

アーチ状二次元張弦梁の形状解析および剛性に関する数値的考察

建築都市デザイン学科 2280070024-1 木田良輔
(指導教員 張景耀)

1. はじめに

張弦梁構造に対する原理や理念は、必ずしも一つに定まっていなかったのが現状であり、その見解は様々である。一般に、「曲げ剛性を持った圧縮材(Beam)と引張材(string)とが束材を介して結合された混合構造」と定義され、Beam String Structure を BSS と略称する。BSS は、形態抵抗構造あるいは、ハイブリッド張力構造に属するものとして位置付けられる。

ケーブルやロッドといった優れたテンション材をより有効に利用したいという発想がその根底にある。さらに、トータルな意味での構造的合理性や空間構成に対する新しい魅力を獲得するのではないかと期待と実感がその理由の第一と考えられる。

アーチ状二次元張弦梁(ASS)を、有限要素法を用いて形状解析を行なう。アーチとタイバー付アーチの比較。そして、ひずみエネルギー、剛性に関する数値的考察をケーブル(タイバー)に張力(PS)導入前と張力(PS)導入後について比較し、string の効果を如実にする。

2. 概要

本研究では、張弦梁を、梁要素を用いた有限要素法で解析する。

1)有限要素法

有限要素法では、構造物を要素に分解し、要素の節点での変形量や荷重を未知数として解析を行う。要素内での荷重や変形は、すべて節点での値に置き換える(近似する)。

2)梁要素

有限要素法においては、外力も境界条件も節点において考える。もちろん分布荷重は考慮できるが、要素上の分布荷重は、節点への等価な集中荷重として置き換える。梁の曲げ方程式において分布荷重なしとし

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} = 0$$

を出発式として計算する。結果、

$$\{F\} = [K]\{\delta\}$$

と表示して剛性方程式と呼び、[K]を剛性行列という。分布荷重がなければこれが厳密解である。したがって、

分布荷重のない様な梁の場合、いくら長くても要素分割は一つでよい。分布荷重がある場合、一つの梁をいくつかの要素に分割して、分布荷重を等価な集中荷重に置き換える。

3) 数値解析

有限要素法を用いて数値解析を行う。

・条件

$$\text{梁: } E = 2.05 \times 10^8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$A = 2.4 \text{ (m}^2\text{)}$$

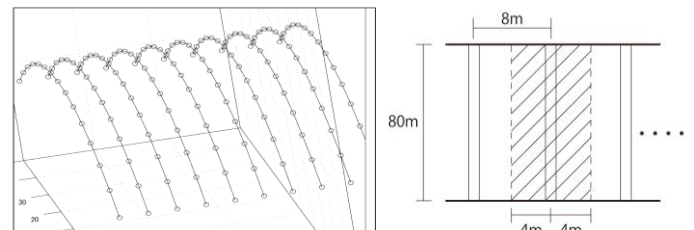
$$I = 0.8 \text{ (m}^4\text{)} I = 0.8 \text{ (m}^4\text{)}$$

$$\text{String: } E = 1.7 \times 10^6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$A = 0.001 \text{ (m}^2\text{)}$$

アーチのスパンを 80m、半開角を $\pi/9$ 、一つの平面架構が負担する桁行幅を 8m と仮定し 1kN/m² を与える。

節点荷重数: 15 とする。



荷重(全節点)と荷重(半分)について、数値解析を行う。荷重(半分)は積雪荷重を考慮した場合における荷重であり、

S : 積雪荷重[N/m²] D : 垂直積雪荷重[m]

