

# SCデッキを適用したプレストレスしない連続合成げたの静的載荷試験

Static Loading Test of Non-prestressed Continuous Composite Girders with SC-DECK (Steel Plate-Concrete Composite Deck)

渡辺 滉

Hiroshi WATANABE

川田工業㈱橋梁事業部技術統括部長

橋 吉宏

Yoshihiro TACHIBANA

川田工業㈱橋梁事業部東京技術部  
技術課課長

街道 浩

Hiroshi KAIDO

川田工業㈱橋梁事業部大阪技術部  
技術課課長

牛島 祥貴

Yoshitaka USHIJIMA

川田工業㈱橋梁事業部大阪技術部  
設計一課

伊藤 剛

Takeshi ITOH

川田工業㈱橋梁事業部大阪技術部  
設計一課

SCデッキとは、鋼・コンクリート合成床版の1つであり、鋼板とコンクリートを合成するためにスタッドを配置し、コンクリート打設時のたわみを低減するために横リブを配置したものである。これまで、SCデッキに関して各種の試験を行ってきたが、これらの試験はおもに床版としての作用に着目したものであり、主げたの一部としての作用に着目したのではない。そこで本研究は、合成床版をプレストレスしない連続合成げたに適用した場合を想定して、とくに挙動が複雑である中間支点部の実験を行い、主げたの一部として作用する場合の挙動を調べたものである。具体的な着目点は、コンクリートのひび割れ性状に及ぼす上側配力鉄筋・スタッド・下鋼板（鋼製型枠）の影響、主げたの剛性およびひずみの伝達へのコンクリート・上側配力鉄筋・下鋼板の寄与である。  
キーワード：SCデッキ、鋼・コンクリート合成床版、連続合成げた、静的載荷試験、コンクリートのひび割れ

## 1. はじめに

従来、鋼・コンクリート合成床版は、鋼製型枠としてのけた下空間の安全性の確保、プレファブ化による現場工期の短縮、床版厚の低減による死荷重の軽減を目的として開発されてきたものである。近年、各種の輪荷重走行試験により合成床版の高い耐荷力および疲労耐久性が確認されたことや、種々の機関において長支間床版への適用に関する研究が行われたことにより、床版が重要な構造要素となる鋼2主げた橋、鋼少数主げた橋、開断面箱げた橋などに鋼・コンクリート合成床版が積極的に採用されるに至っている。SCデッキは、写真1に示すように、鋼板とコンクリートの合成のためにスタッドを配置し、コンクリート打設時のたわみを低減するために横リブを配置した鋼・コンクリート合成床版である。著者らは、SCデッキに関して各種の静的載荷試験、輪荷重走行試験および施工試験などを実施し、SCデッキの挙動の把握、設計手法の確立および実橋への適用を推進してきた<sup>1)</sup>。

しかしながら、これらの試験は本合成床版のおもに床版としての作用に着目した検討を目的としたものであり、主げたの一部としての作用に着目したのではない。そこで本研究は、本合成床版をプレストレスしない連続合成げたに適用した場合を想定して、特に挙動が複雑で



写真1 SCデッキの実物大模型

ある中間支点部（負曲げモーメント領域）の実物大模型の静的載荷試験を実施し、本合成床版が主げたの一部として作用する場合の挙動を調べたものである。本研究の具体的な着目点は以下に示すとおりであり、SCデッキを適用した試験体として配力鉄筋比・周長率・主鉄筋間隔・下鋼板（鋼製型枠）の構造などを変化させた6種類の試験体とRC床版の試験体の測定結果をもとに比較検討を行うものである。

コンクリートのひび割れ性状に及ぼす下鋼板・スタッド・上側配力鉄筋の影響

主げたの剛性へのコンクリート・上側配力鉄筋・下鋼板の寄与

ひずみの伝達へのコンクリート・上側配力鉄筋・下鋼板の寄与

## 2. 試験体および荷重方法

### (1) 試験体について

試験体の基本タイプの断面図を図1に、断面諸元を表1に示す。また、試験体の種類を表2に示す。SCデッキについては配力鉄筋比・周長率・主鉄筋間隔・下鋼板の構造を変化させた6体の試験体を製作した。また、比較対照用として鉄筋比2.2%のRC床版の試験体を1体製作した。

