠陥の後方に波動が回り込む回折現象が発生する。すなわち、部材中の応力波動は欠陥部で複雑な散乱現象を発生することになる。

この散乱現象については、理論的に解析するいくつかの手法はあるが、それらは欠陥の位置、形状及びサイズなどによってかなり煩雑なものとなる。ここで試みた解析の手順は以下の通りである。高速演算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ワークステーションに転送してSVAを行い、最後にCGによりカラー表示する。

(1) 計算モデル及び数値計算

数値計算するにあたって、供試体は両端で単純支持された2次元長方形梁とし、この内部あるいは端部にスリット状の欠陥を有する場合、また底面に切欠き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。FEMの解析手法は、計算量が多くなる欠陥はあるが、欠陥の形状や

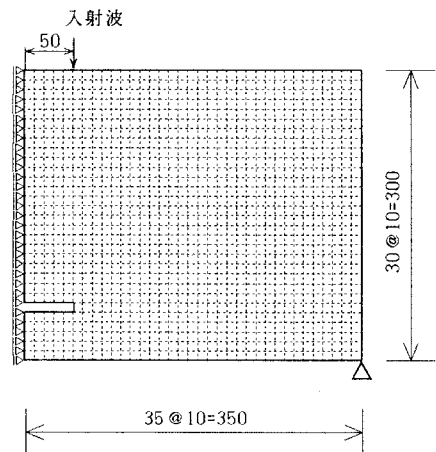
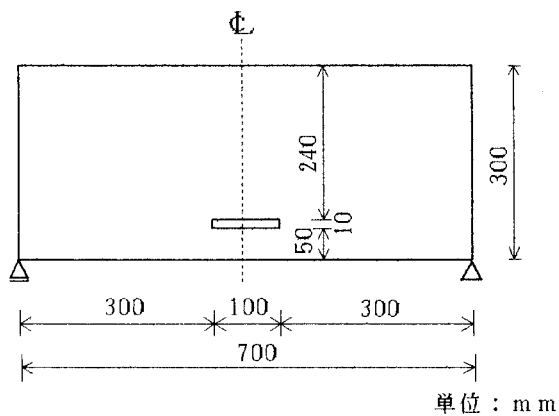
Analysis on Stress Wave Scattering in Structural Member with Defect
 by Noboru SUGAWARA, Tomoyuki YAMAZAKI, Hisashi TERADA, Toshiyuki OSHIMA



(a)

(b) 要素数900, 節点数966

図-1 底面に切欠きのある供試体



(a)

(b) 要素数1045, 節点数1116

図-2 部材中にスリットのある供試体

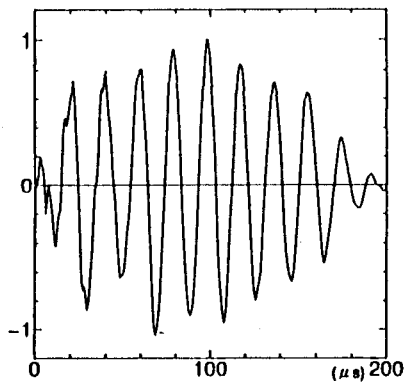


図-3 入射波データ

サイズに対応してメッシュ分割ができるので、どのような場合にも適用が可能である。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。

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

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)についてDuhamel積分を利用して波動応答関数が得られる。数値計算には次の値を用いた。

$$E = 3.00 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$G = 1.25 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\nu = 0.17, \rho = 2.3 \text{ gf/cm}^3$$

$$\alpha = 23500, \beta = 3.472 \times 10^{-8}$$

また入射荷重は、実際の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、梁中央から 5cm 離れた上縁に作用させた。

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SVAに転送した。SVAにおいては、メッシュ節点における変位に2次元の補間計算を行ってシュミレーションの精度向上を図った。なお、欠陥は中心線に対称な場合を想定したので計算は図-1及び図-2に示すように全体の長方形梁の1/2について実行した。

(2) 欠陥部における応力波動散乱の

Computer Graphics

供試体図-1及び図-2について、CGにより得られた応力波動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して、さらに時間を経過すると欠陥部で散乱現象が発生し

