

鋼製折板屋根葺き材の耐風設計のための 教育支援システム開発研究

増本翔^{†1}
牛島祐樹^{†1}

本田亮^{†2}
原田幸一^{†3}

村田遼^{†1}
山成實^{†4}

暴風による建築構造物の被害は、地震被害と同様に人的および経済的損失を生む。風力に対する構造設計は、耐震設計と同様に建築構造設計者にとって、その設計の仕組みの理解と設計法の適正な活用は重要事である。構造設計教育において、耐風設計は中小の建築物においては、構造骨組本体とするのではなく、建物の外装材や屋根葺き材が構造設計の対象となる。これは建築構造設計における一次設計で行われるものであり、構造設計において比較的閑却されている嫌いがある。本研究では屋根葺き材の構造設計に焦点を当てた初学者教育のための構造設計支援システム構築を試みた。この論文は、設計の仕組みの分析に基づいたその設計システム開発について論述するものである。

Development of Computer-assisted Structural Design System of Folded Steel Roof for Education

SHO MASUMOTO^{†1} RYO HONDA^{†2} RYO MURATA^{†1}
YUKI USHIJIMA^{†1} KOUICHI HARADA^{†3} MINORU YAMANARI^{†4}

This research aims at a development of an educational supporting tool for the wind-resistant structural design of folded steel roofs. The design of the roofs belongs to the first-stage structural design as well as the sidings of a building. Disasters by the wind loads tend to increase because of the recent irregular climate change. It is important for the students and the novices in the structural design field to study wind-resistant design of the roofs for assurance of those safeties under strong wind loads. A computer-assisted design system was built on the rule of building code in Japan.

1. はじめに

地震被害と同様に、近年の大型台風のような強風による被害も無視できない状況である。強風の被害のほとんどが外装材によるもので、強風で飛ばされた外装材が飛散物となり他の構造物への被害、人的被害といった二次被害の原因にもなりうる。このような理由から、外装材にも構造骨組と同レベルの適切な耐風設計が求められる。また、最新の基準で設計された新しい建築物の外装材にも被害が発生していることから、外装材の耐風設計に対する設計者の意識の低さが問題視されている[1]。柱脚やスラブ等のような他の部材と違い、外装材等の耐風設計に特化した設計ソフトウェアはあまり一般的でない。特に初学者にとって外装材や屋根の耐風設計の学習は困難を要する。本論文では、鋼製折板葺き屋根に着目し、初学者を対象とした屋根葺き材の耐風設計支援システムの実装を行う。本システムは初学者にとって設計を困難とする外装材の耐風設計の経験的知識を養う有用なツールとなる。

2. 新しいシステムの概念

2.1 教育意義

初学者教育において手計算による設計の流れ及び仕組、いわゆる形式的知識を理解することは重要なことである。また、短期間で設計技量、設計感覚いわゆる経験的知識の向上を求められる今日において、手計算を繰り返し行うことは多大な労力を要する。そこで、この繰り返し作業の部分をコンピュータが行うことで、その分初学者は設計検討に割ける時間を増やすことができる。したがって、短期間での経験的知識の取得が期待できる。

2.2 複数解取得の概念

設計の多様化に対応できるように進化してきた一貫構造計算プログラムは、熟練者にとっては業務に対する労力の省力化を可能とするが、一方で初学者に対しては、入力さえすれば設計解を提供するブラックボックスとなる懸念がある。構造設計の仕組を深く理解しなければならない教育の段階において、この一貫構造計算プログラムの使用は必ずしも適しているとはいえず[2]、設計の仕組を理解できるシステムが必要と考える。これまで知識処理に基づく処理系を用いて設計可能な解を複数個取得し、設計者自身の判断を解の評価に取り入れることができる設計支援システムの開発を行ってきた。それは一連の研究において定義している設計空間の概念[3]を用いたもので、このシステムを

†1 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生
Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

†2 熊本大学工学部 学部生
Undergraduate, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ.

†3 u.h アーキテクト 代表取締役・工博
CEO, u.h architects, Dr. Eng.