タイプ別に説明を加えると、タイプ は、基本タイプであり、配力鉄筋比1.1%，周長率は0.028cm/cm<sup>2</sup>，主鉄筋間隔125mmである。タイプ は配力鉄筋比を0.5%と小さくしたタイプである。タイプ は周長率の影響を調べるために、配力鉄筋本数を減らし、タイプ と同じ配力鉄筋比となるように配力鉄筋径を大きくしたものであり、周長率は0.023cm/cm<sup>2</sup>である。タイプ は主鉄筋間隔をタイプ の2倍の250mmに広げたものである。タイプ は図2に示すように下鋼板にフラットバーを溶接することにより、下鋼板を上げた上において連続化したものである。タイプ はタイプ の試験体の中央の支点付近に図3に示すような下鋼板の継手部を設けたものである。ただし、タイプ の継手の設計には、上げた作用は考慮せず、床版作用に必要なボルト本数を配置している。タイプ はRC床版であり、上下側配力鉄筋を配置し、配力鉄筋比は2.2%である。

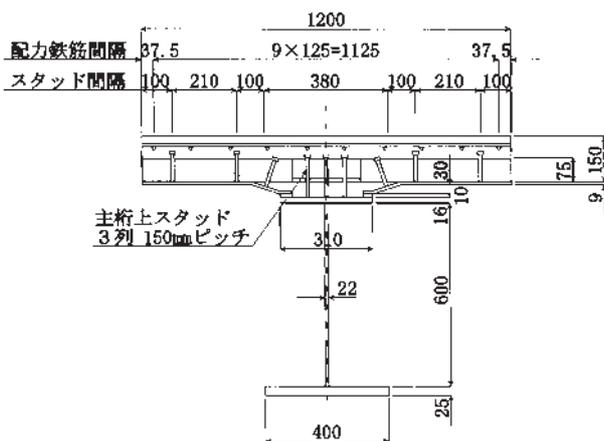


図1 試験体の断面図(タイプ : 基本タイプ)

表1 試験体の断面諸元(タイプ : 基本タイプ)

鉄筋コンクリート版厚	150 mm
下鋼板厚	9 mm
横リブ寸法	75 mm x 9 mm
横リブ間隔	750 mm
スタッド寸法	16 x 110 mm
スタッド間隔	200 mm
配力鉄筋間隔	125 mm

### (2) 荷重方法について

試験体は図4に示すように、一方の端部において床版上面を支持し、中央において下フランジを支持するものとする。荷重は支持しないもう一方の端部に荷重し、試験体に負の曲げモーメントを発生させる。荷重の荷重工程は表3に示すとおりである。

表2 試験体の種類

タイプ		基本タイプ	配力鉄筋比小	配力鉄筋径大	主鉄筋間隔大	下鋼板連続	下鋼板継手	RC床版
配力鉄筋	間隔	125	175	175				
	本数	10	7	7				
	呼径	D16	D13	D19				
鉄筋比		1.1	0.5					
主鉄筋間隔		125			250			
その他の構造特徴						下鋼板を連続化した上において	下鋼板に継手を配置	下鋼板なし

