

技術論文

高機能デッキプレートとデッキプレート設計支援ツールの開発

Development of High-performance Steel Decks and Design Support Tools

石丸 亮*
Ryo ISHIMARU

郡 泰明
Yasuaki KORII

抄 録

日鉄建材(株)は、これまで様々なデッキプレートを開発・市場導入し、鉄骨造建築物の床スラブを支えてきた。近年、これまでのコンセプトとは異なる高機能デッキプレートを開発した。また、ハード面だけでなくソフト面の開発も進めており、設計者の業務効率化を図るデッキプレート設計ツールである、BIM活用によるデッキプレート割付システム、及びデッキプレート設計支援システムに付加した新機能についても紹介する。

Abstract

Nippon Steel Metal Products Co.,Ltd. has developed and introduced various steel decks into the market to support steel structure. In recent years, we have developed a high-performance steel deck that is different from the conventional concept. We are also developing not only hardware, but also software. In order to improve the work efficiency of structural engineers, we will introduce the automatic layout system of steel decks using BIM (Building Information Modeling) and the new functions added to the NSMP steel decks design support system.

1. 高機能デッキプレート(サイノスデッキ®)の開発

1.1 はじめに

合成スラブ用デッキプレート(以下、合成デッキ)は1970年代に米国から技術導入され、その後の無被覆耐火技術確立をきっかけに鉄骨造建築物を中心に国内に幅広く普及していった。日鉄建材(株)は当初から独自に商品開発を進め、合成デッキ“Eデッキ(EV50)”をスタートに、現在も主力の“スーパーEデッキ(EZ50, EZ75)”, 2005年にはロングスパン対応の高さ120mmの“ハイパーデッキ®”を開発した。さらに、型枠専用のフラットデッキでは、1992年に“SFデッキ®”, 2015年に同改良版の“SFエコ®”, 2016年にロングスパン用の“アクロスデッキ®”と時代の変化と顧客ニーズを掴み、新商品投入を続けている。

直近では、不等厚断面ゆえに生じているデッキ合成スラブの課題であるコンクリートひび割れ性能や居住性を改善するため、等厚となるデッキ合成スラブを実現した“サイノスデッキ®”の開発を進め、2018年に商品化した。本稿では、この等厚型合成デッキ“サイノスデッキ®”を紹介する。

1.2 商品コンセプト

従来の合成デッキは、図1に示す通り、合理性を優先した山谷形状が一般的で、これに特殊な凹凸を設けることでコンクリートとの合成化を図っている。ここでの合理性とは、型枠時の性能を確保しつつコンクリート量を減らすことで軽量化を図る、主に経済合理性であるが、その形状からコンクリート収縮速度差により床スラブの表面にひび割れが生じやすいこと、軽量化による遮音性能低下の課題があった。

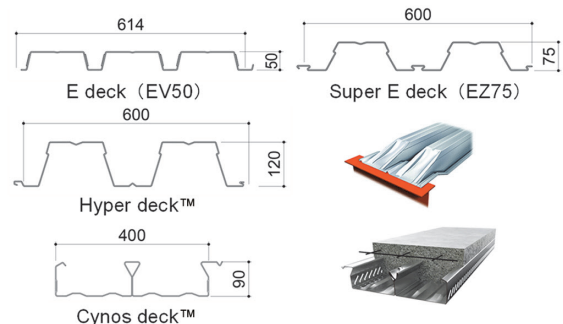


図1 合成スラブ用デッキプレート
Composite floor decks

* 日鉄建材(株) 建築技術部 建築技術部長 東京都千代田区外神田4-14-1 〒101-0021

“サイノスデッキ®”は、型枠専用のフラットデッキを逆さまにした形状で、エンボスを有した縦リブをコンクリート内に埋設することで合成効果を確保した製品である。前述したロングスパン用フラットデッキ“アクロスデッキ®”をリバーシブルに活用したもので、1断面で2つの用途に使用できるこれまでにないデッキプレートである。

1.3 公的認知

2002年国土交通省告示第326号に適合するデッキプレートとして、またデッキプレート床構造設計・施工規準（(一社)日本鋼構造協会編）に準じた構造・施工安全性を確保していることについて、指定性能評価機関の評定を取得している。また、鉄骨構造向けとして普通・軽量コンクリートのいずれも2時間耐火認定を取得しており、最大荷重35kN/m²（従来品177%向上）、最大スパン4.5m（同125%）と幅広い用途での使用が可能である。

