

I-334 長方形ばりを伝播する応力波の波動応答解析

北見工業大学 正員 三上 修一
 北見工業大学 正員 大島 俊之
 大豊建設(株) 井上 聖
 北見工業大学 正員 菅原 登

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物のような複合材料部材に対する超音波探傷システムを用いた内部構造の診断を実施する上でその不均質性に着目した応力波動特性の把握が必要となっている。¹⁾ 著者らはこれまでに長方形ばり中のInclusionによる散乱挙動を実験的に検討をし、Discrete Field Analysisによる応力波の伝播特性について減衰定数、弾性定数による影響について明らかにしてきた。^{2), 3)} ここでは、有限帯板理論による長方形ばりの応答解析より、入射波に関する検討を行い、fiber層を考慮した場合の弾性係数と密度による影響を明らかにする。また長方形ばり中の変位伝播をシミュレーションする。

2. 有限帯板理論による動的応答解析

図1に示す板厚 b 、けた高 h 、支間長 l の帯板要素について変位の線形変化を仮定し動的つりあい式に形状関数を用いてガラーキン法を適用する。さらにフックの法則を考慮して部分積分し、境界条件を考慮して整理すると、 x と t に関する2階の線形連立偏微分方程式が得られる。これに、 x 方向に有限Fourier変換を施し、単純支持条件を考慮して整理すると次のような運動方程式が得られる。

$$[K] \{\delta\} + [M] \{\delta''\} = \{F\}$$

$[K]$ 、 $[M]$ は剛性、質量マトリックス、 $\{\delta\}$ は変位ベクトル、 $\{F\}$ は外力ベクトル、 $''$ は時間の2階微分を表す。この式より固有値、固有ベクトルを求め、固有ベクトルの直交性を考慮すると各モードにおける2階常微分方程式が求まる。この微分方程式の単位衝撃力に対する解を用いてDuhamel積分すると各モードにおける応答が求められる。これを x 軸方向に逆Fourier変換を行うと各点における応答が得られる。

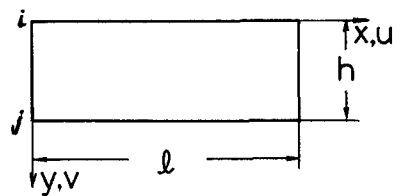


図1 帯板要素

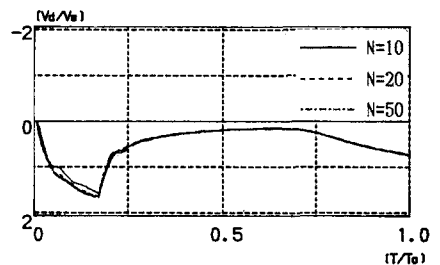


図2(a) y方向分割数による比較（変位応答）

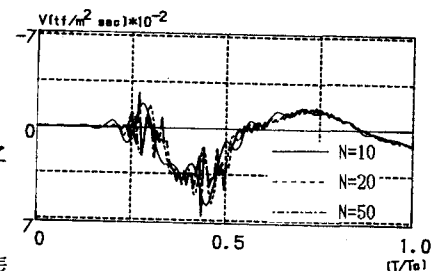


図2(b) y方向分割数による比較（速度応答）

3. 数値計算

数値計算に用いた長方形ばりモデルの諸元は次の通りである。

$$E=300000\text{kgf/cm}^2, \rho=2.3\text{gf/cm}^3, \nu=0.17$$

$$l=70\text{cm}, h=40\text{cm}, b=3\text{cm}, h_r=15.5\omega_r/(13935+\omega_r^2)$$

ここで h_r は減衰定数、 ω_r は r 次固有円振動数(kHz)である。

入射波は継続時間 $50\mu\text{s}$ の集中荷重として支間中央のはり上部に人力した。

またここで示す図中の横軸 T/T_0 は、入射波がせん断波速度で支間の半分を往復する時間 T_0 （約 $300\mu\text{s}$ ）で経過時間 T を基準化して表したものである。また変位応答の縦軸は単純ばりの静的変位で基

