

7K-5 定量的非破壊評価のための リアルタイムシミュレーションについての基礎検討

宮崎早苗* 三木千寿** 田中康博*

*NTTデータ通信(株) **東京工業大学

1. はじめに

現在、構造物の設計においては材料の降伏点応力あるいは引張強さを基準とし、公称応力を用いて強度の照査が行われている¹⁾。しかし、今までに橋梁、原子炉圧力容器、船舶、海洋構造物、航空機などに実際に発生した破壊の多くは、材料や溶接部などに存在する欠陥を起点として発生した疲労亀裂に起因するものである。

現在までに金属材料中の亀裂による破壊(ぜい性破壊、疲労破壊)については、材料中に存在する亀裂の拡大問題を解析するための連続体の力学(破壊力学)を適用することによりかなりの成果を得ている。しかし、この破壊力学は亀裂形状が事前にわかっているなければ適用することができない。そのため、実際に構造物の安全性の評価を行う場合には、その内部に存在する亀裂形状を把握するための定量的非破壊評価が必要となってくるが、現在の非破壊評価技術では定量的な評価は不可能である。

本稿では、超音波探傷法による鋼部材の非破壊評価を定量的に行うための基礎的なデータを得るために導入したリアルタイムシミュレーションについて述べる。

2. 非破壊評価

非破壊評価とは²⁾、構造物を壊すことなくその内部にある欠陥を検出するもので、各種構造物あるいは構造部材の余寿命の推定には不可欠のものである。現在では非破壊評価技術として、超音波探傷法、AE法、渦電流法、電磁気法、レーザー法、X線透過法などの計測法が開発されつつある。

定量的非破壊評価に有効な計測法として超音波探傷法とAE法があげられる。超音波探傷法は、物体表面から弾性波を入射し、内部欠陥によって反射、屈折した波動を物体表面で検出して欠陥の位置や大きさを明らかにするものである。一方AE法は、微小亀裂の破壊により放射された弾性波

を検出して構造物の安全性を診断したり、内部亀裂の性状を明らかにするものである。ここでは構造物の検査にしばしば用いられる超音波探傷法を対象にする。

いわゆる超音波試験は、音波が欠陥などの反射源に当たった後帰ってくるエコーの強さ、及び到達時間だけに注目して構造物内の欠陥の有無の調査や位置の決定を行うものであった。しかし近年、波動の到達時間だけでなく振幅の大小やフーリエ成分なども活用して、より多くの情報、すなわち欠陥の大きさ、形、方向、分布などの定量的パラメータが得られる定量的非破壊評価の必要性が認識され始めた。これは、破壊力学が発達したにもかかわらず、従来の非破壊評価では、それに必要なパラメータ(欠陥の大きさ、形状、方向など)がまったく得られなかったことによるものである。

3. 欠陥のある鋼部材中を伝播する超音波の解析

以上のことより、非破壊評価を定量的に行うためには入射波が欠陥によって散乱する様子を解析することが必要であることがわかる。欠陥による波動散乱問題の解析は、1960年代後半より盛んに行われるようになった。1980年代に入ると、計算機の進歩と共に数値解析法が急速に発達したことにより、欠陥による散乱問題も様々な方法により解析が行われるようになった。しかし、従来使用されてきた境界要素法による解析においてもまだ満足する解は得られていない。また、超音波の波長が非常に短いという性質から利用不可能であると考えられてきた有限要素法も、近年、スーパーコンピュータの出現によって解析に用いられるようになったが、まだ十分な結果が出ていない。

4. シミュレーション方法

ここでは、スーパーコンピュータ上で有限要素法を用いることによって、欠陥のある鋼部材中を超音波が伝播する様子をリアルタイムでシミュレ

Basic Considerations of Real-Time Simulation in QNDE

Sanae MIYAZAKI* Chitoshi MIKI** Yasuhiro TANAKA*

*NTT DATA Communications Systems Corporation

**Tokyo Institute of Technology

ートする。

有限要素法では基礎方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{f\} \quad \text{-----(1)}$$

