プレストレストタイドアーチの非線形解析

長崎大学　工学部　学生員　○小林　康晃
長崎大学　工学部　正　員　松田　浩
九州工業大学　工学部　正　員　出光　隆
長崎大学　工学部　正　員　森田　千尋

1．まえがき

2ヒンジ及び固定アーチは、載荷による水平方向支持力は支点のみで負担するが、タイドアーチは、タイ部でも軸力を負担し、内的に水平方向力を支持することができる自定式構造となる。本研究は、このようなタイドアーチ構造の特長に着目し、タイドアーチにプレストレスを導入した構造の可能性について考究したものである。今回、タイドアーチ構造の座屈現象、プレストレスの効果、変形制御の可能性を調べるために、幾何学的非線形解析を行ったものを報告する。

2．解析方法

本解析は、タイドアーチの幾何学的非線形解析を、離散的一般解法に基づいて行った。

まず、アーチ部材の微小要素の変形後の状態におけるつり合いを考えた有限変形平衡方程式を誘導し、それらの方程式の応用により、次に示すような増分形平衡方程式を得る。

$$\frac{d\Delta Q}{ds} + \frac{\Delta N}{R} + N\frac{d\Delta\theta}{ds} - q\Delta\theta + \Delta p + \Delta p_c = 0 \qquad (1-1)$$

$$\frac{d\Delta N}{ds} - \frac{\Delta Q}{R} - Q\frac{d\Delta\theta}{ds} - p\Delta\theta + \Delta q + \Delta q_c = 0 \qquad (1-2)$$

$$\frac{d\Delta M}{ds} - \Delta Q - Q\Delta\varepsilon - \Delta m - \Delta m_c = 0 \qquad (1-3)$$

$$\Delta p_c = \Delta N\frac{d\Delta\theta}{ds} - \Delta q\Delta\theta + (p+\Delta p)(\cos\Delta\theta - 1) - (q+\Delta q)(\sin\Delta\theta - \Delta\theta)$$

$$\Delta q_c = -\Delta Q\frac{d\Delta\theta}{ds} - \Delta p\Delta\theta + (p+\Delta p)(\sin\Delta\theta - \Delta\theta) + (q+\Delta q)(\cos\Delta\theta - 1)$$

$$\Delta m_c = \Delta Q\Delta\varepsilon$$

ここで、ΔQ，ΔN，ΔM は、増分荷重 Δp，Δq，Δm に対する断面力であり、Δp_c，Δq_c，Δm_c は、各増分段階における不平衡力の項である。また、R はアーチの微小部分を、十分な精度での円弧とみなしたときの曲率半径である。

次に、考慮すべき断面力と変形との関係を示す。

$$\Delta Q = \frac{GA}{\kappa}\left(\frac{d\Delta u}{ds} + \frac{\Delta w}{R} - \Delta\theta\right) \qquad (2-1)$$

$$\Delta N = EA\left(\frac{d\Delta w}{ds} - \frac{\Delta u}{R} + \varepsilon_{pr}\right) \qquad (2-2)$$

$$\Delta M = -EI\frac{d\Delta\theta}{ds} \qquad (2-3)$$

Δw，Δu はそれぞれアーチ軸接線方向変位、法線方向変位であり、κ，G はそれぞれせん断補正係数、せん断弾性係数である。また、ε_{pr} はプレストレスによる初期ひずみである。

以上に示した方程式を、両辺積分し、それによって求まる積分方程式を、Simpsonの多分割数値積分法を用

いて近似積分を行う。その結果、次に示す形式に基づいて、各分割点での断面力を算出する。

$$X_{pi} = \sum_{d=1}^{6} a_{pid} X_{d0} + g_{pi} \tag{3}$$

$$X_{1i} = \Delta Q\ ,\ X_{2i} = \Delta N\ ,\ X_{3i} = \Delta M\ ,\ X_{4i} = \Delta\theta\ ,\ X_{5i} = \Delta w\ ,\ X_{6i} = \Delta u$$

