

I-106

内部欠陥を有する長方形ばりを伝播する応力波動の応答特性

北見工業大学 正員 三 上 修 一
 北見工業大学 正員 大 島 俊 之
 川田工業(株) 正員 小笠原 照 夫
 島田建設(株) 正員 斎 藤 隆 行

1. まえがき

構造物の健全度診断における内部欠陥評価の精度向上の要請から非破壊検査法の一つとして超音波パルスエコー法を用いた検査法が挙げられる。構造部材中の内部欠陥・Inclusionの位置、大きさを精度良く特定するためには構造部材中を伝播・散乱する応力波動の特性を明らかにする必要がある。

これまで著者らは、積層長方形ばりを有限帯板要素法^{(1), (2)}

によりモデル化してはりの内部減衰、Inclusion、内部欠陥等について変位・速度応答図、変位・応力シミュレーション図を示すことにより、長方形ばり中を伝播する応力波動の伝播特性を検討してきた。本論文では、構造物中に存在する鉄筋コンクリートの付着剝離やクラック等の内部欠陥をモデル化して数値計算を行い、波動伝播に与える影響を検討した。鉄筋コンクリート中に発生する内部欠陥には、

ひび割れ、空隙、鉄筋との付着力減少等が考えられる。鉄筋とコンクリートの間に一様に付着力の減少がある場合には、一方向に有限Fourier変換を施す有限帯板要素法による解析が有効である。また、ひび割れや空隙などはこのような手法によっては解析できないので、一般的には有限要素法を用いてより実際に近いモデル化が可能となる。

2. 鉄筋とコンクリートの付着力を考慮した積層長方形ばりの応力シミュレーション解析

有限帯板要素法により図1のようなモデルについて数値計算を行った。モデルの寸法は支間 $l=160\text{cm}$ 、高さ $h=40\text{cm}$ 、板厚 $t=3\text{cm}$ で3層の複合長方形ばりである。材料諸元を、コンクリート層は $E_c=30\text{GPa}$ 、 $E_i=2E_c/3$ 、 $\nu_c=0.17$ 、 $\rho_c=2.3\text{gf/cm}^3$ 、鉄筋層は $E_s=210\text{GPa}$ 、 $\nu_s=0.3$ 、 $\rho_s=7.85\text{gf/cm}^3$ とする。ここでは、 y 軸方向分割数を40分割、Fourier級数の項数を80項とした。入射応力波は支間中央上縁に入射幅 6cm 、入射継続時間 $50\mu\text{s}$ のパルス波とした。また、減衰定数 h_r は周波数依存性を考慮してはりの固有円振動数の関数とした⁽²⁾。鉄筋とコンクリートの付着力はバネ要素(バ

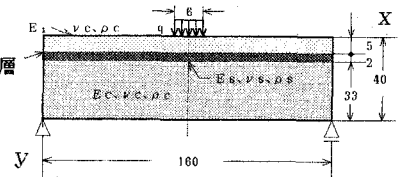


図1 積層長方形ばり

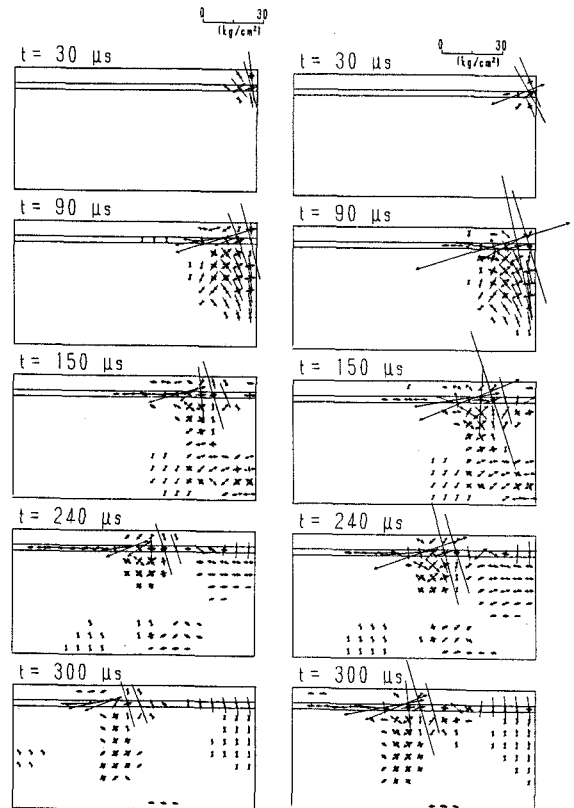


図2 主応力シミュレーション図形
($k=10000\text{tf/m}$)

