

## 各種合成床版の構造と適用例

### Structures of Various Composite Slabs and Examples of Application

阿部幸夫<sup>\*</sup>, 久保圭吾<sup>\*\*</sup>, 高木優任<sup>\*\*\*</sup>, 武内隆文<sup>\*\*\*\*</sup>

Yukio ABE, Keigo KUBO, Masahide TAKAGI and Takafumi TAKEUCHI,

<sup>\*</sup>工修 住友金属工業(株) 建設技術部 (〒314-0255 茨城県鹿島郡波崎町砂山 16)

<sup>\*\*</sup> (株)酒井鉄工所 技術開発部 (〒590-0831 大阪府堺市出島西町 3-1)

<sup>\*\*\*</sup>工修 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 (〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3)

<sup>\*\*\*\*</sup>工博 住友重機械工業(株) 鉄構・機器事業本部 (〒541-0041 大阪市中央区北浜 4-5-33)

In recent years, the rationalization of design and construction of steel bridges has been pushed forward. In constructing highway bridge, the use of highly durable slabs and long spans and utilization of labor saving for execution of work in the field are required. Against this background, the development of composite slabs of steel and concrete and various kinds of slabs using new materials is being actively carried out. In this paper, the structure and design methods of these slabs are examined. This paper also gives examples of the effective application of these composite slabs, i.e., widely-spaced girder bridges that have attracted attention in recent years as an important means of bringing about cost reduction in bridge construction, and examples of application of composite slabs in width spreading work for which rapid execution and labor saving are required.

key words : composite slab, shear connector, large span slab

#### 1. はじめに

近年、橋梁の建設においては、コスト縮減・高耐久性化・省力化などの強い要求があり、これに応える構造形式として鋼少数主桁合理化橋梁が日本道路公団で建設され、各公団、建設省等でも計画・実施されつつある。鋼少数主桁橋梁は主桁本数を減らし、構造を簡素化することによって合理化を達成しようとするものである。しかし、従来は床版の耐久性確保の観点から主桁間隔が制限されており、一般的に用いられるRC床版の適用支間の範囲を超える鋼少数主桁橋梁では、長支間に適した高耐久性を有する床版構造が求められる。また、床版工事は現場作業の占める割合が大きく、床版工事の省力化が要求されている。さらに、橋梁の長寿命化、メンテナンスコスト低減のため、少数主桁橋梁以外の床版においても、高耐久性化が求められている。

鋼とコンクリートを組み合わせさせた合成床版は、RC床版に代わり、現場作業の省力化、施工工程の短縮等を目的とし開発されてきた。鋼とコンクリートを合成させることにより、薄い床版厚でも十分な耐荷力を有し、RC、PCなどのコンクリート系の床版に比べて軽量化が可能である。また、骨組みを工場製作し、底に鋼板などの型枠を有するため、現場での配筋作業が少なく、コンクリート打設時の支保工、現場での型枠作業が不要となり、

現場作業の省力化・工期短縮が可能となる。以上のことから、合成床版の開発は、従来に増して、コスト縮減、永久橋、長支間床版等の要求により、最近益々活発となっている。

合成床版は鉄筋を高機能化したタイプ(鉄筋の代わりに形鋼、鋼板を加工したもの等)のコンクリート内埋込み型と、コンクリート型枠の施工を省略するため、型枠を床版に取り込み適当なずれ止めを配置した鋼板上面にコンクリートを打設するタイプの鋼板・コンクリート合成型の2種に大別できる。また最近では、鋼板以外の型枠を使用した合成床版も開発されている。鋼・コンクリート合成床版の場合、鋼とコンクリートを合成するためのずれ止めを、製作・施工上で省力化することが合理化のキー技術となってくるため、現在も活発な開発が進められている。本文では、これらの床版について、その構造の分類を試み、簡単な紹介を行うことにする。一方、各種の合成床版のうち、とくに設計指針がまとめられている鋼・コンクリート合成床版を取り上げ、その設計法について考察を加える。

また、その適用例として合成床版の施工上の特徴を示し、今後の中小スパンにおける鋼橋の主流となることが予想される少数主桁橋への適用例、ならびに特殊な施工条件となる床版拡幅工事・改修工事への適用についての調査結果を紹介し、各種の合成床版の使用メリットにつ

いて考察するものである。

## 2. 合成床版の種類

近年、合成床版として、ずれ止め形式や底鋼板の形状などに特徴を有する様々な構造が提案されてきている<sup>1)2)</sup>。これらの形式を整理すると表-1のようになる。このうち、底鋼板を基本的に型枠部材としてのみ機能させる「コンクリート内形鋼埋込み型床版」、底鋼板を型枠部材のほか死・活荷重に対する抵抗部材として機能させる「鋼板・コンクリート合成床版」、底板として鋼板以外の材料を用いた「その他の合成床版」の各床版形式に関し、いくつかを取り上げ、その構造や設計法および施工実績等について以下に述べる。

