

第2編

合 成 桁 編

第1章 一 般

1. 1 適用範囲

この指針は、合成桁の設計・製作・施工に適用するものとする。

【解説】 この指針に規定する合成桁は、道路橋のほか、鉄道橋などに適用されるものである。しかし、ここでは、主に道路橋の単純合成桁、プレストレスを導入する連続合成桁、プレストレスしない連続合成桁、およびプレキャスト床版合成桁の主桁本体を対象にしている。したがって、鉄筋コンクリート床版、およびプレキャスト床版の詳細設計については道路橋示方書など設計指針¹⁾・²⁾・³⁾に準拠し、また、合成床版については本指針の合成床版編に従うものとする。

合成桁は、本編 3.3の「床版の有効幅」に従った床版コンクリートと鋼桁とが桁の全長にわたって適切にずれ止めで結合され、両者が一体となって働くものである。そのためには、合成桁の主な構成要素である鋼桁、コンクリート床版、および、ずれ止めが、定められた荷重状態で終局・使用・疲労の各限界状態に対して、安全であることを照査しておかねばならない。

連続桁においては、負の曲げモーメントによって床版のコンクリートに生じる引張応力を処理するために、支点の上昇・下降やPC鋼材の緊張等によるプレストレスの導入が必要であり、設計・施工が煩雑となる⁴⁾。このような煩雑さをできるだけ解消し、あわせて連続桁のもつ経済性、耐荷性、および車両の走行性などの長所を採り入れようとする合成桁には、弾性合成桁、断続合成桁、部分合成桁、あるいはプレストレスしない合成連続桁⁵⁾などがある。このほかにも、トラス上弦材にコンクリート床版を合成させた合成トラス⁶⁾、軽量骨材コンクリート床版を用いた合成桁⁷⁾、プレキャスト床版を用いた合成桁⁸⁾、およびコンクリート床

解説表 1.1 合成桁における鋼桁とコンクリート床版との組合せ

構造の形式	橋軸方向プレストレスの有無と導入方法		床版の施工法			
			現場打ち	プレキャスト板(部分的な現場施工も含む)		
				PC	RC	合成(S+C)
単純桁	有	PC鋼材	—	○*	○*	○*
	無	—	○	○	○	○
連続桁	有	PC鋼材**	○	○	○	○
		外ケーブル	○	○	○	○
		支点の下降	○	○	○	○
	無	—	○	○	○	○

注：*印は、目地構造の連続性は達成されるが、プレストレスを導入することの効果が期待しにくい。

**印は、橋軸直角方向に引張応力が生じるので、その対策が必要である。

版と開断面鋼桁を一体化した合成床版橋⁹⁾の実施例がある。

解説表 1.1に示すように、橋軸方向のプレストレス導入の有無と各種の床版を組合せた単純、および連続形式合成桁の施工が可能であり、経済性、施工性、工期などその都度、総合的に判断し、選定される。

プレキャスト床版を採用することにより、現場打ちコンクリート作業は、省力化される。しかし、橋軸、および、その直角方向におけるプレキャスト床版相互の一体性を確保しうる目地構造が、要求される。単純桁では、床版にプレストレスを導入することに見合うメリットが期待しにくい。このことから、その実績は、少ないものの、プレキャスト床版の目地構造の連続性確保を主目的として使用した施工例がある。

プレストレスする連続合成桁の場合、PC鋼線用のシースと鉄筋とが輻輳するので、床版の配筋など施工性について検討を要するほか、応力調整を伴う現場の施工管理に十分留意する必要がある。一方、プレストレスしない連続合成桁の場合には、コンクリート床版に生じるひび割れに対する処置など、設計・施工法に慎重な配慮が必要である。また、斜橋や曲線橋に合成桁を用いる場合は、床版に大きな付加的な力が作用することがあるので、慎重な配慮が不可欠である。

1. 2 用語の定義

本編では、次のように用語を定義する。

- 1) コンクリート床版：鋼桁上に打設された鉄筋コンクリート床版、あるいは敷設されたプレキャスト床版、単に「床版」と表現することが多い。
- 2) プレキャスト床版：適正な品質管理のもとに工場で作製された鉄筋コンクリート床版、またはプレストレスコンクリート床版。後者では、鋼桁上に敷設した後、緊張材によって橋軸方向にプレストレスを導入したものもある。
- 3) 床版の有効幅：鋼桁と合成されるコンクリート床版において、合成桁の断面に算入できる床版の幅。
- 4) プレキャストコンクリート板：適正な品質管理のもとに工場で作製された鉄筋コンクリート板、またはプレストレスコンクリート板。
- 5) クリープ：コンクリートに一定の応力が作用した状態で時間の経過とともにひずみが増加する現象。
- 6) クリープ係数：最終クリープひずみと弾性ひずみとの比。
- 7) プレストレスの調整：プレキャスト床版と鋼桁とを合成した後、導入したプレストレスの一部分を解放して合成桁の応力やたわみを調整すること。
- 8) 完全合成、弾性合成、あるいは非合成：鋼桁と床版コンクリートとが完全に一体化された梁として働く場合を完全合成という。これに対し、ずれ止めの弾性変形を許す場合を弾性合成、また鋼桁とコンクリート床版とが重ね梁としての挙動を呈する場合を非合成という。
- 9) 活荷重合成桁：鋼桁の自重、および床版の重量を鋼桁のみで受けさせ、合成後の死荷重、および活荷重を合成断面で受けさせた合成桁。
- 10) 連続合成桁：床版、および鋼桁が2径間以上にわたり連続しているものを総称したもので、中間支点付近の床版のプレストレスの有無により、いわゆる「プレストレスを導入する連続合成桁」と「プレストレスしない連続合成桁」とに区別する。
- 11) 橋軸直角方向接合部：橋軸直角方向のプレキャストコンクリート板の接合目地。
- 12) 橋軸方向接合部：橋軸方向のプレキャストコンクリート板の接合目地。
- 13) ずれ止め：コンクリート床版と鋼桁とが一体となって働くように、鋼桁フランジ面に設ける結合材。
- 14) スラブ止め：非合成桁において、鋼桁フランジに設ける床版との結合材。

1. 3 記 号

本編では、合成桁の設計計算に用いる記号を次のように定める。なお、図 1. 1には、鋼桁、および合成桁の弾性設計におけるそれぞれの中立軸から上縁、および下縁までの距離を示す。

A_c	: 有効幅内の床版の断面積(cm^2)
A_s	: 鋼桁の断面積(cm^2)
A_p	: P C鋼材の断面積(cm^2)
A_v	: 鋼に換算した合成断面積(cm^2) ($=A_s+A_c/n+A_p/n_p$)
b_e	: 床版の有効幅(cm)
b_f	: 鋼桁フランジの自由突出幅(cm)
b_o	: 床版と鋼桁との接触部における床版のハンチ下端の幅(cm)
d_w	: 鋼桁ウェブの純高さ(cm)
E_c	: コンクリートのヤング係数(kgf/cm^2)
E_s	: 鋼のヤング係数(kgf/cm^2)
f'_c	: コンクリートの圧縮強度(kgf/cm^2)
f'_{cd}	: コンクリートの設計圧縮強度(kgf/cm^2)
f'_{ck}	: コンクリートの設計基準強度(kgf/cm^2)
F	: 鋼材の材料強度の規格値(kgf/cm^2)
F_u	: 鋼材の設計基準強度(kgf/cm^2)
F_r	: 鉄筋の設計基準強度(kgf/cm^2)
h_o	: 床版の厚さ(cm)
h_c	: 鋼桁の上フランジ上面から床版の上面までの距離(cm)
h_s	: 鋼桁の高さ(cm)
h	: 合成桁の高さ(cm) ($=h_c+h_s$)
I_c	: 有効幅内の床版の図心軸(C-C)に関する断面二次モーメント(cm^4)
I_s	: 鋼桁の図心軸(S-S)に関する断面二次モーメント(cm^4)
I_v	: 鋼に換算した合成断面の図心軸(V-V)に関する断面二次モーメント(cm^4) $=I_s+(1+n)I_c+A_s d_s^2+(A_p/n_p+A_c/n) d_c^2$
I_w	: そりねじり定数(cm^6)
M_{buz}	: 強軸曲げに関する桁部材の曲げ強度($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
M_{dl}	: 合成前死荷重による曲げモーメント($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
M_E	: 面外変形に対する両端単純支持ばりの弾性横ねじれ座屈モーメント($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
M_{uv}	: 合成桁におけるコンパクト断面の曲げ強度($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
M_v	: 合成後死荷重、および活荷重による曲げモーメント($\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
n	: 鋼とコンクリートとのヤング係数比
n_p	: 鋼とP C鋼材とのヤング係数比
Q_u	: スタッドの水平せん断強度(kgf/本)
t_f	: 鋼桁フランジの有効厚(cm)
t_w	: 鋼桁ウェブ厚(cm)
V_{cp}	: 床版コンクリートの押抜きせん断強度(kgf)

- W_{sl} : 鋼桁下フランジに対する弾性断面係数(cm^3)
 ϵ_s : コンクリートの最終収縮度
 φ_1, φ_2 : それぞれ, コンクリートの持続荷重, および乾燥収縮に伴うクリープ係数
 C-C : 有効幅内の床版の断面の図心軸
 S-S : 鋼桁断面の図心軸
 V-V : 鋼に換算した合成断面の図心軸

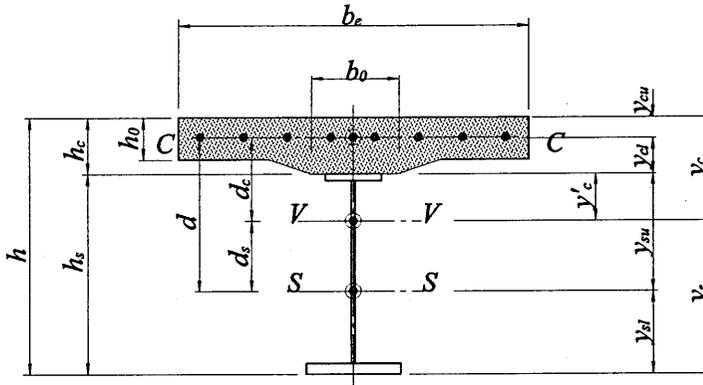


図 1.1 合成桁断面とその記号

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編），6章 床版，1996年12月。
- 2) 日本橋梁建設協会：鉄筋コンクリート系プレキャスト床版設計・施工の手引き（案），1994年9月。
- 3) プレストレス・コンクリート建設協会：プレキャスト床版設計施工マニュアル，1994年3月。
- 4) 前田幸雄：合成桁の理論と実際，季刊ガム，No.35，pp.27-33，1970。
- 5) 前田幸雄：橋梁界の今日の問題（鋼とコンクリートの合成構造），季刊ガム，No.73，1979。
- 6) K.Roik and J.Haensel：Composite Bridges for High Speed Trains, Composite Construction in Steel and Concrete, Proceedings of an Engineering Foundation Conference. Henniker, ASCE Publication, pp.207-273, 1988.
- 7) 千葉・橋・中井・八幡：軽量コンクリート合成げた橋の現場実験，土木学会誌，52-9，pp.34-42，1967。
- 8) 中井 博：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工，森北出版，1988。
- 9) NBC研究会編：新しい合成構造と橋，山海堂，1996。

第2章 材 料

2. 1 鋼 材

合成桁に用いる鋼材，およびスタッドは，それぞれ本指針の共通編 2.1.1，および 2.1.2によるのを原則とする。

2. 2 コンクリート

2. 2. 1 コンクリート材料

合成桁に用いるコンクリートは，本指針の共通編 2.2.1によるのを原則とする。

2. 2. 2 コンクリートのヤング係数

合成断面としての応力，および，たわみを計算する場合，ならびに床版としての断面力の算定を行う場合，コンクリートのヤング係数 E_c は $3 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ を標準とする。

