

デッキ構造スラブの教育支援システムの実装と設計解の分析

村田遼[†] 増本翔[†]
澤原朝美^{††} 原田幸一^{†††} 山成實^{††††}

本研究では、デッキ構造スラブの教育支援システムの開発を行った。本システムは、建築構造における設計初学者の設計感覚を養うことを目的とするものであり、本研究で新しく提案するシステムを構築した。デッキプレート床構造のうち、本報告ではデッキ構造スラブを取り挙げ、デッキ構造スラブの性能を分析した。

Development and Evaluation of Training Tool for Structural Design of Steel Deck Structural Slab

Ryo Murata[†], Sho Masumoto[†]
Asami Sawahara^{††}, Kouichi Harada^{†††} and Minoru Yamanari^{††††}

This paper describes an educational tool for design of deck structural slabs aimed to raise the design sense of structural design of those who are new comers in the structural design field. The system was demonstrated with some problems with deck structural slabs that were applied in exercise. This paper concludes that the system is useful for beginners in training of structural design.

1. はじめに

建築鋼構造における床構造には、「デッキプレート床構造設計・施工規準-2004」[1]に記載されているように、デッキプレートの特長を活かした3種類の構造形式(図1)がある。デッキ床組の設計を行う際は、まず、この構造形式を決定して設計を始める。しかし、これらは各々で構造形式が異なり、設計方法が異なる。安全で合理的な設計をするためには、各構造形式の特徴に対する正しい理解と技術の習得が不可欠となる。さらに、床の規模やプロポーションに相応しい構造形式の選択をどのような尺度で行うかが明らかではない。したがって、本研究で対象者としている構造設計初学者は、構造設計の経験が少なく、これを選択する作業は困難であると考える。

本報告は、3種類のデッキプレート床構造の構造形式の中で、同図(c)に示すデッキ構造スラブについて新しい設計支援システムを構築した。本システムは、図2(a)に示すY方向に小梁を架けた床組を設計対象とする。さらに、そのシステムを用いた設計解について性能評価をする。

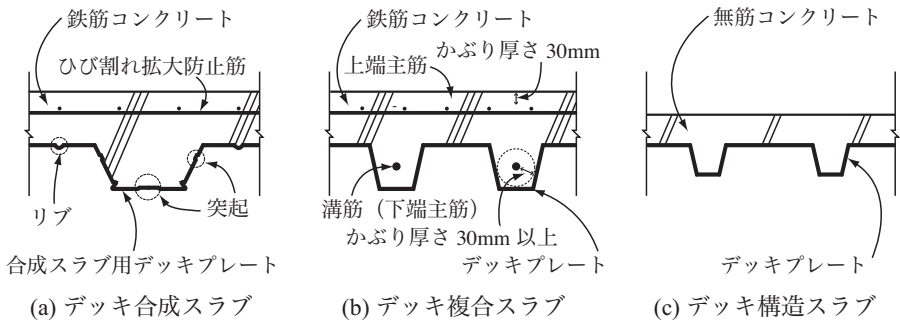


図1 デッキプレート床構造の構造形式一覧

2. デッキ構造スラブ

デッキ構造スラブは、図2(b)に示す断面をもつデッキプレートを構造体とし、デッキプレートとコンクリートの自重、床の積載荷重や仕上材などの全荷重をデッキプレート

† 熊本大学工学部 学部生

Undergraduate, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ.

†† 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生

Graduate Student, School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

††† 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

Graduate Student, School of Science and Technology, Kumamoto Univ., Harada Design Lab.

†††† 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.

のみで支えるスラブ構造である (図 1(c)). デッキプレートの上に床仕上材としてコンクリートを打設したデッキ構造スラブは, 軽量で丈夫でしかも施工が簡単であるため, 鉄骨造の小規模な建築物に広く用いられている. デッキ構造スラブは, 純鉄骨として取り扱うため, コンクリート床版の設計は必要なく, 複雑な設計過程が省かれる.