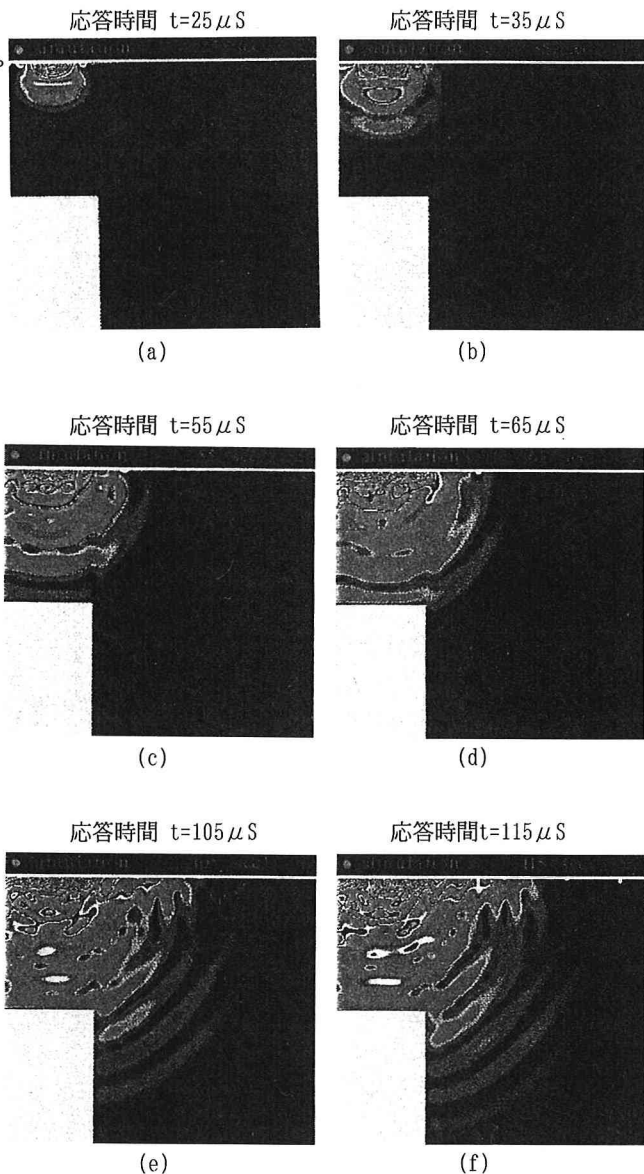


図-4 欠陥部における波動散乱の2次元表示
(底面に切欠きのある場合)

ている様相が把握できる。すなわち、底面に切欠きを有する場合の図-4の(e)及び(f)から、 $105\mu\text{S}$ 及び $115\mu\text{S}$ で応力波動は切欠き部で反射及び回折の現象を生じていることが確認できる。同様に部材内部にスリット状の欠陥を有する場合の図-5の(e)及び(f)から、 $165\mu\text{S}$ 及び $175\mu\text{S}$ で応力波動はスリット部で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

大型化そして複雑化してきた最近の構造物は、設計上の安全性は言うに及ばないが、部材の製造過程、構造物の製作過程、架設あるいは施工過程、そして維持管理の面において万全の対策が構じられなければならない。いわゆるそれぞれの過程における健全度の診断が、定量的にしかも精度の良い手法で実行されなければならない。年を追って高速化されているコンピュータの発達と連携して、直感的に現象を把握することのできるCGは有力な手法である。

今回CGにより、応力波動は部材の欠陥部において散乱現象を発生することが確認できたが、供試体のモデルの種類数が十分でなく、散乱現象を呈する画像から欠陥そのものの位置、形状及びサイズなどとの相関を見いだすことはできなかった。しかし、実際の欠陥を想定した散乱解析を十分多くのモデルについて行えば、散乱現象を示す画像と欠陥との関係を求めることは可能と思われる。

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
- 2)三上、大島、井上、菅原：長方形ばりを伝播する応力波の波動応答解析，土木学会第44回年次学術講演会，1989
- 3)小笠原、大島、三上、菅原：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，土木学会第44回年次学術講演会，1989

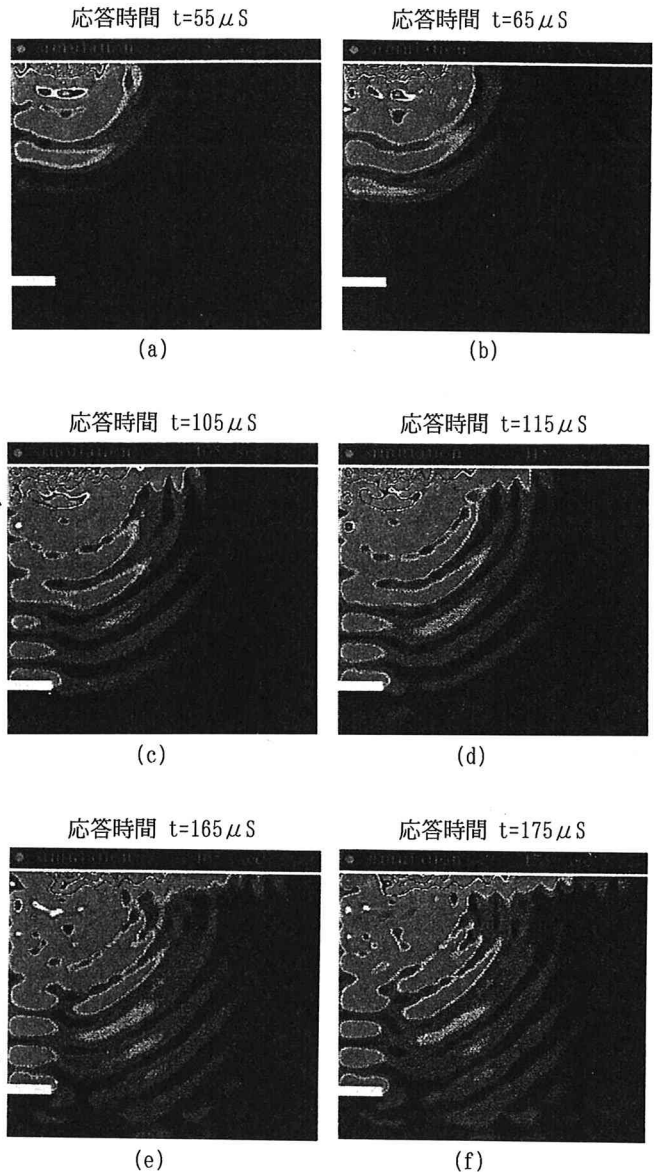


図-5 欠陥部における波動散乱の2次元表示
(部材中にスリットのある場合)