

初学者教育のためのデッキプレート床構造設計支援システム開発 (その2 デッキ複合スラブの設計解と性能評価)

準会員 ○ 増本 翔^{*1}, 同 村田 遼^{*1}, 正会員 澤原朝美^{*2}
正会員 原田幸一^{*3}, 同 山成 實^{*4}

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. はじめに

(その1)に続き, 本報では, デッキ複合スラブ設計システムの設計解と性能評価について論じる.

2. デッキ複合スラブ

デッキ複合スラブとは, デッキプレートの溝に主筋を配置した鉄筋コンクリートスラブとデッキプレートの両者で荷重を分担する構造である. 完成時におけるデッキ複合スラブの構造解析は, デッキプレートの山上の平板部状のコンクリート厚に応じて一方向性スラブまたは直交異方性スラブとして行われる.

2.1 一方向性スラブ

図1に一方向性スラブの断面を示す. 一方向性スラブは原則として, デッキプレートの山上の平板部状のコンクリート厚が50mm以上, 120mm以下で, デッキプレートの板厚が0.8mm以上, コンクリートのかぶり厚は30mmとする.

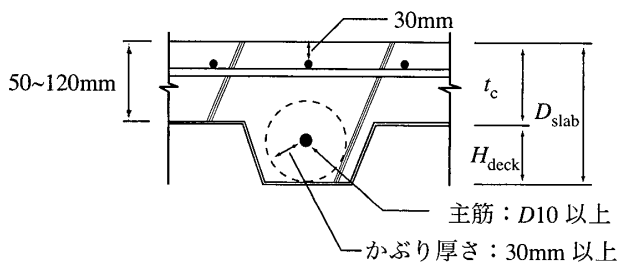


図1 一方向性スラブ断面

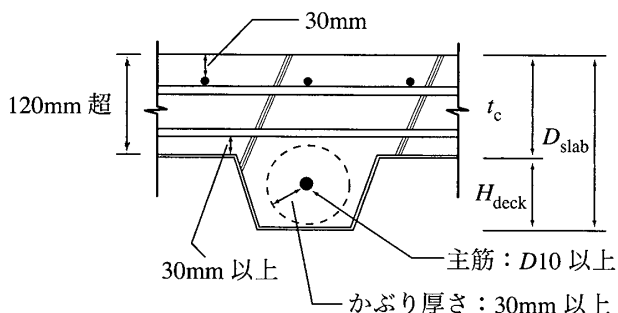


図2 直交異方性スラブ断面

2.2 直交異方性スラブ

図2に直交異方性スラブの断面を示す. 直交異方性スラブは原則として, デッキプレートの山上の平板部状のコンクリート厚が120mm超で, 一方向性スラブと同じく, デッキプレートの板厚は0.8mm以上, コンクリートのかぶり厚は30mmとする.

また, 一方向性スラブ, 直交異方性スラブともに, 主筋はD10以上の異形鉄筋(本研究ではD10, D13, D16を使用)とし, その最大間隔は300mm以下とする. ただし, この数値は, 鉄筋コンクリート造の床版における建築基準法施行令の規定(令第77条の2, 200mm以下)を超えるものであるため, デッキプレートの部分, 鉄筋コンクリートの部分それぞれ単独で政令・告示の規定を満足する必要があることから, 鉄筋間隔が200mmを超える場合には, 令第77条の2第1項ただし書きの規定に従い, 令第82条第四号に掲げる構造計算によって振動または変形による使用上の支障が起らないことを確かめなければならない^[1].

2.3 適用デッキプレート

デッキプレートタイプには, 合成スラブ用デッキプレート, プレーンデッキ(旧JIS系=V形またはU形デッキ等), フラットデッキが製造され, デッキプレートを利用したスラブ構法は, 構法によって適用できるデッキプレート形状がある. また, 本報告で取り上げるデッキ複合スラブは, 合成スラブ用デッキプレート, プレーンデッキプレート(旧JIS系)を適用することにする.

