

3次元フレームモデルの動的解析に対する統計解析を用いた構造特性の分析手法に関する研究

その1：実用的な断面性能を有する多数の構造解析モデル群の構築手法

3次元フレームモデル 一貫構造計算プログラム
鋼構造

正会員	○ 内山元希 ^{*1}	正会員	高田実優 ^{*2}
同	水島靖典 ^{*3}	同	前川元伸 ^{*1}
同	池田周英 ^{*1}	同	川上沢馬 ^{*1}
同	赤澤資貴 ^{*1}	同	永野康行 ^{*4}

1. はじめに

従来、日本においては、建築構造物の動的解析に質点系モデルがその簡便さと解析時間の短縮のために広く採用されてきた。一方で、近年では計算機性能の著しい向上と共に、部材応答も含めた詳細な動的挙動の把握へのニーズから、3次元フレームモデルを用いた動的解析が一般的になりつつある。

3次元フレームモデルでは、入力パラメータとなる各部材の諸元に加え、解析結果として得られる各部材の断面力、各節点の変位などのデータ量が膨大となる。このような大量のデータは、適切な相関関係や因果関係の把握を困難にする。さらに、膨大なデータの中で、特定の断面力や最大応答といった設計上重要な項目のみが着目され、それ以外の挙動に関する情報が十分に活用されていないケースも多い¹⁾²⁾。

一方で、3次元フレームモデルを用いた設計の自動化に関する研究も数多く行われている。しかし、最適化手法においても、制約条件に水平変形のみを考慮するなど、使用されるデータが限定される傾向がある。さらに、最適化ではそのプロセスがブラックボックス化する傾向にあり、最適化結果に対して考察が与えられるものの、過程や要因、データ間の関係性が必ずしも明確ではない³⁾。

そこで本研究では、統計的手法を活用して、膨大なデータ間の関連性や支配的要因を明らかにし、構造特性の特性を分析することを目的とする。最終的には、解析から得られる全データを活用し、部材断面や架構計画が構造特性に及ぼす関係性を自動的に抽出し、設計における意思決定を支援するシステムの構築を目指している。本研究ではその第一歩として、最大層間変形角および各時刻の全節点変位を対象として分析を行う。

本稿は、その1として対象建物の各種入力変数の設定、データ生成、解析手法について述べ、その2では主成分分析を用いた入力と応答の関係の分析の詳細を報告する。

2. 検討対象概要

2.1 建物概要

Fig.1, 2 に対象建物の梁伏図と代表軸組図をそれぞれ示す。対象は鉄骨造15階の建物とし、各階の階高は4.5mとした。各階5×5スパンであるが、X方向の一部スパンは

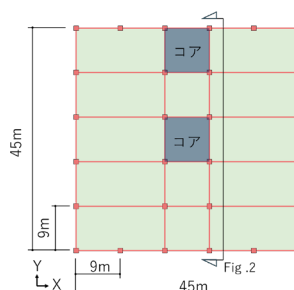


Fig.1 対象建物梁伏図

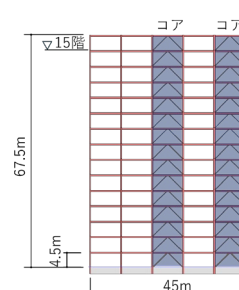


Fig.2 対象建物軸組図

2 スパン分の大スパン梁を有する。建物の振れ変形の影響の分析のため、重心から偏った位置(Y方向原点反対側の2グリッド)を建物コアに見立て、その周囲をブレース設置可能範囲とした。これにより、X方向の地震力が作用した際に、建物に振れ変形が生じる構造計画とした。なお、小梁は配置しない解析モデルとし、大梁間で囲まれる範囲にt150のRCスラブ、100kg/m²の仕上荷重、事務所相当の積載荷重(架構用1800N/m²、地震用800N/m²)を設定した。

2.2 入力変数の定義

実用的な部材の断面性能を適切に表現するため、入力変数として各部材の基準断面の断面二次モーメントに対する倍率(性能係数 α)を採用した。断面係数および断面面積は従属変数とし、Fig.3に示す断面二次モーメント-断面係数関係、および断面二次モーメント-断面面積関係の近似関数に基づいて設定した。Fig.3内の灰色のプロットは一般的に使用される実用的な鋼材断面を示す。