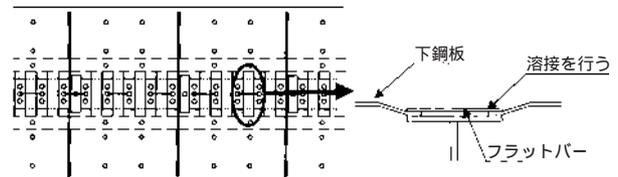


図2 下鋼板連続部の詳細図

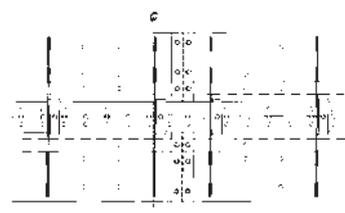


図3 下鋼板継手部の詳細図

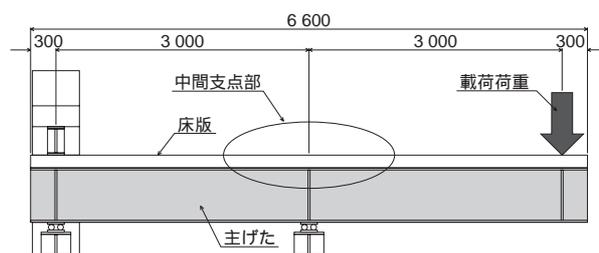


図4 荷重荷重図

### (3) 測定項目

以下に本実験の測定項目を示す。

- ・コンクリート上面のひび割れ幅
- ・コンクリート上面のひずみ
- ・上側配力鉄筋のひずみ
- ・下鋼板下面のひずみ
- ・主げたフランジ・ウェブのひずみ
- ・主げたの変位

各測定項目について以下にその測定方法を示す。

コンクリート上面のひび割れ幅およびひずみは写真2のようにパイ型変位計およびコンクリート用の一軸ゲージを用いて測定を行う。なお、コンクリート用の一軸ゲージの貼付け位置を図5に示す。

上側配力鉄筋・下鋼板・主げたフランジ・ウェブのひずみは、図5に示す位置に鋼材用の一軸ゲージを貼付して測定を行う。また、上側配力鉄筋のひずみの測定は図6に示すように鉄筋のふしを削り、軸方向に鋼材用の一軸ゲージを貼付けて行う。

主げたの変位は、図5に示す箇所の下フランジ下面に変位計を取付けて測定を行う。

### 3. 設計荷重について

SCデッキに関して試設計を行った結果、下鋼板を考慮して断面計算を行うと、フランジの発生応力により断面が決定し、その場合の上側配力鉄筋の応力は、 $100\text{N/mm}^2$ 程度となる。そこで設計計算における上側配力鉄筋応力が $100\text{N/mm}^2$ となる載荷荷重を設計荷重レベルとする。RC床版に関しても、フランジの発生応力により断面が決定し、上側配力鉄筋の応力は $130\text{N/mm}^2$ 程度となる。表4にそれぞれの設計荷重レベルを示す。

表3 載荷工程

荷重サイクル	回数	備考
20kN 118kN 20kN	5	ひび割れ発生 108kN
20kN 157kN 20kN	5	配力鉄筋発生応力度 $50\text{N/mm}^2$ 133kN
20kN 235kN 20kN	5	配力鉄筋発生応力度 $75\text{N/mm}^2$ 200kN
20kN 294kN 20kN	5	配力鉄筋発生応力度 $100\text{N/mm}^2$ 267kN
20kN 608kN 20kN	1	配力鉄筋発生応力度 $200\text{N/mm}^2$ 534kN

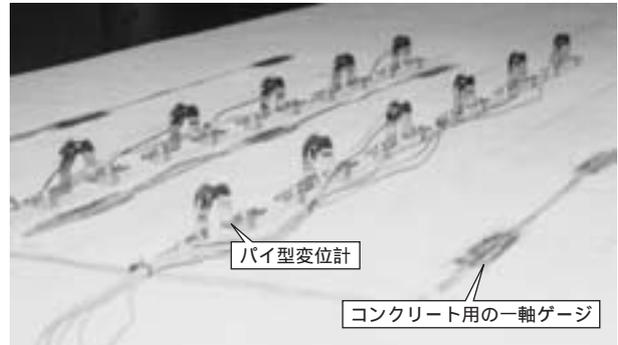


写真2 パイ型変位計・コンクリート用の一軸ゲージ取付け状況



図6 上側配力鉄筋 鋼材用の一軸ゲージ取付け位置

表4 設計荷重レベル

	上側配力鉄筋発生応力範囲	設計荷重レベル
タイプ : 基本タイプ	$100\text{ N/mm}^2$	220 kN
タイプ : 配力鉄筋比小	$100\text{ N/mm}^2$	201 kN
タイプ : 配力鉄筋径大	$100\text{ N/mm}^2$	216 kN
タイプ : 主鉄筋間隔大	$100\text{ N/mm}^2$	220 kN
タイプ : 下鋼板連続	$100\text{ N/mm}^2$	220 kN
タイプ : 下鋼板継手	$100\text{ N/mm}^2$	220 kN
タイプ : RC床版	$130\text{ N/mm}^2$	204 kN