【解説】 コンクリートのヤング係数は，圧縮強度によって異なる。ここでは，床版コンクリートに用いる f_{ck} を $270 \sim 350 \text{kgf/cm}^2$ 程度と考え，コンクリートのヤング係数として， $3 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ ($n=7$) を標準とする。なお， $400 \text{kgf/cm}^2 \leq f_{ck} \leq 500 \text{kgf/cm}^2$ のコンクリートを用いる場合には， E_c もそれに応じて大きな値となる。しかし， E_c の値が多少変化しても，断面諸数に与える影響がそれほど大きくないので，ここでは， E_c の値を一定とみなした。

2. 2. 3 床版のコンクリートのクリープ係数

床版に持続荷重が作用する場合，床版のコンクリートのクリープによる応力度の算出に用いるクリープ係数 ϕ_1 は，2.0を標準とする。

【解説】 通常の作用応力以下の持続応力を受けるコンクリートのクリープひずみは，弾性ひずみに比例し，次式で表されると仮定してよい。

$$\varepsilon_c = (\sigma / E_c) \phi_1 \quad (\text{解 2.1})$$

ここに， ε_c : コンクリートのクリープひずみ
 σ : コンクリートに生じている応力度 (kgf/cm^2)
 E_c : コンクリートのヤング係数 (kgf/cm^2)
 ϕ_1 : コンクリートのクリープ係数

クリープ係数は，一般に，環境条件，載荷時のコンクリートの材齢，コンクリートの配合，部材の厚さ，および載荷後の経過時間などによって異なる。ここでは，床版のコンクリートが大気中にさらされた状態で，

コンクリートの強度が f_{cd} 以上(ただし材齢5日以上)に達した後に、合成後の死荷重を載荷する場合を標準として、クリープ係数の値を定めることとした。

コンクリートのクリープ後の限界状態の照査を行う場合には、クリープを考慮したコンクリートの見かけのヤング係数を用いればよい。すなわち、合成桁としての断面諸定数を求める場合は、 n の代わりに $n(1+\varphi_1)$ を用いてよい。

2. 2. 4 床版のコンクリートの乾燥収縮

床版のコンクリートの乾燥収縮に伴うコンクリートの最終収縮度 ε_s は、 2×10^{-4} を標準とする。また、この場合の主桁の断面力の計算に用いるクリープ係数 φ_2 は、 $2 \varphi_1$ を標準とする。

【解説】 床版のコンクリートの乾燥収縮による床版の変形が鋼桁に拘束されるために、床版、および鋼桁には、それに伴う応力が生じる。コンクリートの乾燥収縮は、一般に、環境条件、部材の厚さ、コンクリートの配合、鉄筋比、および施工後の経過時間などによって異なる。ここでは、普通の大気中にさらされている普通の場合で、床版厚さが 20~30cmである場合を対象にして、最終乾燥収縮度 ε_s を 2×10^{-4} とした。

コンクリートが乾燥収縮を起こし、応力が生じると、直ちにクリープが発生する。そこで、そのときのコンクリートの強度が低いことを考慮し、クリープ係数 φ_2 は、 $2 \varphi_1$ とみなした。

2. 3 接合に用いる材料

2. 3. 1 コンクリートおよびモルタル

プレキャスト床版の接合、および、ずれ止め用の孔の充填材として用いるコンクリート、ならびにモルタルなどの設計基準強度 f_{ck} は、プレキャスト床版のコンクリートの設計基準強度以上あることを原則とし、 400kgf/cm^2 以上あるものとする。この場合は、無収縮性と良好な水密性をもち、また接合部の施工に適するものを使用しなければならない。

【解説】 プレキャスト床版の接合、ならびにプレキャスト床版と鋼桁とを合成するために、ずれ止め用の孔に充填するコンクリートやモルタルなどの設計基準強度は、プレキャスト床版のコンクリートの設計基準強度以上あることを原則とした。そのため、プレキャスト床版の接合、および、ずれ止め用の孔の充填材として用いるコンクリート、ならびにモルタルなどの設計基準強度 f_{ck} は、 400kgf/cm^2 以上あることとした。また、材料の選定に当たっては、プレキャスト床版と同程度の膨張係数を有し、硬化時の収縮量が少ないものとする。これらの品質に対応し得る材料としては、無収縮モルタルや樹脂モルタルなどが考えられる。このうち品質管理の面からは、プレミックスタイプのものが望ましい。しかしながら、これらのモルタルは車両による衝撃や温度変化の影響を受けやすいので、その使用箇所、および施工方法には、十分に注意して、条文のように、適切なものを使用するようにしなければならない。

2. 3. 2 接着剤

プレキャスト床版の接合に用いる接着剤は、所要の強度、耐久性、および水密性をもち、接合部の施工に適合するものでなければならない。

【解説】 接着剤としては、道路橋示方書、Ⅲコンクリート橋編17.4(6)の規定に準拠した¹⁾。現在用いられ

ている接着剤の一例として、エポキシ樹脂系接着剤の品質規格を解説表 2.1 に示す。試験方法としては、土木学会「プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤（橋桁用）の品質規格（案）」によるものとする²⁾。

解説表 2.1 エポキシ樹脂系接着剤の品質規格の標準¹⁾

品質項目		単位	品質規格	試験温度	養生条件
未硬化の 接着剤	外観	—	[1]	—	—
	比重	—	1.1~1.7	20±2℃	—
	粘度	cP	1×10 ⁴ ~10 ⁵	使用基準温度 ^[2]	—
	可使時間 ^[3]	h	2以上	使用基準温度 ^[2]	—
	だれ最小厚さ ^[4]	mm	0.3以上	使用基準温度 ^[2]	—
硬化した 接着剤	引張強さ	kgf/cm ²	125以上	20±2℃	材令7日, 20±2℃
	圧縮強さ	kgf/cm ²	500以上	同 上	同 上
	接着強さ ^[5]	kgf/cm ²	60以上	同 上	同 上

注：[1]有害と認められる異物の混入がなく、材料分離が生じていないこと。

[2]使用時の温度に応じて、夏型、春秋型、および冬の三段階に分けたときの使用時基準温度は、それぞれ30±2℃、20±2℃、および10±2℃とする。

[3]可使時間は、練り混ぜからゲル化開始までの時間の70%をいう。

[4]だれ最小厚さは、鉛直面に厚さ約 1mm塗布された接着剤が、下方にだれた後の最小厚さをいう。

[5]接着強さは、せん断試験によって求めるものとする。

2. 4 緊張材被覆材料およびシース

2. 4. 1 緊張材被覆材料

プレキャスト床版に用いる緊張材の被覆材料としては、以下に示すものを用いるものとする。

- (1) 緊張材被覆材料は、十分に緊張材を包み、これをさびないよう保護するものでなければならない。
- (2) グラウトは、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編の17.4(5)の規定によるものとする。

【解説】 本指針で対象とする合成桁においては、プレキャスト床版の橋軸方向にポストテンション工法によってプレストレスを導入する方法も考慮している。それに使用される緊張材を腐食に対して十分に保護する処置を施すことは、通常のプレストレスコンクリート部材と同様に重要な処置である。

グラウトは、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編の17.4(5)の規定に準拠している¹⁾。

2. 4. 2 シース

シースは、施工時、あるいはコンクリートの打込みのとき、容易に変形しないもので、その合せ目、および継目などから、セメントペーストが入り込まないようなものでなければならない。

【解説】 シースに対して要求される特性は、通常のポストテンション工法の場合と全く同じであるので、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編の17.4(3)の規定に準拠している¹⁾。

一般に、付着を生じさせる方法をとる場合は、波付けした冷間圧延鋼板製のシーソを使用すれば、施工時の変形に対する抵抗もあり、コンクリートやグラウトとの付着も良好である。

2. 5 定着具および接続具

定着、および接続具は、定着、または接続されたPC鋼材が規格に定められた引張荷重に達する前に破壊したり、著しい変形を生じない構造、および強さを有するものでなければならない。

【解説】 橋軸方向にポストテンション工法でプレキャスト床版にプレストレスを導入する場合、緊張材の定着方法には、緊張材の種類に応じて、以下のように2つの代表的な方法がある。

すなわち、まずPC鋼より線を使用する場合には、鋼製のくさびとスリーブで定着する方法や、鋼より線に鋼製のスリーブを圧着し、それを支圧板に定着する方法などが一般的に用いられている。

つぎに、PC鋼棒を使用する場合には、通常、鋼棒端部に転造ねじ加工を施し、ナットで定着する方法が用いられている。これらの定着具は、いずれも鋼材によって製作され、寸法も荷重や変形に対して十分に安全なものが従来から使用されているので、本指針で取り扱う緊張材に対しても、同様な定着具、および接続具を適用することができる。

2. 6 橋面防水材

橋面防水材については、防水材料の性能、施工性、床版や舗装との接着性、耐久性、および経済性などを考慮して、最も効果的な防水構造を採用し、しかも適切な材料を選定して施工しなければならない。

【解説】 コンクリート床版には、舗装面などからの水の浸透によるコンクリートの劣化や鋼材の腐食が起こり、それを防ぐために床版の耐久性を考慮して適切な防水構造を採用することが望ましい。

とくに、凍結防止の目的のために塩化物が散布される積雪地域や、海岸沿いの地域では、塩分を含む水分が床版の耐久性に著しく影響を与えることが想定される。このような地域においては、プレキャスト床版の機能を十分に発揮させるため、防水処置を施すことが望ましく、適切な橋面防水材を用いて慎重に施工しなければならない。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅲコンクリート橋編），17章 施工，1996年12月。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成8年制定），規準編，1996年3月。

第3章 構造解析

3.1 構造解析の原則

- (1) 構造解析においては、構造に応じた適切な境界条件、および解析モデルを設定するものとする。
- (2) 構造解析に当たっては、弾性微小変位解析で行うのを原則とする。
- (3) 電算機を使用して構造解析を行う場合には、計算に用いるプログラムの適合性について十分に配慮するものとする。
- (4) 合成部材に作用する曲げモーメント、および、せん断力は、コンクリートが有効であるとして弾性解析によって求めてよい。その際、せん断遅れの影響は、無視してもよい。

【解説】 (1) について

構造解析においては、構造物の形状、支持条件、荷重条件、および照査する限界状態などに応じて、適切な解析モデルを設定する必要がある。

(2) について

構造解析の目的は、荷重作用によって生ずる構造物の応答値（たとえば、断面力（応力）、および変形など）を適正に計算することにある。そして、一般には、弾性微小変位解析で十分な精度が得られる。また、荷重は、作用方向（鉛直・水平）、作用位置、および、その数が変化する。そのため、単独に作用する荷重は、極めて少ない。通常、構造物には、いくつかの異なった種類の荷重が組み合わさって作用するものと考えられる。このような場合に対処する方法としては、線形構造解析を利用するという考え方がある。この計算手法によれば、多種・多様な荷重を単独な荷重としてみなし、それらが同時に作用したときの応答値は、個々の応答値を重ね合わせることによって求めることができる（たとえば、影響線解法が、これに該当している）。すると、構造計算が著しく簡素になり、限界状態設計法においても設計上のクリティカルな状態に対する照査が容易になる。このようなことから、ここでは、従来の線形構造解析である弾性微小変位解析を用いることとした。

(3) について

構造解析用プログラムの使用に当たっては、構造モデル、計算目的、計算条件、および計算手法などの適合性を十分に検討する必要がある。

代表的な計算手法として、骨組構造解析法には「平面・立体骨組構造解析法」、および「任意形格子理論に基づく解析法」、また薄肉構造解析法には「有限要素法（FEM）」、および「有限帯板法（FSM）」、ならびに「直交異方性板理論に基づく解析法」などが挙げられる。