### (1) I形鋼格子床版

I形鋼格子床版(図-1)は、I形鋼ならびに鉄筋を主要部材とし、この下面に垂鉛めつきされた厚さ1mmの鋼板(型枠材として機能)を取付け、コンクリートを打設したものである。I形鋼のウェブにはパンチ孔を設けコンクリートの打設性を向上させている。もともと長大橋の床版に適用するため米国で開発されたもので、わが国でも関門橋などの長大吊橋に使用された実績があるが、最近では、型枠・支保工などの現場作業の省力化を図る目的として、長大橋以外の一般橋梁にも数多く採用されている。

### (2) 溝形鋼埋込み型床版

主鉄筋と配力鉄筋を格子状に溶接したメッシュ2枚の間に軽量溝形鋼を挟み込んで組立て、その下面に垂鉛メッキ鋼板(型枠材として機能)を取付け、コンクリートを打設したものである。構造的には従来のRC床版形式を大きく変更することなく現場作業の省力化を図ることを目的として開発された。同様の開発コンセプトを持つものとして、上側主鉄筋と下側主鉄筋とを帯鋼でつないだ形式のものが、兵庫県南部地震で被災した阪神高速道路の復旧工事で採用された実績がある。

### (3) H形鋼埋込み型床版

H形鋼が所定の間隔で配置され、その上半分がRC床版に埋め込まれ、H形鋼下半分がコンクリート床版下面から突出した形で構成される。基本的には架設前にコンクリートを打設するプレキャスト床版であり、急速施工が可能であることから、新設橋梁のほか、既設道路橋床版の取替えに用いられた実績も多い。

### (4) ロビンソン型合成床版

ロビンソン型合成床版(図-2)は、底鋼板にずれ止めとしてスタッドを配置し、その上にコンクリートを打設したもので、底鋼板は強度部材として設計する場合が

表-1 合成床版の種類

コンクリート内形鋼埋込み型床版		(1) I形鋼格子床版
		(2) 溝形鋼埋込み型床版
		(3) H形鋼埋込み型床版
鋼板・コンクリート合成床版	鋼板1枚	(4) ロビンソン型合成床版
		(5) パイプジベル合成床版
		(6) 帯鋼ジベル合成床版
		(7) 突起付I形鋼ジベル合成床版
		(8) トラス型ジベル合成床版
		(9) 立体トラス型ジベル合成床版
		(10) トラス鉄筋補強合成床版
		(11) SFRC合成鋼床版
		トラリアブ合成床版
		波形鋼板合成床版
	鋼板2枚	(12) サンドイッチ構造合成床版
その他の合成床版		GRC型枠合成床版
		PC型枠合成床版
		(13) FRP合成床版

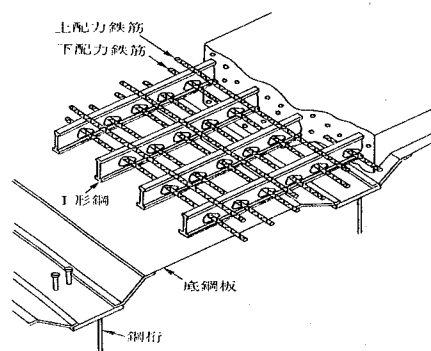


図-1 I形鋼格子床版<sup>3)</sup>

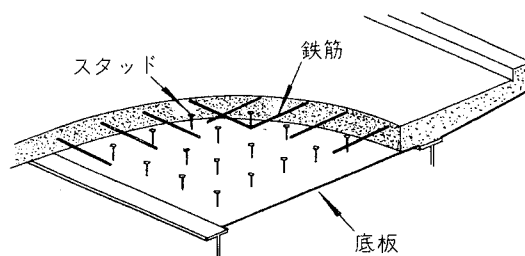


図-2 ロビンソン型合成床版<sup>4)</sup>

多い。本床版は、型枠施工が不要であり、床版厚の低減も図ることができるほか、シンプルな構造から鋼板・コンクリート合成床版の基本形式として位置付けられる。スペインのランデ吊橋に始めて用いられ、我が国では、阪神高速道路の長堀ランプや大阪城新橋など数橋の適用実績がある。

### (5) パイプジベル合成床版

パイプジベル合成床版は、ずれ止めとして短い鋼管を底鋼板上に溶接し、その上にコンクリートを打設したものである。底鋼板は強度部材と考えて設計する。鋼部材の製作からコンクリートの打設養生まで工場内で実施する機会が多く、現場作業の省力化を図っている。

### (6) 帯鋼ジベル合成床版

帯鋼ジベル合成床版(図-3)は、底鋼板の橋軸直角方向に帯鋼を溶接することにより、RC床版の主鉄筋の役割を持たせるほか、コンクリート打設時の底鋼板補強材としても機能させたものである。底鋼板は強度部材と考えて設計する。帯鋼には開口部を設けることにより、コンクリートの打設性の向上と下側配力筋の配筋を可能とさせている。同類の形式として、帯鋼に開口部を設けず鉄筋をすべて帯鋼上に配置し、さらに底鋼板にスタッドを溶植させたものもあり、どちらも実用化されている。

