

## 第3編

# 合 成 床 版 編

## 第1章 一般

### 1. 1 適用の範囲

本編は、鋼板、または形鋼とコンクリートとが一体となって荷重に抵抗するように構成された合成床版の設計・施工に適用するのを原則とする。

【解説】 従来、鋼道路橋をはじめとする床版には、一般に鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版と称する）が広く用いられてきた。この理由としては、RC床版が他の形式に比べて経済的に優れていることや、施工が比較的容易であることなどが挙げられる。しかしながら、近年、繰返し荷重によるRC床版の損傷発生や、施工現場における熟練作業員不足などの問題点が、指摘されるようになってきている。

このような背景から、RC床版に代わるものとして、鋼・コンクリート合成床版が開発されている。これを従来のRC床版と比較すれば、一般に、以下のような特長がある。

- (1) 型枠や配筋の大部分を工場で行うため、現場作業が、軽減できる。
- (2) 品質の維持・管理が、容易である。
- (3) 剛性が高く、床版厚を薄くすることができる。

合成床版構造は、道路橋、および歩道橋などの橋梁床版、ならびに駐車場の床版などに用いられることが多い。本指針は、このような構造物に用いられる合成床版を、限界状態設計法で設計・施工するための指針としてとりまとめたものである。

#### 1. 1. 1 本編で対象とする合成床版

本編で対象とする合成床版の形式は、以下の2種類のものとする。

- (1) 鋼板とコンクリートとを適切なずれ止めで結合したもの。
- (2) 形鋼と型枠となる鋼板とを接合し、コンクリートを充填したもの。

いずれも、道路橋の車道部に用いるものを対象としており、鉄道橋については、本指針の適用の範囲に含めないものとする。ずれ止めにスタッドを使用した鋼板・コンクリート合成床版は第7章の規定で、またI形鋼格子床版は第8章の規定に基づいてそれぞれ設計するものとする。

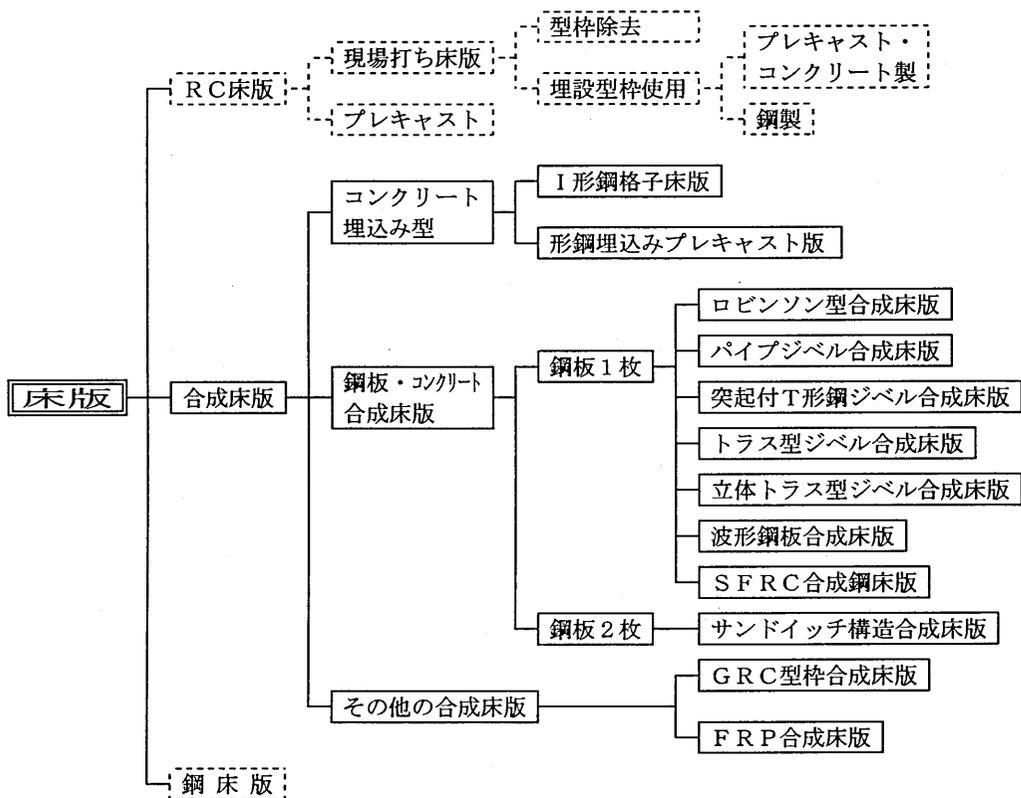
【解説】 道路橋の車道部の床版では、とくに輪荷重の繰返し作用による損傷発生などに対応して、設計法や構造詳細の研究が進められている。そこで、本指針では、章を改めて、実施工事の適用例の多い鋼板・コンクリート合成床版、およびI形鋼格子床版の設計法について示した。ただし、鉄道橋の床版においては、特殊な活荷重体系を適用する必要があるため、別途、詳細な調査研究が行われている。これらのことから、ここでは、鉄道橋の床版を本指針の適用の範囲内に含めないことにした。

#### 1. 1. 2 その他の合成床版

合成床版としては、上記の1.1.1で対象としたもの以外に、種々なものがある。これらに対しても、本編の主旨を踏まえれば、設計が行えるものとする。

【解説】 現在、合成床版形式としては、ずれ止め形式や底鋼板の形状などに特徴を有する数多くのものが提案されている。これらのうち、本編では、①下面に配置された底鋼板を単に型枠として用いるものと、②構造部材として断面に算入するものとの2つを対象にした。

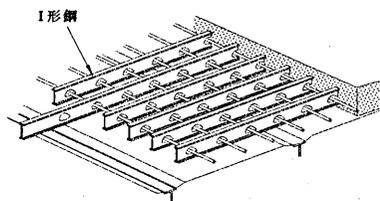
いずれの場合でも、従来から使用されてきたRC床版と、鋼床版との中間的な構造形式と考えられる。すなわち、RC床版に近いものから鋼床版に至るものを順に分類すると、解説図 1.1のように整理することができる。また、これらの他にも、ずれ止めに高力ボルトを用いた合成床版など、数多くの形式のものが開発されようとしている。



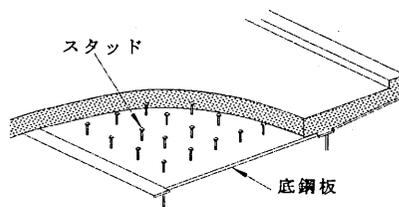
□ : 本指針で対象とするもの    □ : 対象外のもの

解説図 1.1 合成床版の分類

各種の合成床版<sup>1)~14)</sup>の概要と構造例を、解説図 1.2 (a) ~ (i) に示す。I形鋼格子床版(解説図 1.2 (a))は、高さ105~200mm程度のI形鋼を主部材とし、それらを鉄筋などで相互に結合した鋼格子パネルの下面に亜鉛メッキされた型枠鋼板を取り付け、コンクリートを打設・充填したものである。通常、鋼格子パネルは、工場で製作され、現場架設時に支持桁上のハンチ部や、パネル間の継手鉄筋などの処理を行った後、現場にてコンクリート打設が行われ、型枠、支保工、および配筋などの現場作業が少ない。そのため、桁下の作業に制約が多い場合や、急速施工をしたい場合などに多くの実績がある。



解説 図 1.2 (a) I形鋼格子床版

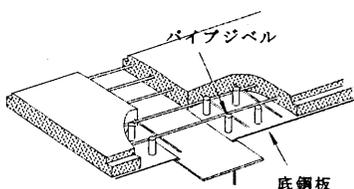


解説 図 1.2 (b) ロビンソン型合成床版  
(鋼板・コンクリート合成床版)

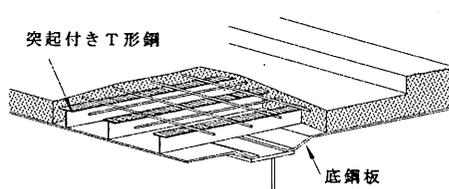
ロビンソン型合成床版(解説 図 1.2 (b)),あるいは鋼板・コンクリート合成床版と呼ばれるものは、厚さ4.5~10mm程度の底鋼板に、ずれ止めとしてスタッドを溶植し、この上に打設したコンクリートと合成させる床版である。一般に、底鋼板は、RC床版の下側鉄筋に相当する強度部材と考えて、設計することができる。この合成床版は、型枠施工が不要であり、剛性が高く、また床版厚さを軽減できるなどの特長を有しており、各種の鋼板・コンクリート合成床版の基本形式と考えられる。現在では、阪神高速道路の長堀ランプや大阪城新橋など4~5橋の実績がある。

パイプジベル合成床版(解説 図 1.2 (c))は、ずれ止めとして短い鋼管を鋼板上に溶接した鋼板・コンクリート合成床版である。ここでは、底鋼板の厚さを4.5mm以上としており、耐荷力を期待する部材の役目と型枠の役目とを兼用していることなど、ロビンソン床版と同様な形式である。

突起付きT形鋼ジベル合成床版(解説 図 1.2 (d))は、底鋼板に突起付きT形鋼を溶接して、RC床版における主鉄筋の役目をもたせたものである。T形鋼の上フランジ面に形成された浅い突起によって、コンクリートとの付着強度を向上させ、ずれ止め効果を実現させている。



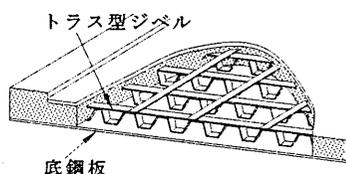
解説 図 1.2 (c) パイプジベル合成床版



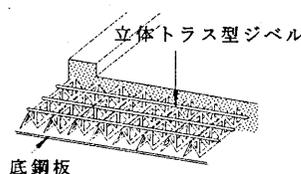
解説 図 1.2 (d) 突起付きT形鋼ジベル合成床版

トラス型ジベル合成床版(解説 図 1.2 (e))は、帯鋼を波形に折り曲げ加工して斜材とし、さらに上弦材となる帯鋼を溶接したトラス型ずれ止めを用いる鋼板・コンクリート合成床版である。阪神高速道路の湾岸線においては、底鋼板の厚さを4.5mmで施工された実績がある。帯鋼の斜材は、版のせん断補強筋としても作用する。帯鋼の板厚は、標準で6mmとしている。

立体トラス型ジベル合成床版(解説 図 1.2 (f))は、板厚6mm程度の底鋼板にパンチ孔を明け、それ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る鋼板・コンクリート合成床版である。底鋼板の厚さは、8mmである。現在では数例の施工実績がある。



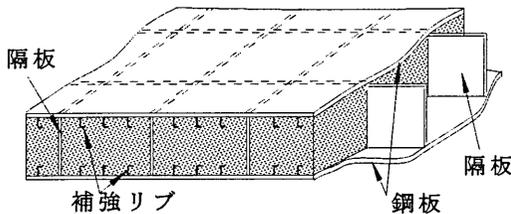
解説 図 1.2 (e) トラス型ジベル合成床版



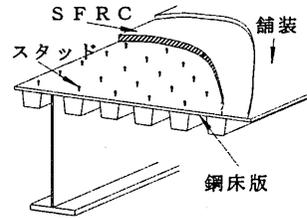
解説 図 1.2 (f) 立体トラス型ジベル合成床版

サンドイッチ構造合成床版（解説図 1.2 (g)）は、上下の鋼板などで構成された鋼製箱構造の中にコンクリートを充填した合成床版である。この形式のものは、沈埋トンネルや、地中連壁構造などに実例がある。充填されたコンクリートは、鋼箱断面により変形が拘束されるため、ずれ止めを設けない場合もある。

SFRC（鋼繊維補強コンクリート）を用いた合成鋼床版（解説図 1.2 (h)）は、鋼床版の舗装として一般に採用されるアスファルト系のものに代えて、体積比で1.5%程度の鋼繊維を配合したコンクリートに置き換えたものである。SFRCは、舗装として耐磨耗性や、耐ひび割れ性に優れている。しかも、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って、高い剛性を確保し、また振動・騒音の低減や、耐久性の改善を図っている。名古屋高速道路公社などでは、この種の床版の適用実績も多い。

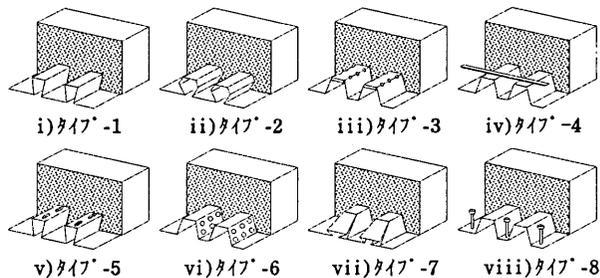


解説図 1.2 (g) サンドイッチ構造合成床版  
(神戸港の沈埋トンネル)