1.4 ひび割れ試験（輪荷重繰り返し試験）

物流施設など、床スラブ上をフォークリフトが走行することを想定した輪荷重走行試験を行い、ひび割れ幅及びたわみの経時変化を測定する。

1.4.1 試験体

本試験では、床スラブ厚180mmの“サイノスデッキ®”を用いたデッキ合成スラブ（以下、サイノス）と在来床スラブ（RC slab）の2種類を比較する。試験体のパラメータを表1、形状・寸法を図2に示す。コンクリートは、試験開始時点の圧縮強度が24N/mm²程度になるよう呼び強度18N/mm²で打設した（表2）。在来床スラブ筋はD10@200

表1 試験体パラメータ
Test parameters

Specimens	Slab thickness	Reinforcement	
		Entire floor	Above the beam
Composite slab of Cynos deck™	180 mm	D10@200 Single	D10@200, L=1100 mm
RC slab	180 mm	D10@200 Double	D10@200, L=1100 mm

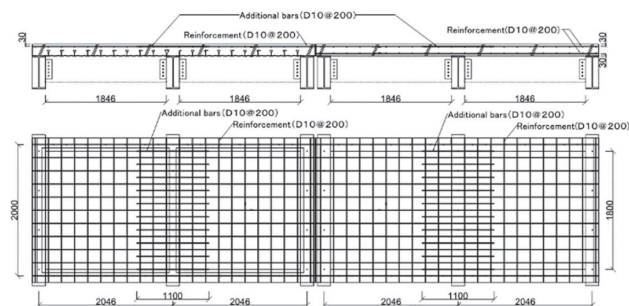


図2 試験体形状・寸法（左：サイノス，右：在来床スラブ）
Specimens profile and size (Left : Cynos, Right : RC slab)

(SD295)とし、サイノスはシングル、在来床スラブは上下ダブル配筋とし、在来床スラブの接合は頭付きスタッドを用いる。

1.4.2 荷重方法

荷重は自走式輪荷重移動荷重装置を用い、試験機の輪荷重が70kNで、20kNフォークリフト（積載時車両総荷重53kN）が床スラブ上を200万回走行する条件に相当させるため、12.7乗則により換算し、200万回 / (70kN/53kN)^{12.7} ≒ 6万回の走行で評価する。

1.5 試験結果

1.5.1 ひび割れ幅

図3に2万回、及び6万回走行時のひび割れ状況を示す。床スラブ上面において、両仕様とも中央の梁に沿ったひび割れが見られた。ひび割れは1万回から2万回走行（換算68万回）の間に短辺方向の全幅に進展したものの、その後はそれ程進まず、7万回（換算240万回）走行時点において、いずれも0.2mm程度で収束している。

1.5.2 たわみ量

床スラブ中央の弾性たわみの経時変化（実測における最大値）を図4に示す。縦軸は床スラブの中央たわみ、横軸

表2 コンクリート，鉄筋材料試験結果
Concrete and reinforcement test results

Test date	σ_c (N/mm ²)	E_c (N/mm ²)	Type (SD295)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Elongation (%)
Start date	25.3	25500				
End date	30.0	25300	D10	335	488	18.2

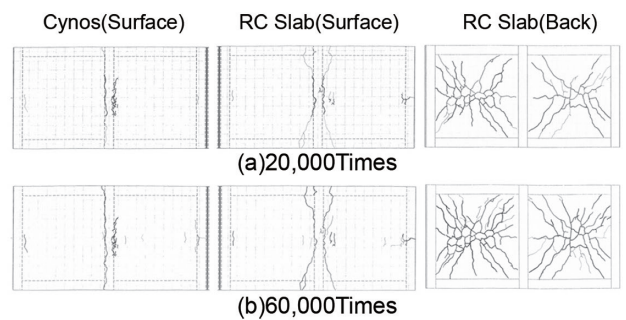


図3 ひび割れ図スケッチ
Cracking diagram

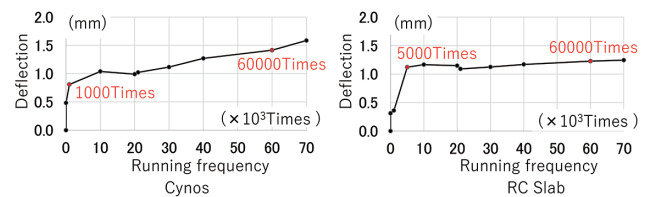


図4 弾性たわみの経時変化
Change over time of elastic deflection

は走行回数を示す。サイノスは1000回の時点でたわみ量が増加し、1.0mm弱に達した後は緩やかに拡大、6万回（換算205万回）では1.5mm程度である。一方、在来床スラブは5000回（17万回相当）で1.2mm程度まで急増し、その後一定値を保持している。