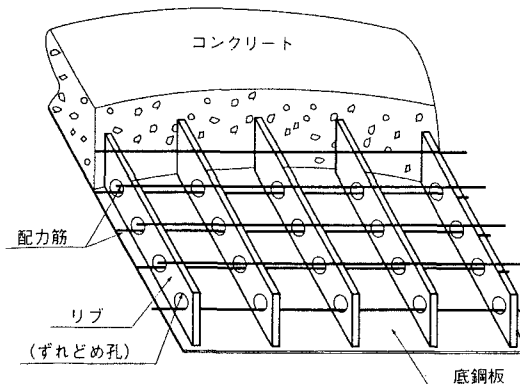


図-3 帯鋼ジベル合成床版<sup>5)</sup>

### (7) 突起付T形鋼ジベル合成床版

突起付T形鋼ジベル合成床版は、底鋼板の橋軸直角方向に突起付T形鋼を溶接してRC床版における主鉄筋の役割およびコンクリート打設時の底鋼板補強を図っている。底鋼板は、強度部材と考えて設計する。また、T形鋼の上フランジ面には浅い突起が形成されており、コンクリートとの付着強度を向上させている。

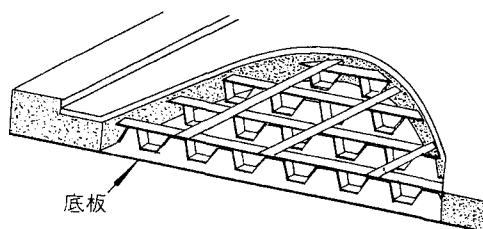


図-4 トラス型ジベル合成床版<sup>4)</sup>

### (8) トラス型ジベル合成床版

トラス型ジベル合成床版(図-4)は、帯鋼を波形に折り曲げてトラス斜材としたものを底鋼板に溶接し、さらにこのトラス斜材の上にトラス弦材となる帯鋼を溶接したのちコンクリートを打設したものである。底鋼板は強度部材として設計する。また、トラス斜材は版のせん断補強部材として機能させる。阪神高速道路の湾岸線において適用された実績がある。

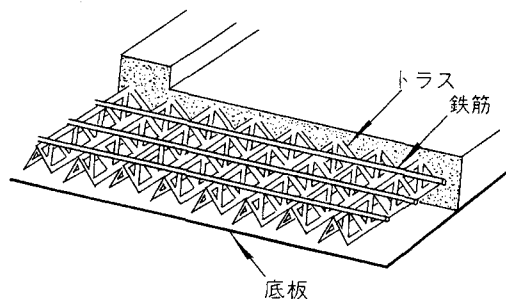


図-5 立体トラス型ジベル合成床版<sup>4)</sup>

### (9) 立体トラス型ジベル合成床版

立体トラス型ジベル合成床版(図-5)は、底鋼板にパンチ孔をあけ、それらに折り曲げ加工を施した棒鋼を挿入して、ピラミッド形に組み立てたずれ止めを用いた合成床版であり、数例の施工実績がある。

### (10) トラス鉄筋補強合成床版

トラス鉄筋補強合成床版(図-6)は、機械製造された立体トラス鉄筋を底鋼板に溶接にて取付け、トラス鉄筋の上面に配筋したのちコンクリートを打設したものである。底鋼板は強度部材として設計し、また、トラス斜材は版のせん断補強部材として床版の疲労耐久性向上に寄与している。すでに日本道路公団や首都高速道路公団などで適用実績がある。

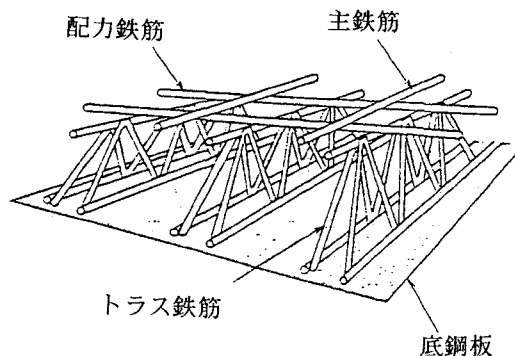


図-6 トラス鉄筋補強合成床版<sup>4)</sup>

### (11) SFRC合成鋼床版

SFRC(鋼繊維補強コンクリート)を用いた合成鋼床版は、鋼床版の舗装としてコンクリート中に体積比1.5%程度のスチールファイバーを混入させたもので、これを鋼床版に溶植したスタッドで合成させることにより、高剛性の確保、振動・騒音の低減、疲労耐久性の改善が図られる。名古屋高速道路公社などで多数の適用実績がある。

### (12) サンドイッチ構造合成床版

サンドイッチ構造合成床版(図-7)は、床版の上下面に鋼板を有する鋼殻内にコンクリートを充填したもので、基本的に鋼殻は強度部材として設計する。コンクリートには、締め固め不要の高流動コンクリートを使用しており、現場施工の省力化を図っている。本形式は、コンクリートが鋼殻で密閉されているため、疲労耐久性の劣化を招くコンクリートへの水の浸入がなく、また、コンクリート自体の乾燥収縮やクリープも小さいとの報告もある。日本道路公団北海道横断自動車道で適用実績がある。