(4) について

終局限界状態における断面力についても、基本的には、弾性解析で行うこととした。

3.2 床版と鋼桁との付着力

床版コンクリートと鋼桁との間の付着力は、考慮しないものとする。

【解説】 床版コンクリートと鋼桁の間には、付着力が存在する。しかし、施工方法によっては縁が切れ

ることがある。また、活荷重による振動などでも縁が切れることも考えられるので、ずれ止めの設計においては、安全のため、付着力を無視することとした。

3.3 床版の有効幅

合成桁の圧縮フランジとしての床版の有効幅 b_e は、式(3.1)によって算出した値を超えないものとする。

$$\left. \begin{aligned} \text{ハンチを設けない場合} &: b_e = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (\text{cm}) \\ \text{ハンチを設ける場合} &: b_e = \lambda_1 + \lambda_2 + 2b_s + b_0 \quad (\text{cm}) \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

ここに、 b_s : ハンチの水平幅で、ハンチの傾斜が45度より緩やかな場合は、図3.2に示す値(cm)

b_0 : ハンチの下辺の幅(cm)

λ_1 : 主桁内側の片側有効幅(cm)

λ_2 : 張出し部の片側有効幅(cm),

また、 λ_1 , および λ_2 は、次式により計算する。

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1, \text{ または } \lambda_2 &= b \quad (\text{cm}) && (b/l \leq 0.05) \\ \lambda_1, \text{ または } \lambda_2 &= \{1.1 - 2(b/l)\}b \quad (\text{cm}) && (0.05 < b/l \leq 0.30) \\ \lambda_1, \text{ または } \lambda_2 &= 0.15l \quad (\text{cm}) && (0.30 < b/l) \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

b : 図 3.1参照

l : 支間(cm)

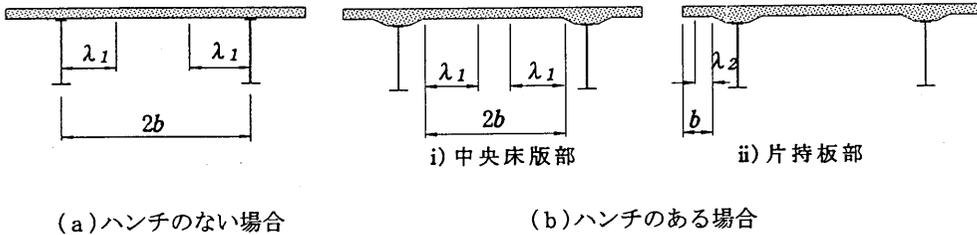


図 3.1 有効幅の取り方

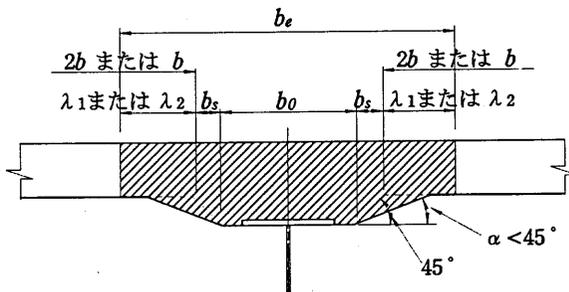


図 3.2 緩やかなハンチをもつ合成桁の有効幅

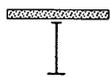
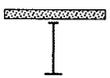
【解説】 ここでは、合成断面の圧縮フランジとして作用する床版の有効幅の取り方を代表的な場合について示した¹⁾。たとえば、図 3.1には、2主桁の場合の有効幅の取り方を示している。とくに、3主桁以上の中桁の場合は、 $\lambda_1 = \lambda_2$ となる。また、左右のハンチが異なる場合、 $2b_s$ には、それぞれの b_s の値を加えればよい。

負の曲げモーメントを受ける床版の有効幅についても、本条文を準用して計算することができる。しかし、連続桁、またはゲルバー桁の中間支点上のように、曲げモーメントの変化が著しい部分の床版の有効幅は小さくなるので、別途、検討のうえ有効幅を、定める必要がある。

3. 4 床版の合成作用の取扱い

- (1) 合成桁の断面強度を算出する場合、床版の合成作用の取扱いは、表 3.1に示すとおりとする。
- (2) 合成桁の弾性変形、および不静定力を算出する場合は、表 3.1によらない考え方で、コンクリート床版の合成作用を考慮するものとする。

表 3.1 床版の合成作用の取扱い

曲げモーメントの符号	合成作用の取扱い		適用
正	床版のコンクリートを、桁の断面に算入する。		コンクリート床版  鋼桁
負	引張応力を受ける床版において、コンクリートの断面を考慮する設計を行う場合	床版のコンクリートを、桁の断面に算入する。	コンクリート床版  鋼桁
	引張応力を受ける床版において、コンクリートの断面を無視する設計を行う場合	コンクリート床版中の橋軸方向鉄筋を、桁の断面に算入してよい。	コンクリート床版  鉄筋

【解説】 (1) について

合成桁において負の曲げモーメントが発生した場合、一般に、床版のコンクリートは、引張応力を受ける。この場合、プレストレスを導入する連続合成桁においては、正の曲げモーメントを受ける場合と同様に、床版のコンクリートを桁の断面に算入してよい。一方、プレストレスしない連続合成桁においては、床版のコンクリートを無視する。しかし、コンクリート床版内の橋軸方向に入っている鉄筋は、桁断面に算入することとする²⁾。

(2) について

床版のコンクリート断面を無視して設計する場合でも、引張領域にある床版のコンクリートは、実際上、

その大部分が有効に働いている。したがって、合成桁の弾性変形、および不静定力を計算する場合、引張領域にある床版のコンクリートを無視するのは、妥当ではない。そのため、ここでは、その合成作用を考慮することにした。

3. 5 支点上曲げモーメントの再配分

曲げモーメントの再配分を、表 3.2のように、支点から支間へ向かって行ってよい。

表 3.2 終局限界状態における曲げモーメントの最大分配率(単位%)

鋼桁断面の種類	コンクリートの設計上の取扱い	
	ひび割れているとき	ひび割れていないとき
コンパクト断面	20	30
ノンコンパクト断面	0	10

【解説】 連続桁における支点モーメントは、表 3.2に示すように、支点から支間に向って再配分してもよいこととした。この考え方は、支点部に塑性ヒンジを想定して解析するいわゆる“オートストレス法”に基づいたものであり、すでに Eurocode 4³⁾、AASHTO⁴⁾、および BS 5400⁵⁾ などの基準で採用されている方法である。

3. 6 床版と鋼桁との温度差

- (1) 床版と鋼桁との温度差は、原則として 5℃とする。また、主桁の設計においては、他の荷重と組み合わせるものとする。ただし、ずれ止めの設計における温度差は、10℃を標準とする。
- (2) 温度分布は、コンクリート、および鋼においてそれぞれ一様分布とする。
- (3) コンクリート、および鋼の線膨張係数は、 $\alpha=1.2 \times 10^{-5}$ とする。

【解説】 本条文では、床版と鋼桁との温度差として起こり得る値のうち、大き目の値を考慮した。しかし、その他の荷重と組み合わせる場合には、安全率を低減するという考え方もある。そのため、ここでは、たびたび生じる可能性のある程度の温度差として 10℃を考えた。また、他の荷重と組み合わせる場合、温度差は、半分の 5℃とした。

温度分布には、種々な状態が考えられる。しかし、ここでは、最も危険な場合として、床版と鋼桁との接断面で温度が段違いになり、両者それぞれで一様な分布状態を仮定した。

コンクリートの線膨張係数は、鋼と大差ないので、 $\alpha=1.2 \times 10^{-5}$ をコンクリート、および鋼の双方に用いることにした。この場合の計算には、クリープの影響を考慮する必要がなく、 $n=7$ を用いてよい。

3. 7 ずれ止めに生じるせん断力

- (1) 床版のコンクリートの乾燥収縮、および床版のコンクリートと鋼桁との温度差により生じるせん断

力は、床版の自由端部において、主桁間隔（主桁間隔が $L/10$ より大きいときは、 $L/10$ をとる）の範囲に設けるずれ止めで負担させなければならない。

(2) ずれ止めの設計に当たっては、図 3.3 に示すように、せん断力の全部が端支点上で最大となる三角形に分布するものとしてよい。

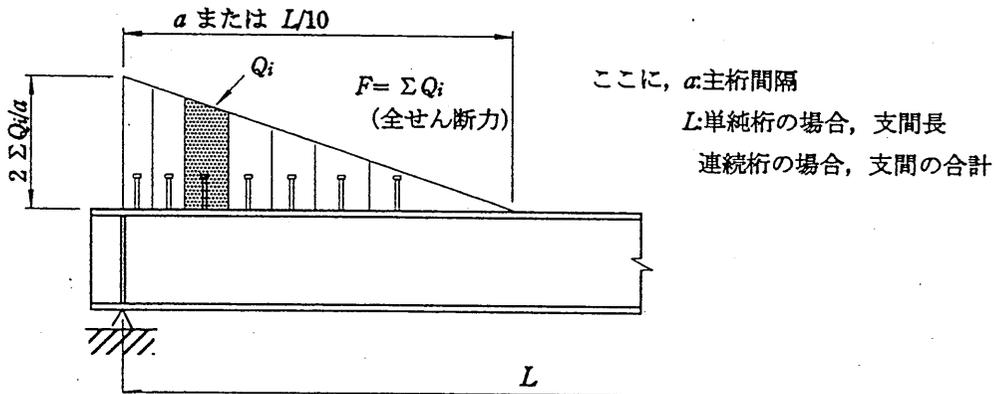


図 3.3 ずれ止めに作用するせん断力

【解説】 床版のコンクリートの乾燥収縮、および床版のコンクリートと鋼桁との温度差によって床版と鋼桁との接触面に生じるせん断力は、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編の 9.5.3 に準拠し、三角形の分布を呈するものとして取り扱うことにした。

連続桁の場合も、端支点上で最大、また全支間の中央でゼロに近い分布を呈するので、単純桁と同様に取り扱うことにした。ただし、この場合の L としては、連続桁の支間の合計をとるものとする。

参考文献

- 1) 前田・岡村・佐伯：道路橋示方書における有効幅の改訂，道路，Vol.72，No.11，pp.69-76，1972
- 2) 前田・佐伯・日種・梶川：鋼道路橋の合成桁の設計 ー合成作用の取扱いについてー，道路，Vol.72，No.7，pp.64-75，1972.
- 3) Eurocode 4 : Composite Steel and Concrete Structures, Print Draft, 1984.
- 4) AASHTO : Standard Specification for Highway Bridges, 13th ed. , 1983.
- 5) BSI : BS5400, Part5, Codes of Practice for Design of Composite Bridges, 1979.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，(Ⅱ鋼橋編)，1996年12月.