準化し、速度応答は密度との積をとって運動量の単位とした。有限帯板理論による数値計算を行う前に、 y 方向の分割数 N と、Fourier級数の項数 M を検討する必要がある。そこで y 方向の分割数として $N=10, 20, 50$ の3種類について $M=30$ の場合に比較を行った。図2(a)は、はり中央上部の荷重点での変位応答で分割数による差はほとんど見られないことがわかる。図2(b)は、はり中央下部の速度応答である。分割数が多くなるほど複雑なモードを表せるようになることがわかる。また $N=20, 50$ の場合と $N=10$ の場合ではモードに違いがみられる。次にFourier級数の項数 M を30, 50, 100の3種類とし $N=20$ の場合について比較を行った。図3は、はり $l/4$ 点上部の速度応答である。項数が多くなると初期応答が収束していることがわかる。以上のことより y 方向分割数を20、Fourier級数の項数を100として以後の計算を行う。

a. 入射荷重

入射外力として集中荷重と部分分布荷重（荷重幅2cmと4cm）の3種類について伝播特性の比較を行ったところ速度応答に関しては図4のはり $l/4$ 点上部のようにはり上部では入射外力の影響が見られるが、そのほかの点においてはほとんど影響は見られなかった。変位応答においても入射位置付近以外では影響はみられない。

b. モードシミュレーション

図5は x 軸方向の対称性を考慮して支間中央より半分について20分割、 y 軸方向に20分割し各点の変位応答 u, v を時間ステップ $30 \mu s$ 毎にシミュレーションしたものである。特に荷重点に生じた変形がはり上部を x 軸方向に伝播して $t=180 \mu s$ と $t=210 \mu s$ の時間ステップでは支点上部の境界で応力波が反射して反対方向に伝播していく様子などがわかる。

4. おわりに

本論文では、有限帯板理論による長方形ばりの y 軸方向の分割数、Fourier級数の項数の検討を行い、入射荷重を集中荷重と分布荷重とした場合の比較、モードシミュレーションについて示すことができた。この他に入射波の形状、入射継続時間による応答の比較、長方形ばり中のfiber層の弾性係数や密度による応力波動の伝播特性については当日会場において発表の予定である。

参考文献

- 1) 大津：コンクリート構造物の健全度診断へのアコースティック・エミッションの適用、コンクリート工学、Vol.25, No.12, 1987.
- 2) T.Oshima, S.G.Nomachi, T.Kida, S.Mikami：Stress Wave Propagation in a Rectangular Composite Beam, Proc. of 4th Japan-U.S. Conference on Composite Materials, Washington, D.C., June, 1988.
- 3) 三上、大島、能町：複合材料長方形ばりの応力波動解析とその健全度評価への応用、構造工学論文集、Vol.35A, 1989.

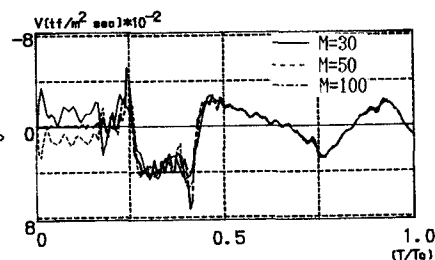


図3 Fourier級数の項数による比較

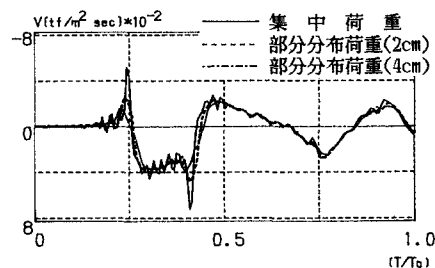


図4 入射外力による比較

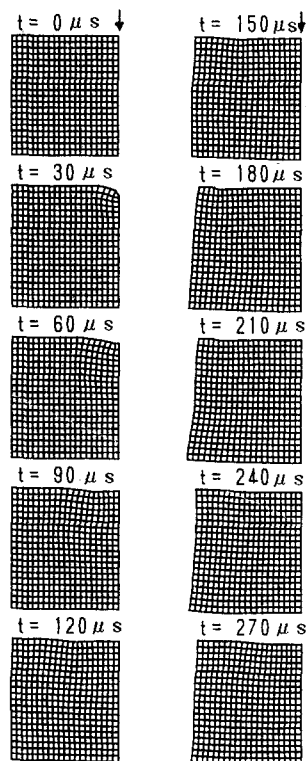


図5 モードシミュレーション