

ソリッド要素による骨組鋼構造高層ビルの地震応答解析

2007年3月修了 人間環境学専攻 56811 山口 敦嗣
指導教員 吉村 忍 教授

A large-scale finite element method is one of the most effective approaches to realize quakeproof simulation of structures. A parallel finite element analysis code, ADVENTURE, is an open source code and widely used. In this study, we aim at developing quakeproof simulator using the ADVENTURE system, in order to verify a detailed elastic response of a skyscraper against a long-period ground motion. A parallel elastic seismic analysis of a medium-sized steel frame structure, which models a part of skyscraper, is performed.

Key words: large-scale parallel finite element method, ADVENTURE system, skyscraper, quakeproof simulator, steel frame structure

Key Words : large-scale finite element method , ADVENTURE system ,solid model ,seismic analysis, steel frame structure,

1. 研究背景と目的

現状の耐震性能評価方法には多質点バネマスモデル、1質点バネマスモデル、三次元骨組モデルなどの簡易的なモデルが用いられている。三次元骨組モデルは柱や梁などの構造部材中心軸(骨組)上に節点と要素を配置し構成する力学的モデルである。そこではそれぞれの要素は直線であり、部材が曲線の場合、それを分割し複数の直線要素に置き換えて構成する。部材断面は一定であり変断面の場合は、平均的な断面に置き換えた断面積量を用いている。質量は節点のみに存在し、外力は節点のみに作用する。剛性と減衰は要素だけに存在する。このような力学モデルでは、最近大きな注目を集めている長周期地震動による繰り返し荷重を受けたときの複雑形状部の応力集中や疲労、塑性領域や塑性蓄積量の分布などを正確に把握することができない。このような複雑形状部の局所的な解析には、詳細部まで忠実にモデル化できるソリッド要素による細かな要素分割が必要となる。また、局所的なき裂発生が部材全体の挙動に及ぼす影響を調べようとしたら、ソリッド要素による詳細な要素分割が必要となり、解析モデルの自由度は大規模なものになる。長周期地震動による長時間の繰り返し荷重を受けて、損傷した状態でさらに荷重を受けた時、局所的な損傷(塑性変形やき裂など)が部材全体の挙動に及ぼす影響を調べようとしたらソリッド要素による構造

物3次元丸ごとモデリングが必要となる。

本研究では、まず、簡易的な高層ビルの構造部材をソリッド要素でモデル化し、高層ビルの丸ごとソリッド要素大規模解析モデルを作成し、丸ごとモデルで共振時の地震応答解析を行い、応力集中や応力履歴を明らかにする。

2. 研究手法

応力集中部や応力の流れが複雑な構造の応力状態を把握するためには有限要素解析を適用する必要がある。本研究では大規模有限要素解析で実績のあるADVENTUREシステムを用いてソリッド要素を用いた有限要素法によるシミュレーションを行う。ADVENTUREシステムとは、1997-2002年に行われた日本学術振興会未来開拓推進事業・設計用大規模計算力学システム開発プロジェクトADVENTURE (ADVanced ENgineering analysis Tool for Ultra large REal world)で開発されたモジュール群のことであり、その後も自主独立のプロジェクトとして研究開発が継続されている。これは、1千万~1億自由度⁴⁾の大規模メッシュを用いて自然物や人工物を丸ごと詳細にモデル化し、多様な並列分散計算機環境のもとで固体の変形や熱、流体の流れ等の力学解析から、可視化や設計最適化までを行える汎用並列計算力学システムである。本研究では陰解法であるニューマークの β 法で動的弾性解析が行なえるよう

に ADVENTUER_Soild を改良したものを使用している。

3. 解析結果

3.1 静解結果

簡易的な高層ビルの骨組構造を梁要素とソリッド要素の 2 通りの方法で解析モデルを作成し、同一条件で解析を行なった結果の比較をした。ソリッドモデルのメッシュを fig.1 に示す。それぞれの要素数、節点数、自由度を Table.1 に示す。骨組モデルの境界条件は底面（基礎との接地部分）を x,y,z 方向の変位、たわみ角を拘束し、最上部の x 方向に柱一本あたりに 10kN の荷重を与えた。ソリッドモデルの x,y,z 方向の変位を拘束し、梁モデルと同様に最上部の x 軸方向に柱一本あたりに 10kN の荷重を与えた。変位、軸力、せん断力、ミーゼスの相当応力の比較を行った。fig.2 に変位、fig.3 に軸力、fig.4 にせん断力、fig.5 にミーゼス相当応力の比較したものを示す。変位、軸力はほぼ一致していることがわかる。梁要素ではジョイント部のせん断力を表現できていないことがわかる。ミーゼスの相当応力は傾向的には合っているが、定量的にはかなり異なっている。