[M]:質量マトリックス

[K]:剛性マトリックス

{u}:変位

{f}:外力

解析は二次元モデルで行うこととし、要素は四辺形アイソパラメトリック双二次要素とする。

また、時間応答の解析にはニューマーク-β法を用いている。

この場合、超音波が非常に高周波数であるため各節点間距離は 10^{-1} mmオーダーにしなければならない。このため実際の鋼部材の解析を行おうとすると要素数、節点数が膨大になり、計算速度の急激な低下やメモリ不足が心配される。このため、ここでは無反射境界(Non-reflecting boundary)^{3), 4)}を導入し計算速度の高速化やメモリの節約をはかっている。(図1)

5. グラフィックスの実行形態

このシミュレーションは「一体型システム」形態をとるミニスーパーコンピュータ(アライアントVFX/80)上で行われている。(図2)

一体型システムとは⁵⁾グラフィックス処理部分と数値演算処理部分を一システム内に取り込んだ体系である。一体型システムでは1つのシステム内に数値計算とグラフィックス処理を専門に行うプロセッサをそれぞれ持っており、主メモリを共有することにより、グラフィックス処理を高速化できる。つまり、スーパーコンピュータで計算させると同時に、得られた計算結果を即時可視化していく方法であり、スピードを最重視した方法であると言える。

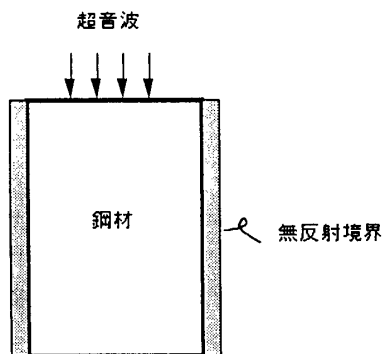


図1

このようなシステム体系をとっているため、シミュレーションの適合性や計算結果の良否がシミュレーションを行うと同時に判断でき、シミュレータ開発にかかる時間が大幅に削減できた。

なお、グラフィック実行部のプログラムには `phigs` が使用されている。

6. おわりに

ここでは、超音波が欠陥のある鋼部材中を伝播する様子をリアルタイムでシミュレートしたが、今後はこの結果を破壊力学に結び付けることによって構造物や構造部材の安全性を評価していく予定である。また、三次元への拡張も検討している。

[参考文献]

- 1) 構造工学委員会 構造力学小委員会 破壊力学分科会:『委員会報告 土木工学における破壊力学の適用性』土木工学論文集 第380号/1-7 1987年4月 p13-p26
- 2) 広瀬壮一:『定量的非破壊評価(QNDE)とフラクチャーメカニクス』構造工学論文集 Vol.35A(1989年3月)p269-p278
- 3) 大槻明、山原浩、春海佳三郎:『レーリー波による不整合地盤の挙動』土木学会論文集 第337号 1983年9月 p27-p36
- 4) R.R.Kumar, L.Rodriguez-ovejero: "A Model with Non-Reflecting Boundaries for Use in Explicit Soil-Structure Interaction Analyses" Earthquake Eng. and Struct. Dyn., Vol.1.8, 1980 p361-p373
- 5) 上野山英樹、田中康博:『離散渦モデルを用いたリアルタイムシミュレーション』第8回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス 1989年6月 p41-p44

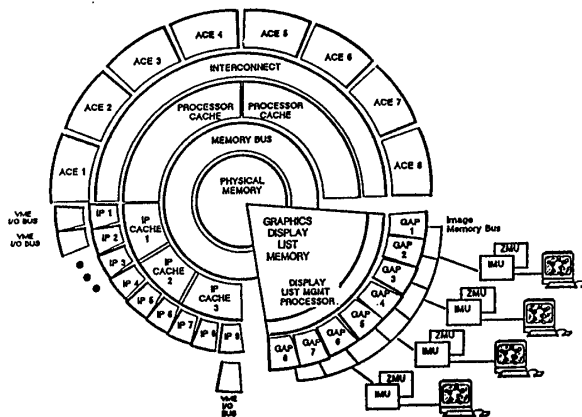


図2