

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560080

研究課題名(和文) 建築構造詳細解析の高速化のためのファイバーコースグリッドMG法の開発

研究課題名(英文) Multigrid Method Using Beam Element for Framed Structure Modeled by Solid Elements

研究代表者

宮村 倫司 (MIYAMURA, Tomoshi)

日本大学・工学部・講師

研究者番号：30282594

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、骨組構造物のソリッド要素による詳細メッシュを用いた解析において、コースグリッドとして、梁要素モデルを用いる手法を提案する。MG法は共役勾配法の前処理に用いる。梁要素モデルによるファイバーコースグリッドとソリッド要素によるファインメッシュ間のRestrictionおよびProlongation演算機能を実装した上で、CG法の前処理としてのMG法のアルゴリズムも実装した。ファイバーコースグリッドMG法に対するメッシュ生成フレームワーク、可視化機能を持つソフトウェアのプロトタイプの開発も行った。

研究成果の概要(英文)：A preconditioner for the conjugate gradient method based on a multigrid (MG) method (the fiber coarse grid MG method) is proposed for the finite element analysis of framed structures modeled by a fine mesh of solid elements. A frame model of beam elements (beam model) is used as a coarse grid of the fine mesh of solid elements. The degenerated Timoshenko beam element is used for the beam model. The proposed method is a kind of two grid method. The methods of the restriction and prolongation for the proposed MG method are derived. Good convergence property compared to a simple diagonal scaling preconditioner is attained by the proposed MG preconditioner. A prototype of analysis framework for the proposed method, which consists of I/O system, pre- and post- systems is also developed.

研究分野：計算力学

キーワード：有限要素法 マルチグリッド法 梁要素 ソリッド要素 骨組構造 構造解析 大規模並列解析 ファイバー

## 様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 研究代表者等は世界最大の震動台 E-ディフェンスによる実大震動実験を再現できる仮想震動実験を行うための「数値震動台」を開発している。これは、ソリッド要素で細分割された 1 千万~1 億自由度の構造物詳細モデルを解析できる非線形並列有限要素解析ソフトウェアであり、局所的な塑性座屈、破壊現象等と構造物全体の挙動を同時に解析できる。既に、E-ディフェンスによる 4 層鋼構造骨組の実大震動実験の再現解析や、31 層超高層鋼構造骨組の地震応答解析に成功しており、建築構造分野において世界をリードする研究成果を上げている。4 層鋼構造骨組モデルは 2 千万自由度程度であり、20 秒程度の地震入力に対して数百ノードの超並列計算機による計算時間は 10 日から 1 か月程度となる。更に、薄肉部材のモデル化に偏平な非適合モード六面体要素を用いるため、メッシュ生成に膨大な時間がかかっている。現状では、E-ディフェンス実験前の予備解析、あるいは、再現解析による検証済のモデルを用いたパラメータスタディ、更には、実務設計における数値震動台の利用を考えれば、計算速度は遅く、更なる高速化が強く求められる。例えば、4 層鋼構造骨組の計算を 1 日以内で行えることが求められる。

(2) 従来より骨組構造物は、はり要素や塑性ヒンジモデルに代表されるマクロモデルを用いた骨組モデル(ファイバーモデル)により解析されることが一般的である。ファイバーモデルに対する詳細モデルの特長は、塑性座屈や破壊のようなローカルな現象を直接的に考慮していることである。従って、ローカルな現象を逐次マクロモデルとして反映すれば、ファイバーモデルによっても全体的挙動を高精度に解析できる。研究分担者の磯部は、4 層鋼構造骨組の地震応答解析を高精度かつアダプティブなファイバーモデルである ASI-Gauss 法により行い、良好な結果を得ている。その計算時間は 1 台の PC で 1 時間弱と非常に高速である。

### 2. 研究の目的

(1) マルチグリッド法(MG法)は陰的な解析で用いられる反復型線形ソルバーを高速化する手法である。MG法では、粗いメッシュ(コースグリッド)を用いて収束を加速する。本研究の学術的アイデアは、ファイバーモデルをコースグリッドとすることで、詳細モデル解析を飛躍的に高速化することである。以下では本手法をファイバーコースグリッドMG法と呼ぶ。

