土木学会西部支部研究発表会(1995.3)

プレストレスト補剛アーチ系構造の耐荷力解析

長崎大学　工学部　学生員　○相場　健一
長崎大学　工学部　正　員　松田　浩
長崎大学　工学部　正　員　崎山　毅
長崎大学　工学部　正　員　森田　千尋
長崎大学　工学部　学生員　小林　康晃

1.はじめに

2ヒンジや固定の支持条件を有する鋼アーチに関しては、これまでに数多くの研究成果が報告されているが、アーチ部材とタイ材からなるタイドアーチ形式の構造についての報告は、まだ数少ないようである。本報告は、鋼アーチと、緊張材が鋼あるいはCFRPなどの新素材からなるタイドアーチ構造の耐荷力特性について考察したものである。このような《ケーブル＋鋼》の混合構造は、補強に対する一基本的方法であり、ケーブル構造の使用は、ケーブルを緊張することにより構造系に容易にプレストレスを導入することができる。また、これによりアーチのライズスパン比が増すので変形量が小さくなり、たわみ制御でも有効になると考えられる。

以上に鑑み、本研究は、タイドアーチのライズスパン比、アーチリブとタイの剛性比、細長比、およびプレストレス量をパラメータとし弾塑性有限変位解析を行い、各諸量が耐荷力に及ぼす影響について調べることを目的としている。

2.解析方法

本解析では、タイドアーチの複合非線形解析を離散的一般解法[1]に基づいて行った。載荷変形状態にあるアーチ微小要素の有限変形平衡方程式を応用することにより、次のような増分形平衡方程式が得られる。

$$\left\{\begin{aligned}
&\frac{d\Delta Q}{ds}+\frac{\Delta N}{R}+N\Delta\kappa-q\Delta\theta+(\Delta p+\Delta p_c)=0 && (1\text{-}1)\\
&\frac{d\Delta N}{ds}-\frac{\Delta Q}{R}-Q\Delta\kappa+p\Delta\theta+(\Delta q+\Delta q_c)=0 && (1\text{-}2)\\
&\frac{d\Delta M}{ds}-\Delta Q-Q\Delta\varepsilon_0-(\Delta m+\Delta m_c)=0 && (1\text{-}3)
\end{aligned}\right.$$

$$\Delta p_c=\Delta N\Delta\kappa-\Delta q\Delta\theta+(p+\Delta p)(\cos\Delta\theta-1)-(q+\Delta q)(\sin\Delta\theta-\Delta\theta)$$

$$\Delta q_c=-\Delta Q\Delta\kappa+\Delta p\Delta\theta+(p+\Delta p)(\sin\Delta\theta-\Delta\theta)+(q+\Delta q)(\cos\Delta\theta-1)$$

$$\Delta m_c=\Delta Q\Delta\varepsilon_0$$

ここで、ΔQ, ΔN, ΔM は増分荷重Δp, Δq, Δm に対する断面力の増分量であり、Δp_c, Δq_c, Δm_c は各荷重増分段階における不平衡力の項である。R は、アーチの微小要素を十分な精度で円弧とみなしたときの曲率半径である。また、材料非線形性を考慮した断面力増分の関係式は、

$$\Delta N=\Delta\varepsilon_0 EA\beta+\Delta\kappa EI\gamma\frac{1}{L}\qquad\qquad \Delta M=-\Delta\varepsilon_0 EI\gamma\frac{1}{L}-\Delta\kappa EI\alpha$$

となり、変位増分の関係式は、

$$\Delta\kappa=\frac{d\Delta\theta}{ds}\quad(1\text{-}4)\qquad \Delta\varepsilon_0=\frac{d\Delta w}{ds}-\frac{\Delta u}{R}\quad(1\text{-}5)\qquad \Delta\theta=\frac{d\Delta u}{ds}+\frac{\Delta w}{R}\quad(1\text{-}6)$$

となる。ここで、Δw, Δu は、アーチ軸接線方向変位および法線方向変位であり、$\Delta\varepsilon_0$, $\Delta\kappa$ は、それぞれ図心軸のひずみ増分と曲率変化である。また、α, β は断面内の塑性域の進展に伴う曲げ剛性と伸び剛性の低下率、γ は塑性域の進展に伴って生じる断面一次モーメントに関する無次元量である。