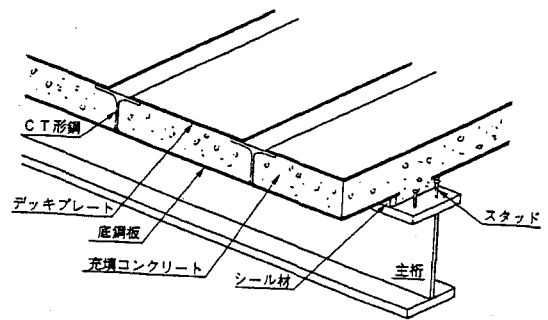


図-7 サンドイッチ構造合成床版<sup>6)</sup>

### (13) FRP 合成床版

FRP 合成床版(図-8)は、軽量で耐水性、耐食性にすぐれたFRP(繊維強化プラスチック)を、型枠・支保工兼用のパネルとして使用したもので、底板に逆T形のリブが取り付けられた形状となっており、リブには、配力鉄筋貫通用に孔を設けてある。この床版は、現場作業の省力化と耐久性の向上を目的として開発され、FRPを強度部材として設計している。すでに、日本道路公団や水資源開発公団において実績がある。

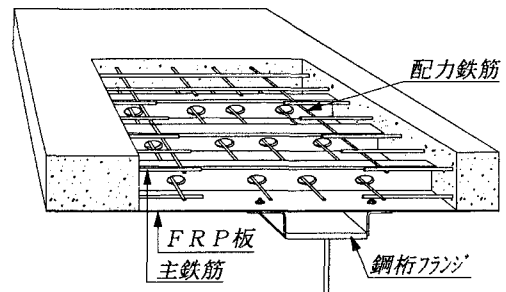


図-8 FRP合成床版<sup>7)</sup>

## 3. 合成床版の設計

2で示したように、現在、提案されている合成床版には多種多様なものがあり、それぞれに設計法、構造詳細についての研究が進められている。これらの研究成果を踏まえ、設計指針がまとめられている床版もある<sup>1),8),9),10)</sup>。合成床版における設計指針、ならびに設計の考え方の例を表-2に示す。ここでは、これらの設計指針の主要項目について、その考え方を紹介することにする。

### (1) 床版厚

一般に、床版厚に関する規定は、

- ・床版の曲げ耐力のほか、ねじれ耐力、せん断耐力の確保

- ・上フランジの首振りによる桁の疲労抑制

という観点から必要であると考えられる。しかしながら、道路橋示方書<sup>6)</sup>におけるRC床版の床版厚に関する規定は経験的に定められた値であり、床版厚に関する明確な要求値はないのが現状である。

合成床版では、その構造特性と合理性から、RC床版よりも床版厚を薄くするのが一般的である。これは、合成床版では床版厚が薄くても十分な版剛性、ならびに耐力が確保できるためである。ちなみに、土木学会の鋼板・コンクリート合成床版の設計指針<sup>11)</sup>では、活荷重による版のねじれやたわみを抑制し、コンクリートに有害なひび割れが発生しないようにするために、活荷重による床版の許容たわみを  $L/2000$  ( $L$ : 床版支間) として床版厚、ならびに鋼板の厚さを決めることが提案されている。

また、現実的な床版厚の決定方法としては、現行の道路橋示方書の床版厚規定を満足するRC床版に損傷が見られないことから、曲げ剛性がRCと同等になるように決定するの一つの方法であると考えられる<sup>12)</sup>。

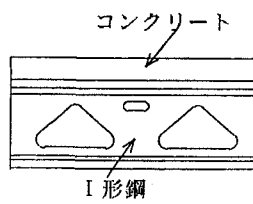
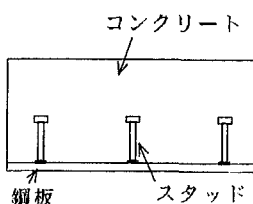
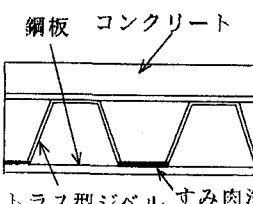
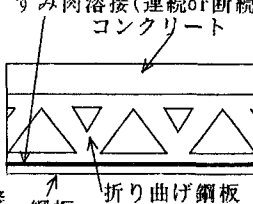
いずれにしても、床版厚は床版の疲労耐久性と密接に関係していることは明らかであり、疲労に対する照査法についての研究が進むに従って合理的な床版厚の決定法も示されることになるであろう。

### (2) 設計曲げモーメント

道路橋示方書におけるRC床版の設計曲げモーメントは、図-9に示すように床版を相対する2辺で単純支持された等方性の無限単純板にモデル化し、T荷重を橋軸方向に1台、橋軸直角方向には台数に制限無く載荷して断面に発生する曲げモーメントの最大値を求め、これに10~20%の余裕を見込んで設計曲げモーメントを設定している。合成床版の設計においても、基本的にはこの考え方をもとに解析が行われ、設計曲げモーメントが決められている。

