

第12章 複合構造物

12.1 総 則

12.1.1 適用範囲

本章は、複合構造物のうち、鋼とコンクリートとの合成構造物の設計に適用するものとし、それらの中で合成げた、鋼とコンクリートとの合成版、鉄骨鉄筋コンクリート構造物、鋼管コンクリート構造物の設計に関する指針を示す。

【解 説】 複合構造物については、鋼構造、コンクリート構造につぐ第三の構造としての位置づけが確立しつつあるが、その定義が必ずしも明確でない面もあるため、文献1)あるいは、文献2)を参考に、ここでは次のように定義する。すなわち、「異種材料の組合せによって部材の断面が構成されている構造物、あるいは各断面は同一材料から成っているが、異種材料から成る部材を組合せた構造物」で、異種材料あるいは異種部材が一体となって挙動することを期待したものである。前者を合成構造物といい、その代表的なものが鋼とコンクリートとの合成構造物である。一方、後者を混合構造物^{2),3)}といい、鋼構造あるいはコンクリート構造から成るけたや塔を組合せて構成した斜張橋や、鉄筋コンクリートの柱と鋼げたを緊結して構成したラーメンなどがこれに相当する。なお、広い意味では、鉄筋コンクリート (RC) 構造や、プレストレストコンクリート (PC) 構造も合成構造の一種ともいえるが、これらは除外して考えるのが一般的である。

グラスファイバー、カーボンファイバー、ファインセラミックス等の非金属系材料や、アルミ合金等の非鉄金属材料を鋼やコンクリートと組合せた複合構造物も考えられるが、現時点では鋼とコンクリートとの複合が主体であり、また、混合構造は新しい概念であって、近年若干の実用化の例は見られるものの、システムとしての設計法の確立等、今後の研究に待たれる所が多い。したがって、本指針では、複合構造物と称されるもののうち、鋼とコンクリートとの合成構造物のみを扱うこととした。

鋼とコンクリートとの合成構造物は、その構造形式により「合成げた(梁)」、「合成柱」、「合成壁」、「合成床版」、「合成シェル」に分類することもできるが²⁾、現時点で実用に供されている主な設計基準類^{4)~11)}の状況や、指針としての使い易さも考慮して、ここでは以下の4項目に分けて記述することとした。

- ① 合成げた
- ② 鋼とコンクリートとの合成版
- ③ 鉄骨鉄筋コンクリート構造物
- ④ 鋼管コンクリート構造物

12.1.2 設計一般

設計においては、構造物の断面および部材が限界状態において所要の機能と安全性を有するよう、適切な方法により限界状態の照査を行うものとする。

【解 説】 鋼とコンクリートとの合成構造物は、他の鋼構造物と異なり同一断面内で鋼材と(鉄筋)コンクリートとを併用した構造であるため、通常の鋼構造物で行う限界状態の照査に加え、コンクリートのひび割れや鋼材とコンクリートとの一体性、あるいはずれ止めや鉄筋の疲労等、この構造に特有の現象に対しても適宜限界状態

の照査を行う必要がある。

鋼とコンクリートとの合成構造物においても、基本的には本指針の1章に定義しているように、限界状態を、①終局限界状態、②使用限界状態、③疲労限界状態の3種類に大別して考えることができるが、既存の設計基準や指針類では、一部のものを除けば、必ずしも前記の3つの限界状態に明確に対応する形で設計法が整理されているわけではないのが実情である。したがって本章においても、限界状態の照査に関しては、この3種類の限界状態ごとに分類して規定することを避け、12.2～12.5で示す各構造物別に、現在用いられている設計法をもとに一般的な形で限界状態の照査方法を示すこととした。

12.2 合成げた

12.2.1 一般

(1) 適用範囲

この節は、合成げたの設計に適用する。

(2) 用語の定義

この節における用語は次のように定義する。

- 1) 合成げた：鋼げたと鉄筋コンクリート床版（以下「版」という）とが一体となって働くように、鋼げたのフランジと版とをずれ止めにより合成したけたをいう。
- 2) 版の有効幅：鋼げたと合成される版において合成げたの断面に算入できる版の幅をいう。
- 3) ヤング係数比：鋼のヤング係数とコンクリートのヤング係数との比をいう。
- 4) 周長率：版の断面における鉄筋の周長の総和と版のコンクリートの断面積との比をいう。
- 5) クリープ係数：クリープとは、持続荷重が作用しているときにコンクリートに生じる現象で、ひずみが時間とともに増加する塑性変形をいい、ここではコンクリートの最終クリープひずみと弾性ひずみとの比をクリープ係数という。
- 6) ずれ止め：版のコンクリートと鋼げたとが一体となって働くように、鋼げたのフランジに設ける結合材をいう。

【解 説】 (1) 本節は土木分野における代表的な鋼とコンクリートとの合成構造物である合成げたの設計に適用する。なお、本節の規定の多くは、道路橋示方書・同解説⁴⁾のⅡ鋼橋編（以下道示Ⅱと呼ぶ）の9章合成げたの規定に準拠して定めた。

合成げたは、単純合成げたと連続合成げたとに大別され、連続合成げたは、プレストレスト導入の有無や床版と鋼げたとの合成方法の違いにより、プレストレスト連続合成げた、部分合成げた、断続合成げた、弾性合成げた、プレストレストしない連続合成げたなどに分類されるが¹²⁾、本節では道示Ⅱの9章の規定にならい、これらの合成げたのうち次の形式を対象とすることとした。

- ① 単純合成げた
- ② プレストレスト連続合成げた
- ③ プレストレストしない連続合成げた

また、活荷重のみに対して合成げたとして作用するものを活荷重合げた、死荷重と活荷重の両方に対して合成げたとして作用するものを死活荷重合げたというが、実際の施工例では、活荷重のみに対して合成げたとして作用する単純活荷重合げたが最も多い。

なお、トラス上弦材にコンクリート床版を合成させた合成げた、軽量骨材コンクリートを床版に用いた合成げた、プレキャストコンクリート床版を用いた合成げたについては本節の対象外とするが、参考として本節を準用してもよいものとした。




(2) 道示Ⅱ9.1.2の規定に準拠して定めた。

12.2.2 合成げたの設計計算に関する一般事項

(1) 版の合成作用の取扱い

- 1) 合成げたの断面強度を算出する場合、版の合成作用の取扱いは表12.1に示すとおりとする。
- 2) 合成げたの弾性変形および不静定力を算出する場合は、表12.1によらず版のコンクリートの合成作用を考慮するものとする。

表12.1 版の合成作用の取扱い

曲げモーメントの種類	合成作用の取扱い		適用
正	版のコンクリートをけたの断面に算入する		
負	引張応力を受ける版において、コンクリートの断面を考慮する設計を行う場合	版のコンクリートをけたの断面に算入する	
	引張応力を受ける版において、コンクリートの断面を無視する設計を行う場合	版のコンクリートの中の鋼げた方向鉄筋をけたの断面に算入してよい	

(2) 版のコンクリートの材令28日での圧縮試験強度の保証値

版のコンクリートの材令28日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} は 270 kgf/cm^2 以上を標準とする。ただし、版にプレストレスをあたえる場合は 300 kgf/cm^2 以上とすることを原則とする。

(3) 鋼材と版のコンクリートとのヤング係数比

- 1) 鋼材のヤング係数は $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ とする。
- 2) 合成げたとしての弾性変形、不静定力および断面強度を算出する場合の鋼材と版のコンクリートとのヤング係数比 n は7を標準とする。
- 3) 床版としての断面強度を算出する場合の鋼材とコンクリートとのヤング係数比 n は15を用いるものとする。

(4) 引張応力を受ける版の鋼げた方向鉄筋量および配筋

- 1) 引張応力を受ける版の最小鉄筋量は次の規定によるものとする。
 - a) 引張応力を受ける版において、コンクリート断面を考慮する設計を行う場合の版の鋼げた方向最小鉄筋量は式(12.1)によるものとする。

$$A_s = \nu \cdot \frac{T}{\sigma_{su}} \dots \dots \dots (12.1)$$

ここに、 ν ：6章の安全率

A_s ：けた方向鉄筋断面積 (cm^2)

T : 版に作用する全引張力 (kgf)

σ_{su} : 表 12.2 に示す鉄筋の設計強度 (kgf/cm²)

表 12.2 版としての設計に用いる鉄筋の設計強度

(kgf/cm ²)	
鉄筋の種類	引張強度
SD 30	2 400
SD 35	2 400

b) 引張応力を受ける版においてコンクリート断面を無視する設計を行う場合の版の鋼げた方向最小鉄筋量は、コンクリート断面積の 2% とする。この場合、周長率は 0.045 cm/cm² 以上とするのがよい。なお、床版のために配置された鉄筋を鋼げた方向鉄筋の一部として考慮してもよい。

2) 鉄筋は死荷重による曲げモーメントの符号が変化する点をこえて版のコンクリートの圧縮側に定着するものとする。

(5) 版の有効幅

版の有効幅は 11.3 の規定によるものとする。ただし、同規定中の λ および b は図 12.1 に示すとおりとし、この場合の水平に対するハンチの傾斜は 45° として取り扱うものとする。

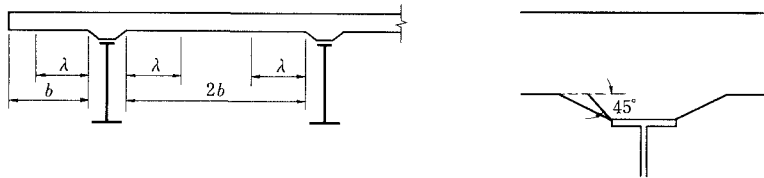


図 12.1 λ と b のとりかたおよびハンチの傾斜の取扱い

(6) 合成げた作用と床版作用との重ね合せ

1) 版は次の二つの作用に対して、それぞれ安全であることを照査するものとする。

a) 床版としての作用

b) 合成げたの断面の一部としての作用

2) 版は 1) に示した二つの作用を同時に考慮した場合に対して安全であることを照査するものとする。この場合、それぞれの作用に対して版が最も不利になる載荷状態について応力を算出し、その合計に対して照査してよい。ただし、合成げた作用によって正の曲げモーメントを受ける部分のけた方向鉄筋の応力については、二つの作用の重ね合せを考慮しなくてもよい。

(7) 版のコンクリートのクリープ

合成断面としての版のコンクリートに持続荷重が作用する場合、版のコンクリートのクリープによる応力の算出に用いるクリープ係数 ϕ_1 は 2.0 を標準とする。

(8) 版のコンクリートと鋼げたとの温度差

1) 版のコンクリートと鋼げたとの温度差は 10°C を標準とし、著しい温度差が生じる場合

は、別に考慮するものとする。

- 2) 温度分布は鋼げたおよび版のコンクリートにおいてそれぞれ一様とする。
- 3) 版のコンクリートと鋼材の線膨張係数 α はいずれも $12 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ とする。

