I-420　複合長方形ばりの動的応答特性の研究

北見工業大学　正員　三上修一
同　同　大島俊之
日大生産工学部　同　能町純雄

1．はじめに

実構造物の老朽度や損傷の程度を判定し、その残存寿命を評価するためには、各構造要素についてひび割れの形状の把握や、材料の劣化の程度などいくつかの因子に対する総合的評価法の確立が必要である。また、材料中に生ずる欠陥を非破壊的に検査する手法の確立は、構造物の適切な維持管理を行う上で重要である。　応力波が弾性体内部で反射、屈折などの影響を受け伝播する場合に、伝播する応力波を解析することで構造物内部の状態をある程度判断することができる。しかし、入射波形の決定や応力波動の散乱挙動の解析など解明しなければならない問題もある。著者らはこれまでに円柱、円板供試体中の材料の劣化やひび割れが応力波速度に及ぼす影響を検討して構造物の健全度評価に応用する研究を行った[1),2)]。本研究では応力波動の散乱挙動解析の基礎的研究として長方形ばりをLaplace変換による帯板要素の動的応答解析を行い、複合長方形ばりの動的応答特性について報告する。

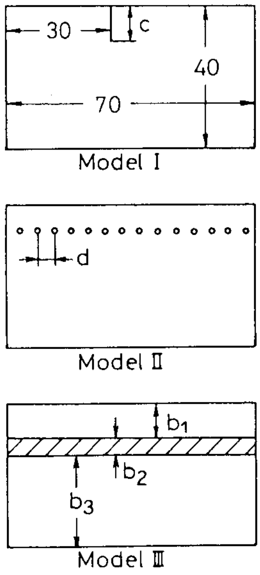

図1　供試体の種類

2．Inclusion を有する長方形板に関する実験

供試体は図1に示すような種類に分類される。供試体の寸法はスパン長70cm、高さ40cm、厚さ3cmを標準とし、アクリル供試体は厚さ1cmとした。図1のModel Iはモルタル中にcrackモデルを有する供試体で、c=5cm、c=10cmの２種類である。Model IIは図のようにモルタル中に鉄筋を有する供試体で、鉄筋は1列と2列（鉄筋間隔d=5cm）があり1列の供試体にはd=5cmとd=7cmの2種類がある。Model IIIは、アクリルを母材として角鉄棒（b_2=2cm）をアクリル板（b_1=4cm、b_3=34cm）にはさんで接着した供試体と鉄棒がなくb_1=10cmの所で接着して境界面を作った供試体である。この他に均質なモルタル板（70×20×3）、アクリル板（70×40×1）、粗骨材入りモルタル供試体の10種類である。実験は超音波探傷システムを用いて、図2の入射位置Xを固定し、00から16までの各測点で測定を行い、P波到達時間、波形解析、周波数解析を行った。入射センサーには電圧10ｖ、継続時間10μsの方形波を加えた。以上のような実験により、入射波長、供試体の内部構造などの違いは、波形やスペクトルに構造物内部の情報を含んだ形で測定される。一方、理論計算により、複合ばりなどの動的応答特性が明かとなれば、図1のModel I，Model IIのようなInclusionを持つはりの波形やスペクトルへの影響を明らかにする資料となる。