(2) 本研究のもう一つの目的は、通り芯(ファイバー)を埋め込んだ解析モデルを作成するフレームワークを開発し、プリ・メイン・ポスト処理全てを高速化することである。

### 3. 研究の方法

(1) 梁要素モデルとソリッド要素モデルの精度比較

骨組構造物に対して梁要素によるモデル(梁要素モデル)とソリッド要素によるモデル(ソリッ

ド要素モデル)の精度比較を行い、梁要素モデルのコースグリッドとしての性能を評価する。

(2) Restriction および Prolongation 演算の開発・実装

はり要素の変位仮定に基づきソリッド要素による詳細メッシュ(ファイングリッド)とファイバーコースグリッドの間での Restriction および Prolongation 演算の定式化を行う。最初は弾性はりに対する定式化を行い、その後、弾塑性問題への拡張を行う。

(3) 接合部に対する Restriction および Prolongation 演算の開発・実装

ファイバーモデルでは節点として表される部材の接合部は、実際には 3 次元領域であり、その中では薄肉の仮定は成立しない。そこで接合部に適用できる Restriction および Prolongation 演算について検討する。

(4) データフォーマットと入出力プログラムの作成

ファイングリッド内のソリッド要素や節点とコースグリッドのはり要素の対応、ファイングリッドの節点位置におけるディレクター等の情報の格納に、ADVENTURE システムの入出力モジュールである ADVENTURE\_IO を利用するための仕様を策定し、データ入出力用プログラムを作成する。

(5) メッシュ生成フレームワーク、可視化機能の試作

ファイングリッドである骨組構造物のソリッド要素メッシュを効率的に生成するメッシュジェネレータに、コースグリッドとなる梁要素モデルの情報を付加して出力する機能を開発し、ソフトウェアを試作する。

(6) 領域分割法とファイバーコースグリッド MG 法の組み合わせ手法の検討

将来的に並列計算を行うために、提案手法と領域分割法を組み合わせる手法についても検討する。

### 4. 研究成果

(1) 梁要素モデルとソリッド要素モデルの精度比較

E-ディフェンスで実大実験が行われた 4 層鉄骨構造骨組の地震応答解析をソリッド要素モデルと、ASI-Gauss 法に基づく梁要素を用いた梁要素モデルにより行い、結果を多角的に比較した。異なる解析モデル間の比較により verification を行い、実大実験結果との比較により validation を行った。図 1 は 1 層の層間変形角の比較である。変形の最大値についてはソリッド要素モデルの方が実験の再現性が高い。しかし、地震波が小さくなってからの弾性的な振動については、梁要素モデルの方が周期、振幅共に実験結果によく合っている。しかし、ソリッド要素モデルはこの研究の後で改良され、実験結果の再現性は更に高まっている。

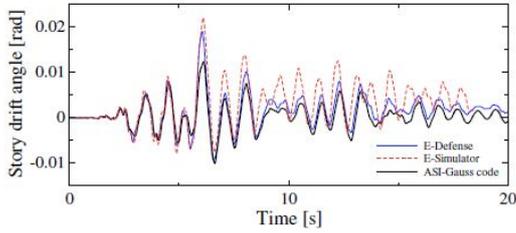


図1 ソリッド要素モデル，梁要素モデル，実験の比較（層間変形角）

## (2) Restriction および Prolongation 演算の開発・実装

梁要素モデルで使う連続体退化型チモシェンコ梁要素の概要を示す．ここではDvorkinにより提案された要素の線形部分を用いる．形状関数は線形で節点数は2個とする．初期配置における要素内の位置 ${}^0\mathbf{X}$ は次式で表される．

$${}^0\mathbf{X}(s^1, s^2, s^3) = \sum_{n=1}^2 N^n(s^1) \left( {}^0\mathbf{X}^n + \frac{a^n}{2} s^2 {}^0\mathbf{V}_2^n + \frac{b^n}{2} s^3 {}^0\mathbf{V}_3^n \right) \quad (1)$$