(9) 版のコンクリートの乾燥収縮

版のコンクリートの乾燥収縮による応力の算出に用いる最終収縮度 ϵ_s は 20×10^{-5} を標準とし、また、クリープ係数 ϕ_2 は $\phi_2 = 2 \phi_1 = 4.0$ を標準とする。

【解説】 道示Ⅱ9.1.3, 9.2.1~9.2.8の規定に準拠して定めた。

(1) 1) 一般に、合成げたにおいて負の曲げモーメントが発生した場合、版は引張応力をうけることとなる。この場合、プレストレスト連続合成げたにおいては、正の曲げモーメントをうける場合と同様、版のコンクリートをけたの断面に算入してよい。一方、プレストレストしない連続合成げたにおいては、版のコンクリートは無視するが、その中のけた方向鉄筋をけた断面に算入することとする¹²⁾。

(3) 2) コンクリートのヤング係数は、その圧縮強度により変化することが知られている。たとえば、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編やコンクリート標準示方書〔設計編〕¹³⁾では、それぞれ解説表12.1、解説表12.2のように定められている。しかし、通常、合成げたの版に使用されるコンクリートの強度の範囲 ($\sigma_{ck} = 270 \sim 350 \text{ kgf/cm}^2$ 程度)ではヤング係数の差は小さいため、合成げたの弾性変形、不静定力および断面強度を算出する場合の標準の値としては、鋼材とコンクリートとのヤング係数比 $n=7$ としてよいこととした。

解説表12.1 コンクリートのヤング係数 (道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編における規定)

材令28日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} (kgf/cm ²)	210	240	270	300	400	500
ヤング係数 E_c (kgf/cm ²)	2.6×10^5	2.7×10^5	2.85×10^5	3.0×10^5	3.5×10^5	4.0×10^5

解説表12.2 普通コンクリートのヤング係数 (コンクリート標準示方書〔設計編〕における規定)

材令28日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} (kgf/cm ²)	180	240	300	400	500	600
ヤング係数 E_c (kgf/cm ²)	2.2×10^5	2.5×10^5	2.8×10^5	3.1×10^5	3.3×10^5	3.5×10^5

(3) 3) 床版として鉄筋コンクリート部材の設計を行う場合は、道示Ⅱ6.1.2の規定に準じて、 $n=15$ を用いるものとする。

(4) 引張応力をうける版は、破損の原因となるような有害なひび割れの発生を防ぐよう、鉄筋の照査を行う必要がある。したがって鉄筋の引張強度の標準値としては、本指針の5章の規定にかかわらず、鉄筋コンクリート床版設計用の値としてとくに道示Ⅱ6.1.7に定められている値を参考に表12.2の規定を定めた。

なお、道示6.1.7に定められている値は、同条項の解説に表-解6.1.1と示されている「疲労強度から定まる鉄筋の許容引張応力度」を上回らない値となっている。したがって、本項に示す値を用いれば、一応、鉄筋の疲労に対する安全性も確保されていると考えてよい。

(5) 本指針の11.3に示されている式(11.1)および式(11.2)によるものとする。

(8) 合成げたの床版コンクリートと鋼げたとの温度差は 10°C をとることを標準とした。

しかし、設計に用いる温度変化の範囲は、構造物の形式、立地条件、材料の性質、および温度変化の影響と組合せる他の荷重の種類や強度によっては必ずしも一律に定める必要はない。したがってこれらの諸条件についてとくに検討を行った場合は、実情に応じ別途、適切な温度変化の範囲を定めてもよい。

12.2.3 コンクリートおよび鋼材の強度

(1) 版のコンクリートの圧縮強度

版のコンクリートの圧縮強度は $\frac{\sigma_{ck}}{2}$ 、かつ、170 kgf/cm² 以下とすることを標準とする。

(2) 版のコンクリートの引張強度

引張応力を受ける版においてコンクリートの断面を有効とする設計を行う場合は、版のコンクリートの引張強度は表 12.3 に示す値を標準とする。

表 12.3 版のコンクリートの引張強度

荷重の組合せ	引張強度 (kgf/cm ²)	
主荷重	版の上・下縁	$\sigma_{ck}/9$ かつ 45 以下
	版厚中心	$\sigma_{ck}/15$ かつ 25 以下
活荷重と衝撃を除く主荷重	0	
主荷重+版のコンクリートと鋼げたとの温度差	版の上・下縁	$\sigma_{ck}/9$ かつ 45 以下
	版厚中心	$\sigma_{ck}/15$ かつ 25 以下
施工時荷重	$\sigma_{ck}/25$ かつ 17 以下	

(3) 版の鉄筋の強度

版の鉄筋の引張強度は表 12.2 に示す値を、また、圧縮強度は表 12.4 に示す値をそれぞれ標準とする。ただし、12.2.2(6)の規定により合成げた断面の一部としての作用と床版としての作用とを同時に考慮する場合は、安全率を 20% 低減してよい。

表 12.4 版の鉄筋の圧縮強度

鉄筋の種類	圧縮強度 (kgf/cm ²)
SD 30	3 000
SD 35	3 400

(4) 鋼げたの強度

鋼げたの強度は 5 章の規定によるものとする。

【解説】 (1) 道示Ⅱ9.3.1(1)の規定を参考に定めた。すなわち、同規定に示されている版のコンクリートの許容圧縮応力度の基本値を、本指針 5.3 の解説に示されていると同様、1.7 倍して定めたものである。

(2) 道示Ⅱ9.3.1(2)には、荷重の組合せ別に版のコンクリートの許容引張応力度が定められている。表 12.3 の値は、本項(1)の場合と同様、本指針の他章との整合性を保つため、この値を一律に 1.7 倍して引張強度として定めたものである。

(3) 表 12.4 の値は道示Ⅱ6.1.7 に示されている鉄筋の許容圧縮応力度の値を参考に定めたものである。

12.2.4 安全率

合成げたの設計にあたって考慮する安全率は、類似の構造物に関する設計基準に定めがある場合はそれに準拠し、ない場合には責任技術者の判断によることとする。

【解説】 具体的には、道示Ⅱの 9.3.1 に、合成げたの設計に適用する鋼げたおよび版のコンクリートの許容

応力度の割増し率が荷重の組合せ別に定められている。この割増し率を安全率の低減と解釈すれば解説表12.3～12.5に示すような安全率が得られ、実際の設計においてはこれらの値を用いてよい。

解説表 12.3 鋼げたの安全率

	荷重の組合せ	正の曲げモーメントを受ける部分	負の曲げモーメントを受ける部分
1	クリープの影響と乾燥収縮の影響を除く主荷重	1.7	1.7
2	主荷重	圧縮縁	1.7
		引張縁	1.7
3	主荷重+床版と鋼げたの温度差	圧縮縁	1.5
		引張縁	1.5
4	施工時荷重	圧縮縁	1.4
		引張縁	1.4

解説表 12.4 版のコンクリートの安全率（圧縮の場合）

	荷重の組合せ		安全率
1	主荷重	1) 床版としての作用	1.7
		2) 合成げたの断面の一部としての作用	
		3) 1)と2)を同時に考慮した場合	
2	主荷重+版のコンクリートと鋼げたとの温度差		1.5
3	プレストレス導入直後		1.4

解説表 12.5 版のコンクリートの安全率（引張の場合）

	荷重の組合せ		安全率
1	主荷重	版の上・下縁	1.7
		版厚中心	
2	主荷重+版のコンクリートと鋼げたとの温度差		1.5
3	施工時荷重		1.7

12.2.5 限界状態の照査

(1) 合成断面の限界状態の照査

合成げたは、合成断面について曲げモーメントおよび曲げに伴うせん断力に対し適切な方法で限界状態の照査を行うものとする。

(2) 版の限界状態の照査

版については、鉄筋コンクリート部材として適切な方法により限界状態の照査を行うものとする。

【解 説】 合成げたにおける合成断面の計算は、一般に、版のコンクリートをその1/nの面積を有する鋼断面に換算することにより、鋼のみから構成される断面と仮定して行うことができ（一般にけた方向の鉄筋断面積は無視する）、限界状態の照査についても本指針の7.2.2～7.2.6に示される規定に準じて行うことができる。たとえば、正の曲げモーメントをうける単純活荷重合成げたにおいて、荷重として合成前死荷重と合成後死荷重および活荷重のみを考慮した場合、曲げモーメントに対しては次の各式で照査できる。

$$\text{鋼げたの引張縁に対して } \nu \cdot \left(\frac{M_{za1}}{M_{tuzs}} + \frac{M_{za2} + M_{z1}}{M_{tuzv}} \right) \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.1})$$

鋼げたの圧縮縁に対して $\nu \cdot \left(\frac{M_{zd1}}{M_{cuzs}} + \frac{M_{zd2} + M_{z1}}{M_{cuzv}} \right) \leq 1 \dots\dots\dots (解 12.2)$

版のコンクリートの上縁に対して $\nu \cdot \frac{M_{z1}}{M'_{cuzv}} \leq 1 \dots\dots\dots (解 12.3)$

ただし、 M_{zd1} ：合成前死荷重により鋼げたの強軸まわりに作用する曲げモーメント (kgf・cm)

M_{zd2} ：合成後死荷重により合成断面の強軸まわりに作用する曲げモーメント (kgf・cm)

M_{z1} ：活荷重により合成断面の強軸まわりに作用する曲げモーメント (kgf・cm)

M_{tuzs} ：鋼げた断面の引張側における終局曲げモーメントで次式により算出する。

$$M_{tuzs} = \frac{I_{zz}}{z_{ts}} \sigma_{tu} \text{ (kgf・cm)}$$

I_{zz} ：鋼げた断面の強軸まわりの断面二次モーメント (cm⁴)

z_{ts} ：鋼げた断面の中立軸から鋼げたの引張縁までの距離 (cm)

σ_{tu} ：式 (5.1) に示す軸方向引張強度 (kgf/cm²)

M_{cuzs} ：鋼げた断面の圧縮側における終局曲げモーメントで次式により算出する。

$$M_{cuzs} = \frac{I_{zz}}{z_{cs}} \sigma_{bugz} \text{ (kgf・cm)}$$

z_{cs} ：鋼げた断面の中立軸から鋼げたの圧縮縁までの距離 (cm)

σ_{bugz} ：式 (5.3) に示す局部座屈を考慮しない強軸まわりの曲げ圧縮強度 (kgf/cm²)

M_{tuzv} ：合成断面の引張側における終局曲げモーメントで次式により算出する。

$$M_{tuzv} = \frac{I_{vv}}{z_{tv}} \sigma_{tu} \text{ (kgf・cm)}$$

I_{vv} ：合成断面の強軸まわりの断面二次モーメント (cm⁴)

z_{tv} ：合成断面の中立軸から鋼げたの引張縁までの距離 (cm)

M_{cuzv} ：合成断面の圧縮側 (鋼げた部) における終局曲げモーメントで次式により算出する。

$$M_{cuzv} = \frac{I_{vv}}{z_{cv}} \sigma_{bugz} \text{ (kgf・cm)}$$

z_{cv} ：合成断面の中立軸から鋼げたの圧縮縁までの距離 (cm)