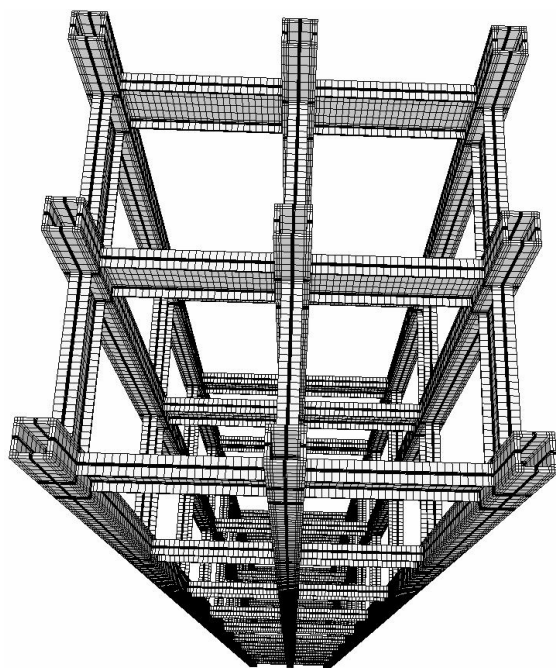


fig.1 Solid model

	骨組	ソリッド
要素タイプ	梁要素	六面体要素
要素数	108	478,320
節点数	219	720,360
自由度	2628	2,161,080

Table.1 Element type & Model size

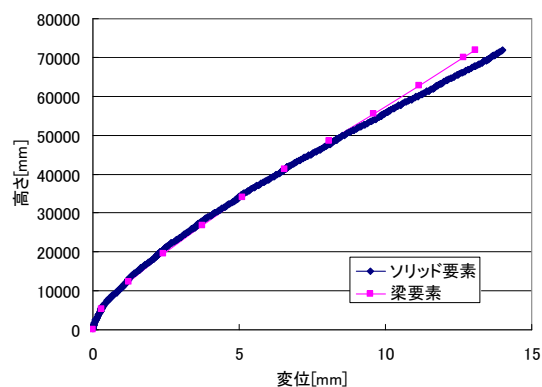


fig.2 Comparing of displacement

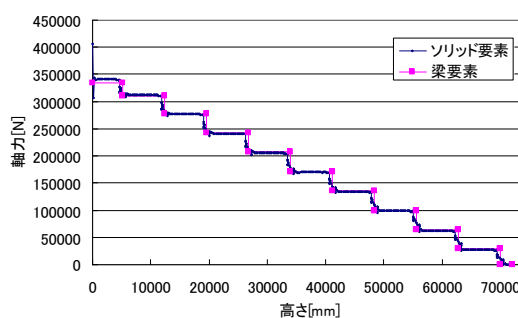


fig.3 Comparing of axial force

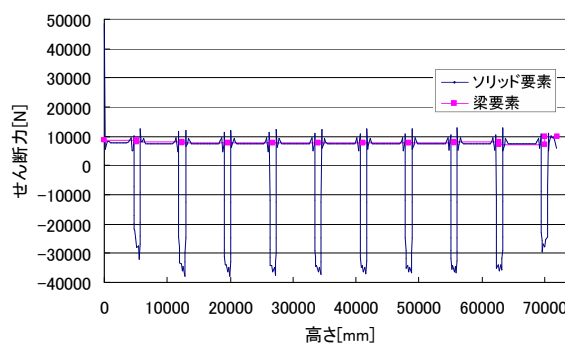


fig.4 Comparing of Shear force

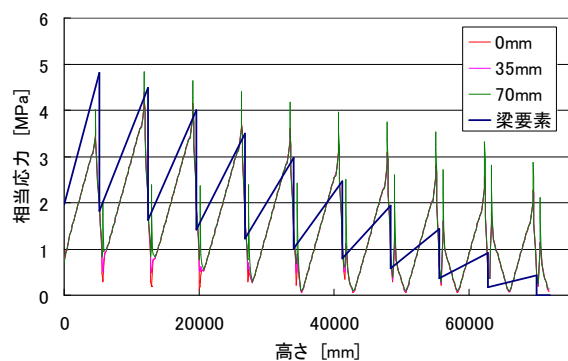


fig.5 Comparing of nodal equivalent stress

3.2 動解析結果

ソリッドモデルに関して共振時の弾性地震応答解析を行なった。fig.1 のモデルに y,z 方向の変位は拘束し、x 方向の時刻歴変位境界条件を次式のように与えた。

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (1)$$

$$T=2[\text{s}], A=100[\text{mm}]$$

