

戦略的基盤ソフトウェア次世代構造解析システムグループ 代表 矢川元基

分類 構造シミュレーション

キーワード フリーメッシュ法、粒子法、有限要素法

開発者 矢川元基、

越塚誠一、宋武鑑、柴田良教、淀薫、

庄井真一、稻葉正和

公開年月 2003年12月

コード名 NEXST System

使用言語 C、C++、Java 3D

◇ 四面体並列メッシュ生成コード—NEXST_FMM—

四面体並列メッシュ生成コードの開発を行ったので、プログラムソースなどの資料を公開する。

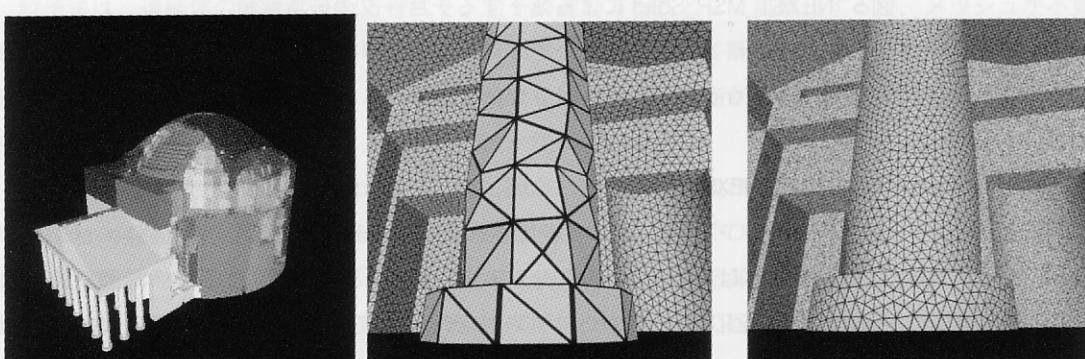


図1 NEXST_FMMによる並列
(8 CPU) メッシュ生成

(a) 50万要素メッシュ
(従来の方法による上限)

(b) 1億2千万要素メッシュ

図2 PCによる大規模メッシュ生成の例

◇ 大規模ソルバ用汎用境界条件設定ツール—NEXST_BCTool—

大規模ソルバにも対応した、汎用境界条件ツールを開発したので、プログラムソース等を公開する。

◇ 3次元有限要素法構造解析コード—NEXST_Impact—

3次元並列陽解法動的弹性解析コードを開発したので、プログラムソース等を公開する。本コードに

については別途 FSIS NEWS で詳述する。

◇ 可視化・アニメーションコード—NEXST_Animator—

3次元可視化・アニメーションコードを開発したので、プログラムソース等を公開する。

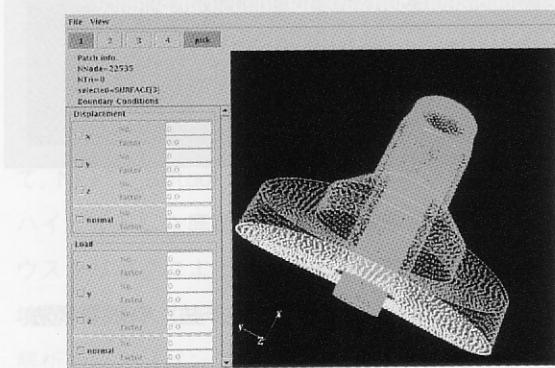


図3 NEXST_BCtool 操作画面

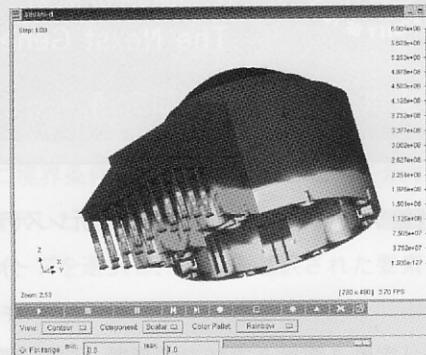


図4 NEXST_Animator による古代ローマの
パンテオンの動的応力解析結果表示

◇ 3次元 MPS 法構造解析コード—NEXST_MPS_Solid—

3次元 MPS 粒子法構造解析コードを開発したので、プログラムソース等を公開する。

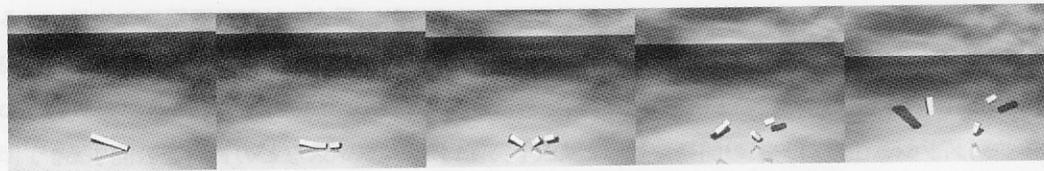


図5 NEXST_MSP_Solid による落下するチョークの破壊解析

◇ 質問の連絡先：東大工学系研究科 矢川研究室

[<nexst@garlic.q.t.u-tokyo.ac.jp>](mailto:nexst@garlic.q.t.u-tokyo.ac.jp)