解説図 1.2 (h) SFRC合成鋼床版

波形鋼板合成床版（解説図 1.2 (i)）は、床用折曲げ形鋼板に、様々な形状の突起や定着部材を取り付けて、ずれ止めの効果を期待するものである。主に、歩道橋や建築構造の床として応用されており、土木構造などの重荷重用床版としての適用事例は、まだ報告されていない。



解説図 1.2 (i) 波形鋼板合成床版

## 1.2 用語の定義

本編で使用する主な用語は、以下のように定義されるものとする。

### (1) 構造要素

- 1) 底鋼板：型枠、または床版の下側鋼材として、合成床版の底面に用いられる鋼板。
- 2) ずれ止め：合成床版の鋼板とコンクリートとが一体となって外力に抵抗できるよう、両者を結合するために配置される部材のこと。

### (2) 構造解析

- 1) 版：幅、および長さ比べて厚さが薄い平面的な構造部材で、主として面外の外力を受けるもの。

- 2) 活荷重：合成床版構造が完成した後に作用する設計変動荷重。
  - 3) 合成前の死荷重：コンクリートがまだ硬化しない段階において作用する永久荷重。
  - 4) 合成後の死荷重：コンクリートが硬化し、鋼・コンクリート合成構造として機能した後に作用する永久荷重。
- (3) 設計，および細目
- 1) ヤング係数比：設計断面において，鋼とコンクリートとの応力分担率を決定するための両者のヤング係数の比の値。
  - 2) 現場継手：一般に，運搬，および架設可能な寸法に分割して工場製作された合成床版部材を，ヤード，または支持桁上で連結して一体化する部分。
  - 3) 曲げ剛性比：異方性板として取り扱われる版において，長さ方向の曲げ剛性に対する幅方向のその比の値。

【解説】 (1) ~ (3) について

ここでは，合成床版に特有と考えられる用語について定義した。

### 1. 3 記号

本指針の共通編に示されていないものとして，以下のような記号を用いるものとする。

$A_d$  : スタッドの幹部の断面積( $\text{cm}^2$ )

$A_s$  : 底鋼板の断面積( $\text{cm}^2$ )

$b$  : 床版の単位幅(cm)

$d$  : 床版上面から底鋼板の中心までの距離(cm)

$F_u$  : 底鋼板の設計基準強度( $\text{kgf/cm}^2$ )

$\triangle F_{rd}$  : 鋼材の疲労強度の特性値( $\text{kgf/cm}^2$ )

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計材料強度( $\text{kgf/cm}^2$ )

$h_c$  : コンクリート部の最小厚さ(cm)

$k$  : ずれ止めの形式によって決定される荷重作用の分担率

$k_u$  : 中立軸比 ( $= x / d$ )

$L$  : 床版支間(m)

$M_{sd1}$  : 合成前の死荷重による鋼部材の設計曲げモーメント( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{sd2}$  : 合成後の死荷重による鋼部材の設計曲げモーメント( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{sl}$  : 合成後の活荷重による鋼部材の設計曲げモーメント( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{ys}$  : 合成前の鋼部材の圧縮縁，または引張縁に対する設計終局曲げ強度( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{yv}$  : 合成後の部材の圧縮縁，または引張縁に対する設計終局曲げ強度( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_u$  : 設計終局曲げ強度( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{ucv}$  : 合成後のコンクリート部材の圧縮縁，または引張縁に対する設計終局曲げ強度( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{us}$  : 合成前の鋼部材の圧縮縁，または引張縁に対する設計終局曲げ強度( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{sv}$  : 合成後の鋼部材の圧縮縁，または引張縁に対する設計終局曲げ強度( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{zd1}$  : 合成前の死荷重による鋼部材の設計曲げモーメント( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{zd2}$  : 合成後の死荷重による鋼部材の設計曲げモーメント( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$M_{zl}$  : 合成後の活荷重による鋼部材の設計曲げモーメント( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

$n$	: 鋼とコンクリートとのヤング係数比
$P$	: 自動車1後輪の設計輪荷重 (kgf)
$Q$	: スタッド1本に作用する設計せん断力 (kgf)
$Q_s$	: スタッド1本の疲労を考慮した限界強度 (kgf)
$V$	: ずれ止めの設計のための版の設計せん断力 (kgf)
$W_s$	: 合成前の鋼部材の断面係数 (cm <sup>3</sup> )
$W_v$	: 合成後の部材の断面係数 (cm <sup>3</sup> )
$w$	: 設計等分布死荷重 (kgf/cm <sup>2</sup> )
$W_{vs}$	: 合成後の鋼に換算した部材の断面係数 (cm <sup>3</sup> )
$W_{vc}$	: 合成後のコンクリートに換算した部材の断面係数 (cm <sup>3</sup> )
$x$	: 圧縮側のコンクリート面から中立軸までの距離 (cm)
$\sigma_{rd}$	: 活荷重による設計変動応力
$\phi$	: 部材の抵抗係数

### 参考文献

- 1) 土木学会：鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン，1989年3月。
- 2) 建設省土木研究所：I形鋼格子床版設計資料，土木研究所資料，第178号，1966年4月。
- 3) 前田幸雄，松井繁之：コンクリート充填鋼格子床版の挙動特性と設計上の一考察，第1回コンクリート工学年次講演会講演論文集，pp.383-388，1979年。
- 4) 鷺坂 修，成瀬輝男ほか：ユニットスラブを用いた魚崎跨線道路橋新設工事，土木施工，17巻，5号，pp.49-53，1976年4月。
- 5) 大田実：プレキャスト合成床版の一形式，土木学会・鋼とコンクリート合成構造に関する調査研究報告書，pp.70-75，1984年3月。
- 6) 佐伯彰一：I形鋼格子床版の設計，土木技術資料，Vol.17-7，pp.349-352，1975年7月。
- 7) 田中佑人，佐藤政勝：突起付T形鋼を用いた斜合成床版橋の構造特性と設計法，合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp.63-68，1986年9月。
- 8) 浅沼 素，佐野信一郎，赤尾 宏：トラス型ジベルを用いた合成床版及び合成鋼床版桁の実験的研究，合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.231-238，1986年9月。
- 9) 太田俊昭，日野伸一ほか：トラス型ジベルを有する鋼板・コンクリート合成桁の力学的特性，合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.239-245，1986年9月。
- 10) 阪神高速道路公団大阪第1建設部：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），1993年3月。
- 11) 中井 博ほか：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，pp.65-74，1994年3月。
- 12) 中井 博ほか：トラス型ジベルを用いた合成床版と大阪湾岸線臨浜工区の橋梁への適用，橋梁と基礎，Vol.27，No.2，1993年2月。
- 13) Maeda,Y. and Matsui,S. : Prefabricated Steel Deck Plates Sandwiching Concrete, IABSE Symposium, Praha, CZECHO-SLOVAKIA, pp.335-342, 1971.
- 14) 寺田博昌：鋼繊維補強コンクリートを用いた合成鋼床版の研究開発，名古屋大学学位請求論文，1986年10月。

## 第2章 材 料

### 2. 1 鋼材

合成床版に用いる鋼材はJIS G 3101 に適合するものとし、また鋼種は SS400 を標準とする。

【解説】 合成床版では、一般に疲労やひび割れなどに対する各限界状態が他の合成構造物の場合に比べて、さらに重要となる。このような場合は、高強度の鋼材を用いて設計する必要性が少ないので、上記のように規定することとした。

### 2. 2 コンクリート

合成床版に用いるコンクリートは、材齢28日における圧縮試験強度に基づいて設計基準強度を定めるのを原則とする。

【解説】 適切に養生されたコンクリートの強度は、ほぼ材齢28日程度で所要の圧縮強度に達する<sup>1)</sup>とされているので、上記のように定めることとした。しかしながら、工場で製作されるコンクリート部材や、急速施工を要求される場合などは、適切な強度の発現期間を、別途、定める必要がある。

コンクリートの材料定数や強度などについては、本指針の第1編第2章、および第3章を参考にされたい。

### 2. 3 ずれ止め

ずれ止めには、JIS B 1198で規定される頭付きスタッドで、JIS G 3101に規定される一般構造用圧延鋼材を用いるのを原則とする。

【解説】 ここでは、ずれ止めの材料として用いられる一般的な材料を示した。なお、高力ボルトを利用するずれ止めなど、これら以外のずれ止めに対する研究開発が、現在も行われている。いずれの場合にも、十分な強度と耐久性を有する材料を使用しなければならない。

#### 参考文献

- 1) 土木学会制定：コンクリート標準示方書・設計編，1996年版。

## 第3章 構造解析

### 3.1 構造解析の原則

版の設計断面力は、与えられた設計荷重のもとに、平板理論などの適切な線形理論に基づく解析によって求めるのを原則とする。

【解説】 設計断面力を求めるに当たっては、作用する荷重の種類とその特性とを考慮した設計荷重を用いなければならない。合成床版に作用する荷重は、①コンクリートがまだ硬化しない状態で作用するものと、②コンクリートが硬化して合成作用を期待できる状態で作用するものとの2つに大別できる。

前者の荷重は、一般に、鋼部材によって負担するものとして設計する。その場合は、鋼部材の形状や剛性を考慮して適切な解析モデルを選択しなければならない。たとえば、異方性を有する版の場合には、等価な格子構造にモデル化し、解析を行うことなどが薦められる。

後者のコンクリート硬化後の版構造の解析には、従来、平板理論による厳密な解析や、差分法などによる近似解析が行われてきた。近年、電子計算機の普及と、有限要素法や有限帯板法などの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なども考慮した解析が、容易に行えるようになってきている。そこで、これらを利用することとした。ただし、この場合にも、簡易なモデル化により妥当な結果が得られることを確認しているならば、それによって設計断面力を求めることができる。たとえば、集中荷重が作用する版の曲げモーメントは、等価な有効幅を有するはりとしみなして求めてもよい<sup>1)</sup>。

また、道路橋に用いる合成床版では、本編の第7章、および第8章の規定に基づいて設計曲げモーメントを算出してよい。たとえば、第7章では、ロビンソン型合成床版のように、等方性の版と仮定できる場合、所定の構造細目に従って構成された合成床版の道路橋活荷重による設計曲げモーメント算出式と、ずれ止めの設計用の版の設計せん断力算定式とが、与えられている。また、第8章では、I形鋼格子床版特有の直交異方性を考慮した設計断面力の算定式が示されている。

### 3.2 鋼とコンクリートとのヤング係数比

鋼とコンクリートとのヤング係数比  $n$  は、10、もしくは15としてよい。

【解説】 合成構造に用いられるコンクリートの設計基準強度は、240~400(kgf/cm<sup>2</sup>)の範囲内にあると考えられる。一般に、鋼とコンクリートとのヤング係数比は、コンクリートの設計基準強度によって変化する。しかしながら、この範囲では、コンクリートのヤング係数の変化が結果に及ぼす影響がそれほど大きくない。そのため、ここでは、計算の便を考慮して、ヤング係数比  $n=10$ 、もしくは  $n=15$  の一定値を用いることにした。なお、この値は、変位などの計算に用いるものとする。

#### 参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編，1996年版。

## 第4章 材料および部材の強度

### 4. 1 材料の強度

#### 4. 1. 1 鋼材の設計材料強度

合成床版に使用する鋼材の設計材料強度は、本指針の第1編に示した表5. 1によるものとする。

【解説】 鋼材の規格・強度などについては、本指針の第1編の第2章，および第5章を参照されたい。

#### 4. 1. 2 棒鋼の設計材料強度

合成床版に使用する棒鋼の設計材料強度は、本指針の第1編に示した表5. 2によるものとする。

【解説】 棒鋼の規格・強度などについては、本指針の第1編の第2章，および第5章を参照されたい。

#### 4. 1. 3 コンクリートの設計材料強度

コンクリートの設計圧縮強度  $f'_{cd}$  は、設計基準強度  $f'_{ck}$  を用い、式(4.1)によって算定するものとする。

$$f'_{cd} = f'_{ck} / 1.3 \quad (4.1)$$

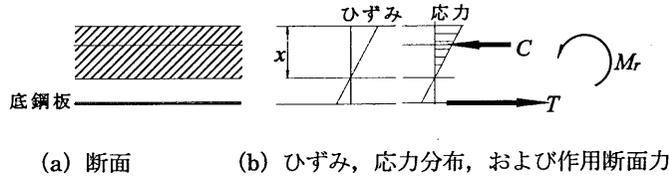
【解説】 コンクリートの材料定数や強度などについては、本指針の第1編第2章，および第3章を参照されたい。