3. デッキ複合スラブの構造設計例

設計可能空間^[2]でのデッキ複合スラブの性能評価を行う. 設計例として, 事務所を対象とした, 小梁が短辺方向(Y方向)に沿って1本架け渡された1枚のスラブについて, デッキプレート床構造設計支援システ

表 1 設計例の入力情報

大梁によって囲まれた床組の平面寸法	X方向のスパン長	L_x (m)	3.6, 7.2	
	Y方向のスパン長	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_T (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, 120, 180
	鉄筋	設計基準強度	F_T (N/mm ²)	295
制約条件	曲げ応力度検定比		0.6~1.0	

ムを用いて、デッキ複合スラブの設計解および性能を示す。

3.1 設計条件

表 1 にデッキ複合スラブの設計に必要な床組の平面寸法 L_x, L_y および積載荷重 (完成時 L_{L1} および施工時 L_{L2})、デッキプレートやコンクリートの材料情報等の入力情報を示す。制約条件として曲げ応力度検定比に 0.6~1.0 を与える。ただし、施工時および完成時曲げ応力度検定比のうち、少なくとも 1 つ条件を満たす解を設計解とする。この入力情報を入力することにより、デッキプレートの断面情報を含むデザインカタログから規準を満たす設計解を複数個出力する。

3.2 デッキ複合スラブの設計解と性能

デッキ複合スラブの設計解と性能について、評価を行う。ここで、 L_x を 3.6m とする場合 (Slab A) および 7.2m とする場合 (Slab B) についてデッキ複合スラブの設計解の変化を比較した。このとき、小梁の本数は、短辺方向 (Y 方向) に沿って 1 本なので、スラブを設計するスパン長 l_x はそれぞれ 1.8m, 3.6m となる。以下に様々な評価項目に関する設計解を比較しながら、設計解と性能について論じる。

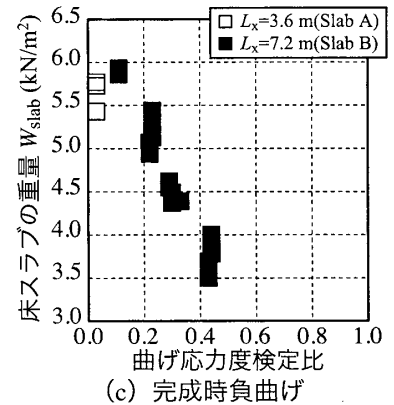
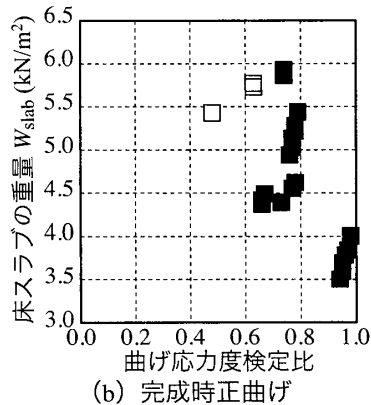
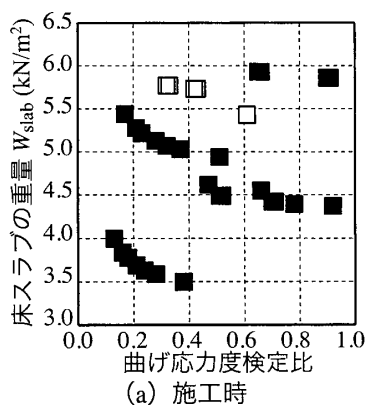


図 3 曲げ応力度検定比

3.2.1 曲げ応力度検定比と床スラブの重量

図 3 に施工時、完成時それぞれの曲げ応力度検定比と床スラブの重量 W_{slab} の関係を示す。Slab A では施工時および完成時ともに曲げ応力度検定比に余裕がある。それに対して、Slab B では施工時、完成時のそれぞれで曲げ応力度検定比が 1.0 に近い値をもつ設計解を得られた。図 3 より、デッキ複合スラブの設計には、施工時および完成時の正曲げ応力度検定比が大きく関係することが分かる。

3.2.2 中央たわみと床スラブの重量

図 4 に施工時、完成時それぞれのスラブ中央たわみと床スラブの重量 W_{slab} の関係を示す。Slab A, Slab B ともに完成時の中央たわみは、8mm 以下で分布しているため、余裕のある設計解を得られた。施工時の中央たわみもほとんどの解が 16mm 以下に分布しているため、余裕のある設計と言える。

3.2.3 床スラブのせいと床スラブの重量

図 5 に床スラブのせい D_{slab} と床スラブの重量 W_{slab} の関係を示す。解の小さな集合が右上がり規則正しく分布していることが分かる。図 1 および図 2 で示したように、 D_{slab} はコンクリート厚 t_c とデッキプレートのせい H_{deck} の和である。したがって、 t_c が大きな設計解の D_{slab} は当然なことながら大きくなり、 W_{slab} も大きくなる。 t_c が大きいと、施工時のたわみの検討に大きく影響する。