柱はBCP325材の角形鋼を想定し、基準断面は□-400×400×16($I=5.52 \times 10^4 \text{ cm}^4$)とした。性能係数 α は1, 5, 10, 20, 30, 40を取る離散変数とした。 $\alpha=40$ の時に□-1000×1000×40の断面二次モーメントに概ね等しくなる。

梁はSN490B材のH形鋼を想定し、基準断面はH-450×200×9×14($I=3.29 \times 10^4 \text{ cm}^4$)とした。性能係数 α は1, 5, 10, 20, 30, 40を取る離散変数とした。 $\alpha=20$ の時にH-1000×400×16×28の断面二次モーメントに概ね等しくなる。なお、スラブによる剛性増大率 $\phi=3$ と仮定し、解析モデルに入力する断面二次モーメントは性能係数に加えてさらに3倍を乗じた。

ブレースはSN490B材の広幅H形鋼とし、基準断面はH-150×150×7×10($I=0.162 \times 10^4 \text{ cm}^4$)とした。性能係数 α

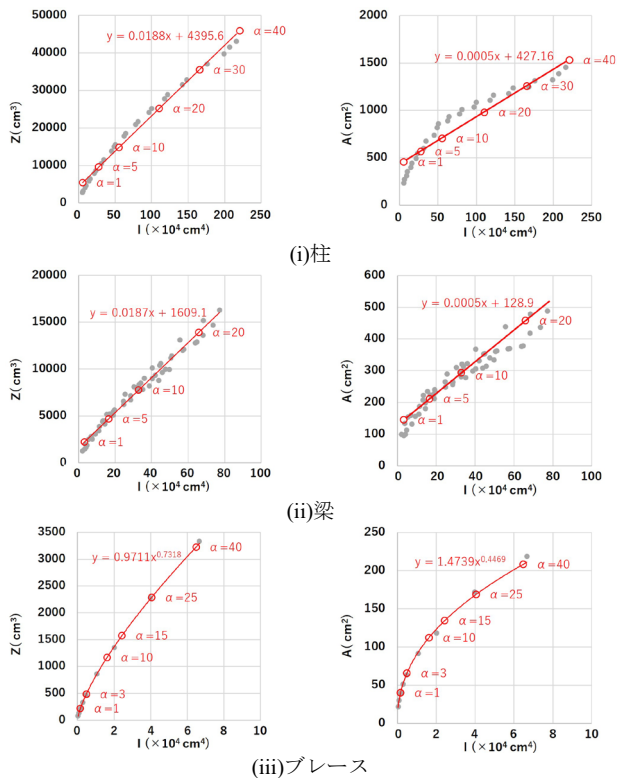


Fig.3 断面性能プロット

は、0.001, 1, 3, 10, 15, 25, 40 を取る離散変数とした。 $\alpha=0.001$ はブレースの設置を行わない状態を示す。 $\alpha=40$ の時に $H-400 \times 400 \times 13 \times 21$ の断面二次モーメントに概ね等しくなる。なお、ブレースは座屈補剛されているものとし、引張圧縮ともに同じ性能を有しているものとした。

2.3 入力変数の設定方法

各階の柱、梁、ブレースに対し、Fig.4 に示す部材のグルーピングを行い、そのグループに対して階ごとに同じ性能係数 α を割り当てた。柱、梁、ブレースの部材グループ数はそれぞれ 4, 5, 4 であり、各階 13 グループ、全階で 195 グループを設定した。性能係数 α は疑似乱数を用いてランダムに各階各グループに割り当てた。ただし、柱に関しては、同一位置における上下階の性能係数 α について、下階が上階を下回らないよう制約を設けた。

本研究では、上記のルールによる性能係数 α の割り当てを、以下の 2 パターンに対して実施し、検討対象とした。
パターン①：ブレースは配置せず、柱、梁のみに対する入力変数の組み合わせ 1000 ケース

