

名古屋大学大学院 学生会員 滝本 和 志
名古屋大学工学部 正 会員 田 辺 忠 顕

1. 序論

計算機の能力の飛躍的な向上、設計・施工技術の進歩により、ダム、橋梁、建築物等の構造物が次第に大型化しているが、我が国のように地震の多い国においては、その耐震設計が極めて重要な課題である。これらの長大構造物の耐震設計を行うためには、構造物がどのような動的挙動を示すかを知らなければならない。

鉄筋コンクリート構造物の振動解析においては、従来その変位が小さいものとして、材料非線形性についてのみ問題とし、幾何学的非線形性についてはあまり考慮されていない。しかし、高橋脚等の終局的な振動状態を検討するためには、P-δ効果と呼ばれる幾何学的非線形性について考慮する必要がある。そこで本研究においては、軸力の影響を考慮した鉄筋コンクリート柱の動的解析を行い、軸力が応答に及ぼす影響についての検討を行った。

2. 振動モデルの解析

図-1のようにはりが横方向荷重と軸力を受ける場合に対する運動の偏微分方程式は、次式で表される。

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) + N \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = p \quad (1)$$

ここに x ははりの軸方向座標、 EI は曲げ剛性、 m は単位長さ当たりの質量である。また横方向荷重 p は位置と時間によって任意に変わるものとし、横たわみ応答 v はこれらの変数の関数である。しかしここでは、問題を簡単にするために、長さ方向に一様な特性をもつはりで考える。

(1)式にガウ-キン法を適用し、要素の長さを ℓ 、外荷重 p を0とし、座標原点を左端にとり部分積分すると、剛性マトリックスおよび質量マトリックスは次式ようになる。ただし $K = \frac{N\ell^2}{EI}$

$$\begin{Bmatrix} V_L \\ M_L \\ V_R \\ M_R \end{Bmatrix} = \frac{EI}{\ell^3} \begin{bmatrix} 12 - \frac{6}{5}K & 6 - \frac{1}{10}K & 4 - \frac{2}{15}K & \\ 6 - \frac{1}{10}K & 4 - \frac{2}{15}K & & \\ -12 + \frac{6}{5}K & -6 + \frac{1}{10}K & 12 - \frac{6}{5}K & \\ 6 - \frac{1}{10}K & 2 + \frac{1}{30}K & -6 + \frac{1}{10}K & 4 - \frac{2}{15}K \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_L \\ u_L' \\ u_R \\ u_R' \end{Bmatrix} + \frac{m\ell}{420} \begin{bmatrix} 156 & & & \\ 22\ell & 4\ell^2 & & \\ 54 & 13\ell & 156 & \\ -13\ell & -3\ell^2 & -22\ell & 4\ell^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_L \\ \ddot{u}_L' \\ \ddot{u}_R \\ \ddot{u}_R' \end{Bmatrix} \quad (2)$$

3. モデル柱による軸力の影響の考察

応答解析において、図-2に示す断面の柱を仮定し、名古屋周辺の地盤を考慮して作られた模擬地震波を用いた。この柱の高さを $1m$ 、 $2m$ 、上部の付加質量を $500kg$ 、 $1000kg$ 、入力最大加速度を $200gal$ 、 $400gal$ 、 $600gal$ と変えて、軸力が応答結果にどのような影響を与えるかを調べた。