ここに，上付き添字は要素内の節点を表す． ${}^0\mathbf{X}^n$ は節点における断面の中心の位置ベクトル， ${}^0\mathbf{V}_2^n$ ， ${}^0\mathbf{V}_3^n$ は節点において初期の断面の向きを表す2個のディレクタ（単位ベクトルとする）， $a^n$ と $b^n$ は梁幅である． $s^1$ は材軸方向， $s^2$ と $s^3$ は断面方向の無次元化されたパラメータである．次に，時刻0から時刻 $t$ への変位ベクトル ${}^t_0\mathbf{u}$ は次式で表される．

$${}^t_0\mathbf{u}(s^1, s^2, s^3) = \sum_{n=1}^2 N^n(s^1) \left( {}^t_0\mathbf{u}^n + \frac{a^n}{2} s^2 ({}^t\mathbf{V}_2^n - {}^0\mathbf{V}_2^n) + \frac{b^n}{2} s^3 ({}^t\mathbf{V}_3^n - {}^0\mathbf{V}_3^n) \right) \quad (2)$$

ここに， ${}^t\mathbf{V}_2^n$ ， ${}^t\mathbf{V}_3^n$ は時刻 $t$ における断面の向きを表す2個のディレクタ， ${}^t_0\mathbf{u}^n$ は節点における中心軸の変位の並進成分である．時刻0から時刻 $t$ へのディレクタの回転は，有限回転を考慮する場合には，有限回転テンソルにより表すことができ，微小変形の場合にはそれを線形化することで得られる反対称テンソルにより表される．

ここでは解きたい問題の解析モデル（有限要素法ではメッシュ）をファイングリッド（fine grid）と呼び，それを近似する粗い解析モデルをコースグリッド（coarse grid）と呼ぶ．また，ファイングリッドによる解が属する空間をファイン空間，コースグリッドによる解が属する空間をコース空間と呼ぶ．ファイングリッドに対する離散化された釣り合い式は，線形の場合，次のような連立一次方程式となる．

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{p} \quad (3)$$

ここに， $\mathbf{K}$ は剛性行列， $\mathbf{u}$ は変位ベクトル， $\mathbf{p}$ は外力ベクトルである．

本研究ではひとつのコースグリッドのみを用いる2グリッド法を考える．ファイングリッドからコースグリッドへの写像を表す行列をRestriction行列と呼び $\mathbf{R}$ で表す．一方，コースグリッドからファ

イングリッドへの写像を表す行列をProlongation行列と呼び $\mathbf{P}$ で表す．あるファイングリッドとコースグリッドの組に対する $\mathbf{R}$ と $\mathbf{P}$ の作り方は，一通りではない．

コースグリッドに関する係数行列 $\mathbf{K}^{\text{Coarse}}$ は， $\mathbf{R}$ および $\mathbf{P}$ を用いて，次のように作成することができる．

$$\mathbf{K}^{\text{Coarse}} = \mathbf{R}\mathbf{K}\mathbf{P} \quad (4)$$

コースグリッドを通常の有限要素法のメッシュと考えて問題を離散化することにより $\mathbf{K}^{\text{Coarse}}$ を直接作成することも可能である．

コースグリッドは，前処理付共役勾配法（前処理付CG法）の前処理行列 $\mathbf{M}^{-1}$ の作成に使うことができる．本研究では前処理行列 $\mathbf{M}^{-1}$ として，コースグリッド修正に関する項と対角スケール前処理用行列を組み合わせた次のようなマルチグリッド前処理行列 $\mathbf{M}_{\text{MG}}^{-1}$ を用いる．

$$\mathbf{M}_{\text{MG}}^{-1} = c\mathbf{P}(\mathbf{K}^{\text{Coarse}})^{-1}\mathbf{R} + (1-c)\mathbf{M}_{\text{Diag}}^{-1} \quad (5)$$

ここに， $0 \leq c \leq 1$ であり，この前処理行列は，コースグリッドに関する行列（第1項）と，対角スケール前処理に関する $\mathbf{M}_{\text{Diag}}^{-1}$ 行列（第2項）の重み付き和となっている．

本研究ではソリッド要素でモデル化された骨組構造の解析モデルに対して，梁要素による骨組モデルを作成し，これをコースグリッドとする．図2に片持ち梁のソリッド要素によるモデル（ソリッド要素モデル）とそれに対応する梁要素によるモデル（梁要素モデル）を示す．材軸方向の要素分割数はソリッド要素モデル，梁要素モデル共に同じ数とする．梁要素モデルの節点には，ソリッド要素モデルの対応する断面内の各節点に関連するため，それらの節点には梁要素モデルの節点のIDを節点の属性として持たせる．これをADVENTUREプロジェクトで開発されたADVENTURE\_IOにおける節点の属性データとして表す．

