

# 複数解を提供する鋼構造骨組の構造設計システムの開発研究 (その2 デッキ合成スラブ床組設計システムの実装)

準会員 ○ 澤原朝美<sup>\*1</sup>, 正会員 江口翔<sup>\*2</sup>, 同 原田幸一<sup>\*3</sup>, 同 山成實<sup>\*4</sup>

## 2. 構造-10. 鉄骨構造 建築構造

鋼構造, 建築構造設計, 教育支援システム

### 1. 序

本研究は, 構造設計初学者が構造設計技量を獲得・向上するための仕組みを持つ新しい概念を具備し, 知識処理を用いてデッキ合成スラブ床組設計システムを構築した。本報では, デッキ合成スラブ床組設計システムの実装及び同システムによる設計事例について論じる。

### 2. システムの実装

#### 2.1 システムの GUI

本研究のシステムでは, 設計者が視覚的及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。GUI とは, 図やマウスによる操作を実現し, 直感的な操作を提供するユーザインターフェイスのことである。本研究は既往の研究<sup>[1,2]</sup>を継承しており, GUIの実装のために, 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り, プログラミング言語 VBA<sup>[3]</sup>をもつ Excel を用いる。

#### 2.2 鉄骨小梁設計システム

床組の平面寸法及び床荷重, 床版の架け渡すことができる限界スパン等を入力情報とした鉄骨小梁の設計を行う。本システムでは設計者に視覚的に入力し易く, 複数の出力結果に対する設計解の選択のし易い入出力インターフェイスを用意した。

図1に鉄骨小梁設計システムの入力情報シートを示す。設計者は床組の決められた寸法や材種等を入力するのみならず, ある許容幅をもたせた応力度検定比を入力する。これは大まかな許容範囲を与えることで複数の設計解候補を設計者に提示し, その中から解の決定を促す仕組みをもつ。従って, 最適解を自動計算で行う手法とは異なる。

断面決定のための複数解を提示した出力結果シートを図2に示す。同図に見られる情報は, 設計解の候補群を表及びグラフで表したものである。グラフは設計可能空間を可視化<sup>[4]</sup>したものであり, 数量化できる複数の設計評価尺度の中から2つを選んだ2次元グラフで可視化した。グラフは, 工事費に関係の深い鉄骨小梁の総重量を縦軸に取り, 横軸は検討項目として (a) 曲げ応力度検定比, (b) 中央たわみ, (c) 梁せいの3つで, それぞれの関係を示すものである。このグラフに描画されたグラフ内の点を選択すると, 他のグラフ及び表と連動する。これは選択された設計解がそれぞれの設計解に相当するかを示し, 経済性や部材の納まりなどを視覚的に把握でき, 容易に検討することができる。これはどのグラフの設計解を選択しても連動するようになっている。

#### 2.3 任意形鋼平面骨組の構造計算システム

床組周辺の大梁には, 小梁の配置方向により作用する荷重状態が変化する。既に開発された鋼平面骨組設計システム<sup>[2]</sup>では平面骨組を1つだけしか解析するこ

実行メニュー

入力情報	
荷重状態	長跨
符号	BE
梁の種類	6S403
X方向スパン長(m)	LX = 8 m
Y方向スパン長(m)	LY = 8 m
デッキ許容スパン長(m)	LD = 8 m
積載荷重(N/m <sup>2</sup> )	WP1 = 1800 N/m <sup>2</sup>
仕上荷重(N/m <sup>2</sup> )	WP2 = 1000 N/m <sup>2</sup>
スラブ自重(N/m <sup>2</sup> )	WS = 2000 N/m <sup>2</sup>
	WF = 4800 N/m <sup>2</sup>
梁のヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	E = 205000 N/mm <sup>2</sup>
検定比 (上限)	$\sigma/f_b \leq 0.98$
(下限)	$\sigma/f_b \geq 0.95$
たわみ制限	$\delta/L \leq 1/300$
	$\delta_{max} \leq 20 \text{ mm}$