M'_{cuzv} ：合成断面の圧縮側 (版のコンクリート部) における終局曲げモーメントで次式により算出する。

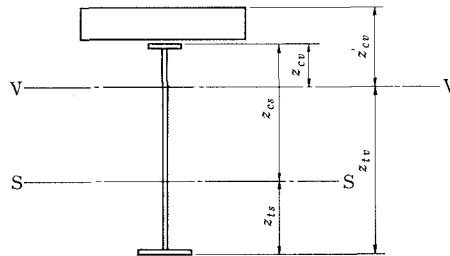
$$M'_{cuzv} = \frac{I_{vv}}{z'_{cv}} \sigma_{cu} \text{ (kgf・cm)}$$

z'_{cv} ：合成断面の中立軸から版の上縁までの距離 (cm)

σ_{cu} ：12.2.3 に規定するコンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

ν ：12.2.4 の解説に示す安全率

なお、上記の各記号のうち、 z_{ts} 、 z_{cs} 、 z_{tv} 、 z_{cv} 、 z'_{cv} の関係を解説図 12.1 に示す。



S-S：鋼げた断面の中立軸

V-V：合成断面の中立軸

解説 図 12.1 合成げたにおける合成断面の諸記号

版のコンクリートの乾燥収縮や版のコンクリートと鋼げたとの温度差を考慮する場合は、死荷重や活荷重による曲げモーメントの他に、合成断面には軸方向圧縮力とそれに伴う曲げモーメントが作用することになる。この場合は7.2.3の規定に準じて上記と同様の照査を行うことができる。

曲げモーメントによるせん断力に対しても、鋼げた断面の終局せん断力と、合成断面の終局せん断力とを求めることにより、曲げモーメントに対する場合と同様に照査を行うことができる。

(2) たとえば、道示Ⅱでは、6.1において鉄筋コンクリート床版の設計に関する諸原則が定められており、合成げたの版もこれらに基づき鉄筋コンクリート部材として限界状態の照査を行うことができる。

12.2.6 ずれ止め

(1) ずれ止めの種類

ずれ止めは1) スタッド、2) みぞ形と輪形筋とを併用したもの、3) ブロックと輪形筋とを併用したものの3種類を標準とする。

(2) 版のコンクリートの乾燥収縮および版のコンクリートと鋼げたとの温度差により生じるせん断力

- 1) 版のコンクリートの乾燥収縮および版のコンクリートと鋼げたとの温度差により生じるせん断力は、版の自由端部において、主げた間隔（主げた間隔が $L/10$ より大きいときは $L/10$ をとる。ただし L については図12.2参照）の範囲に設けるずれ止めで負担させるものとする。
- 2) ずれ止めの設計にあたっては、図12.2に示すように、せん断力の全部が支点上で最大となる三角形に分布するものとしてよい。

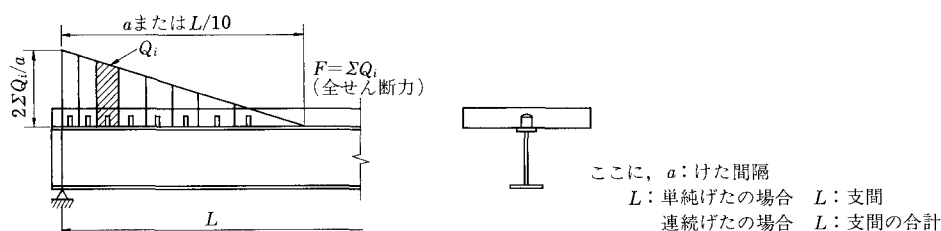


図12.2 せん断力の分布

(3) ずれ止めの最大間隔

ずれ止めの最大間隔は、版のコンクリートの厚さの3倍とし、60 cm をこえないことを原則とする。

(4) ずれ止めの最小間隔

1) スタッドの場合

鋼げた方向の最小中心間隔は $5d$ または 10 cm とし、鋼げた直角方向の最小中心間隔は $d+3.0\text{ cm}$ とする。ここに、 d 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 2.5 cm とする。

2) ブロックあるいはみぞ形と輪形筋との併用の場合

鋼げた方向の最小中心間隔は次のとおりとする。

$w \geq h$ の場合: $3.5w$

$w < h$ の場合： $3.5h$

ここに、 w ：ブロックあるいはみぞ形の幅の1/2 (cm)

h ：ブロックあるいはみぞ形の高さ (cm)

(5) ずれ止めのせん断強度

ずれ止めのせん断強度は式 (12.2) または式 (12.3) で算出するものとし、版のコンクリートと鋼げたのフランジ間の付着力は無視するものとする。

1) スタッドの場合

$$\left. \begin{aligned} Q_u &= 50 d^2 \sqrt{\sigma_{ck}} & (H/d \geq 5.5) \\ Q_u &= 9.5 dH \sqrt{\sigma_{ck}} & (H/d < 5.5) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12.2)$$

2) ブロックあるいはみぞ形と輪形筋との併用の場合

$$Q_u = \sigma_1 A_1 + \mu \sigma_{su} A_2 \dots\dots\dots (12.3)$$

ここに、 Q_u ：ずれ止めのせん断強度 (kgf/本)

A_1 ：ずれ止めの前面積 (cm²)

A_2 ：ずれ止めと協働する輪形筋の断面積 (cm²)

H ：スタッドの全高で、15 cm 程度を標準とする (cm)

d ：スタッドの軸径 (cm)

μ ： $\theta = 45^\circ$ のとき 0.7、 $\theta = 90^\circ$ のとき 0 (図 12.3 参照)

σ_{su} ：5章 表 5.12 に規定する鉄筋の引張強度 (kgf/cm²)

σ_1 ：版のコンクリートの支圧強度 (kgf/cm²) で、

$$\sigma_1 = \left(0.45 + 0.085 \frac{A}{A_1} \right) \sigma_{ck} \leq 0.85 \sigma_{ck}$$

σ_{ck} ：版のコンクリートの材令 28 日での圧縮試験強度の保証値 (kgf/cm²)

$A = b_0 h_0$

b_0 ：ハンチの最小幅 (cm)

h_0 ：鋼げたの上フランジ上面より版の上面までの距離 (cm)

ただし、輪形筋の鋼種は SR 24 とし、輪形の直径は鉄筋の直径の 15 倍以上、かぶりは、鉄筋径の 2 倍以上とする。

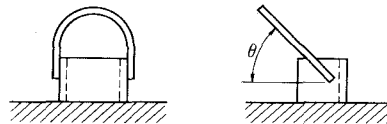


図 12.3 輪形筋の角度 θ

(6) 中間支点付近のずれ止め

ずれ止めの設計は、着目点における曲げモーメントの符号にかかわらず版のコンクリートの断面を有効として行うものとする。

(7) スタッド

1) 合成げたに用いるスタッドは、軸径 13 mm、16 mm、19 mm および 22 mm のものを標

準とする。

- 2) スタッ드의材質、種類、形状、寸法およびその許容差については、JIS B 1198「頭付きスタッド」を標準とする。

(8) ずれ止めの限界状態の照査

- 1) ずれ止めは、各種荷重の組合せによる鋼げたと版のコンクリートとの間のせん断力が最大となる場合について、限界状態の照査を行うものとする。
- 2) この場合、どの荷重の組合せに対しても安全率は1.7とする。

【解 説】 道示Ⅱ9.5.1～9.5.7および9.5.9の規定を参考に、(1)～(8)の規定を定めた。

(8) せん断力に対しては次式により照査を行う。

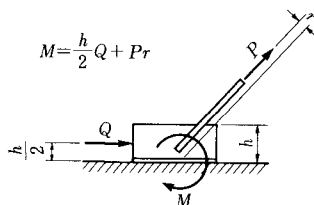
$$\nu \frac{Q}{Q_u} \leq 1 \dots\dots\dots (解 12.4)$$

ここに、 Q ：ずれ止めに作用するけた方向のせん断力 (kgf/本)

Q_u ：本項(5)に規定するせん断強度 (kgf/本)

ν ：安全率=1.7

ずれ止めの設計に用いる各種荷重と、その組合せについてはたとえば道示9.5.2に詳しく述べられている。また、ずれ止めとしてブロックあるいはみぞ形と輪形筋とを併用したものをを用いる場合は、ずれ止めにはせん断力の他に曲げモーメントが作用することとなるため、このことを考慮して設計を行う必要がある(解説 図12.2参照)。



解説 図12.2 ずれ止めに曲げモーメントが作用する場合⁴⁾

12.2.7 版の設計

(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、版に生じるせん断力と主引張応力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16 mm以上とし、版の中立面付近に15 cm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けた方向、けた直角方向ともにけた間隔の1/2以上を標準とする。

(2) 構造目地

版のコンクリートには構造目地を設けないものとする。

(3) 合成作用を与えるときの版のコンクリートの圧縮強度

版のコンクリートに合成作用を与える時期は、版のコンクリートの圧縮強度が材令28日での

圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} の 80 % 以上に達した時期以降とすることを原則とする。

【解 説】 合成げたの版特有の事項についてのみ規定したもので、道示Ⅱ9.4.2～9.4.4の規定を参考に定めた。この項に規定されていない事項については、通常の鉄筋コンクリート床版の設計に関する他の示方書、指針等に準じて設計を行うものとする。

12.2.8 鋼げたのフランジ厚さ

ずれ止めを設ける鋼げたのフランジの板厚は、表 12.5 に示す値以上を標準とする。

表 12.5 ずれ止めを設ける鋼げたのフランジの板厚

ずれ止めの種類	フランジの板厚 (mm)
1. スタッド	10
2. ブロックあるいはみぞ形と輪形筋との併用	12 およびすみ肉溶接のサイズ

【解 説】 道示Ⅱ9.6の規定に準じて定めた。

なお、鋼げたのその他の構造細目については、必要に応じ適宜、本指針の7章、8章、9章、11章の関連規定に準ずるものとする。

12.2.9 そ り

鋼げたにはそりを付けることを原則とする。

【解 説】 道示Ⅱ9.7の規定に準拠して定めた。

12.2.10 た わ み

合成げたのたわみは、合成げたとしての実挙動に基づいて算定し、その値は構造的な障害、使用上の障害を起こさない限度におさえるものとする。

【解 説】 各種合成構造設計指針・同解説⁶⁾の7.1の規定を参考に定めた。なお、具体的には、たとえば本指針の7章(解説表7.1)において、道示Ⅱで規定されているたわみの限界値が紹介されており、参考にされたい。

12.2.11 疲労に対する検討

繰返し荷重の影響が著しい場合は、必要に応じ適切な方法により疲労に対する検討を行うものとする。

【解 説】 合成げたの設計において疲労に対する検討が必要と考えられる場合、鋼げた部については、本指針の7.6に示されている鋼構造物の部材および連結部一般に対する疲労限界状態の照査方法に準じて行うことができる。