また、式（３）の導入過程については、文献1)を参照されたい。

３．解析結果

数値解析例として、アーチ部材の形状は放物線の単純支持されたタイドアーチに、デッキ荷重を全載荷する場合の幾何学的非線形解析を行った。まず、ライズスパン比f/L=0.03, 0.05のタイドアーチに対して、アーチリブとタイ部の剛性比（α=1.0,0.8,0.6,0.4）をパラメータとして解析した結果を図１に示す。タイの剛性が大きくなれば、限界座屈荷重は低下している（f/L=0.05, α=0.4 を除く）が、この結果は PICタイドアーチの実験結果[2]と同様な結果を示している。次に、ライズスパン比f/L=0.05の場合（α=1.0）に対して、無次元プレストレス量（β=0.0,0.5,1.0,2.0）を変化させた解析結果を図２に示す。同図より、f/L=0.05では、プレストレスを導入することにより、限界座屈荷重値が顕著に増大しているが、f/L=0.03では、プレストレスの効果は微妙であると思われる。

なお、グラフ中の諸量はすべて次のような無次元量であり、添字 aはアーチ部材 tはタイ部を表す。

$$P=\frac{pL^3}{E_aI_a+E_tI_t}\ ,\ y=\frac{\delta}{L}\ ,\ \alpha=\frac{E_tI_t}{E_aI_a}=\frac{E_tA_t}{E_aA_a}\ ,\ \beta=-\frac{P_{pr}L^2}{E_aI_a+E_tI_t}$$

p ：荷重、 δ ：アーチクラウンの鉛直方向変位、 P_{pr} ：プレストレス荷重、 L ：支間

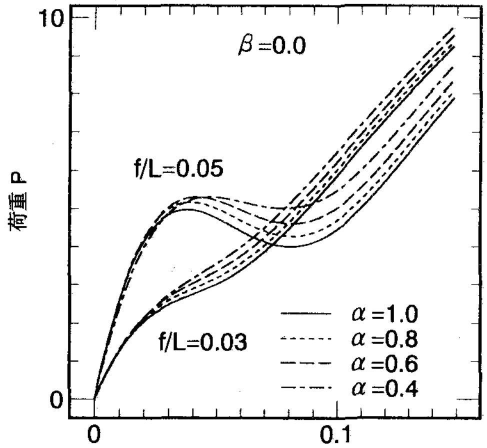

図１　P-y曲線（α変化）

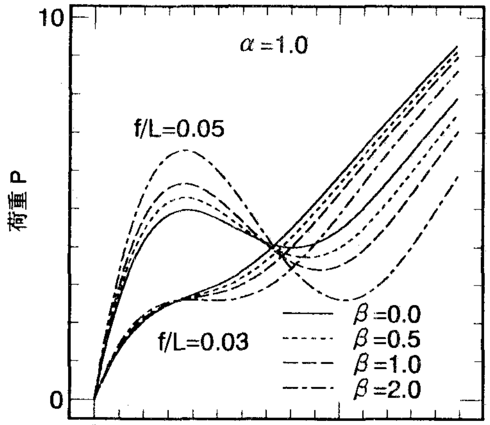

図２　P-y曲線（β変化）

本文では、デッキ荷重全載荷による幾何学的非線形解析のみを行っているが、アーチ構造は偏載荷に対して不利なこと、さらに、プレストレスの導入によりアーチリブに圧縮力が作用するため、座屈耐力が減ずることが予想される。したがって、半載荷及び材料非線形を含めた解析を行なわなければならないが、現在数値解析を実行中であるので、その結果は講演当日に発表を予定している。最後に、この研究をするにあたり御助言頂いた九州工大の税田氏、久寿米木氏、長崎大の相場氏、浦川氏に謝意を表します。

［参考文献］

１）崎山毅：変断面任意形アーチの幾何学的非線形性解析、土木学会論文集、第289号,1979
２）松田他：高耐久性PIC版を用いたアーチの構造特性に関する基礎的研究、構造工学論集、Vol.39A,1993