本研究において用いた復元力特性は、鉄筋コンクリート造骨組のように剛性低下の見

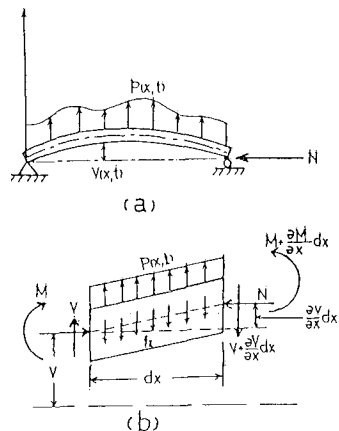


図-1 静的軸力と動的横荷重を受けるはり

(a) 荷重によって変形したはり

(b) 微小要素に作用する

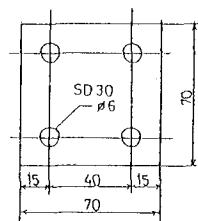


図-2 モデル柱の断面

られるものを対
象にした

Degrading
Tri-linear 型
を用いた、解析
による履歴曲線
と応答波形の例
を図-3、4に
示す。

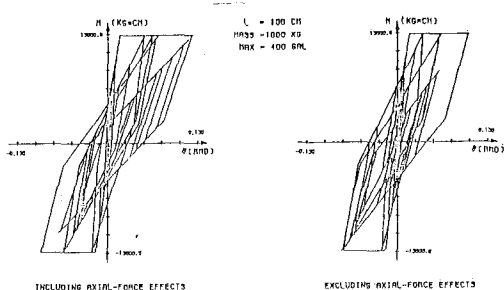


図-3 履歴曲線

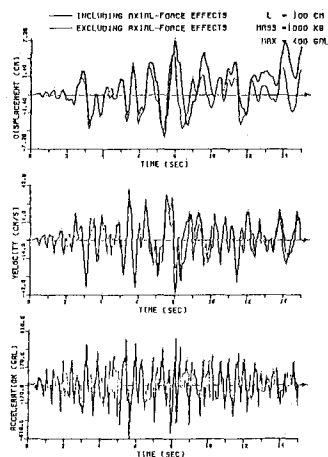


図-4 応答波形

○, △, □ 軸力を考慮した場合
●, ▲, ■ 軸力を考慮しない場合

それぞれの結果を縦軸に最大応答変位、対数目盛をとった横軸に応力と細長比の積をとり、片対数上にプロットすると、図-5のようになった。この図を見ると、軸力を考慮した場合もしない場合も、応力と細長比の積が 930 kg/cm^2 までは、どちらともほぼ同じ線上にあるが、 1860 kg/cm^2 の点においては、軸力を考慮しない場合はほぼ同じ傾向を示しているのに対して、軸力を考慮した場合は線上から大きく上にそれて、変位が非常に大きく出ている。このことは、軸力の影響が応力と細長比の積がある限度を越えた場合に、非常に大きくなることを示している。これは一例にすぎないが、コンクリート構造物の中で高どの非常に高いものや鉛直荷重を大きく受けるものに関しては、耐震設計において軸力の影響を考慮する必要があることは、明白である。

4. まとめ

鉄筋コンクリート構造物の動的応答解析において、応答に及ぼす軸力の影響について予備的検討を行った。

より自由度の大きい場合、せん断変形の卓越する場合等、今後 P-δ 効果の詳細な検討を進めてゆきたいと考えている。

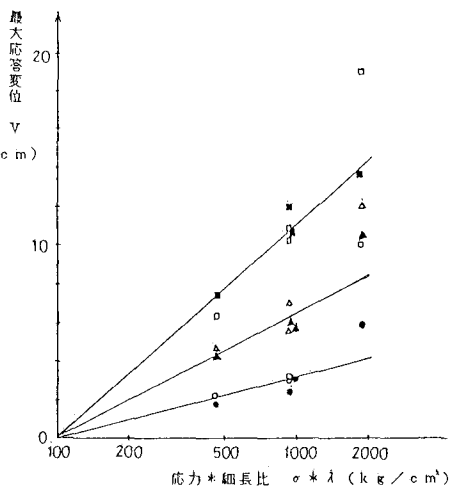


図-5 応力・細長比と最大応答変位の関係

参考文献

- 1) Ray W. Clough 他著、大崎順彦他訳；「構造物の動的解析」 科学技術出版社
- 2) 林 毅 他著；「変分法 応用数学講座 第13巻」 コロナ社
- 3) B. A. Finlayson 著、鷲津久一郎他訳；「重みつき残差法と変分原理」 培風館
- 4) 川井忠彦著；「マトリックス法振動および応答」 培風館
- 5) 梅村魁著；「鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法」 技報堂出版