

東北大学工学部 正会員 倉西 茂  
東北大学工学部 学生員 ○中島章典

## 1. はじめに

構造物に非常に大きな地震力などの動的荷重が作用した場合、構造物が崩壊することが考えられる。このような領域での動的性状は複雑な非線形挙動を示すものと思われるが、構造物の動的耐荷力を正しく評価し、より合理的な動的荷重に対する設計の方法を見つけるためには、動的荷重に対する構造物の終局強度を調べる必要があると思われる。しかし、地震力などの動的外力に対する終局強度という面から見た研究は少ないようである。そこで本研究では、構造物の幾何学的非線形性ととも材料非線形性を考慮した動的応答解析により、実際に動的耐荷力を求めた。動的外力としては、正弦波外力とエルセントロ地震波を用いた。

## 2. 解析方法

有限変形理論に基づいた荷重増分法を用いて、材料および幾何学的な非線形を線形化して行なう。この線形化により生ずる内力と外力の不釣り合いは、残差不平衡力を逐次載荷することにより修正している。この荷重増分法を増分形式の運動方程式に適用し、ニューマークの $\beta$ 法( $\beta = 1/4$ )を用いて数値積分により応答計算を行なう。材料非線形性は応力-ひずみ関係を完全弾塑性として取り扱う。構造解析は、一般に用いられている有限要素法により、連続体の振動を離散化して行なっている。

## 3. 解析モデル

本研究では、関門橋の主塔を対象構造物として選び、図-1(a)のような独立塔および(b)のような塔頂が支持される軸方向圧縮力が作用している場合について動的応答を計算する。解析モデルは、関門橋タワーの断面定数とほぼ一致させた、高さ160mの等断面のタワーとする。これを図-1(c)に示す。この要素を10個の有限要素に分割して解析を行なう。ここではあもに(b)の場合について解析を行なった。

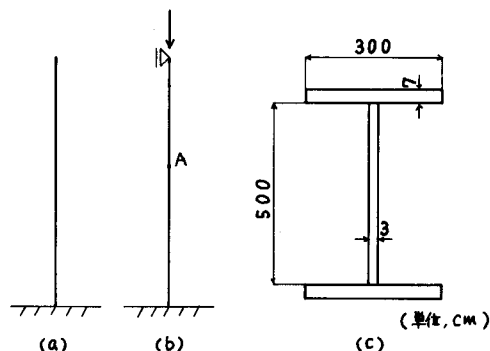


図-1 解析モデル

## 4. 計算結果

まず、次式で与えられる正弦波外力を考える。

$$\dot{\varphi} = \alpha \sin \omega t \quad (1)$$

$\omega$  をモデルの線形系での1次固有円振動数に等しくし、正弦波外力をモデルに作用させた場合に、 $\alpha$  を変化させてモデルの応答を求めた。図-1(a)のような独立塔については、たとえば $\alpha$  を200 gとしたときの応答変位と応答加速度を図-2に示す。応答加速度の高次の影響は、大きな非線形性と数値積分の際の誤差によるものと思われる。 $\alpha$  が大きくなるに従って、基部断面の塑性域が大きくなり、ついに平衡する復元力が得られず

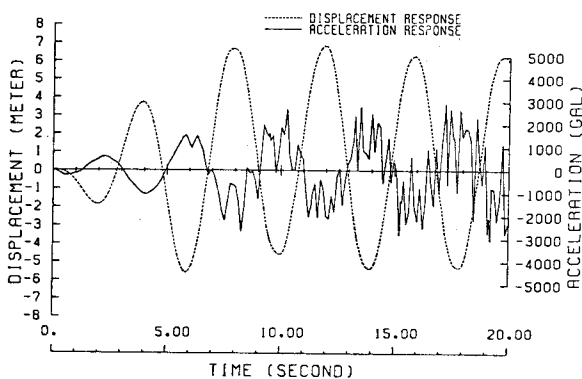


図-2

に崩壊にいたる。

また、図-1(b)のタイプについては、 $\alpha$ が大きくなる  
としたいに応答変位が一方にずれて、ついには変位が発  
散する。たとえば、図-3には軸力を12000<sup>t</sup>とし、 $\alpha$   
を900<sup>gal</sup>とした場合の節点Aの応答変位と基部断面(  
section 1)および節点Aの断面(section 7)の塑性域の  
ひろがりの関係を示す。モデルは座屈崩壊したと考えら  
れる。そこでこのように残留変形を示し、さらに応答変  
位が発散傾向を示す際の $\alpha$ と軸力の大きさととの関係を図  
-4に示す。モデルに作用する軸力が大きくなると、小  
さい $\alpha$ で残留変形あるいは座屈崩壊  
現象を示すことがわかる。

