

雪荷重に対する張弦梁構造の弾塑性挙動に関する基礎的研究

Elasto-plastic behavior of beam string structure for snow load

○亀山 涼季¹, 石鍋雄一郎², 中島 肇²*Ryoki Kameyama, Yuichiro Ishinabe², Hajime Nakajima²

Abstract: In late years, disasters caused by snow had been experienced even in light-snow fall region around Tokyo city. As for long-span steel roofs (e.g. Gymnastic hall), some cases of complete collapse has been reported. In this paper, structural damage of beam string structure is focused especially. Elasto-plastic behavior is examined through numerical analyses in order to obtain fundamental information for snowproof design of beam string structure.

1. はじめに

近年, 首都圏を中心に少雪地域においても大雪による被害が報告されている. 特に 2014 年 2 月 14~16 日にかけて首都圏各地を襲った大雪は大規模な鋼構造建築物に甚大な被害をもたらした. 筆者らは文献^{[1][2]}より, 単純梁構造, トラス梁構造および張弦梁構造の弾塑性挙動に報告した. 特に, 張弦梁構造では梁の座屈に起因した急激な耐力低下が確認された. 本論では張弦梁構造の対雪設計法の基礎的資料を得ることを目的として, 梁の耐力および張弦梁の剛性比の相違による雪荷重時の, 弾塑性挙動の比較を行う.

2. 弾塑性解析

屋根部材の塑性化により直ちに崩壊に繋がる置屋根を対象として, 張弦梁構造について数値解析を行い, 弾塑性挙動を検討する. 増分解析の方法は, 荷重を鉛直の等分布とした, 弧長増分法である.

2. 1 構造モデル

構造モデルはスパン(L)30m, 支配幅を 6m, 横補剛間隔を 5m とした(Figure1). 建設地を千代田区として屋根仕上げを R1(Table1)に設定し, 設計用荷重は文献^[3]を参考に再現期間 50 年に対する雪荷重を設定した. 雪荷重時の応力度比を 0.9 未満とし, 鉛直変位をスパンの 1/300 以下として部材を設計し検討モデルと共に Table2 に示す. 梁は H 形鋼の中幅系列を使用し, 張弦梁の束については座屈を無視するものとする. 梁, 束およびケーブルの応力-ひずみモデルを Figure2 に示す. ケーブルの応力-ひずみモデルは文献^[4]を参考にして設定し, ケーブルの初期張力を 0 とした. 梁の初期不整は次元解析とし, 固有値解析により得られた座屈モードの中で梁の弱軸方向の著しいモードを選定した. 代表的な座屈モードを Figure3 に示す. なお, 初期不整を横補剛材間隔の 1/1000 に相当する 5 mm として, 複合非線形解析を行った.

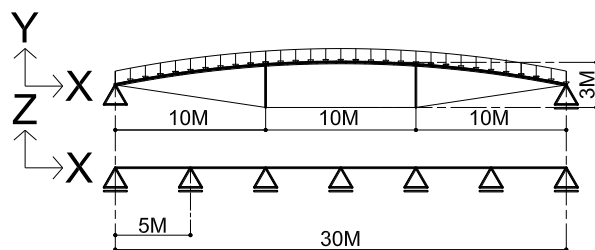


Figure1 Analysis models for beam string structure (BSS)

Table1 Summary of weight for roof (N/m²)

	R2折板		
	折板	小梁, プレース	大梁
固定荷重 DL	200	200	700
母屋用・折板用	200		
小梁用		400	
大梁用			700
積載荷重 LL	0	0	0
合計	200	400	700

