

## フランスの規定における鉄筋の許容応力度について

松 本 嘉 司\*

最近制定されたフランスの鉄筋コンクリート規準 (B A 1960)<sup>1)</sup> は、いろいろな点において最近の研究成果を取り入れた漸新な内容をもっているが、特に、鉄筋の許容応力度に関する規定は、従来の規定と大巾に異なっている。以下、鉄筋の許容応力度に関するフランスの規準を紹介するとともに、これに関連するその他の文献を比較して、筆者の意見を述べたい。

### フランスの規準 (B A 1960)

#### 2. 許容応力度

##### 2.1 鉄筋

**2.11 許容引張応力度** 鉄筋の許容引張応力度  $\sigma_{sa}$  は次の2つの値  $\sigma_1, \sigma_2$  のうちの小さい値をとる。 $\sigma_1$  は部材に働く荷重状態に対し鉄筋とコンクリートが示す力学的性質から定められる値であり、 $\sigma_2$  はコンクリートのひびわれから定められる値である。

$$\sigma_{sa} \leq \text{Min}(\sigma_1, \sigma_2)$$

なお、曲げ部材が次の条件を満足する場合には、鉄筋の許容引張応力度を強度計算に用いる鉄筋の弾性限界  $\sigma_{sk}$  (表—4 参照) の 2/3 にとってよい。

1° 鉄筋の直径 (単位 mm) は次の値以下とする。

① スラブの場合はその厚さ (単位 cm) を表わす数値。

② はりの場合は引張鉄筋の重心位置でのはりの巾 (単位 cm) の 3/m 以下。ここに m はいっそうの鉄筋の数で、はりの巾の 1/6 以下の整数とする。

2° **2.22** で規定されるコンクリートの許容引張応力度 (単位  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) は次の値以上とする。ここに  $\sigma_{sk}$  は強度計算に用いる鉄筋の弾性限界 (単位  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) である。

$$\frac{7.5 \sigma_{sk}}{1600 + \sigma_{sk}}$$

3° **2.31** で規定される鉄筋のかぶり、間隔を用いる。

4° ひびわれが生じても、これが鉄筋の保護、構造物の耐久性、外観に影響しない。

**2.111** 部材に作用する力の状態と、鉄筋とコンクリートとの力学的性質が定まる応力度  $\sigma_1$ : この応力度  $\sigma_1$  は荷重状態、部材の形状、鉄筋の応力状態、使用するコンクリートの品質とによって、強度計算に用いる鉄筋の弾

性限界 (表—4) に係数  $\rho$  を乗じて求められる。

$$\sigma_1 = \rho \sigma_{sk}$$

(1)  $\rho$  は次の値をとる。

① 引張力をうける部材の縦方向鉄筋  $\rho = \frac{3}{5}$

② 断面の核内に垂直引張力が作用するはり部材で、最も引張りの大きい縦方向鉄筋

$$\rho = \frac{3}{5} \left( 1 + \frac{1}{9} \frac{|e_0|v}{i^2} \right)$$

ここに、

$e$ : コンクリート断面の重心より測った引張力の偏心量

$v$ : 引張応力が最小の縁よりコンクリート断面の重心までの距離

$i$ : コンクリート断面の断面二次半径

③ 断面の核外に垂直引張力が作用するはり部材、曲げ部材、垂直圧縮力によって曲げと圧縮とをうけるはり部材の縦方向鉄筋

$$\rho = \frac{2}{3}$$

④ せん断力に対するはり部材の斜め引張鉄筋

$$\frac{1}{2} \leq \rho \leq 1$$

(2) **2.22** に規定するコンクリートの許容引張応力度  $\sigma_{ca}'$  に対して、次の条件を満足するとき、上記の応力度  $\sigma_1$  を適用することができる。

$$\sigma_{ca}' \geq \frac{7.5 \sigma_{sk}}{1600 + \sigma_{sk}}$$

この条件が満足されないときは、上記の応力度  $\sigma_1$  は  $\sigma_{sk}$  に次の係数をかけて減少する。

$$\frac{1600 + \sigma_{sk}}{7.5 \sigma_{sk}} \sigma_{ca}'$$

換言すれば、強度計算に用いる鉄筋の弾性限界  $\sigma_{sk}$  を次の値にとって計算すればよいことになる。

$$\frac{1600 + \sigma_{sk}}{7.5} \sigma_{ca}'$$

**2.112** コンクリートのひびわれによって定まる応力度  $\sigma_2$ : この応力度  $\sigma_2$  は、条件に応じて構造物に生ずるコンクリートのひびわれから定められる。この値は、別の計算方法を用いないときは、次の計算法を用いてよい。これは引張部材、はり、引張力をうける数構造の引