第4章 材料および部材の強度

4. 1 材料強度の規格値

合成桁に用いる構造用鋼材，および鉄筋コンクリート用鋼棒の材料強度の規格値は F ，それぞれ本指針共通編 表 5.1，および表 5.2 に示す値を標準とする。

4. 2 接合用鋼材および溶接部の強度

接合用鋼材，および溶接部接合鋼材の設計強度は，それぞれ本指針の共通編 5.4.1，および 5.4.2 に従うのを原則とする。

4. 3 コンクリートの設計圧縮強度

コンクリートの設計圧縮強度 f'_{cd} は，以下の値を標準とする。

$$f'_{cd} = f'_{ck} / 1.3$$

ここに，
 f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (kgf/cm²)
 f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

【解説】 コンクリートの設計圧縮強度は，コンクリートの設計基準強度 f'_{ck} を用いて表すことにした。ここでは，コンクリート標準示方書における標準的な材料係数の 1.3 を採用した。

4. 4 鋼桁の強度

- (1) 鋼部材の設計軸方向引張強度は，本指針の共通編 5.5 の式 (5.3) に示す値を標準とする。
- (2) 鋼部材の局部座屈を考慮した軸方向圧縮強度は，本指針の第 4 編 5 章で示した値を標準とする。
- (3) 鋼部材の曲げ強度は，式 (4.1) に示す値を標準とする。ただし，圧縮フランジがコンクリート床版などで直接固定されている場合， $\bar{\lambda}_b$ は，常に $\bar{\lambda}_{b0}$ より小さいものとする。

$$\left. \begin{aligned}
 M_{buz} &= M_n \left[1 - (1 - \phi_b) \frac{\bar{\lambda}_b}{\bar{\lambda}_{b0}} \right] \quad (\bar{\lambda}_b \leq \bar{\lambda}_{b0}) \\
 &= \frac{\phi_b M_n}{2 \bar{\lambda}_b^2} \left[\beta_b - \sqrt{\beta_b^2 - 4 \bar{\lambda}_b^2} \right] \quad (\bar{\lambda}_b > \bar{\lambda}_{b0})
 \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

$$\text{ただし，} \quad \beta_b = 1 + \alpha_b (\bar{\lambda}_b - \bar{\lambda}_{b0} + \bar{\lambda}_b^2) \quad (4.2)$$

$$\bar{\lambda}_b = \sqrt{M_{\pi}/M_E} \tag{4.3}$$

- ここに、
- M_{buz} : 強軸曲げに関する桁部材の曲げ強度(kgf·cm)
 - ϕ_b : 曲げ部材の抵抗係数 (表 4.1)
 - $\bar{\lambda}_{b0}$: 桁の限界細長比パラメータ (表 4.1)
 - α_b : 桁の初期不整係数 (表 4.1)

表 4.1 桁の曲げ強度式中のパラメータの値

断面 \ パラメータ	α_b	$\bar{\lambda}_{b0}$	ϕ_b
圧延 I, H形断面 箱形, および π 形断面	0.15	0.40	0.957
溶接 I, および H形断面	0.25	0.40	0.924

M_n : フランジ, およびウェブのそれぞれ幅厚比パラメータ R_f , および R_w によって修正した桁断面の曲げ基準強度で, 以下の式によって算出する.

i) $R_f \leq R_f^p, R_w \leq R_w^p$ の場合 $M_n = F_u \cdot Z$ (kgf·cm) (4.4)

ii) $R_f \leq R_f^p, R_w \leq R_w^o$ の場合 $M_n = F_u \cdot W_u$ (kgf·cm) (4.5)

iii) $R_f > R_f^p, R_w > R_w^o$ の場合 $M_n = F_u \cdot W_{eff}$ (kgf·cm) (4.6)

ただし, R_w^p , および R_w^o は表 4.2 によって求める.

表 4.2 はりの構成板の限界幅厚比

構成板 \ パラメータ	塑性限界幅厚比 パラメータ R_w^p	弾性限界幅厚比 パラメータ R_w^o
フランジ両縁支持板	0.5	0.63
フランジ自由突出板	0.5	0.61
ウェブ	0.55	0.88

$$R = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{12(1-\mu)^2}{k}} \sqrt{\frac{F}{E}} \cdot \frac{b}{t} = \frac{1.05}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{F}{E}} \cdot \frac{b}{t} \tag{4.7}$$

- ここに、 k : 座屈係数
- フランジ周辺支持板 : $k=4.0$
 - フランジ自由突出板 : $k=0.425$
 - ウェブ (両縁単純支持) : $k=23.9$

- b : 板の全幅 (図 4.1 参照. ただし, ウェブの場合は, h を b に置き換える) (cm)
- Z : 塑性断面係数 (cm³)
- μ : ポアソン比 (=0.3)
- W_u : 圧縮フランジの弾性断面係数 (cm³)
- W_{eff} : 局部座屈による有効幅を考慮して求めた圧縮フランジの有効断面係数 (cm³) であり, その有効幅は, 以下のように与えられる (図 4.1 参照).

圧縮フランジの有効幅 周辺支持板 : $be/b = (0.7/R_f)^{0.80}$ (4.8)

自由突出板 : $b_e/b = (0.7/R_f)^{0.64}$ (4.9)

ウェブの有効幅 : $h_e/h_c = (0.7/R_w)^{0.80}$ (4.10)

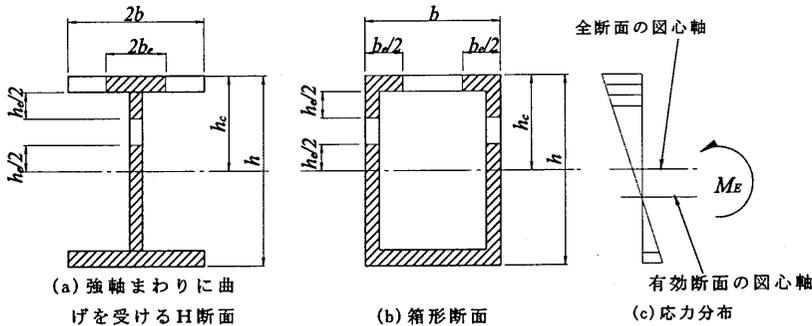


図 4. 1 はりの有効断面

M_n : フランジ, およびウェブのそれぞれ幅厚比パラメータ R_f , および R_w によって修正した次式で与えられる桁断面の曲げ基準強度の規格値(kgf/cm)

$$M_n = M_n \cdot F / F_u \tag{4.11}$$

ここに, F : 本指針の共通編表 5.1に示す鋼材の材料強度の規格値 (kgf/cm²)

F_u : 本指針の共通編 5.2で定める設計基準強度 (kgf/cm²)

M_E : 面外変形に対する両端単純支持ばりの弾性横ねじれ座屈モーメント(kgf·cm). ただし, 荷重条件が以下の場合に当てはまらないときは, 弾性座屈固有値解析によって横ねじれ座屈モーメントを求めてもよい.

$$M_E = \frac{C_{b1} \pi^2 E I_y}{l^2} \left\{ C_{b2} h t + C_{b3} \beta_z \right. \\ \left. + \sqrt{(C_{b2} h t + C_{b3} \beta_z)^2 + \frac{1}{\gamma} \frac{I_w}{I_y} \left(1 + \frac{l^2 G J}{\pi E I_w} \right)} \right\} \tag{4.12}$$

ただし, γ : $1 - I_y / I_z$

I_y, I_z : それぞれ弱軸, および強軸に関する断面二次モーメント(cm⁴)

J : サンプナンのねじり定数(cm⁴)

I_w : そりねじり定数(cm⁶)

l : 面外変形に対する両端単純支持ばりの部材長(cm). 一般的に, 圧縮フランジの固定点間距離を, とってよい. ただし, 両端の拘束が十分と考えられる場合には, 合理的な値まで小さくしてもよい.

C_{b1} : 等価モーメント係数 (中間荷重の場合は, 表 4.3 参照)

$$C_{b1} = \frac{1.0}{0.6 + 0.4 \beta} \leq 2.5 \quad \text{ただし, } \beta = M_2 / M_1 \tag{4.13}$$

M_1, M_2 : それぞれ部材両端における曲げモーメント(kgf·cm). ただし, $M_1 > M_2$ とし, また符号は着目しているフランジに圧縮応力が生じる曲げモーメントを正とする.

h_u : 荷重作用位置 (高さ) とせん断中心との距離. ただし, 符号は, 荷重作用位置がせん断中心より曲げ引張り側にある場合を正とする(cm).

C_{b2} : 表 4.3 に示すように, 荷重条件による荷重作用位置の影響を補正する係数.

β_z : 断面の非対称性を表す量で, 次式で計算する.

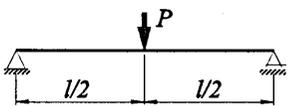
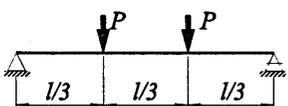
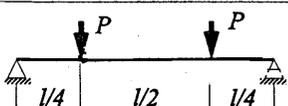
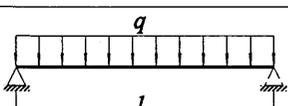
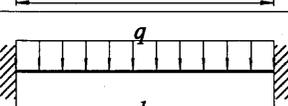
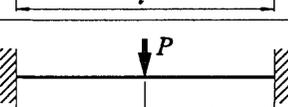
$$\beta_z = \int_A \frac{y(z+y)^2}{2I_z} dA - Y_z \tag{4.14}$$

ここに, Y_z : 図心からせん断中心までの距離(cm).

C_{b3} : 表 4.3 に示すように, 荷重条件による非対称断面の影響を補正する係数.

本指針の曲げ部材においては, y 軸 (弱軸), および z 軸 (強軸) を, それぞれ断面の図心を原点とする主軸にとり, x 軸を部材軸方向にとっている.

表 4.3 中間荷重を受けるはりに対する諸式の係数の取り方

載荷状態	M_{max}	C_{b1}	C_{b2}	C_{b3}
	$\frac{Pl}{4}$	1.365	0.553	0.406
	$\frac{Pl}{3}$	1.096	0.500	0.480
	$\frac{Pl}{4}$	1.040	0.422	0.570
	$\frac{ql^2}{8}$	1.132	0.459	0.525
	$\frac{ql^2}{24}$	1.286	1.563	0.782
	$\frac{Pl}{8}$	1.736	1.406	2.767

(4) せん断強度

部材の設計せん断強度は, 本指針の共通編 5.5 の式 (5.4) に示す値を標準とする.

【解説】 鋼構造設計指針に準拠している.

4. 5 合成桁の強度

(1) コンパクト断面

断面が次の条件を満足するときは、コンパクト断面であると判断してもよい。

- ウェブ、および圧縮フランジが、局部座屈による強度低下をきたさず、全塑性状態となり、かつ適当な回転能を発揮できる十分な剛性を有し、次式を満足すること。

$$b_f / t_f \leq 9 \varepsilon \quad (4.15)$$

$$d_w / t_w \leq 33 \varepsilon / \alpha \quad (4.16)$$

- ここに、
 b_f : 鋼桁フランジの自由突出幅(cm)
 t_f : 鋼桁フランジの有効厚(cm)
 d_w : 鋼桁ウェブの純高さ(cm)
 t_w : 鋼桁ウェブ厚(cm)
 α : 圧縮域の鋼桁ウェブ高さ(d_{wc})と鋼桁ウェブ純高さ(d_w)との比
 ε : $\sqrt{2,400/F}$
 F : 本指針共通編の表 5.1に示す材料強度の規格値 (kgf/cm^2)

- 圧縮フランジの横ねじり座屈が適当な方法により防止されているものとする。

(2) ノンコンパクト断面

この断面は、上記の条件を満たさない場合に相当する。

(3) コンパクト断面の曲げ強度 M_{uv} の算定

コンパクトな断面の曲げ強度は、以下の条件のもとに単純塑性理論によって計算してよい。

- コンクリート床版の有効幅は、本編 3. 3「床版の有効幅」に従って計算する。
- ずれ止めが連続して配置されている場合で、中間支点上で床版の鉄筋が連続しているとき、あるいは床版が橋軸方向にプレストレスされているときは、断面内の橋軸方向鉄筋を強度計算の際に考慮してよい。
- 塑性中立軸の引張側にあるコンクリートの強度は、無視する。
- 塑性中立軸の圧縮側のコンクリート断面は、その設計基準強度の0.85倍で一様分布に負荷され得る。
- 終局限界状態におけるせん断力がせん断強度の60%を超える場合は、曲げ強度を適切な方法によって低減させる。

正曲げモーメントの場合(図 4.2に示す塑性応力分布を参照) :