Restriction行列 $\mathbf{R}$ は残差ベクトルをコースグリッド問題の残差ベクトルに変換している．コースグリッドを構成する梁要素の節点力は，3個のモーメントと3個の合応力である．そこで， $\mathbf{R}$ を陽に作るのではなく， $\mathbf{g}$ から $\mathbf{g}^{\text{Coarse}} = \mathbf{R}\mathbf{g}$ を直接求める． $\mathbf{g}^{\text{Coarse}}$ の成分の中で骨組モデルの節点 $k$ におけるモーメントと合応力は以下のように求められる．

$$M_x = \sum_{j=0}^N \left\{ g_y^{m(j)} (z^{m(j)} - z^{\text{center}}) + g_z^{m(j)} (y^{m(j)} - y^{\text{center}}) \right\} \quad (6)$$

$$M_y = \sum_{j=0}^N \left\{ g_z^{m(j)} (x^{m(j)} - x^{\text{center}}) + g_x^{m(j)} (z^{m(j)} - z^{\text{center}}) \right\} \quad (7)$$

$$M_z = \sum_{j=0}^N \left\{ g_x^{m(j)} (y^{m(j)} - y^{\text{center}}) + g_y^{m(j)} (x^{m(j)} - x^{\text{center}}) \right\} \quad (8)$$

$$N_x = \sum_{j=0}^N g_x^{m(j)} \quad (9)$$

$$N_y = \sum_{j=0}^N g_y^{m(j)} \quad (10)$$

$$N_z = \sum_{j=0}^N g_z^{m(j)} \quad (11)$$

ここに、 $M_x$ は $x$ 軸周りのモーメント、 $N_x$ は $x$ 軸方向の合応力である。他のモーメント、合応力も同様である。 $N$ は梁要素モデルの節点 $k$ の断面に含まれるファイングリッドの節点数、 $m(j)$ は断面内の $j$ 番目の節点に対するファイングリッドの節点番号を求める関数、 $(g_x^m, g_y^m, g_z^m)$ は、ファイングリッドの第 $m$ 節点に対応する $g$ の3成分、 $(x^m, y^m, z^m)$ はファイングリッドの第 $m$ 節点に対応する座標、 $(x^{\text{center}}, y^{\text{center}}, z^{\text{center}})$ は梁要素モデルの節点 $k$ における断面の中心の座標である。以上の $M_x, M_y, M_z, N_x, N_y, N_z$ は $g^{\text{Coarse}}$ に節点 $k$ に関する6成分として代入する。

なお、実装では、 $m(j)$ の代わりに節点の属性のとして持たせた節点のIDからファイングリッドの節点番号から対応する梁要素モデルの節点番号を求めるためのテーブルを作成し、ファイングリッドの全節点に対して式(6)~(11)に相当する計算をして、その結果を $g^{\text{Coarse}}$ の成分に足し込めばよい。

Prolongation行列 $P$ も陽に作るのではなく、次のように、 $u^{\text{Fine}} = P(K^{\text{Coarse}})^{-1} Rg^j$ を直接計算する。Restrictionにより得られた $g^{\text{Coarse}}$ より $u^{\text{Coarse}} = (K^{\text{Coarse}})^{-1} g^{\text{Coarse}}$ を計算する。 $u^{\text{Coarse}}$ は回転と変位の次元を持ち、 $K^{\text{Coarse}}$ を係数行列、 $g^{\text{Coarse}}$ を右辺ベクトルとする連立一次方程式を解くことにより求められる。これは通常の梁要素モデルの静解析に相当する。

最初にディレクタ ${}^0V_2^n, {}^0V_3^n$ と $u^{\text{Coarse}}$ の回転に関する成分より作成した反対称テンソルとの積を計算し、 ${}^tV_2^n, {}^tV_3^n$ を求めておく。次に断面内のファイングリッドの節点 $m(j)$ に対して、次式のようなベクトルを定義する。

$$\tilde{x}^{m(j)} = (z^{m(j)} - z^{\text{center}}, y^{m(j)} - y^{\text{center}}, z^{m(j)} - z^{\text{center}}) \quad (12)$$

