

I-A 28 実際モデルを用いた鋼構造物の座屈・安定解析

中央大学 学生会員 大越 靖広
中央大学 正会員 川原 睦人

1 はじめに

構造物の安定性を調べることは、その構造物の挙動を知るうえで大変重要である。1995年1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震によって土木構造物ならびに各種都市機能が甚大な被害を受けたことは、極めて深刻に受けとめられており、本研究では圧縮力による座屈について静的な解析と動的な解析を行なっている。通常、構造解析をするときは微小変形の範囲で考えるが、本研究のように座屈を考えるなど軸力が大きくなると、その影響が無視できなくなる。よって本研究では軸力の影響を加味した大変形の理論を基礎とし、荷重を少しずつ増加させ、その荷重ごとの変形を追跡していく方法（荷重増加解析法）、固有値問題として構造全体の座屈を求める方法（全体座屈解析法）による計算を行なっている。

2 静的解析

微小変形の理論を用いて変位を求め、その変位から軸力を算出する。さらにその軸力を用いて幾何学的行列を求め、固有値問題（全体座屈解析法）と荷重増加解析法により静的な安定性を検討する。

2.1 基礎方程式

基礎方程式には、次の二通りを用いる。

< 伸縮変形 >

$$EA \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

< 曲げ変形 >

$$EI \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + N \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = 0 \quad (2)$$

2.2 有限要素法

基礎方程式に通常のカラースキーム法を用いて離散化すると、以下の方程式を得る。

$$\{F\} = [K + K_N]\{X\} \quad (3)$$

ここで $\{F\}$ 、 $\{X\}$ 、 $[K]$ はそれぞれ外力、変位、剛性行列を表し、 $[K_N]$ は幾何学的行列を表す。

2.3 安定理論

安定解析には固有値問題を適用する。

(3) 式のシステムは次のように書き表せる。

$$\dot{x} = Ax \quad (4)$$

このシステムの安定性は、固有値の符号により判定される。 A の固有値は以下の特性方程式を用いて求める。

$$|\lambda E - A| = 0 \quad (5)$$

ここで全ての固有値が負ならばこのシステムは安定であり、一つでも正の固有値を持つならば、このシステムは不安定である。

3 動的解析

動的な挙動を表す運動方程式は次のように書き表せる。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F \quad (6)$$

時間離散には、Newmark's β 法を用いる。安定解析については、静的解析と同様である。

4 数値計算例

4.1 静的解析（単純ばり）

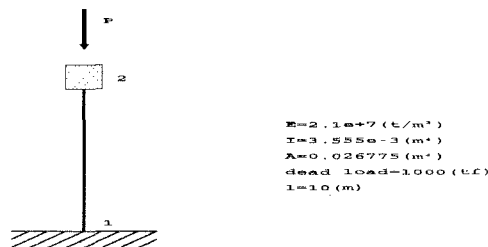


図1 解析モデル

動的解析と比較しやすいように、座屈荷重を座屈加速度に変換して解析を行なった。このモデルの安定性は毎加速度ごとに固有値問題（全体座屈解析法）によって判定される。また、この結果の信頼性を確かめるために荷重増加解析法による検討も行なった。

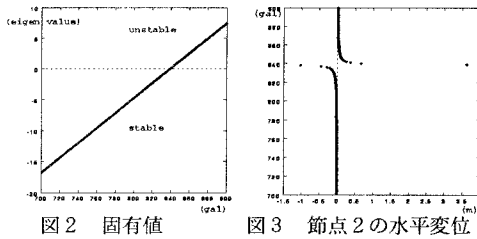


図2 固有値

図3 節点2の水平変位

図2、3よりこの構造の座屈加速度は、約840(gal)であることが分かる。二つの結果がよく一致しているので、この結果は信頼性があるといえる。

4.2 動的解析（単純ばり）

モデルは4.1と同じ単純ばりを用いる。動的座屈と静的座屈の違いを確認するために、静的座屈加速度である840(gal)よりも小さい最大で500(gal)の正弦波の加速度を与える。

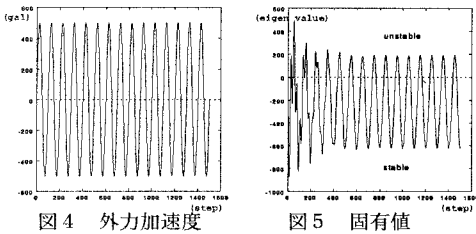


図4 外力加速度

図5 固有値

図5より、最大で500(gal)の加速度しか与えていないにもかかわらず、このシステムは不安定になっていることが分かる。これによって動的座屈が静的座屈よりも小さいことが示された。

4.3 動的解析（実際モデル）

次のような東京に実存する高速道路のラーメン構造のモデルを用いる。

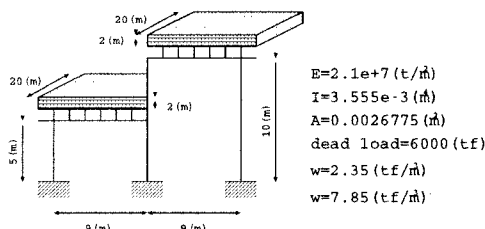


図6 解析モデル

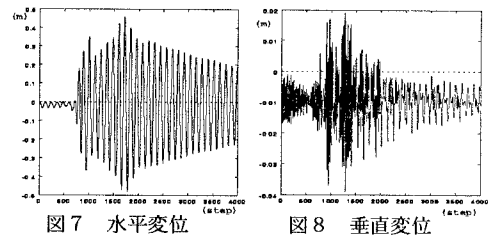


図7 水平変位

図8 垂直変位

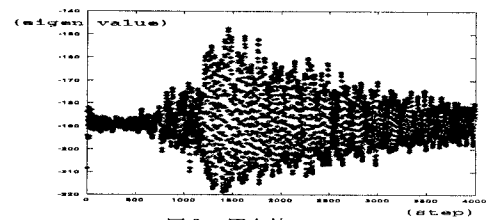


図9 固有値

図9より、この構造が極めて安定であることが分かる。図7、8から、変位が最大で約50 (cm) であることから、実際の挙動に近い応答が得られていると考えられる。

5 おわりに

静的解析において、二通りの解析による座屈加速度がよく一致したことから、この結果は信頼性があるものといえる。図6の実際モデルをこの方法で解析すると、座屈加速度は阪神大震災の約30倍もの大きさになる。しかしこれは、その構造の加速度や速度の項を考慮に入れていないので、地震に対する安定性を検討するには適していない。したがって実際の揺れを考慮した動的解析が必要になってくる。動的解析では、単純ばりの解析において静的座屈よりも小さい外力で不安定な状態になった。これは動的座屈が静的座屈よりも小さいことを示している。このことより動的座屈の現象がつかめたと思われる。しかし動的な解析では、解析解などによるチェックがなされていないので、かならずしも正しい結果であると断言できない。また、これは実際モデルの解析でも同じことがいえるであろう。今後は動的解析の解のチェックを行い、さらに三次元での解析を行なって、より実際の挙動に近い状況下での解析をする必要があると思われる。

参考文献

- [1]T,Kawai, "Buckling Problems Analysis", Baifukan, (1974).
- [2]Peter C.Muller, "Stability and Matrix", Springer-Verlag Tokyo,(1989).