

# 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1 デッキ合成スラブ床組設計システム概念と仕組)

正会員 ○原田幸一<sup>1</sup>, 準会員 澤原朝美<sup>2</sup>, 正会員 江口翔<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

近年, コンピュータ・構造計算プログラムは設計熟練者にとって省力化できる便利な道具となっている。そのため, 新人教育にも商用の構造計算ソフトを用いて行われることが常態化している。これらの一貫構造ソフトに代表される商用の構造計算ソフトは, 設計処理過程の自動化が進んだものであり, 建物データ・設計条件などの入力となれば構造計算を行い, 仮定断面が解として適正か否かを判断することから, 設計初学者を育成するには必ずしも適しているとはいえない。アンケート調査<sup>1)</sup>から設計初学者は商用ソフトに頼りすぎて解をすぐに求めたがる傾向にあり, 解の検証ができないうまま設計を完了してしまうという事態を生む懸念がある。このような現状に対して近年では知識処理を用いた新世代の設計システムの提唱がされている。一連の流れにおける本研究では, 初学者にとって設計方法と設計全体の流れが深まり, 短時間で構造

設計技量を獲得・向上するための仕組をもつ知識処理を用いた新しい構造設計支援システムの開発を行った。ここでは本研究で提案するシステムによって得られた設計可能空間の概念およびデッキ合成スラブ床組の設計システムの仕組について述べる。

### 2. 設計可能空間の可視化

#### 2.1 設計可能空間

既往の研究<sup>2)</sup>では, 「設計可能空間」を定義し, それを設計者に提供することの実効性の確認を行っている。ここでは, その設計可能空間の定義を紹介する。

構造設計に提供される数々の骨組は, 設計可と設計不可のものとして存在している。図1で示すようにこれらを再配置し, 設計可能な解を一つの集合としてまとめたものを「設計空間」という。しかし, 設計空間内に存在する解の数は膨大であり, 人間にそのすべてを把握することは困難である。また, 設計可能な解すべてを計算することは多くの時間を要するため, 設計解を決定するには非効率である。そこで, 設計空間から制約条件を与えて数を減じた複数の設計解を抽出したのを「設計可能空間」という。更に, 実際に構造設計を行う際に呼び出す設計可能空間内の解を「複数解」という。本研究で提案する構造設計システムは, 設計者が複数解から一つの設計解を選択する仕組をもつ。

構造設計における解とは, 骨組全体に対する総合的な判断によって決定されるものである。ここで設計者が, 設計条件に対して最も相応しいとする, あるいは適切であるとする解を本研究では「適正解」と定義する。

設計を行う際に, 複数解の出力が可能になることで, 仮定骨組周辺の解も同時に出力される。これによって設計者は最適解ではないが, その中から一時的な適正解を選択することができる。ここでの最適解とは, 設定した目的関数が最小(最大)になるときの値であり

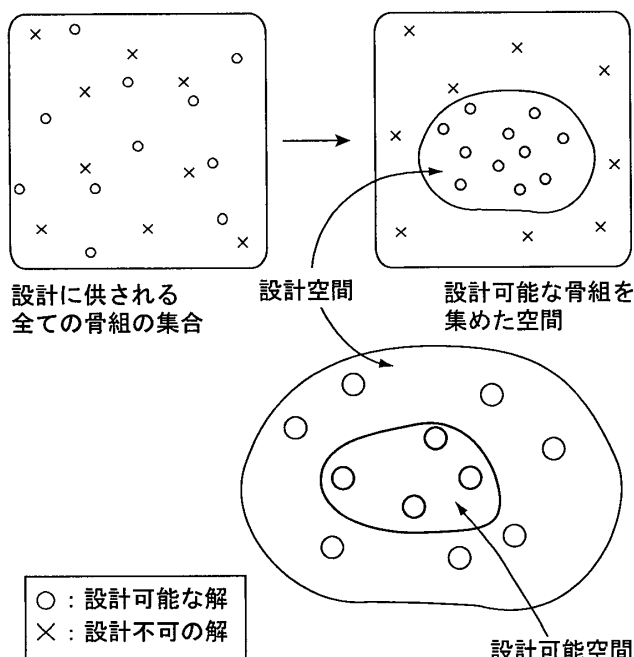


図1 設計空間と設計可能空間

Development of Computer-assisted Structural Design System Providing Multiple Solution  
Part 1 Concept of Design System for Steel Beams with Composite Steel Deck Slab