ただし、それぞれの合成床版における使用目的、ならびに構造上の特徴を考慮し、若干、RC床版とはモデル化が異なる場合もある。例えば、I形鋼格子床版においては、主部材(I形鋼)方向と配力筋方向の剛性が著しく異なるために、直交異方性板としての取り扱いがなされており、RC床版に比べ、剛性の大きい主部材方向の設計曲げモーメントが大きく、剛性の小さい配力筋方向の設計曲げモーメントは小さく設定されている<sup>13)</sup>。また、トラス型ジベル合成床版では、主桁、ならびに横桁で支持さ

表-2 合成床版の設計指針の例

	I形鋼格子床版 (図-1参照)	ロビンソン型合成床版 (図-2参照)	トラス型ジベル合成床版 (図-4参照)	立体トラス型ジベル合成床版 (図-5参照)
設計指針	・鋼道路橋設計便覧 (日本道路協会:S52) ・I形鋼格子床版の 設計施工マニュアル(案) (高速道路調査会:S55) ・鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 (土木学会:H9)	・鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 (土木学会:H9)	・トラス型ジベルを用いた合成床 版の設計・製作・施工指針 (案) (阪神高速道路公団 大阪第一建設部:H5)	・TSC合成床版設計要領(案) (九州橋梁・構造工学研究会 TSC研究会:H2)
床版厚	I形鋼高さ(105, 130, 150, 200 mmの4種類)+配力鉄筋径+ コンクリートのかぶり(最小2 cm)で決定される。 ただし、車道部は16cm以上。	コンクリート部の最小厚さ $h_c = 2.5L + 10$ (cm) L:床版支間(m) ただし、車道部は15cm以上。	RCよりも床版厚を薄く設定で きる。最小版厚は20cmを原則 とする。	RCに比べ耐力・剛性とも大き く、床版厚を小さくすること が可能。経済性を考慮し、応 力照査により決定する。ただ し、車道部は16cm以上。
活荷重に対 する設計曲げモー メント	主部材方向と配力筋方向の剛 度の差が大きいため、直交異 方性板として理論解を求め、 設計曲げモーメント式が提案 されている。	等方性板として解析が行わ れ、設計曲げモーメント式が 提案されている。	主桁および横桁で支持された 4辺支持板を対象として解析 が行われ、設計曲げモーメン ト式が提案されている。	道路橋示方書に示される設計 曲げモーメントを使用する。
ずれ止め の設計	I形鋼のウェブにあけたパン チ孔のアンカー効果により、 I形鋼とコンクリートの付着 が確保される。  	ずれ止めに作用するせん断力 算出式 $V_d = k(0.11L + 0.747)P$ k:スタッドの場合0.50 L:床版支間(m) P:輪荷重(10tF) を用い、スタッドの本数を決 定する。  	ジベルの2面押し抜きせん断 試験の結果より、ジベル寸 法、溶接長とジベルの限界せ ん断耐力が求められている。 これをもとに安全率を3とし てずれ止めの設計を行う。  	ジベルの2面押し抜きせん断 試験の結果、同一の軸部断面 積、高さのスタッドと比較し て、ずれ止めとしての限界せ ん断耐力は高い。許容せん断 耐力は限界に対して3以上の 安全率を有する。  
疲労設計	活荷重による下フランジの許 容応力度を $\sigma_a = 1200 \text{ kgf/cm}^2$ としている。	スタッドに作用する許容せん 断応力度を $\tau_a = 500 \text{ kgf/cm}^2$ としている。	鋼板(SS400)の許容応力度は 道路橋示方書に準じ、 $\sigma_a = 1400 \text{ kgf/cm}^2$ とする。 疲労実験により耐久性が確認 されている。	ジベルと底鋼板の溶接部の活 荷重に対する許容応力度 ・連続溶接(工場溶接) $\sigma_a = 880 \text{ kgf/cm}^2$ ・断続溶接(工場溶接) $\sigma_a = 600 \text{ kgf/cm}^2$

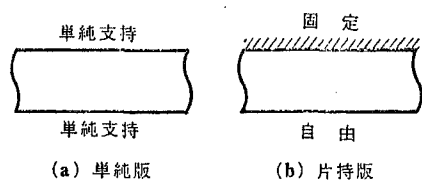


図-9 床版のモデル化

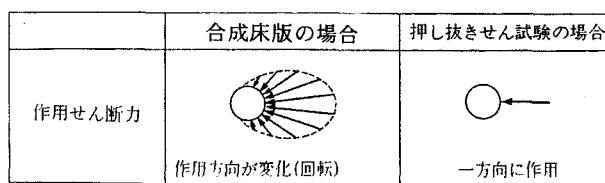


図-10 スタッドに作用するせん断力

れるため、4辺単純支持版としてモデル化が行われ、その結果をもとに設計曲げモーメント式が提案されている<sup>8)</sup>。

近年、計算機、ならびに解析法の進歩により、複雑な形状や境界条件、ならびに版の異方性を考慮した解析が容易にできるようになってきている。各々の床版構造についても、これらを利用することで、その特性に合わせたより合理的な設計が可能になるものと考えられる。

