

I - 450

アーチリブの動的耐荷力特性について

大分県庁 正員 首藤和久
 琉球大学 正員 矢吹哲哉
 琉球大学 正員 有住康則

1. まえがき

近年、構造物の大型化、長大化により動的荷重を受ける構造物の終局強度設計が重視されている。この種の設計を行なうためにはまず、構造物の動的耐荷力を明らかにしなければならない。特に、長大アーチリブの様に、空間に突出した細長い曲線部材に高軸圧縮力が作用する構造要素の場合、その耐荷力に与える影響は、立体的挙動のもとでの配慮が必要と思われる¹⁾。そこで本研究は、アーチリブ部材が、動的影響として最も厳しい周期性加速度を受ける場合の耐荷力特性を、材料及び幾何学的の三次元非線形性状を考慮して、崩壊に至るまでの立体動的応答を数値解析で検討することにより、その一端を明らかにしようとするものである。

2. 解析方法

本解析は、非線形有限要素法に基づいた運動方程式を荷重増分法により求める。動的な系の質量に作用する全ての内力及び外力の釣り合いより、運動方程式(1)が求められる。

$$[M]\{\ddot{\Delta D}\} + [K_n]\{\Delta D\} = \{\Delta F\} + \{F_n\} - \{R_n\} - \{I_n\} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$ ：節点集中質量マトリックス、 $[K_n]$ ：接線剛性係数マトリックス、 $\{\Delta F\}$ ：動的な外乱増分、 $\{F_n\}$ 、 $\{R_n\}$ 、 $\{I_n\}$ ： n 段階における動的な外乱、内力及び慣性力である。速度項、加速度項は線形加速度法を適用する事により求め、慣性力の補間はNewmark β 法を採用する事により行った。材料非線形挙動はVon-Misesの降伏条件及びPrandtl-Reussの塑性流れ理論に従うものとする。また微小増分内における線形仮定より、変形後に生じる残差不平衡力 $\{\Delta\Omega\}$ は式(2)となる。

$$\{\Delta\Omega\} = \{\Delta F\} - \{\Delta R\} - \{\Delta I\} \quad (2)$$

この残差不平衡力はNewton-Raphson法による逐次収束計算で、図-2 $\sigma - \epsilon$ 相関関係図 図-3 アーチリブの断面形状 収束条件を0.5%として処理した。

可とう構造系の崩壊に至るまでの振動応答は、一般に非線形振動系、つまり弾塑性応答を示す。そこで本解析では、この弾塑性応答を平面解析及び立体解析についてそれぞれ図-1及び図-2に示した非線形モデルを用いて行う。図-1は変位-復元力関係図であるが、これを、ひずみ-応力関係図に置き換えることにより同様に評価出来る。図-2は垂直応力度-せん断応力度関係図である。系は、それぞれ図-1及び図-2の矢印で示したような応答を履歴して行く。

アーチは放物線形状の2ヒンジアーチリブとする。また、アーチリブの断面形状を図-3に示す。面内加振の場合は、基準断面フランジ及びウェブを $\alpha = \beta$ 倍して着目 λ_{in} を確保した。面外加振の場合は、 α, β 倍することにより λ_{in} を一定に対する着目 λ_{out} を確保した。次に、アーチリブへの載荷方法として図-4に示したように、静的鉛直荷重が載荷した状態で(A)面内の水平方向加振、(B)面内の鉛直方向加振、(C)面外の水平方向加振を受ける3ケースについて

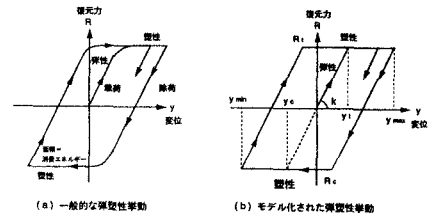


図-1 面内弾塑性応答モデル

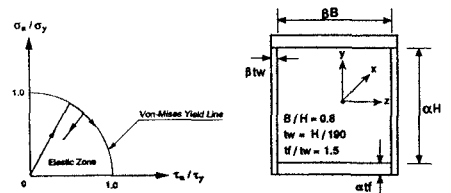
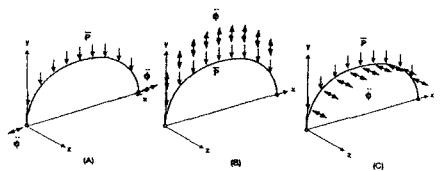
図-2 $\sigma - \epsilon$ 相関関係図 図-3 アーチリブの断面形状

図-4 アーチリブの載荷方法

表-1 解析パラメータ

鉛直荷重パラメータ α $\alpha = \frac{P}{P_{cr}}$	Case - A 0.1, 0.15, 0.2 Case - B 0.5, 0.7, 0.9 Case - C 0.3, 0.5, 0.7
加速度パラメータ z $z = \frac{\ddot{Q}}{g} \quad f = m\phi$	0.2, 0.4, 0.6, 0.8
細長比 λ $\lambda = \frac{L}{\sqrt{I}}$	100, 150, 200, 250, 300
$g = 980 \text{ cm/s}^2, \quad \sigma_y = 3,200 \text{ kgf/cm}^2, \quad E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$	

表-1に示すパラメーターの範囲で解析を行う。

構造系に作用する静的荷重及び動的な外乱を式（3）、（4）に示す。

$$t = 0 : \bar{P} = \alpha P_{cr} \quad (\text{静的荷重}) \quad (3)$$

$$t > 0 : F(t) = z \cdot m \cdot g \cdot \sin(\omega t) \quad (\text{動的な外乱}) \quad (4)$$

