

純ラーメン RC 造超高層骨組の魚骨形モデルの作成手法

正会員 ○上野 泰永*¹
同 田川 浩之*³同 西本 篤史*¹
同 荒木 慶一*⁴同 岡山 真之介*²魚骨形モデル 超高層骨組 RC 造
動的応答

1. 序

近年、通常の設計で想定するレベルを大きく超える地震動に対して、超高層建物の耐震安全性を評価することへのニーズが高まっている。このような場合、崩壊モードを評価する必要があるが、超高層建物の設計で用いられることが多いせん断モデルや曲げせん断モデルなどの簡易モデルでは、崩壊モードや崩壊モードが動的応答に及ぼす影響を的確に評価することができない。

この問題を解決できる簡易モデルとして、魚骨形モデルが挙げられる。加村ら¹⁾は、S 造純ラーメン骨組を対象に、応答解析を行わず魚骨形モデルを作成する方法を提案し、フルフレームモデルとの動的解析結果の比較により提案手法の有効性を確認している。しかし、RC 造の場合は S 造と比較して復元力特性が複雑なため、応答解析を行わず魚骨モデルに置換することは容易ではない。

本報では、フルフレームの静的応答解析結果から、純ラーメン RC 造超高層骨組の魚骨形モデルを作成する手法を提案する。また、フルフレームモデルの動的解析結果との比較を通じて、提案手法の妥当性を検討する。

2. モデル化手法

2.1 概要

RC 造純ラーメン骨組の魚骨形モデルを作成することを考える。魚骨形モデルでは、骨組の各層の全ての梁を、対応する層の一つの回転バネで表現する。以下、このバネを「魚骨梁回転バネ」と呼ぶ。また、各層の全ての柱を、対応する層の一つの柱部材でモデル化する。以下、この柱部材を「魚骨柱部材」と呼ぶ。

超高層建物では、通常、建物全体の曲げ変形を無視できない。本報では、各層の柱の伸縮に伴う建物全体の曲げ剛性を表現するために、各層床の相対回転角に抵抗する回転バネを設ける。以下、このバネを「魚骨曲げ回転バネ」と呼ぶ。魚骨曲げ回転バネは常に弾性であり、魚骨梁回転バネに直列に接続される。

2.2 魚骨梁回転バネと魚骨柱部材の復元力特性

図 1(a)と(b)に示す二種類の変形モードでフルフレームモデルに繰返し強制変位を与え、それぞれの結果から、魚骨柱部材と魚骨梁回転バネの復元力特性を規定するパラメータの値を定める。

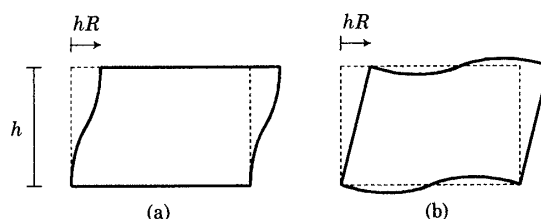


図 1 強制変位を与える変形モード

ここでは整形純ラーメン平面骨組を対象に、拘束条件の与え方の具体例を示す。骨組の各節点の水平方向変位を u 、鉛直方向変位を v 、回転角を θ とする。層番号を k 、建物の層数を n 、各層の梁もしくは柱の部材番号を p 、各層の梁もしくは柱の部材数を m とする。階高を h とする。

魚骨柱部材の復元力特性を定めるための拘束条件は以下のようにかける。まず、各層で以下の条件を与える。

$$u_k^1 = u_k^2 = \dots = u_k^p = \dots = u_k^m \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

$$v_k^1 = v_k^2 = \dots = v_k^p = \dots = v_k^m \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

$$\theta_k^1 = \theta_k^2 = \dots = \theta_k^p = \dots = \theta_k^m = 0 \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

式(1)は剛床仮定条件であり、式(2)は床の回転を抑止する条件である。式(2)に加えて式(3)の条件を与えることで、梁を変形させず、柱のみに逆対称モードの変形を与えることができる。これらの条件に加えて、各層の柱に同一の部材角を与えるため、以下の拘束条件を与える。

$$u_k^1/h_1 = \dots = (u_k^1 - u_{k-1}^1)/h_k = \dots = (u_k^1 - u_n^1)/h_n = R \quad (4)$$