小梁の符号 BE

小梁の配置

X方向

Y方向

図1 鉄骨小梁設計システムの入力情報シート

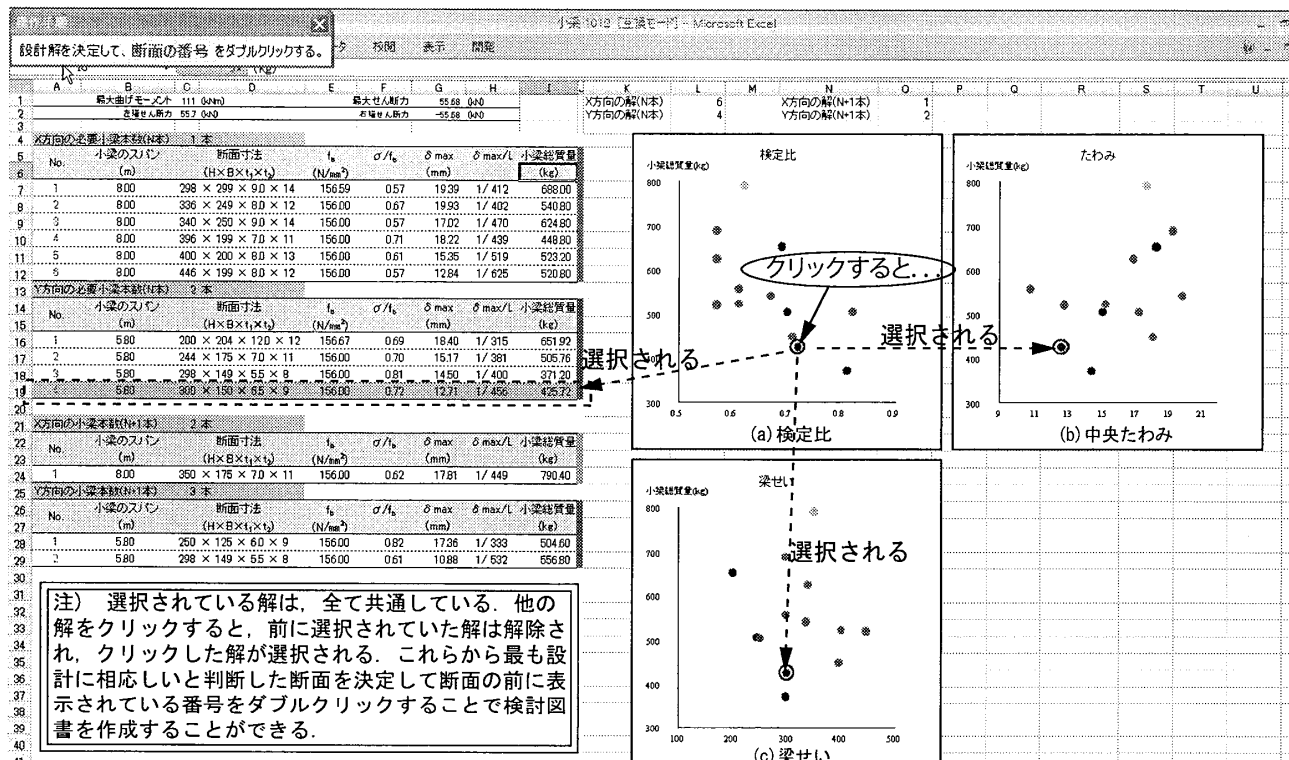


図2 鉄骨小梁設計システムの出力結果シート（実行例）

とができず、また、入力情報を手入力する必要がある。これを用いるには小梁の配置方向に従った荷重情報を設計者自身が判断して、入力シートに必要な情報を入力しなくてはならない不便が生じる。選択した小梁の情報を自身で保管し、また、荷重の計算や各節点、要素ごとに入力するとなると誤入力が発生する可能性がでてくる。さらに、小梁を変更し再度大梁を算定するには、作用する荷重の計算からし直さなければならないため、設計解を検討するには多大な時間を要する。この問題点を解決するために上述の鋼平面骨組設計システムに改良を加え、鉄骨小梁設計システムに連携させるシステムをつくった。これをPSFD (Planar Steel Frame Designer) と呼ぶ。ここでは、鋼平面骨組設計システムからの変更点について述べる。