†4 熊本大学大学院自然科学研究科 准教授・工博
Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ., Dr. Eng.

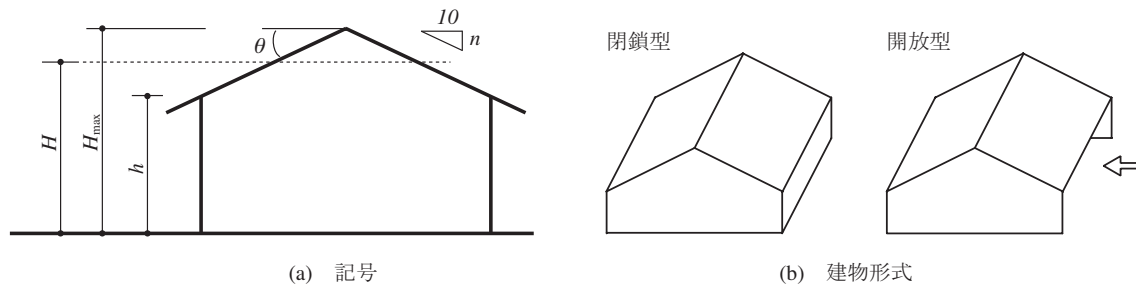


図1 鋼製折板葺き屋根

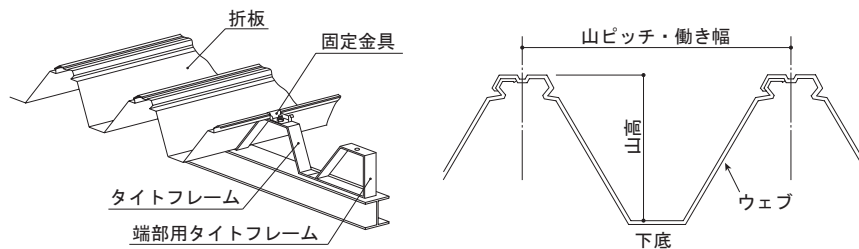


図2 折板詳細図

用いて、算出された設計空間の中で設計解の比較・検討を行うことにより、設計者自身の判断が加わった設計解が得られる。

3. システムの構築

3.1 設計対象

本システムは図1に示すような切妻型の鋼製折板屋根を対象としている。ここで建物の平均高さ H は、建物の最高高さ $H_{\max}$ と建物の軒高 h の平均値とする。また、建物形式には開放型と閉鎖型とがあり、断面算定に影響を及ぼす。図2に折板の詳細図を示す。折板は、断面の構造に重点を置いて開発された屋根材で、大型、長尺屋根に調和する意匠性、強度、経済性を備えている。板厚 0.6~1.2mm の鋼板が用いられ、山高を大きく成型している。図2に示すように 3~7m 程度の間隔の梁の上にタイトフレームという固定用の金属が取り付けられており、その上に折板を取り付ける。他の屋根に比べて非常に長さを長くすることが可能で、体育館や工場などの規模の大きな鉄骨造の建物の屋根に多く使用されている。

3.2 システムの仕組

図3に耐風設計支援システムの仕組、図4に本システムのデータフロー図を示す。断面の算定および検討には「鋼板屋根構法標準 SSR2007」[4]および「2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」[5]に則って行う。設計計算プログラムはデータフロー言語 DSP [6]で記述されている。DSP は個々のプログラムをモジュールという単位で表現しており、それぞれで求められた設計解を集約することができる。このように階層化された仕組をもち、分割された仕事を統合することで計算処理を行うことができる。これより、プ