S_u : 単位荷重[N/m³] μ_b : 屋根形状係数

$$S = DS_u \mu_b$$

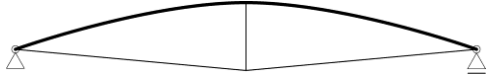
で、与えられる。

また、アーチ、タイ付きアーチ、ASS(張弦アーチ)について比較を行う。

・タイ付きアーチ



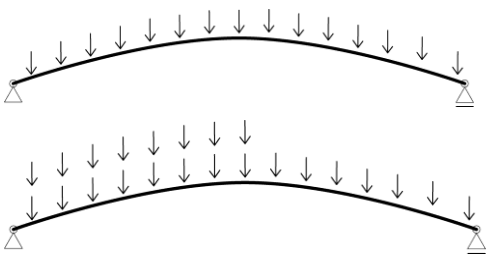
・ASS(張弦アーチ)



3. 結果

1)張力(PS)導入前

積雪荷重について、アーチの数値解析を行った。



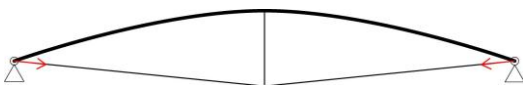
アーチ	荷重(全節点)	荷重(半分)
ひずみ E ($kN \cdot m$)	4.561	5.935

次に、
アーチ、タイ付アーチ、ASS について比較する。

	変位(中心)	ひずみ E
アーチ	-0.0241	4,561
タイ付きアーチ	-0.0242	4,562
ASS	-0.023816	4.5019035249

2)張力(PS)導入後

ASS に張力を導入する。



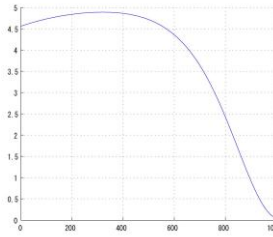
図は張力を 1-1000kN まで変化させたときのひずみエネルギーと変位(中心点)である。400kN を境にエネルギーは減少に向かっている。

また、タイバー付アーチより ASS の方がひずみエネルギーの減少が早いことがわかる。

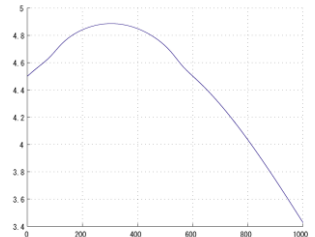
ひずみエネルギーが小さいほど曲げ剛性が強くなる。

・ひずみ E-PS

タイバー付アーチ

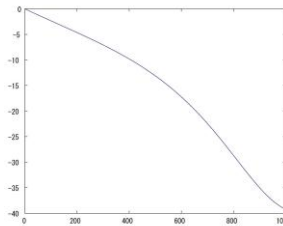


ASS

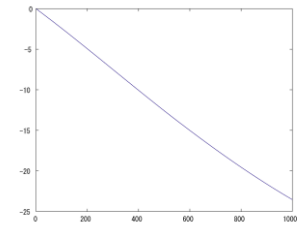


・変位(中心)-PS

タイバー付アーチ



ASS



4. まとめ

アーチの荷重(全節点) に積雪荷重を加えた場合のひずみエネルギーがわかった。

アーチ、タイ付アーチ、ASS について比較すると、ASS が最も耐力がある。

また、PS 導入において、最適な剛性を持つ場合が存在することが如実になった。

・今後の課題

より複雑な形の形状解析を行う。

構造性能が最適な設計を目指す。

参考文献

- 1) 小松敬治『機械構造振動学 MATLAB による有限要素法と応答解析』森北出版 2009 年
- 2) 和田章 古谷勉『基礎シリーズ 最新建築構造設計入門新訂版-力学から設計まで-』実教出版 2004 年
- 3) 斉藤公男『空間構造物語 ストラクチャル・デザインのゆくえ』彰国社刊 2003 年
- 4) 斉藤公男『張弦梁構造 string の思想』建築雑誌 Vol.105, No.1301 1990 年 7 月号)
- 5) 邵 長城『基本からわかる有限要素法 FEM』森北出版 2008 年
- 6) 『ケーブル構造設計指針・同解説』日本建築学会 1994 年
- 7) 張景耀 他『高次モードを考慮した静的解析による空間構造の断塑性地震応答推定法』日本建築学会 構造論文集 Vol.55B 2009 年