

I-283

鋼アーチの動的耐荷力特性について

(株) ビー・エス 正 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先ず、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したものである。また、上路式補剛鋼アーチ橋について一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。

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

ここで、 $[M]$ ：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

$\{F_n\}$ ：n段階における動的な外乱

$\{R_n\}, \{I_n\}$ ：n段階における内力及び慣性力

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。

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。断面形状を図-3に示す。アーチリブへの荷重方法として図-4に示したように、静的鉛直荷重を荷重した状態で (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。

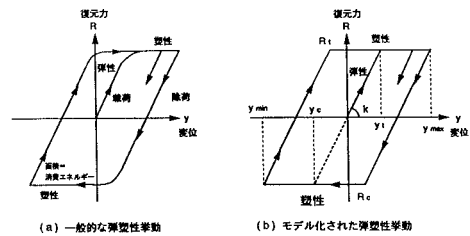


図-1 面内弾塑性応答モデル

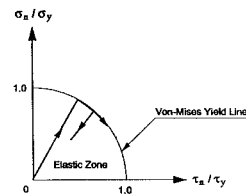


図-2 垂直応力度-せん断応力度関係図

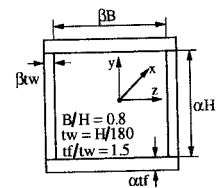


図-3 断面形状

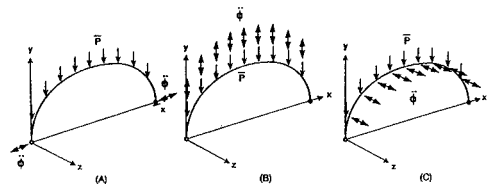


図-4 アーチリブの荷重方法

表-1 解析パラメーター

鉛直荷重パラメータ α $\alpha = \frac{F}{P_{cr}}$	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 $z = \frac{a}{g}, f = m\phi$	0.2, 0.4, 0.6, 0.8
細長比 λ $\lambda = L\sqrt{\frac{A}{I}}$	100, 150, 200, 250, 300
$g = 980 \text{ cm/s}^2, \sigma_y = 3,200 \text{ kgf/cm}^2, E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$	

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

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

ここで、 α ：静的荷重パラメーター、 P_a ：基準強度

z ：加速度パラメーター

ω ：静的耐力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力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力力は減少していく。更に、 R/L の増加に伴い動的耐力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力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力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1.95Gで崩壊し、水平方向加振の崩壊加速度はそれの約0.4倍となる。

本論文では、面内のみ解析しているが、現在面外についても解析しており、その結果については、講演当日に報告する予定である。

5. 結論

- (1) 面外耐力力は、面内耐力力より低い値となる。
- (2) 一定鉛直荷重下での動的耐力力は、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力力は、細長比が大きくなるほど低下していく。
- (4) 補剛アーチ橋の一例として、本橋は外乱加速度1.95Gで崩壊し、水平方向加振の崩壊加速度はそれの約0.4倍となる。

今後は、アーチ橋構造の動的耐力力に影響を及ぼす主要因を見だし、その結果に基づいた設計指針の提案や超高出力の振動台を用いた模型実験も必要とされよう。

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：鋼アーチ橋の極限強度に及ぼす横構剛性の影響について，土木学会論文報告集，第305号、
- 3) Popov,Eq.and.Black,R.G.: Proc.of.ASCE,Vol.107、その他

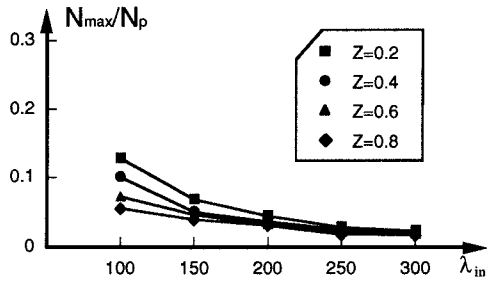


図-5 動的耐力力と細長比の相関関係 (Case-A, $R/L=0.15$, パラメーターZの場合)

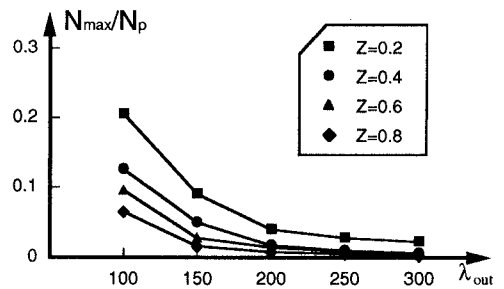


図-6 動的耐力力と細長比の相関関係 ($\lambda_{in}=100$) (Case-C, $R/L=0.15$, パラメーターZの場合)

表-2 解析結果

加振方向	崩壊加速度
鉛直	1.950 [G]
水平	0.775 [G]

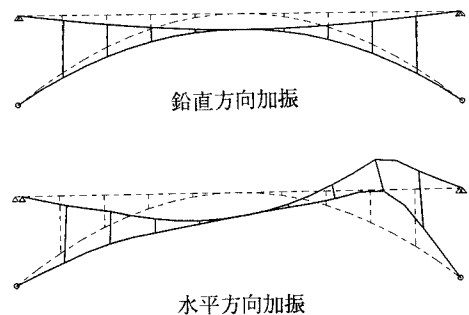


図-7 振動モード