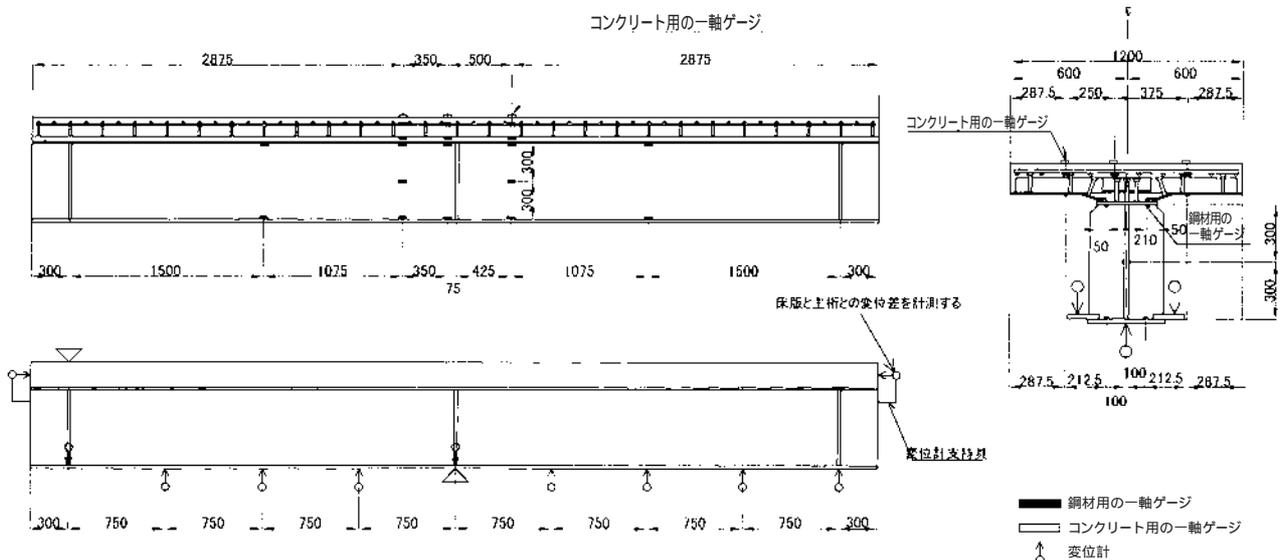


図5 ゲージ貼付け位置と変位計設置位置図

#### 4. コンクリートのひび割れ状況について

図7 a) ~ c) にSCデッキを用いた試験体であるタイプ およびタイプ , RC床版を用いた試験体であるタイプ の設計荷重レベルにおけるコンクリート上面のひび割れ状況のスケッチを示す。

SCデッキを用いた試験体とRC床版を用いた試験体のひび割れ状況を比較する。SCデッキを用いた試験体の最小ひび割れ間隔は250mm程度である。一方、RC床版を用いた試験体の最小ひび割れ間隔は主鉄筋間隔である125mm程度であり、SCデッキの最小ひび割れ間隔はRC床版の2倍程度であることがわかる。また、ひび割れ本数もRC床版と比べるとSCデッキの方が少なく、SCデッキはひび割れが分散しにくい傾向にあることがわかる。

SCデッキを用いた試験体のひび割れは横リブ位置・スタッド列位置・主鉄筋位置に発生している。ひび割れの発生順序は、基本的に横リブ位置 スタッド列位置 主鉄筋位置である。なお、実橋の配筋を考慮し、横リブ・スタッド直上に主鉄筋を配置している。