### 4. 2 断面の抵抗値

- (1) 使用限界状態における床版断面の曲げ抵抗値は、弾性解析によって算出するものとする。
- (2) 終局限界状態における床版断面の曲げ抵抗値は、以下の仮定に基づいて算出してよい。
  - 1) 維ひずみは、断面の中立軸からの距離に比例する。
  - 2) コンクリートの引張応力は、無視する。
  - 3) 鋼とコンクリートとの応力-ひずみ曲線は、本指針の第1編の共通編によるものとする。

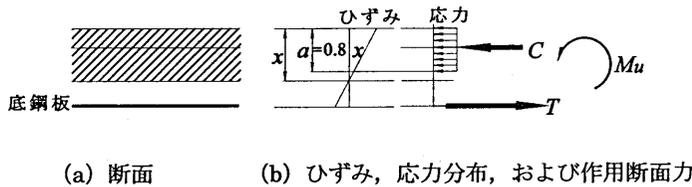
【解説】 ここでは、曲げモーメントを受ける鋼板・コンクリート合成床版の応力-ひずみ関係についての仮定を示した。

たとえば、正曲げモーメントを受ける鋼板・コンクリート合成床版の使用限界状態では、解説図 4.1中に示すひずみ・応力分布を仮定し、抵抗曲げ強度  $M_r$  を算定すればよい。



解説図 4.1 使用限界状態

また、終局限界状態に対しては、解説図 4.2中に示すひずみ・応力分布の仮定と、コンクリートの終局ひずみの制限とによって、抵抗曲げ強度  $M_u$  を求めるものとする。ここで、コンクリートの終局ひずみ  $\epsilon_u$  は、0.0035以下とする。



解説図 4.2 終局限界状態

終局曲げ強度  $M_u$  は、解説図 4.2 に対して、以下のように計算される<sup>1)</sup>。

鋼部材の降伏が先行する場合：

$$M_u = A_s F_u (d - a/2) \quad (\text{解4.1})$$

コンクリートが終局ひずみに到達する場合：

$$M_u = 0.80 f'_{cd} b d^2 k_u (1 - 0.4 k_u) \quad (\text{解4.2})$$

- ここに、 $M_u$  : 終局曲げ強度 (kgf・cm)  
 $A_s$  : 底鋼板の断面積 (cm<sup>2</sup>)  
 $F_u$  : 底鋼板の設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $d$  : 床版上面から底鋼板の中心までの距離 (cm)  
 $a$  : =0.8  $x$   
 $f'_{cd}$  : コンクリートの設計材料強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $b$  : 床版単位幅 (cm)  
 $k_u$  : 中立軸比 (=  $x/d$ )

形鋼などを埋め込んだ場合や、鋼板をリブで補剛した場合、あるいはコンクリートの両面に鋼板を配置した場合などは、上記に準じて適切なひずみ・応力分布を設定して、終局曲げ強度を求めることとする。

### 4.3 ずれ止めの強度

ずれ止めは、荷重作用によって鋼材とコンクリート間に生じるせん断力を確実に伝達するとともに、

コンクリートの浮き上がりに抵抗できる強度を有するものでなければならない。

【解説】 従来、合成構造のずれ止めとして用いられてきたものには、スタッドや、形鋼と鉄筋とを組合わせたブロックジベルなどがある。一方、合成床版では、さらに多彩な材料や構造が用いられている。いずれの場合にも、コンクリートと鋼部材とを十分に結合し、合成作用を期待できるような鋼材を選択しなければならない。

また、繰返し変動応力を受ける場合には、作用せん断力の方向、変動範囲、および頻度などを考慮した疲労強度に基づく照査を行わなければならない。

#### 参考文献

- 1) 岡田 清, 伊藤和幸ほか: 鉄筋コンクリート工学, 鹿島出版会, 1993年3月.

## 第5章 限界状態の照査

### 5.1 終局限界状態の照査

- (1) コンクリートがまだ固まらない状態における鋼部材は、架設時などの適切な荷重に対する終局限界状態を照査しなければならない。
- (2) コンクリート硬化後の合成床版は、考慮するすべての荷重に対する終局限界状態を照査するのを原則とする。

【解説】 コンクリート硬化前の合成床版は、コンクリートの強度が期待できないため、鋼部材の曲げ、座屈、および、せん断破壊を、終局限界状態とみなして照査するものとする。

コンクリート硬化後の合成床版で、曲げモーメントに対して終局限界状態を照査する場合は、合成前・後の断面力を用い、式(解5.1)~式(解5.2)によって照査を行えばよい。

鋼材に対して：

$$\frac{Mzd1}{Mus} + \frac{Mzd2 + Mzl}{Musv} \leq 1 \quad (\text{解5.1})$$

コンクリートに対して：

$$\frac{Mzd2 + Mzl}{Mucv} \leq 1 \quad (\text{解5.2})$$

- ここに、
- $Mzd1$  : 合成前の死荷重による鋼部材の設計曲げモーメント (kgf・cm)
  - $Mzd2$  : 合成後の死荷重による設計曲げモーメント (kgf・cm)
  - $Mzl$  : 合成後の活荷重による設計曲げモーメント (kgf・cm)
  - $Mus$  : 合成前の鋼部材の圧縮縁、または引張縁が降伏に到達した状態に対して算出された曲げ強度に部材抵抗係数  $\phi$  を乗じた値(kgf・cm)
  - $Musv$  : 合成後の鋼部材の圧縮縁、または引張縁が降伏に到達した状態に対して算出された曲げ強度に部材抵抗係数  $\phi$  を乗じた値 (kgf・cm)
  - $Mucv$  : 合成後のコンクリート部材の圧縮縁、または引張縁が終局ひずみに到達した状態に対して算出された曲げ強度に部材抵抗係数  $\phi$  を乗じた値 (kgf・cm)

### 5.2 使用限界状態の照査

使用限界状態においては、以下の各項について照査するのを原則とする。

- (1) 鋼部材の降伏
- (2) 支持桁間の床版に生じる活荷重たわみ

(3) 支持桁上付近に生じるコンクリートのひび割れ

【解説】 鋼部材の降伏に対する照査は、式(解5.3)によって行うものとする。

$$\frac{M_{sd1}}{M_{ys}} + \frac{M_{sd2} + M_{sl}}{M_{yv}} \leq 1 \quad (\text{解5.3})$$

ここに、 $M_{sd1}$  : 合成前の死荷重による鋼部材の設計曲げモーメント(kgf・cm)  
 $M_{sd2}$  : 合成後の死荷重による設計曲げモーメント(kgf・cm)  
 $M_{sl}$  : 合成後の活荷重による設計曲げモーメント(kgf・cm)  
 $M_{ys}$  : 合成前の鋼部材の圧縮縁、または引張縁に対する設計曲げ強度(kgf・cm)  
 で、このうち $M_{ys}$ は、式(解5.4)で算出する。

$$M_{ys} = \phi F_u W_s \quad (\text{解5.4})$$

ここに、 $W_s$  : 合成前の鋼部材の断面係数 (cm<sup>3</sup>)  
 $\phi$  : 使用限界状態に対する部材の抵抗係数 (鋼に対して $\phi=0.9$ 、コンクリートに対して $\phi=0.85$ )  
 $M_{yv}$  : 合成後部材の圧縮縁または引張縁に対する設計曲げ強度(kgf・cm)  
 で、 $M_{yv}$ は、式(解5.5)で算出する。

$$M_{yv} = \phi F_u W_v \quad (\text{解5.5})$$

ここに、 $W_v$  : 合成後の部材の断面係数(cm<sup>3</sup>)  
 $F_u$  : 底鋼板の設計基準強度(kgf/cm<sup>2</sup>)。

合成床版のたわみの制限値は、現在のところまだ明確ではない。しかしながら、一般には、床版支間の1/2,000程度と考えられる。

ところで、等方性版のたわみ  $w$  の基礎式は、式(解5.6)で表される。

$$\frac{\partial w^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial w^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial w^4}{\partial y^4} = \frac{p(x,y)}{D} \quad (\text{解5.6})$$

ここで、コンクリートに換算した合成版の曲げ剛さ  $D$  は、式(解5.7)で求められる。

$$D = \frac{E_c I_v}{1 - \mu^2} \quad (\text{解5.7})$$

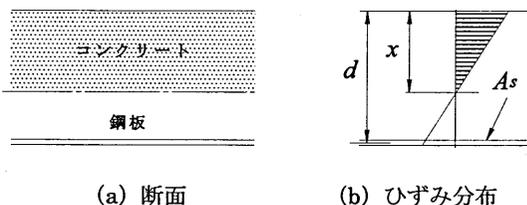
$\mu$  : コンクリートのポアソン比 (≒1/6、または 0.2)。

たとえば、鋼板・コンクリート合成床版の場合、版の換算断面2次モーメント  $I_v$  は、圧縮側鉄筋を無視すれば、式(解5.8)で与えられる。

$$I_v = \frac{b x^3}{3} + n A_s (d - x)^2 \quad (\text{解5.8})$$

ここに、解説図 5.1を参照すると、

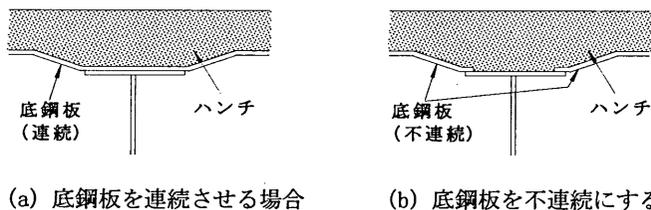
- $d$  : 床版上面から底鋼板の板厚中心までの距離 (cm)
- $A_s$  : 鋼板の断面積 (cm<sup>2</sup>)
- $x$  : 中立軸までの距離 (cm)
- $b$  : 考える床版幅 (cm)
- $n$  : 3.2で規定する鋼とコンクリートとのヤング係数比



解説図 5.1 鋼板・コンクリート合成床版の断面と換算剛性を求めるためのひずみ分布

合成床版では、経済性を発揮させるために、従来のRC床版に比べて床版厚を薄くして、死荷重を減らすのが一般的である。このときには、活荷重によるたわみを制限し、またコンクリートのひび割れ発生が合成床版の耐久性や使用性に及ぼす影響を十分に考慮する必要がある。

解説図 5.2 に示すように、支持桁上の底鋼板は、連続させる場合と不連続とする場合とがある。連続とした場合でも、圧縮部材になることから、ひび割れ抑制に対して有効に作用しないと考えられる。したがって、ひび割れの検討においては、底鋼板を無視したRC断面とみなしてもよい。



解説図 5.2 支持桁上の底鋼板の形式

底鋼板を断面部材に算入する場合は、局部座屈による剛性の低下に注意する必要がある。また、部材の抵抗断面を大きくするためには、解説図 5.2 中に示したように、ハンチを設けてもよい。その際のハンチの勾配は、1:3を標準とする。

許され得るひび割れ幅は、使用環境やかぶりの量によって異なる。一般的な合成床版においては、その最大値を0.2mm程度としている。ひび割れ幅を求めるためには、文献1)などに準ずればよい。また、鉄筋の最大応力度 $\sigma_r$ を、1,200 (kgf/cm<sup>2</sup>)程度に制限することとしてもよい。

なお、まだ固まらないコンクリートを含む自重を鋼部材によって支持する形式の合成床版では、床版厚さの精度、および景観の保持のために、死荷重による鋼部材のたわみ量を制限することが望ましい。

### 5. 3 疲労限界状態の照査

疲労限界状態では、繰返し応力による安全性を照査しなければならない。

【解説】 繰返し応力が作用する合成床版では、コンクリート、鋼板とコンクリートとを合成するずれ止め、および底鋼板の疲労破壊の恐れがある。これに対しては、作用する応力度範囲と繰返し回数とに対応した部材要素の疲労強度を求めて、安全性を照査しなければならない。

この場合、設計断面力を求めるための部材強度係数 $\phi$ は、1.0とする。また、部材要素の一定の応力範囲の繰返し回数に対応する疲労強度は、適切な資料、あるいは試験により求めるのを原則とする。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編，1996年版。

## 第6章 構造細目

### 6. 1 コンクリートの最小厚

単純版、または連続版のコンクリート厚さは、15cm以上とするのを原則とする。

【解説】 ここでは、コンクリートの最小厚さを、施工上の観点、すなわち最大骨材寸法、および最小ずれ止め高さを考慮して規定した。

一般に、合成床版では、従来のRC床版に比べて厚さを小さくして死荷重を軽減することによって、経済性を発揮させることができると考えられている。しかしながら、無制限に床版厚さを小さくすることは、版に作用するねじりモーメントに対する抵抗を低下させ、有害なひび割れなどを生じせしめて、耐久性を著しく損ねることになるので、十分に注意する必要がある。

