

大スパン鋼構造建築物の対雪設計法に関する基礎的研究
 —塑性変形倍率を用いた靱性評価の検討—

Fundamental Study on Snow Resistant Design Methods for Large Span Steel Structure
 —Study on Toughness Evaluation Using Plastic Deformation Magnification—

○清水陽斗¹, 中島肇²

*Haruto Shimizu¹, Hajime Nakajima²

Abstract: In general, large-span steel structures are said to be greatly affected by snow loads, and if snowfall exceeds expectations, there is a possibility of brittle collapse due to a sudden decrease in strength. Furthermore, previous research has confirmed that the strength of rigid-frame structures decreases due to lateral buckling when loaded with snow, and proposals have been made to prevent sudden decreases in strength by appropriately arranging lateral stiffeners. However, setting design criteria, such as what to aim for when designing a structure, is a major issue regarding structural design. Based on the above, in this study, we calculate the optimal cross section for the target model, set the obtained member cross section and several lateral stiffening intervals, and perform elastic-plastic analysis. Next, the building is evaluated using the plastic deformation magnification described in the plastic design guidelines.

1. はじめに

一般的に大スパン鋼構造建築物は雪荷重の影響が大きいとされ、過去の豪雪時に事例があるように、想定を超える積雪が生じれば急激な耐力低下による脆性的な崩壊の可能性がある。さらに、既往の研究ではラーメン構造について、雪荷重時に梁の横座屈によって耐力低下が生じることを確認し、横補剛材の適切な配置によって急激な耐力低下を防ぐ提案をされている^[1]。

しかしながら、どの程度の雪荷重を対象として、どの程度の安全レベルにより建築物を構造設計するかといった設計クライテリアの設定は、採用する構造形式特有の崩壊挙動の把握と共に、構造設計に関する大きな課題である。

以上のことより、本研究では対象とするモデルにおける部材断面の設定を行い、得られた部材断面と複数の横補剛間隔を設定し、それぞれ弾塑性挙動の把握を行う。次に、鋼構造塑性設計指針(以下、塑性指針)^[2]に記載の塑性変形倍率を用いて靱性評価を行う。

2. 最小断面の算出

一般的な鉄骨造体育館あるいは倉庫を想定し、屋根自重が比較的軽い山形ラーメン構造を対象として、梁の断面最適化を行う。解析モデルはスパン(L) 24m, 軒高(H) 8m, 支配幅を6m, 境界条件を固定柱脚とする(Figure1)。建設地を東京都千代田区として屋根自重を700(N/m²), 再現期間50年間に對する雪荷重を750(N/m²)と設定し、層間変形角の制限を1/200以下、部材の応力度比を0.9以下として部材断面を設定する。

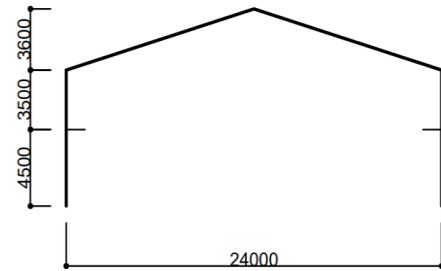


Figure1. Analysis model

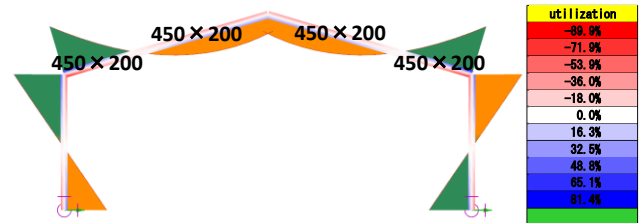


Figure2. Optimal cross section and member stress ratio

Table1. Structure member for numerical analysis

構造種別	使用部材	
	山形ラーメン構造	梁
	柱	□-400×400×12 (BCP235)

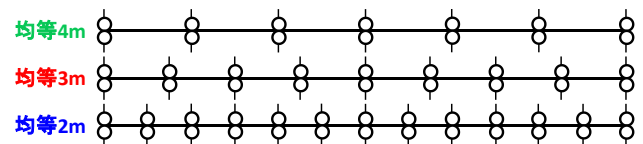


Figure3. Location of horizontal stiffener

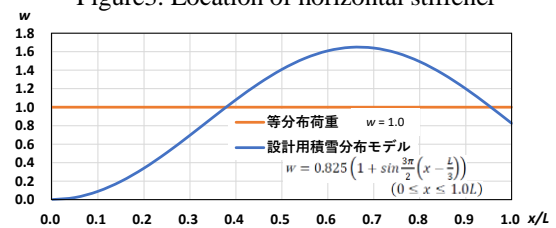


Figure4. Load distribution

1 : 日大理工・院 (前)・建築 2 : 日大理工・教員・建築

解析ソフトは AppliCraft 社の Rhinoceros の GH 内の構造解析プラグインである Karamba3D を用いる。解析の結果、短期の雪荷重時に部材の応力度比が最大となり (Figure2), そこで得られた最小断面を Table1 に示す。