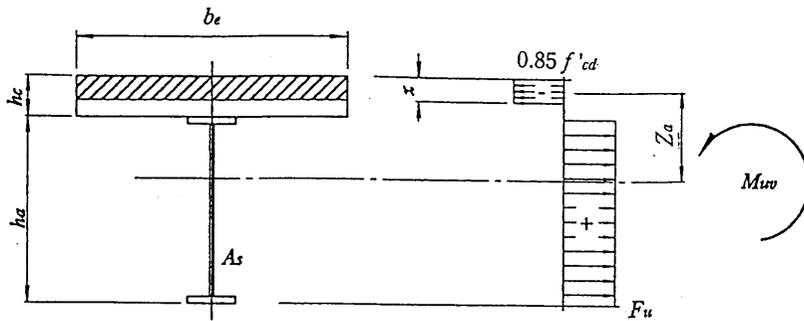
$x \leq h_c$ のとき、

$$M_{uv} = A_s \cdot F_u \cdot Z_a \quad (4.17)$$

$$x = \frac{A_s \cdot F_u}{0.85 f'_{cd} \cdot b_e} \quad (4.18)$$

$$Z_a = \frac{1}{2} h_a + h_c - \frac{1}{2} x \quad (4.20)$$

- ここに、
- x : 中立軸の位置(cm)
 - b_e : 版のコンクリートの有効幅(cm)
 - f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度(kgf/cm²)
 - A_s : 鋼桁の横断面積(cm²)
 - F_u : 鋼材の設計基準強度(kgf/cm²)
 - Z_a : アーム長(cm)
 - h_a : 鋼桁の全高(cm)
 - h_c : 床版の厚さ(cm)



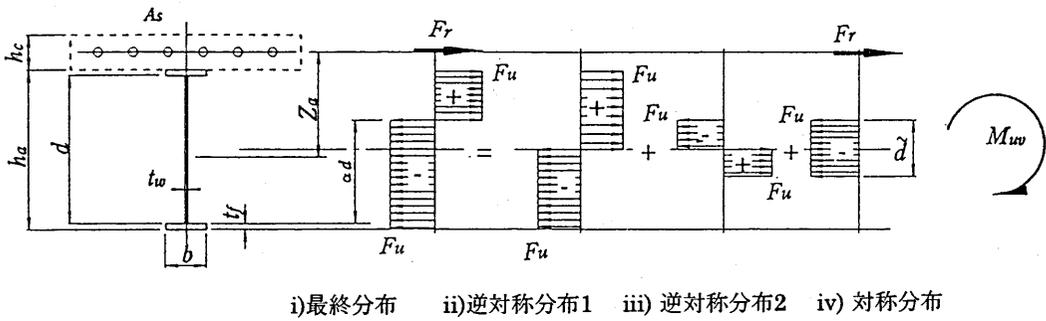
(a) 合成桁断面 (b) 作用曲げモーメントと応力分布

図 4.2 正曲げに対するコンパクト断面の応力分布

負曲げモーメントの場合 (図 4.3 に示す塑性応力分布を参照)

$$\left. \begin{aligned}
 M_{uv} &= M_{pls} - \frac{1}{4} t_w \cdot \tilde{d} \cdot F_u + Z_a \cdot A_s \cdot F_r \\
 \tilde{d} &= \frac{A_s \cdot F_u}{A_w \cdot F_r} d \\
 \alpha &= \frac{1}{2} + \frac{\tilde{d}}{2d}
 \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

- ここに、
- M_{pls} : 鋼桁のみの全塑性モーメント(kgf·cm)
 - A_s : 床版コンクリート中の鉄筋の断面積(cm²)
 - F_r : 鉄筋の設計基準強度(kgf/cm²)
 - A_w : ウェブの横断面積(cm²)
 - d : ウェブ高(cm)



(a) 合成げた断面

(b) 作用曲げモーメントと応力分布

図 4.3 負曲げに対するコンパクト断面の応力分布

(4) ノンコンパクト断面の曲げ強度の算定

- 1) ノンコンパクト断面の曲げ強度は、本編 3.3「床版の有効幅」と本編 4.3「コンクリートの設計圧縮強度」を用いて弾性はり理論によって計算する。
- 2) 正の曲げモーメントの領域、もしくは単純合成桁の場合は、コンクリート床版が全塑性応力分布を呈するとみなして求めてもよい。その場合、中立軸は、コンクリート床版内、もしくは鋼桁上フランジ内にあるものとする。
- 3) コンクリートの圧縮応力は、 $0.85 f'_{cd}$ に制限される。
- 4) 鋼材の引張ひずみに対する制約は無いものとする。しかし、圧縮ひずみは、 F_u/E_s に制限する。また、鉄筋の引張ひずみは、コンクリートとの付着を確実にするため、 0.01 に制限する。

【解説】 (1) , および (2) について

連続合成桁においては、負の曲げモーメントを受ける時に下側フランジが圧縮となり、曲げ圧縮応力が設計材料強度近傍に達すると、フランジ、およびウェブに局部座屈が生じやすくなる。これらは、断面を構成する板の座屈に起因する強度の低下によるものである。

各国の示方書では、フランジ、およびウェブの幅厚比に応じて、コンパクト断面とノンコンパクト断面に分け、それぞれの断面に対する曲げ強度の算定を規定している。このうち、Eurocode 4¹⁾においては、解説図 4.1に示すように、曲げモーメントと曲率との関係に基づき、以下の4つのクラスに分類している。そして、クラス1と2とがここで言うコンパクト断面であり、またクラス3と4とがここで言うノンコンパクト断面に相当している。

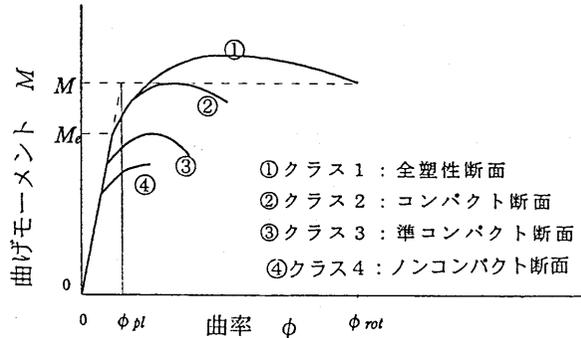
クラス1: 不静定構造物の塑性ヒンジにおいて、モーメントの完全な再分配が起こるような十分な回転性能を持つ断面。

クラス2: コンパクト断面として、その曲げ強度が全塑性モーメント(M_{pl})には達するが、鋼桁の局部座屈やコンクリートの圧壊によって限られた回転性能しか持たない断面。

クラス3: 準コンパクト断面で、鋼桁断面の圧縮フランジは降伏するが、局部座屈によって全塑性モーメントにまで達しない断面。

クラス4: 鋼桁断面の圧縮フランジは降伏に至らず、局部座屈によって崩壊するような断面。

ここでは、Eurocode 4^{1), 2)}, AASHTO³⁾ならびにカナダ・オンタリオ州道路橋設計基準⁴⁾などを参考にし、条文のようにコンパクト断面、およびノンコンパクト断面に分類した。



解説 図 4.1 断面クラス別にみた曲げモーメントと曲率との関係

(3) について

鋼桁の上フランジがコンクリート床版に拘束されているので、図心軸が鋼桁の上フランジ内にある場合は、完全塑性の応力分布を仮定して、曲げ耐荷力を求めてもよいものとした。

(4) について

わが国では、ノンコンパクト断面で構成された溶接桁が多いことを配慮し、本条項を設けた。この場合、塑性モーメント(M_{pl})と降伏モーメント(M_y)との比(M_{pl}/M_y)、すなわち形状係数 (shape factor)は、1.1~1.2程度となる。これに対して圧延鋼材を用いると、形状係数は、1.4~1.5程度の値が得られる。したがって、一般には、スパンの短い桁断面では、圧延鋼材を用いる方が有利になる。

4. 6 コンクリート床版の押抜きせん断強度

床版コンクリートの押抜きせん断強度は、次式によって求めることができる。

$$V_{cp} = f_{cv}\{2(a+2x_m)x_a+2(b+2x_a)x_m\} + f_t\{2(4c_a+2d_a+b)c_m+2(a+2d_m)c_a\} \quad (4.21)$$

- ここに、
- V_{cp} : 床版コンクリートの押抜きせん断強度(kgf)
 - f_{cv} : コンクリートのせん断強度(kgf/cm²)=0.252 f'_{cd} -0.000246 f'_{cd} ²
 - f_t : コンクリートの引張強度(kgf/cm²)=0.583 $(f'_{cd})^{2/3}$
 - f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度(kgf/cm²)
 - a, b : それぞれ載荷板の主鉄筋方向、および配力鉄筋方向の辺長(cm)
 - x_m, x_a : それぞれ主鉄筋、および配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸深さ(cm)
 - d_m, d_a : それぞれ主鉄筋、および配力鉄筋の有効高さ(cm)
 - c_m, c_a : それぞれ主鉄筋、および配力鉄筋からのかぶり厚さ(cm)

【解説】 押抜きせん断強度には、多くの影響因子 (有効高さ、載荷面の周長、載荷面の形状、コンクリート強度、引張鉄筋量、せん断補強鉄筋量、載荷面の周長と有効高さとの比、せん断スパン比、載荷面から自由端までの距離、およびせん断力と同時に作用するモーメントなど)^{5)~7)}があることが知られている。しかし、これら全てを考慮した強度推定方法は、現時点で見あたらない。ここでは、前田・松井⁶⁾が提案した1方向床版の押抜きせん断強度の推定方法において、 f'_{ck} を f'_{cd} に置き換えた算定式を採用した。

前田・松井の方法による推定結果とコンクリート標準示方書的设计式による推定結果⁷⁾とを比較すれば、解説表 4.1 に示すように、1方向床版では示方書の値が過小に評価する傾向があり、また推定精度は前田・

松井の方法による場合の方がよい。そして、角田らの実験結果⁵⁾に対しても、前田・松井の方法は、標準示方書と同等以上の精度で押抜きせん断強度を推定している。

解説表 4. 1 実験値と推定値の比

項目	1方向床版 ⁶⁾		2方向床版 ⁵⁾	
	標準示方書	前田・松井式 ⁶⁾	標準示方書	前田・松井式 ⁶⁾
平均値 x	1.129	0.948	1.077	0.963
標準偏差 σ	0.203	0.139	0.134	0.108
変動係数 σ/x	0.180	0.147	0.125	0.112

注)・1方向床版の実験結果は、文献⁶⁾の表1の全てと文献⁵⁾の表1のNo.57, 58, 59, および60の25供試体に対するものである。

・2方向床版の実験結果は、文献⁵⁾の表1のNo.32, 54, 55, 56, 57, 58, 59, および60を除く52供試体に対するものである。

4. 7 ずれ止めの設計強度

(1) せん断疲労強度

スタッドのせん断疲労強度は、次式によって求めるものとする。

$$\log \Delta \tau = 1.75 - 0.117 \log N \quad (4.22)$$

ここに、 $\Delta \tau$: 疲労強度(せん断応力範囲)(kgf/mm²)
 N : 疲労寿命(回)

(2) 水平せん断強度

スタッドの水平せん断強度は、次式によって求めるものとする。

$$\left. \begin{aligned} Q_u &= 130 D_s^2 \sqrt{f'_{cd}} & (H/d \geq 5.5) \\ Q_u &= 24 D_s H_s \sqrt{f'_{cd}} & (H/d < 5.5) \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

ここに、 Q_u : スタッドの水平せん断強度(kgf/本)
 D_s : スタッドの直径(cm)
 H_s : スタッドの高さ(cm)
 f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度(kgf/cm²)

(3) ずれに対する限界強度

スタッドのずれに対する限界強度 Q_c (kgf/本)は、次式によって求めるものとする。

$$Q_c = 0.5 Q_u \quad (4.24)$$

ここに、 Q_u : スタッドの水平せん断強度(kgf/本)
 Q_c : スタッドのずれに対する限界強度(kgf/本)

【解説】 条文に示した式は、既往の内外の代表的な研究結果を整理して得られたもの⁸⁾で、合成桁用のずれ止めに適用する。

(1) について

式(4.22)は、スタッドの破断に対する非破壊確率97.7%のS-N曲線に対するものである⁹⁾。ここで、疲労寿命(N)は、通常、200万回を基準にとってもよい。

(2) について

式(4.23)は、式(4.22)と同様な考え方に基づき、 $Q_u / (D_s^2 \sqrt{f'_{ck} \cdot f_{su}}) - H_s / D_s$ 関係から非破壊確率97.7%の限界値を与えたものである⁹⁾。ここに、 f'_{ck} はコンクリートの圧縮強度であり、また f_{su} はスタッド材の引張強度で、JIS B 1198で規定されている引張強度の許容範囲の平均値をとり、 $4,850 \text{ kgf/cm}^2$ と設定した。