### 6. 2 最小鋼板厚

底鋼板を合成部材に算入する場合、鋼板厚さは、4.5mm以上を標準とする。

【解説】 底鋼板は、単に型枠として用いる場合と、応力を分担する部材として断面に算入する場合とがある。合成部材に算入する底鋼板は、疲労損傷、ずれ止め溶接時の変形、製作時の取扱、現場施工時の不測の変形の防止、および材料の市場性などに配慮すれば、8mm程度が標準と考えられる。しかしながら、一般的な荷重条件下における構造部材として要求される板厚の下限値は、4.5mm程度と考えられるので<sup>1)</sup>、上記のように規定することとした。

ちなみに、現在実用化されている合成床版の施工例<sup>2)・3)</sup>や指針(案)では、ずれ止めの剛性や間隔など種々の要因を考慮して、鋼板厚さを6~8mm程度としたものが多くみられる。

### 6. 3 鉄筋径

鉄筋には異形鉄筋を用いるものとし、その直径は13, 16, 19, および22mmを標準とする。

【解説】 ここでは、合成床版に配置する鉄筋径の標準的な範囲を示した。合成床版では、従来のRC床版に比べて版厚が小さいため、直径が25mm以上の鉄筋を用いることは望ましくない。

しかしながら、片持部や支持桁上などの負曲げモーメントが卓越する断面では、底鋼板が有効に作用しないため、やむを得ず上で規定した範囲を超える鉄筋径を用いることもあり得る。このような場合においても、鉄筋の間隔を小さくし、鉄筋径は、むやみに太くならないように配慮しなければならない。

### 6. 4 鉄筋配置

最小鉄筋間隔は100mmとし、また最大鉄筋間隔は床版厚、あるいは300mm以下を標準とする。

【解説】 鉄筋の最小間隔、および最大間隔は、従来からの規定<sup>4)</sup>・<sup>5)</sup>を踏まえて定めることとした。また、最大間隔は、ずれ止め作用の有効性を確保し、破壊に至るまで合成版としての性能を維持できるように設定することとした。

## 6. 5 ずれ止め間隔

ずれ止めの最小間隔、および最大間隔は、ずれ止めの種類に応じて決定しなければならない。

【解説】 現在、提案されている合成床版には、多種多様なものがある。そして、ずれ止めとして用いる部材の形状や配置などは、それらを特徴づける主要な項目となっている。また、単に鋼板とコンクリートとを合成させるだけでなく、主鉄筋の一部として曲げ応力を分担したり、斜め方向に配置した鋼材をせん断補強するために用いたりする場合もある。ここでは、合成床版の耐荷機構そのものにずれ止めの間隔が密接に関連するため、一般的な寸法や構造細目などを明確に規定するのが困難である。したがって、実際設計を行う際には、それぞれの設計例や、指針などを参照するのがよい。

## 6. 6 ずれ止め高さ

正曲げモーメント部におけるずれ止め高さは、その上端がコンクリートの圧縮側に位置するように決定するのを標準とする。

【解説】 ずれ止め高さが大きく、ずれ止めの上端からコンクリート上面までのかぶりが不足している場合は、床版上面にずれ止めの上端を起点としたコンクリートのひび割れが発生する恐れがある。また、輪荷重走行実験によれば、ずれ止め直上のかぶりコンクリートに剥離破壊が、発生するという知見も得られている。

一方、ずれ止めがコンクリート厚に比べて低い場合には、鉄筋の拘束作用が小さくなるという問題点も生じる。したがって、ずれ止め高さは、版の中立軸よりコンクリートの圧縮側になるようにして、上側に配置された鉄筋位置付近にまで至るのを標準にすることとした。

### 参考文献

- 1) 中井 博, 堀川都志雄ほか: トラス型ジベルを用いた合成床版橋の設計・製作・施工について, 土木学会論文報告集, No.486/VI-22, pp.65-74, 1994年3月.
- 2) 太田俊昭, 日野伸一ほか: 立体トラス型ジベルを用いた合成床版橋の設計・施工と載荷実験, 構造工学論文集, Vol.36A, 土木学会, pp.1267-1274, 1991年3月.
- 3) 松井繁之, 秋山 武, 渡辺 滉ほか: 合成鋼床版合成桁田中橋の設計と施工, 橋梁, Vol.22, No.11, pp31-39, 1986年11月.
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書・設計編, 1996年版.
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II. 鋼橋編, 1994年2月.

## 第7章 道路橋の鋼板・コンクリート合成床版の設計

### 7.1 設計の基本

鋼板・コンクリート合成床版の設計に当たっては、使用限界状態に対して本章で定めた設計曲げモーメントが、断面の設計曲げ強度を超えないことを照査しなければならない。

また、ずれ止めの設計においては、作用するせん断力が、疲労を考慮したずれ止めの設計せん断強度を超えないように配置するものとする。

【解説】 道路橋に用いる鋼板・コンクリート合成床版を本章に定める構造詳細に従って設計した場合、終局強度が設計荷重の8~10倍程度となると判断されるため、終局限界状態の照査は、省略してよいものとした。また、使用限界状態としては、鋼材の降伏に対する照査を行うものとした。

疲労限界状態に対しては、ずれ止めに作用する設計せん断力が疲労を考慮した限界強度を超えないよう配置するものとした。その他、鋼部材やコンクリートも、同様に疲労損傷に対する安全性を照査する必要がある。しかしながら、本指針に定める設計細目を満足するよう設計された合成床版では、これらを省略してもよいものとした。

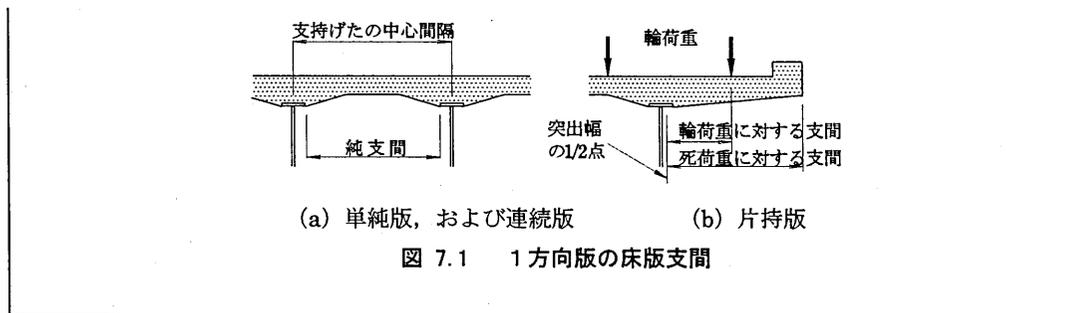
### 7.2 ヤング係数比

鋼とコンクリートとのヤング係数の比  $n$  は、 $n=10$  に設定してよい。

【解説】 通常、道路橋に用いられるコンクリートの設計基準強度は、 $f'_{ck}=300(\text{kgf/cm}^2)$  程度である。このような場合の鋼とコンクリートとのヤング係数比を、合成床版の実際の挙動に着目して定めることとした。一般に、コンクリートの設計基準強度が変化すると、ヤング係数も変動する。しかしながら、解析結果に及ぼす影響は、一般に小さい。そのため、ここでは、計算の便を考慮して、一定値  $n=10$  を定めることとした。

### 7.3 床版の支間

- (1) 主鉄筋の方向が車両の進行方向と直角の場合、単純版、および連続版の活荷重、ならびに死荷重に対する支間長は、図 7.1(a) に示すように、支持桁の法線に沿って測った桁中心間隔とする。
- (2) 主鉄筋の方向が車両の進行方向と直角の場合の片持版の活荷重、および死荷重に対する支間長は、図 7.1(b) に示すように、支点となる桁のフランジ突出幅の1/2の点から、桁の法線方向に測った間隔とする。



【解説】 ここでは、設計に用いる床版支間の考え方を示した。したがって、断面計算に考慮する鉄筋配置の方向も、これに一致したものでなければならない。

本指針では、最も一般的な構造と考えられる車両の進行方向と床版支間の方向とが直交する1方向版の場合を対象としている。床版の支持形式としては、この他に車両の進行方向と支間方向が平行な場合や、4辺支持の2方向版がある。

このように、支持形式が異なると、床版に生じる断面力の大きさや分布も大きく変化する。したがって、これらの条件のもとで、床版の設計曲げモーメントやずれ止めの疲労照査のためのせん断力算定など、各種の検討を行う必要がある。しかしながら、これらは、今後の検討課題と考えられる。

### 7. 4 設計断面力

1) 一方向の鋼板・コンクリート合成床版の道路橋活荷重による設計曲げモーメントは、表 7.1, および表 7.2によって算出してよい。

表 7.1 道路橋活荷重による衝撃を含む設計曲げモーメント(tf・m/m)

区分	種類	曲げモーメント		
		適用支間	橋軸直角方向	橋軸方向
単純版	支間曲げモーメント	$0 \leq L \leq 8$	$+(0.114L+0.144)P$	$+(0.095L+0.098)P$
連続版	支間曲げモーメント	$0 \leq L \leq 8$	$+( \text{単純版の} 80\% )$	$+( \text{単純版の} 80\% )$
	支点曲げモーメント		$-( \text{単純版の} 80\% )$	—
片持版	支点	$0 < L \leq 1.5$	$-PL / (1.30L+0.25)$	—
	先端付近		—	$+(0.15L+0.13)P$

ここで、 $L$ : 本編の7.3 で求められる床版支間(m)

$P$ : 1輪分の設計荷重(=1.7×10 tf)

表 7.2 死荷重による設計曲げモーメント(tf・m/m)

区分	曲げモーメント		橋軸直角方向	橋軸方向
	種類			
単純版	支間曲げモーメント		$+wL^2/8$	無視してよい
連続版	支間曲げ モーメント	端支間	$+wL^2/10$	
		中間支間	$+wL^2/14$	
	支点曲げ モーメント	2支間	$-wL^2/8$	
		3支間以上	$-wL^2/10$	
片持版	支点曲げモーメント		$-wL^2/12$	

ここで、 $L$ ：本編の7.3で求められる床版支間(m)

$w$ ：設計等分布死荷重(tf/m<sup>2</sup>)

- (2) 大型車の通行台数が少ない場合には、上表で算出した設計曲げモーメントの値を20%低減した値としてよい。
- (3) 床版が3本以上の桁で支持され、桁の曲げ剛性の差によって生じる2次的な曲げモーメントが無視できない場合は、これを考慮して設計曲げモーメントを算出しなければならない。
- (4) ずれ止めの設計に用いる版のせん断力は、式(7.1)によって算出するものとする。

$$V_d = k(0.011L + 0.747)P \quad (7.1)$$

ここに、 $k$ ：ずれ止めの形式によって決定される荷重作用の分担率。

スタッドの場合： $k=0.50$

十分剛なずれ止めの場合： $k=1.00$

$L$ ：7.3で求められる床版支間(m)

$P$ ：活荷重の1輪分の荷重(=10 tf)

#### 【解説】 (1) について

ここでは、等方性版として仮定できる2辺支持の無限連続版で、床版を支持する桁が大きな不等沈下を生じないと仮定した場合の橋軸直角方向、および橋軸方向の設計曲げモーメントを、支持桁と車両進行方向が平行な場合について示した。

これは、現行の道路橋示方書と同様に、1方向の無限連続版に前輪、および後輪荷重を載荷して求めた値に、10~20%の余裕を見込んでいる。

床版の支間長が8mまでの解析によると、解析結果は、現行のRC床版の設計曲げモーメント式を拡張したものと大差のない結果が得られた。しかしながら、床版の支間の小さい場合の方が、解析の対象とした荷重状態を再現する機会が大きいこと、また底鋼板とずれ止めとの溶接接合部の疲労に配慮する必要がある。これらのことから、ここでは、床版の支間が2mで20%程度の余裕を見込み、当面の限界支間長と考えられる12mで余裕がゼロとなるように設計曲げモーメントを定めることとした。

ずれ止めの形式によって版の異方性度が高い場合や、別途に設計曲げモーメントの算定法が定められている床版形式に対しては、それらを適用して設計曲げモーメントを算定することとした。

## (3) について

前記のように、鋼板・コンクリート合成床版は、剛性の等しい桁で支持されることを前提に導かれている。したがって、荷重作用による各支持桁のたわみ差が大きい場合には、これを考慮した線形平板理論に基づく解析などによって、曲げモーメントの割増率を求めなければならない。