(3) ずれ止めの設計

ずれ止めとして用いられる部材の形状や配置は、合成床版を特徴づける主要な項目である。ずれ止めの種類によって、合成床版の特性は著しく異なることになるが、いずれの場合においても、鋼とコンクリートとを十分に結合し、合成作用を期待できるものでなければならない。

ずれ止めについてはそれぞれの調査研究結果に基づく細目に従って設計されている。コンクリート中にI形鋼

を埋め込んだ I 形鋼格子床版においては、その開発の初期において床版構造に対する載荷試験が行われ、I 形鋼とコンクリートの付着が十分確保され、I 形鋼を鉄筋換算して設計できることが示されている<sup>14)</sup>。

鋼板・コンクリート合成床版のずれ止めに作用するせん断応力は、剛なずれ止めを用いた場合の完全合成構造とスタッドなどの剛性の低いずれ止めを用いた場合の不完全合成構造とではずれ止めに作用するせん断力が異なる。柔なジベルを用いた場合は剛なジベルを用いた場合に比べ、せん断力が減少するため、ずれ止めに作用するせん断力を低減して評価するのが妥当であることが指摘されている<sup>1)</sup>。

一方、トラス型ジベル合成床版、立体トラス型ジベル合成床版など、新しいずれ止めを用いる場合、押し抜きせん断試験が行われ、限界せん断耐力に対する安全率を 3 以上として許容せん断力が定められている<sup>9),15)</sup>。

#### (4) 疲労設計

道路橋床版は輪荷重を直接支持するため、応力成分に占める活荷重応力の比率が高い。このため、繰り返し応力により、ずれ止め、あるいは鋼板が疲労破壊する恐れがあり、疲労に対する検討は必要不可欠である。

床版構造において注意すべき点は、荷重が移動することによる効果を考慮する必要があることである。例えば、スタッドの疲労強度特性は押し抜き試験体により評価されてきたが、床版構造のような平面的な広がりを持つ構造に移動輪荷重が作用すると、スタッドには、図-10 に示すように作用方向が回転するせん断力による応力を受けることが明らかにされており、標準的な押し抜き疲労試験の場合と比較してかなり限界値が低下する結果が得られている<sup>11)</sup>。このように、合成床版の疲労耐久性評価には移動する荷重の効果を考慮した疲労照査が必要である。昨今、輪荷重走行疲労試験の普及により、床版の破壊形態が明確にされてきており、また疲労設計に関する知見も蓄積されてきているので、より疲労耐久性に優れた床版の実現も可能になってきている。

### 4. 合成床版の適用例

合成床版の種類とそれぞれの設計については、前述した通りである。ここでは、合成床版の適用例として、まず最初に施工上の特徴を示し、近年、その建設が増加傾向にある主桁間隔の広い鋼橋（長支間床版）、および拡幅・打ち替え工事への適用についてまとめて記述する。

#### 4.1 合成床版の特徴

わが国における合成床版の最初は 1968 年に東名高速道路に適用された I 形鋼格子床版であると考えられる。2 で述べたように、I 形鋼格子床版は最初、長大吊橋における死荷重軽減、高所における型枠設置作業の軽減といった目的のために米国で開発されたものであるが、工期

短縮・死荷重軽減・施工性の良さなどが評価され、一般橋に用いられるようになり、今日では 1,000 橋以上の実績を有するにまで至っている。

I 形鋼格子床版の適用以降、様々な形式の合成床版が開発されているが、これらの特徴として共通しているのは、一般に工場で骨組み、底鋼板を組み立てるプレハブ床版であるということであり、

- ・架設現場での型枠・支保工が不要となるため、RC 床版に比べて工期が大幅に短縮できる
  - ・底に鋼板を有するため、落下物等の心配が無く、安全に施工できる
  - ・剛性が高く、床版厚を薄くできるので死荷重の軽減が可能である
- といったメリットがある。

これらの特徴から、一般的な主桁間隔を有する中小スパン橋梁において、桁下空間の利用が制限され、厳しい施工管理が必要とされる跨道橋、跨線橋、あるいは工期短縮が求められる床版改修（打ち換え）などに主として適用されている。

#### 4.2 少数主桁に適用される床版

##### (1) 床版厚の考え方

長支間床版においてまず問題となるのは床版厚の決定方法である。現行の道路橋示方書にしたがうと、床版が長支間化すれば床版厚は極めて大きくなる。RC 床版を例にとると、基本床版厚に大型車の交通量/同時載荷を考慮して割り増し係数をかけるが、これで計算すると 6 m スパンの連続版では、床版厚は約 36 cm と大きな値になる。これは、短いスパンの床版における経験則による係数をそのまま長支間へと外挿することに起因していると考えられ、適切な係数の修正が必要とされている<sup>9)</sup>。