床組周辺にはX、Y両方向に大梁が存在する。そこで1つのプログラムで両方向の大梁について算定できるようにシートを増やした。X方向の大梁を検討し、続いてY方向の大梁の検討に移るといった流れで作業を進めることを可能とした。また、同システム内に両方向の設計解が存在するため、シートの変更により他方の設計解の閲覧を可能とした。

PSFDは鉄骨小梁設計システムにより開かれる。その際にどの小梁を使用するを決定し、骨組の寸法や小

梁の単位重量などの情報をPSFDへ転送する。これは小梁の検討時に入出力された情報で、PSFDに転送することで骨組情報などの入力が一度で済む。従って、作業を迅速に進めることができ、更に誤入力を防ぐことができる。と考える。

図3に示す総合メニューの「入力情報」のクリックにより、節点数、要素数、荷重の位置や大きさを自動計算し、入力シートにその骨組情報が表示される。大梁に作用する荷重は小梁の荷重状態と本数から計算される。荷重の大きさは集中荷重時は小梁の単位荷重から、分布荷重時は床荷重から算定する。各節点、要素ごとに必要な情報が入力シートのセルに表示される。

### 3. 建物内のデッキ合成スラブ床組の構造設計例

#### 3.1 設計対象骨組の概要

検証に用いる対象骨組は、図4に示すような境界条件をもつ2×2スパン、2層のラーメン骨組である。この骨組は表1に示すスラブをもつ。設計平面骨組は中央通りであり、長期荷重についての検討を行う。

複数解を得るための制約条件として曲げ応力度検定比  $\sigma_b/f_b$  の設計許容範囲を0.55～0.99とし、梁の中央たわみの許容値はスパンの1/300以下かつ20mm以下とした。制約条件及び表1に示すスラブの情報を図1に示す入力情報シートに入力し、小梁の断面算定及