#### 5. 上げた剛性への下鋼板の寄与について

図8 a) ~ c) にSCデッキを用いた試験体であるタイプ およびタイプ , RC床版を用いた試験体であるタイプ に関して、たわみ 載荷荷重関係を示す。たわみの測定位置は荷重載荷点直下の下フランジ下面である。図中の実線は各載荷工程において測定した除荷時の上げた剛性をむすんだものである。SCデッキの場合は、一点鎖線は床版を全断面有効として計算した上げた剛性、点線は床版のコンクリート断面を無視し配力鉄筋断面と下鋼板断面を有効として計算した上げた剛性、破線は床版のコンクリート断面と下鋼板断面を無視し配力鉄筋断面のみを有効として計算した上げた剛性である。RC床版の場合は、一点鎖線は床版を全断面有効として計算した上げた剛性、破線は床版のコンクリート断面を無視し配力鉄筋のみを有効として計算した上げた剛性を示している。

コンクリートのひび割れ発生までの初期の荷重レベルでは、SCデッキおよびRC床版の上げた剛性の測定値は、床版を全断面有効として計算した上げた剛性とほぼ平行となり、コンクリート断面も上げた剛性に寄与していることがわかる。SCデッキの設計荷重レベルでの測定値の上げた剛性は、床版のコンクリート断面を無視し、配力鉄筋断面と下鋼板断面を有効として計算した上げた剛性とほぼ平行であり、配力鉄筋断面と下鋼板断面は上げたの剛性に寄与していることがわかる。RC床版を用いた試験体の設計荷重レベルでの上げた剛性の測定値は、床版のコンクリート断面を無視し配力鉄筋断面を有効と