合成げた特有の問題で代表的なものとしては、版の鉄筋の疲労と、ずれ止めおよびずれ止め溶接部の疲労が挙げられる。このうち、版の鉄筋の疲労については、本指針12.2の解説にも述べたように、表12.2に示す値を用いて断面の照査を行えば、一応その安全性は確保されていると考えてよい。後者の問題についても、現行の荷重

体系や規定に従いかつ良好な施工を行う限り、静的強度に基づいて設計した結果は、疲労に対しても概ね安全な結果を与えると考えられる（詳しくは参考文献5）の第8章「ずれ止め」や参考文献12）を参照のこと）が、繰返し荷重の影響が著しい場合には、必要に応じ適切な方法によって疲労に対する照査を行うものとする。

ずれ止めやずれ止め溶接部の疲労に関する照査方法については、参考文献5）の第8章において、スタッドの許容せん断耐荷力がせん断応力の変動範囲をもとに疲労を考慮して定められている以外、現行の国内設計基準類で明確に定められているものはないが、すでに疲労設計法が整備されている外国の基準には、具体的な規定として定められているものがあるので、適宜それらを参考にするとよい。

たとえば、BS 5400^{(4),(15)}で規定されているずれ止めの設計法では、まずPart 5⁽⁴⁾に従って使用限界状態を満足するよう設計した後、Part 10⁽¹⁵⁾に規定される疲労一般に関する条項に従って、その溶接部や溶接部近傍の母材について疲労の照査を行うものとしている。

一方、AASHTOの道路橋標準示方書⁽⁶⁾では、ずれ止めはまず疲労に対し設計することとされており、水平方向許容せん断力を応力発生頻度に従い低減することが明示されている。なお、この疲労設計で与えられた結果は、さらに終局強度に関し照査することが定められている。また、同示方書では、繰返し荷重を受ける場合の素材、ビルトアップ部材、継手部に関する一般規定として、許容疲労応力度が応力カテゴリーと応力発生頻度に応じて定められているが、スタッド溶着部についてはこの規定が適用されることが示されている。

解説表12.6は、以上に述べたBS 5400およびAASHTOの道路橋標準示方書における合成版たのずれ止めに関する疲労照査規定の概略をまとめたものである。

解説表12.6 外国基準における合成版たのずれ止めに関する疲労照査規定の例

基準名	ずれ止めに関する疲労照査規定	備考
BS 5400	PART 5 に従い使用限界状態を満足するよう設計した後、溶接部や溶接部近傍の母材について、PART 10 に従い疲労の照査を行う。	疲労照査法として以下の3つの方法が示されている。 (1) 簡易法-1……120年寿命に対する最大応力変動幅の照査 (2) 簡易法-2……設計寿命に対する期待寿命(年数)の計算による照査 (3) マイナー則による照査
AASHTO 道路橋標準示方書 ^(注)	<ul style="list-style-type: none"> まず、疲労を考慮した許容せん断力を用いて設計し、この結果をさらに終局強度に関し照査する。 スタッド溶接部については、素材、ビルトアップ部材、継手部に関する一般規定としての許容疲労応力度が適用される。 	<ul style="list-style-type: none"> 疲労に対し、ずれ止めの水平方向許容せん断力を応力発生頻度に従い低減。 素材、ビルトアップ部材、継手部の許容疲労応力度を応力カテゴリーと応力発生頻度に応じて規定。

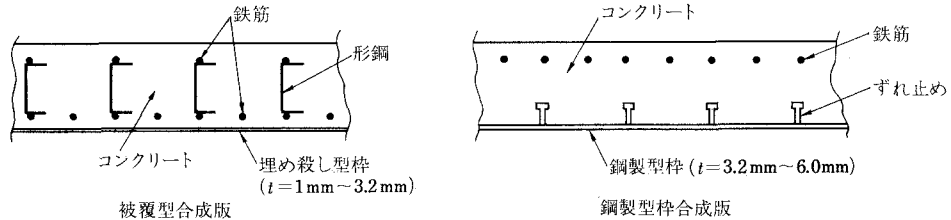
注) 同示方書では、合成版の版に関し、負モーメント域の軸方向鉄筋に対しても疲労設計の規定が示されている。

12.3 鋼とコンクリートとの合成版

12.3.1 適用範囲

この節は、鋼とコンクリートとの合成版の設計に適用する。

【解説】 本節で対象とする合成版は、厚さ1mmから3.2mm程度で製作された亜鉛鉄板等の埋め殺し型枠に形鋼を取り付け、版コンクリート重量を形鋼で支持する被覆型合成版と、厚さ3.2mmから6mm程度の鋼製型枠にずれ止めを配置し、これと鉄筋コンクリート版または形鋼で補強された鉄筋コンクリート版とを合成させる鋼製型枠合成版とする(解説図12.3参照)。合成版を鋼げたと連成させて合成版たの版として照査する場合は、強度部材となる形鋼や鋼製型枠を適宜有効断面として算入し、12.2の規定を準用することができる。



解説 図 12.3 鋼とコンクリートとの合成版の主鉄筋方向断面例

12.3.2 材 料

(1) コンクリート

コンクリートの材令 28 日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} は 240 kgf/cm^2 以上を標準とする。

(2) 鉄 筋

鉄筋は JIS G 3112 に適合するもののうち、熱間圧延異形棒鋼を用いるものとする。

(3) 構造用鋼材

構造用鋼材は JIS G 3101 に適合するもののうち、SS 41 を原則として用いるものとする。

【解 説】 (1) 材令 28 日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} の値は合成版の種類によってばらつきが大きい。ここでは低強度のコンクリートの使用を考えて、 240 kgf/cm^2 をその下限値として採用した。

(2) 既存の設計例において共通に使用されている鉄筋であり、コンクリートと鉄筋との付着強度を期待するために用いる鉄筋である。

(3) 鋼とコンクリートとの合成版では、一般に疲労またはひび割れを一つの限界状態と見なすことが多いので、鋼に関しては高材質の鋼材を用いて設計する必要性は少ない。そのことを条文で明示した。

12.3.3 設計一般

設計にあたっては次の点に留意するものとする。

(1) 合成版の最小版厚は、コンクリートの硬化後に作用するせん断力や支圧力に十分抵抗できるような版厚としなければならない。

(2) 被覆型合成版の場合、形鋼は主鉄筋方向に配置するのを原則とする。

(3) 鋼製型枠合成版の場合、型枠の最小版厚は 3.2 mm を標準とする。

(4) 鋼製型枠合成版の場合のずれ止めは、スタッド、ボルト、形鋼、棒鋼、鋼板などを用いるものとし、型枠とコンクリートの間の合成効果が十分確保できるように設計するものとする。

(5) 変位および断面力を計算するための鋼とコンクリートとのヤング係数比 n は 15 を標準とする。

(6) 型枠の重量、形鋼の重量、鉄筋の重量およびまだ硬化しないコンクリートの重量は、被覆型合成版の場合には形鋼および形鋼に直接取り付けられた主鉄筋とで負担するものとし、鋼製型枠合成版の場合には鋼製型枠とそれに直接とりつけられた形鋼と鉄筋とで負担するのを原則とする。コンクリート硬化後に載荷される荷重は引張側コンクリートを除く全断面で抵抗させるものとするが、鋼製型枠とコンクリートとの間で十分な合成効果が得られない場合には、抵抗断面

から鋼製型枠を除くことを標準とする。また被覆型合成版に対しては、いずれの場合においても、鋼製型枠には強度を負担させないことを原則とする。

(7) 支圧を受ける部分に対しては、形鋼や鉄筋などで補強し、安全な構造とするのを原則とする。

(8) 鋼製型枠には腐食に対する十分な配慮を行うものとする。

【解 説】 (1) 従来の設計例を参照すると、版の最小厚は14 cm程度となっている。

(2) 文献17)を参考に定めた。形鋼は応力方向に配置するのが、有効かつ経済的である。

(3) 文献19)の設計例に準拠して定めた。強度部材としては最小と考えられる板厚である。

(4) ずれ止めの設計について限界状態設計法に基づく明確な指針を与えている基準としてはBS 5400, Part 5 (1979)¹⁴⁾およびCP 117, Part 2 (1967)²¹⁾などがあげられる。

(5) 鋼とコンクリートとのヤング係数は σ_{ck} によって異なるのが一般的であるが、ここではとりあえず既存の文献にならって定めた。文献19)では、版として正の曲げモーメントを受ける場合には $n=7$ を用い、負の曲げモーメントを受ける場合には $n=15$ を用いることとしている。なお、合成げたの版として断面を照査する場合には $n=7$ を用いてよい。

(6) 文献18)では形鋼が断面中央部に配置されるため、コンクリート硬化前の曲げモーメントは鉄筋だけに、せん断力は溝形鋼だけに負担させている。

また、コンクリートの硬化後においては、溝形鋼には荷重を負担させていない。

(7) 支圧を受ける部位には局部的に大きな応力が発生すると考えられる。したがって支圧力を分散させると同時に、発生する応力に対しては十分安全な構造形式をとるのが望ましい。

(8) 雨水の浸透による鋼製型枠の腐食を防止するために設けられた規定である。

12.3.4 断面力の算出

版に作用する断面力は、コンクリートがまだ硬化しないときの作用荷重と、コンクリートの硬化後の作用荷重との二つの場合について算出するのを原則とする。ただし、プレキャスト合成版については原則として後者の作用荷重に対してのみ検討すればよいものとする。

【解 説】 版を設計する際に考慮する断面力は、コンクリートがまだ硬化しない場合には、せん断力および曲げモーメントであり、硬化後は曲げモーメントのみとし、せん断力に対しては特に照査する必要はない。これは12.3.3の(1)で決定される版厚のせん断耐力が通常の荷重条件のもとでは十分確保されると考えられることによる。

また、コンクリートの硬化前の断面力は格子構造モデルを用いて算出でき、コンクリート硬化後の断面力は表示Ⅱ6.1.4の鉄筋コンクリート床版に対する算出法に準拠して求めることができる。

12.3.5 限界状態の照査

(1) コンクリートの硬化前の断面力に対しては、終局限界状態を照査するのを原則とする。

(2) コンクリートの硬化後に作用する繰返し荷重に対しては、適切な方法を用いて疲労に対する限界状態を照査するのを原則とする。

(3) コンクリートの硬化後に作用する荷重に対しては、終局限界状態の照査とたわみに対す

る照査を行うのを原則とする。

この場合、コンクリート硬化前の断面力を同時に受ける版の構成要素に対しては、コンクリートの硬化前に発生する応力をたし合わせた応力について限界状態を照査するものとする。

(4) コンクリートのひびわれに対しては、適切な方法で安全性を照査するのを原則とする。

【解説】 (1) コンクリートの硬化前においては、コンクリートの強度が期待できないために、形鋼および鉄筋等で構成される鋼構造が作用荷重に対して安全でなければならない。したがって、コンクリートの硬化前においては、5章の材料の強度を用い、6章および7章により限界状態の照査を行うものとする。