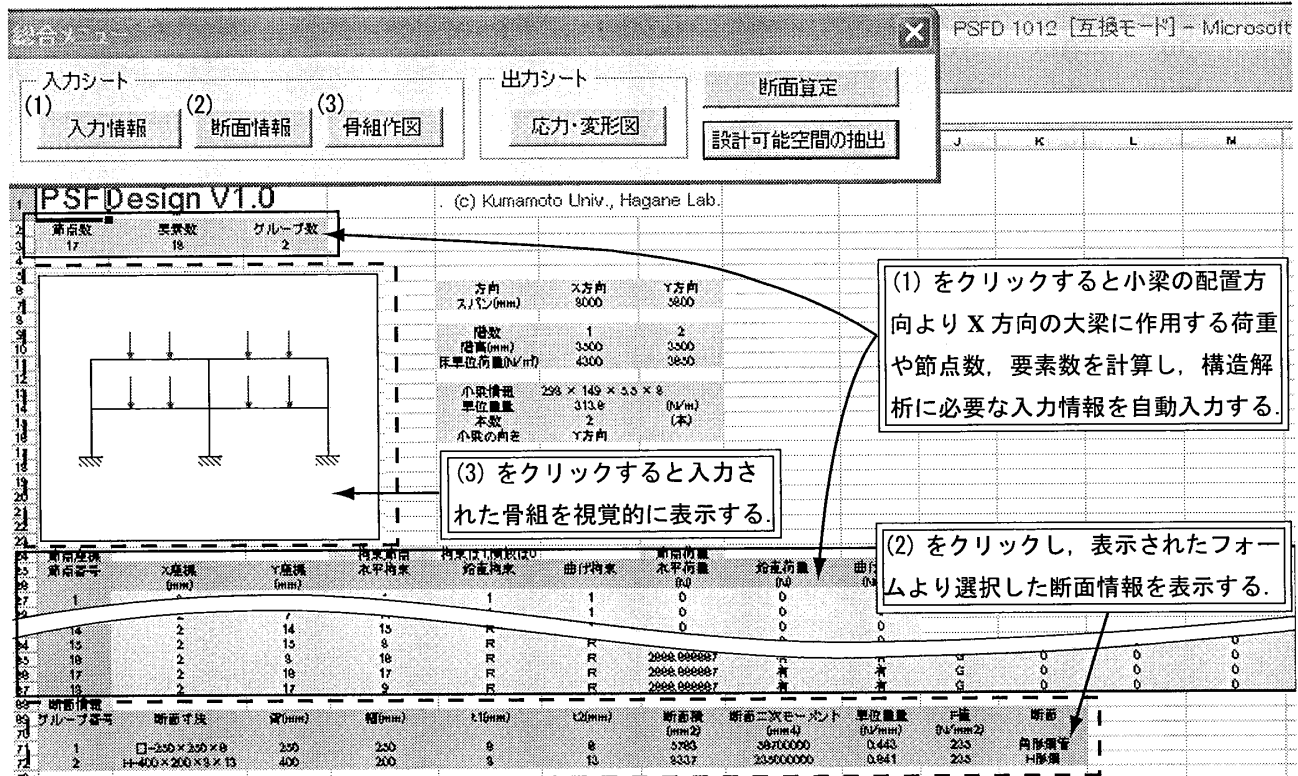


図3 PSFDの入力シート (X方向) の入力後

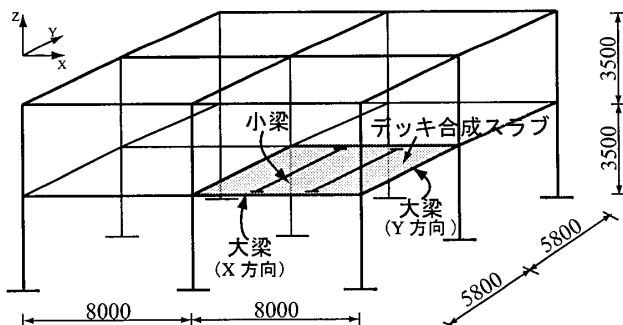


図4 設計対象骨組

び検討を行う。

### 3.2 小梁の設計

本検証例では図2に示されているような複数の設計解を得た。本検証では設計者がより軽量で経済的な骨組を求めていくものとする。しかし、小梁が大梁に荷重を集中荷重として作用する場合には大梁のせいは増大し、一方、小梁に平行な大梁のせいは減少する結果が得られることが想像される。従って、小梁をX、Y両方向に配置した場合についてそれぞれ最も総重量が小さいものを設計解候補とし、表2に示す。検討図書シートより決定した小梁を選択し、大梁の設計を行う。

### 3.3 大梁の設計

図3に示したように入力シートへ骨組情報を入力後、断面算定し設計可能空間を抽出するこ

とにより適正解探索を行う。設計可能空間内の設計解の選択により入力シートの断面情報の書き換えを行い、設計者がより設計目的に合った大梁を求めていく。設計可能空間の抽出を繰り返すことによって、設計者は最終的に満足いく解 (適正解) を得ることができる。これは本研究で提案した設計の概念を実現しており、設計可能空間が設計空間内を移動しながら適正解探索を行うことを可能としている。表2に示した小梁の設計解候補に基づいて大梁の設計・検討を行った結果を表3に示す。

表1 スラブの情報

大梁によって囲まれた床組の平面寸法	X方向スパン長	Lx(m)	8.0
	Y方向スパン長	Ly(m)	5.8
床荷重	W(N/m <sup>2</sup> )		4800
デッキプレートに架け渡せる限界スパン	Ld(m)		3.0
小梁の許容曲げ応力度	f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		156
使用材料	小梁	SS400	
構造形式	小梁	単純支持梁	
	デッキプレート	デッキ合成スラブ床構造	

表2 小梁の設計解候補

小梁を架ける方向	本数	断面寸法	検定比	中央たわみ (mm)	総質量 (kg)
X方向	1	H-396×199×7.0×11	0.71	18.22	448.80
Y方向	2	H-298×149×5.5×8	0.81	14.50	371.20

小梁をスパンの短い Y 方向に配置すると他方に比べ梁せい・総重量は共に小さくなった。設計目的である経済性を考慮し、総重量の小さい小梁を Y 方向に配置する床組の小梁・大梁の組み合わせを設計解とする。これにより、設計熟練者にとっては経験から想像される梁の断面を複数の設計解候補の組み合わせより決定することができた。

