

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	建築物のさらなる超高層化に向けた曲げせん断モデル化手法の提案 その3 提案手法によるモデル化の手順
Title(English)	New Bending-shear Modeling Method for Super Tall Buildings of Increasing Height (Part.3) Modeling Procedures of Proposed Method
著者(和文)	渡井一樹, 笠井和彦, 佐藤大樹, 前田周作, 鈴木庸介, 岡日出夫
Authors(English)	Kazuki Watai, Kazuhiko Kasai, Daiki Sato, Shusaku Maeda, Yousuke Suzuki, Hideo Oka
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 959 -960
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 959 -960
発行日 / Pub. date	2019, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

建築物のさらなる超高層化に向けた曲げせん断モデル化手法の提案

その 3 提案手法によるモデル化の手順

正会員	渡井一樹*1	同	笠井和彦*1
同	佐藤大樹*1	同	前田周作*2
同	鈴木庸介*2	同	岡日出夫*2

超高層建築物	等価質点系	曲げせん断モデル
固有周期	モード変位	高次モード

1. はじめに

その 2 において、精度の良い等価質点系を構築するためには、部材構成モデルの 1 次モード成分を完全に再現した上で (S⁽¹⁾モデル)、曲げ変形を考慮して高次モードの精度を向上させる必要がある (B モデル) ことを示した。

本報では、上記 2 つのモデルの長所を組み合わせることで、高いモデル化精度に期待できる曲げせん断モデル (B⁽¹⁾モデル) と、そのモデル化手法を提案する。

2. 新たな曲げせん断モデル化手法

2.1 純曲げ載荷解析の概要

既往のモデル化手法は、水平載荷解析から得た水平変位をせん断成分と曲げ成分に分離する必要があるが、水平変位にはせん断力の影響が含まれるため、真の曲げ変形を抽出することは容易ではない。一方、提案手法は建物モデルを片持ち梁と仮定して、せん断力がゼロの状態に純粋な曲げモーメントを載荷する。純曲げ載荷解析から得た水平変位は全て曲げ変形成分であるため、簡易な計算過程で曲げ剛性を得られる。しかし、本手法で得られる曲げ剛性はせん断力の影響まで考慮できないため、補正係数を用いて水平載荷解析時の精度を較正する。

2.2 曲げ剛性の算出

以下に純曲げ載荷による曲げ剛性の算出手順を示す。

- 1) 建物モデルの頂部に純粋な曲げモーメント M_0 を載荷して、水平変位 u_i を得る。
- 2) 水平変位 u_i の 2 階微分を差分法で近似することで、式 (1) から曲率 p_i を得る。

$$p_i = \frac{4(\Delta u_{i+1} - \alpha_{hi} \Delta u_i)}{h_i^2 (\alpha_{hi}^2 + 1) (\alpha_{hi} + 1)} \quad (1)$$

- ここに、 h_i は i 層の階高、 $\Delta u_i = u_i - u_{i-1}$ は層間変形、 $\alpha_{hi} = h_{i+1} / h_i$ は i 層と $i+1$ 層の階高の比率である。また、最上層である n 層に対しては $n-1$ 層と同じ曲率を与えて $p_n = p_{n-1}$ とする。なお、曲率 p_i は架構形式によっては負の値が算出される。その場合の補正方法は 4.1 節で述べる。
- 3) 曲率 p_i を用いて式 (2) から曲げ剛性 EI_i を得る。

$$EI_i = \alpha_{EI} M_0 / p_i \quad (\alpha_{EI} = 0.8) \quad (2)$$

ここに、 α_{EI} は曲げ剛性の補正係数であり、その詳細については 4.2 節で述べる。なお、純曲げ載荷から得た曲げ剛性は、純粋な曲げモーメントに対して高い精度で水平変位を再現できる (附録 1 参照)。