(2),(3),(4) コンクリート硬化後において、限界状態は既存の文献において必ずしも明確ではない。これは照査すべき版が、鋼、鉄筋およびコンクリートと異なる材料特性をもつ要素から構成されているため、限界状態を特定しにくいことに起因するためと考えられる。したがって、ここでは版の構成要素の限界状態とその安全率とを評価しないものとする。なお、参考値として解説表12.7に既存の文献で示されている許容応力度を列挙する。解説表12.7の許容応力度を設計強度と安全率とに分け、設計強度を示すこともできる。

解説表12.7 各種床版の比較

	コンクリートの許容応力度	鉄筋の許容応力度	形鋼の許容応力度	鋼製型枠の許容応力度
1形鋼格子版 ¹⁷⁾	$\sigma_{ck}/3.5$ かつ 100 kgf/cm ² 以下	引張圧縮とも 1400 kgf/cm ² (ひびわれ)	1200 kgf/cm ² (コンクリート硬化後の 活荷重に対する疲労) 1400 kgf/cm ² (コンクリートの硬化前+ コンクリートの硬化後の 作用荷重に対して)	—
軽量形鋼を用いた合成版 ¹⁸⁾	$\sigma_{ck}/3$ かつ 100 kgf/cm ² 以下 ただし合成げたとして照査する場合は $\sigma_{ck}/3.5$	同上	1400 kgf/cm ²	—
合成版 ¹⁹⁾	同上	同上	—	800 kgf/cm ² (疲労)
CT形鋼スタッドとの併用合成版 ²⁰⁾	$\sigma_{ck}/3.5$ かつ 100 kgf/cm ² 以下	同上	1400 kgf/cm ²	1400 kgf/cm ²

12.3.6 構造細目

(1) 形鋼の種類と間隔、鉄筋の間隔、かぶり、継手筋等は、合成版の種類による特性を考慮して定めるものとする。

(2) ずれ止めの形状、配置等は、版厚、主部材の配置や間隔、施工性等を考慮して検討するものとする。

(3) 形鋼には、なるべく継手を設けないようにすることが望ましい。

【解説】 (1) 解説表12.7で示した4種類の設計例とも、鉄筋の配置、かぶり等の規定は道路橋示方書の鉄筋コンクリート床版にならうとしている。

形鋼の間隔については文献17)では10cmから25cmの範囲内に配置することとなっている。

継手筋は適切なラップ長を確保するのが望ましい。

(3) 文献17)を参考にして定めた。形鋼に継手を設けると、コンクリートのひび割れや鋼の疲労に対して危険になる状態が予想される。

12.4 鉄骨鉄筋コンクリート構造物

12.4.1 一般

(1) 適用範囲

この節は鉄骨鉄筋コンクリート構造物の設計に適用する。

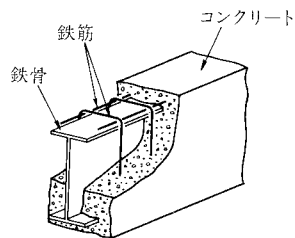
(2) 用語の定義

この節においては、鉄骨鉄筋コンクリート構造を以下のように定義する。

“鉄骨鉄筋コンクリート構造とは、鉄骨のまわりに鉄筋を配し全体をコンクリートで被覆したもので、これらが一体となって働くことを期待した構造をいう。”

【解説】 鉄骨鉄筋コンクリート構造物はSRC構造物とも呼ばれているものでその代表的な例として鉄骨鉄筋コンクリートばりの概念図を解説図12.4に示す。土木分野においては、たとえば山間部の橋梁の高橋脚（いわゆるハイピア）、長大橋の橋台といった道路橋の下部構造や、都市内高架橋の橋脚にその適用例が見られ、また、鉄道橋におけるH形鋼埋込みげたや、下路SRCげたも鉄骨鉄筋コンクリート構造物の一例といえる。

土木分野を対象とした鉄骨鉄筋コンクリート構造物の設計基準類（たとえば参考文献7）、8）、9）など）としては、すでにいくつかのものが実用に供されており、コンクリート構造の限界状態設計法指針（案）²²⁾においても鉄骨鉄筋コンクリートに関する規定が定められている。本節の各規定は、これら既存の各指針を参考にして定めたが、その多くは鉄骨鉄筋コンクリート構造設計指針・同解説⁸⁾（以下SRC指針と呼ぶ）の規定に準拠して定めた。



解説図12.4 鉄骨鉄筋コンクリートばりの概念

12.4.2 材料

(1) 材料

- 1) コンクリート：コンクリートの材令28日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} は 210 kgf/cm^2 以上を標準とする。
- 2) 鉄筋：鉄筋はJIS G 3112に適合するもののうち、SD 30、SD 35を原則として用いるものとする。
- 3) 構造用鋼材：
 - a) 構造用鋼材はJIS G 3101またはJIS G 3106に適合するもののうち、SS 41、SM 41、SM 50、SM 50Yを原則として用いるものとする。

- b) 構造用鋼材の板厚は、原則として最大 50 mm とする。
- c) 鉄筋と鉄骨とは、強度がほぼ等しいものを組合せて用いることを原則とする。

(2) 材料の強度

1) コンクリート

- a) 曲げ圧縮強度 σ_{cu} は次式によるものとする。

$$\sigma_{cu} \leq 0.57 \sigma_{ck} \dots\dots\dots(12.4)$$

- b) 軸方向圧縮強度 σ'_{cu} は次式によるものとする。

$$\sigma'_{cu} \leq \frac{1}{2} \sigma_{ck} \dots\dots\dots(12.5)$$

- c) せん断強度は表 12.6 に示す値を標準とする。

表 12.6 コンクリートのせん断強度

材令 28 日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} (kgf/cm ²)		180	240	300	400 以上
せん断強度 (kgf/cm ²)					
斜め引張鉄筋、鉄骨の計算を しない場合 τ_{u1}	せん断力のみの場合	10	12	14	15
	せん断力とねじりの* 影響をうける場合	14	15	17	19
斜め引張鉄筋、鉄骨の計算を する場合 τ_{u2}	せん断力のみの場合	29	34	37	41
	せん断力とねじりの* 影響をうける場合	34	41	44	48

* せん断力とねじりの組合せ応力が作用する場合、せん断力およびねじりの各々に対するせん断強度はせん断力のみの場合の値以下とする。

- d) 付着強度は表 12.7 に示す値を標準とする。ただし、直径 35~51 mm の鉄筋については鉄筋の種類に応じて決定するものとする。

表 12.7 付着強度

材令 28 日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} (kgf/cm ²)		180	240	300	400 以上
せん断強度 (kgf/cm ²)					
形鋼、鋼板*	τ_{osu}	9	10	12	14
普通丸鋼、アンカーボルト 異形鉄筋	} τ_{oru}	12 24	14 27	15 31	17 34

* 形鋼、鋼板の下面およびコンクリートの充てんしがたい部分を除いた付着面積を対象とする。

- e) 支圧強度 σ_{bu} は次式によるものとする。

$$\sigma_{bu} \leq 0.5 \sigma_{ck} \dots\dots\dots(12.6)$$

局部載荷の場合には、コンクリート面の全面積を A 、支圧をうける面積を A' とした場合、次式で求めてよい。

$$\sigma_{bu} \leq \left(0.45 + 0.085 \frac{A}{A'}\right) \sigma_{ck}, \text{ ただし } \sigma_{bu} \leq 0.85 \sigma_{ck} \dots\dots\dots(12.7)$$

なお、支圧をうける部分が十分補強されている場合は、試験によって上記の値を高めることができる。

表 12.8 鉄筋の引張強度

鉄筋の種類	SD 30	SD 35
引張強度 σ_{su} (kgf/cm ²)	3 000	3 400

2) 鉄筋

- a) 引張強度は表 12.8 に示す値を標準とする。
- b) 表 12.8 に定める以外の鉄筋を用いる場合は、必ず試験の結果に基づいて強度を定めることとする。
- c) JIS G 3112 に適合する鉄筋の圧縮強度 σ'_{sru} は表 12.8 の値としてよい。

3) 構造用鋼材

- a) 強度は表 12.9 に示す値を標準とする。

表 12.9 構造用鋼材の引張・圧縮・せん断強度

鋼材		鋼材		
		SS 41 SM 41	SM 50	SM 50Y
強度 (kgf/cm ²)				
引張強度 σ_{ssu}		2 400	3 200	3 600
圧縮強度 σ'_{ssu}		2 400	3 200	3 600
せん断強度 τ_{su}	腹板	1 400	1 900	2 100
	アンカーボルト	1 000	—	—

- b) 溶接部の強度は 5.2.3(1) によるものとする。
- c) 摩擦接合用高力ボルトのすべり耐力は 5.2.3(2) によるものとする。

【解 説】 SRC 指針の 2.1~2.3, 3.1~3.3 の規定に準拠して定めた。鉄骨用の構造用鋼材は、コンクリート中に埋込まれた後は、コンクリートにより変形を拘束されるため柱としての座屈や、横だおれ座屈、あるいは局部座屈を考慮して圧縮強度を低減する必要はない。したがって、引張強度と同様、圧縮強度も本指針の 5.2 に規定される設計強度に等しくとって良い。

なお、表 12.9 に示した値は、板厚が 40 mm を超えないものに対しての値である。鉄骨鉄筋コンクリート構造物においては、鉄骨に使用する鋼材の板厚が 40 mm を超える場合は少ないと思われるが、その場合は、本指針 5 章の規定に準じて強度を低減することとする。

12.4.3 設計計算の一般事項

(1) 一般

- 1) 鉄骨鉄筋コンクリート構造物における各部材の断面力は原則として弾性理論によって求めるものとする。
- 2) 部材の断面耐力は、次の a) あるいは b) の方法によって計算してよい。
 - a) 部材の断面耐力は、それぞれ独立に計算した鉄筋コンクリート部分の断面耐力と鉄骨部分の断面耐力の和として算定する。
 - b) 部材の断面耐力は、鉄骨部分をこれと同等な断面積をもつ鉄筋とみなして本項 (3) の原則に従って鉄筋コンクリート部材と同じ方法で算定する。

(2) 不静定力または弾性変形の計算上の仮定

不静定力または弾性変形の計算では、断面二次モーメントおよびヤング係数を次のようにとるものとする。

1) 断面二次モーメント

断面二次モーメントは、鋼材の影響を考慮して部材のコンクリート全断面について計算

する。ただし、不静定力の計算では、鋼材の影響が少ない場合、鋼材を無視して部材のコンクリートの全断面について計算してよい。

2) 鋼材のヤング係数

鋼材のヤング係数は、 $E_s=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ とする。

3) コンクリートのヤング係数

コンクリートのヤング係数 E_c は、表 12.10 の値を標準とする。

表 12.10 コンクリートのヤング係数 (不静定力または弾性変形の計算に用いる値)

材令 28 日での圧縮 試験強度の保証値 σ_{ck} (kgf/cm^2)	180	240	300	400
コンクリートのヤング係数 E_c (kgf/cm^2)	2.4×10^5	2.7×10^5	3.0×10^5	3.5×10^5