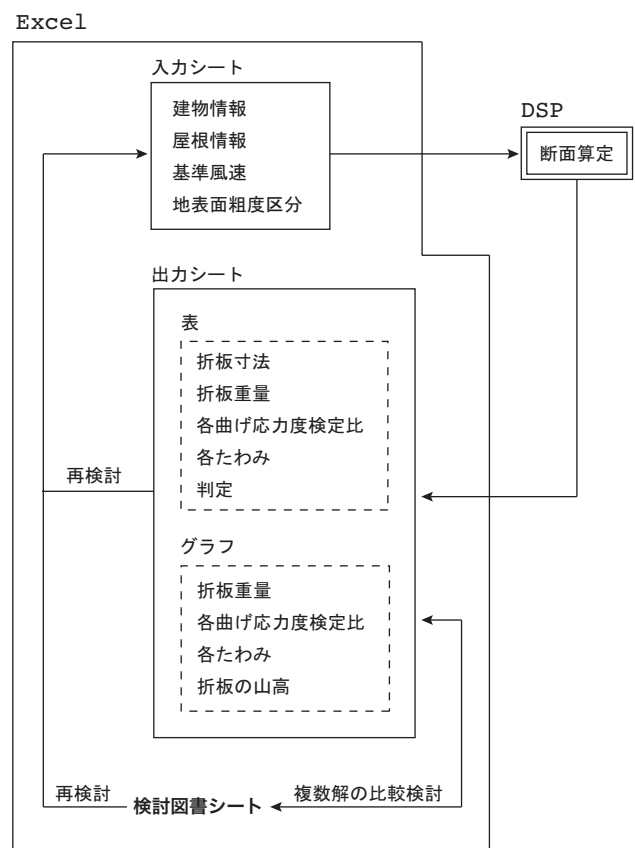


図3 システムの仕組

ログラム開発の省力化が図れる。手続き処理型の言語では、処理順序が明示されなければならないため、記述に労力を要する。それに対し、DSP に代表されるデータフロー言語は、処理手続き順序を気にせずに記述することを可能としており、設計者はモジュールの内容を容易に把握すること