3.2.4 固有振動数とせい

図 6 に固有振動数 f と床スラブのせい D_{slab} の関係を示す。Slab A では 90~100Hz に分布しており、Slab B では 18~25Hz に分布している。したがって、 L_x の小さな Slab A の設計の方がゆっくりな揺れの設計になる。Slab B は D_{slab} の値に関係なく、 f の値は、ほぼ同じ値

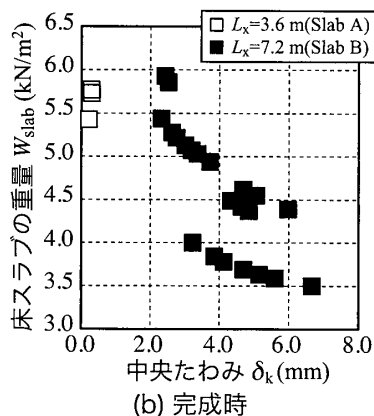
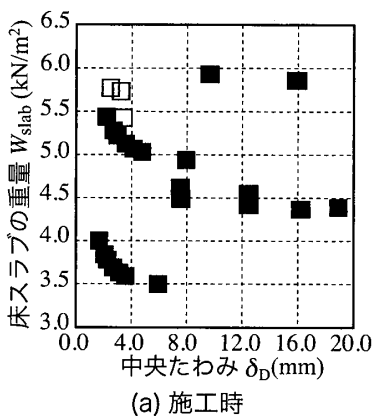


図4 中央たわみ

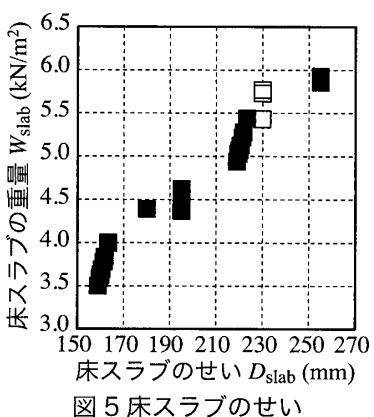


図5 床スラブのせい

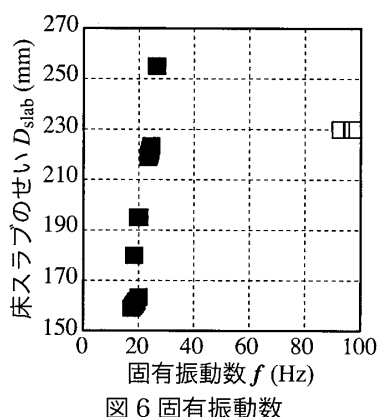


図6 固有振動数

の設計解をもつことから、 f に D_{slab} は影響しないことが分かる。

それぞれのグラフを比較してみると、Slab Aの設計可能空間はかなり狭いのに対して、Slab Bの設計可能空間は広いことが分かる。広域の設計可能空間から適正解を選び出すことは、初学者にとって困難な作業である。しかし、さまざまな評価項目のグラフを用いることで、十分に解の検証した上で、安全性を考慮した設計、経済性を考慮した設計など、目的にあった設計解を見つけ出すことが可能である。

以上のことから、視覚的に評価項目別のグラフを用いてデッキ複合スラブの設計解の検討をすることは、初学者の設計感覚を養う教育材料のひとつとして、おおいに役に立つことが分かった。

4. デッキ複合スラブの性能調査

4.1 調査概要

前章では、デッキ複合スラブの設計解について、制約条件を設け限定した設計解を抽出した。制約条件を設けて設計可能な解を限定し抽出したのを、「設計可能空間」と定義し、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」と定義する¹²⁾。本章では、

設計空間におけるデッキ複合スラブの性能評価を行う。設計空間を把握することで、どのような規模の設計ができるのか、どのような室の形状に適しているかなど、デッキ複合スラブの特徴を理解することができる。そのことによって、目的に合った設計解の選出を短時間かつ正確に行うことが可能となる。したがって、デッキ複合スラブの性能を評価することが、初学者の構造設計技量の獲得と向上に役立つ。