以上の結果、輪荷重走行によるひび割れ性能について、在来床スラブと大きな差が無いことが確認できた。

1.6 鉄筋コンクリート造向け設計方法の確立

“サイノスデッキ®”の新たなマーケットとして、集合住宅等の鉄筋コンクリート造への適用を進めている。適用に際し求められることは、①ロングスパン化、②高い居住性であり、より高い断面剛性の確保が必要となる。現行のデッキ合成スラブの設計体系では、有効コンクリート厚さの上限はデッキ山上100mmで、有効等価断面を用いた設計としている。そこで、有効コンクリート厚さの再検討、及び溝鉄筋を加えた全等価断面での設計法確立を検討する。

試験体仕様、及び断面・加力状況を表3、図5に示す。デッキプレート各溝に鉄筋(D10)を配し、支持・せん断スパン、及び床スラブ厚さを変数とした曲げ試験を行った。試験から得られた荷重-変位関係を図6に示す(A3.0-200を抜粋)。本試験では、床スラブ厚さを均一にするため、試験体製作時に支保工を用いてコンクリートを打設する。支保工を外す際の自重によるたわみ測定結果、及び長期許容荷重に対する自重の比率を示したのも合わせて示す。ここで、長期許容荷重(W_a)から自重(W_{DL})を除いた余力を長期許容積載荷重(W_{all})と定義する。全試験体で剛性実験値は計算値を上回り、 $W_{all}/3$ の範囲において全等価断面剛性で推移することが確認できる。また、有効コンクリート厚さについても山上160mm（総厚250mm）までデッキ合成スラブとして設計できることがわかる。たわみ検討に全等価断

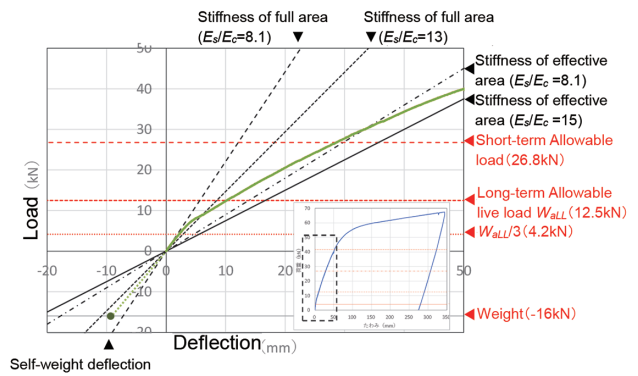


図6 荷重-変位関係
Load-deflection relationship

面二次モーメントを用いる条件として、実験で検証した範囲に限定するため“自重/長期許容荷重”に上限値(56%)を設けたものの、これにより最大7m程度までデッキ合成スラブとして設計が可能となる。なお、本設計法については、指定性能評価機関の評定を取得している。

2. デッキプレート設計支援ツールの開発

2.1 BIMモデル用デッキプレート割付システム

2.1.1 背景・目的

BIM (Building Information Modeling) を建築生産プロセスのプラットフォームとしたワークフローの導入が拡がりつつある昨今において、BIMで使用される建材のコンポーネントの形態情報・属性情報の効果的な活用方法について検討されている。

ここで、旧来、鉄骨造建築物の床スラブとして使用されるデッキプレートについては、大まかな形態情報のみ表現したテンプレートを提供しているが、構造設計、耐火設計や資材管理などへの活用に十分な属性情報は付与されていない。