ここで、 α : 静的荷重パラメーター、 P_{cr} : 基準強度、 z : 加速度パラメーター、 m : 質量、 g : 重力加速度、 ω : 部材の固有円振動数である。また質量は、Case (A), (B)については静的荷重を換算した値を、Case (C)については部材の自重を用いる。

3. 動的耐荷力特性

(1) 静的荷重が部材の固有円振動数へ与える影響を検討した結果を図-5に示す。図より、 α が大きくなるほど、また細長比が大きくなるほど固有円振動数は低下していく。

(2) 面内の水平方向加振に対する動的耐荷力と細長比の相関関係を、 α を変化させて図-6に示す。図より、細長比が小さくなるほど動的耐荷力は増加していき、その増加傾向は α が小さいほど大きい。また解析の結果、ライズスパン比 R/L が大きくなるほど動的耐荷力は低下していく傾向を把握した。(3) 面内の水平方向加振に対する動的耐荷力と細長比の相関関係を、 z を変化させて図-7に示す。図より、細長比が大きくなるほど、また z が大きくなるほど動的耐荷力は減少していく。更に、 R/L の増加に伴い動的耐荷力は低下する傾向を示した。(4) 面外の水平方向加振に対する動的耐荷力と細長比の相関関係を、 α を変化させて図-8に示す。図より、動的耐荷力は面外細長比が小さくなるにつれ増加していく。また、 R/L が大きくなるほど動的耐荷力は低下していく。(5) 面外の水平方向加振に対する動的耐荷力と細長比の相関関係を、 z を変化させて図-9に示す。図より、細長比が増加するほど、また R/L が大きくなるほど動的耐荷力は低下するという結果が得られた。

4. 結論

- (1) 面外耐荷力は、面内耐荷力より低い値となる。
 - (2) 一定鉛直荷重下での動的耐荷力は、細長比が大きくなるにつれ、面内水平及び面外水平方向加振の場合は減少していく。但し、面内鉛直方向加振の場合は増加していく。この特性は、質量の差異によるものと思われる。
 - (3) 一定加振下での動的耐荷力は、細長比が大きくなるほど低下していく。
 - (4) 動的耐荷力は、 R/L の増加に伴い、面内水平及び面外水平方向加振の場合低下していき、面内鉛直方向加振の場合増加する。
- 今後は、構造物全体に対する動的耐荷力特性の検討や振動台を用いた模型実験による検討も必要とされよう。

参考文献

- 1) 倉西 茂, 矢吹 哲哉: 土木学会論文報告集, 第305号、2) 西野 文雄編: 鋼構造設計指針, 日本土木学会, 1987、3) Popov, E.p. and. Black, R.G.: Proc. of ASCE, Vol.107、その他

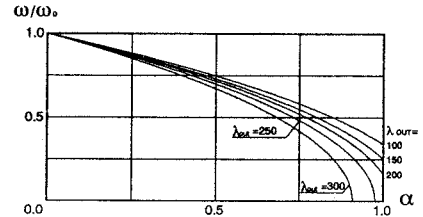


図-5 静的荷重の固有円振動数への影響 (Case - C, $\lambda_{in}=100$)

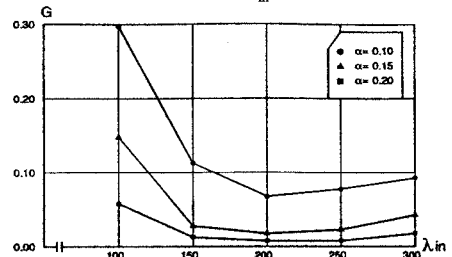


図-6 動的耐荷力と細長比の相関関係 (Case - A, $R/L=0.15$, パラメーター α の場合)

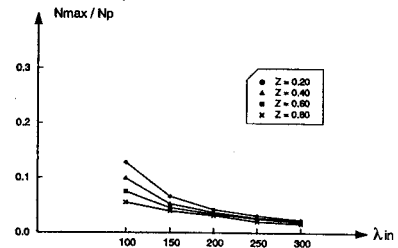


図-7 動的耐荷力と細長比の相関関係 (Case - A, $R/L=0.15$, パラメーター z の場合)

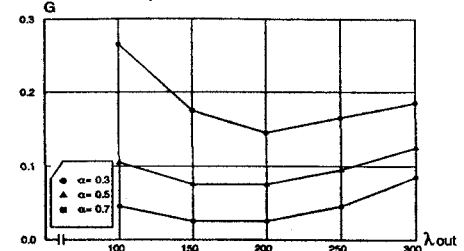


図-8 動的耐荷力と細長比の相関関係 ($\lambda_{in}=100$) (Case - C, $R/L=0.15$, パラメーター α の場合)

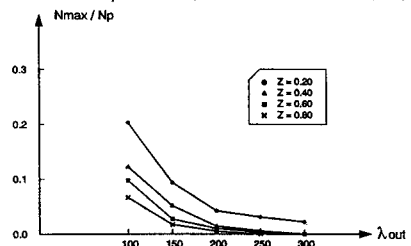


図-9 動的耐荷力と細長比の相関関係 ($\lambda_{in}=100$) (Case - C, $R/L=0.15$, パラメーター z の場合)