

E-Simulatorによる鋼構造超高層骨組の仮想震動実験と骨組解析の比較

数値震動台	超高層ビル	ソリッド要素	正会員	○宮村 倫司 ^{*1}	正会員	磯部 大吾郎 ^{*2}
並列計算	弾塑性解析	非線形有限要素法	同	小檜山 雅之 ^{*3}	同	大崎 純 ^{*4}
崩壊解析	骨組解析	鉄骨構造	同	堀 宗朗 ^{*5}	同	秋葉 博 ^{*6}
			同	梶原 浩一 ^{*7}	同	井根 達比古 ^{*8}

1. はじめに

防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターで開発が進められている数値震動台 (E-Simulator)¹⁾は、建築、土木構造物の解析に必要な構成則や破壊法則を組み込んだ汎用的な並列有限要素解析のためのソフトウェアとなる。E-Simulator の開発は、並列有限要素解析コード ADVENTURECluster²⁾をベースとして進められている。本研究では、E-Simulator による 31 層鋼構造超高層骨組の仮想震動実験 (地震応答解析) の結果と、骨組解析による結果を比較する。

2. E-Simulatorによる鋼構造超高層骨組の仮想震動実験

2.1 解析モデル

本研究のために設計された実在しない 31 階建て超高層事務所ビル (31 層モデル) の仮想震動実験³⁾⁵⁾を行う。メッシュは前報⁵⁾と同じものである。地上の層数は 31、軒高は 129.7m であり、平面形状は 50.4 m×36.0 m の長方形である。架構形式は、センターコア形式の S 造であり、コアには制震ブレースを配置している。スラブはエレベータ部分を除いて全面に配置されているものとする。

メッシュは六面体一次要素により生成し、ウェブ、フランジ等の板材の要素分割は、すべて板厚方向に二層とする。板厚方向に直交する方向については、接合部付近では要素寸法を 70 mm 程度とする。スラブは平板としてソリッド要素で分割する。フランジとスラブを接続するスタッドのモデル化は省略し、フランジ上部の節点とスラブの節点を共有節点として接続する。制震ブレースはガセットプレート間を結ぶトラス要素でモデル化する。1 階柱脚は 2 階床下の梁と同じ形状の弾性基礎梁に取り付ける。基礎梁のヤング率は通常の鋼材の 5.5 倍とする。

31 層モデルのメッシュの規模は六面体一次要素 15,592,786 個、剛体梁 78,686 個、トラス 372 本、固着接触面のスレーブ節点 1,503,130 個、節点 24,765,275 個 (約 7429 万自由度) となる。鋼材のヤング率は 205 GPa、ポアソン比は 0.3、降伏応力は 330 MPa、加工硬化係数は 1/1000 (移動硬化、バイリニア)、密度 $7.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とする。鉄筋コンクリートのスラブについては、ヤング率が 22.7 GPa、ポアソン比が 0.2 の弾性体とする。非構造部の固定荷重と積載荷重はスラブの密度を割り増すことにより考慮する。

2.2 仮想震動実験の結果

これまでに前節で示したメッシュを簡略化したモデルに対する解析を実施している^{3,4)}。本報に示す結果は、前報⁵⁾の解析の続きである。前報に示したように、固有値解析の結果、6 次までの固有振動数は、それぞれ 0.3074, 0.3484, 0.3822,

0.9688, 1.0518, 1.1763 Hz であった。減衰は 1 次に対して 2% の初期剛性比例型とし、その係数は固有値解析の結果から 0.02071 とする。計算は東大の T2K (CPU: AMD Quad Core Opteron 2.3 GHz, 使用コア数: 24 node×8 core/node = 192 core) で行う。入力地震波は 1995 年兵庫県南部地震の JR 鷹取観測波の主要動を含む 10 秒の区間を抽出したものである。自重载荷の後に長辺方向 (X 軸方向, EW 成分), 短辺方向 (Y 軸方向, NS 成分) 及び上下方向 (Z 軸方向, UD 成分) に入力する。入力加速度の時刻歴波形, 加速度応答スペクトルは前報⁵⁾に示している。

自重载荷解析 (静解析) の後で時刻 10 秒までの大変形弾塑性地震応答解析を行った。T2K による計算時間は平均 12,312 s/step となる。図 1 に建物全体および応力が大きい 22 階付近について、時刻 4.99 秒における変形 (変位倍率 20 倍) に相当塑性歪のコンターを重ねた結果を示す。また、図 2 に 31 階隅柱の最大変位時 (時刻 6.21 秒) における相当塑性歪の分布 (変位倍率 10 倍) を示す。1 階柱の下部が塑性化している。相対変位の時刻歴は次節に示す。