3. 塑性変形倍率の算出

塑性指針では、塑性設計の耐震設計法への適用として、塑性変形倍率 R が 3 以上となることで十分な塑性変形能力があると定義している。 R は限界時の部材の変形角 θ_u を全塑性耐力時の弾性変形角 θ_p で除した塑性率 (θ_u/θ_p) から弾性成分 (≈ 1) を減じることで求められる。本研究ではこの考えを対雪設計に適用し、梁の塑性変形倍率から構造物の評価を行う。

3-1. 数値解析概要

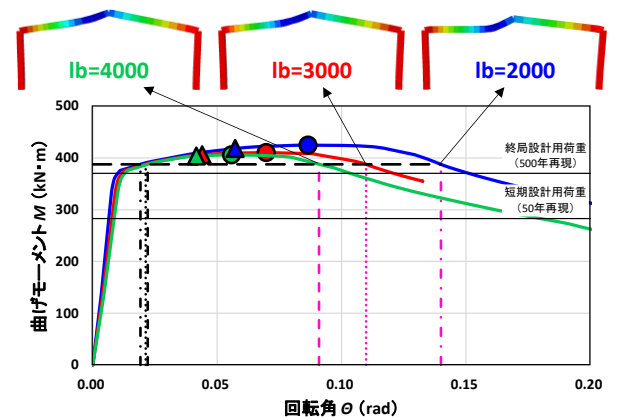
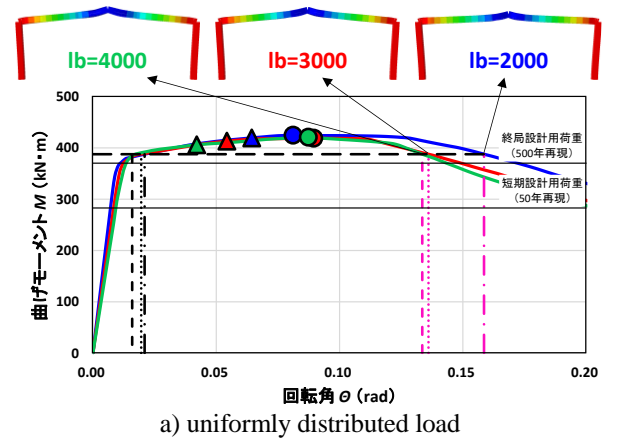
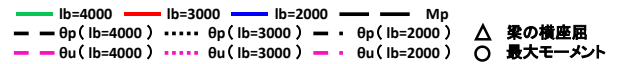
弧長増分法による複合非線形解析を行い、雪荷重時の弾塑性挙動を把握する。解析モデルは 2 章と同様とし、部材断面はそこで得られたものを用いる。また、塑性変形能力に影響を与える因子として考えられる横補剛間長さは均等間隔の 3 パターン (4m, 3m, 2m) のモデルを設定した (Figure3)。初期不整は座屈固有値解析から得られる座屈モードに対して横補剛間隔の 1/1000 を与える。

荷重分布は雪荷重を想定した鉛直等分布荷重と風の吹き払い、吹き溜まり効果に起因する屋根上積雪の不均等な分布形状による偏分布荷重を想定して、構造骨組において最も不利な応力状態となる荷重分布として既往研究^[3]で提案されている「設計用積雪分布モデル」を対象とする (Figure4)。

3-2. 数値解析結果

解析結果として、Figure5 に曲げモーメントと回転角の関係および θ_u 到達時の変形図 (変形倍率: 2), Table2 にそれぞれ算出された塑性変形倍率を示す。なお、曲げモーメントは最初に塑性ヒンジが生じる梁端の値をとっている。

どちらの荷重時においても、すべてのモデルで R が 3 以上となり、必要な塑性変形能力を備えていることが分かった。また、横補剛間隔が短いモデルほど R が大きく、これに伴い θ_u 到達時の変形も大きくなっている。特に、 $lb=2000\text{mm}$ で大幅に R が向上していることが分かる。さらに、設計用積雪分布荷重時の方が R が小さくなっていること、梁の横座屈発生後に最大モーメントを迎えることを確認した。一方で、 θ_p の発生点が前後しているが、これは全塑性モーメント M_p に到達する前に降伏モーメント M_y に達し、塑性域に入ってしまったモデルがあるためと考えられる。



b) Snow coverage distribution for structural design
Figure5. Moment-Rotation angle relationship

Table2. Plastic deformation magnification

	塑性変形倍率 R		
	lb=4000	lb=3000	lb=2000
等分布	5.8	6.0	6.6
設計用積雪分布荷重	3.1	4.2	6.3

4. まとめ

本研究では、最適断面を用いたモデルに対し、複数の横補剛間隔から塑性変形倍率の違いを把握した。今後はより少ない本数で塑性変形倍率を向上できる横補剛材の配置の検討、またここで得られたデータを基に設計クライテリアの設定を行う予定である。

5. 参考文献

[1] 安部健登, 石鍋雄一郎, 中島肇: 「構造骨組に対する設計用積雪分布に関する基礎的研究—構造形式及び横補剛数による崩壊挙動の検討—」, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2022年3月
 [2] 日本建築学会, 鋼構造塑性設計指針, pp.8-10, 2017年2月
 [3] 中島肇, 岩原慶, 高橋賢, 石鍋雄一郎: 「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」, 日本雪工学会論文集, Vol.37, No.4, pp.70-82, 2021年10月