本研究では共振時の地震応答解析を行うのが目的であるため、骨組モデルの固有解析を行い、その解析結果であるモード1の固有周期を変位入力波とした。振幅は耐震実験で用いられているものを参考に決定した。非定常問題の解法としては、陰解法である Newmark β 法 ($\gamma=0.5$ 、 $\beta=0.25$)を用いた。時間増分は 0.01s、解析ステップ数は 400、総解析時間 4.00s で解析を行なった。柱や梁の材料物性値は鋼材のデータを用いて、ヤング率 206000N/mm、ポアソン比 0.3、質量密度 7.85×10^{-9} ton/mm³とした。fig.6 に最上部の変位を示す。入力波に対し、最上部の変位が 2 倍から 3 倍になっているところがあり共振を起こしていることが確認できる。また、0.75s の変位とミーゼス応力のコンター図を fig.7 に示す。並列計算機環境は 14 台構成でメモリ 14G、CPU は Intel Pentium4 2.6GHz、OS は Linux RedHat9 である PC クラスタで計算を行った。計算にはかかった時間は 213000s (59 時間 8 分)であった。各ステップでの平均反復回数は 284 回、1 ステップあたりの平均計算時間は 307s だった。

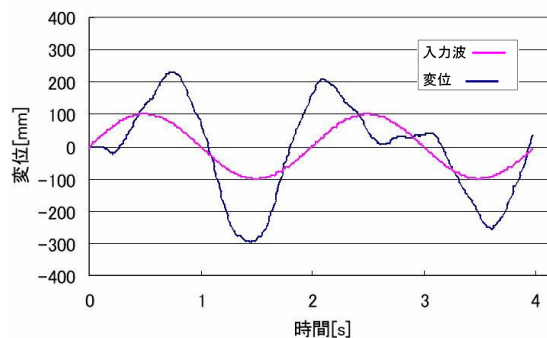


fig.6 Displacement of top

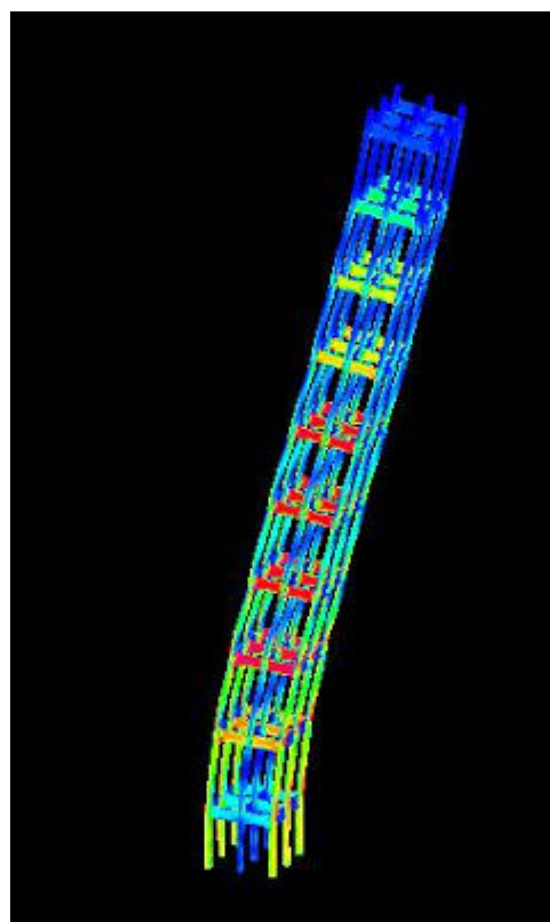


fig.7 Solid model with elastic seismic response at 0.75s

4. 考察

応力の履歴に関しては fig.8 に示すような、柱と梁に継手部に関してズームしてサンプリングを行った。応力履歴の観察を行った場所での応力履歴を fig.9, fig.10, fig.11 に示し、以下にサンプリングを行った点の位置を示す。