HARADA Kouichi, SAWAHARA Asami, EGUCHI Sho and YAMANARI Minoru

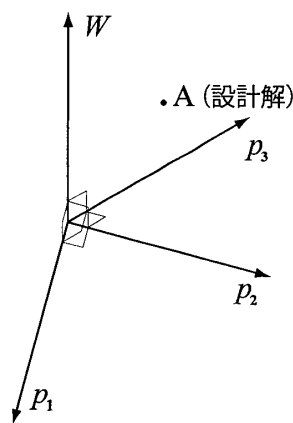
システムの自動計算によって求められることが可能で、設計者の判断を加えることのできない解を指す。適正解が設計者が設計条件に対して自分の判断と責任で決定する解であることから、本研究ではこの両者を明確に区別している。この適正解の選択には設計者の判断が加えられており、ソフトに人間が使われるという逆転現象を回避することができる。また、適正解を選択する際に必要な設計判断も設計の過程で求められているので、初学者の設計判断能力の育成にも有効である。

設計可能空間内の複数解から設計者の判断と責任により適正解を決定するために、解を吟味する必要がある。それには、解を吟味するための評価項目が必要となる。

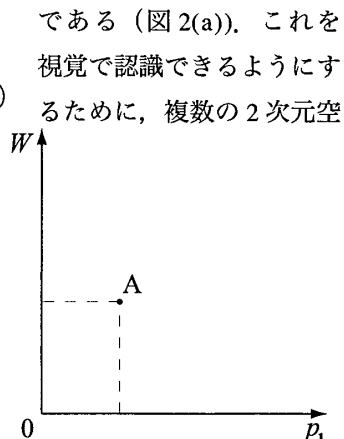
## 2.2 設計可能空間の可視化

本研究では、構造設計初学者が初めに行うことが多いデッキプレート床版を支える鉄骨小梁の設計を取り上げている。小梁は、先に算定された設計荷重から応力計算、断面算定を行うことにより、中央たわみ、曲げ応力度検定比等が求められる。解の検討を行うには、評価項目をしっかりと吟味することができるように、視覚的に認識できる2次元座標空間で示す仕組を用意することを提案する。

小梁の設計においては、梁せい・中央たわみ・曲げ応力度検定比および重量という4つの評価項目がある。これらのうちの重量を他の評価項目に従属する変数  $W$  とし、設計可能空間の評価パラメータとする。残りの評価項目を検討項目とする。このとき、検討項目数は3であり、それぞれを  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  で表す。評価項目で構成する空間は4次元空間であり、本来図化が不可能



(a) 本来図化できない空間



(b) 複数の2次元空間で図化した結果

図2 設計評価空間の可視化の概念

間で可視化して、元の空間を認識できるようにする(図2(b))。可視化には、検討項目数を3とすると、2次元空間で可視化するためには最低3つのグラフが必要となる。

建築構造設計における評価尺度は、数値化により設計可能空間の可視化が可能な項目と数量化できない部材の納まり等が考えられる。後者は部材同士を接合する仕口や継手のように互いの美感や施工性の可能性といった複数の要素によるため一意的な数量化を行うのは不可能と見て良い。その場合、設計者は設計例や設計者自身の好みや方針によって決定解を持つことになる。

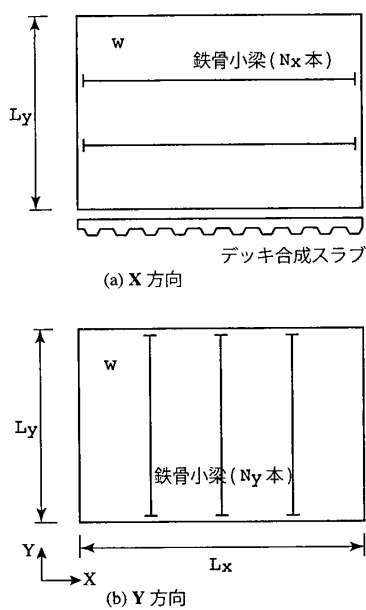
ここでは、数量化できる設計評価尺度のみを設計者に提示し、それ以外の数量化できない評価項目については、利用者が候補解群から選択できるようなシステムの試作を行う。