## (4) について

鋼板・コンクリート合成床版の場合も、RC床版と同様に、せん断耐力がかなり大きく、これに該当する照査を行わなくてもよいと考えられる。しかしながら、構造材としての底鋼板とコンクリートとを連結するずれ止めは、移動輪荷重の繰返し作用を直接受けるために、疲労に対して十分な照査を行う必要がある。ここで規定したせん断力の算出式は、荷重状態が再現される度合いを考慮し、橋軸直角方向の活荷重台数、および荷重値を低減した解析によって得られた結果に、曲げモーメントの場合と同様に、若干の余裕を見込んだものである。なお、スタッドのように、比較的剛性の低いずれ止めを使用する場合には、算定したせん断力が過大となることが確認されているので、低減係数  $k$  を設定した。

なお、異方性の度合いの高いずれ止めを用いた場合や、鋼板・コンクリート合成床版そのものが異方性を有しているなど、ここで前提とした条件と一致しない構造では、当該条件を加味した適正な版解析によって、設計せん断力を算定することとした。

## 7. 5 コンクリートの最小厚

単純版、または連続版のコンクリート厚さは、式(7.2)の値、または15cm以上とするのを原則とする。

$$h_c = 2.5 L + 10 \quad (7.2)$$

ここに、 $h_c$  : コンクリート部の最小厚さ(cm)

$L$  : 7.3で求めた床版支間(m)

【解説】 コンクリートの最小厚さは、その施工性、すなわち最大骨材寸法、および最小ずれ止め高さを考慮して、15cmとした。

また、道路橋のように荷重作用が連続して移動する場合には、特に版に作用するねじりモーメントによるひび割れを抑制することが肝要である。

本規定は、それらを考慮して、これまでの実績から支間長に対する最小コンクリート厚を与えたものである。ただし、繰返し荷重が作用しない場合や、歩道などのように作用荷重が十分小さいと認められる場合は、最小厚さを15cmとして、適切な方法によって、たわみや、ひび割れなどの使用限界状態を照査してもよい。

支持桁上や片持版などの負曲げモーメント部では、鋼板の抵抗強度を十分に利用できないことが考えられる。このような場合には、RC床版に準じてコンクリート版の厚さを決定することが考えられる。

## 7. 6 最小鋼板厚

底鋼板を合成断面に算入する場合、鋼板厚さは、8mm程度を標準とする。

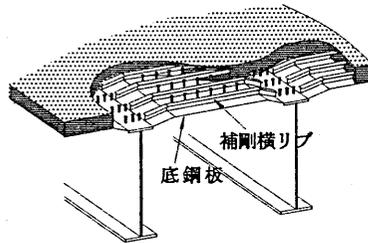
【解説】 底鋼板は、応力を分担する部材として断面に算入するのを標準とする。この場合、鋼板を、下側鉄筋に代わるものとして配置することとする。

底鋼板は、疲労損傷、ずれ止め溶接時の変形、製作時の取扱、現場施工時の不測の変形、および材料の市場性などに配慮すれば、8mm程度以上とするのが望ましい。さらに、床版支間を大きくする場合、活荷重たわみを  $L/2,000$  程度に制限するためには、設計上12~14mm程度の鋼板板厚が必要となる。

なお、床版支間が3~4m程度の鋼板・コンクリート合成床版の施工例や指針(案)の実例では、ずれ止めの剛性や間隔など種々な要因を考慮して、6mm程度としたものも多くみられる。

施工精度の確保のために、自重、および、まだ固まらないコンクリート重量などによる鋼板のたわみは、過大とならないように制限するのが望ましい。この目的のために、補剛リブを、鋼板上面に取り付けることがある。この場合、コンクリートの割裂を防止するために、コンクリート内部に埋め込まれる高さは、コンクリート厚の半分以下とするのがよい。

参考資料として、解説図 7.2 には、底鋼板を補剛横リブで補強した例を示す。



解説図 7.2 底鋼板を補剛横リブで補強した例

## 7.7 使用限界状態の照査

使用限界状態におけるコンクリート、および鋼板の限界状態の照査は、以下に示す諸式によって行うものとする。

鋼部材に対して：

$$\frac{M_{sd1}}{M_{ys}} + \frac{M_{sd2} + M_{sl}}{M_{yv}} \leq 1 \quad (7.3)$$

コンクリートに対して：

$$\frac{M_{sd2} + M_{sl}}{M_{yv}} \leq 1 \quad (7.4)$$

- ここに、 $M_{sd1}$  : 合成前の死荷重に対する鋼部材の設計曲げモーメント(kgf・cm)  
 $M_{sd2}$  : 合成後の死荷重に対する鋼部材の設計曲げモーメント(kgf・cm)  
 $M_{sl}$  : 合成後の活荷重に対する鋼部材の設計曲げモーメント(kgf・cm)  
 $M_{ys}$  : 合成前の鋼部材の圧縮縁または引張縁に対する設計曲げ強度(kgf・cm)

で、 $M_{ys}$ は式(7.5)によって算出する。そして、 $W_s$ は、合成前の鋼部材の断面係数( $\text{cm}^3$ )である。また、 $\phi$ は、部材強度係数(鋼に対して $\phi=1.0$ で、コンクリートに対して $\phi=0.56$ )である。

$$M_{ys} = \phi F_u W_s \quad (7.5)$$

$M_{yv}$  : 合成後の部材の圧縮縁または引張縁に対する設計曲げ強度(kgf·cm)

で、 $M_{yv}$ は、式(7.6)~(7.7)によって算出する。

鋼部材に対して：

$$M_{yv} = \phi F_u W_v \quad (7.6)$$

コンクリートに対して：

$$M_{yv} = \phi f'_{cd} W_v \quad (7.7)$$

ここに、 $W_v$  : 合成後の部材の断面係数(cm<sup>3</sup>)

$F_u$  : 底鋼板の設計基準強度(kgf/cm<sup>2</sup>).

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計材料強度(kgf/cm<sup>2</sup>).

【解説】 ここでは、使用限界状態に対する限界応力度を定めた。なお、抵抗値の算定においては、引張側コンクリートを無視した単位幅当たりの断面二次モーメントを用いてよい。

道路橋に用いる鋼板・コンクリート合成床版では、疲労限界状態の照査も重要である。しかしながら、ここで定めた構造細目に準拠し、降伏の照査を行えば、これまでの実験的研究や実績から疲労限界状態は、満足するものと考えられる。

## 7. 8 ずれ止めの設計

- (1) ずれ止めには、スタッド、または適切な加工を施した形鋼を用いるのを標準とする。
- (2) スタッドをずれ止めに用いる場合は、軸径16mm、および19mmのものを標準とする。
- (3) スタッドの配置は、式(7.8)を満足するよう決定しなければならない。

$$\frac{Q}{Q_f} \leq 1 \quad (7.8)$$

ここに、 $Q$  : 7.4 で算定した版のせん断力から求めたスタッド1本当たりに作用する設計せん断力 (kgf/本)

$Q_f$  : 式(7.9)で求めたスタッドのせん断強度(kgf/本)

$$Q_f = \phi A_d \tau_f \quad (7.9)$$

$\phi$  : スタッドの疲労せん断破壊に対する部材強度係数 (=1.0)

$A_d$  : スタッドの幹部の断面積( $\text{cm}^2$ )  
 $\tau_f$  : スタッドの疲労強度 ( $=500(\text{kgf/cm}^2)$ )

【解説】 (1) について

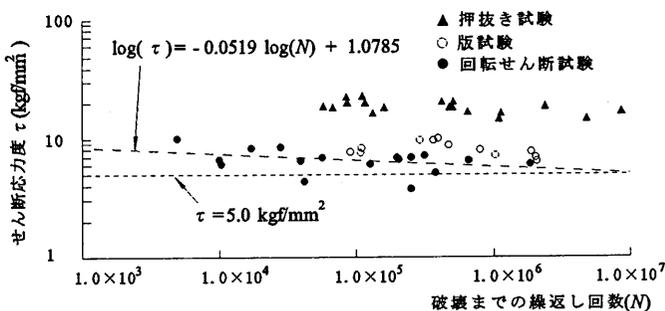
ずれ止めとしては、スタッド、形鋼を切断し溶接したもの、およびトラス状部材として組み立てられたものが用いられている。これらのずれ止めの種類によって、鋼板・コンクリート合成床版の特性は、著しく異なる。そこで、ずれ止めは、それぞれの調査研究結果に基づく細目に従って設計するのがよい。

(2) について

ここでは、ずれ止めとして最も使用実績の多いスタッドを用いる場合の標準的なスタッド径を定めた。一般に、比較的板厚の薄い底鋼板に径の太いスタッドを溶植することは、熱変形や疲労強度の面で望ましくないとされている。そこで、本指針では、 $\phi 16$ 、および $\phi 19$ のスタッドを標準として用いることとした。

(3) について

道路橋の鋼板・コンクリート合成床版を支配する限界状態は、前記のように、スタッド溶着部の疲労限界状態であると考えられる。従来より、スタッドの疲労強度特性は、押し抜き試験体により検討されてきた。しかしながら、床版のような平面的な広がりをもつ構造物に移動輪荷重が载荷されると、スタッドは、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いる。



解説図 7.3 スタッドの各種疲労試験結果の比較

この現象を具現化するように工夫した疲労試験結果によると、スタッドの疲労強度は、合成床版形式の供試体におけるスタッドの疲労強度によく一致し、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を示している。解説図 7.3 は、 $\phi 13$ 、および $\phi 16$ のスタッドに対する各種の疲労試験結果を示したものである<sup>2), 3)</sup>。本指針では、これらの疲労試験結果をもとにして、スタッドに作用するせん断応力 $\tau$ が、 $500 \text{ kgf/cm}^2$ 以下となるよう定めることとした。

## 7.9 部材の連結

- (1) 部材の連結部は、終局限界状態、または疲労限界状態を照査しながら設計するのを原則とする。
- (2) 現場継手は、作用力に対して設計するのを標準とする。

【解説】 (1) について

現場連結部の設計は、合成後の設計断面力に対して行うのを標準とする。限界状態としては、終局限界状

態、および疲労限界状態が考えられる。これらは、考慮する荷重や、継手形式に応じて適切に設定しなければならない。

## (2) について

鋼板・コンクリート合成床版の現場継手は、その施工性を損なわないようにするために、従来の部材継手と異なった構造が用いられることがある。これらには、高力ボルト、溶接、またはRC継手などの組合せにより継手を構成するものが相当する。しかしながら、継手に作用する断面力が比較的小さい場合には、その使用環境の配慮のもとに適切な試験を実施することによって、継手性能を確認してもよいこととした。

## 7. 10 構造細目

### 7. 10. 1 鉄筋径

鉄筋には異形鉄筋を用いるものとし、その直径は13, 16, 19, および22mmのものを標準として用いるものとする。

【解説】 ここでは、合成床版に配置する鉄筋の標準的な範囲を示した。片持版や、支持桁上など負曲げモーメントの作用が卓越する断面では、底鋼板が有効に作用しないため、やむを得ずこの範囲を超える鉄筋径を用いることもあると考えられる。しかしながら、この場合においても、鉄筋間隔を小さくし、鉄筋径がむやみに太くならないように配慮しなければならない。

### 7. 10. 2 鉄筋配置

最小鉄筋間隔は100mmとし、また最大鉄筋間隔は床版厚、あるいは200mm以下となることを標準とする。

【解説】 鉄筋の最小間隔は、従来からの規定を踏襲して定めた。また、最大間隔は、ずれ止め作用の有効性を確保し、破壊に至るまで合成版としての性能を維持できるよう設定した。

### 7. 10. 3 ずれ止め間隔

スタッドの最小間隔は100mmとし、また最大間隔は250mm、または床版コンクリート厚の1.5倍以下とするのを標準とする。

【解説】 ここでは、スタッドの最小、および最大間隔を、鉄筋配置や組立、およびコンクリートの施工性から定めることとした。最大間隔は、スタッド間における鋼板の浮き上がりや座屈などを防止する目的を以て経験的な目安を示したものであり、300mm程度の最大間隔を採用した施工例もある。

スタッド以外のずれ止めを用いる場合においても、その特性とともに合成版としての機能を十分に発揮できるように、その細目を決定しなければならない。

#### 7. 1 0. 4 ずれ止め高さ

ずれ止め高さは、その上端が正曲げモーメント部で圧縮側となるように決定するのを標準とする。

【解説】 ずれ止めの上端から、コンクリート上面までの厚さが不足している場合は、床版上面にずれ止め上端を起点としたコンクリートのひび割れが発生する場合がある。また、コンクリート厚に比べて低いずれ止めの使用は、鉄筋の拘束作用が小さくなるので、使用するのが望ましくない。

#### 参考文献

- 1) 松井繁之, 八田昌仁, 武藤和好: 鋼板・コンクリート合成床版による急速打換え工法, 橋梁と基礎, Vol.27, No.4, pp.9-13, 1993年4月
- 2) Matsui,S., Moon,T., Fukumoto,Y., Watanabe,H. and Kajikawa,Y. : Fatigue Strength of Steel Plate-Concrete Composite Deck, IABSE Symposium, Brussels, BELGIUM, pp.191-196, 1990.
- 3) 橋の疲労設計に関する研究グループ (代表: 松井繁之) : 橋の疲労設計に関する研究, 土木学会関西支部共同研究グループ報告書, 1993年5月.

