メニーコアプロセッサを用いた地盤-建物モデルに対する並列有限要素解析の性能評価

Performance Evaluation of Parallel FEA for Soil-structure Model using Many-core Processors

*森田　直樹[1]，高橋　容之[2]，橋本　学[1]，奥田　洋司[1]
[1]東京大学大学院，[2]鹿島建設株式会社

集積回路の消費電力などの観点から，Intel Xeon Phi (Knights Landing, NKL)に代表されるメニーコアプロセッサが搭載された計算機の利用が広がっており，今後の計算機設計の主流となると考えられる．本研究では, 大規模地盤-建屋モデルの並列有限要素解析に対し, NKL の並列計算性能を評価することを目的とする.

キーワード：並列有限要素法，共役勾配法，メニーコアプロセッサ

1. 緒言

重要構造物の構造安全性を高めるため, 地震波に対する過渡応答を精度良く予測することは重要である. 複雑な任意形状及び種々の非線形特性を考慮した応答が評価できる点で有限要素法が広く利用されている.

集積回路の消費電力や熱設計の観点から，Intel Xeon Phi（Knights Landing, NKL）に代表されるメニーコアプロセッサが搭載された計算機の利用が広がっており, 今後の計算機設計の主流になるとが考えられる.

2. 前処理付き共役勾配法

有限要素解析は，正定値対称の疎行列をもつ連立一次方程式の求解に帰着し，線形ソルバ（特に疎行列ベクトル積, SpMV）が計算時間のほぼ全てを占める. また, 時間ステップ方向へ並列計算ができないため, 過渡応答を効率的に求める場合， 1 つの時間ステップの強スケーリング性能を向上させる必要がある.

3. メニーコアプロセッサを用いた数値例

数値例として, 地盤-建物モデルの数値解析を行う. 地盤-建物モデルは, 節点数 221,559, 要素数 232,391, 自由度数 664,667 であり，ソリッド要素とシェル要素が混在している．共役勾配法は，前処理として対角スケーリングを用いる. 使用計算機として, 最先端共同 HPC 基盤施設の Oakforest-PACS を利用する. Oakforest-PACS は，1 ノードあたり 1 つの Intel Xeon Phi 7250 が搭載されている．Intel Xeon Phi 7250 は，68 コア，理論演算性能 3.05 TFlops であり, メモリバンド幅の異なる 2 層のメモリ構造（DDR4, 96GB / MCDRAM, 16GB）をもつ．表 1 に，共役勾配法の計算時間の比較を示す．この数値例では，MPI プロセス数（=領域分割数）を変化させ，1000 反復あたりの測定時間を記載した．表 1 より， SpMV の速度向上率は良好であり，MPI プロセス数が 68 のとき，SpMV の速度向上率は 57.1 という結果が得られた.

表 1 共役勾配法の計算時間の比較（MPI フラット並列，OpenMP スレッド数=1，使用ノード数 1）

MPIプロセス数	1	2	4	8	16	32	68
CG法時間 [sec]	143.	74.8	38.0	19.1	9.68	5.11	2.88
SpMV時間 [sec]	130.	67.2	33.8	16.8	8.38	4.36	2.27
SpMVの速度向上率	1.00	1.93	3.85	7.73	15.5	29.8	57.1

*Naoki Morita[1], Yoshiyuki Takahashi[2] , Gaku Hashimoto[1] and Hiroshi Okuda[1]
[1]The University of Tokyo, [2]Kajima Corporation