◇ コードの概要

四面体並列メッシュ生成コード—NEXST_FMM—

三角形表面パッチ（サーフェース・メッシュ）で表現されたソリッド形状に対して四面体メッシュを生成するコードである。理論としては、FMM の局所メッシュ生成手法として開発された多階層型節点検索パケットを有した包装法の一種を応用しており、デローニ分割および拘束デローニ分割によって四面体メッシュを生成する。包装法とは、注目した点の周囲の最大空円を求める処理を繰り返すことにより、デローニ分割を一つずつ順々に求めていく手法であり、アルゴリズムが空間的な局所性を有しているため、並列計算機による処理が容易である。さらに、節点検索のためのパケットをツリー型のデータ構造とすることにより、応力集中のある問題や流体解析など、節点密度に大きな差がある場合でも効率的な検索ができるようになっている。また、単一のプロセッサーを用いた場合でも、アルゴリズムの空間局所性を利用して、仮想的な並列処理を行うことが可能であり、限られたメモリーしか持たない通常の PC を用いても、1億要素級のメッシュを生成することが可能である。

大規模ソルバ用汎用境界条件設定ツール—NEXST_BCtool—

構造グループでは、FEM・FMM・粒子法など、さまざまな解析手法によるソルバー開発をすすめており、ターゲットとなる問題設定も、単なる応力解析にとどまらず、衝撃解析・流体解析など多岐にわたる。NEXST_BCtool の開発では、それらのソルバーに対応した汎用的な境界条件の設定を行うことができるツールとした。具体的には、ユーザーが自分の利用するソルバに必要な境界条件項目をテンプレートファイルに記述すれば BCtool はその境界条件を扱うことが出来るようになる。また、数千万程度(将来的には数億規模)の自由度のモデルに対応しており、構造グループ全体のコンセプトの 1 つである「大規模問題への対応」を実現した。動作環境として Java 3D を採用することで、マルチプラットフォームに対する移植作業を不要とした。

可視化・アニメーションコード—NEXST_Animator—

可視化のプロセスでは、ユーザの思考を中断させないスムーズな応答性が要求される。また、複雑な非定常解析結果において現象を十分にとらえるためには視空間移動だけでなく、同時に時間方向への自在な移動を行うこと、つまり動的なアニメーションによる可視化表示が求められる。さらに分かり易い表示を行うためには、動的な可視化表示を中断せずに色情報など、パラメータ設定などを自在に行うことが要求される。

非定常解析結果において問題となるのは、特にレンダリングの負荷と I/O の負荷が表示のパフォーマンスである。本プログラムでは、大規模な非定常解析のデータセットに対応し、大規模データを高速にアクセスしながら、かつレンダリング処理を交互に繰り返しながら動的な可視化/アニメーション表示を可能とする。

3 次元 MPS 法構造解析コード—NEXST_MPS_Solid—

粒子法は、連続体の運動の支配方程式を、粒子の運動方程式として離散化するが、メッシュが不要であるため、連続体の変形が著しい場合にも計算精度低下の問題なく計算を進めることができる。また、連続体の分裂や合体にも適用できる。また大規模で複雑な 3 次元形状を扱う場合においても計算点間の接続情報を与える必要が無いので、モデル作成が簡便である。

MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法は、越塚らが非圧縮性流れの解析のために開発した粒子法である。既に自由液面流れにおける碎波などに適用され、成果を挙げているが、構造にも適用可能である。本コードは、MPS 構造解析コードのリリース第 2 弹であり、2 次元弾性体から 3 次元弾性体に適用範囲を拡大した。構造解析では各粒子は回転の自由度を持つが 3 次元の回転角をクオータニオンを用いて定式化することにより、大変形に対しても精度良く角運動量を保存できる。