デッキ合成スラブは、デッキプレートとコンクリートに加え、ひび割れ拡大防止筋・スパーサー等複数の副資材によって構成される。デッキプレートの施工では、デッキプレートは基準寸法(600mmまたは400mm等)を単位幅として、デッキプレート相互を嵌合させながら敷き並べ、梁との隙間に応じて、敷き終わりには基準寸法の1/2の幅のデッキプレートや幅調整板(100~250mm幅)を用いて隙間なく敷き詰める。そのため、施工前に、それらの配置を定める割付図を完成させ、長さ・員数を算出して、明細を作成する手順となっている。現在、BIMを活用したフロントローディングによる下工程の効率化が進んでいる中、BIMでデッキプレートの割付を自動的に行えるシステムを開発することで、業務効率化を進める。

2.1.2 割付システムの概要

開発した割付システムは汎用BIMソフトウェアを対象とし、GDL (Geometric Description Language) オブジェクトを

表3 試験体仕様
Test specimens

Names	Support span (m)	Shear span (m)	Width (mm)	Slab thickness (mm)	Concrete strength (N/mm ²)	Deck YP (N/mm ²)	Test weight (kN/m)
A3.0-200	7.0	3.0	800	200	33.4	314	3.92
B3.0-200	7.0	3.0	800	200	16.4	314	3.93
A3.0-250	7.0	3.0	800	250	33.4	314	4.89
A2.0-250	5.0	2.0	800	250	33.4	314	4.90

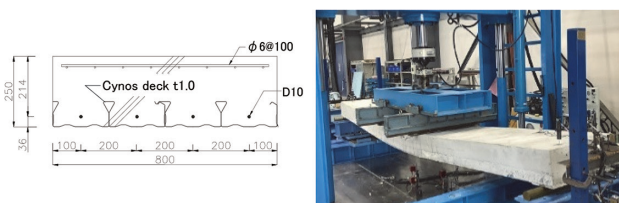


図5 断面・加力概要
Slab section and bending test

使用することで、割付システムの根幹であるレギュレーションをスクリプトとして実装でき、BIMで課題として挙げられるデータ量の不必要な増大を回避する特徴を有する。

デッキプレート割付の敷き終わり側の幅調整板の判定フローを図7に示す。割付範囲の全幅 L_w に対し、二山品を敷き始め側から割付実行していき、敷き終わり側までの残り幅が基準寸法以下になったときのデッキプレートの枚数を n 枚とする。このときの残り幅 $l_w(n)$ に応じて、基準寸法の1/2の幅のデッキプレートや幅調整板の員数をフローの通り判断する。

BIMで割付システムを実行した結果を図8に示す。平面表示にて、割付範囲を指定することで、自動的にデッキプレートを配置することができる。また合わせて、コンクリートや鉄筋、スパーサー等のその他床スラブを構成する材料も表現可能なオブジェクトとしている(図9)。デッキ

プレートの割付が完了すると同時に、デッキ合成スラブのモデリングが完了するため、別途コンクリートや配筋をモデリングする手間を省くことができ、各種構成材料の数量算出も可能となる。

2.1.3 割付システムの機能

割付システムは2019年9月より配布を開始し、市場ニーズに合わせ、機能の拡充を進めている。代表的な機能を下に列挙する。

1. 勾配床スラブの対応
2. 開口部の作成(矩形・円形)
3. 柱廻りの切り欠き対応
4. 斜め梁の対応
5. 型枠用フラットデッキのラインナップ追加

引き続き使用性の向上及び建築生産プロセス全体の効率化につながる改良を進めていく。

2.2 デッキプレート設計支援システム 仕様書出力機能

2.2.1 背景及び課題

デッキ合成スラブをはじめとするデッキプレートを用いた床スラブでは、施工時・完成時(耐火・構造)・地震時に構造計算、仕様確認を行い、設計を進める。日鉄建材では、それら一連の検討を行う設計支援システムとしてクラウド型“日鉄デッキプレート設計支援システム”を2009年9月から提供している。WEB上で使用するシステムである利点を活かし、システムの再インストール等をせずに常に最新の情報に基づき、検討することが可能である。

また、従来の床スラブの設計フローとして、設計者は当該システムで適合判定をした後、設計図書に添付するための設計施工仕様書を、デッキプレート品種・耐火認定番号等から選定し、設計仕様に応じた項目に手動で記載する工程があり、作業手間の回避とヒューマンエラーによるチェックミスが課題となっている。

