

## 構造骨組に対する設計用屋根上積雪分布に関する基礎的研究

## -曲げモーメント分布の分析および崩壊挙動の検討-

## Basic research on the distribution of snow cover on the roof for design to the structural frame

## -Analysis of bending moment distribution and examination of collapse behavior-

○安部健登<sup>1</sup>, 石鍋雄一郎<sup>2</sup>, 中島肇<sup>3</sup>\*Kento Abe<sup>1</sup>, Yuichiro Ishinabe<sup>2</sup>, Hajime Nakajima<sup>3</sup>

Large-span structures constructed in cold regions with snow cover could be collapsed or damaged during heavy snowfall because the snow load is the dominant load. It is considered that one of the causes is the uneven distribution load due to the uneven distribution shape of the roof snow by the wind blowing and snowdrift effect. From the above, it is considered that assuming the distribution of snow on the roof, which is disadvantageous for the structural framework, will lead to a rational structural design that ensures structural safety during the service period of the building. It is thought that it will lead to a rational structural design that ensures the property.

## 1. はじめに

積雪寒冷地域に建設される大スパン構造物は雪荷重が支配的荷重となり、豪雪時に倒壊または損傷した例が多くある<sup>[1]</sup>。これは風の吹き払い、吹き溜まり効果に起因する屋根雪の不均等な分布形状による偏分布荷重が原因の一つであると考えられる。しかし、建築基準法施行令には、「屋根面における積雪量が不均等となる恐れのある場合においては、その影響を考慮して積雪荷重を計算しなければならない」との記述があるものの、具体的な偏分布荷重に関する設定方法の記載はない。

以上のことから、構造骨組にとって不利な状態となるような屋根上積雪分布を想定することが、建築物の供用期間中の構造安全性を確保する合理的な構造設計に繋がると考えられる。

本研究では、構造骨組が最も不利な状態となる場合の屋根上積雪分布に関する設計資料を得ること、および既往文献<sup>[2]</sup>で提案された荷重分布である設計用屋根上積雪分布モデル(Figure1)を載荷した際の弾塑性挙動、崩壊荷重を確認し、最もクリティカルな分布であることを把握することを目的とする。本報では、門形ラーメン構造における最大曲げモーメントとなる箇所を計算式によって把握する。また、荷重条件や柱の長さ、すなわち剛比の相違による耐力の変化や崩壊過程を数値解析によって確認する。

## 2. 計算式による最大曲げモーメントの検討

門形ラーメン構造において、最大曲げモーメントの箇所を計算式によって把握する。計算式は文献<sup>[3]</sup>を参照する。

骨組の特性を表すパラメータを以下のように定義する(Figure2)。

$$a = \alpha_i \ell \quad (1)$$

$$b = (1 - \alpha_i) \ell \quad (2)$$

$$h = \beta \ell \quad (3)$$

$$k = \frac{I_b h}{I_c \ell} \quad (4)$$

$\alpha_i$ : 荷重点までの距離とスパンの比(=a/ℓ),  $\alpha_m$ : モーメントを求める点とスパンの比,  $\beta$ : スパンに対する高さの比(=h/ℓ),  $I_b$ : 梁の断面二次モーメント,  $I_c$ : 柱の断面二次モーメント

上記のパラメータを用い、端部曲げモーメント  $M_B$ 、荷重点曲げモーメント  $M_P$ 、任意の荷重点  $m$  点の曲げモーメント  $M_m$  の式を置換し、以下に示す。

端部曲げモーメント  $M_B$ 

(端部が最大曲げモーメントとなる場合)

$$M_B = -\frac{3l}{2(2k+3)} \sum_{i=1}^n P_i \alpha_i (1 - \alpha_i) \quad (5)$$

荷重点の曲げモーメント  $M_P$ 

$$M_P = \frac{Pab}{2l} \frac{4k+3}{2k+3} \quad (6)$$

任意の荷重点  $m$  の曲げモーメント  $M_m$ 

(中間部が最大曲げモーメントとなる場合)

$$M_m = l \left\{ \sum_{i=1}^{m-1} P_i \alpha_i + \alpha_m \sum_{i=m}^n P_i - \alpha_m \sum_{i=1}^n P_i \alpha_i - \frac{3}{2(2k+3)} \sum_{i=1}^n P_i \alpha_i (1 - \alpha_i) \right\} \quad (7)$$

(5)式と(7)式を比較することで、最大曲げモーメントの箇所を把握することが出来る。(5)式、(7)式ともに剛比  $k$  に依存しているため、 $k$  の値によって最大曲げモー

ーメントの箇所が変化する．例えば，雪ブロック最大近似モデルの場合は  $k < 0.365$  の時，端部が最大曲げモーメントとなり， $k \geq 0.365$  の時，梁中央付近に最大曲げモーメントが生じる．荷重分布により  $k$  の境界値は変化するため，荷重を変化させるごとに検討が必要であると考えられる．

### 3. 数値解析概要

中規模程度の工場，倉庫を想定したスパン  $L=24\text{m}$  の門形ラーメン構造を対象に検討を行う(Figure4)．門形ラーメン構造の高さ  $h$  は  $5\text{m}$ ， $9\text{m}$ ， $12\text{m}$  とし，柱，梁ともに断面は  $\text{H-588} \times 300 \times 12 \times 17$  とする．柱に塑性ヒンジが形成されることを避けるために梁のみ塑性化を考慮し，境界条件は両柱脚部ともにピン支持とする．また，荷重条件は，等分布荷重，雪ブロック最大近似モデル，設計用積雪分布モデルの3パターンとする．解析モデルは横座屈を考慮しない二次元モデルとし，弧長増分法による複合非線形解析を行う(Figure3)．