Table2 Structural members of BSS

検討モデル	部材	使用部材	応力度比	変位	剛性比
A	梁	H-294×200×8×12(SN400)	0.70		
	束材	P-φ 76.3×4.0(STK400)	0.51	L/320	2.4×10 ⁻⁴
	ストリング	構造用スパイラルロープφ 33.5.1×37(ST1470)	0.70		
	束材	H-340×250×9×14(SN400)	0.53		
B	束材	P-φ 76.3×4.0(STK400)	0.51	L/321	4.56×10 ⁻⁴
	ストリング	構造用スパイラルロープφ 33.5.1×37(ST1470)	0.68		
C	梁	H-390×300×10×16(SN400)	0.42		
	束材	P-φ 76.3×4.0(STK400)	0.49	L/322	8.15×10 ⁻⁴
	ストリング	構造用スパイラルロープφ 33.5.1×37(ST1470)	0.67		
	束材	H-390×300×10×16(SN400)	0.50		
D	束材	P-φ 76.3×4.0(STK400)	0.47	L/321	9.22×10 ⁻⁴
	ストリング	構造用スパイラルロープφ 31.5.1×37(ST1470)	0.75		
E	梁	H-440×300×11×18(SN400)	0.36		
	束材	P-φ 76.3×4.0(STK400)	0.47	L/319	1.68×10 ⁻³
	ストリング	構造用スパイラルロープφ 30.1×37(ST1470)	0.79		
	束材	H-488×300×11×18(SN400)	0.44		
F	束材	P-φ 76.3×4.0(STK400)	0.45	L/306	2.12×10 ⁻³
	ストリング	構造用スパイラルロープφ 28.1×37(ST1470)	0.88		

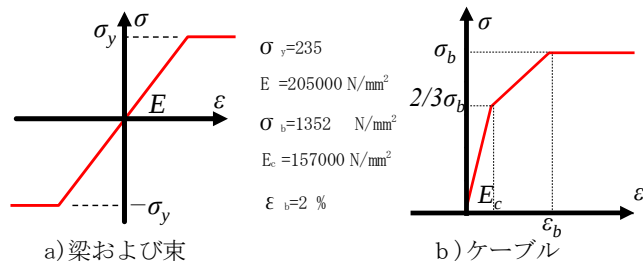


Figure2 Stress-Strain relationship

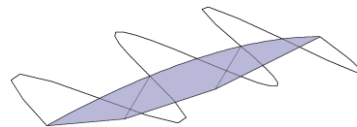


Figure3 First mode of linearized buckling analysis for BSS

3. 解析結果

同一ケーブルを使用したモデル A～C の解析結果を Figure4 に示す。また、剛性比を変えたモデル D～F の解析結果を Figure5 に示す。各折れ点での崩壊モードを Figure6 に示す。全検討モデルが、終局設計用荷重である 500 年再現期待値を上回った。剛性比の最も小さいモデル A は梁の座屈によって急激な耐力低下が確認された。剛性比を大きく設定したモデル B, C は極端な座屈モードが確認されず座屈による急激な耐力低下は確認されなかった。各折れ点では b 点でケーブルが第一降伏点に達し二次勾配に入り、c 点では梁が降伏したが耐力は上昇した。d 点では梁中央付近が弱軸方向に大きく変位が生じたために耐力上昇が緩やかになった。e 点では同じく梁中央付近が弱軸方向へ大きく変位して座屈が生じ耐力低下したと確認された。

5. まとめ

弾塑性解析を行い、張弦梁の、梁の耐力および剛性比の相違によつての張弦梁構造の耐力の相違を確認することができた。今後は、張弦梁構造の耐力比を提案して、対雪設計に関する基礎的資料を整理していく予定である。

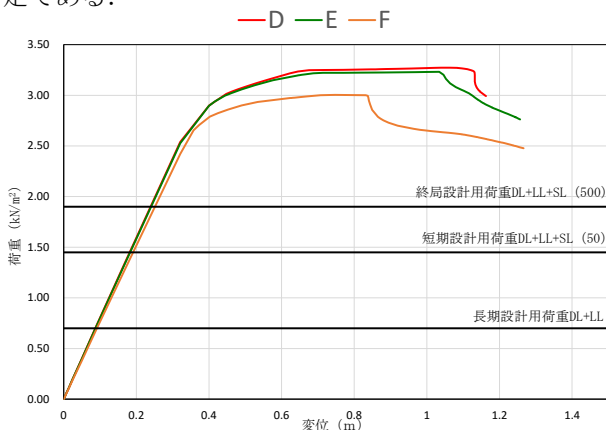


Figure 5 Load-Vertical deflection relationship

6.参考文献

- [1] 亀山涼季:雪荷重に対する鋼構造の弾塑性挙動に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016 年 8 月
- [2] Yuichiro I. et al, Elastic-plastic behavior of long-span steel structures for snow load, IASS 2016 TOKYO, 26-30 September, 2016, Tokyo, Japan
- [3] 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説 2015, 日本建築学会, 2015 年 2 月
- [4] 落合涼子ほか: 弾性範囲内で設計されたストリング式骨組架構 (SKELSION) の弾塑性応答性能について (その 1.2.3), 日本建築学会学術講演梗概集, 2009 年 8 月

