

鋼アーチの動的耐荷力特性について

琉球大学 学生員 田口直久
 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。得に、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だと思われる。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。また、上路式補剛桁鋼アーチ橋について1例を数値解析で検討している。

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数値解析を行う。動的な系の質量に作用する内力及び外力の釣合いより、運動方程式(1)が求められる。

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

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、 $\{\Delta F\}$ ：動的外乱増分、 $\{F_n\}$ 、 $\{R_n\}$ 、 $\{I_n\}$ ：n段階における動的外乱、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、収束条件を0.5%として処理した。

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。

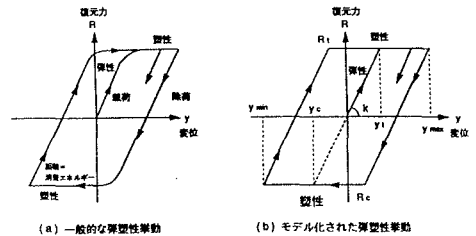


図-1 面内弾塑性応答モデル

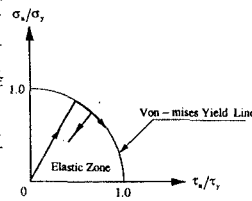


図-2 相関関係図

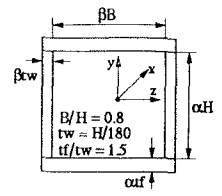


図-3 断面形状

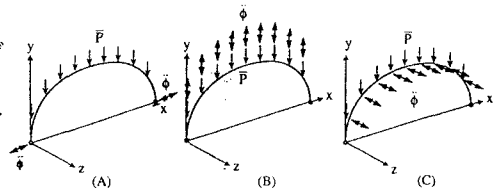


図-4 アーチリブの載荷方法

3. アーチリブの動的耐荷力特性

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。アーチリブへの載荷方法として図-4に示したように、静的鉛直荷重を載荷した状態で(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外乱を式(3)、(4)に示す。

表-1 解析パラメーター

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 $z = \frac{\ddot{u}}{g}, f = m\ddot{\phi}$	0.2, 0.4, 0.6, 0.8
細長比 λ $\lambda = \sqrt{\frac{A}{I}}$	100, 150, 200, 250, 300
$g = 980 \text{ cm/s}^2, \sigma_y = 3,200 \text{ kgf/cm}^2, E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$	

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

$$F(t) = z \cdot m \cdot g \cdot \sin(\omega t) \quad (\text{動的外乱}) \quad (4)$$

ここで、 α ：静的荷重パラメーター、 P_{α} ：基準強度

z ：加速度パラメーター

ω ：静的耐荷力を受ける部材の固有円振動数

m ：質量、 g ：重力加速度

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。

(1) 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-5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。

(2) 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-6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. 補剛アーチ橋の一例

補剛アーチ橋の一例として、支間長50m、幅員2.5mを有する上路形式の歩道橋モデル設計例を選び、活荷重が作用していない場合の動的面内終局状態を検討した。動的外乱として、径間に沿って鉛直方向の周期性加速度を受ける場合及び水平方向に周期性加速度を受ける場合について、それぞれ検討した。外乱周期は、対応する本アーチ橋の固有周期とした。表-2に解析で得られた崩壊加速度を示す。

また、図-7に振動モードを示す。鉛直方向加振を受けた場合、本橋は外乱加速度1.938で崩壊し、水平方向加振の崩壊加速度はその0.29倍となる。

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

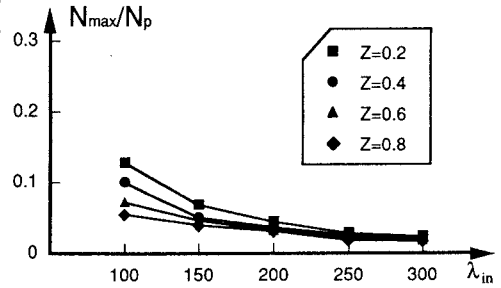


図-5 動的耐荷力と細長比の相関関係
(Case-A, $R/L = 0.15$, パラメーターZの場合)

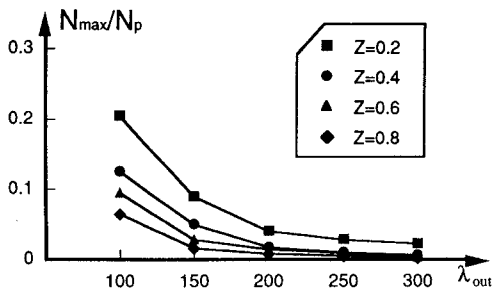


図-6 動的耐荷力と細長比の相関関係 ($\lambda_{in} = 100$)
(Case-C, $R/L = 0.15$, パラメーターZの場合)

表-2 解析結果

加振方向	崩壊加速度
鉛直	1.938
水平	0.563

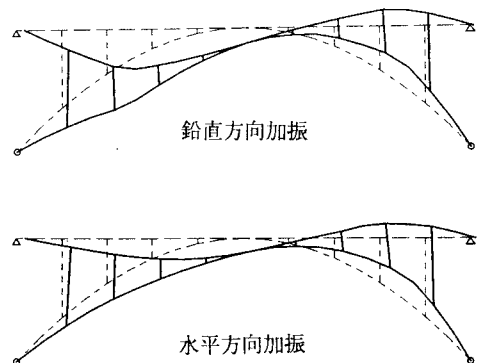


図-7 振動モード