ここで R は層間変形角であり、この値を変動させることで、図 1(a)の変形モードの強制変位を与えることができる。なお、基礎梁に属する節点については次式を指定する。

$$u_0^p = v_0^p = \theta_0^p = 0 \quad (p=1,2,\dots,m) \quad (5)$$

フルフレームモデルの静的応答解析結果から、例えば魚骨柱部材の弾性曲げ剛性 EI は、層せん断力を Q として次式により得られる。

$$EI_k = -Q_k h_k^3 / (12R h_k) = -Q_k h_k^2 / (12R) \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (6)$$

その他のパラメータも、フルフレームモデルと魚骨形モデルの $Q-R$ 関係が一致するように定める。

一方、魚骨梁回転バネの復元力特性を求める際の拘束条件は、式(1)、(2)、(4)については魚骨柱部材の場合と同一であるが、式(3)と式(5)は若干異なる。式(3)は以下のよ

うに右边を 0 から R に変更する必要がある。

$$\theta_k^1 = \theta_k^2 = \cdots = \theta_k^p = \cdots = \theta_k^m = R \quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (7)$$

また、式(5)を以下のように変更する必要がある。

$$u_0^p = v_0^p = 0, \quad \theta_0^p = R \quad (p=1,2,\cdots,m) \quad (8)$$

上記の拘束条件の下で R を変動させることで、図 1(b)の変形モードの強制変位を与えることができる。なお、魚骨梁回転バネの弾性剛性 K は、梁端モーメントの総和を M として次式により得られる。

$$K_k = M_k / R \quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (9)$$

その他のパラメータも、フルフレームモデルと魚骨形モデルの $M-R$ 関係が一致するように定める。

2.3 魚骨曲げ回転バネの剛性

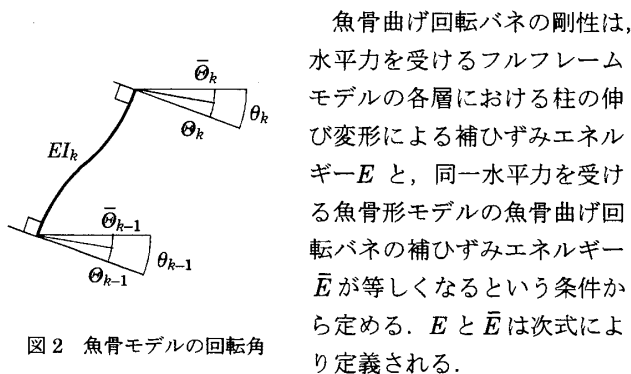


図2 魚骨モデルの回転角

魚骨曲げ回転バネの剛性は、水平力を受けるフルフレームモデルの各層における柱の伸び変形による補ひずみエネルギー E と、同一水平力を受ける魚骨形モデルの魚骨曲げ回転バネの補ひずみエネルギー $\bar{E}$ が等しくなるという条件から定める。 E と $\bar{E}$ は次式により定義される。

$$E_k = \sum_{p=1}^m N_k^p \Delta_k^p / 2, \quad \bar{E}_k = \bar{M}_k^2 / (2\bar{K}_k) \quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (10)$$

ここで N と Δ は、それぞれ、水平力により発生する柱の軸力と伸びである。また、 $\bar{M}$ は各層柱の柱脚における切断面で定義される転倒モーメントであり、 $\bar{K}$ は魚骨回転バネの剛性である。式(10)と $E=\bar{E}$ の関係より、 $\bar{K}$ は以下のように得られる。

$$\bar{K}_k = \bar{M}_k^2 / \left(\sum_{p=1}^m N_k^p \Delta_k^p \right) \quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (11)$$