文献<sup>9)</sup>等によると、上記修正の重要な要因として、曲げモーメントとせん断力に対する床版厚規定の考え方が挙げられる。従来の床版規定で対象となる短支間床版では、曲げモーメントにより設計した断面の場合、せん断耐力が小さくなるため、床版厚規定により、せん断疲労強度の確保を図ったと考えられる。これに対し、長支間床版では、曲げモーメントにより設計した床版厚でも十分なせん断耐力が確保され、せん断疲労破壊の可能性は極めて低いものとなり、床版厚規定は不要になるものと考えられる。長支間床版の床版厚に関しては、この点を十分に考慮した床版設計を行うことで、より合理的な設計になると考えられる。

##### (2) 長支間合成床版の可能性

鋼少数主桁橋梁用の床版としては現在のところ PC 床版が標準的に採用されているが、合成床版も数例適用されている。床版支間が 4 m 以上の長支間合成床版の適用例を表-3 に示す。

表-3 長支間合成床版の適用例

名称	主桁間隔	床版厚	桁形式	橋梁名
I形鋼格子床版	4.1m	21.0cm	2主鉄桁橋	東名高速道路/磐田原IC・Aランプ橋
サンドイッチ構造合成床版	6.0m	29.3cm	角形鋼管トラス橋	北海道横断自動車道/滝下橋
帯鋼ジベル合成床版	5.2m	28.6cm	開断面箱桁橋	北海道横断自動車道/千歳JCT Cランプ橋

鋼・コンクリート合成床版では、鋼材とコンクリートとを有効に使用することでコンクリート厚を極力小さくして床版死荷重を減らし、かつプレファブ化も図れること等がメリットとしてあげられる。これらにより床版の長支間化が可能となる。鋼少数主桁橋梁への適用を前提に開発されたと考えられる合成床版の代表例を表-4に示す。なお、これらはあくまで例であり、他の形式でも長支間化が図れるものも当然あると考えられる。

なお、さらに新しい新形式床版も含め、いくつかの機関で合成床版の開発が進められており、より高度で信頼性の高い長支間床版が実橋に採用されることになって行くであろう。

#### 4.3 拡幅・打ち替え工事への適用

多くの合成床版は、型枠・支保工兼用のパネルを工場で作成することが可能であるため、型枠の設置が容易であり、施工工程の短縮が可能となる。このため、床版の打ち替えや拡幅などに合成床版を使用すると、工期短縮の効果により、交通規制を大幅に短くすることが可能である<sup>17)</sup>。

また、拡幅工事において既設床版が旧示方書で設計されているため、床版支間に対する床版厚が薄い場合、新設部の床版厚を既設部と同厚にする必要がある。このような場合でも、合成床版を使用することで、床版支間に対する床版厚を薄くし、既設部と同厚にすることが可能である。

しかし、拡幅や打ち替えなどに合成床版を使用する際、床版の連結部の構造が問題となるが、一般的にこの部分の接合は鉄筋の重ね継手によるものが大半を占める。

図-11は、既設のRC床版とI形鋼格子床版との接合部構造の一例であり、RC床版部分の鉄筋とI形鋼格子床版の主部材であるI形鋼の重ね継手として設計されているものである。ここで、鉄筋とI形鋼のラップ長は、鉄筋同士のラップ長と同様に、

SD295の場合：30D（D：鉄筋径）

SD345の場合：35D

が確保されている。

また、一般的な合成床版では、工場で組み立てたパネルを桁で支持するという構造上、継ぎ目は桁上に配置される。そして、鉄筋の継手は、図-12に示すように、床版を切断し、鉄筋のラップ長を確保できる位置までコン

表-4 長支間化床版の試算例

名称	コンクリート	工期	最大支間(m)	床版厚(cm)	設計単重(t/m <sup>2</sup> )
I形鋼格子床版	現場打ち	中	8.0	25 27	2.67 2.96
溝形鋼埋込み型床版	現場打ち	中	8.5*	33 56	2.5 2.5
パイジベル合成床版	プレキャスト	中	8.5*	24 41	2.65 2.65
トラス型ジベル合成床版	現場打ち	中	8.5*	25 35	2.75 2.75
立体トラス型ジベル合成床版	現場打ち	中	8.5*	21 35	2.94 2.94
サンドイッチ構造合成床版	現場打ち	中	12.0	25 32	3.00 2.87
RC床版(参考)	現場打ち	長	4.0	33 45	2.5 2.5
PC床版(参考)	現場打ち プレキャスト	長 中	6.0	24 32	2.5 2.5

表中 上段：主桁間隔5m程度の場合(連続版)

下段：主桁間隔8m程度の場合(連続版)