4.2 調査方法

前章でデッキ複合スラブの設計解は施工時および完成時の正曲げ応力度検定比に影響することが分かった。そこで、設計空間の変化を以下の方法で検討する。

表2に示すように、 t_c とスラブを設計するスパン長 l_x を変化させ、極めて小さなスラブから極めて大きなスラブで、設計空間にどのような変化があるかを調べる。また、施工時の検討を考慮した場合

と、完成時のみの検討を行った場合の比較をすることで、設計空間にどのような変化があるかということも同時に調べる。その他の条件は前章で与えた設計条件とする。ただし、前節で述べたように制約条件は設定しない。

同表の施工時の検討の欄にある「○」の列の数値は施工時の検討を考慮した場合の設計可能な解の数を示し、「×」の列の数値は完成時の検討のみを行った場合の設計可能な解の数を示す。したがって、○の設計解の数と×の設計解の数と同じ場合、施工時の曲げ応力度検定比およびたわみの検討が設計空間の変化に影響ないということである。反対に設計解の数の差が大きくなると、設計空間の変化に施工時の曲げ応力度検定比および中央たわみの検討が大きく影響していることになる。

また、 t_c が60mmと120mmは一方向性スラブの検討、150mmと180mmは直交異方性スラブの検討となる。一方向性スラブの場合は、溝に入る鉄筋(D10, D13, D16)の径別で設計解の数を求めている。直交異方性スラブは4方向に3種類の鉄筋(D10, D13, D16)が入る

ため、設計可能な解の数は一方向性スラブの解と比べて大幅に増える。

4.3 調査結果

まず、一方向性スラブについては、当然のことながらスパン長が長くなると解の数は減少する。特に l_x が 1.8m から 2.7m に変化する時、鉄筋の径が D10 では設計可能な解が 0 になる。さらに、一方向性スラブは施工時の検討が設計可能な解の数の変化に影響しないことが分かる。したがって、一方向性スラブではスラブを設計するスパン長は 4m 弱が限界である。

表 2 設計空間の解の数

(a) $l_x=1.8m$ の場合

t_c (mm)	60		120		150		180	
施工時	○	×	○	×	○	×	○	×
D10	25	25	25	25				
D13	33	33	33	33	1476	1476	1476	1476
D16	33	33	33	33				

(b) $l_x=2.7m$ の場合

t_c (mm)	60		120		150		180	
施工時	○	×	○	×	○	×	○	×
D10	0	0	0	0				
D13	15	15	25	25	1380	1380	1180	1380
D16	23	23	33	33				

(c) $l_x=3.6m$ の場合

t_c (mm)	60		120		150		180	
施工時	○	×	○	×	○	×	○	×
D10	0	0	0	0				
D13	0	0	0	0	378	786	456	1086
D16	0	0	15	17				

(d) $l_x=4.5m$ の場合

t_c (mm)	60		120		150		180	
施工時	○	×	○	×	○	×	○	×
D10	0	0	0	0				
D13	0	0	0	0	54	345	81	471
D16	0	0	0	0				

次に、直交異方性スラブについては、一方向性スラブと同様に、 l_x が 2.7m までは施工時の検討が設計可能な解の変化に影響がない。しかし、 l_x が 3.6m, 4.5m になると施工時の検討を考慮した場合と、完成時のみの検討の場合で、設計可能な解の数の大きな変化が見られる。特に l_x が 4.5m の時の設計可能な解の差は約 6 倍である。つまり、直交異方性スラブは施工時の検討が設計可能な解の数の大きな影響を与えることとなる。これは、直交異方性スラブのコンクリート厚が大きいため、デッキプレートへの荷重負担が大きくなり、曲げ応力度検定比やたわみの検討で設計不可となったためと考えられる。しかし、規準書によると、支保工、仮設梁の使用可となっているので、施工時の検討で設計不可となった解の中にも、実際は設計可能な解が含まれるということになる。したがって、直交異方性スラブは l_x が 4.5m を超えるスパン長でも設計が可能であることが分かった。

5. おわりに

構造設計システムを用いて設計可能空間と設計空間それぞれで設計解を求め、デッキ複合スラブの性能評価を行った。以下ここで得られた知見を記す。

1) デッキ複合スラブの設計、特に直交異方性スラブのようなコンクリート厚が大きなスラブの設計解は、施工時の検討が大きく影響する。

2) スラブを設計するスパン長は一方向性スラブは 4m 弱が限界で、直交異方性スラブを使用すれば、4.5m を超える大スパンでも設計が可能である。

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] 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

*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

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