デッキプレートのみで支える構造のため, デッキプレートの耐久性や, 集中荷重等によるウェブの座屈防止および施工の信頼性等を考慮して, 板厚は 1.0mm 以上とする.

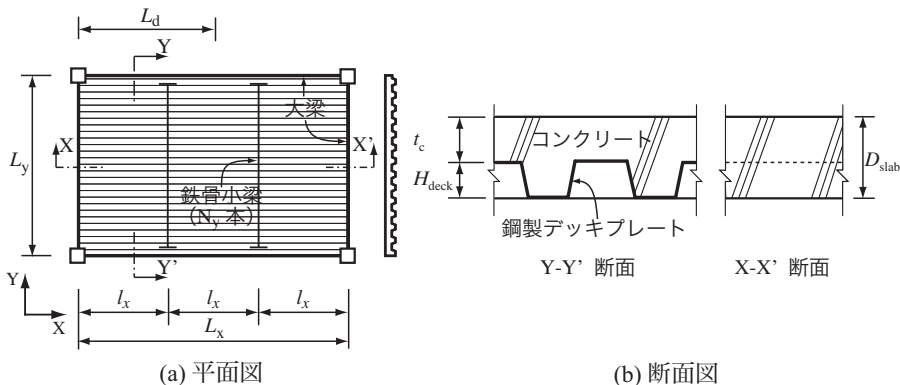


図2 デッキプレート床構造の構成

3. デッキ構造スラブの設計システムの構成

3.1 設計計算処理の記述

本システムは, OS を Windows とするパーソナルコンピュータを計算機環境とし, データフロー言語 DSP[2] を用いてシステムを構築した. 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が行われる. Fortran もサブルーチンという副プログラムでシステムを階層化や並列化できるが, DSP では一つのモジュールが独立したプログラムとして成立している. これより, プログラム開発の省力化が図れる.

モジュールは設計規準の書法により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, 処理手続きの順序を気にせずに設計仕様を記述可能である. これより, ユーザーはモジュール内部を容易に把握でき, 自らの用途に合わせてその記述を変更することも容易となる.

文献 [3] において, データの透明性の必要性を唱えているが, DSP によってプログラ

ムを記述することで、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可能である。これは処理およびデータの透明性を保証しており、本設計支援システムは初学者教育において有効であると考えられる。

3.2 実装

本システムは、前節でも述べたように DSP を用いて実装した。これは設計可能空間 [4] 内に存在する各デッキプレート床構造の構造形式で設計規準を満足する複数解を設計者に提示し、その中から設計者が最も設計目的に適する設計解の決定を促す仕組みをもつ。

図3にデッキ構造スラブの設計のデータフロー図を示す。デッキプレート床構造の設計をする際に、初学者にとって設定が容易ではないコンクリート厚 t_c に許容範囲を与えるようにした。システムが t_c を自動生成することにより、デッキプレートとの様々な組み合わせの設計解を検討することができる。本システムのデザインカタログに登録されているデッキプレートの断面情報は51種類ある。これより考えられる設計解の数はデッキプレートの種類に t_c を乗じた値となり、設計解の数は膨大となる。デッキプレート床構造の設計は、同図に示すように、設計規準で定められた曲げ応力度検定比や中央たわみの制限がある。本システムでは、これらを全て満足するもののみ設計解として算出するため、設計解の数は少なくなる。

しかし、設計に余裕のある断面が設計空間に含まれる数が多い。この問題に対しては、曲げ応力度検定比に許容範囲などの制約条件を付与することで解の数の爆発を防ぎ、設計解を決定する際の判断をより容易にする。

4. デッキ構造スラブの性能調査

4.1 調査概要

ここでは、前章で構築した設計システムを用い、初学者設計教育支援に資する構造的な性能の調査を行う。性能とは、部材がもつであろう種々の性質や能力をいう。経験的知識のない初学者は、性能を事前に把握することで、設計時にある程度の解の目星をつけることができると考える。これは解の探索を容易にし、設計の短時間化、省力化を可能にする。システムを用いる際に性能を事前に提供することが、設計の更なる補助に繋がると期待される。