パターン②：柱、梁およびブレースの全てを入力変数とした組み合わせ 1000 ケース

2.4 データ作成方法

Fig.5 にデータ作成の概略フローを示す。一貫構造計算プログラムを用いて、スパン、階高、部材配置等の基本情報を含む建物基本データを作成した。これと並行して、

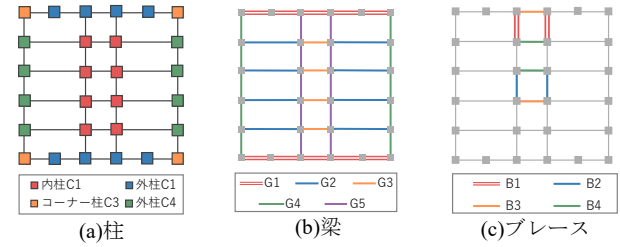


Fig.4 各階部材グルーピング

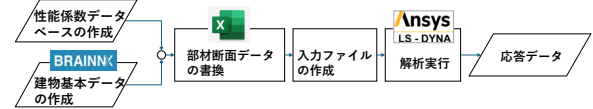


Fig.5 データ作成方法概要

各部材グループの性能係数を解析ケース分記載したデータベースを作成した。このデータベースを基に Excel VBA で建物データを生成し、解析入力ファイルを作成した。解析実行は文献 4) と同様の手法を用いた。

3. 地震応答解析条件

地震応答解析には LS-DYNA R15.0.0 を使用した。全ての部材は二節点ビーム要素を使用し、材料モデルには材端塑性ヒンジを考慮したある *MAT_HYSTERETIC_BEAM を使用した。復元力特性は全て正規バイリニアモデルを採用した。なお、本モデルでは耐力に M-N 相関を考慮している。減衰には、指定した周波数の範囲に対して、近似的に一定の減衰定数を与えることができる、*DAMPING_FREQUENCY_RANGE_DEFORM⁵⁾を使用した。入力地震動にはレベル 2 告示波ランダム位相の、最大加速度を 0.2 m/s^2 にスケールしたものを使用した。加振は一方方向のみとし、Fig.1 に示す X 方向に地震動を入力した。

4. まとめ

本稿で提案するモデル作成手法は、実務で一般的に使用される断面・部材寸法を基準としたパラメータ設定により、実建物の特徴を適切に反映することで、非現実的なモデルを抑制しつつ簡易かつ効率的に多数の解析モデルを生成できる。この実用的な手法は、後続の詳細分析（その 2）における分析精度向上にも寄与している。

参考文献

- 徳永ら:被災後の継続使用評価のための中層鉄骨造建物の損傷度と残留変形角の関係, 日本建築学会構造系論文集, 90(828), 252-261, 2025
- Mizushima et al.: Super-detailed FEM simulations for full-scale steel structure with fatal rupture at joints between members—Shaking-table test of full-scale steel frame structure to estimate influence of cumulative damage by multiple strong motion: Part 1, Japan Architectural Review, 1(1), 96-108, 2018
- 武居ら: 応答局面を用いた鋼構造骨組の断面最適化 家庭断面を用いた許容応力度設計への適用と最適解の特性, 日本建築学会構造, 88(804), 235-246, 2023
- 郷原ら: 3 次元立体フレームモデルの応答データベース構築の試み, 日本地震工学会第 17 回年次大会梗概集, TS.20220028, 2022
- Y. Huang et al.: A damping model for nonlinear dynamic analysis providing uniform damping over a frequency range, Computers and Structures, 212, 101-109, 2019

*1 株式会社 竹中工務店 *2 神戸大学大学院工学研究科 大学院生
*3 神戸大学大学院工学研究科 准教授・博士 (工学)
*4 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 教授・博士 (工学)

*1 Takenaka Corp. *2 Grad. Stu., Grad. Sch. Eng., Kobe Univ.
*3 Grad. Sch. Eng., Kobe Univ., Dr. Eng.
*4 Prof., Grad. Sch. Dis. Res. and Gov., Univ. Hyogo, Dr. Eng.