図3 主応力シミュレーション図形
($k=0$)

ネ定数 k)でモデル化する。

応力シミュレーション図(図2、図3)は各点の主応力の大きさと方向を矢印の長さで方向であらわしたもので、各図の上部には 30kg/cm^2 のスケールを示した。また、 $\longleftrightarrow$ は引っ張り応力、 $\rightarrow\leftarrow$ は圧縮応力を示している。時間ステップは、 $30\mu\text{s}$ 、 $90\mu\text{s}$ 、 $150\mu\text{s}$ 、 $240\mu\text{s}$ 、 $300\mu\text{s}$ の5段階とした。ここでは、2種類の付着力減少を考慮した鉄筋コンクリートはりType I ($k=100000(\text{t/m})$ 、図2)、Type II ($k=0$ 、図3)について検討を行った。付着力の減少する場合に応力波の伝播する時間ステップ全体に鉄筋内での応力が大きくなり、波動伝播が遅くなる傾向がみられる。また付着力が非常に小さくなった場合には、二層はりとして振動するためコンクリートのかぶり層で応力が早く伝播する。このような結果より全体的に付着力の減少による応力波の伝播に伴う主応力分布をとらえることができる。

3. 内部欠陥を有する部材の応答特性

図4に示すような x 軸方向に左右対称なはりを、左半分について分割し、弾性係数 30GPa 、ポアソン比 0.17 、重量密度 2.3gf/cm^3 、入射波は支間中央に集中荷重 $P=2\text{tf}$ を入射継続時間 $50\mu\text{sec}$ のパルス波で与えた。欠陥は、支点から 23cm の位置に長さ 10cm 、幅 5mm の鉛直クラックモデルである。減衰定数は、最大値を 0.1 とするはりの固有振動数の関数とした。図4中のA、Bは変位応答を比較する節点の位置を示す。図5、図6は欠陥のある場合(点線)とない場合(実線)で y 軸方向の変位応答を比較した図である。図の縦軸には変位(m)を、横軸には波動入射からの経過時間(μsec)を示している。図5は欠陥付近の点(A点)で比較した図である。縦波動が深さ方向に往復する時間約 $160\mu\text{sec}$ までの応答は鉛直クラックの影響で点線の方が小さい応答を示す。図6は欠陥から遠い点(B点)で比較した図である。ここでは、はりが全体振動モードになる $200\mu\text{sec}$ から振幅が大きくなり鉛直クラックによる断面損失の影響がみられる。

4. おわりに

これらの解析により構造物の内部欠陥やInclusionを数値的にモデル化できるので、その位置・大きさによる影響を検討することによって、精度よい健全度診断を行うことができる。有限要素法による解析は、北海道大学大型計算機センター HITAC-S820のアプリケーションプログラムである総合構造解析システム「ISAS II/HAP」を用いた。また平成元年度文部省科学研究費奨励研究(A)の補助を受けました。

参考文献

- 1) Cheung, Y.K.; Finite Strip Method Analysis of Elastic Slabs, ASCE, EM6, Dec., 1968.
- 2) 三上、大島、他：長方形はりを伝播する応力波のシミュレーション解析、土木学会北海道支部論文報告集、第46号、1990。
- 3) 三上、大島、能町、木田；積層長方形はりを伝播する応力波のシミュレーションと非破壊評価への利用、構造工学論文集、Vol.36A、1990
- 4) Oshima, T., Mikami, S., Nomachi, S.G.; Analysis of Stress Wave Propagation in Composite Rectangular Beam in the Case of Ultrasonic Pulse Method, Proc. of JSCE, No.416/I-13, April, 1990.

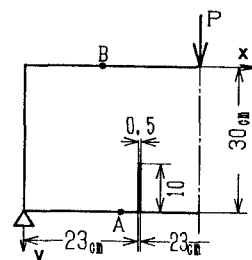


図4 鉛直クラックを有するはり

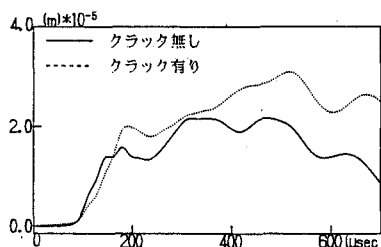


図5 鉛直変位応答 (A点)

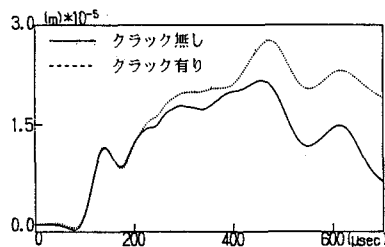


図6 鉛直変位応答 (B点)