4. システム実効性能の検証

構築したシステムの性能の検証を行った。検証には、商用の部材の断面算定ソフトと一貫構造計算ソフトを用いた。これらのソフトによって得られた結果が、本システムで抽出した設計可能空間内に含まれていることを確認する。

検証例には、図4に示す Y 方向に小梁を2本架けた床組をもつ 2x2 スパン、2層のラーメン骨組を用いる。

まず、建築構造部材の断面算定を行うソフトで小梁の断面算定を行う。得られた解を表4に示し、鉄骨小梁設計システムより得られた解と比較する。同表から本システムは設計可能空間内に部材の断面算定ソフトによる設計解が得られていることが確認できる。

次に、一貫構造計算ソフトにより表3に示した X 方向の大梁について断面算定を行う。一貫構造計算ソフト

表3 小梁と大梁の設計解候補

小梁の方向 本数	小梁の断面 曲げ応力度検定比	大梁の断面 曲げ応力度検定比		床組の 総重量(N)
X 1本	H-396x199x7.0x11 0.71	Gx	H-456x201x10x17 0.88	24570.24
		Gy	H-396x199x7x11 0.83	
Y 2本	H-298x149x5.5x8 0.81	Gx	H-446x199x8x12 0.85	19460.16
		Gy	H-350x175x7x11 0.85	

表4 小梁の検定結果の比較

	断面寸法	商用の断面算定ソフト		鉄骨小梁設計システム	
		検定比	中央たわみ (mm)	検定比	中央たわみ (mm)
広幅H	H-200x204x12.0x12	0.69	18.50	0.69	18.40
中幅H	H-244x175x7.0x11	0.69	15.30	0.70	15.17
細幅H	H-298x149x5.5x8	0.81	14.60	0.81	14.50
	H-300x150x6.5x9	0.72	12.80	0.72	12.71

\*1 熊本大学 工学部 学部生  
 \*2 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生  
 \*3 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生  
 原田建築設計事務所・所長  
 \*4 熊本大学大学院自然科学研究科 准教授・工博

トによって得られた解を検定図を示し比較する(図5)。以上より PSFD の設計可能空間内に一貫構造計算ソフトによる設計解が含まれていることが確認でき、システムの性能検証を行うことができた。

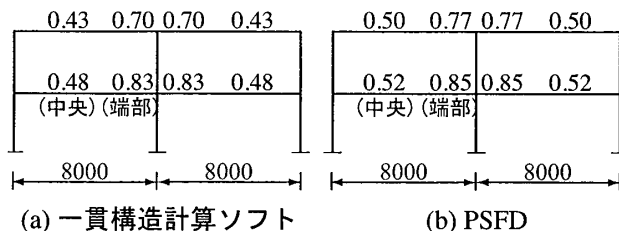


図5 大梁の検定結果の比較(検定比)

5. 結論

ここで示した構造設計システムは、設計可能空間の概念を導入し、従来の構造設計システムの単一解取得の機能が拡張させ、複数の設計可能解取得技法の実装を行った。以下ここで得られた所見を記す。

- 1) 本システムは設計者自身が設計解の決定を行う仕組みとして設計可能空間の視覚化を行い、GUIの充実が図られた。
- 2) 本システムは知識処理を用い、設計規準の書法に則った記述により設計の流れや仕組みの理解が深まると考えられる。
- 3) 同時に複数の設計解を得て、短時間に多くの考察を行えることから、構造設計初学者の構造設計技量の獲得・向上にも有効であると考えられる。

参考文献

[1] 山浦秀行, 山成實, 建築鋼骨組における設計可能空間取得法に関する研究, 第23回情報システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2000年12月  
 [2] 田中尚生, 山成實, 鋼構造設計における設計可能空間取得法に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第14巻, pp.409-414, 2006.11  
 [3] 池田京子他, VisualBasic2005 逆引き大全, 株式会社秀和システム, 2006年7月  
 [4] M.Yamanari, H.Tanaka, Acquisition of designable space for planar steel frames, Digital Architecture and Construction, WIT Press, pp.77-84, 2006.9

Undergraduate, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ.  
 Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.  
 Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.,  
 Harada Design Lab.  
 Assoc., Graduate School of Science and Technology,  
 Kumamoto Univ., Dr. Eng.