## 3. デッキ合成スラブ床組の設計支援システム

### 3.1 システムの構成

本システムでは大梁によって4辺を囲まれたデッキプレート床版を支える鉄骨小梁の設計(図3)を行う。平面寸法 ( $L_x, L_y$ )、床荷重 ( $w$ )、床版の架け渡すことができる限界スパンおよび材料情報を入力情報とする。システムの構築に生成検証法を容易にプログラミングできる設計計算言語 DSP<sup>[3]</sup>を用い、鋼部材の情報を蓄えたデザインカタログ内の中から設計可能な複数の断面(設計可能空間)を同時に抽出することを可能とする。

DSPでは、個々の処理を担うプログラムをモジュールという単位で表現している。モジュールは設計規準の書法によって記述することができる。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では、処理手続き順序を気にせ



ずに設計仕様を記述可能である。既往の研究<sup>[2]</sup>において、データの透明性の必要性を唱えているが、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、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。

図3 デッキ合成スラブ床組

### 3.2 鉄骨小梁の配置計画

鉄骨小梁の一般的な設計では、意匠設計者によってなされた柱割を元に床版と小梁の配置計画がなされる。床版の設計が構造計算や法規等を満足した後に、床版の設計条件を満足するように鉄骨小梁の配置方向・配置本数を仮定することから始まるが、この小梁の配置計画が構造設計初学者にとって容易ではない。商用ソフトや表計算ソフト (Excel 等) は仮定した小梁の配置方向・配置本数における解を提供することはできるが、それは一つの条件下に対する一つの解に過ぎない。小梁の合理的な設計計算と設計解の選択を容易にするために、本システムは複数の条件下における複数の設計解の候補を提供することで設計者に小梁の配置計画のための情報を提示する仕組みをもつ。

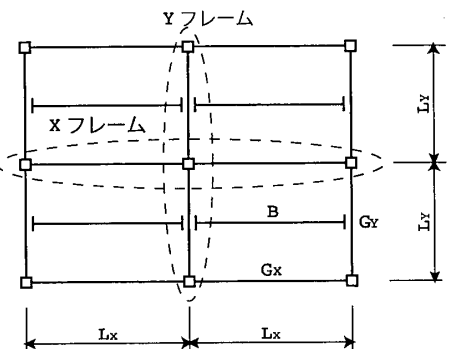
床組の設計支援システムは、システムが小梁の配置方向と配置本数を生成することで小梁のスパンと負担する等分布荷重を計算する。鉄骨小梁の断面検討システムを用いて複数の設計解候補を一度に得る。配置方向、配置本数、小梁せいおよび小梁総重量を入力情報とし、曲げ応力度検定比および中央たわみを得て、設計解決定の判断材料を設計者に提供する。利用者の入力による設計情報に基づき、鋼構造設計規準を満足するように知識ベースとして蓄えているデザインカタログの情報から設計解の候補をシステムが一度に複数得る。すなわち、システムは生成検証法による設計要件を満足する集合を抽出する仕組みをもつ。DSPによるプ

ログラミングにおいては、その言語体系の特長であるループを指示するコマンドを記述する必要がないということはシステム構築の労力削減に貢献している。このシステムでは、小梁の配置本数は、床版の架け渡すことができる限界のスパンから求められる小梁の必要本数の場合と、小梁の負担荷重低減の影響を検討するために必要本数に1本加えた場合を想定し、X、Y両方向の小梁の配置について設計解を算定し、検討を行うことができる。

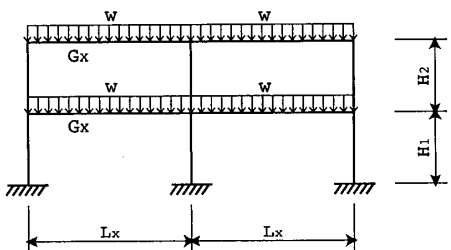
### 3.3 床組周辺の大梁の設計

床組周辺の大梁には、小梁の配置方向により、床組周辺の大梁には小梁からの集中荷重もしくはスラブからの等分布荷重が作用する場合の2ケース (図4) がある。小梁が大梁に荷重を集中荷重として作用する場合は大梁のせいは増大する結果となり、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定される。このことから小梁のみの重量やせいの検討では床組全体の検討に最良の結果をもたらすとは限らない。従って、小梁をX方向またはY方向に配置した場合毎に2方向の大梁の算定結果を吟味する必要がある。