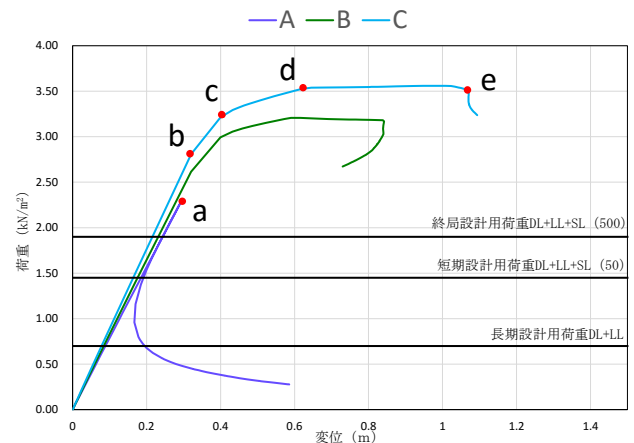


Figure 4 Load-Vertical deflection relationship

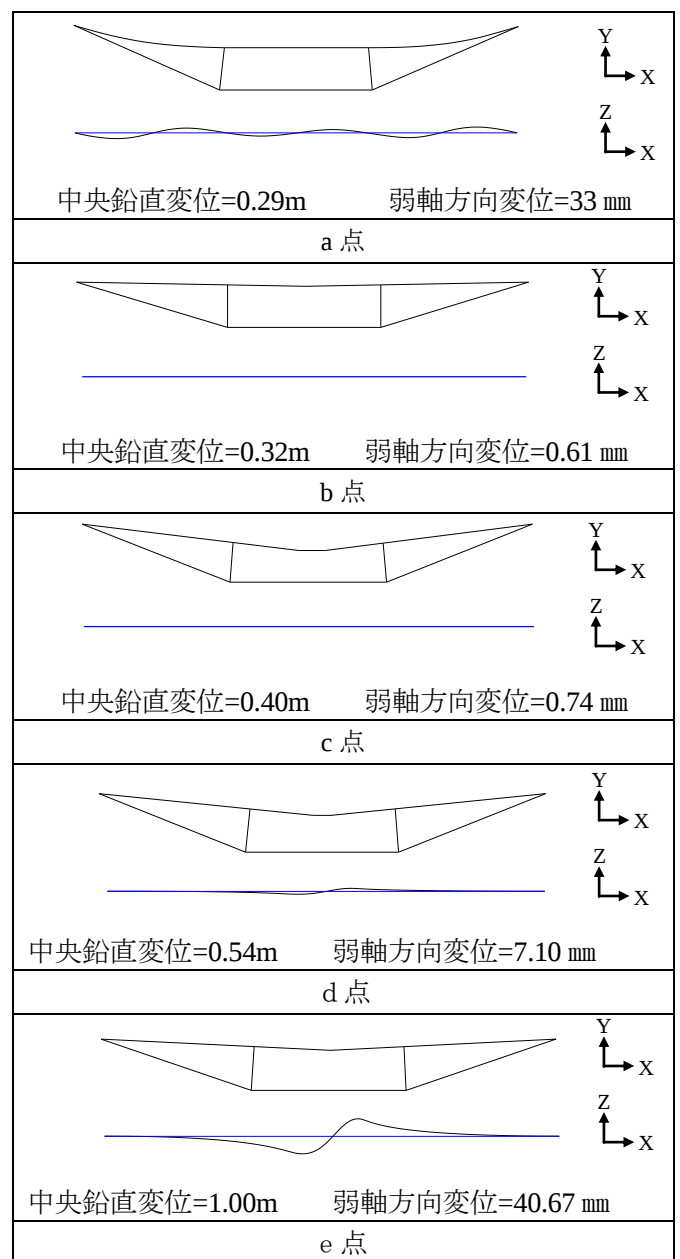


Figure 6 Deformations mode