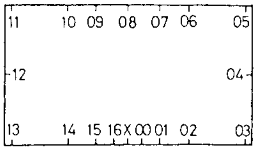

図2　入射位置と測定点

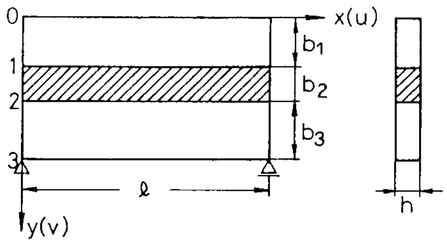

図3　複合長方形ばり

3．理論計算による検討

図3のような単純支持された複合長方形ばりを帯板要素によりモデル化するとき、微小部分の動的釣合式は次のようになる。

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (2)$$

ただしρは密度である。上式に二次元応力問題の応力とひずみの関係式を代入し、x，y両方向には有限Fourier変換、時間軸に関してはLaplace変換を用いて解析する。即ち、式（1）はx方向にCosine、y方向にSine変換、式（2）はx方向にSine、y方向にCosine変換を行い、変位u，vの像関数は境界物理量を含んだ式として表される。さらにy方向には有限Fourier逆変換公式を用いて閉じた関数表示とする。各帯板要素の接合面での境界条件を考慮するとLaplace変換のパラメータに関する固有値方程式が得られ、反復繰返し法により固有値と固有モードが求められる。Laplace逆変換を行う際には、解関数を各固有値近傍で部分分数に展開し、Heavisideの展開定理を用いて単位応答関数を求める。最後に実験から得られた入射波形を入力波としてDuhamel積分を施し、x方向にFourier逆変換を行うと構造各部の変位応答値が求められる。

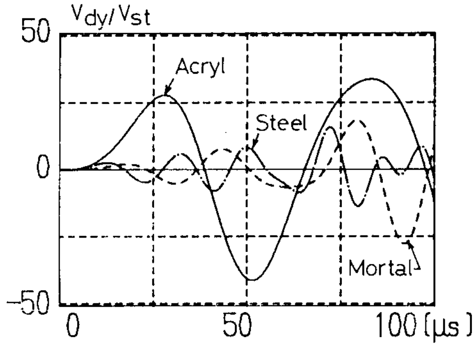

図4　変位応答の比較
（3ℓ/8点、v）

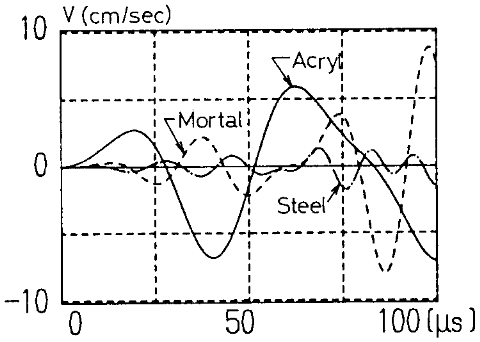

図5　速度応答の比較
（3ℓ/8点、$\dot{v}$）

4．数値計算

数値計算では、実験に用いたモルタル、鋼、アクリルの3種類について１要素ばりの計算を行った。それぞれの諸元を次ぎに示す。ただしEは弾性係数、νはポアソン比である。

寸　　法：スパン長ℓ＝70cm、高さb＝40cm、厚さh＝1cm
モルタル板：E＝210000kgf/cm²、ν＝0.17、ρ＝2.12gf/cm³
鋼　　板：E＝2100000kgf/cm²、ν＝0.3、ρ＝7.86gf/cm³
アクリル板：E＝40000kgf/cm²、ν＝0.38、ρ＝1.18gf/cm³

固有値の計算は、対称・逆対称条件を考慮してFourier変換のパラメータ（m＝３０）毎に、Laplace変換のパラメータに関して２０個づつ反復繰返し法により求めた。また入射波は、パルス波とし、継続時間10μsec、1kgfの集中荷重がスパン中央に作用することとした。図4は3ℓ/8点におけるy方向変位応答値を静的変位で無次元化したものを縦軸に、横軸に時間（μsec）をとって、モルタル、鋼、アクリルの各材料について比較したものである。図5は3ℓ/8点におけるy方向速度応答値をアクリルを基準として、モルタルは５倍、鋼は10倍して比較したものである。

5．おわりに

今回は数値計算より、複合長方形ばりの固有値とモード、変位応答、速度応答が得られた。実験により得られた波形やスペクトルとの関係についても発表の予定である。

参考文献

1)三上他：複合長方形梁の動的応答に関する研究、土木学会北海道支部論文集第４４号、昭和63年2月.
2)大島他：複合円盤部材の応力波動解析と内部構造の標定に関する研究,構造工学論文集Vol.34A,1988.3.