

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2: データの分析手法と分析結果について

3次元フレームモデル 主成分分析 重回帰分析
鋼構造

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

1. はじめに

その1では、3次元フレームモデルの動的解析に統計解析を適用するための建物データ生成、解析方法の概要を述べた。その2では、分析手法および分析結果について述べる。統計解析の手法としては、結果の解釈が直感的に可能であると考えられる主成分分析および重回帰分析を採用した。主成分分析によりデータの次元圧縮を行い、構造特性の抽出を試みるとともに、重回帰分析により次元圧縮後のデータに対する各部材の影響の分析を行う。

2. 分析手法

2.1 主成分分析 (PCA)

主成分分析は、解析対象のデータを低次元の特徴空間に射影することで、その構造的特徴を簡潔に表現するための手法である。本研究では、層間変形角と全節点変位を対象として、それぞれのデータにPCAを適用し、主成分ベクトルと主成分得点を求めた。主成分ベクトルは以下の式(1)で表される分散共分散行列 C の固有値解析を実施することで求めることができる。主成分ベクトルは元の高次元データのうち、最もばらつきが大きくなる方向を示す。本研究ではその1の手法で作成されたモデルの応答のばらつきの主要モードを表現したものである。

$$C = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})(\alpha_i - \bar{\alpha})^T \quad (1)$$

C : 分散共分散行列, $\alpha_i \in \mathbb{R}^{l \text{ or } 3m}$: 層間変形角ベクトルまたは節点変位ベクトル(モデルが持つ l 層または m 節点に対応),

$\bar{\alpha} \in \mathbb{R}^{l \text{ or } 3m}$: 層間変形角または節点変位の平均ベクトル

主成分得点は式(2)で表され、元の高次元データを主成分軸上に射影した結果であり、データが各主成分軸上で、どのように位置づけられるかを表す。本研究では、データの各ばらつきモードへの関連深さを示している。