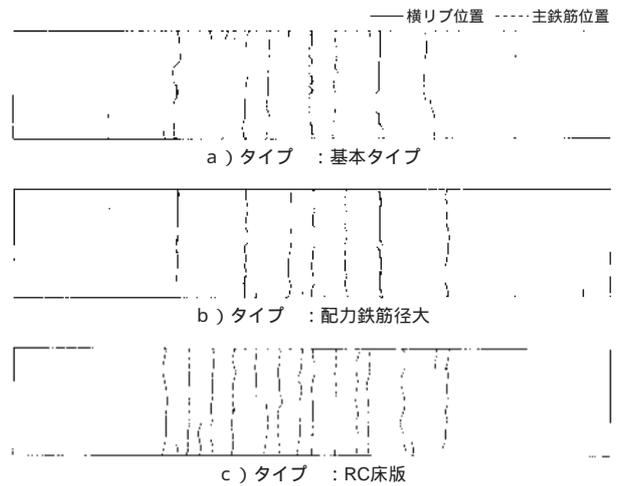


図7 設計荷重レベルでのひび割れ状況

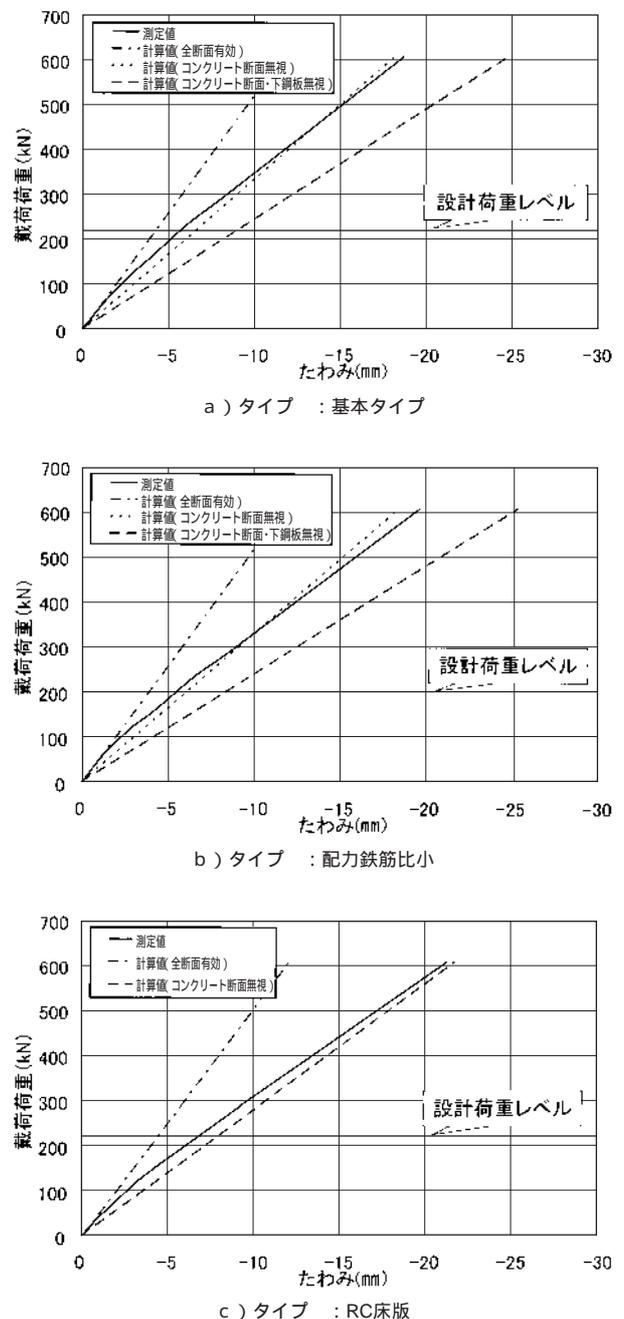
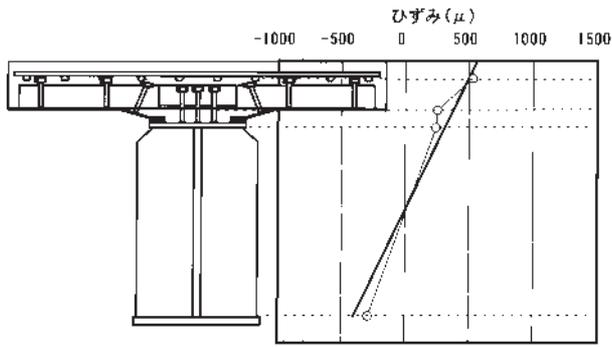
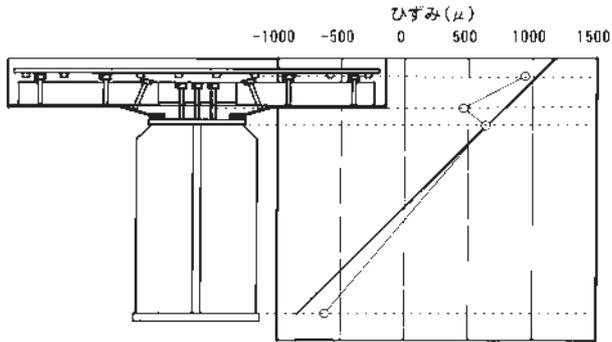