(3) について

スタッドのずれに対する限界状態は、まだ明確にされていない。ここでは、既往の研究結果¹⁰⁾を参考にし、スタッドの Q/Q_u (作用水平せん断力/水平せん断強度)と δ' (残留ずれ)との関係から、過大なずれの開始点を定め、この状態で見い出され折れ点をスタッドのずれに対する限界状態であるとみなした。

式(4.22)、式(4.23)、あるいは式(4.24)によらない場合には、文献11)を参照に、押抜きせん断試験を実施し、スタッドの強度を決定することを推奨する。

参考文献

- 1) Eurocode 4 : Common Unified Rules for Composite Steel and Concrete Structures, The Commission of the European Communities, Print Draft, 1984.
- 2) Kindmann, R. : Composite Girders, IABSE, Short Course Brussels 1990 - Composite Steel-Concrete Construction and Eurocode 4 -, Notes, Vol.61, pp.117-145, 1990.
- 3) AASHTO : Standard Specification for Highway Bridges, 13th ed., 1983.
- 4) 九州橋梁・構造工学研究会訳 : カタ・マクリ州道路橋基準, 1985.
- 5) 角田・井藤・藤田 : 鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第229号, pp.105-115, 1974.
- 6) 前田・松井 : 鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式, 土木学会論文集, 第348号, V-1, pp.133-141, 1984.
- 7) 土木学会 : コンクリート標準示方書(昭和61年制定)改訂資料, コンクリート・ライブラリー, 第61号, pp.170-172, 1986.
- 8) Maeda, Y., Matsui, S. and Hiragi, H. : Effects of Concrete-Placing Direction on Static and Fatigue Strengths of Stud Shear Connectors, Technology Reports of the Osaka University, Vol.33, No.1733, pp.397-406, 1983.
- 9) 村松・梶川・平城・松井・武田・井上 : 第3章 抵抗強度の評価, 土木学会関西支部, 共同研究グループ報告書「限界状態設計法による合成桁橋の設計法に関する研究」, pp.16-47, 1988.
- 10) 松井・平城 : 限界状態設計法のための頭付きスタッドの静的・疲労強度に関する評価式, 土木学会, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.163-168, 1989.
- 11) JSSC合成構造小委員会 : 頭付き押抜き試験方法とスタッドに関する研究の現状, テクニカルレポート No. 35, 1996年11月.

第5章 限界状態の照査

5.1 一般

合成桁の限界状態に対する照査は、本指針の共通編 6.1に基づいて行うのを原則とする。

5.2 架設時の鋼桁の照査

死荷重合成桁における鋼桁フランジの降伏に対する照査は、次式により行うものとする。

$$\frac{M_{d1}}{W_{s1} \cdot F} \leq 1 \quad (5.1)$$

ここに、 M_{d1} : 合成前死荷重による曲げモーメント(kgf·cm)
 W_{s1} : 鋼桁下フランジに対する弾性断面係数(cm³)
 F : 本指針の共通編表 5.1に示す鋼材の材料強度の規格値 (kgf/cm²)

【解説】 活荷重合成桁の場合は、鋼桁を支持しない状態で床版のコンクリートを打設するので、鋼桁の自重、型枠、まだ固まらないコンクリート、および橋側歩道などの合成前に加わる荷重を鋼桁のみで受けされる。したがって、合成前に、これらの合成前死荷重により受ける曲げモーメントに対して照査を行う場合は、本条によるものとした。

送り出し、あるいは張り出し架設工法の採用に際しては、架設時における上フランジの局部座屈のほか、鋼桁の横ねじれ座屈についても、十分な検討を加えておかねばならない。また、コンクリート打ち込み時の荷重に対しても、安全性を十分に検討する必要がある。

活・死荷重合成桁の場合は、鋼桁を支持した状態で床版のコンクリートを打設するので、架設における鋼桁に対する照査が原則として不要である。ただし、コンクリート強度が f_{cd} に達する前に、支保工を撤去してはならない。

5.3 終局限界状態の照査

5.3.1 コンパクト断面の照査

コンパクト断面の照査は、次式により行うものとする。

$$\frac{M_v}{M_{uv}} \leq 1 \quad (5.2)$$

ただし、 $M_v = M_{d1} + M_{d2} + M_l$

ここに、 M_v : 死荷重、および活荷重による曲げモーメント(kgf·cm)
 M_{d1} , M_{d2} : それぞれ合成前、および合成後の死荷重による曲げモーメント(kgf·cm)

- M_i : 活荷重による曲げモーメント(kgfcm)
 M_{uv} : 本編 4.4(3)で算定される合成断面の曲げ強度(kgfcm)

【解説】 正曲げを受ける合成断面の曲げ強度 M_{uv} は本編 4.4.(3)の式(4.17)で、また負曲げを受ける合成断面に対する M_{uv} は式(4.20)で算定することができる。正曲げを受ける合成桁の中立軸の位置は、ほとんどの場合、床版コンクリートの中にあるので、式(4.17)のみ提示した。しかし、床版厚さが薄い場合には、中立軸が鋼桁上フランジの中に入ることがあり得る。この場合も、図 4.2 に示す応力分布を参考に同様に求めることができる^{1) 2)}。コンパクト断面では、塑性応力状態に対して断面の曲げ強度を算定するので、乾燥収縮、およびクリープの影響による曲げ強度を無視してよい。

塑性応力状態に対する曲げ強度は、合成前の応力には無関係であるので、活荷重合成桁の曲げ強度と死・活合成桁の曲げ強度に対し適用できる。

5.3.2 ノンコンパクト断面の照査

(1) 活荷重合成桁に対するノンコンパクト断面の照査は、次式により行うものとする。

鋼桁の引張縁に対し：

$$\frac{M_{d1}}{M_{tus}} + \frac{M_{d2} + M_i}{M_{tuv}} + \frac{M_{ds}}{M_{tuvs}} \leq 1 \quad (5.3)$$

鋼桁の圧縮縁に対し

$$\frac{M_{d1}}{M_{cus}} + \frac{M_{d2} + M_i}{M_{cuv}} + \frac{M_{ds}}{M_{cuvs}} \leq 1 \quad (5.4)$$

ここに、 M_{d1} 、 M_{d2} : それぞれ合成前、および合成後の死荷重による曲げモーメント(kgfcm)

M_i : 活荷重による曲げモーメント(kgfcm)

M_{ds} : 乾燥収縮の影響による曲げモーメント(kgfcm)

M_{tus} : 鋼桁の引張側フランジにおける曲げ強度(kgfcm)

M_{tuv} : 合成断面の引張側フランジにおける曲げ強度(kgfcm)

M_{tuvs} : コンクリートの乾燥収縮を考慮した合成断面の引張側フランジにおける曲げ強度(kgfcm)

M_{cus} : 鋼桁の圧縮側フランジにおける曲げ強度(kgfcm)

M_{cuv} : 合成断面の圧縮側フランジにおける曲げ強度(kgfcm)

M_{cuvs} : コンクリートの乾燥収縮を考慮した合成断面の圧縮側フランジにおける曲げ強度(kgfcm)

(2) 死・活荷重合成桁に対するノンコンパクト断面の照査は、次式により行うものとする。

鋼桁の引張縁に対し：

$$\frac{M_d + M_{dcs}}{M_{tuvc}} + \frac{M_i}{M_{tuv}} \leq 1 \quad (5.5)$$

鋼桁の圧縮縁に対し：

$$\frac{M_d + M_{dcs}}{M_{cuvc}} + \frac{M_l}{M_{cuv}} \leq 1 \quad (5.6)$$

- ここに、
- M_d : 合成前、および合成後死荷重による曲げモーメント(kgf·cm)
 - M_{dcs} : クリープ、および乾燥収縮の影響による曲げモーメント(kgf·cm)
 - M_l : 活荷重による曲げモーメント(kgf·cm)
 - M_{twv} : 合成断面の引張側フランジにおける曲げ強度(kgf·cm)
 - M_{twvc} : コンクリートのクリープ、および乾燥収縮を考慮した合成断面の引張側フランジにおける曲げ強度(kgf·cm)
 - M_{cuv} : 合成断面の圧縮側フランジにおける曲げ強度(kgf·cm)
 - M_{cuvc} : コンクリートのクリープ、および乾燥収縮を考慮した合成断面の圧縮側フランジにおける曲げ強度(kgf·cm)

【解説】 (1) について

活荷重合成桁の場合は、舗装等の合成後死荷重によるコンクリートのクリープの影響に起因する応力度の変化が小さいので、無視することにした。また、コンクリートの乾燥収縮を防止する目的で、膨張材を30～40kg/m³添加した膨張コンクリートを床版コンクリートに用いた場合には、 M_{dcs} を考慮しなくてよい。

(2) について

死・活荷重合成桁の場合は、死荷重(合成前、および合成後)によるコンクリートのクリープ、および乾燥収縮の影響に伴う応力度の変化を考慮する必要があり、本条によるものとした。

5. 3. 3 合成床版およびプレキャスト床版を有する合成桁の照査

- (1) 合成床版の橋軸方向における連続性が確保され、かつ鋼桁との合成が十分であると見なされる場合、合成床版を有する合成断面の照査は、本編 5.3.2、および 5.3.3に準じて行うものとする。
- (2) プレキャスト床版の橋軸方向における連続性が確保され、かつ鋼桁との合成が十分であると見なされる場合、プレキャスト床版を有する合成断面の照査は、本編 5.3.2、および 5.3.3に準じて行うものとする。

【解説】 (1) について

合成床版については、原則として、本指針の第3編に従うものとする。

(2) について

プレキャスト床版を用いた場合、橋軸直角方向には、通常、接合目地を設ける。そのため、橋軸方向の連続性が確保されるように、ずれ止めや目地構造には、十分に留意する必要がある。

5. 3. 4 ずれ止めの照査

スタッドの照査は、次式により行うものとする。

$$\frac{Q}{Q_u} \leq 1 \quad (5.7)$$

ここに、 Q : スタッドに作用する水平せん断力(kgf/本)
 Q_u : 照査するスタッドの水平せん断強度(kgf/本)

【解説】 スタッドの水平せん断強度は、本編 4.7の式 (4.23) により算定してよい。

5. 3. 5 コンクリート床版の押抜きせん断の照査

輪荷重を受ける床版コンクリートにおいては、押抜きせん断に対する照査を次式により行うものとする。

$$\frac{V_p}{V_{\phi}} \leq 1 \quad (5.8)$$

ここに、 V_p : 床版に作用する押抜きせん断力(kgf)
 V_{ϕ} : 照査する床版の押抜きせん断強度(kgf)

【解説】 床版の押抜きせん断強度は、本編 4.7の式 (4.21) により算定してよい。

5. 4 使用限界状態の照査

合成桁の使用限界状態の照査は、原則として、以下の項目に対して行うものとする。

- (1) 引張を受ける床版コンクリートのひび割れ幅
- (2) 活荷重によるたわみ
- (3) ずれ止めめずれ

【解説】 使用限界状態としては、次のものが挙げられる。

- (1) コンクリートのひび割れ幅が、鉄筋の腐食から定められたある限界に達する。
- (2) たわみ、あるいは、たわみの変化が、使用に不適合、外見上見苦しいか、または、その他使用に耐えられない形状になったことによって限界に達する。
- (3) ずれ止めめずれが、限界に達する。
- (4) 構造物の振動が使用に不適切、もしくは非弾性挙動となって限界に達する場合が考えられる。

しかし、上記の (4) に関しては、いまだに基準化に至っていないので、ここでは、(1) 連続合成桁の中間支点上のように、引張を受ける床版のコンクリートのひび割れ幅、(2) 活荷重によるたわみ、および (3) ずれ止めめずれに対して照査することにした。