3. 骨組解析

3.1 ASI-Gauss 法

E-Simulatorによるソリッド要素を用いた解析結果との比較のために、梁要素による解析を実施する。梁要素による解析には、大規模骨組構造の構造解析において最小限のコストで計算可能である、ASI-Gauss法⁶⁾を使用した。これは、梁要素の数値積分点を材料性状に合わせて順応的にシフトすることにより、最小限の計算コストを実現した手法である。モデルの規模は90,648自由度となり、CPU: Intel Core2 (1.86 GHz×2) の計算機環境で15,358秒 (地震波10秒) の計算時間を要する。ASI-Gauss法による解析を以下では骨組解析と呼ぶ。

3.2 解析結果

材料定数は 2.1 節に示した値とする。図 3 に伏図を示す。図 4 に時刻 5.2 秒における変形図 (変位拡大なし) を示す。色は降伏関数の値を表しており、赤は降伏していることを示す。1 階のコアの柱下部, および, トラス要素でモデル化されたブレースが塑性化している。23 階および 32 階 (屋上階) 床面における隅柱 X1-Y1 (図 3 の左下の位置) 中央の相対変位時刻歴を図 5 に示す。データ処理の都合で時刻 8 秒までの結果を示している。骨組解析の結果の方が、相対変位がやや大きくなっている。この理由のひとつとして、骨組解析では減衰を考慮していないことが挙げられる。図 6 に、弾性の骨組解析と弾塑性の骨組解析の結果の比較を示す。弾塑性解析の結果の方が、応答が小さくなっている。これは塑性化

による固有周期の変化や履歴減衰の影響であると考えられる。図 6 の結果は、部材の塑性化が応答に影響を与えていることを示しており、図 5 に示す二つの解析結果の差には、骨組解析で塑性化領域を塑性ヒンジとしてモデル化したことによる誤差も含まれると考えられる。

4. おわりに

E-Simulator による 31 層鋼構造超高層骨組の仮想震動実験結果と骨組解析の結果を比較した。今後は、マクロモデルに生じる塑性ヒンジの精度を E-Simulator による仮想実験により評価することを試みたい。

謝辞

本研究は、独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター・数値震動台研究開発分科会（委員長：堀宗朗（東京大学））における成果である。E-Simulator による解析とモデル作成を担当された恩田邦蔵博士と湯山喜芳氏（株式会社アライドエンジニアリング）をはじめとする関係各位、ASI-Gauss 法による解析を担当された新垣裕太氏（筑波大学工学システム学類）に謝意を表す。

参考文献

- 1) 堀, 野口, 井根, 土木学会地震工学論文集, 2007
- 2) (株)アライドエンジニアリング, <http://www.alde.co.jp/>
- 3) 宮村他, 日本建築学会大会梗概集, B1, 363-364, 2008
- 4) M. Ohsaki et al., Earthquake Eng. Struct. Dyn., 38, 635-654, 2009
- 5) 宮村他, 日本建築学会大会梗概集, B1, 399-400, 2009
- 6) 磯部, チョウ, 日本建築学会構造系論文集, 第579号, 2004