限界スパン長 L_d について調べる。 L_d とは、スラブを架け渡すことができる限界のスパン長である。 L_d が大きいほどスラブのスパン長を大きくすることができ、コストの削減や設計の自由度を広げることができる。しかし、初学者は経験的知識がないため、どのデッキプレートがどれだけのスパン長を架け渡すことができるか判断することは困難である。したがって、 L_d をデッキプレートの性能を示す一つのパラメータとして考え、設計者に提供し、設計をする際の判断材料となるようにした。

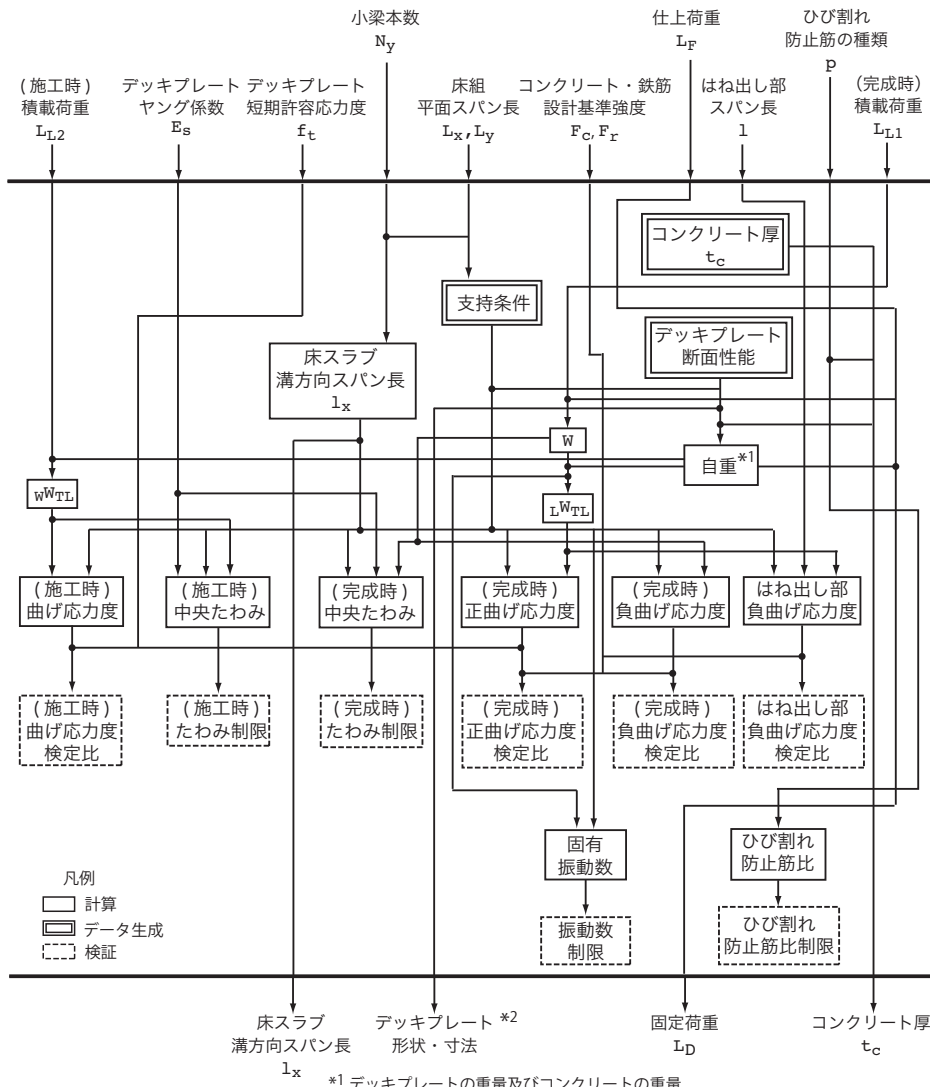


図3 デッキ構造スラブの設計のデータフロー図

4.2 調査方法

デッキプレートはその断面の性質から、強辺方向である X 方向のみで床重量を支えるため、X 方向の L_d を数値計算によって求める。本システムを用いて、床組の X 方向デッキスパン長 L_x の値を 0.1m ごとに変化させ、すべてのデッキプレートに対する L_d を求める。デッキ構造スラブの設計規準に適用されるデッキプレートは 51 種類ある。設計計算をとおして得られる設計解の数が 0 となったら、計算を終了させる。この際、 L_d ごとの設計解の数の変化からデッキ構造スラブの性能を評価する。ここでの入力情報には表 1 の値を用いる。

表 1 入力情報

Y 方向スパン長		L_y (m)	3.6	
鉄骨小梁の本数		N_y (本)	1	
荷重	(完成時) 積載荷重	L_{L1} (N/m ²)	2900	
	(施工時) 積載荷重	L_{L2} (N/m ²)	1470	
	仕上荷重	L_F (N/m ²)	700	
材料情報	デッキプレート	ヤング係数	E_s (N/mm ²)	205000
		短期許容応力度	f_t (N/mm ²)	235
	コンクリート	設計基準強度	F_c (N/mm ²)	18
		厚さ	t_c (mm)	60

4.3 調査結果

4.3.1 限界スパン長に対する設計解の数