4) コンクリートのポアソン比

コンクリートのポアソン比は一般に $1/6$ とし、ヤング係数とせん断弾性係数との比は 2.3 とする。ただし、引張をうけるコンクリートのひび割れを許容する場合には 0 とする。

(3) 断面算定および断面耐力計算上の仮定

- 1) 断面の算定および断面耐力の計算では、一般にコンクリートの引張強度を無視し、軸方向ひずみは検討する断面の中立軸からの距離に比例するものとする。
- 2) 断面の算定および断面耐力の計算では、鋼材およびコンクリートのヤング係数をそれぞれ、 $E_s=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_c=1.4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ とする ($n=E_s/E_c=15$)。
- 3) 鉄骨部材は、コンクリートと合成後は座屈しないものとする。なお、合成前の状態においては座屈の検討を行うこととし、この場合の鉄骨強度は 5 章の規定を準用して定めるものとする。
- 4) 作用荷重に対する検討にあたっては、鉄骨は架設時に生じる断面力も含めて検討するものとする。

【解 説】 (1), (2) 1)~2), (3) 1)~2) は、SRC 指針 4.1~4.3 の規定に準拠して定めた。

(1) 2) 本項 a) の方式はいわゆる累加強度方式、b) の方式はいわゆる RC 方式とよばれるものである。なお、曲げモーメントや軸方向力の作用する部材において鉄骨の断面や配置が著しく非対称の場合は、一般に累加強度方式では不経済な設計となるため、RC 方式で断面を算定するのがよい。

(2) 3) 高強度のコンクリートのヤング係数については、コンクリート標準示方書ではやや小さい値をとっている (12.2.2 の解説参照)。

12.4.4 限界状態の照査

(1) 一般

断面および部材は、限界状態において所要の機能と安全性を有していなければならない。

(2) 曲げモーメントのみを受ける部材

曲げモーメントのみを受ける部材の断面耐力は、一般に 12.4.3(1)2)a) によって算定し、特別な場合は 12.4.3(1)2)b) によって算定する。

(3) 曲げモーメントと軸方向圧縮力とを受ける部材

1) 曲げモーメントと軸方向圧縮力とを同時に受ける部材の断面耐力は一般に 12.4.3(1) 2)a) によって算定する。ただし、対称断面の場合には次のようにしてよい。

a) 曲げモーメントが卓越する場合、曲げモーメントは鉄筋コンクリート部分と鉄骨部分とで負担し、軸方向圧縮力は鉄筋コンクリート部分で負担する。

b) 軸方向圧縮力が卓越する場合、軸方向圧縮力は鉄筋コンクリート部分と鉄骨部分とで負担し、曲げモーメントは鉄骨部分で負担する。

2) 1) によらない場合には 12.4.3(1)2)b) によって曲げモーメントと軸方向圧縮力とを同時に受ける部材の断面耐力を算定する。

(4) せん断力を受ける部材

1) 斜引張鉄筋および鉄骨の計算をしない場合は、せん断力を受ける部材の断面耐力は鉄筋コンクリート部材と同じ方法によって算定するものとする。

2) 斜引張鉄筋および鉄骨の計算をする場合は、部材断面のせん断耐力は鉄骨部分のせん断耐力と、鉄筋コンクリート部分のせん断耐力の和とする。

(5) ねじりを受ける部材

ねじりを受ける部材においては、その影響を考慮して部材断面の照査を行うものとする。

(6) 鉄骨または鉄筋とコンクリートとの付着に対する照査

引張側鉄骨および引張側鉄筋については、せん断力に対し、コンクリートとの付着の照査を行うものとする。

(7) ひび割れに関する検討

1) 常時の設計荷重が作用した状態で、ひび割れの影響を考慮する必要がある場合には、鉄骨部分をこれと同等な断面積をもつ鉄筋とみなして算出した鋼材の引張応力度を表 12.11 の値以下とすることを標準とする。

表 12.11 鋼材の引張応力度の上限値 (ひび割れの影響を考慮する場合)

A_{ss}/A_s (%)	引張応力度の上限値 (kgf/cm ²)
30	1 800
50	1 600
70	1 400

A_{ss} : 引張側鉄骨の断面積, A_s : 引張側鋼材の断面積

2) ひび割れが構造物の耐久性などにとくに有害と考えられる場合には、部材の置かれる条件に応じて適当な処置をするか、表 12.11 の値を低減するものとする。

(8) 疲労に対する検討

繰返し荷重の影響の著しい部材の場合は、鉄骨部分をこれと同等の断面積をもつ鉄筋とみなして算出した応力度を用い、適切な方法で疲労に対する検討を行うものとする。

【解説】 SRC 指針の 5.1~5.7 に示されている断面の算定に関する諸条項に準拠し、「限界状態の照査」として規定したものである。

なお、コンクリート構造の限界状態設計法指針 (案) においては、限界状態を、

終局限界状態……最大耐荷力に対応する限界状態

使用限界状態……通常の使用または耐久性に関連する限界状態

疲労限界状態……繰返し荷重により疲労破壊を生ずる限界状態の3つに区分し、設計においては、それぞれの限界状態に対応する材料強度と荷重の特性値、および種々の安全係数や修正係数を用いて、この3つの限界状態に対する検討を行うことを原則としている。また、検討の方法としては、たとえば終局限界状態については、一般に断面耐力と断面力の比較による照査を行い、使用限界状態については一般に荷重の設計用値に対応する部材の応力、ひび割れ幅、あるいは変位に対する照査を行うものとしており、具体的には鉄骨鉄筋コンクリートについても、同指針(案)の16章において解説表12.8のように検討項目を定めている。

解説表12.8 コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)における鉄骨鉄筋コンクリートの限界状態の照査項目

限界状態の種類	検 討 項 目
終局限界状態	曲げモーメントおよび軸力に対する断面耐力の検討 せん断力に対する断面耐力の検討、ねじりに対する断面耐力の検討
使用限界状態	ひび割れの検討、鉄骨とコンクリートとの一体性の検討 疲労に対する検討

したがって、本項の(2)~(5)は終局限界状態の照査に、(7)~(8)は使用限界状態の照査に対応するものといえる。

本項の(2)~(6)の規定に基づく照査は、具体的には以下に示す各方法により行うことができる。なお、これらの式は、SRC指針等の条文あるいは解説に示されている諸算定式を参考として、材料の抵抗強度から安全率を分離する形に整理して書き表わしたものである。

(2) 曲げモーメントのみを受ける部材

次式により照査を行う。

$$\nu \cdot \frac{M}{M_u} \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.5})$$

ここに、 ν ：安全率(本指針6章の規定に準ずる。以下同様)

M ：断面に作用する曲げモーメント(kgf·cm)

M_u ：断面の終局曲げモーメントで $M_u = M_{rou} + M_{sou}$ (kgf·cm)

M_{rou} ：曲げモーメントのみを受ける鉄筋コンクリート部分の終局曲げモーメント(kgf·cm)

M_{sou} ：曲げモーメントのみを受ける鉄骨部分の終局曲げモーメント(kgf·cm)

(3) 1)a) 曲げモーメントと軸方向圧縮力を受ける部材(曲げモーメントが卓越する場合)

次式により照査を行う。

$$\nu \cdot \frac{M}{M_u} \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.6})$$

ここに、 ν ：安全率

M ：断面に作用する曲げモーメント(kgf·cm)

M_u ：断面の終局曲げモーメントで $M_u = M_{sou} + M_{ru}$ (kgf·cm)

M_{sou} ：曲げモーメントのみを受ける鉄骨部分の終局曲げモーメント(kgf·cm)

M_{ru} ：負担する軸方向圧縮力が N となるときの、鉄筋コンクリート部分の終局曲げモーメント(kgf·cm)

N ：断面に作用する軸方向圧縮力(kgf)

(3) 1)b) 曲げモーメントと軸方向圧縮力を受ける部材(軸方向圧縮力が卓越する場合)

次式により照査を行う。

$$\nu \cdot \frac{N}{N_u} \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.7})$$

ここに、 ν ：安全率

N ：断面に作用する軸方向圧縮力 (kgf)

N_u ：断面の終局圧縮力で、 $N_u = N_{rou} + N_{su}$ (kgf)

N_{rou} ：軸方向圧縮力のみを受ける鉄筋コンクリート部分の終局圧縮力 (kgf)

N_{su} ：負担する曲げモーメントが M となるときの、鉄骨部分の終局圧縮力 (kgf)

(4) 1) せん断力を受ける部材 (斜引張鉄筋および鉄骨の計算をしない場合)

次式により照査を行う。

$$\nu \cdot \frac{S}{S_{rou1}} \leq 1 \dots\dots\dots (解 12.8)$$

ここに、 ν ：安全率

S ：断面に作用するせん断力 (kgf)

S_{rou1} ：コンクリート断面の終局せん断力で、 $S_{rou1} = \tau_{u1} \cdot b \cdot z$ (kgf)

τ_{u1} ：表 12.6 に示すせん断強度 (kgf/cm²)

b ：部材の幅 (cm)

z ：全圧縮応力の合力の作用点から引張側鋼材断面の図心までの距離 (= $j \cdot d_s$) (cm)

d_s ：部材の断面において圧縮側表面から引張側鋼材断面の図心までの距離 (cm)

j ： z と d_s との比

(4) 2) せん断力を受ける部材 (斜引張鉄筋および鉄骨の計算をする場合)

次式により照査を行う。

$$\nu \cdot \frac{S}{S_{su} + S_{ru}} \leq 1 \dots\dots\dots (解 12.9)$$

ここに、 ν ：安全率

S ：断面に作用するせん断力 (kgf)

S_{su} ：鉄骨部分の断面の終局せん断力 (kgf)

S_{ru} ：鉄筋コンクリート部分の終局せん断力 (kgf)

S_{su} は、鉄骨が充腹形の場合にはプレートガーターの腹板に、トラス形あるいはラチス形の場合にはトラスの腹材に準じて算定する。ただし、

$$\nu \cdot \frac{S \frac{A_{ss}}{A_s}}{S_{su}} < 1 \dots\dots\dots (解 12.10)$$

の場合には、

$$S_{su} = \nu \cdot S \frac{A_{ss}}{A_s} \dots\dots\dots (解 12.11)$$

とする。

ここに、 A_{ss} ：引張側鉄骨の断面積 (cm²)

A_s ：引張側鋼材の断面積 (cm²)

また、 S_{ru} は、すべて斜引張鉄筋によって負担するものとし、斜引張鉄筋の計算を行う。ただし、この場合、コンクリート断面のせん断応力度は次式を満足するものとする。

$$\nu \cdot \frac{\tau_r}{\tau_{u2}} \leq 1 \dots\dots\dots (解 12.12)$$

ここに、 ν ：安全率

τ_r ：コンクリート断面のせん断応力度 (kgf/cm²)

τ_{u2} ：表 12.6 に示すせん断強度 (kgf/cm²)

(5) ねじりを受ける部材

ねじり補強鉄筋の計算をしない場合、次式により照査を行う。

$$\nu \cdot \left(\frac{S}{S_{rou1}} \pm \frac{M_t}{M_{tu1}} \right) \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.13})$$