$\bar{M}$ は指定水平力の値から容易に計算できる。 N と Δ は指定水平力に対する一回の静的弾性解析結果から求める。

魚骨形モデルの第 k 層の柱の変形を図 2 に示す。ここで θ_k は柱頭節点の回転角、 θ_{k-1} は柱脚節点の回転角である。また、 $\bar{\theta}_k$ は第 $k+1$ 層床の回転角、 $\bar{\theta}_{k-1}$ は第 k 層床の回転角であり、 θ_k は第 k 層梁の回転角、 θ_{k-1} は第 $k-1$ 層梁の回転角である。図 2 より、これらの変数の間には以下の関係が成り立つ。

$$\theta_k = \bar{\theta}_k + \theta_k \quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (12)$$

なお、梁端モーメント M_k と θ_k の間に次式が成り立つ。

$$M_k = K_k \theta_k \quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (13)$$

一方、転倒モーメント $\bar{M}_k$ と床の回転角 $\bar{\theta}_k$ 、 $\bar{\theta}_{k-1}$ の間には、以下の関係が成り立つ。

$$\bar{M}_k = \bar{K}_k (\bar{\theta}_k - \bar{\theta}_{k-1}) \quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (14)$$

3. 解析

26 層 6×5 スパン純ラーメン RC 造立体骨組を対象に、(a)弾性固有値解析、(b)水平荷重 (A_i 分布) に対する静的増分解析、(c)BCJ-L2 に対する動的応答解析を行った。これらの結果を図 3(a)~(c)に示す。どのグラフでも、黒色がフルフレームモデルの、白色が魚骨形モデルの結果を示す。なお、1 次と 2 次の固有周期はフルモデルで 1.30 秒と 0.42 秒、魚骨モデルで 1.17 秒と 0.39 秒であった。

4. 結

純ラーメン RC 造超高層骨組の魚骨形モデルを作成する手法を提案した。また 26 層立体骨組を対象に解析を行い、提案手法の予測精度を検証した。弾性固有値解析では、1 次固有周期は約 4%、2 次固有周期は約 8%程度の誤差で予測でき、どちらの固有モードも精度良く予測できた。静的増分解析と動的応答解析では概ね良好な精度で予測できたが、静的増分解析の上層部の応答や動的応答解析の下層部の応答で若干の誤差が見られた。

今後、誤差の原因の解明と、誤差を低減する手法の検討を行う。また、実務設計で容易に適用できるように、魚骨形モデルの作成手法の簡略化についても検討を行う。また並行して、通常的设计の想定を大きく上回る地震動に対する応答の予測精度について検討を行っていく。

参考文献

- 1) 加村久哉, 小川厚治, 井上一朗: 鋼構造ラーメン骨組の魚骨形地震応答解析モデル, 日本建築学会構造系論文集, No. 521, pp. 119-126, 1999

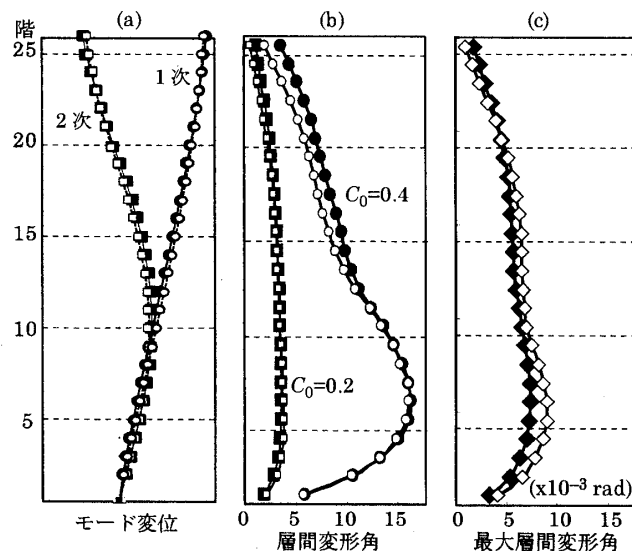


図3 解析結果: (a)固有値解析, (b)静的増分解析, (c)動的応答解析

*1 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 修士課程

*2 大成建設 設計本部

*3 日本建築総合試験所(Ph. D.)

*4 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

*1 Graduate Student, Dept. Architecture & Architectural Eng., Kyoto Univ.

*2 Design Dept., Taisei Corporation

*3 General Building Research Corporation of Japan, Ph. D.

*4 Assoc. Prof., Dept. Architecture & Architectural Eng., Kyoto Univ., Dr. Eng.