L_d に対する設計解の数の変化を図 4 に示す。グラフの変動から、設計解の数は L_d が 2m 付近で急激に減少しており、 L_d は 2m 程度のものが多いといえる。これより、デッキ構造スラブは 2m 以上のスパン長の床組にあまり適していないことが分かる。また、 L_d は最大で 3.4m あるものから最小で 0.9m しかないものまであり、デッキの種類により大きな違いを見せた。この主な要因には、デッキプレートのせい H_{deck} が関係していると考えられる。同図に示す H_{deck} は、 L_d で設計不可能となったときの H_{deck} を表している。 H_{deck} は L_d が大きいほど大きな値を示すことから、 L_d は H_{deck} が大きいほど大きくなる傾向にあるといえる。これは、 H_{deck} が大きくなるほどデッキプレートの断面二次モーメント I が大きくなり、デッキプレートの耐荷能力が増すからであると考えられる。よって、デッキプレートの性能を示す一つの指標として H_{deck} が重要であることが分かる。

4.3.2 小梁本数の違いによる設計解の数

ここでは、小梁の本数 N_y が L_d に与える影響について検討する。小梁本数は設計者によって始めに入力情報として入力されなければならないが、初学者にとって適当な小梁の本数を設定することは難しい。そこで、小梁本数の違いによる設計解の数を調べた。前項の計算結果 ($N_y = 1$) を基準とし、 $N_y = 0$ のときと $N_y = 2$ のときの計算結果との比較を行っ

た。ここで、 $N_y = 0, 1$ および 2 はそれぞれ単純支持、2 連支持および 3 連支持に対応している。

これらの支持条件に応じた設計解の数の変化を図 5 に示す。設計解の数は、 L_d が $N_y = 0$ のとき $0.7 \sim 2.8\text{m}$ 、 $N_y = 2$ のとき $0.8 \sim 3.3\text{m}$ の範囲で変動した。 L_d は $N_y = 1$ のとき最も大きくなる。これは、デッキプレートの最大の曲げ応力度が 2 連支持のときに最も小さくなるためである。