2.2.2 仕様書出力機能の概要

当該システムに新機能として“設計施工仕様書出力機能”を2022年12月から実装した。従来通り適合判定後に、“仕様書DXF出力”を実行することで、適合性が確認できた設計施工仕様書を仕様書に自動反映するため、仕様書の選定、設計仕様のチェック無しでそのまま設計図書に組み込むことが可能となる(図10, 11参照)。

出力形式はDXF形式のため、汎用CADソフトウェアとの互換性も高い。また、複数の設計仕様を一枚の仕様書にまとめることも可能であり、その際に対応する設計施工仕様書も自動的に判別される。適合判定がNGであるデッキ合成スラブが含まれていた場合にはアラートメッセージが表示され、不適合な状態では出力できない仕組みとなっている。

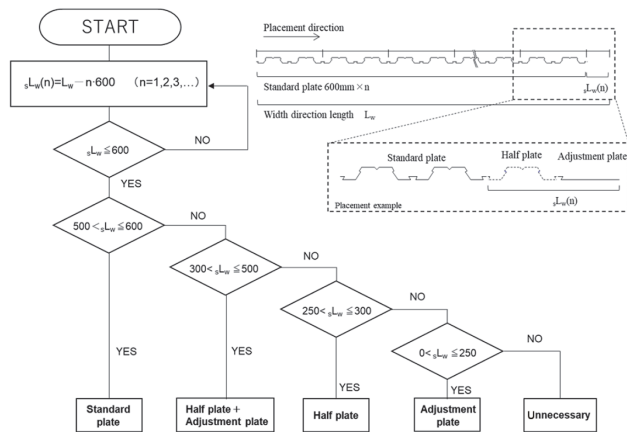


図7 幅調整板の判定フロー
Judgment flow of flushing for the adjustment

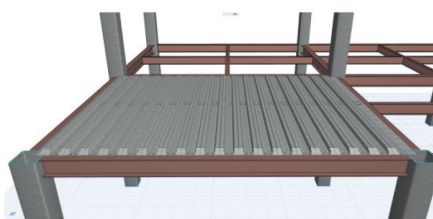


図8 デッキプレート割付実行例
Example of steel deck layout

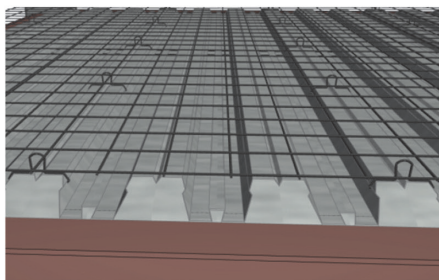


図9 構成材料表示例
Example of component display



図 10 設計支援システムのインターフェース
Interface of design support system of steel decks

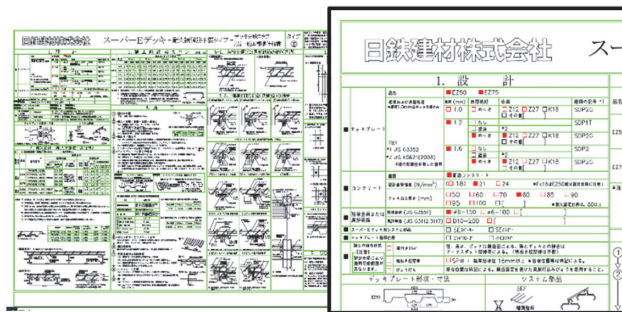


図 11 仕様書出力機能の実行例
Example of specifications output function

本機能の実装により床スラブ仕様の選定、構造計算、耐火設計、設計施工仕様書への記載までの一貫した対応が可能となり、設計仕様変更された場合でも、修正が簡易である。

3. おわりに

新しいコンセプトのサイノスデッキ®と使い勝手の向上を図るデッキプレート設計ツールを紹介した。今後も、業務効率化や省力化などの社会ニーズの変化に対応し、エンドユーザーが喜び、新しい価値を共有できる新商品開発と利用技術開発をハードとソフトの両面から進める所存である。

参照文献

- 1) (一社)日本鋼構造協会：JSS III01-2018 デッキプレート床構造設計・施工規準，2019



石丸 亮 Ryo ISHIMARU
日鉄建材(株)
建築技術部 建築技術部長
東京都千代田区外神田4-14-1 〒101-0021



郡 泰明 Yasuaki KORI
日鉄建材(株)
建築商品開発部 建築商品開発室