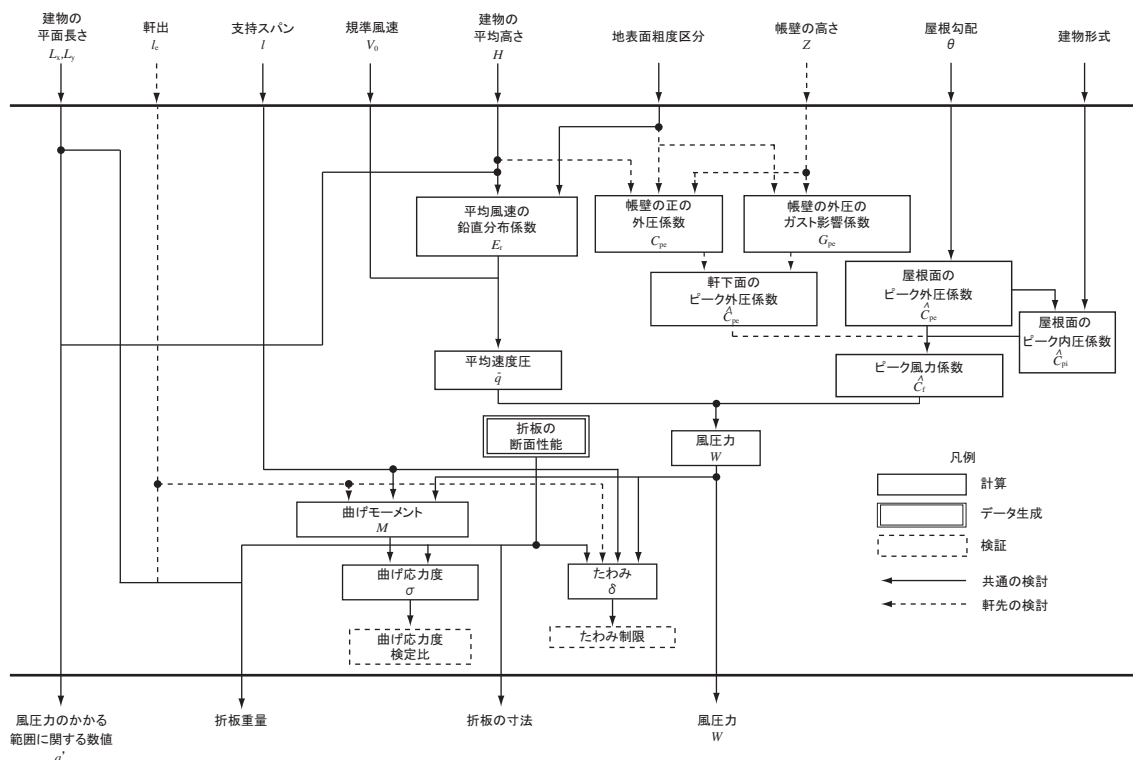


図4 データフロー図

ができる。また、モジュールは設計規準の書法に従って記述することができるため、規準の改正に伴う改訂を容易に行うことができる。著者等の既往の研究においてデータの透明性を唱えているが、データフロー言語によってプログラムを記述することは、プログラム書法に対応したデータの表示（インスタンス）が得られるため、利用者は容易にデータのトレースができる。これは処理およびデータの透明性を保証しており、DSPによる設計支援システムは初学者の教育において有効であると考えられる。

設計者が視覚的および直感的に操作ができるように、グラフィカルユーザインターフェイス(GUI)の実装を行った。既往の研究を継承し、GUIの実装に一般的に広く知られたスプレッドシート型のアプリケーションであるExcelを用い、プログラミング言語VBAを活用した。設計者はGUIを通して、折板屋根の耐風設計に必要な情報の入力や設計処理の指示、設計解の取得、適正解の決定等の作業を行う。図5に入力シートを示す。設計者はこのシートで折板屋根の耐風設計に必要な情報の入力を行う。断面算定によって得られた設計空間をGUIを通して取得する。得られた設計空間をGUIを通して表示したのが、図6に示す出力シートである。このシートでは、設計に適応できる断面算定結果を表とグラフで表示している。折板屋

Figure 5 shows the input sheet for the roof wind resistance design support system. It includes a form for entering building parameters and a table for wind speed and pressure coefficients. The form fields include: building maximum height (Hmax), building overhang (h), building average height (H), roof pitch (n/10), X-direction plan length (Lx), Y-direction plan length (Ly), overhang length (le), eave height (Z), support span (l), external eave pressure gas influence coefficient (Gpe), building form, standard wind speed (V0), and ground surface roughness zone. The table lists wind speed (V0) and pressure coefficients (Cpe, Cpi) for different building forms and wind directions. A note at the bottom explains the color coding for the input fields.

図5 入力シート

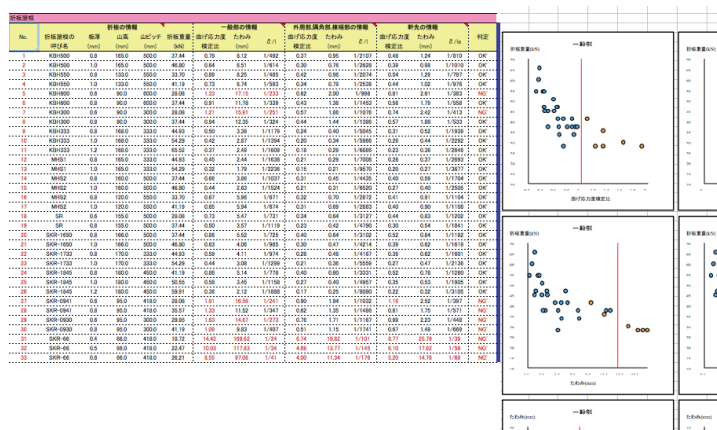


図6 出力シート

根の選択を経済性や納まりを考えながら検討できるようにしている。この出力シートと検討図書シートにより設計者は複数の解を様々な評価尺度により同時に比較検討することができる。

4. システムの妥当性

ここでは、構築したシステムの妥当性の検証を行う。検証には、日本金属屋根協会により出版された計算プログラム「屋根を調べる」[7]を用いた。本システムと「屋根を調べる」それぞれを用いて断面算定し、特定の折板 A に注目した場合の結果を比較する。入力情報と折板 A の寸法は表 1 に示す通りである。表 1 をもとに本システム、「屋根を調べる」それぞれで断面算定した結果を表 2、表 3 に示す。表 2 では風荷重について検証を行い、表 3 では曲げ応力度およびたわみについて検証する。ここで、表 3 では本システムと「屋根を調べる」とでは設計判定の方法に違いがあるため、両システムでそれぞれ得られた値を曲げ応力度検定比とたわみ検定比で示すことで比較するものとする。表 2 における風荷重に関しては、若干の誤差があるものの、許容の範囲内と判断する。表 3 における曲げ応力度検定比