4.3.3 コンクリート厚の変化による設計解の数

ここでは、設計に影響するものとして荷重について検討する。コンクリート厚 t_c は、デッキプレートの上に打設するコンクリートの厚さである。 t_c はコンクリート自重に大きく関わる値であるため、設計者は設計に適した t_c を設定しなければならない。よって、ここでは t_c の変化による設計解の数を調べた。前項の計算結果 ($t_c = 60$) を基準とし、 $t_c = 120$ 、 $t_c = 180$ に対応した結果の比較を行う。

t_c の変化による設計解の数の変化を図 6 に示す。 L_d は、 $t_c = 120$ 、 $t_c = 180$ ともに荷重の増加から減少した。その減少率は、 $t_c = 120$ のとき $5.6 \sim 11.8\%$ で平均 7.7% 、 $t_c = 180$ のとき $10.3 \sim 17.6\%$ で平均 13.1% となった。これより、 t_c を 2 倍、3 倍とすると、ほぼ比例して L_d が減少することがわかる。

4.3.4 設計判定法の違いによる設計解の数

本システムでは、設計可能空間内の設計可能な解を複数個同時に出力することで、解の比較検討をすることができる。その際、解の情報も同時に出力されるが、設計不可能と判断された解は出力されることがないためその情報を見ることができない。これでは設計者が設計不可能となった理由を知ることができない。ここでは、設計不可能な解がなぜ設計不可能であるか知ることの一つの判断材料になりうると考え、設計判定法についての検討を行う。

基準スラブに前項の計算結果を用い、これを判定法 1 とした。このときの判定された検討項目を調べると固有振動数の検討によって設計不可能と判断されている解が多くみられたため、固有振動数の検討を省いたものを判定法 2 とした。さらに、ここでの判定された検討項目も調べるとたわみの検討で判定されていたものが多かったため、固有振動数とたわみの検定を省いたものを判定法 3 とした (表 2)。

設計判定法の違いによる設計解の数の変化を図 7 に示す。 L_d に対する設計解の数は、判定法 1、判定法 2 および判定法 3 の順で大きくなった。これより、設計不可能な解はほとんどの場合で固有振動数の検討により設計不可能と判断されていることが分かる。一般的にたわみや応力度の検討のような構造的な問題によって設計不可能と判断されていると考えがちであるが、固有振動数の検討のような居住性に関する問題が大きく影響していることがわかった。しかし、「デッキプレート床構造設計・施工規準-2004」[1] において、固有振動数の値はあくまで使用上支障のない範囲に制限されるため、その判断は設計者に任される。