5. 4. 1 コンクリートのひび割れ幅の照査

連続合成桁の中間支点上のように、引張を受ける床版コンクリートのひび割れの照査は、次式により行うものとする。

$$\frac{w}{w_d} \leq 1 \quad (5.9)$$

ここに、 w : 床版コンクリートに生じるひび割れ幅(mm)
 w_d : 照査する床版コンクリートのひび割れ幅の制限値(mm)

【解説】 合成部材におけるコンクリート中の鉄筋に関する構造細目は、耐久性の規定、細部規定、および許容ひび割れ幅の限界状態を満足させるために規定されたものである。プレストレスされた合成部材は、プレストレス力の減少、および、ひび割れ発生の限界状態に対する規定を満足しなければならない。

w_d は、コンクリート標準示方書「7.3.3 許容ひび割れ幅」の値を用いてよい。同示方書に従うと、一般の環境における異形鉄筋を用いた場合の w_d の値としては、 $0.005c$ (c は、コンクリートのかぶり[cm])が目安となる。

5. 4. 2 たわみの照査

(1) 合成桁の活荷重(衝撃を含まない)によるたわみの照査は、次により行うものとする。

$$\frac{\delta}{\delta_d} \leq 1 \quad (5.10)$$

ここに、 δ : 合成桁に生じるたわみ(mm)

δ_d : 照査する合成桁のたわみの限界値(mm)

(2) たわみの計算においては、鋼材、およびコンクリートを弾性体と考え、床版コンクリートを全断面有効とした曲げ剛性を用いてよい。

【解説】 (1) について

走行性を保持し、変形に伴う二次応力の影響などに対する合成桁の安全性の確保、または歩行者に与える不快感の排除などを目的にしたものである。

特別な規定のない場合、合成桁に対する δ_d の値は、原則として、支間の $1/600$ としてよい。この値は、建設省制定土木構造物標準設計(P C単純T桁橋、単純床版橋、および中空床版橋)に従う活荷重によるたわみの限界値(支間の $1/600$)を採用したものである³⁾。

(2) について

使用限界状態では、一般に十分な弾性変形状を呈するので、軸方向のひずみは、断面の中立軸からの距離に比例し、鋼材、およびコンクリートを弾性体と考え、弾性理論によってたわみを検討してよい。また、曲げ剛性については、計算の簡便性などを配慮し、床版のコンクリートを全断面有効としてよいものとする。

5. 4. 3 ずれ止めの照査

スタッドの照査は、次式により行うものとする。

$$\frac{Q}{Q_c} \leq 1 \quad (5.11)$$

ここに、 Q : スタッドに作用する水平せん断力(kgf/本)

Q_c : 照査するスタッドのずれに対する限界強度(kgf/本)

【解説】 スタッドの水平せん断強度は、本編 4.7の式(4.24)により算定してよい。

5. 5 疲労限界状態の照査

合成桁の疲労限界状態の照査は、必要に応じて、以下の項目に対して行うものとする。

- (1) 鋼桁に対する曲げ引張疲労
- (2) ずれ止めに対するせん断疲労
- (3) コンクリート床版に対する押抜きせん断疲労

5. 5. 1 鋼桁の照査

鋼桁の曲げ引張疲労の照査は、次式により行うものとする。

$$\frac{\Delta f}{\Delta F} \leq 1 \quad (5.12)$$

ここに、 Δf ：設計寿命中の作用応力範囲(kgf/cm²)

ΔF ：照査する疲労強度(疲労限としての応力範囲)(kgf/cm²)

【解説】 合成構造物は、その設計寿命期間内に予想される変動荷重作用による疲労亀裂の発生、または、その段階的進展(伝播)による破壊を生じさせてはならない。合成構造物のそれぞれの限界点において、設計寿命期間内の応力の繰返し数における応力範囲は、適切な強度等級(応力カテゴリー)に対して $\Delta\sigma-N$ 線で定義される ΔF を超えてはならない。また、 ΔF としては、JSSCの鋼構造物の疲労設計指針・同解説に規定されている応力範囲を用いるものとする。

5. 5. 2 ずれ止めの照査

スタッドのせん断疲労の照査は、必要に応じて、次式により行うものとする。

$$\frac{\Delta \tau_d}{\Delta \tau} \leq 1 \quad (5.13)$$

ここに、 $\Delta \tau_d$ ：設計寿命中の作用水平せん断応力範囲(kgf/cm²)

$\Delta \tau$ ：照査するせん断疲労強度(水平せん断応力範囲)(kgf/cm²)

【解説】 スタッドせん断疲労強度 $\Delta \tau$ は、本編 4.7の式(4.22)により算出してよい。

5. 5. 3 コンクリート床版の疲労照査

コンクリート床版に対する疲労照査は、必要に応じて、押抜きせん断力に対して行うものとする。

【解説】 必要に応じて、コンクリート床版の押抜きせん断力に対し疲労の照査する場合は、載荷点を固定

した実験から得られたコンクリート標準示方書³⁾ 8.5の式 (8.5.2) , あるいは輪荷重の走行試験によって得られた松井⁴⁾ , あるいは園田らの⁵⁾ S-N曲線など参照にするとよい。

参考文献

- 1)Eurocode 4 : Commom Unified Rules for Composite Steel and Concrete Structures,The Commision of the European Communities, Print Draft, 1984.
- 2)土木学会：鋼構造物の終局強度と設計，鋼構造シリーズ° 6,pp.42-43,1994.
- 3)土木学会：コンクリート標準示方書（平成8年制定），設計編
- 4)松井繁之：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告集，9-2, No.2108, 1987.
- 5)土木学会関西支部：コンクリート構造の設計・施工の基本， pp.299-300,1994.

第6章 構造細目

6. 1 鋼 桁

6. 1. 1 フランジ厚さ

ずれ止めにスタッドを用いる場合のフランジの最小板厚は、10mmとする。

【解説】 この条文は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 9.6の規定に準拠して定めた。

6. 1. 2 横 構

- (1) I形断面プレートガーダー橋には、横荷重を支承に円滑に伝達するように、下横構などを設けるのを原則とする。
- (2) コンパクト断面で、横倒れ強度が確保されている場合には、下横構を省略することができる。
- (3) 強固な対傾構を有する直線桁で、横荷重、および桁の横倒れに対する安全性が保証される場合には、下横構を省略することができる。ただし、曲線橋では、下横構を省略してはならない。

【解説】 I形断面の鋼桁では、横荷重に抵抗するとともに、構造物全体の剛性を確保する意味で、下横構を設けることを原則とした。しかし、コンパクト断面で、横倒れ強度が確保されている場合には、下横構を省略することができる。

強固な横桁や対傾構を有する上路形式鋼直線桁で、横荷重および横倒れについての座屈解析により安定性を照査した場合は、下横構を省略できる。しかし、下横構は、送り出し、張り出し架設時、あるいは床版のコンクリート打設時にも有効に機能する部材であり、みだりに省略してならない。

曲線橋において横構を省略すると、構造物全体のねじり抵抗が不足して、危険となる場合が多い。そこで、横構は、省略してはならない。また、主桁間隔の狭い2主桁橋では、全体横倒れ座屈が重要な問題になることがある。この場合、横構の設計には、十分に注意しなければならない。

6. 1. 3 そ り

鋼桁の製作そりは、以下の事項を考慮して決めなければならない。

- (1) 路面の縦断形状
- (2) 死荷重によるたわみ
- (3) プレストレスの調整による弾性たわみ

【解説】 プレストレスの調整を行う場合は、この調整による弾性たわみ量も無視できないので、これを製作そりとして考慮しなければならない。

6. 2 床 版

6. 2. 1 補強鉄筋の配置と構造目地

(1) せん断力が集中する部分の構造

- 1) せん断力が集中する部分では、床版に生じるせん断力と主引張応力とに対する補強鉄筋を配置するものとする。
- 2) 補強鉄筋の直径は、16mm以上とする。また、補強鉄筋は、床版の中立面付近に 15cm以下の間隔で配置するのがよい。
- 3) 補強鉄筋を配置する範囲は、桁軸方向、および桁直角方向ともに、桁間隔の1/2以上を標準とする。

(2) 構造目地

場所打ちコンクリートの場合、床版のコンクリートには、構造目地を設けないものとする。

【解説】 (1) について

端支点付近、あるいは中間支点付近の床版には、活荷重や死荷重による応力のほか温度差応力、および乾燥収縮による応力などが集中的に作用するので、その部分に補強鉄筋を配置して、せん断力が円滑に伝達されるようにしなければならない。さらに、主引張応力によって、床版のコンクリートには、ひび割れが発生しないように配慮しておく必要がある。補強鉄筋の配置の規定は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編の9.4.2に準拠する¹⁾。

(2) について

床版の構造目地は、一般に、その位置で鉄筋が中断されたり、あるいはコンクリートが中断されたりして、構造上の弱点になりやすい。そのため、構造目地は、設けてはならない。

6. 2. 2 合成作用を与えるときの床版コンクリートの強度

床版コンクリートに合成作用を与える時期は、コンクリートが一定の圧縮強度に達した以降とするのを原則とする。

【解説】 合成作用を与えた後の持続荷重によるクリープを考慮すると、材令があまり若い時期から合成作用を与えることは、クリープが大きくなり好ましくない。したがって、これまでの実施例などを参考にして、その時期としては、コンクリートの圧縮設計強度 f_{cd} が確保される材令に達した後と決めることとした。

6. 2. 3 床版のハンチ

- (1) 床版に支持桁上でハンチを設ける場合、その傾斜は、1:3よりゆるやかにするのが望ましい。これより急な場合は、図 6.1に示すように、1:3 までの厚さを床版として有効な断面とみなすものとする。

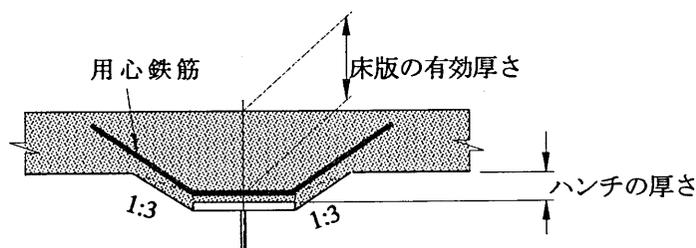


図 6. 1 ハンチ部のスラブの有効高さ

- (2) 図 6.1 に示すハンチの高さが8cm以上ある場合には、ハンチ下面に沿って桁直角方向に用心鉄筋を配置するのが望ましい。この場合、用心鉄筋は直径13mm以上とし、その間隔はハンチの位置において桁に直角方向に配置された床版の下側鉄筋間隔の2倍以下とする。
- (3) プレキャスト床板の場合は、ハンチを設けなくてもよい。

【解説】 (1) および (2) について

鉄筋コンクリート床版のハンチについては、道路橋示方書、Ⅱ 鋼橋編の 6.1.10(2)、および(3) に準拠した。

(3) について

ハンチが最初に規定された昭和47年当時は、現場打ち鉄筋コンクリート床版を対象にしたものであって、ずれ止め周辺の局部応力を漸次緩和させることを目的としたほか、型枠の取り外し易さを配慮し、ハンチの傾を比較的緩やかに規定していた。プレキャスト床版では、型枠を必要としないことから、ハンチを設けなくてもよいとした。

道路線形上、あるいは既存橋梁の床版架け替への適用に際し、プレキャスト床版にハンチを設ける場合には、直角ハンチでよい。しかし、ハンチ部の床版有効厚さは、増してはならない。この厚さを増すため、前項の規定に従い、ハンチの傾斜を 1:3より緩やかにする必要がある。