$u^{\text{Fine}}$ の節点 $m(j)$ に対応する成分を $\tilde{u}_{m(j)}^{\text{Fine}}$ とし、 $u^{\text{Coarse}}$ の並進成分を $\tilde{u}^{\text{Coarse}}$ とすると、

$$\tilde{u}_{m(j)}^{\text{Fine}} = \tilde{u}^{\text{Coarse}} + ({}^0V_2^k \cdot \tilde{x}^{m(j)}) ({}^tV_2^k - {}^0V_2^k) + ({}^0V_3^k \cdot \tilde{x}^{m(j)}) ({}^tV_3^k - {}^0V_3^k) \quad (13)$$

となる。これをファイングリッドの全節点に対して計算し、 $u^{\text{Fine}}$ に代入する。

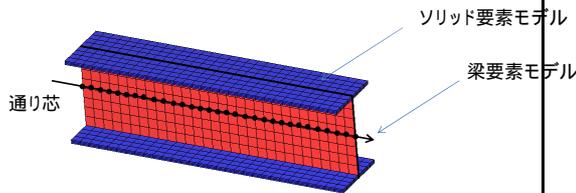


図2 ソリッド要素モデルと梁要素モデル

図3に示す片持ち梁モデルの解析を行う。ソリッド要素モデルは六面体一次要素で分割しており、節点数は54、要素数は20となる。一方、梁要素モデルの節点数は6、要素数は5となる。材軸は $z$ 軸に平行である。図4にCG法の収束状況を示す。梁要素モデルによるコースグリッド修正を行うことにより、対角スケールアップのみの場合に比べて大幅に収束性が改善されている。なお、図4における残差は、どちらの前処理においても前処理なしの方程式に対する残差である。また、残差のノルムは最

大値ノルムである。なお、RestrictionおよびProlongationの処理が座標系に依存しないことを確認するために、 $x$ 軸、 $y$ 軸に平行、および、座標系の3軸に平行でないケースについても計算を行い、同じ収束性が得られることを確認した。

梁要素モデルのヤング率をソリッド要素モデルのヤング率と異なる値に設定して計算を行ったところ、収束性にほとんど影響しなかった。同様に、式(5)の重み $c$ も収束性にほとんど影響しない。一方、チモシェンコ梁要素のせん断補正係数の値は収束性に影響する。また、断面二次モーメントについては、ソリッド要素モデルの断面と整合した値でない場合には収束しない。以上のことから、ファイングリッドの弾塑性解析においてもコースグリッドは弾性解析としてもMG法の効果が出る可能性がある。

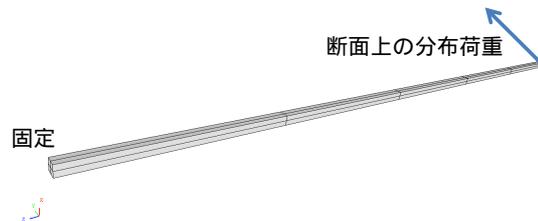


図3 片持ち梁モデル

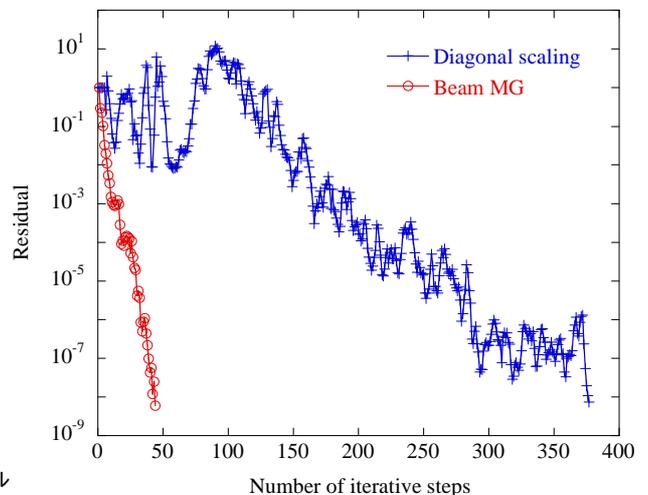


図4 CG法の収束

### (3) 接合部に対する Restriction および Prolongation 演算の開発・実装

例えば、図5のようなL字型の構造物を考える。この図の赤線は、コースグリッドとして用いる梁要素モデルを表す。ここでは、薄ピンク色の領域が接合部であり、その中の星印を付けた梁要素モデルの節点は接合部の内部にある。接合部ではソリッド要素モデルと梁要素モデルが1対1に対応しないため、特別な処理が必要である。この点については更なる研究が必要である。