一階部角部の柱と梁のジョイント部に関して

(1) I型断面梁のフランジの上端角部のジョイント部からの距離

0mm、30mm、105mm、205mm、305mm、405mm

(2) ボックス柱のフランジの角部のジョイント部からの水平方向距離

0mm、35mm、65mm、100mm

(3) 下部フランジとウェブのジョイント部の下端から鉛直方向の距離

0mm、20mm、50mm、107mm、307mm、507mm

5. 結論

静解析では梁要素とソリッド要素による同一モデル、同一条件での解析を行い軸力、せん断力、ミーゼス応力の比較を行い、ジョイント部ジョイントから離れたところはほぼ一致することが確認され、ジョイント部付近ではソリッド要素による解析でなければ評価が出来ないということを示した。

動解析では共振時の相当応力の分布履歴を詳細に表すことができ、今後の疲労、塑性変形などを考慮した解析を行う上でかなり有用なデータを示せた。

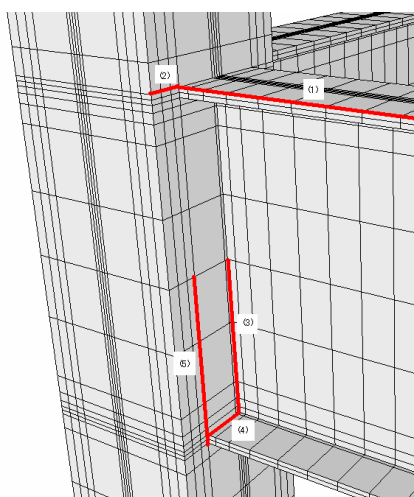


fig.8 Sampling points

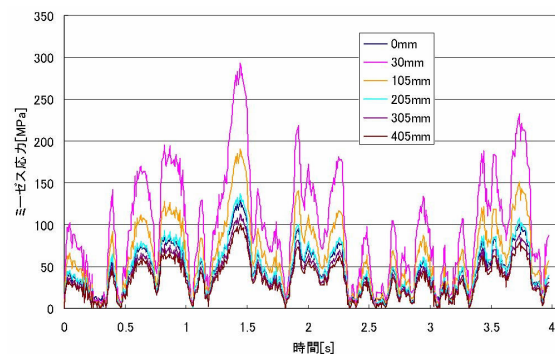


fig.9 Time response stress (1)

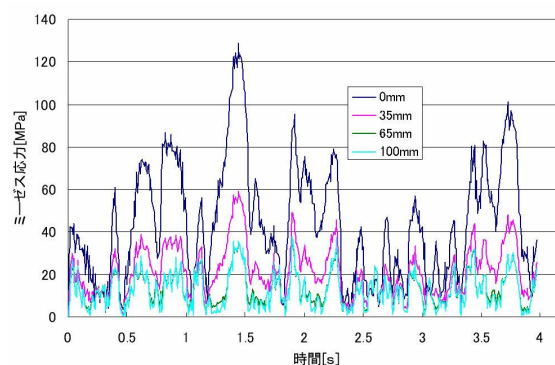


fig.10 Time response stress (2)

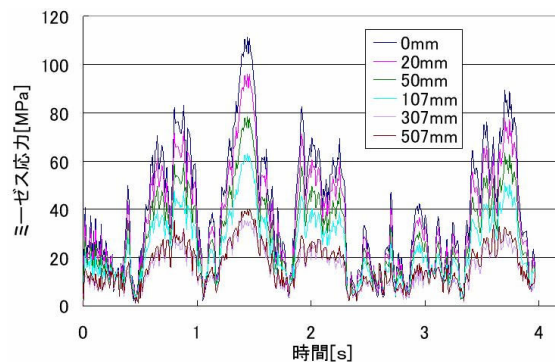


fig.11 Time response stress (3)

文献

- 1) ADVENTURE Project Home Page:
<http://adventure.q.t.u-tokyo.ac.jp/>
- 2) 宮村倫司、吉村忍：PC クラスタによる古代建築パンテオンの並列応力解析，日本建築学会構造系論文集 第 550 号，pp95-102，2001 年
- 3) S.Yoshimura, R.Shioya, H.Noguchi, T.Miyamura, Advanced General-purpose Computational Mechanics System for Large-scale Analysis and Design, Journal of Computational and Applied Mathematics, 194, pp.279-296, 2002