## 第8章 道路橋のI形鋼格子床版の設計

### 8.1 設計の基本

I形鋼格子床版は、以下の方針に従って設計するものとする。まず、使用限界状態に対しては、本章に規定した設計断面力が、断面の抵抗値を超えないことを照査するものとする。つぎに、疲労限界状態に対しては、活荷重による設計変動応力が材料の疲労強度の特性値を超えないことを照査するものとする。

【解説】 I形鋼格子床版については、実績も多数あり、構造詳細についても通常の使用状態で有害なたわみを生じることのないように定められている。したがって、本章に規定した構造詳細に従ってI形鋼格子床版を設計した場合、たわみに対する照査は、省略できるものとした。

また、I形鋼格子床版を本章に規定した構造詳細に従って設計した場合、終局強度が設計荷重の8~10倍程度となると想定されるために、終局限界状態の照査は、省略してよいものとした。また、使用限界状態としては、鋼材の降伏、ならびにコンクリートの圧縮強度に対する照査を行うこととした。

### 8.2 ヤング係数比の設定

鋼とコンクリートとのヤング係数の比  $n$ は、 $n=15$ に設定するものとする。

【解説】 I形鋼格子床版に用いられるコンクリートの強度は、 $f_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ 程度のもが多く、鉄筋コンクリート床版と差異がないことから、従来の設計を踏襲して $n=15$ とすることとした。ただし、最近の合成構造に使用されるコンクリートの圧縮強度は、 $f_{ck}=300\sim 400\text{kgf/cm}^2$ 程度のもが増えている。このことから、そのような高い強度のコンクリートを使用した合成床版を採用するならば、 $n=10$ としてもよい。

### 8.3 床版の支間

(1) 単純版、および連続版それぞれのT荷重、ならびに死荷重に対する支間は、図8.1に示すように、主部材の方向に測った支持桁の中心間隔とする。ただし、単純版において、主部材の方向に測った純支間に支間中央の床版の厚さを加えた長さが上記の支間よりも小さい場合は、これを支間とすることができる。

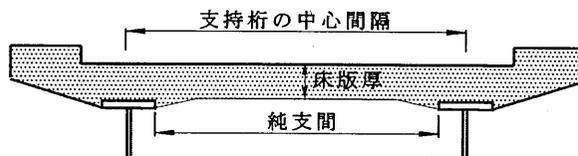


図 8.1 単純版の支間

(2) 片持版のT荷重, および死荷重に対する支間は, 図 8.2 に示すように, 支点となる主桁フランジの突出幅の1/2の点から主部材の方向に測った間隔とする.

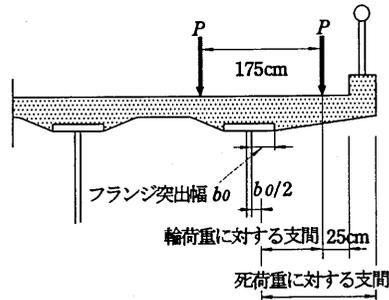
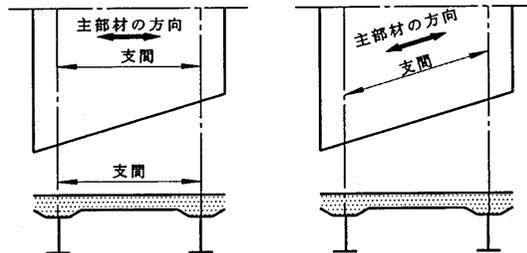


図 8.2 片持版の支間 (主部材は, 車両進行方法に直角)

【解説】 (1), および (2) について

条文中の主部材方向に測るということは, 斜橋の場合, 解説 図 8.1に示すように, 支間をとることを意味している.



(a)主部材が支持桁に直角方向の場合 (b)主部材が斜角方向の場合

解説 図 8.1 斜橋の床版の支間

### 8. 4 設計断面力

(1) B活荷重で設計する橋梁では, T荷重による床版の衝撃を含む単位幅当たりの設計曲げモーメントは, 表 8.1, あるいは表 8.2 中に示す式によって求めるものとする.

床版支間が車両進行方向に直角の場合:

表 8.1 衝撃を含むT荷重による設計曲げモーメント(tf・m/m)

版の区分	曲げモーメントの種類		適用支間(m)	主部材方向の曲げモーメント	配力筋方向の曲げモーメント
単純版	支間曲げモーメント		$0 < L \leq 8$	$1.2 (0.12L + 0.07) P$	$0.9 (0.10L + 0.04) P$
連続版	支間曲げモーメント	中間支間端支間	$0 < L \leq 8$	+(単純版の80%)	+(単純版の80%)
	支点曲げモーメント	中間支点		-(単純版の80%)	—
片持版	支 点		$0 < L \leq 1.5$	$-\frac{1.2PL}{1.30L+0.25}$	—
			$1.5 < L \leq 2.5$	$-(0.60L - 0.08) P$	—
	先端付近		$0 < L \leq 2.5$	—	$0.9 (0.15L + 0.13) P$

ここに、 $L$ ：本編の8.3に示す床版支間(m)

$P$ ：T荷重1輪の設計荷重(=1.7×10tf)

支間が車両進行方向に平行の場合：

表 8.2 衝撃を含むT荷重による設計曲げモーメント(tf・m/m)

版の区分	曲げモーメントの種類		適用支間(m)	主部材方向の曲げモーメント	配力筋方向の曲げモーメント
連続版	支間曲げモーメント	中間支間	$0 < L \leq 6$	$k (0.014B + 0.144L) P$	$1.2(0.06L) P$
		端支間			
	支点曲げモーメント	中間支点	$6 < B \leq 12$	-(中間支間と同じ)	—

ここに、 $L$ ：本編の8.3に示す床版支間(m)

$B$ ：主桁間隔(m)

$P$ ：T荷重1輪の設計荷重(=1.7×10tf)

$k$ ：主桁間隔による係数 (=1.24-0.02B)

片持ち部の床版で、主部材を車両進行方向と平行に配置するためには、ブラケットなどの支持部材を設ける必要がある。この場合の設計曲げモーメントは、支持部材の沈下を考慮した3辺支持版とみなしたの解析結果に、連続版部と同様な余裕を見込んで求めるのを原則とする。

(2) A活荷重で設計する橋梁では、上表で算出した設計曲げモーメントの値を20%低減した値としてよい。

(3) 床版を3本以上の主桁で支持する場合で、主桁の曲げ剛性に著しい差異があり、それによって生じる2次的な曲げモーメントが無視できない場合には、これを考慮して設計曲げモーメントを算出しなければならない。

(4) 等分布死荷重による床版の単位幅当たりの設計曲げモーメントは、表 8.3中に示す式で算出してよい。また、I形鋼格子床版の単位重量は、支間4m以下について $2.65\text{tf/m}^3$ とみなして算出してよい。しかしながら、支間が4mを超えるものは、鋼材、およびコンクリートの単位重量をそれぞれ $7.85\text{tf/m}^3$ 、

および $2.35\text{tf/m}^3$ として個別に算出するのを原則とする。

表 8.3 等分布死荷重による設計曲げモーメント( $\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$ )

版の区分	曲げモーメントの種類		主部材方向の 曲げモーメント	配筋方向の 曲げモーメント	
単純版	支間曲げモーメント		$+wL^2/8$	無視してよい	
片持版	支点曲げモーメント		$-wL^2/2$		
連続版	支間曲げ モーメント	端 支 間	$+wL^2/10$		
		中 間 支 間	$+wL^2/14$		
	支点曲げ モーメント	2支間の場合			$-wL^2/8$
		3支間以上の場合			$-wL^2/10$

ここに、 $L$ ：死荷重に対する床版の支間(m)

$w$ ：設計等分布死荷重( $\text{tf}/\text{m}^2$ )

【解説】 ここでは、床版を支持する桁が大きな不等沈下を生じないと仮定した場合の主部材方向、および配筋方向の設計曲げモーメントを示した。それぞれの項について解説すると、以下のとおりである。

(1) について

T荷重による床版の単位幅当たりの設計曲げモーメントは、以下の検討結果に基づいて定めることとした。

1) 床版支間が車両進行方向に直角の場合の設計曲げモーメントは、短辺と長辺との比が1:2以上の1方向版に適用するものとする。

今回、単純版は2辺単純支持の直交異方性無限版を、また片持ち版は1辺固定で、他端自由の直交異方性無限版を対象として、輪荷重を橋軸方向には1組、また幅員方向には組数に制限なく載荷して、有限要素法による平面板解析が実施され、解析結果が調べられた。

単純版については、床版支間が8mまでの検討が行われた。その結果、主部材方向の曲げモーメントは、従来の設計式を拡張したものと大差ない結果を与えた。そこで、鋼道路橋設計便覧に規定されているI形鋼格子床版の設計曲げモーメント式を、支間8mまで拡張した。配筋方向については、支間の増加とともに安全率も上昇する傾向にある。しかしながら、配筋鉄筋量を少なくすると、異方性の度合いを一定値以上に確保することや、配筋方向のコンクリートの連続性の保持などに問題が生ずることがわかった。これらのことから、異方性度を従来通りとすることを前提に、現状の設計曲げモーメント式を、8mまで拡張するものとした。

連続版については、道路橋示方書と同様な考え方で、単純版の計算結果をもとに近似的に求めるものとした。

片持ち版については、輪荷重に対する支間が2.5mまでの場合について検討を行った。その結果、輪荷重に対する支間が1.5mを超える範囲では、片持ち版部に2輪が載荷されるため、主部材方向の支点部曲げモーメントが急激に増加する。そのため、従来の設計曲げモーメント式を拡張して対応することができない。そこで、ここでは、解析結果をもとに、支間1.5mでの設計曲げモーメントと同程度の安全の余裕が確保されるように設計曲げモーメント式を定めた。配筋鉄筋方向の曲げモーメントは、先端部を対象としている。そのため、支間が1.5mを超えて2輪目が載荷されてもその影響は、ほとんど出ない。そこで、適用範囲を、そのまま2.5mまで拡張した。

従来のI形鋼格子床版の設計曲げモーメントは、道路橋示方書で規定されている鉄筋コンクリート床版の設計曲げモーメントに補正係数を乗じて求めたものである。道路橋示方書で規定されている鉄筋コンクリート

ト床版は、等方性版として計算されている。これに対し、I形鋼格子床版では、主筋方向のI形鋼の曲げ剛性が配筋方向に比して大きいために、等方性版と考えることは妥当でない。そのため、ここでは、直交異方性版としての考え方を基本にして、10~20%の安全の余裕をみて設計曲げモーメント式を定めた。

直交異方性版の異方性の度合いは、主部材方向断面の断面二次モーメント $I_x$ と配筋部材方向断面の断面二次モーメント $I_y$ との比  $I_y/I_x$  (曲げ剛性比) で表される。そして、主部材方向曲げモーメントは、曲げ剛性の比が小さくなるほど分担率が大きくなる。また、配筋方向曲げモーメントは、曲げ剛性比が大きくなるほど分担率が大きくなる。I形鋼格子床版は、引張側コンクリートを無視して設計され、一般的に、曲げ剛性比が 0.4~0.5の範囲に入っている。このことから、主部材方向については、曲げ剛性比0.4を基準として曲げモーメントが算出されている。また、配筋鉄筋方向については、曲げ剛性比0.5を基準として曲げモーメントが算出されている。しかしながら、設計は、あくまでも最大曲げモーメントが生じる断面に対して行われるべきであり、全支間にわたって引張側コンクリートが無視できる状態にならない。引張側のコンクリートを無視して曲げ剛性を評価すると、曲げ剛性を実際の値よりも小さく評価することになって、危険側の設計となる。このことから、過去における実験結果を考慮して、曲げ剛性比0.7を基準として曲げモーメントの算定式が、導かれている。今回も、これらの曲げ剛性比による解析結果に基づいて主部材方向、および配筋方向の曲げモーメントの算定式を導くこととした。