### (4) データフォーマットと入出力プログラムの作成

梁要素モデルの節点には、ソリッド要素モデルの対応する断面内の各節点に関連するため、それ

らの節点には梁要素モデルの節点の ID を節点の属性として持たせる．これを ADVENTURE プロジェクトで開発された ADVENTURE\_IO における節点の属性データとして表す．リスト 1 に属性データの一部を示す．

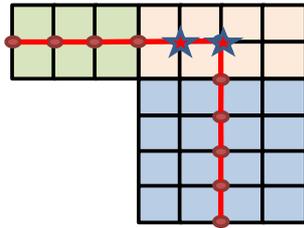


図5 接合部

```
#####
BeamSectionNodeID 455
#####
fega_type=NodeVariable
index_byte=4
format=i4

0 0 #ソリッド要素モデルの節点番号と
    #梁要素モデルの節点番号
1 0
2 0
3 0
.....
18 2
19 2
20 2
.....
```

リスト1 ファイングリッド(ソリッド要素モデル)

(5) メッシュ生成フレームワーク，可視化機能の試作

研究分担者の山下が別途開発中の骨組構造物に対するソリッド要素メッシュ生成ソフトウェアに，梁要素モデルの定義に必要な通り芯の情報を出力する機能を追加した．図 6 に試作したメッシュ生成フレームワークの様子を示す．

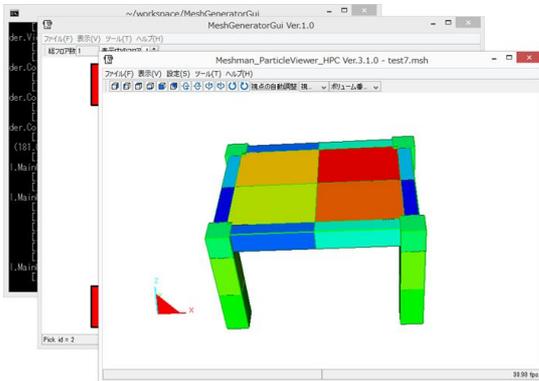


図6 メッシュ生成フレームワークの試作

(6) 領域分割法とファイバーコースグリッド MG 法の組み合わせ手法の検討

将来的には梁要素モデルについても領域分割して分散並列モデルとすることが考えられる．その際，大規模モデルになるほど梁要素モデルとソリッド要素モデルの自由度の差は広がる．並列数は自由度の大きいソリッド要素モデルに合わせることであり，梁要素モデルの求解に必要なプロセス数を何らかの形で設定する必要がある．このときのソルバ内部におけるソリッド要素モデルと梁要素モデルの解の交換に必要な通信パターンを設計し，この通信パターンに最適化された領域分割をする必要がある．また，梁要素モデルを並列で解く必要がある中規模モデルにおいても，梁要素モデルの全体剛性行列が 1 プロセスで構築可能な範囲では，MUMPS 等の並列線形代数ソルバを使う方が効率的である．以上を考慮してファイバーコースグリッド MG 法と領域分割を組み合わせる場合，入出力データの ADVENTURE\_IO 化だけでなく，領域分割を行う ADVENTURE\_Metis の拡張も必要となる．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件 (査読有: 8 件))

[1] Makoto Ohsaki, Tomoshi Miyamura, Masayuki Kohiyama, Takuzo Yamashita, Masashi Yamamoto, and Naohiro Nakamura, "Finite-Element Analysis of Laminated Rubber Bearing of Building Frame under Seismic Excitation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (2015), Vol. 44, No. 11 (2015.9), pp. 1881-1898 (DOI: 10.1002/eqe.2570) (Published on line: 2015. 3. 12) (査読有)

[2] Tomoshi MIYAMURA, Takuzo YAMASHITA, Hiroshi AKIBA and Makoto OHSAKI, "Dynamic FE Simulation of Four-story Steel Frame Modeled by Solid Elements and Its Validation Using Results of Full-scale Shake-table Test", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (2015), Vol. 44, No. 9 (2015.7.25), pp. 1449-1469 (DOI: 10.1002/eqe.2526) (Published on line: 2015. 1) (査読有)