$$t_i = (\gamma_i - \bar{\gamma})^T W \quad (2)$$

t_i : 主成分得点, $\gamma_i \in \mathbb{R}^l$: 個々のデータサンプル,

$\bar{\gamma} \in \mathbb{R}^l$: データの平均ベクトル, W : 主成分の固有ベクトルの集合

2.2 重回帰分析

重回帰分析とは複数の説明変数が1つの目的変数に与える影響を解析する手法である。本研究では、説明変数を

柱、梁、ブレース等の入力変数とし、目的変数を各ケースの層間変形角の主成分得点として、偏回帰係数を求めた。以下に重回帰分析の数式を示す。

$$t_i = a_{i,1}X_1 + \dots + a_{i,k}X_k + \epsilon_i \quad (3)$$

t_i : 主成分得点, $a_{i,k}$: 偏回帰係数, X_k : 入力パラメータ, ϵ_i : 誤差項

3. 分析結果

3.1 層間変形角に対する主成分分析

Fig. 1, Fig. 2に各主成分の寄与率, Fig. 3, Fig. 4に主成分ベクトルを示す。

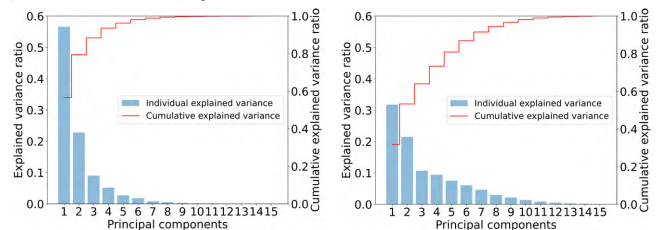


Fig. 1 寄与率プロット①

Fig. 2 寄与率プロット②

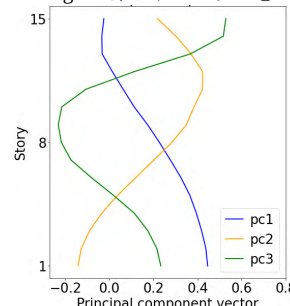


Fig. 3 主成分ベクトル①

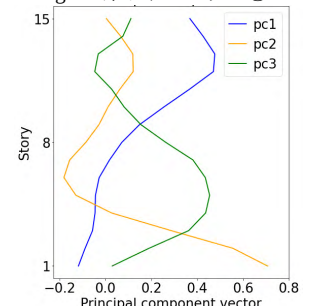


Fig. 4 主成分ベクトル②

いずれのケースも低次モードでおよそ応答のばらつきを説明可能な結果となった。パターン①では、第一主成分(PC1)の寄与率が約60%であり、応答の変化の大部分を第一主成分によって説明できることが分かった。一方、パターン②では、第二主成分(PC2)までの累積寄与率が約60%となっており、応答特性は主に第一主成分および第二主成分によって説明可能であることが確認された。

主成分得点の変化によって主成分ベクトルの絶対値が大きい層の応答が大きくなる傾向を示す。例えば、第一主成分に着目すると、パターン①では下層、パターン②では上層におけるばらつきが大きいことが確認された。パターン①の第一主成分ベクトルはモデルの下層部分で正の値を示しており、これに対応する主成分得点が

高いほど応答が増大し、得点が小さいほど抑制される。パターン②においては、上層部分の応答が第一主成分得点に依存する。すなわち、第一主成分得点を小さくすることで、パターン①では下層、パターン②では上層の層間変形角を抑制することができると考えられる。

3.2 層間変形角に対する重回帰分析

Fig. 5, Fig. 6 に重回帰分析によって求めた第一主成分得点に対する、各入力変数の偏回帰係数を示す。パターン①では梁の影響が大きく、特に外周部の梁(G1)が支配的であることが確認された。主成分得点を小さくすることで下層の応答を抑制できるため、負の偏回帰係数を有する下層の外周部梁の断面を増大させることが有効であると考えられる。パターン②では、柱およびブレースの影響が大きく、特にブレースに接続する柱(C1・C2)が上層の応答に強く影響を与えていることが確認された。そのため、上層の応答抑制には、ブレース接続柱の断面を増大させることが有効である。また、上層の加振方向であるX方向ブレース(B3・B4)の影響も顕著であることがわかる。

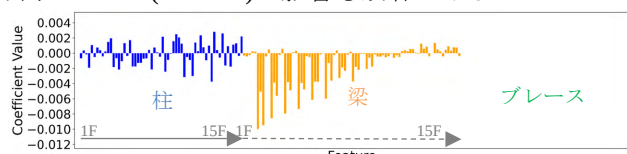


Fig. 5 偏回帰係数①

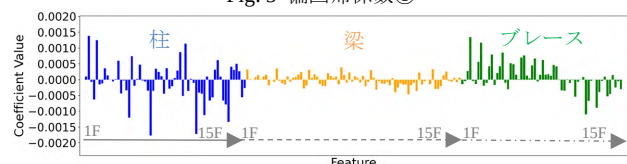


Fig. 6 偏回帰係数②

3.3 全節点変位に対する主成分分析

本研究では、全節点変位に対し、25秒間の解析時間内で1秒ごとに主成分分析を実施し、各解析パターンにおける主成分の寄与率の時系列変化を分析した (Fig. 7, Fig. 8)。パターン①では、第一主成分の寄与率が時間とともに増加し最終的に約50%、第二主成分も約40%まで上昇し、第三主成分は減少傾向を示した。これにより、第一・第二主成分が主要な応答特性を捉えていることが確認された。パターン②では、第一主成分の寄与率が全体的に高く、第二主成分はやや増加、第三主成分は低下傾向を示した。パターン①と比較すると寄与率の分布に差異があるものの、低次モードが主要な応答特性を支配していることが確認された。また、Fig. 9 および Fig. 10 に、解析時間15秒時のXY平面における主成分ベクトルを示す。パターン①では、並進方向のばらつきが支配的であるのに対し、パターン②ではブレースの配置により偏心が生じ、ねじれ方向のばらつきが顕著に現れた。