図8 たわみ 載荷荷重関係

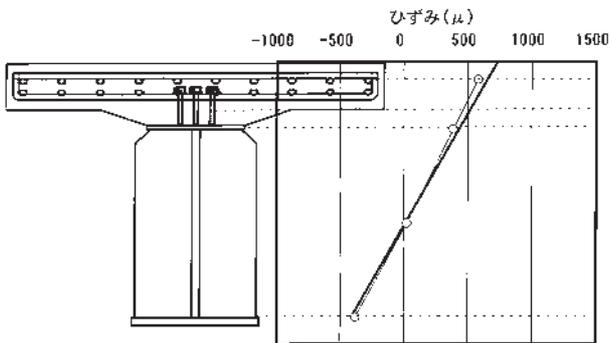


a) 235kN(24tf) 載荷時：設計荷重レベル程度

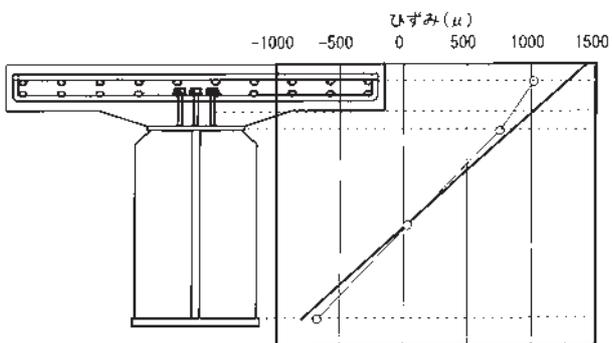


b) 490kN(50tf) 載荷時：設計荷重レベルの2倍程度

図9 タイプ：基本タイプのひずみ分布

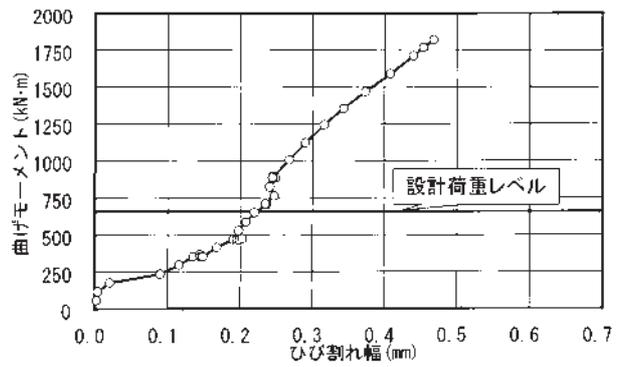


a) 216kN(22tf) 載荷時：設計荷重レベル程度

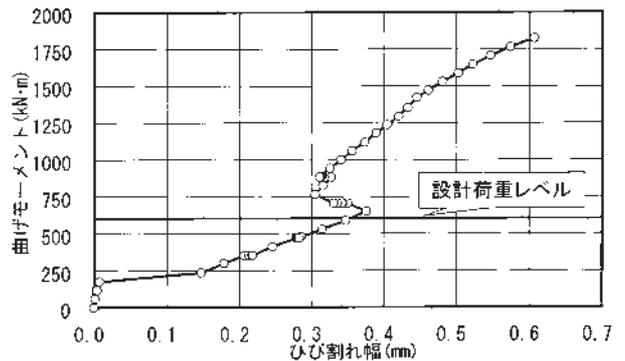


b) 431kN(44tf) 載荷時：設計荷重レベルの2倍程度

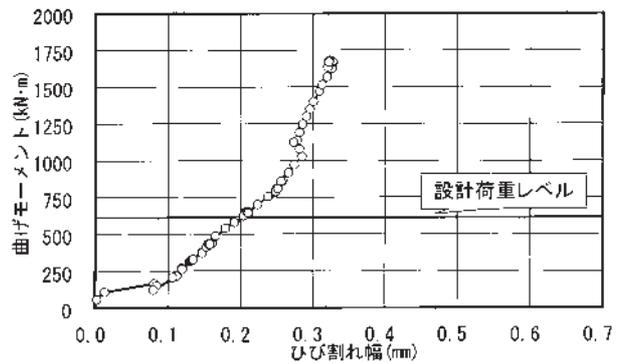
図10 タイプ：RC床版のひずみ分布



a) タイプ：基本タイプ



b) タイプ：配力鉄筋比小



c) タイプ：RC床版

図11 ひび割れ幅 曲げモーメント関係

表5 ひび割れ幅の測定値

	設計荷重レベルでのひび割れ幅(mm)
タイプ：基本タイプ	0.22
タイプ：配力鉄筋比小	0.35
タイプ：配力鉄筋径大	0.26
タイプ：主鉄筋間隔大	0.21
タイプ：下鋼板連続	0.29
タイプ：下鋼板継手	0.30
タイプ：RC床版	0.19

して計算した主げた剛性とほぼ等しく、設計荷重レベルではコンクリート断面は十分有効でないことがわかる。

## 6. ひずみの伝達に対する下鋼板の寄与

SCデッキを用いた試験体であるタイプ およびRC床版を用いた試験体であるタイプ に関して、設計荷重レベル程度と設計荷重レベルの2倍程度の荷重載荷時における中間支点付近の断面のひずみ分布をそれぞれ図9 a) b), 図10 a) b) に示す。図中の は測定値を示し、SCデッキの場合は配力鉄筋断面と下鋼板断面を、RC床版の場合は配力鉄筋断面を有効として計算を行った値を示している。なお、SCデッキについてはタイプ の測定値のみを示したが、いずれのタイプについても同様の傾向が見られる。