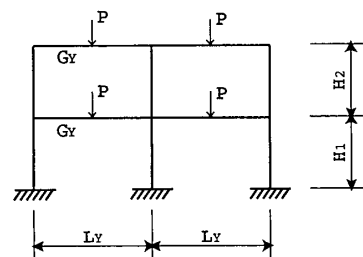
そこで、大梁の算定には既に開発された平面骨組の構造部材断面算定支援システムを採用し上記の問題を解けるようにする。このシステムは、骨組を構成する柱、大梁の断面算定を行う



(a) 伏図 (小梁をX方向に配置した場合)



(b) Xフレーム軸組図



(c) Yフレーム軸組図

図4 大梁検討の伏図・軸組図

システムである設計可能空間の柱および大梁断面のパリエーションの中で大梁に注目した大梁重量およびせいの情報について抽出し、与えられた床組の設計検討を行う。このシステムに改良を加え、小梁の配置計画を検討するシステムと連携させる。これは、小梁の検討を行った後、選択した小梁の総重量を大梁の算定システムに反映させ、大梁の検討を行うようにするものである。このとき、2つのシステムを個別に用いて算定することもできる。しかし、床組の寸法等の入力情報や小梁の断面情報、配置計画および総重量など、必要な情報をそれぞれに入力しなければならなくなる。その際に誤入力が発生する可能性がある。誤入力を防ぐため、また、設計を迅速に進めるために2つのシステム間のデータ転送を可能とする。

平面骨組の設計では、骨組の節点数、要素数が小梁の配置方向や配置本数により変化するため数値のみでは設計者に多大な負担となってしまう。そのため、グラフィカルユーザインターフェイス (GUI) の実装が不可欠である。このシステムは、既往の研究を継承し、GUIの実装のために、一般的によ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をもつExcelを用いている。設計者は、GUIを通して骨組に関する情報(材料情報、構造階高)の入力、骨組の確認、グルーピングが適正であるかの確認、設計可能空間内からの解の選択等の作業を行う。

このシステムの仕組を図5に示す。このシステムでは、小梁の配置計画検討システムからの情報よりGUIを通して入力された骨組の情報は、まずデータウィンドウに保存される。このデータウィンドウに保存された情報を基に構造解析、断面検討、設計可能空間の抽出が行われる。ここで用いられる断面検討のシステムは、設計計算言語DSPを用いて構築された鋼部材断面検討システムである。

ここで得られた情報(構造解析・断面検討・設計可能空間)はデータウィンドウで表示される。このデータを基に、応力・変形の図化、各グループの応力検定比分布の図化、設計可能空間の図化等の作業が行われる。設計者はこのようなGUIを通して、結果の確認、変更を視覚的に行うことができる。

このシステムでは、構造解析・断面検討・設計可能空間の抽出は自動化されているが、設計可能空間からの最終的な設計解の選択は設計者に委ねられている。このように人間と機械の共同作業によって、人間主導型の設計を行うことを可能としているところが本システムの特長といえよう。本報その2では上述の概念を実現する為の実装例を示す。

参考文献

- (1) 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
- (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) 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, 電子情報学会技術研究報告集, AI 91-60, pp. 25-32, 1991

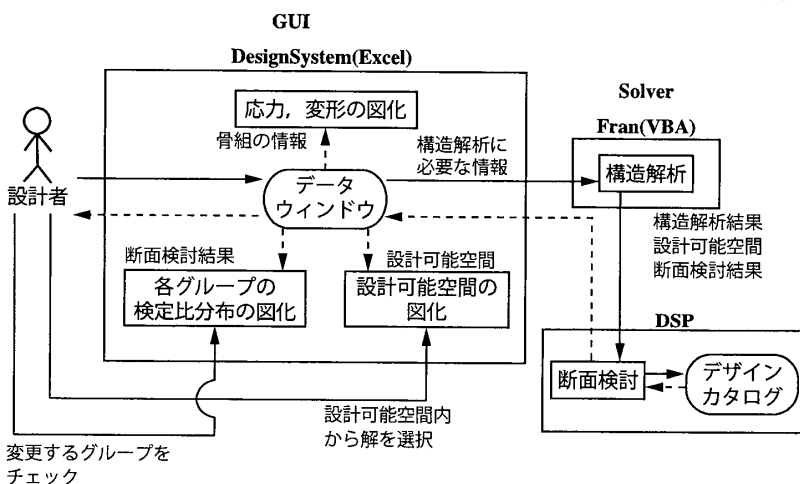


図5 平面骨組の構造計算システムの構成図

\*1 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  
\*2 熊本大学 工学部 学部生  
\*3 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生  
\*4 熊本大学大学院自然科学研究科 准教授・工博

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