ここに、 ν ：安全率

S ：断面に作用するせん断力 (kgf)

S_{rou1} ：コンクリート断面の終局せん断力で $S_{rou1} = \tau_{u1} \cdot b \cdot z$ (kgf)

M_t ：断面に作用するねじりモーメント (kgf・cm)

M_{tu1} ：コンクリート断面の終局ねじりモーメント (せん断強度としては、 τ_{u1} を用いる) (kgf・cm)

式 (解 12.13) を満足しない場合は、全ねじりモーメントをすべてねじり補強鉄筋で負担することとし、ねじり補強鉄筋の計算を行う。ただし、この場合、次式を満足することとする。

$$\nu \cdot \left(\frac{S}{S_{rou2}} \pm \frac{M_t}{M_{tu2}} \right) \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.14})$$

ここに、 ν ：安全率

S ：断面に作用するせん断力 (kgf)

S_{rou2} ：コンクリート断面の終局せん断力で $S_{rou2} = \tau_{u2} \cdot b \cdot z$ (kgf)

M_t ：断面に作用するねじりモーメント (kgf・cm)

M_{tu2} ：コンクリート断面の終局ねじりモーメント (せん断強度としては、 τ_{u2} を用いる) (kgf・cm)

なお、せん断力とねじりの影響をうける場合には、せん断力とねじりに対し必要な補強鋼材量をそれぞれ独立に算定し、その合計鋼材量を配置する。

(6) 鉄骨または鉄筋とコンクリートとの付着に対する照査

せん断力による引張側鉄骨の付着応力度 τ_{os} は次式で照査する。

$$\nu \cdot \frac{\tau_{os}}{\tau_{osu}} \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.15})$$

ただし、 $\tau_{os} = \frac{S \frac{A_{ss}}{A_s} - \frac{S_{su}}{\nu}}{U_s \cdot z} \dots\dots\dots (\text{解 12.16})$

($S \frac{A_{ss}}{A_s} < \frac{S_{su}}{\nu}$ の場合は $\tau_{os} = 0$ とする)

ここに、 ν ：安全率

τ_{os} ：せん断力による引張側鉄骨の付着応力度 (kgf/cm²)

τ_{osu} ：表 12.7 に示す付着強度 (kgf/cm²)

S ：断面に作用するせん断力 (kgf)

A_s ：引張側鋼材の断面積 (cm²)

A_{ss} ：引張側鉄骨の断面積 (cm²)

S_{su} ：鉄骨部分の断面の終局せん断力 (kgf)

U_s ：引張側鉄骨の有効周長の総和 (cm)

z ：全圧縮力の合力の作用点から引張側鋼材断面の図心までの距離 (cm)

せん断力による引張鉄筋の付着応力度 τ_{or} は次式で照査する。

$$\nu \cdot \frac{\tau_{or}}{\tau_{oru}} \leq 1 \dots\dots\dots (\text{解 12.17})$$

ただし、 $\tau_{oru} = \frac{S \frac{A_{sr}}{A_s}}{U_r \cdot z} \dots\dots\dots (\text{解 12.18})$

ここに、 ν ：安全率

A_{sr} ：引張鉄筋の断面積 (cm^2)

U_r ：引張鉄筋の周長の総和 (cm)

τ_{oru} ：表 12.7 に示す付着強度 (kgf/cm^2)

(7) ひび割れに関する検討

鋼材に発生する引張応力度の上限を規定することで、間接的にコンクリートのひび割れ幅を制限するものである。

12.4.5 鉄骨連結部の設計

(1) 鉄骨部材の連結は、計算断面力に対して設計することを原則とする。

(2) 主要部材の連結は、前項によるほか、その部材の基本強度に基づく部材強度に対して、少なくとも 75 % の強度を持つように設計するものとする。

12.4.6 ラーメン隅角部の設計

隅角部は、はりの曲げモーメント、せん断力および軸力を柱に十分伝えることができる構造とするものとする。

はりの鉄骨の応力は柱の鉄骨へ、はりの鉄筋コンクリートの応力は柱の鉄筋コンクリートへ伝達することを原則とし、隅角部の断面耐力は鉄骨部分の断面耐力と、鉄筋コンクリート部分の断面耐力の和とする。

【解 説】 SRC 指針 6.1(1) の規定に準拠して定めた。

12.4.7 柱脚アンカー部の設計

(1) 柱脚アンカー部はコンクリートを各部に十分充てんできる構造とし、また、柱の断面力を確実に基礎に伝えることができる構造とするものとする。

(2) 柱脚部鉄骨の基礎への定着は、ベースプレート、アンカーボルト、アンカーフレーム等によることを原則とし、各部分がそれぞれに加わる応力に対して十分安全であるように設計するものとする。また、軸方向鉄筋はその全量を基礎に伸ばして定着するものとする。

【解 説】 SRC 指針 6.2 の規定を参考に定めた。

12.4.8 構造細目

(1) 鉄筋の継手および定着

1) 鉄筋の継手位置は、大きな応力が生ずる箇所を避け、鉄骨の連結部と同一断面に設けないものとする。

2) 鉄筋の継手に関しては原則としてコンクリート標準示方書〔設計編〕の 10.6 によるも

のとする。

- 3) 鉄筋の定着に関しては原則としてコンクリート標準示方書〔設計編〕の10.5によるものとする。

(2) 鉄骨端部の処置

片持ばり自由端などにおける引張側および圧縮側鉄骨は原則としてせん断抵抗をもつ鉄骨腹材で相互に結合するものとする。

(3) 鉄筋および鉄骨のあき

- 1) 鉄筋のあきに関しては、原則としてコンクリート標準示方書〔設計編〕の10.3によるものとする。
- 2) 鉄筋と鉄骨のあきは4 cm 以上、粗骨材最大寸法の4/3倍以上を原則とする。

(4) スターラップおよび帯鉄筋

- 1) はりには常にスターラップを配置するものとする。スターラップの間隔は、計算上スターラップが必要なときは、はりの有効高さの1/2以下、かつはりの腹部の幅以下とし、計算上必要がないときは、これをはりの有効高さまで大きくしてよい。
- 2) 柱には常に帯鉄筋を配置するものとする。なお、帯鉄筋の間隔は軸方向鉄筋の直径の12倍以下とする。
- 3) スターラップ、帯鉄筋の鉄筋比は0.2%以上とする。ただし、充腹形の鉄骨を用いる場合には0.1%以上とすることができる。
- 4) スターラップ、帯鉄筋に使用する鉄筋は、D10以上の異形鉄筋を標準とする。
- 5) スターラップおよび帯鉄筋は、軸方向全鋼材を取り囲み、内部のコンクリートを十分拘束するように配置し、その末端は135°以上に曲げて定着することとする。

(5) かぶり

- 1) 鉄骨のかぶりは10 cm 以上を標準とする。
- 2) 鉄筋のかぶりは鉄筋の直径以上、かつ表12.12の値以上を標準とする。

表 12.12 鉄筋の最小かぶり

状	態	最小かぶり (cm)
陸上の構造物	一般の場合	3
	気象作用が激しい場合	5
地中の構造物	コンクリートが直接地中に打込まれる場合	7.5
	埋戻して直接土に接する場合	5
海水の影響を受ける構造物	海水中で施工する場合	10
	陸上で施工した後、海水の作用を受ける箇所	7
	感潮部分、海水で洗われる部分、激しい潮風を受ける部分	
	その他の部分	5

- 3) 海水の影響をうける構造物で、浮遊物、流水、船舶の衝突等によるすりへりのおそれのある場合には、表12.12のかぶりを適宜増やすものとする。

(6) 用心鉄筋

- 1) はりおよび柱の主鉄筋間隔が30 cmを超える場合には、用心鉄筋を配置し、その最大間隔は30 cm以下とする。

2) 用心鉄筋の直径ははりの場合 10 mm 以上、柱の場合 13 mm 以上の異形鉄筋を用いるものとする。

(7) コンクリートの打込みやすさに対する考慮

鋼材の配置および細部構造はコンクリートが各部に充てんできるように配慮するものとする。

【解 説】

(1) 1) SRC 指針 7.1 の規定に準拠して定めた。

(2) SRC 指針 7.2(2) の規定に準拠して定めた。

(3) 2) SRC 指針 7.3 の規定に準拠して定めた。

(4) 1), 2) SRC 指針 7.4(1), (2) の規定に準拠して定めた。

(5) SRC 指針 7.5 の規定に準拠して定めた。

(6) 鉄骨鉄筋コンクリート構造物設計標準に関する研究報告書⁹⁾ 10.4 および 11.4 の規定に準拠して定めた。

(7) SRC 指針 7.6 の規定に準拠して定めた。なお、これについて具体的には、たとえば鉄骨鉄筋コンクリート設計基準⁷⁾において、部材断面の閉そく率 q は 40 % 以下を原則とすると規定している。

ただし、 q : コンクリートの流動方向に直角な特定の断面における閉そく率で、 $q = \frac{F}{A} \times 100$ (%)

A : その断面における型わくの内のり断面積 (cm²)

F : その断面を閉そくする鋼材の全投影面積 (cm²)

12.5 鋼管コンクリート構造物

12.5.1 一般

(1) 適用範囲

この節は、鋼管コンクリート構造物の設計に適用する。ただし本節に規定するもの以外については 12.4 による。

(2) 用語の定義

この節では、鋼管コンクリート構造を以下のように定義する。

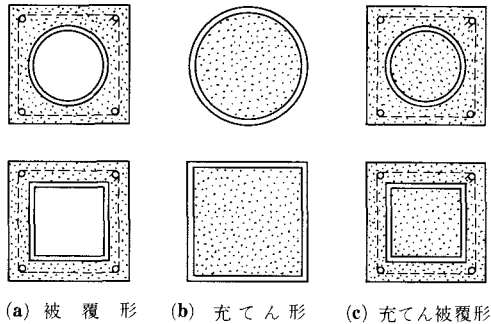
“鋼管コンクリート構造とは、鉄骨鉄筋コンクリート構造の一種で次の 3 形式の柱を使用する構造をいう。”

- 1) 鋼管の外側だけを鉄筋コンクリートで被覆したもの (以下、被覆形という)。
- 2) 鋼管の内側だけにコンクリートを充てんしたもの (以下、充てん形という)。
- 3) 鋼管の内側にコンクリートを充てんし、外側を鉄筋コンクリートで被覆したもの (以下、充てん被覆形という)。

【解 説】 (1) 本節は、鋼管とコンクリートを一体化した構造であり通常柱材として使用される鋼管コンクリート構造に適用する。

鋼管コンクリート構造に関する設計基準類としては、たとえば、鋼管コンクリート構造計算規準・同解説¹¹⁾があるが、この他にも、いわゆる充てん形のものに対象は絞られているが、合成柱 (充てん方式) を有する鋼製橋脚の設計・施工指針 (案)²³⁾ にも設計・施工に関する諸規定が定められている。本節は、これらのうち前者の規定に準拠して多くの規定を定めたものである。

