

## 多層建築物の地震応答における高次モード成分の評価

○ 倉本 洋 (豊橋技術科学大学)

### 1. はじめに

本研究では、2000年6月に施行された限界耐力計算における上部構造の応答値評価法の改善を目的として、建築物の塑性化に伴うモード形の変化を適切に考慮できるモード適応型非線形荷重増分解析法を用いた等価1自由度系縮約法<sup>1)</sup>(静的縮約法)および多自由度系の地震応答結果を用いた振動モード分解による等価1自由度系縮約法<sup>2)</sup>(動的縮約法)並びに静的縮約結果と動的縮約結果に基づいた層せん断力および層間変形の時刻歴における高次モード成分の評価法をそれぞれ提案する。

### 2. モード適応型非線形荷重増分解析法<sup>1)</sup>

静的非線形荷重増分解析における $k$ ステップの $i$ 層の1次モード比例外力 ${}_1P_{i,k}$ は、 $k-1$ ステップの各層変位 ${}_1\delta_{i,k-1}$ およびベースシア ${}_1Q_{B,k-1}$ 、荷重増分 $d{}_1Q_B$ および各層の質量 $m_i$ によって式(1)で与えられる。

$${}_1P_{i,k} = \frac{m_i \cdot {}_1\delta_{i,k-1}}{\sum_{j=1}^N m_j \cdot {}_1\delta_{j,k-1}} \cdot ({}_1Q_{B,k-1} + d{}_1Q_B) \quad (1)$$

式(1)による外力を用いれば、建築物の塑性化に伴うモード形の変化に応じて1次モード比例外力分布を逐一変化させた、モード適応型静的非線形荷重増分解析(Adaptive Pushover 解析: 以下、AP 解析と略記)が可能となる。

### 3. 動的等価1自由度系縮約<sup>2)</sup>

地震応答時における多層建築物の時刻 $t$ での等価1自由度系の代表荷重 ${}_1S_d(t)$ および代表変位 ${}_1S_d(t)$ は、各層の外力 ${}_1P_i(t)$ 、変位 ${}_1\delta_i(t)$ および1次モード比例変位 ${}_1\delta_i(t)$ により次式で与えられる。

$${}_1S_d(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t) \cdot {}_1\delta_i(t) / \sum_{i=1}^N m_i \cdot {}_1\delta_i(t) \quad (2)$$

$${}_1S_d(t) = \sum_{i=1}^N m_i \cdot {}_1\beta \cdot {}_1u_i \cdot \delta_i(t) / \sum_{i=1}^N m_i \cdot {}_1\beta \cdot {}_1u_i \quad (3)$$

ここで、1次刺激関数 ${}_1\beta \cdot {}_1u_i$ は式(2)および(3)により縮約した等価1自由度系の最大応答変位に相当するAP解析結果の荷重ステップでの各層の変位 ${}_1\delta_i$ を用いて式(4)で与えられる。

$${}_1\beta \cdot {}_1u_i = \left( \sum_{i=1}^N m_i \cdot {}_1\delta_i / \sum_{i=1}^N m_i \cdot {}_1\delta_i^2 \right) \cdot {}_1\delta_i \quad (4)$$

なお、最初は等価1自由度系が得られていないので、多自由度系における任意の層の最大応答変形に相当するAP解析結果の荷重ステップでの ${}_1\beta \cdot {}_1u_i$ を仮定して縮約し、その後1、2回同様の手順を繰り返し、試行錯誤的に ${}_1\beta \cdot {}_1u_i$ を求める。

### 4. 高次モードに起因する残余せん断力の評価

時刻 $t$ における $i$ 層の高次モードに起因する残余せん断力 ${}_hQ_i(t)$ は2次モード成分 ${}_2Q_i(t)$ とその残余成分の和として次式で評価できる。

$${}_hQ_i(t) \approx {}_2Q_i(t) - \sum_{j=i}^N \left\{ m_j \left( 1 - \sum_{s=1}^2 \beta \cdot {}_s u_j \right) \right\} \cdot \ddot{x}_0(t) \quad (5)$$

ここに、 $\ddot{x}_0(t)$ : 地動の加速度

### 5. 高次モードに起因する残余応答変位の評価

時刻 $t$ における $i$ 層の高次モードに起因する残余層間変形 ${}_{sth}\delta_i(t)$ は、最大応答時の1次等価質量 ${}_1\bar{M}$ 、弾性時の1次、2次および3次等価質量 ${}_1\bar{M}_e$ 、 ${}_2\bar{M}$ および ${}_3\bar{M}$ 、およびそれぞれのモードに対応する代表変位 ${}_1\Delta(t)$ 、 ${}_1\Delta_e(t)$ 、 ${}_2\Delta(t)$ および ${}_3\Delta(t)$ を用いて式(6)で与えられる。

$${}_{sth}\delta_i(t) = \alpha \cdot \frac{\sum_{s=2}^3 \bar{M}_s \Delta_s(t) + {}_1\bar{M}_e \cdot {}_1\Delta_e(t) - {}_1\bar{M} \cdot {}_1\Delta(t)}{{}_2\bar{M} + {}_1\bar{M}_e - {}_1\bar{M}} \quad (6)$$

ここで、 $\alpha = {}_h\beta({}_h u_i - {}_h u_{i-1})$

$${}_h\beta \cdot {}_h u_i = {}_2\beta \cdot {}_2 u_i + {}_1\beta \cdot {}_1 u_{ei} - {}_1\beta \cdot {}_1 u_i$$

ただし、 ${}_1u_0 = {}_h u_0 = 0$ であり、 ${}_1\beta \cdot {}_1 u_{ei}$ および ${}_2\beta \cdot {}_2 u_i$ はそれぞれ弾性時の1次および2次刺激関数を表す。

### 6. まとめ

多層建築物の地震応答における層せん断力および層間変形の時刻歴における高次モード成分はそれぞれ式(5)および式(6)によって評価できる。

### 参考文献

- 1) 松本和行、倉本洋: 多層RC造建築物のモード適応型非線形荷重増分解析、コンクリート工学年次論文集、第24巻、第2号、2002年6月、pp.1111-1116
- 2) 倉本洋: 4. 等価1自由度系縮約と応答値評価、限界耐力計算を展望する、2003年度日本建築学会大会(東海)PD資料、日本建築学会構造委員会、2003年9月、pp.29-37