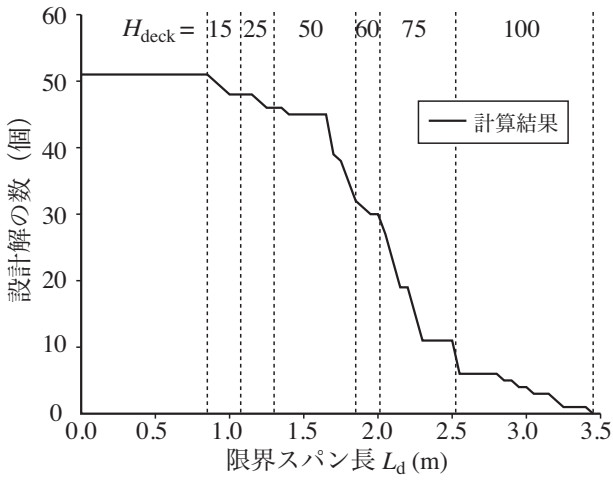


図4 限界スパン長に対する設計解の数

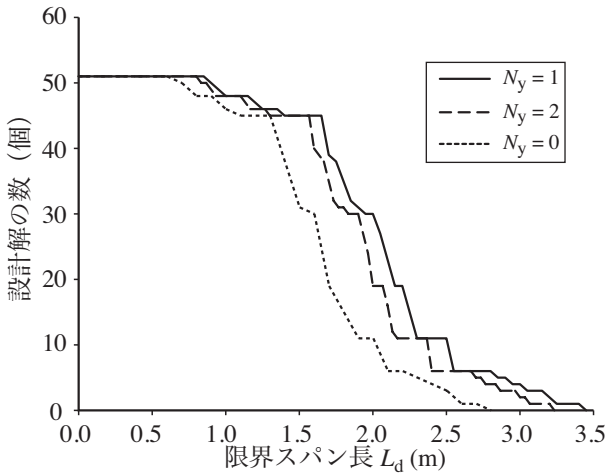


図5 小梁本数の違いによる設計解の数

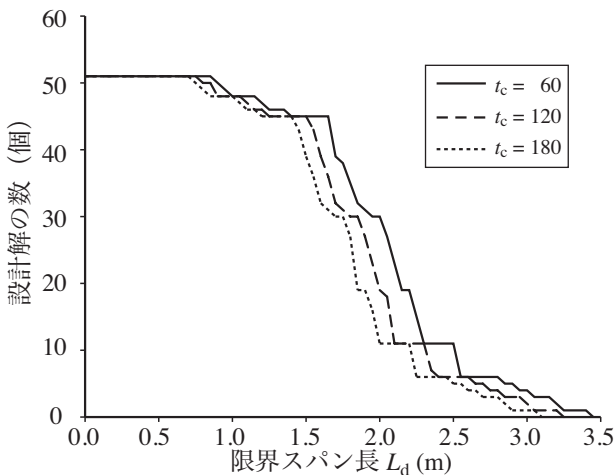


図6 コンクリート厚の変化による設計解の数

表2 判定法の詳細

検討項目	判定法		
	1	2	3
曲げ応力度	○	○	○
たわみ	○	○	×
固有振動数	○	×	×

5. おわりに

本報告は、デッキ構造スラブについて複数解を取得し、新しく設計システムを構築した。システムを用いて設計空間に関する設計解の分析を行ったことにより、デッキ構造スラブの特徴を知ることができた。このような設計解の分析を容易に行うことができるシステムは、初学者教育において有効な機能を有している。以下に得られた所見を記す。

- 1) スラブのスパン長は1~2m程度が適当である。
- 2) 小梁の本数が1本するとき、スラブのスパン長を最も大きくすることができる。
- 3) 設計不可能な解は固有振動数の検討で判定されており、居住性の問題をどうするか考える必要がある。

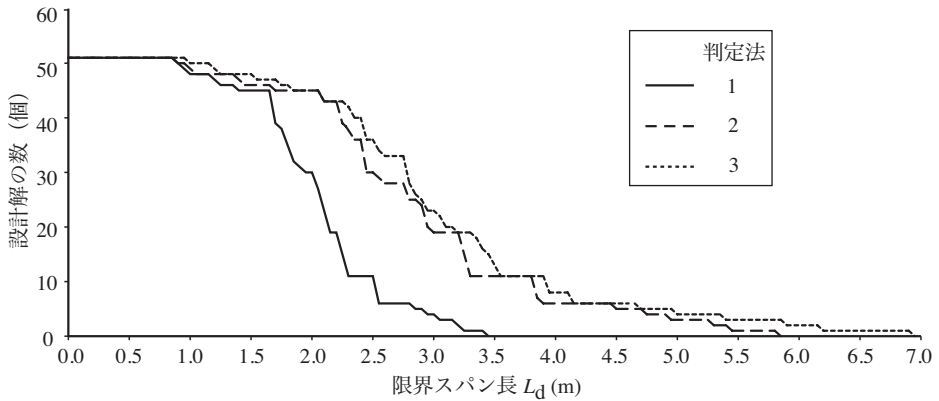


図7 判定法の違いによる設計解の数

参考文献

- [1] 独立行政法人建築研究所：デッキプレート床構造設計・施工規準-2004, 2004
- [2] 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 90-60, pp.25-32, 1991
- [3] 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, 鋼構造年次論分報告集, 第14巻, pp.409-414, 2006.11
- [4] M.Yamanari, H.Tanaka, Acquisition of designable space for planar steel frames, Digital Architecture and Construction, WIT Press, pp.77-84, 2006.9