(2) 鋼管コンクリート構造計算規準・同解説の1条に準拠して用語の定義を定めた。なお、被覆形、充てん形、充てん被覆形それぞれの場合の鋼管コンクリート構造の断面例を解説 図 12.5 に示す。



解説 図 12.5 鋼管コンクリート構造の断面例¹⁾

12.5.2 材 料

(1) 材 料

- 1) コンクリート：12.4.2(1)1) による。
- 2) 鉄筋：12.4.2(1)2) による。
- 3) 鋼管：鋼管は原則として JIS G 3444 「一般構造用炭素鋼鋼管」中 STK 41, STK 50, JIS G 3466 「一般構造用角形鋼管」中 STKR 41, STKR 50 および JIS G 5201 「溶接構造用遠心力鋳鋼管」 SCW-50 CF の規格に適合するものとする。上記以外の鋼管を用いる場合は、使用鋼材は、原則として JIS G 3101 「一般構造用圧延鋼材」に規定する SS 41, JIS G 3106 「溶接構造用圧延鋼材」に規定する SM 41, SM 50, SM 50 Y とする。
- 4) その他の構造用鋼材：JIS G 3101, JIS G 3106 に適合するもののうち、原則として SS 41, SM 41, SM 50, SM 50 Y を用いるものとする。

(2) 材料の強度

1) コンクリート

12.4.2(2)1) による。ただし、コンクリートと鋼管の付着強度は表 12.13 に示す値を標準とする。

表 12.13 コンクリートと鋼管の付着強度

付着強度 (kgf/cm ²)	材令 28 日での圧縮試験強度の保証値 σ_{ck} (kgf/cm ²)			
	180	240	300	400 以上
鋼 管 の 外 側	9	10	12	14
鋼 管 の 内 側	円形鋼管	3		
	角形鋼管	2		

- 2) 鉄筋：12.4.2(2)2) による。
- 3) 鋼管：
 - a) 強度は表 12.14 に示す値を標準とする。
 - b) 溶接部の強度は表 12.15 に示す値を標準とする。
- 4) その他の構造用鋼材：12.4.2(2)3) による。

表 12.14 鋼管の強度 (kgf/cm²)

	STK 41, STKR 41, SS 41, SM 41	STK 50, STKR 50, SCW-50 CF, SM50	SM 50 Y
引張強度	2 400	3 200	3 600
圧縮強度	2 400	3 200	3 600
せん断強度	1 400	1 900	2 100

表 12.15 鋼管の溶接部の強度 (kgf/cm²)

			STK 41, STKR 41, SS 41, SM 41	STK 50, STKR 50, SCW-50 CF, SM 50	SM 50 Y
工場溶接	グループ溶接	引張	2 400	3 200	3 600
		圧縮	2 400	3 200	3 600
		せん断	1 400	1 900	2 100
	すみ肉溶接	せん断	1 400	1 900	2 100
現場溶接	それぞれの場合について上記の値の 90 % とする。				

【解 説】 (1)3) については鋼管コンクリート構造計算規準・同解説 4 条 2 の規定に準拠して定めた。また、(2)1) のうち、鋼管の内側におけるコンクリートとの付着強度は、同規準の 5 条 4 に定められている値を 1.7 倍して定めたものである。その他については、本指針の 12.4.2 に定められている材料に関する諸規定に準拠して規定を定めた。

12.5.3 設計計算の一般事項

(1) 柱材断面算定における基本仮定

鋼管コンクリート柱材の耐力は、被覆鉄筋コンクリート部分、鋼管部分、および充てんコンクリート部分の耐力の和として算定できる。

(2) 径厚比

鋼管の径厚比は、以下によることを原則とする。

円形鋼管の場合

$$\frac{D}{t} \leq \frac{240}{F} \dots\dots\dots(12.8)$$

角形鋼管の場合

$$\frac{d}{t} \leq \frac{74}{\sqrt{F}} \dots\dots\dots(12.9)$$

ただし、 D ：円形鋼管の公称外径 (cm)

t ：管厚 (cm)

F ：鋼管の設計強度 (tf/cm²) で、表 12.14 の引張強度をとる。

d ：角形鋼管の平板部分の幅 (cm)

【解 説】 鋼管コンクリート構造計算規準・同解説 6 条に準拠して定めた。

12.5.4 限界状態の照査

断面および部材は、限界状態において所要の性能を有するよう適切な方法で照査を行うものとする。

【解説】 鋼管コンクリート柱材に関する設計照査式としては、たとえば、鋼管コンクリート構造計算規準・同解説の7条～9条において被覆形、充てん形、充てん被覆形の柱に対する照査式が、また、合成柱（充てん方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案）の4.3.2においては充てん形の柱に対する照査式が示されており、これらが参考となる。

鋼管コンクリート構造計算規準・同解説では、基本的には、本指針の12.4.3でも述べたいわゆる累加強度方式と同様の方法が採用されており、これに基づいて圧縮力と曲げモーメントに対する照査式と、せん断力に対する照査式が示されている。とくに、圧縮力と曲げモーメントとを受ける被覆形と充てん形の場合は、それぞれ被覆鉄筋コンクリート部分と鋼管部分、あるいは充てんコンクリート部分と鋼管部分の2つの部分の耐力の和の形で断面全体の耐力が与えられるとしており、照査式の形は本指針12.4.4の解説(3)1)a), b)に示されるものと全く同じとなる。なお、充てん被覆形の場合は、充てんコンクリート部分は曲げ耐力は小さいため圧縮力に対してのみ抵抗するものとして照査式を与えている。

この他、同規準には付着に対する照査規定があるが、被覆鉄筋コンクリートの引張鉄筋の付着に関して検討を行うものとしており、鋼管については、はり材から伝わるせん断力の一部を充てんコンクリート部分に圧縮力として負担させる場合のみ、充てんコンクリートとの付着を照査することとしている。

一方、合成柱（充てん方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案）において示されている鋼管コンクリート柱材に関する規定は、両端が強固な板で拘束された長方形断面の鋼管内にコンクリートを充てんした形式を対象としたもので（ただし、円形断面のものについても準用できるとしている）、1) 軸方向圧縮力を受ける場合、2) 軸方向圧縮力と一軸曲げモーメントを受ける場合、3) 軸方向圧縮力と二軸曲げモーメントを受ける場合、4) せん断力を受ける場合、5) ねじりモーメントを受ける場合のそれぞれについて照査式が与えられている。このうち、ねじりモーメントについては鋼管断面のみで負担するものとし、せん断力についても、ねじりモーメントが同時に作用する場合には同じく鋼管断面のみで負担するものとしている。

なお、同設計・施工指針（案）では、柱とはりの結合部や柱基部にはずれ止めを設けることとしているが、この場合、鋼管と充てんコンクリートとの付着力は原則として無視して設計を行うものとしている。

12.5.5 柱とはりの接合部の設計

(1) 柱とはりの接合部は、柱端およびはり端より作用する軸方向力、曲げモーメントおよびせん断力を伝えることができるように設計するものとする。

(2) 柱とはりで囲まれた部分（接合部パネル）は作用する応力に十分抵抗できるのみならず、常時の設計荷重が作用する状態においては被覆鉄筋コンクリート部分にせん断ひび割れが生じないように設計するものとする。

(3) 鉄骨部分は、局部的に過度の変形が生じないように設計するものとする。

(4) 充てんコンクリートと管壁が、互いに変形を拘束しあう効果を考慮して各部分の断面を算定するものとする。

(5) 柱の鋼管部分にはりの主鉄筋の貫通孔を設けるときには、断面欠損による柱の変形能力の低下に注意して設計するものとする。

【解 説】 鋼管コンクリート構造計算規準・同解説10条の規定に準拠して定めた。

12.5.6 構造細目

(1) 鋼材比

コンクリート全断面積に対する部材軸方向鋼材全断面積の割合は、0.8%以上を標準とする。
なお、被覆形の場合は、中実なものとして算定する。

(2) 主鉄筋

- 1) 主鉄筋はD13以上の異形鉄筋を標準とし、帯鉄筋により相互に連結する。
- 2) 主鉄筋相互のあきは2.5cm以上、かつ公称直径の1.7倍以上とし、主鉄筋と鋼管とのあきは2.5cm以上とすることを標準とする。

(3) 帯鉄筋

帯鉄筋は12.4.8(4)2)～5)に準じるものとする。

(4) かぶり

被覆形および充てん被覆形の柱材においては、鋼管に対するコンクリートのかぶりは10cm以上を標準とする。

【解 説】 (1),(2),(4)はそれぞれ、鋼管コンクリート構造計算規準・同解説の7条4(3),(4),(5)および11条の規定に準拠して定めた。

参 考 文 献

- 1) 土木学会鋼・コンクリート合成構造小委員会：鋼・コンクリート合成構造の現況，土木学会誌 pp.45～54，1981年9月。
- 2) 前田幸雄：複合構造に関する研究の発展の歴史と動向，土木学会論文集第344号I-1，1984年4月。
- 3) 土木学会：鋼とコンクリートの合成構造に関する調査研究報告書，昭和58年度首都高速道路公団委託，1984年3月。
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980年2月。
- 5) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説（鋼とコンクリートとの合成鉄道橋），1983年5月。
- 6) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，1985年2月。
- 7) 首都高速道路公団：鉄骨鉄筋コンクリート設計基準，1968年8月。
- 8) 本州四国連絡橋公団：鉄骨鉄筋コンクリート構造設計指針・同解説，1977年8月。
- 9) 日本国有鉄道：鉄骨鉄筋コンクリート建造物設計標準に関する研究報告書，1986年3月。
- 10) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1975年11月。
- 11) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造計算規準・同解説，1980年2月。
- 12) 前田・佐伯・日種・梶川：鋼道路橋の合成桁の設計—合成作用の取扱いについて—，道路，1972年7月。
- 13) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，1986年10月。
- 14) British Standards Institution：BS 5400 Steel, Concrete and Composite Bridges—Part 5 Code of Practice for Design of Composite Bridges, 1979.
- 15) British Standards Institution：BS 5400 Steel, Concrete and Composite Bridges—Part 10 Code of Practice for Fatigue, 1980.
- 16) American Association of State Highway and Transportation Officials：Standard Specifications for Highway Bridges, 13th Edition, 1983.
- 17) 高速道路調査会：I形鋼格子床版の設計・施工に関する調査研究報告書，1980年2月。
- 18) 成瀬・矢頭・富沢・山際：ユニットスラブを用いた八太郎橋の床版工事，橋梁，1978年2月。
- 19) 土木学会関西支部：道路橋鋼およびコンクリート合成床版の設計法に関する研究—共同研究グループ報告書—1984年5月。
- 20) 新津・浅島・大貫・落合：鋼製型枠合成床版を用いた合成桁の設計・施工，橋梁と基礎，1980年11月。
- 21) CP 117 Composite Construction in Structural Steel and Concrete—Part 2 Beams for Bridges, 1967.
- 22) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法指針（案），1983年11月。
- 23) 阪神高速道路公団：合成柱（充てん方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案），1986年1月。