[3] Tomoshi Miyamura, Hiroshi Akiba, and Muneo Hori, "Large-scale seismic response analysis of super-high-rise steel building considering soil-structure interaction using K computer", *International Journal of High-Rise Buildings*, Vol. 4, No. 1, 75-83 (March 2015) (査読有)

[4] 山下拓三, 大崎 純, 小檜山雅之, 宮村倫司, 張 景耀, 田川浩之, 「繰り返し載荷を受ける合成梁の詳細有限要素解析」, *日本建築学会構造系論文集*, Vol. 79, No. 704 (2014 年 10 月) pp. 1481-1490 (査読有)

[5] Daigoro ISOBE, Won Sang HAN and Tomoshi MIYAMURA, "Verification and Validation of a Seismic Response Analysis Code for Framed Structures Using the ASI-Gauss Technique", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 42 (2013.10.10), pp. 1767-1784 (DOI: 10.1002/eqe.2297) (査読有)

[6] 山下拓三, 宮村倫司, 秋葉博, 梶原浩一, 「角

型鋼管のソリッド要素による有限要素弾塑性座屈解析の精度検証」, 日本計算工学会論文集, Vol. 2013 (2013年1月), Paper No.20130001 (査読有) 他2編

〔学会発表〕(計36件)

[1] 宮村倫司, 「ソリッド要素でモデル化された骨組構造モデルに対する梁要素を用いたマルチグリッド法の開発」, 計算工学講演会論文集, Vol. 21 (CD-ROM) (2016年5月新潟)

[2] Tomoshi Miyamura, Shuhei Takaya, Shinobu Yoshimura, and Muneo Hori, "Improvement of Balancing Domain Decomposition Method for Problem with Multi-Point Constraints", 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), July 20 - 25, 2014, Barcelona, Spain (abstract No. 1122)

[3] Tomoshi Miyamura, Shuhei Takaya, Takuzo Yamashita, Hiroshi Akiba, and Muneo Hori, "Seismic response analysis of super-high-rise steel building considering soil-structure interaction using fine mesh of solid elements", APCOM & ISCM 2013, 11-14th December, 2013, Singapore, Paper No. 1674

[4] Tomoshi Miyamura, Makoto Ohsaki, Takuzo Yamashita, Daigoro Isobe, Masayuki Kohiyama, Dynamic collapse analysis of four-story steel frame using E-Simulator, COMPDYN 2013, 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, M. Papadrakakis, N.D.Lagaros, V. Plevris (eds.), Kos Island, Greece, 12-14 June 2013

[5] Tomoshi Miyamura, Shuhei Takaya, Seizo Tanaka, Masao Ogino, and Muneo Hori, "Parallel large-scale seismic response analysis of super-high-rise steel building fully considering soil-structure interaction", Proceedings of the European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2012), September 10-14, 2012 (Vienna, Austria)(CD-ROM), No. 2820 (Presentation: Sept. 11th)

他31編

〔図書〕(計1件)

[1] Makoto OHSAKI, Tomoshi MIYAMURA, Masayuki KOHIYAMA, Takuzo YAMASHITA, Hiroshi AKIBA, "Chapter 4: Seismic Response Of Building Structures", in High-Performance Computing for Structural Mechanics and Earthquake / Tsunami Engineering, S. Yoshimura, M. Hori, M. Ohsaki (eds.), Springer Tracts in Mechanical Engineering, Springer 2016, DOI 10.1007/978-3-319-21048-3, ISBN 978-3-319-21047-6, ISBN 978-3-319-21048-3 (eBook)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ;

<http://cs.ce.nihon-u.ac.jp/~miyamura/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮村 倫司 (MIYAMURA, Tomoshi)

日本大学・工学部・講師

研究者番号: 30282594

(2) 研究分担者

磯部 大吾郎 (ISOBE, Daigoro)

筑波大学・システム情報工学研究科(系)・教授

研究者番号: 00262121

山下 拓三 (YAMASHITA, Takuzo)

国立研究開発法人防災科学技術研究所・その他

部局等・研究員

研究者番号: 40597605