\*理論上可能な値

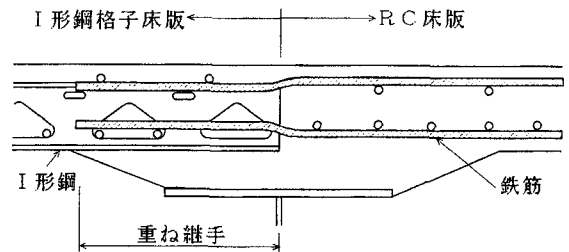


図-11 I形鋼格子床版とRC床版の接続部

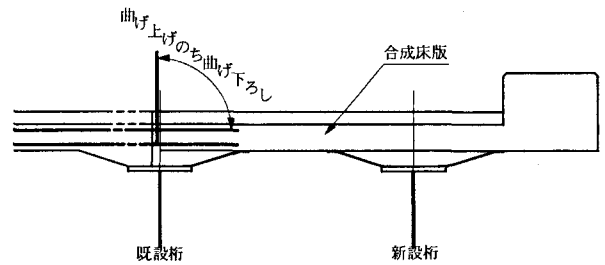


図-12 重ね継手の構造

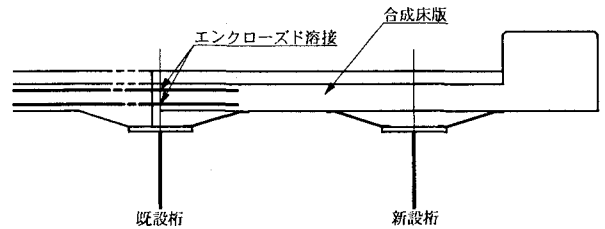


図-13 溶接継手の構造

クリートをはつり、鉄筋を露出させるが、これがパネルを架設する際に障害となるので、この部分の鉄筋を曲げ上げておき、設置後曲げ下ろす構造が用いられている。

なお、近年、コンクリートのはつり量を少なくするため、図-13に示すように鉄筋をエンクローズド溶接する方法も用いられている。

この他に、鉄筋の重ね継手長を短くすることで、コンクリートのはつり量を少なくするために、CFRP補強材を用いた重ね継手等も研究されている。

## 5. まとめ

以上、合成床版について代表的な例をもとにその設計の考え方と適用例を簡単に説明した。ここに示した以外の合成床版についても研究・開発が活発に行われており、適用例も最近増えてきている。今後、これらの知見をもとに数多くの設計・施工がなされ、設計指針などがまとめられるものもあると考えられる。

橋梁構造の合理化に関する様々な調査・検討の結果、鋼橋の合理化を図れる橋梁形式として少数主桁橋は本格的な普及段階を迎えたといえるが、床版構造の合理化・高耐久性化は依然として強く求められている。また最近では、橋梁構造のさらなる合理化を目指し、主桁間隔を10m程度とした2主桁橋も計画されており、床版構造の重要性はますます高まっていると言える。

橋梁建設においては今後もひきつづきコスト縮減、省力化、長寿命化が追求されていくものと考えられる。これらの要求に応えうる要素として床版構造の合理化が位置づけられ、今後もより合理的な合成床版の開発が継続されていくものと予想される。

最後に、本調査は、土木学会鋼構造委員会鋼橋床版の調査研究小委員会の活動の一環として行ったものであることを付記しておく。

## 参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ⑨B 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物，1997.
- 2) NBC研究会編，“新しい合成構造と橋”，山海堂
- 3) 大田孝二，森寛司，高木優任，松井繁之：鋼少数主桁橋梁に適用するI形鋼格子床版の設計法に関する考察，橋梁と基礎，1997.2.

- 4) 松井繁之：床版の技術開発－耐久性の向上，施工の合理化－，橋梁と基礎，Vol.31, No.8, 1997, pp.84-94
- 5) 大間知良晃，永田淳，高田和彦，清田錬次：パワースラブ（鋼・コンクリート合成床版）の性能確認実験，横河ブリッジ技報，No.26, 1997.1.
- 6) 松井繁之，池田良介，阿部幸夫，柳本泰伴，井澤衛：サンドイッチ型複合床版の移動荷重に対する疲労強度特性，土木学会第52回年次学術講演会 I-A171, 1997.9.
- 7) 酒井鉄工所パンフレット：FRP合成床版
- 8) 中井博，堀川都志雄，堀松正芳，真田健司：トラス型ジベルを用いた合成床版の設計・製作・施工について，土木学会論文集，No.486, VI-22, pp65-74, 1994.3
- 9) 九州橋梁・構造工学研究会 TSC 研究会：TSC合成床版設計要領（案），平成2年7月
- 10) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，昭和54年2月
- 11) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ．鋼橋編，1996.12.
- 12) 日本橋梁建設協会：I形鋼格子床版の設計施工の手引き（案），1994.9.
- 13) 佐伯彰一：I形鋼格子床版の設計，土木技術資料 17-7, 1975.
- 14) 建設省土木研究所：I形鋼格子床版設計資料[Ⅱ]－供試体による静的載荷試験－，土木研究所資料第308号，昭和42年4月
- 15) 中井博，松本雅治，中村求，山本晃久，真田健司：トラス型ジベルを用いた合成床版の耐荷力と疲労強度に関する実験的研究，土木学会構造工学論文集，Vol.37A, 1991.3
- 16) 松井繁之，文兌景，福本啓士：鋼板・コンクリート合成床版中のスタッドの疲労性状について，土木学会構造工学論文集，Vol.39A, 1993.3
- 17) 成田信之，小森武，笹川大作：鋼道路橋の拡幅，土木施工 39 卷 2 号, 1998.2