異なる物性を持つ複数の物体も同時に扱うことができる。また計算結果を可視化するツールも備える。

◇ 計算例

解析対象 I (パンテオノの 1 億2000万要素メッシュの作成) : NEXST_FMM による大規模メッシュ生成の事例として、古代ローマの建造物「パンテオノ」を取り上げる。FMM ではメッシュ生成を節点単位で処理できるため並列処理に適する。8CPU を用いて、並列メッシュ生成を行った結果を図1に示す。また、1 台で仮想的な並列処理を行い、従来の PC では取り扱えなかった巨大なメッシュを生成することも

可能である。まず、従来、1 PC で生成することのできる上限であった50万要素のメッシュを図2(a)に示す。これに対して、FMM を用いた仮想並列処理によって生成した 1 億2000万要素の巨大メッシュを図2(b)に示す。このメッシュの生成に使用した PC の仕様や処理時間等を表1に示す。

* 解析対象2 (原子力圧力容器のノズル部分モデルへ境界条件設定)：図3に原子炉圧力容器のノズル部分モデルについ

て、NEXST_BCTool により節点及び稜線を表示し、底部に境界条件を設定しているところを示す。黄色にハイライトした底部は境界条件設定のためにユーザが選択した箇所である。また、右側 3D 画面上でのマウスクリックによって、表面上の節点・稜線・表面グループを選択し、その後選択された要素に対する境界条件の入力を左側プロパティパネルで行う。

* 解析対象3 (パンテオノの FMM による解析結果表示)：図4に、建築物に対する地震を想定した解析結果を NEXST_Animator で可視化している様を示す。具体的には、古代ローマのパンテオノの底面部分に振動する強制変位を与えたときの応答を解析した (節点数543,021、要素数 2,700,529)。

* 解析対象4 (落下するチョークの NEXST_MPS_Solid による解析結果表示)：MPS 法の特徴は、大変形や破壊が解析できることである。固体の性質を、(柔らかい ⇌ 硬い)、(粘り強い ⇌ もろい)という軸で考えると、従来の有限要素法は、金属に代表される硬くて粘り強い材料を主に扱ってきた。ここに示す例は、硬くてもろい材料としてのチョークである。新品のチョークが硬い床に落下すると、多くの場合に 3 個の断片に破壊される。MPS 法による解析でもこれが再現された。3 個の断片になる理由は次のように説明できる。まずチョークの一方の端が床に衝突する際に高い応力が発生して 1 ヶ所が折れる。次に、反動でもう一方の端が床に衝突し、その応力によりもう 1 ヶ所が折れる。第 2 回目の衝突による応力は比較的小さく、折れない場合もあり、その際は断片が 2 個になる。

◇ 関連論文 1) 稲葉正和・藤澤智光・矢川元基, フリー・メッシュ法のための局所要素生成アルゴリズム, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2002 講演論文アブストラクト集, p. 338, 2002, (CD-ROM 版講演論文集には4ページの論文). 2) Fujisawa T, Inaba M, Yagawa G. Parallel computing of high-speed compressible flows using a node-based finite-element method. Int. J. Numer. Meth. Eng., 2003, 3) 矢川元基、三好昭生, 淀薫「大規模ソルバー用汎用境界条件設定ツール NEXST_BCTool」日本機械学会第16回計算力学講演会論文集(2003)、4) 矢川元基、三好昭生「次世代構造解析システム“NEXST”」生産研究 Vol. 55, No. 3, pp. 272-279, 2003. 5) 庄井ら「ユーザーフレンドリーな 1 千万自由度問題の並列可視化システム」計算工学講演会論文集 Vol. 3 (1998), pp71-72. 6) Shou, et al 「Parallel Visualization of Finite Element Solutions with Ten Million DOFs Using PC Cluster」 ECCOMAS2000 (2000) pp 997. 7) Koshizuka, S. et al. "Particle Method for Fluid and Solid Dynamics", Computational Fluid and Solid Mechanics 2, Proc. First MIT Conf. on Computational Fluid and Solid Mechanics (Boston, 2001) pp. 1269-1271. 8) 宋ら「MPS 法による 2 次元弾性体の構造解析」計算工学講演会論文集8 (2003) pp.133-136. 9) Song, M. S. et al. "Analysis of Two-Dimensional Elastic Structure by Particle Method" Proc. Int. Conf. Global Environment and Advanced Nuclear Power Plants (Kyoto, 2003), Paper-1073.

表1 図2(b)のメッシュ生成の計算情報

入力 CAD データ	IGES
節点数	約2100万
要素数	約 1 億2000万
計算時間	約 4 時間40分
CPU	AthlonXP 1.73Ghz
メモリー	2G bytes
仮想並列数	4096 PEs