2.3 せん断剛性の算出

曲げせん断モデルの 1 次モードの固有周期とモード変位が部材構成モデルと完全に一致するようにせん断剛性を算出する。まず、部材構成モデルの固有値解析から得られる 1 次モードの円振動数 ω_1 とモード変位 ϕ_{i1} 、質量 m_i を用いて 1 次モード外力 $F_i^{(1)}$ を定義する。

$$F_i^{(1)} = \omega_1^2 m_i \phi_{i1} \quad (3)$$

ここで、1 次モード外力による層せん断力を $Q_i^{(1)}$ と表す。モード変位の層間成分 $\Delta \phi_{i1} = \phi_{i1} - \phi_{i-1,1}$ は、せん断成分 $\Delta \phi_{si}$ と曲げ成分 $\Delta \phi_{bi}$ の足し合わせで表されるため、式 (4) が成り立つ。これを K_{si} について解いてせん断剛性を得る。

$$\begin{aligned} \Delta \phi_{i1} = \Delta \phi_{si} + \Delta \phi_{bi} &= \frac{Q_i^{(1)}}{K_{si}} + \frac{h_i}{2} (\theta_i + \theta_{i+1}) + \frac{(M_i - M_{i+1}) h_i^2}{12 EI_i} \\ &= \frac{Q_i^{(1)}}{K_{si}} + \frac{h_i^2}{6 EI_i} (M_{i+1} + 2M_i) + h_i \sum_{k=1}^{i-1} \Delta \theta_k \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 M_i は転倒モーメント、 $\Delta \theta_k$ は増分回転角である。式 (4) 中の曲げ変形成分 $\Delta \phi_{bi}$ は、転倒モーメントによる曲げ変形として算出したものである。なお、 M_i 及び $\Delta \theta_k$ は次式から算出する。

$$M_i = \sum_{k=1}^n (Q_k^{(1)} h_k), \quad \Delta \theta_i = \frac{h_i}{2 EI_i} (M_i + M_{i+1}) \quad (5a, b)$$

3. 純曲げ載荷の方法

純粋な曲げモーメントは建物モデルの最上階に鉛直力 (偶力) を作用させることで載荷する。ここで、80m モデルの純ラーメン構造と、図 1-a) に示す平面図の Y2,3 構面に天井梁と同じ断面のブレースを設けたセンターコア構造を考える。図 1-b) には水平載荷解析時の 1 層における柱軸力の分布を示す。なお、柱軸力は各 X 構面に配置され

た柱の総和である。純ラーメン構造の場合には最外縁の X1・X9 構面、センターコア構造の場合にはコア端部の X4・X6 構面で柱軸力が最大・最小となることがわかる。曲げ変形は柱軸力に影響を与えることから、純曲げ載荷解析における鉛直力載荷点は、柱軸力の総和が最大・最小となる構面上に並ぶ全ての柱と定義し、全ての載荷点に同じ鉛直力を作用させる。図 2 には 80m モデルの Y2 構面に対する鉛直力の載荷点と純曲げ載荷解析時の変形モードを示すが、実際の鉛直力載荷点は紙面に直交する方向に並ぶ全ての柱であることに注意されたい。本手法は建物モデルに応じて鉛直力の載荷点を選択することで、様々な架構形式に適用することが可能である。

本研究で対象とする 4 種の検討モデルは、いずれも水平載荷解析時の 1 層における柱軸力が最外縁で最大・最小となった。センターコア構造を有する建物モデルでも、アスペクト比が大きくなると最外縁で柱軸力が大きくなる傾向を確認しており、前述の定義に従い純曲げ載荷解析は最外縁の柱に鉛直力を作用させて実施する。

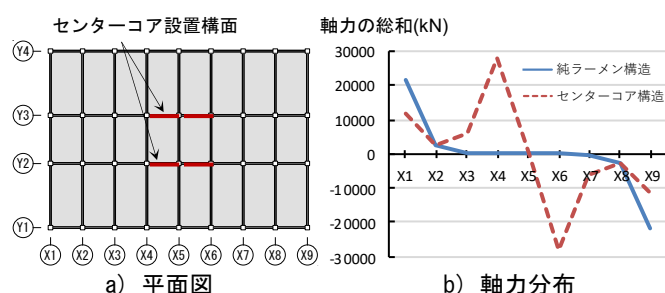


図 1 水平載荷解析時の 1 層における柱軸力分布 (80m モデル)