表 1 入力情報

建物の情報	屋根平均高さ (m)		8
	屋根勾配 (度)		5
	建物平面長さ (m)	X 方向	48
		Y 方向	24
	軒出長さ (m)		0.8
	帳壁高さ (m)		7.5
	支持スパン (m)		4
	局所の補強梁の有無		有
周辺情報	建物形式		閉鎖型
	基準風速 (m/s)		34
	地表面粗度区分		Ⅱ
折板情報	板厚 (mm)		0.6
	山高 (mm)		155
	山ピッチ (mm)		500

表 2 風荷重の比較

	風圧力 (N/mm ²)				
	一般部	外周部	隅角部	棟端部	軒先
本システム	-1613	-2065	-2774	-2065	-4397
屋根を調べる	-1618	-2071	-2783	-2071	

表 3 検定比の比較

	一般部		局部		軒先	
	曲げ応力度 検定比	たわみ 検定比	曲げ応力度 検定比	たわみ 検定比	曲げ応力度 検定比	たわみ 検定比
本システム	0.74	0.42	0.32	0.09	0.33	0.10
屋根を調べる	0.74	0.42	0.32	0.09	0.41	0.12

およびたわみ検定比に関しては、一般部および局部では曲げ応力度検定比、たわみ検定比共に同じ値を示すのに対し、軒先における検定比に若干の差が生じていることが分かる。これは、各システムにおける検討方法の違いによるためである。本システムでは鋼板製屋根構法標準 SSR2007 に則って、軒先に作用する風荷重を算定し、折板の検討を行っている。それに対して「屋根を調べる」では、軒先に作用する風荷重は他の部位にかかる風荷重の最大値であるとし、軒先での折板の断面性能の低下を考慮して検討している。よって、本システムで得られた結果より「屋根を調べる」の方が曲げ応力度検定比、たわみ検定比共に安全側の結果となる。しかし、折板屋根の耐風設計では、適切な軒出長さで設計を行えば、設計を支配するのは一般部か局部であることが通例である。したがって、軒先における検定比の差が設計結果に与える影響は低いと考え、本研究で構築したシステムは妥当であると判断できる。

5. おわりに

本報は初学者にとって困難を要する外装材の耐風設計に着目した、鋼製折板葺き屋根の耐風設計支援システムを開発した。以下にここで得られた知見を示す。

- 1) 同時に複数解を提供する新しいシステムを実装することにより、設計者は設計解を比較・検討することができるため、短期間で初学者の経験的知識を養う有用なツールとなることを示した。
- 2) 本システムを商用のソフトウェアで比較することで、鋼製折板葺き屋根の耐風設計支援システムの妥当性の検証を行うことができた。

参考文献

- 1) 日本建築学会：実務者のための建築物外装材耐風設計マニュアル，2013
- 2) 江口翔，原田幸一，山成實：九州地区における建築構造設計技術者のコンピュータ支援設計システムに関する意識調査，鋼構造年次論文報告集，第 17 巻，pp. 109-114，2009. 11
- 3) M. Yamanari, H. Tanaka, Acquisition of designable space for planar steel frames, Digital Architecture and Construction, WIT Press, pp.77-84, 2006, 9
- 4) 独立行政法人建築研究所：鋼板製屋根構法標準 SSR2007, 2007
- 5) 国土交通省他監修：2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書，2007
- 6) 梅田政信，長澤勲，樋口達治，永田良人：設計計算のプログラム書法，電子情報信学会技術研究報告集，AI 91-60，pp. 25-32，1991
- 7) 一般社団法人日本金属屋根協会：屋根を調べる 2012，2012