### 4. 数値解析結果

門形ラーメン構造の耐力は，柱の長さによって変化しないことが分かる．しかし，柱が長くなる，すなわち剛比  $k$  が大きくなるとやや弾性域が長くなることが確認できた(Figure5)．

荷重分布による相違では，既往文献で提案された設計用積雪分布モデルの耐力が等分布荷重時の耐力と比較すると  $1\text{m}$  変位時で約  $62\%$  となっており，最も小さくなった．また，同様に雪ブロック最大近似モデルの耐力との比較では  $1\text{m}$  変位時で約  $86\%$  となり，本報で示した荷重分布の中では設計用積雪分布モデルが最も不利な状態であることが確認できた(Figure6)．

### 5. まとめ

本報では，門形ラーメン構造における最大曲げモーメントの箇所を把握するための計算式を算出し，提示した．その結果，最大曲げモーメントは剛比  $k$  に依存していることがわかった．また，3つの載荷パターンでの数値解析を行い，既往文献<sup>[2]</sup>で提案された設計用積雪分布モデルが門形ラーメン構造に対して最も不利な状態であることを確認した．

今後は，山形ラーメン構造，アーチ形ラーメン構造に対しても同様の検討を行う予定である．

### 6. 参考文献

- [1] 日本建築学会編：「昭和56年豪雪被害調査報告」，1981年11月
- [2] 岩原慶，高橋賢：「構造骨組の応力が最大となる設計用屋根上積雪分布に関する基礎的研究」，日本大学理工学部建築学科卒業論文，2021年3月
- [3] 鈴木悦郎他：「建築土木構造マニュアル」，p.135，1975年

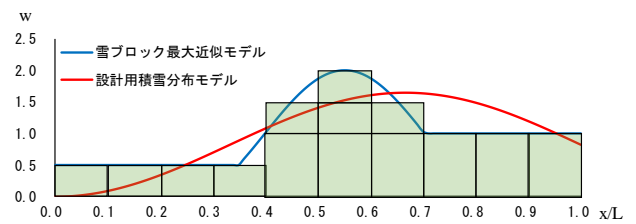


Figure1 Load distribution

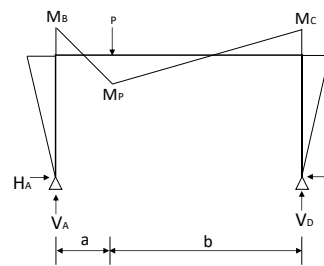


Figure2 Model for calculation formula

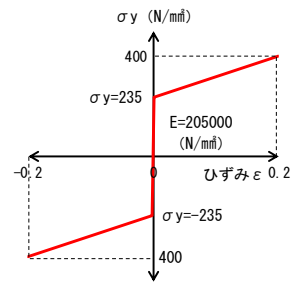


Figure3 Stress-Strain Relationship

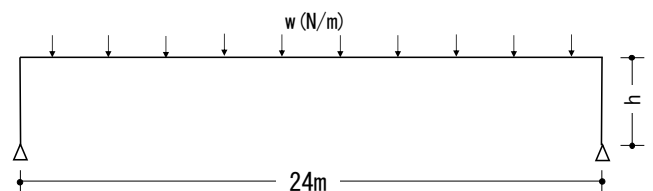


Figure4 portal frame Structural

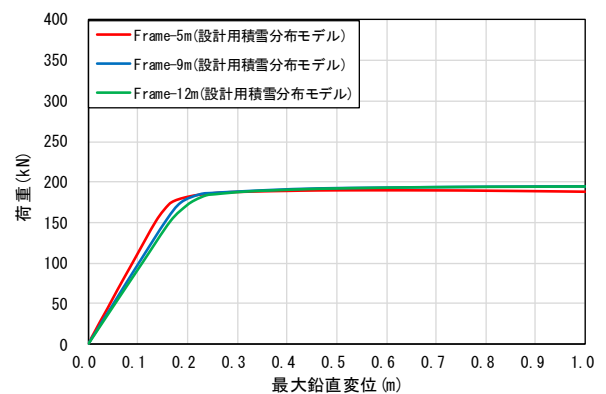


Figure5 Comparison by column length

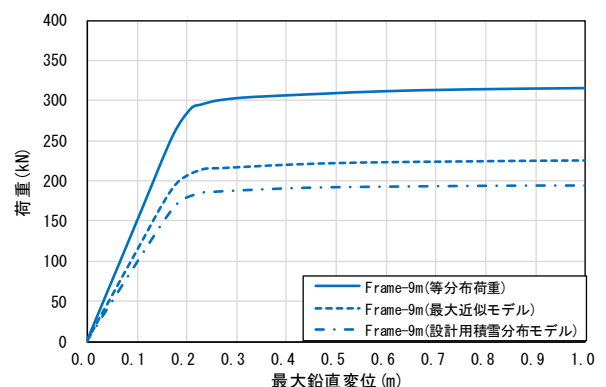


Figure6 Comparison by load distribution