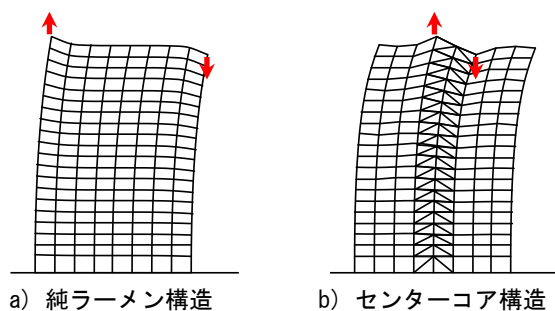


図 2 純曲げ載荷の方法 (80m モデル)

4. 曲率と曲げ剛性の補正

4.1 曲率の補正方法

片持ち梁の先端に純粋な曲げモーメントを載荷したときの水平変位は、下層から上層に向けて必ず増加するため、曲率も連続した正の値になる。しかし、例えばアウトリガー構造を有する架構の場合、アウトリガー層付近では曲げ戻しの効果により変形が減少するため、負の曲率が算出されることがある。本手法では建物モデルを片持ち梁と仮定することから、負の曲率が算出された場合

には当該層の下層と同じ曲率を与えることで、連続した正の曲率を持つように補正する。

4.2 曲げ剛性の補正係数

水平載荷解析では、せん断力の影響により最外縁やコア端部などで局所的に柱軸力が卓越する。一方、純曲げ載荷解析では、柱軸力は下層に向かって鉛直力載荷点から他構面に分散されるため三角形分布に近くなる。同じ曲げモーメントに対しても軸力分布の違いにより曲げ剛性は異なるため、純曲げ載荷解析で得た曲げ剛性にせん断力の影響を加味して補正係数を乗じることで較正する。

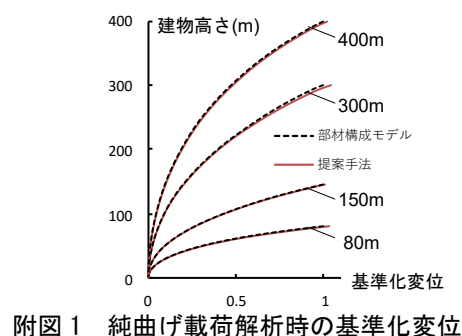
建物モデルごとに最適な補正係数は異なるが、本報では 4 種の検討モデルに対して高いモデル化精度が得られたことから、補正係数を $\alpha_{EI} = 0.8$ と定めた。アスペクト比の大きな建物モデルは曲げ剛性がモデル化精度に与える影響は大きく、補正係数を小さくしすぎると上層の複数層で負のせん断剛性が算出されてモデル化精度が下がることを確認している。一方、アスペクト比の小さな建物モデルは全体の応答に対する曲げ成分が小さいため、補正係数によらず安定したモデル化精度が得られる。

5. まとめ

提案手法は純曲げ載荷解析を行うための鉛直力載荷点を適切に選択することで、様々な建物モデルに適用できる。また、曲げ剛性の算出方法は簡便であり、1 次モード成分を部材構成モデルと完全に一致するようにせん断剛性を算出することで、高いモデル化精度に期待できる。

附録 1. 曲げ変形の再現性

純曲げ載荷から得た曲げ剛性が、純粋な曲げモーメントに対して曲げ変形を正確に再現できることを示す。本検討では純粋な曲げモーメントに対する変位を求めることから補正係数は $\alpha_{EI} = 1.0$ であり、300m モデルはアウトリガー層である 45 層で負の曲率が算出されたため、曲率の補正を行っている。附図 1 には純曲げ載荷解析から得た水平変位を、部材構成モデル最上層の水平変位で基準化した値を示す。部材構成モデルと提案手法により構築した曲げせん断モデルの基準化変位はほぼ一致している。



附図 1 純曲げ載荷解析時の基準化変位

*1 東京工業大学 未来産業技術研究所

*2 竹中工務店 エンジニアリング本部

*1 FIRST, Tokyo Institute of Technology

*2 Engineering Dept., Takenaka Corporation