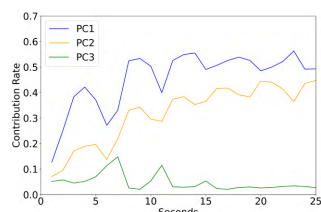


Fig. 7 寄与率時刻歴①

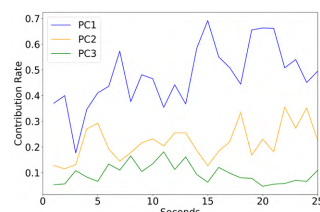


Fig. 8 寄与率時刻歴②

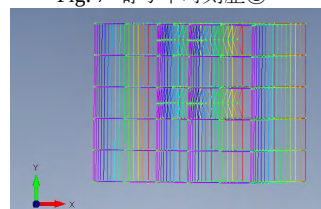


Fig. 9 主成分ベクトル①

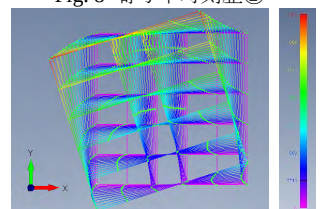


Fig. 10 主成分ベクトル②

3.4 主成分得点同士の相関関係

Fig. 11~Fig. 14 に、層間変形角の各主成分の主成分得点と全節点変位の主成分得点との相関係数の時刻歴を示す。パターン①では、全解析時刻にわたって、全節点変位と層間変形角のそれぞれの第一主成分同士に非常に強い相関が見られた。また、第二主成分同士に強い相関が見られ、同次数の主成分間で相関関係が見られた。一方、パターン②では、同次数の主成分間の明確な相関は確認されず、層間変形角に対して複数のモードが複雑に作用していることが確認された。

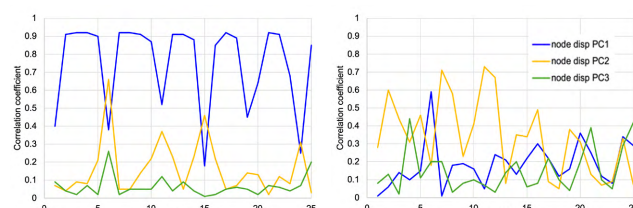


Fig. 11 相関係数①-PC1

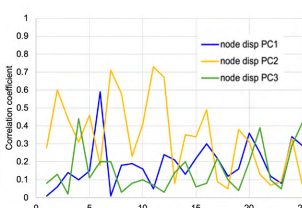


Fig. 12 相関係数①-PC2

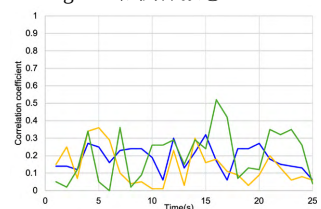


Fig. 13 相関係数②-PC1

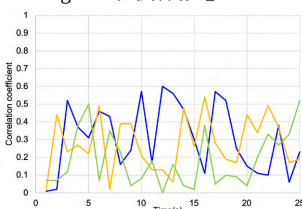


Fig. 14 相関係数②-PC2

4. まとめ

主成分分析により、層間変形角および全節点変位のばらつきの主要なモードを特定し、低次の主成分で応答の変化を十分に説明できることを確認した。さらに、層間変形角に対する重回帰分析により、応答低減に寄与する部材を特定した。また、層間変形角と全節点変位の主成分得点の相関分析の結果、パターン①では同じ次数のモード間に強い相関が確認された。一方、パターン②ではより複雑な関係性が見られた。パターン②における応答の複雑な相関構造の解明を今後の課題とする。

*1 神戸大学大学院工学研究科 大学院生

*2 株式会社竹中工務店

*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 Grad. Sch. Eng., Kobe Univ.

*2 Takenaka Corporation.

*3 Grad. Sch. Eng., Kobe Univ., Dr. Eng

*4 Prof., Grad. Sch. Dis. Res. and Gov., Univ. Hyogo, Dr. Eng