SCデッキであるタイプ の結果において、設計荷重レベル程度である235kN (24tf) 載荷時のひずみ分布の測定値が直線分布しており、設計荷重レベルにおいては下鋼板がひずみの伝達に寄与していることがわかる。一方、設計荷重レベルの2倍程度の載荷荷重である490kN (50tf) 載荷時のひずみ分布の測定値が直線分布せず、下鋼板のひずみが計算値の7割程度の値となっている。この結果より、設計荷重レベルの2倍程度の載荷荷重時には下鋼板のひずみへの伝達の寄与率が低下していることがわかる。

また、上側配力鉄筋のひずみが計算値より大きな値となっているのは、上側配力鉄筋のひずみ測定位置がコンクリートのひび割れ位置に近いことからひずみが集中したものと考えられる。

RC床版であるタイプ の結果では、設計荷重レベル程度である216kN (22tf) および設計荷重レベルの2倍程度の載荷荷重である431kN (44tf) 載荷時ともひずみの測定値は直線分布しており、測定値と計算値とはほぼ同一の値を示す。

## 7. コンクリートのひび割れ幅について

SCデッキを用いた試験体であるタイプ およびタイプ , RC床版を用いた試験体であるタイプ に関して、中間支点上付近のひび割れ幅 曲げモーメント関係を図11 a) ~ c) に示す。ひび割れ幅は、設計荷重レベルにおけるパイ型変位計の測定値のうち最大のものを示している。また、設計荷重レベルの曲げモーメントの値を太い実線で示している。

SCデッキであるタイプ (基本タイプ) において、設計荷重レベルのひび割れ幅は0.22mm程度である。また、タイプ (配力鉄筋比小) における設計荷重レベルのひび割れ幅は0.35mm程度であり、タイプ と比較すると1.6倍程度大きくなっている。RC床版であるタイプ

において、設計荷重レベルのひび割れ幅は0.19mm程度である。

以上の結果より、配力鉄筋比を増加させることにより、コンクリートのひび割れ幅が減少していることがわかる。また、SCデッキのひび割れ幅は鉄筋比1.1%のタイプ においてRC床版である鉄筋比2.2%のタイプ と比較すると1割程度大きな値となる。その他の試験体の設計荷重レベルにおけるひび割れ幅は表5に示すとおりである。表5より、周長率、下鋼板の構造もひび割れ幅に影響を与えていることがわかる。

## 8. まとめ

本研究において得られた結果を以下に示す。

SCデッキにおいて、コンクリートのひび割れ幅は横リブ位置・スタッド列位置・主鉄筋位置に発生する。ひび割れの発生順序は基本的に、横リブ位置 スタッド列位置 主鉄筋位置である。また、SCデッキの最小ひび割れ間隔は、設計荷重レベルにおいてRC床版の2倍程度である。

SCデッキにおいて、コンクリートがひび割れ発生するまでの荷重レベルでは主げた剛性は全断面有効であるが、設計荷重レベルではコンクリート断面を含まない下鋼板断面と配力鉄筋断面を有効とした主げた剛性に等しい。

SCデッキにおいて、設計荷重レベルでは断面のひずみが直線分布することから、下鋼板はひずみの伝達に寄与しているといえるが、設計荷重レベルの2倍程度の載荷荷重においてはひずみの直線分布が保たれなくなり、下鋼板のひずみの伝達における寄与率が低下する。

SCデッキとRC床版のひび割れ幅を比較すると、設計荷重レベルにおいてSCデッキの基本タイプが1割程度大きな値を示す。

SCデッキにおいて、コンクリートのひび割れ幅については、配力鉄筋比の影響が大きい。

現在、配力鉄筋比を増加したタイプや膨張コンクリートを用いたタイプなどの追加試験を行っている。

最後に、本文をまとめるにあたり、多大なるご指導を賜った大阪大学大学院・松井繁之教授、大阪工業大学・栗田章光教授に心から感謝いたします。

### 参考文献

1) 渡辺・街道・水口・村松・松井・堀川：鋼・コンクリート合成床版の開発と実橋への適用について、鋼橋床版シンポジウム論文集，pp.213-218，1998-11.