式(1-1)～(1-6)の両辺を積分し、等間隔数値積分法の応用によりその積分方程式を離散表示すれば、

$$X_{pi} = \sum_{d=1}^{6} a_{pid} X_{d0} + q_{pi} \tag{2}$$

となり、各分割点での断面力および変形を導出できる。式(2)の誘導に関しての詳細は、文献1)を参照。

3. 解析結果

数値解析例として円管断面を有する放物線アーチに対して複合非線形解析を行った。ライズスパン比0.05, 0.10、細長比 100, 150、アーチリブとタイの伸び剛性比k（0.05, 0.1）をパラメータに、集中荷重、満載分布荷重、および、半載分布荷重を載荷したときの荷重-たわみ曲線をそれぞれ図１～図３に示す。ここで、kは、タイの伸び剛性をアーチの伸び剛性で除したものである。図からどの荷重条件に対しても、伸び剛性比kの値が大きくなれば座屈荷重は大きくなり、初期降伏荷重も上がる。しかし、初期降伏が生じるたわみ量は減少している。この傾向は集中荷重の場合と半載分布荷重の場合に顕著に現れている。このことより、伸び剛性比kが構造系のたわみや座屈荷重に大きく関わっているものと思われる。また、細長比を小さくするとkの値にはあまり影響しなくなり、座屈荷重は細長比150のものよりも小さくなる解析結果が得られた。これは２ヒンジアーチの場合と同様である。本文では、荷重条件を変えた複合非線形解析のみを行っているが、プレストレスを導入した解析も現在行っているので、その結果については、講演当日に報告する予定である。

最後に、本研究はトステム建材産業振興財団、文部省科研費奨励(A)の補助を受けて行ったものである。ここに、記して謝意を表します。

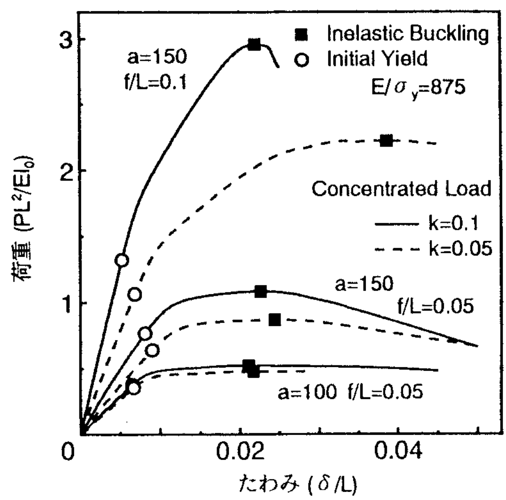

図１　荷重ーたわみ曲線

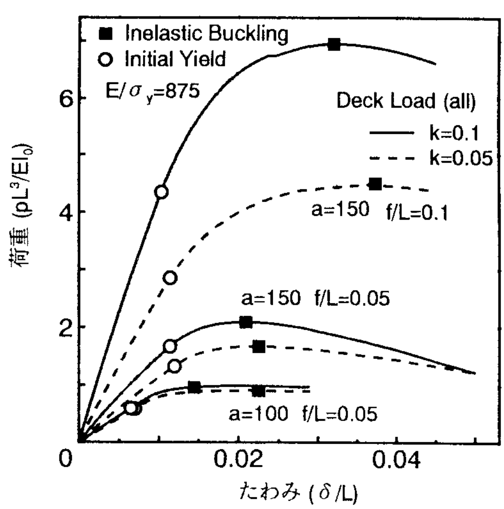

図２　荷重ーたわみ曲線

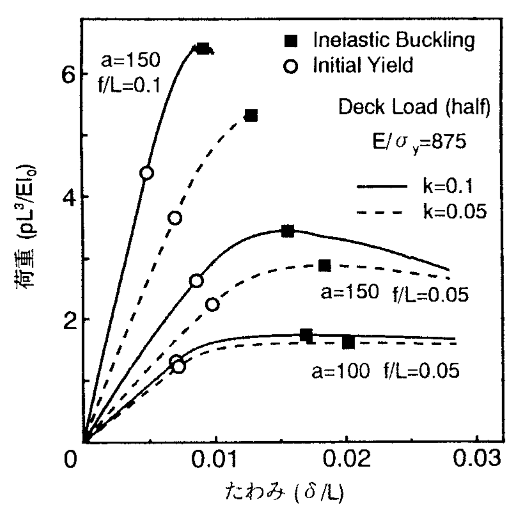

図３　荷重ーたわみ曲線

［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