

崩壊解析のための鋼構造骨組の高精度有限要素モデル

High-precision finite element model of steel frames for collapse analysis

宮村倫司¹⁾⁸⁾, 大崎 純²⁾, 小檜山雅之³⁾, 張景耀⁴⁾, 磯部大吾郎⁵⁾, 秋葉 博⁶⁾,
堀 宗朗⁷⁾, 山下拓三⁸⁾, 梶原浩一⁸⁾

Tomoshi MIYAMURA, Makoto OHSAKI, Masayuki KOHIYAMA, Jingyao ZHANG, Daigoro ISOBE,
Hiroshi AKIBA, Muneo HORI, Takuzo YAMASHITA, and Koich KAJIWARA

- 1) 博士 (工学) 日本大学工学部 (〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原 1 番地)
- 2) 博士 (工学) 広島大学工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山)
- 3) 博士 (情報学) 慶應義塾大学理工学部 (〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1)
- 4) 博士 (工学) 立命館大学理工学部 (〒525-8577 草津市野路東1-1-1)
- 5) 博士 (工学) 筑波大学システム情報工学研究科 (〒305-8573 つくば市天王台1-1-1)
- 6) 博士 (工学) (株) アライドエンジニアリング (〒105-0014 東京都港区芝1-14-4)
- 7) 博士 (工学) 東京大学地震研究所 (〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1)
- 8) 博士 (工学) 防災科学技術研究所 (〒673-0515 三木市志染町三津田西亀田1501-21)

A new high-precision finite element analysis model is constructed for the 4-story steel building frame. Details of the meshes for the column-base and the steel-concrete composite beam are shown. The stud bolts and the anchor bolts are precisely modeled using the rigid-body beams, multipoint constraints, and nonlinear springs. The wire-meshes in the concrete slab are modeled using hexahedral elements. In addition, a new piecewise linear combined isotropic and kinematic hardening rule is implemented for steel material, and its parameters are identified from the uniaxial material test result.

Key Words : High-precision finite element analysis, Steel building frame, Column base, Steel-concrete composite beam

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 (E-Defense) 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並列有限要素解析ソフトウェアである. E-SimulatorはADVENTURECluster²⁾を基盤として開発を行っている. 著者等³⁾はこれまでにソリッド要素によりモデル化された鋼構造骨組の高精度シミュレーションをE-Simulatorにより行ってきた. また, 平成19年9月にE-Defenseで実施された, 4層鋼構造骨組完全崩壊実験⁴⁾の結果を, 塑性ヒンジなどのマクロモデルを用いずに再現可能であることを示した⁵⁾. 本研究では以下のように4層鋼構造骨組モデルを更に高精度化している. (1)複合硬化を考慮した鋼材の構成則の開発, (2)合成梁モデルの精密化 (3)柱脚モデルの精密化.

2. 複合硬化を考慮した鋼材の構成則の開発

E-Simulatorではソリッド要素により構造物の詳細モデルを作成することにより, 材料試験のみでパラメータ同定をすることが可能な三次元連続体の構成則を用いることができる. これはパラメータ同定にコンポーネント実験が必要な塑性ヒンジモデルに代表されるマクロモデルを用いた解析よりも優れた点である. ここでは鋼材の構成則として, 複合硬化則を基本とし, そのパラメータを初期塑性化と後続塑性化を区別して区分的に与え, 実験結果を用いて最適化によってパラメータを同定する手法を用いる. Semi-implicit型区分線形複合硬化則と呼ぶ本硬化則では, explicitな方程式に加えて状況に応じて

implicitなルールに基づいて硬化曲線を選択することで, 降伏棚やバウシンガー効果等を表現できる. 構成則のパラメータは, 繰り返し単軸試験の応力・ひずみ曲線と計算された曲線の差が最小になるように最適化アルゴリズムを用いて同定する. 応力・ひずみ曲線を6区間の折れ線で近似する場合のパラメータの総数は11個となる. 図1には典型的な繰り返し単軸試験の応力・ひずみ曲線⁶⁾に対してパラメータ同定を行った結果を示す.

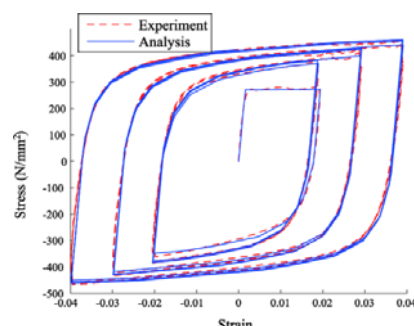


図1 繰り返し単軸試験の応力・ひずみ曲線の比較

3. 合成梁, 柱脚の詳細モデル, 外壁モデル

鋼構造物では, スタッドやボルトにより接合される合成梁や柱脚のモデル化に工夫が必要である. スタッドやボルトまでもソリッド要素により分割すれば, 構成則, 接触・摩擦モデルのみでモデル化が可能である. しかし, このレベルの詳細度のメッシュで構造物全体の解析を行うことは, 次世代のスーパーコンピュータを用いること

を前提としても現実的でない．そこで，本研究では，スタッドやボルトは剛体梁や多点拘束条件（MPC），トラス要素，ばね要素によりモデル化する．

合成梁については次のようにモデル化する．コンクリートに埋め込まれたワイヤーメッシュの断面は，矩形断面で近似し，また，直交するワイヤーの重なりは考慮せず，突合せとしている（図2）．スタッドは図3に示すように剛体梁要素，剛体棒要素，せん断ばねでモデル化する．スタッドは厚さ方向に4層に要素分割されたフランジの2層分（節点としては3層分）に差し込み，フランジの節点と接続する．せん断ばねはスタッドとその周りのコンクリートの剛性を表している．