2) 広幅員2主桁橋などに適用する床版支間が車両進行方向に平行の場合の設計曲げモーメントを、示したものである。これらは、横桁間隔と主桁間隔との比が 1 : 2 以上の1方向版に適用するものとした。2主桁橋を想定すると、対象となるのは連続版であることから、単純版については、検討を行っていない。

従来の床版支間が橋軸方向に平行の場合の設計曲げモーメント式は、曲げ剛性比が0.2~0.3の相対する2辺が単純支持された無限版を想定し、幅員方向にT荷重を無限に(実際は、3台) 載荷して求められている。しかしながら、過度の異方性は、主部材の荷重分担を大きくし、コンクリートのひび割れ、および疲労強度などといった床版の耐久性の観点からも好ましくない。そこで、主部材を橋軸直角方向に配置した場合と同様に、曲げ剛性比 0.4 以上を、対象にして検討が加えられた。

現状のように主桁間隔が4m以下と短い場合には、主部材を橋軸直角方向に配置した方が経済的な設計となる。しかしながら、広幅員2主桁橋のように主桁間隔を大きくすると、横桁を主桁間隔よりも密に配置して主部材方向を橋軸平行方向としたほうが、加工コストも含めたトータルコストで経済的となる場合も出てくると考えられる。そのような場合は、主桁間隔が大きくなるほど横桁のたわみが相対的に大きくなるため、横桁位置で単純支持とした現状の設計曲げモーメントよりも、危険側の曲げモーメントが生じることになる。また、主桁間隔によってT荷重の載荷組数が決まるため、従来の設計曲げモーメント式とは、検討条件が異なったものになる。そこで、版の辺長比や横桁の剛性などをパラメータとして、版の支持条件を主桁位置で単純支持とし、横桁位置で弾性支持した連続版としてFEM解析を実施して、曲げモーメントを、求めた。

主部材方向については、横桁位置で弾性支持とした版に発生する曲げモーメントは、横桁位置で単純支持とした場合よりも大きくなることが確認された。しかし、本編の8.9に示すように、横桁の剛性を十分に確保すれば、その増加量は、無視できる範囲となる。

床版支間が大きい場合は、解析の対象とした荷重状態の再現確率が低くなる。これを考慮して、T荷重の載荷台数が2台を超える主桁間隔6mで12%、同じく載荷台数が4台を超える12mでゼロとなるような余裕を見込んで設計曲げモーメント式を、設定した。配筋鉄筋方向については、横桁のたわみの影響も少ないため、主桁間隔については考慮せず、全ての支間範囲に対して20%の余裕を見込んだ。

(2) について

大型車の通行台数が少ない場合には、これらの曲げモーメントを道路橋示方書と同様の主旨で低減するものとした。

(3) について

設計曲げモーメントは、床版が剛性の等しい桁で支持されることを前提に定められたものである。したがって、作用荷重による各支持桁のたわみ差が著しい場合には、これを考慮した設計を行わなければならない。支間4m以下の床版については、道路橋示方書の鉄筋コンクリート床版と同様の手順で断面照査を行うものとする。ところが、桁の剛性の相違による不等沈下によって生じる付加曲げモーメント ( $M_{ed}$ ) は、等方性版としての鉄筋コンクリート床版と対比して、I形鋼格子床版の場合、その直交異方性を考慮して、次の補正値を乗じるものとした。

主部材方向： $M_{ed}$ =鉄筋コンクリート床版の計算値×1.2

配力鉄筋方向： $M_{ed}$ =鉄筋コンクリート床版の計算値×0.9

また、支間4m以上については、版の解析によって曲げモーメントの割増率を求めなければならない。

(4) について

床版の等分布死荷重については、支間が4m以下の床版で、通常の床版厚の場合、 $2.65tf/m^3$ を下回ることが確認されている。このことから、ここでは、単位重量 $2.65tf/m^3$ を用いて計算するものとした。また、支間が4m以上のものについては、単位重量がI形鋼のサイズやピッチにより、従来のものとなりの差異を生じるため、個別に算出するのを原則とした。

### 8. 5 床版の最小全厚

I形鋼格子床版の床版厚は、表 8.4 に示すものを最小とする。ただし、車道部分の床版の最小全厚16cmを、下回ってはならない。

表 8.4 床版の最小全厚

構 造	I形鋼 高さ (mm)	かぶり (mm)	床版厚 (mm)	
			算定式	最 小 床版厚
<p>H: 床版厚 I: I形鋼の高さ D: 上配力鉄筋の径 C: かぶり</p>	105	20以上	$H=135+D$ 以上	140
	130	20以上	$H=150+D$ 以上	170
	150	20以上	$H=170+D$ 以上	190
	200	30以上	$H=200+D$ 以上	250

【解説】 ここでは、I形鋼格子床版の主部材と最小床版厚との関係を示した。I形鋼格子床版の場合、下面に亜鉛メッキ鋼板を配置して下側にかぶりを設けないため、床版厚は、(I形鋼の高さ+鉄筋径+上側かぶり)によって決定される。したがって、いずれの高さのI形鋼が適用できるかによって、最小床版厚が、決定される。

従来のサイズであるI-105、I-130、およびI-150については、かぶりを2.0cm以上とることとする。また、大型のI-200については、かぶりを3.0cm以上とることとした。道路橋示方書の鉄筋コンクリート床版に対するかぶりの規定は、施工精度などから3.0cm以上となっている。ところが、I形鋼格子床版の鉄筋組立は、工場で行うものである。したがって、鉄筋組立を現場で行う鉄筋コンクリート床版に比較して、組立て精度がよいため、かぶりをこれよりも小さくともとした。しかしながら、I-200においては、I形鋼の上フランジ幅が5.0cmであるために、あまりかぶりを薄くすると、コンクリートの剥離、あるいは、ひび割れが発生する恐れがあることから、3.0cm以上のかぶりを確保することとした。

床版改修などの場合では、特に床版厚を厚くする必要の生じることがある。しかしながら、従来の実績では、5.5cmを超えるかぶりが希である。このことから、床版厚を決めるに当たっては、上側の鉄筋のかぶりに相当するコンクリート部分も5.5cm程度以下に抑えることが望ましい。やむを得ず床版を厚く設計しなければならない場合には、I形鋼の上にスペーサを設けて、その上に鉄筋を配置するなどの配慮が望まれる。

補修工事で、特に床版死荷重に制限がある場合には、現状の下部工や上部構造への影響を配慮し、解説表 8.1 に示すように、上側配力鉄筋を主部材ウェブのパンチ孔に配置して床版厚の低減を図ることもできる。このようにすれば、車道部の床版厚を、16cmより薄くすることも可能である。しかしながら、この場合でも、車道部分の床版厚は、15cmを下回ってはならないものとした。

解説表 8.1 床版の最小全厚

構 造	I 形鋼 高さ (mm)	かぶり (mm)	床版厚 (mm)	
			算 定 式	最 小 床 版 厚
	105	30以上	$H = 135$ 以上	135
	130	30以上	$H = 150$ 以上	150
	150	30以上	$H = 170$ 以上	180
	200	40以上	$H = 200$ 以上	240

### 8. 6 使用限界状態の照査

使用限界状態におけるコンクリート、およびI形鋼の使用限界状態の照査は、以下によって行うものとする。

(1) 主部材断面

I形鋼に対し：

$$\frac{M_{sd1}}{M_{ys}} + \frac{M_{sd2} + M_{sl}}{M_{yv}} \leq 1 \tag{8.1}$$

コンクリートに対し：

$$\frac{M_{sd2} + M_{sl}}{M_{yv}} \leq 1 \tag{8.2}$$

(2) 配力筋断面

鉄筋、ならびにコンクリートに対し：

$$\frac{M_{sl}}{M_{yv}} \leq 1 \tag{8.3}$$

- ここに、
- $M_{sd1}$  : 合成前の死荷重による部材の設計曲げモーメント(kgf・cm)
  - $M_{sd2}$  : 合成後の死荷重による部材の設計曲げモーメント(kgf・cm)
  - $M_{sl}$  : 合成後の活荷重による部材の設計曲げモーメント(kgf・cm)
  - $M_{ys}$  : 合成前の部材の圧縮縁または引張縁に対する設計曲げ強度(kgf・cm)

で、 $M_{ys}$ は、式(8.4)により算出する。そして、 $W_{st}$ は、合成前のI形鋼の断面係数( $\text{cm}^3$ )である。また、 $\phi$ は、部材強度係数(鋼に対して $\phi=1.0$ 、コンクリートに対して $\phi=0.56$ )である。

$$M_{ys} = \phi F_u W_{st} \quad (8.4)$$

そして、

$M_{yv}$  : 合成後の部材の圧縮縁、または引張縁に対する設計曲げ強度( $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ )

で、次式により算出する。ここに、 $W_{vs}$ は合成後の鋼に換算した部材の断面係数( $\text{cm}^3$ )で、また $W_{vc}$ は合成後のコンクリートに換算した部材の断面係数( $\text{cm}^3$ )である。

鋼に対し：

$$M_{yv} = \phi F_u W_{vs} \quad (8.5)$$

コンクリートに対し：

$$M_{yv} = \phi f_{cd} W_{vc} \quad (8.6)$$

【解説】 ここでは、使用限界状態における照査方法を定めた。なお、抵抗値の算定に当たっては、引張側コンクリートを無視した単位幅当たりの断面二次モーメントを用いてよい。

I形鋼格子床版の断面の計算は、次の2段階に分けて行う。

- (1) パネルの重量、および硬化していないコンクリートの重量は、主部材のみで負担する。
- (2) コンクリートが硬化した後に載荷される舗装、および地覆等の死荷重、ならびに活荷重は、I形鋼とコンクリートとから構成された合成断面で負担する。なお、I形鋼のウェブにあげられたパンチ孔の部分、およびI形鋼の下面に溶接された底板は、断面設計の際に考慮しないものとする。

## 8.7 疲労限界状態の照査

I形鋼の疲労限界状態の照査は、式(8.7)によって行うものとする。

$$\triangle f_{rd} \leq \phi \triangle F_{rd} \quad (8.7)$$

ここに、 $\triangle f_{rd}$  : 活荷重による設計変動応力( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )  
 $\triangle F_{rd}$  : 材料の疲労強度の特性値( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )  
 $\phi$  : I形鋼の疲労破壊に対する部材強度係数 (=1.0)

【解説】 床版は、輪荷重が直接作用する部材であり、かつ作用荷重のうち死荷重の占める割合が少なく、ほとんど活荷重によるものが占める苛酷な条件のもとで使用される。そのため、車道部に用いられる合成床版では、疲労限界状態が重要なファクターとなる。

これまでの研究によれば、I形鋼格子床版の疲労強度は、I形鋼自身の疲労強度<sup>1)</sup>によるものと考えられるため、I形鋼のみについて疲労限界状態の照査を行うものとした。また、I形鋼の疲労強度が最も小さくなるのは、パンチ孔と配力鉄筋とが点溶接されている部位<sup>2)</sup>である。ところが、この部分の疲労強度は、パンチ孔の形状や、点溶接の位置により著しく相違する。そのため、現状では、疲労強度の特性値に対する十分なデータが蓄積されていると言えない。しかしながら、既往の実験によると、応力振幅が $1,200\text{kgf/cm}^2$ 程度であれば、所定の疲労強度の確保の可能性が確認されていることや、従来の設計において活荷重による応力振幅を $1,200\text{kgf/cm}^2$ としているにもかかわらず、疲労破壊が生じていない。このことを考慮すれば、材料の疲労強度の特性値を $\Delta F_{rd}=1,200\text{kgf/cm}^2$ 程度とみなしても、実用上は、問題が生じないと考えられる。今後、この点は、構造に適合した疲労実験の結果が公表された段階で、さらに検討する必要がある。

## 8. 8 直交異方性度の確保

設計においては、引張側コンクリート、およびI形鋼のパンチ孔を無視して算出した主部材方向の断面二次モーメント  $I_x$  と、配力鉄筋方向の断面二次モーメント  $I_y$  との比  $I_y/I_x$  が、0.4以上であることを確認しなければならない。

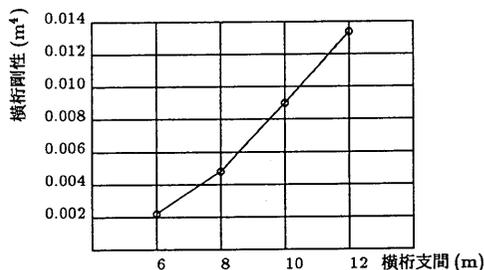
【解説】 本指針では、主部材方向に対して曲げ剛性比0.4を基準として設計曲げモーメントを規定している。この結果、床版支間が橋軸直角方向の場合については、支間が大きくなるほど主部材方向の剛性が高くなり、剛性比が0.4を下回る場合が生じる。また、床版支間が橋軸方向の場合でも、同様に主部材方向の曲げモーメントが大きく、また曲げ剛性比が0.4を下回ることが考えられる。これらは、危険側の結果を与えるため、設計に際しては、曲げ剛性比0.4が確保されていることを確認することとした。もし、曲げ剛性比が0.4を下回っている場合には、配力鉄筋量を増加させるものとする。