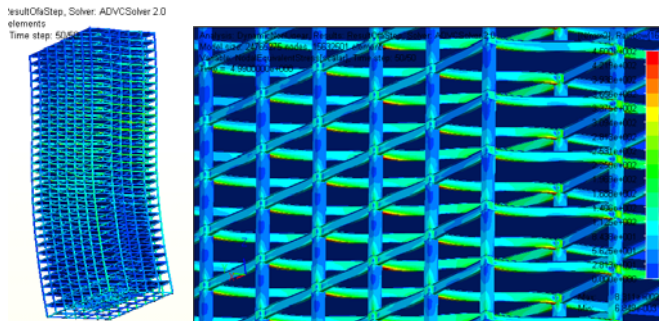


図 1 変形・相当応力分布

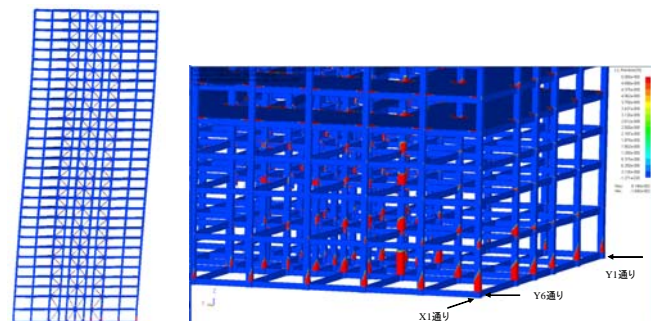


図 2 相当塑性歪分布

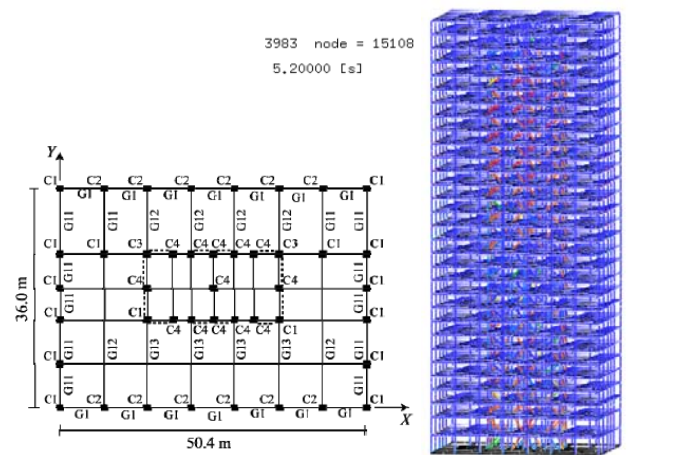


図 3 伏図

図 4 変形, 塑性域分布 (骨組解析)

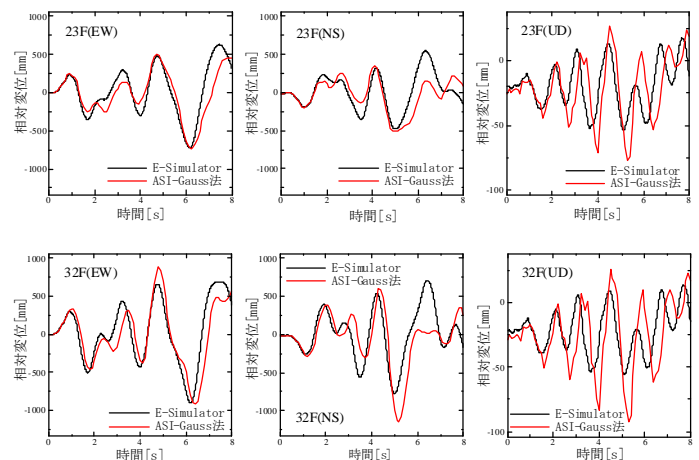


図 5 23 階・32 階床面における隅柱中央の相対変位時刻歴に関する E-Simulator と骨組解析の比較

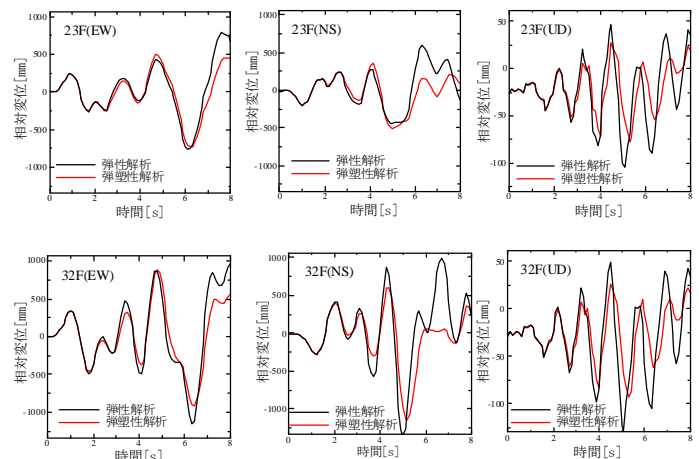


図 6 ASI-Gauss 法による弾性解析と弾塑性解析の相対変位時刻歴の比較

*1 日本大学工学部情報工学科 専任講師・博士 (工)
 *2 筑波大学大学院構造エネルギー工学専攻 准教授・博士 (工)
 *3 慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 准教授・博士 (情報)
 *4 広島大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・博士 (工)
 *5 東京大学地震研究所 教授・Ph. D.
 *6 株式会社アライドエンジニアリング 社長・博士 (工)
 *7 防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター 主任研究員・博士 (工)
 *8 防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター 招聘研究員・博士 (工)

*1 Lecturer, Dept. of Computer Science, Nihon University, Dr. Eng.
 *2 Assoc. Prof., Dept. of Eng. Mech. and Energy, University of Tsukuba, Dr. Eng.
 *3 Assoc. Prof., Dept. of System Design Eng., Keio University, Dr. Informatics
 *4 Prof., Dept. of Architecture, Hiroshima Univ., Dr. Eng.
 *5 Prof., Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Ph. D.
 *6 President, Allied Engineering Corporation, Dr. Eng.
 *7 Senior Researcher, NIED, Dr. Eng.
 *8 Invited Researcher, NIED, Dr. Eng.