6. 2. 4 桁端部の床版

桁端部の車道部分の床版は、十分な剛度を有する端床桁、および端ブラケットなどで支持するのが望ましい。

【解説】 中間床桁と床版とは、すき間を設けて支持させない方がよい。しかし、桁端部では、床版の端部を強化するため、床版にハンチを設けて端床桁で支持するものとする。

6. 2. 5 鉄筋の種類および配筋

- (1) 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のものを原則とする。
- (2) 鉄筋の中心間隔は、10cm以上で、かつ 30cm 以下とする。ただし、引張主鉄筋の中心間隔は、床版の全厚を超えないものとする。
- (3) 断面内の圧縮側には、引張側の鉄筋量の少なくとも、1/2の鉄筋を配置するのを原則とする。
- (4) 鉄筋コンクリート構造の連続版で主鉄筋を曲げる場合は、図 6.2に示すように、支点から $L/6$ の断面で折り曲げるものとする。ただし、床版の支間中央部の引張鉄筋量の80%以上、および支点上の引張鉄筋量の50%以上は、それぞれ曲げずに連続させて配置しなければならない。ここに、 L は、支持桁の中心間隔とする。

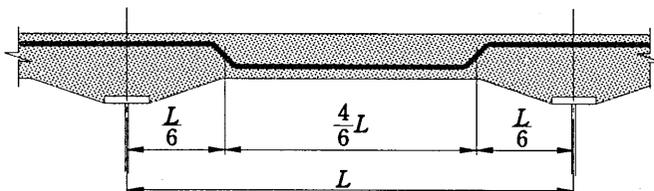


図 6.2 連続版の主鉄筋を折り曲げる位置

(5) 配力鉄筋は、床版の支間方向にその量を変化させて配置してよい。

【解説】 (1) について

鉄筋径については、太径の鉄筋を用いるとひび割れの分散が悪くなったり、一方、極端に細い鉄筋を用いると施工中に曲がったりする。そのため、本条文では、用いてよい鉄筋の最大径と最小径とを示した。ただし、桁端の床版において配筋が困難な場合は、直径22mmの鉄筋を用いてよい。

(2) について

鉄筋の間隔があまり小さいと、コンクリートの施工が、十分に行えないことも予想される。そこで、条文では、鉄筋の最小間隔に関する規定を設けた。また、輪荷重が集中的に作用する床版の場合は、鉄筋間隔をあまり大きくすると、押抜きせん断などに対する強度が低下する。そのため、条文では、鉄筋の最大間隔についても規定した。

(3) について、

設計において考慮したものと逆向きの曲げモーメントが作用するという予期しない場合にも、鉄筋コンクリート床版に、ある程度の抵抗を与える目的から、鉄筋は、圧縮側にも引張側の1/2以上を配置するように規定した。

(4) について

ここでは、連続版の主鉄筋の折り曲げ上げ位置、および折り曲げ上げないで連続して配置すべき鉄筋量を示した。折り曲げ上げ位置は、無限連続ばりの活荷重（輪荷重）による正と負との曲げモーメントの絶対値が等しくなる位置とした。曲げ上げ位置における正の曲げモーメントは、床版の計算によると、支間中央における正の曲げモーメントの80%近い値であるので、支間中央部に配置する引張主鉄筋量の80%以上の鉄筋量を、折り曲げ上げ位置を超えて連続させて配置することとした。また、曲げ上げ位置における負の曲げモーメントは、支点上における負の曲げモーメントの15%程度である。そこで、条文では、支点上に配置する鉄筋量の15%以上を折り曲げ上げないで、連続させて配置すればよいこととした。

(5) について

ここでは、支間内の曲げモーメントの分布に従って、配力鉄筋の間隔を変化させて配置することとした。それに伴い、支点上から支間中央の方へ鉄筋量が、減少することとなる。なお、これらの検討は、単純版について行ったものである。しかし、この考え方は、連続版に対しても適用してもよいこととした。

6. 3 スタッド

6. 3. 1 スタッドの間隔

- (1) スタッドの最大間隔は、版のコンクリートの厚さの3倍とし、60cmを超えないのを原則とする。
- (2) 最小間隔鋼桁方向のスタッドの最小中心間隔は、 $5D_s$ 、または10cmとする。また、鋼桁直角方向のスタッドの最小中心間隔は、 $D_s+3\text{cm}$ とする。ここに、 D_s は、スタッドの軸径である。また、スタッドの幹とフランジ縁との最小純間隔は、2.5cmとする。

【解説】 スタッドの最大間隔、および最小間隔については、道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼構造編の9.5.4、および9.5.5に準拠している。

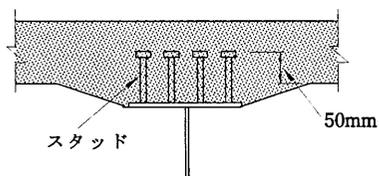
6. 3. 2 スタッドの形状および配置

スタッドの形状，および配置などは，以下に従うものとする。

- (1) スタッドには，頭部のある棒鋼を使用する。スタッドは，鋼桁と全断面で突合せ溶接するのを原則とする。
- (2) スタッドに使用する丸鋼の径は，19mm以上を標準とする。
- (3) スタッドの頭部は，ハンチ部にとどめず，床版の中にあるのを原則とする。
- (4) スタッドは，主桁直角方向に2本以上配置するものとする。
- (5) スタッドは，グループ配置をしてもよい。

【解説】 スタッドの溶接には，普通，電気自動溶植機を用いている。溶接部の試験，および検査については，JIS B 1198（頭付きスタッド）を参考とするのがよい。ところが，スタッドのせん断強度は，実験に基づいたものである。そこで，スタッドには，実験に使用したのと同様なスタッド，すなわち浮き上がり防止のための頭のある棒鋼を鋼桁に突合せ溶接して使用するのを原則とした。

スタッドには，一般に，径19mm，または22mmの丸鋼を使用する。スタッドの頭部は，アンカーとして十分作用するため，解説図 6.2に示すように，ハンチ内で止めず，床版の中に約50mm入れるようにするのがよい。



解説 図 6.2 スタッド頭部の位置

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，（Ⅰ．共通編，Ⅱ．鋼橋編），1996年12月。

第7章 施 工

7. 1 鋼部材および仮組立の精度

鋼部材，および仮組立の精度は，道路橋示方書Ⅱ．鋼橋編の15.3.4によるものとする。

7. 2 コンクリート床版の製作

- (1) 型枠は，所定の強度と剛度とを有すると同時に，完成したプレキャストコンクリート板の形状，および寸法が正確に確保され，十分なコンクリートが得られるように打設できるものでなければならない。
- (2) 打込みの終わったコンクリートの上面は，まず水平に均したあとで，適度な粗面となるように仕上げるのが望ましい。

【解説】 (2) について

舗装との付着を良好ならしめるためには，粗面仕上げをすることが望ましい。しかし，防水層を設ける場合は，防水工の種類に応じて適切な仕上げを行うものとする。

7. 3 現場におけるプレストレスング

橋軸方向へのプレストレスの導入を行うときは，以下の手順に従うものとする。

- (1) プレストレスの導入，および調整の施工に当たっては，適切な方法により導入軸力が設計条件を満足していることを確かめなければならない。
- (2) プレストレスの導入，および調整の際には，あらゆる部材に悪影響を及ぼさないようにしなければならない。

【解説】 (1) について

プレストレスの導入軸力を知る方法には，緊張材に加える力や緊張材の伸びを測定する方法，桁のたわみを計測する方法，あるいは部材のひずみを測定する方法がある。このうち，ひずみの測定には，コンタクトゲージによる方法，あるいは抵抗線ひずみ計による方法などがある。これらの方法を適宜併用して，設計条件を満足していることを，確認するのがよい。

(2) について

一度に全てのプレストレス力を導入すると，局部的に過大な応力を発生させ，部材には，無理な力を生じる恐れがある。そこで，プレストレスを数回に分けて導入し，導入途中において導入量を照査し，確実にプレストレスの調整が行われていることを確かめながら，作業を進める必要があることを，条文で示した。

7. 4 浮上り防止

プレストレスの導入時には、コンクリート床版が鋼桁から浮き上がらないように適切な処置を講ずるものとする。

【解説】 PC鋼材に与える引張力は、一般に、著しく大きい。そこで、万一に備えて、コンクリート床版に浮上り防止装置を、設けるものとする。

7. 5 グラウト

グラウトは、コンクリート標準示方書施工編の28.2.4、および28.6によるものとする。

【解説】 PC鋼材の腐食を防ぐためには、プレストレスの調整が完了したのち、できるだけ早期にグラウト材の注入作業を行うのがよい。ダクトの充填を満足に行うためには、低いところから高いところに向かって徐々にグラウト材が侵入するようにするのが最も有効である。緊張材の相当な長さにとわたる部分が注入口より低いところにある場合は、この箇所にも排気口を兼ねた流出口をできるだけ設けておかなければならない。シースの途中に頂部がある場合には、排気口を兼ねた流出口を設け、この付近にたまったブリージングによる水、または気泡が排出できるようにしておかなければならない。

冬季にグラウトを行う場合は、ダクト周辺の温度を注入前に5℃以上にしておかなければならない。注入時のグラウト温度は、10℃～20℃を標準とする。

7. 6 防水層

合成桁の床版には、防水層を設けるのがよい。

【解説】 鉄筋コンクリート床版は、ひび割れの中に水分が侵入して凍結融解作用を受けると、劣化が著しく早まる傾向にある。また、鉄筋コンクリート床版に水を散布しながら、繰返し載荷試験を行うと、著しく耐久性が短くなるという実験データも示されている。

したがって、合成桁のように主桁作用の一部を兼ねる床版に対しては、防水層を設けるのがよい。

なお、防水層の選定に当たっては、コンクリート表面にひび割れが生じた場合でも防水層が破壊されないような付着性能、および伸び性能を有し、しかも施工性もよく、かつ耐久性のあるものを選択する必要がある¹⁾。

7. 7 設計図に記載すべき事項

設計図には、一般に記載する事項のほか、コンクリートの設計基準強度、設計に用いたヤング係数比、コンクリートの打込みの条件、工事中の荷重、および合成後の死荷重の積載時期など、その他とくに必要な事項を記載するものとする。

【解説】 施工に際しては、合成桁の安全度を確保し、目的に十分に適合したものとすべく心掛けることとする。そのためには、設計者の意図を正確に伝えることを目的として、施工に必要な事項、および将来構造物を維持・管理してゆく上で、必要な事項を明示しておく必要がある。

コンクリートの打込みのための型枠、足場、および打設機械などの重量が過大となると、鋼桁に生じる応力が大きくなり、極端な場合には、鋼桁の横倒れ座屈などによって落橋事故を起こすことも考えられる。合成桁は、本来、コンクリートが硬化した後、剛度が大きくなって安定度が高いものである。しかし、コンクリート打込み時には安定性が悪いので、設計時に考慮したコンクリート打込み時の荷重を、明示しておくものとする。また、型枠は鋼桁で直接支持し、鋼桁も支承部、または、その付近以外の場所でベントなどで支持してはならない。

なお、コンクリートの打込みは、1連を連続して行うのが原則である。ところが、支間が長い場合や、短くてもコンクリートの打設量が多い場合には、打込み手順などとも関連してコンクリート打設に長時間を要する。この場合、すでに打設したコンクリートが、固まり始めることもある。そして、他の部分のコンクリートを打設することにより、コンクリート床版と鋼桁との間にはずれが生じるなどの悪影響が生じることも考えられる。また、部分的にコンクリートを打って十分硬化してから他の部分を打っても、打込み順序を誤ると、想定したものと実際との応力状態が、異なる可能性もある。これらの理由によって、コンクリートの打込み量が多い場合には、施工担当者と打合せを行って、コンクリートの打込み順序を設計図に明記しておくがよい。

コンクリートの打込み順序は、一般に、まず中央部を施工し、たわみを与えておいて、つぎに、両端部を施工すれば、合成桁全体的に及ぼすたわみへの影響が小さい。

合成桁では、コンクリートのクリープによる応力変化を生じせしめる。しかし、その影響は合成後の死荷重の載荷時期により異なるので、種々な規制を行うべき期間を、明示しておくのがよい。その他、コンクリートの有効断面、各種限界状態の照査結果、および、たわみなど必要な事項を、設計図に記載しておくものとする。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鉄筋コンクリート床版防水層設計施工資料，1987年。