なお、床版支間が橋軸直角方向で、支間4m以下の単純版、連続版、および支間1.5m以下の片持版については、曲げ剛性比が一般に安全側の値となるため、照査する必要がない。

## 8. 9 主部材を支持する横桁

主部材を支持する横桁は、十分な剛性を有するものでなければならない。

【解説】 広幅員2主桁橋などの場合で、横桁で床版を支持する形式のI形鋼格子床版の場合には、横桁の剛性が十分でないと、横桁のたわみによる付加曲げの影響が無視できなくなる。解説図 8.2 は、T荷重による合成床版のたわみが、道路橋示方書に規定されるたわみの許容値を超えないという条件で求めた横桁の剛性を示したものである。そのため、I形鋼格子床版を支持する横桁の剛性が、この図に示された値以上であれば、付加曲げの影響を考慮する必要がない。



解説 図 8.2 床版を支持する横桁の必要剛性

## 8.10 構造細目

### 8.10.1 I形鋼

(1) I形鋼は、材質が JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材2種(SS400)の規格に適合するものとし、I形鋼格子床版用として圧延された特殊な寸法を有するものを用いるものとする。

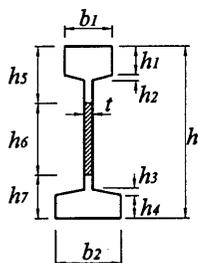
(2) I形鋼の腹板には、施工時にコンクリートのまわりをよくするために、適切な孔を明けるものとする。

【解説】 (1) について

I形鋼格子床版用のI形鋼としては、JISに規定するものと比べれば、形状・寸法が異なったものが開発されている。これらは、床版用としての断面性能が優れており、コンクリート打ち込みなどの施工性を考慮して製作されているので、ここでも、これを使用することとした。ただし、製品化されているI形鋼は、ミルメーカーによって、寸法・形状が若干異なる。その一例として、解説表 8.2 には、I形鋼の断面寸法を示す。

現在、一般的に用いられているのには、高さ105, 130, および150mmの3種類のものがある。ここでは、支間の拡張に対応するために、I形鋼の高さが200mmのものも追加することとした。

このうち、高さ105mmのI形鋼は、床版の全厚が薄くなるため、床版の取替えなどのとくに死荷重の低減を図る必要がある場合を除いて使用しないのがよい



解説表 8.2 I形鋼諸元(例) 単位(mm)

h	b1	b2	t	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7
105	30	35	4.0	11	2.5	3	7.5	25	50	30
130	30	40	4.5	12	2.0	3	9.0	35	65	30
150	35	50	5.0	10	4.0	3	7.0	55	65	30
200	50	60	6.0	15	8.0	6	12	60	110	30

(2) について

I形鋼の腹板には、配力鉄筋の組込み用としてだけでなく、施工時のコンクリートのまわりをよくするために、適切な形状・寸法の孔をあけるものとした。この孔は、コンクリートの配力鉄筋方向の連続性を向上させる意味もある。

孔の形状については、疲労強度の面から、応力集中の影響ができるだけ小さくなるように配慮する必要がある。

#### 8. 10. 2 配力鉄筋

配力鉄筋には、異形鉄筋を用いるものとし、その直径は13, 16, 19, 22, および25mmのものを用いるのを標準とする。

【解説】 必要以上に太い径の配力鉄筋を用いると、ひび割れ幅の大きいものが数少なく発生するので、太径の鉄筋の使用は、好ましくない。しかしながら、あまり細径の鉄筋は、施工中に曲がったりすることがある。このようなことを考慮して道路橋示方書では、D13, D16, およびD19が標準の鉄筋として規定されている。一方、I-105, I-130, およびI-150といった従来のI形鋼格子床版については、この規定に従いD13, D16, およびD19の鉄筋の使用を標準とする。しかしながら、計算上やむをえない場合は、D22を用いてよい。今回は、床版の支間を拡張したこともあり、道路橋示方書と同様な規定に従うものとするれば、床版支間が4m以上の長支間に用いられるI-200では、配筋が密となり、施工が困難になる。ここでは、それらのことを考慮して、D22, およびD25の鉄筋の使用を規定として追加した。

#### 8. 10. 3 I形鋼の間隔

I形鋼の間隔は、100mm以上で、250mm以下とする。

【解説】 主部材であるI形鋼の最小間隔は、コンクリート打込みの施工性から定めたものである。

また、最大間隔を余り大きくすると、輪荷重が主部材の間のコンクリートに集中的に作用し、コンクリートに悪影響を与えることがあり得るので、最大間隔は、250mm以下とした。

#### 8. 10. 4 配力鉄筋の間隔

配力鉄筋の間隔は、100mm以上で、250mm以下とする。

【解説】 ここでは、鉄筋の間隔があまり小さいと、コンクリートの施工性に多大な影響を及ぼすので、鉄筋の最小間隔についての規定を設けた。

また、I形鋼と同様に、輪荷重が集中的に作用する床版の場合には、鉄筋間隔があまり大きいとパンチングの面から好ましくないので、鉄筋の最大間隔についての規定を設けた。道路橋示方書の規定では、鉄筋コンクリート床版に対して300mm以下とする規定がある。ところが、I形鋼格子床版では、I形鋼によってコンクリートが遮断され、またコンクリートの配力鉄筋方向の連続性が一般の鉄筋コンクリート床版に劣るため、配力鉄筋の間隔を250mm以下とした。

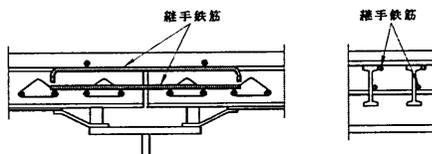
鉄筋の配置の際、下側鉄筋をI形鋼にあけられたパンチ孔に通すために、鉄筋間隔は、パンチ孔の形状に制限される。一般には、100, 125, 150, 200, および250mmの中心間隔が用いられている。

### 8. 10. 5 I形鋼の継手

I形鋼は、継手がないように設計するのが原則とする。

【解説】 I形鋼は、継手がない方が望ましい。そこで、設計に際しては、継手を設けないように配慮することとした。やむを得ず継手を設ける場合には、主桁の真上などに主部材の支点を設けるのがよい。

主部材の継手は、継手鉄筋を主部材のフランジ付近に上下に配置する。その断面積は、設計計算によって決められ、一般にフランジ面積と同程度となる。継手鉄筋の長さは、鉄筋の材質を考慮して、所定の付着長をもたせるものとする。



解説 図 8.3 主部材の継手

### 8. 10. 6 配力鉄筋の継手

配力筋の継手は、継手筋を配力筋に重ねて継ぐのを標準とする。継手筋は配力筋と同径とし、また長さ $L$ は式(8.8)~式(8.9)によって決めるものとする。

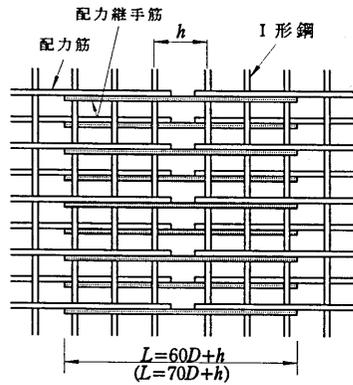
$$\text{SD295の場合: } L=60D+h \quad (8.8)$$

$$\text{SD345の場合: } L=70D+h \quad (8.9)$$

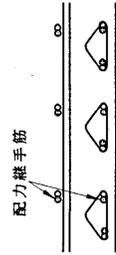
ここに、  
 $L$  : 配力継手筋の長さ(cm)  
 $D$  : 配力継手筋の直径(cm)  
 $h$  : I形鋼のピッチ(cm)

【解説】 継手部に溶接を用いると、繰返し荷重に対する耐久性が低下するため、継手部の溶接は、極力、避けるのが望ましい。そのため、解説 図 8.4 に示すように、重ね継手を、標準にすることとした。

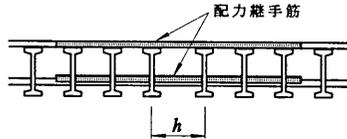
そして、片側における付着長をSD295の場合は $30D$ 、またSD345の場合は $35D$ とし、これに主部材間の間隔を加えたものとした。



(a) 平面図



(c) I 形鋼の孔明け、  
および配力継手筋の配置



(b) 断面図

解説 図 8.4 I 形鋼格子床版における配力筋の継手

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究，大阪大学学位請求論文，1984年11月。
- 2) 大田孝二ほか：I 形鋼格子床版の長支間化に対応する設計法と疲労強度，第3回合成構造物の活用に関するシンポジウム，土木学会，pp.43-pp.48，1995年11月。

## 第9章 施工

### 9. 1 鋼部材の製作

鋼部材の製作は、規格に合致した材料を用い、十分に品質管理された工場で行わなければならない。

【解説】 合成床版の鋼部材は、一般の鋼構造部材と同等、もしくはそれ以上の材料を用い、十分な品質管理のもとで製作しなければならない。

### 9. 2 コンクリート打設

コンクリート打設に当たっては、あらかじめ鋼板や鉄筋に付着した油、ごみ、あるいは浮き錆など、コンクリートとの付着を妨げるものを取り除かなければならない。

【解説】 このほか、鉄筋は、正しく配置するとともに、コンクリート打設時の鉄筋の移動などが生じないように十分に結束しておかなければならない。

### 9. 3 コンクリートの施工管理

コンクリートの配合、練り混ぜ、運搬、および締固めなどを適切に行うとともに、所定の品質検査を行い、打設時の天候、風、ならびに温度などに留意しなければならない。

【解説】 ここでは、コンクリート施工の一般的な注意事項を規定した。とくに、現場打ちコンクリートでは、構造物の特性に応じた打設順序や、連続打設量など、打設計画に定められた事項を遵守しなければならない。

また、I形鋼格子床版においては、その構造特性から、膨張コンクリートがひび割れの抑制に対して良好に働くという試験結果が得られている。しかしながら、膨張コンクリートの施工は、膨張剤の性質、および膨張コンクリートの性質を十分に熟知のうえ行わなければならない。

### 9. 4 床版厚さの精度

合成床版の鉄筋コンクリート厚さの許容誤差は、+20mm、および-0mmとする。

【解説】 合成床版の厚さは、従来のRC床版に比べて一般に小さい。そのため、型枠作業などの多くの部分が工場内で行われることを考慮して、上記のように定めることとした。また、I形鋼格子床版の場合、鉄筋のかぶりを20mmとすることが許されていることなど、従来の現場打ちRC床版以上の良好な施工精度

を前提にしていることから、床版厚さのマイナス側の誤差は、許容しないこととした。

### 9. 5 鋼板の現場溶接継手

現場溶接の施工に当たっては、収縮、変形、および拘束などが構造物に及ぼす影響を考慮し、施工前の準備、溶接設備、ならびに溶接材料などを、工場溶接に準じて用意するものとする。とくに、風による影響を受ける恐れのある場合は、風防対策について考慮しておかなければならない

【解説】 ここでは、現場溶接に際しての一般的な注意事項を述べた。とくに、施工現場では、工場溶接と比較して、作業環境の整備や、溶接電流などの安定性の保持に留意する必要がある。

### 9. 6 鋼板の防食

鋼板は、塗装、または溶融亜鉛メッキによって、防食を行うのを標準とする。

【解説】 合成床版に用いられる鋼板は、構造部材、または型枠として期待されるものである。これが、結露水分や飛来塩分などで腐食すると、耐荷力の低下だけでなく、景観や周辺環境上好ましくない。そこで、鋼板は、塗装や溶融亜鉛メッキなどで防食するのがよい。

その際、コンクリートと接する面の防食の必要性の有無については、付着強度などの面から議論もあり、現在、明確な結論が得られていない。

### 9. 7 防水層

繰返し荷重を受ける合成床版には、防水層を設置しなければならない。

【解説】 道路橋床版のように繰返し荷重を受ける場合、浸透水がひび割れを増大させ、鉄筋や底鋼板の錆を助長して、劣化の一因となる。このことから、鋼板に防食処理が施されていたとしても、コンクリート上面には、適切な防水層を設けなければならない。

防水材料の選定に当たっては、コンクリートにひび割れが生じた場合でも、防水性能が低下しないように、付着性、伸び強度、および耐久性を考慮し、しかも構造物の形状に適合した施工法を採用しなければならない。