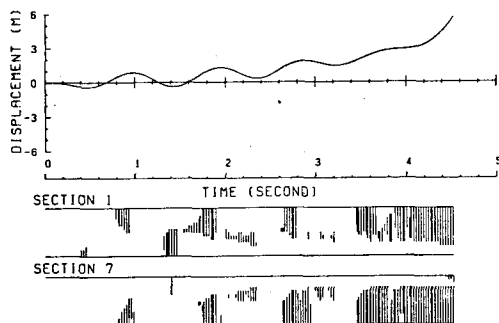


図-3

次に、軸力の大きさと $\alpha$ を一定に  
して、式(1)の $\omega$ を変えた場合につ  
いて調べた。 $\omega$ を変えると座屈崩壊す  
るまでの時刻 $t$ が変化する。図-5  
に、軸力の大きさを12000<sup>t</sup>、 $\alpha$ を  
700, 800<sup>gal</sup>とした場合の外力の  
変動周期 $T$ と崩壊するまでの時刻 $t$   
の関係を示す。 $T$ と線形系での1次  
固有周期 $T_0$ より20%ほど長くする  
と、時刻 $t$ が最も小さい値でモデル  
は崩壊することがわかる。これは軸

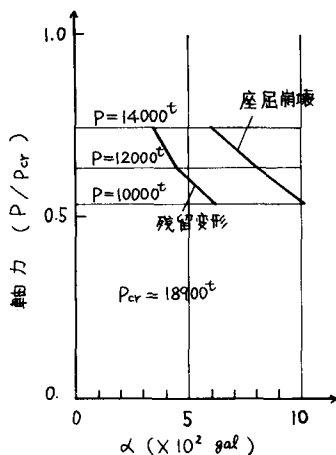


図-4

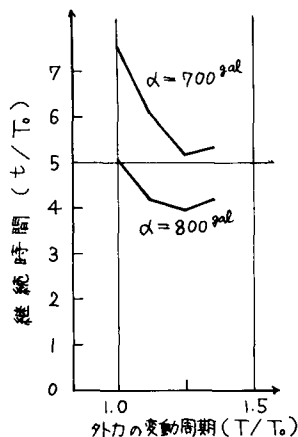


図-5

力の影響と、大きな非線形性の影響によって、モデルの固有周期が延びたためと考えられる。

次に、動的外力としてエルセントロ地震波(最大入力加速度345<sup>gal</sup>)を用いた場合について調べた。図-1  
(b)の解析モデルに対し、軸力の大きさを10000<sup>t</sup>とし、この外力を作用させると、変形量も小さく(最大変位  
0.25<sup>m</sup>)、応力的にも降伏応力に比較してかなり小さかった。そこで、この地震波に倍率を掛けて大きくする。  
倍率を12(最大入力加速度4140<sup>gal</sup>)を作用させると、モデルは座屈崩壊する。また軸力の大きさを12000<sup>t</sup>  
とすると、倍率10(最大入力加速度3450<sup>gal</sup>)を作用させると、モデルは崩壊する。これからわかるように、  
最大入力加速度をみてもかなり大きな値にならないとモデルは崩壊しなかった。

このモデルに $1/1000$ の元たわみを与えて、静的に座屈崩壊荷重を求めると、約18900<sup>t</sup>となった。これが  
動的影響によってどのくらい崩壊荷重が低下するかを調べるために、 $1/1000$ の元たわみを与え、エルセントロ  
地震(倍率1)を作用させた場合、軸力の大きさが17000<sup>t</sup>(静的崩壊荷重の0.90)ではモデルは座屈崩壊  
しないが、軸力の大きさが17500<sup>t</sup>(静的崩壊荷重の0.93)では、モデルは座屈崩壊した。つまりエルセント  
ロ地震の動的影響によって、モデルの耐荷力が10%ほど低下したことがわかる。

#### 参考文献

- i) 倉面、津村「構造物の動的安定性についての数値解析による一考察」、土木学会33回年次学術講演会概要集
- ii) 倉面、盛川「吊橋主塔の耐震性についての二、三の考察」、土木学会34回年次学術講演会概要集