柱脚のモデルを図4に示す．ベースプレートとその下のモルタルのメッシュをそれぞれ作成し，それらが接する面では，垂直方向に対して摩擦のない接触を考慮し，水平2方向はMPCで拘束する．モルタルと下部の基礎は固着とする．ベースプレートと基礎はトラス要素で接続されたアンカーボルトで接続しており，また，基礎のアンカーボルトの通る部分を補強するシームレスパイプもトラス要素でモデル化する．

外壁のALCパネルは履歴減衰に寄与するものと考えられるので，いくつかのせん断弾塑性ばねを取り付けることによりモデル化する．

4. 4層鋼構造骨組メッシュ

3節で説明したコンポーネントモデルを用いて従来に比べて高精度な4層鋼構造骨組メッシュを作成する．図5に作成したメッシュを示す．本メッシュによる固有値解析の結果を表1に示す．

5. おわりに

本研究では，高精度な4層鋼構造骨組モデルを作成するために必要な構造コンポーネントのモデル化と鋼材の新しい構成則について紹介した．また，作成した4層骨組の固有値解析の結果を示した．

謝辞：本研究解析は，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・数値震動台開発分科会（委員長：堀 宗朗（東京大学））における成果である．解析およびモデル作成を担当された恩田邦藏氏，大山知信氏，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に謝意を表する．

参考文献

- 堀 宗朗 他：E-Defenseと連動させた数値震動台の開発計画，土木学会地震工学論文集，Vol. 29, pp. 1420-1425, 2007.
- (株)アライドエンジニアリング (ADVC) : <http://www.alde.co.jp/>
- M. Ohsaki et al.: High-precision finite element analysis of elastoplastic dynamic responses of super-highrise steel frames, Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol. 38, pp. 635-654, 2009.
- 吹田啓一郎 他：震動台実験の概要と弾塑性応答特性 一実大4層鉄骨造建物の完全崩壊実験 その1，日本建築学会構造系論文集，Vol. 74, No. 635, pp. 157-166, 2009.
- 大崎 純 他：鋼構造建築骨組の弾塑性地震応答の高精度有限要素解析，計算工学講演会論文集，Vol. 14, pp. 829-832, 2009.
- 山田 哲他：バウシinger効果を考慮した構造用鋼材の簡潔な履歴モデル，日本建築学会構造系論文集，No. 559, pp. 225-232, 2002.
- 山田 哲 他：床スラブの付いたト型部分架構パネルゾーンの弾塑性挙動，日本建築学会構造系論文集，Vol. 74, No. 644, pp. 1841-1849, 2009.
- S. Yamada et al.: Collapse experiment on 4-story steel moment frame: Part 1 Outline of test results, Proc. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, pp. S17.1.4, 2008.

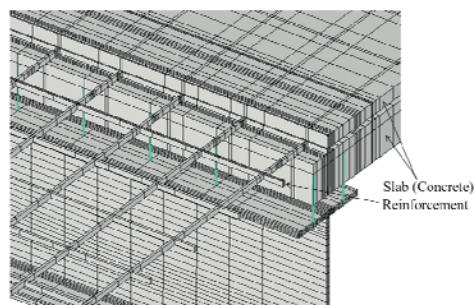


図2 ワイヤーメッシュを考慮した合成梁メッシュ

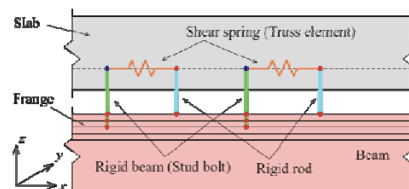


図3 スタッドボルトのモデル化

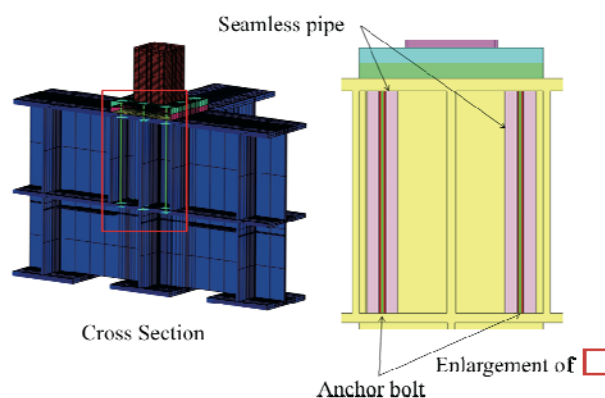


図4 柱脚のモデル化

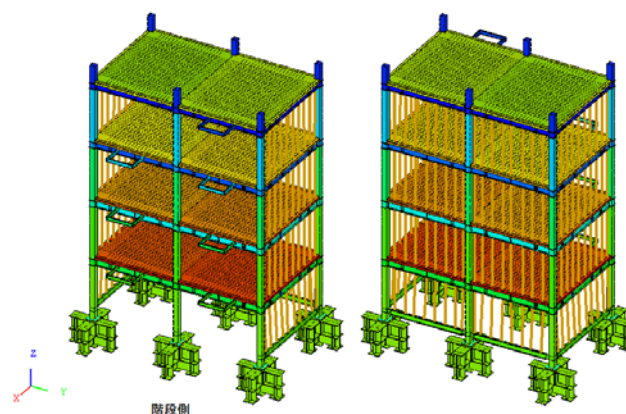


図5 4層鋼構造骨組メッシュ

表1 4層鋼構造骨組モデルの固有周期(sec)

Model	1st	2nd	3rd	4th
解析	0.7836	0.7653	0.5298	0.2549
実験 7)	0.80	0.76	---	---