\* 正員 国鉄新幹線総局設計課

張鉄筋および、水槽壁の鉄筋に適用できる。

(1) 埋込みコンクリート断面：曲げをうける部材の引張鉄筋の埋込みコンクリート断面  $B$  はこの規定によって計算した引張鉄筋の重心と同じ点を重心とするコンクリート断面で、この周辺と中立軸に平行な 1 本または 2 本の線によって区切られるコンクリートの面積と定義する。引張力をうける部材では  $B$  は部材の全断面積である。

(2) 有効率：有効率  $\alpha$  は次によって定義される。

$$\alpha = \frac{100 A}{B}$$

ここに  $A$  は引張鉄筋の断面、 $B$  は埋込みコンクリート断面である。

(3)  $\sigma_2$  の値：この値は次の値の大きい値 (単位  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) をとる。

$$\sigma_{21} = \frac{k \eta \alpha}{\phi(10 + \alpha)}$$

$$\sigma_{22} = 7.5 \sqrt{\frac{k \eta \sigma_{ca}'}{\phi}}$$

ここに、 $\phi$  は埋込みコンクリート断面における引張鉄筋の最大公称直径 (単位  $\text{mm}$ ) である。

$\eta$  は鉄筋のひびわれ係数 (表—4 参照) である。この値は普通丸鋼の場合は表面の不均等性やさびの程度の不均等性、また、異形鉄筋の場合は表面の凹凸によって定まる、コンクリートと鉄筋との付着の性質によって定められるものである。圧延のままの普通丸鋼の場合は 1 であり、異形鉄筋について、そのおのおのについて認許した値 (表—4 参照、一般には 1.6 である) をとる。

$\sigma_{ca}'$  はコンクリートの許容引張応力度 (単位  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) である。

$k$  は構造物の状態、外観に応じて、ひびわれの程度によって定まる係数である。この値は一般には次のようにとる。

$k=150\,000$  ひびわれが鉄筋の保護、構造物の耐久性に影響しない場合

$k=100\,000$  風雨、水、浸食性の大気にさらされる部材、またはこわれやすい舗装を支える部材のように引張りをうける部分のひびわれが部材に有害な場合

$k=50\,000$  水に接する部材、特に浸食作用をうける状態におかれた部材、または防水を目的とする部材のように、ひびわれが極度に有害の場合

コンクリートの表面が常に水に接するか水蒸気で飽和している大気に接する場合は、コンクリートの膨張現象によってひびわれの発生は減少する傾向がある。この場合には許容応力度を  $300 \eta$  (単位  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) だけ高めることができる。すなわち、 $\sigma_2$  の値は次のうち大きい値をとる。

$$\sigma_{21} = \frac{k \eta \alpha}{\phi(10 + \alpha)} + 300 \eta$$

$$\sigma_{22} = 7.5 \sqrt{\frac{k \eta \sigma_{ca}'}{\phi}} + 300 \eta$$

**2.12 許容圧縮応力度** 圧縮鉄筋は横方向鉄筋でコンクリートに結合されているときは、これを計算に用いてよい。この場合の許容圧縮応力度は強度計算に用いる鉄筋の弾性限界  $\sigma_{sk}$  の 2/3 を用いてよい。

## 2.2 コンクリート

**2.20 許容応力度** は材令 28 日のコンクリートの強度によって定める。

**2.21 許容圧縮応力度** セメント 250/315 を用いたコンクリートの許容圧縮応力度  $\sigma_{ca}$  は、一般に圧縮部材においては材令 28 日のコンクリートの圧縮強度  $\sigma_{28}$  の 30/100、矩形断面またはそれと類似した断面の曲げ部材においては上記の強度の 60/100 とする (後略)。

**2.22 許容引張応力度** セメント 250/315 を用いたコンクリートの許容引張応力度  $\sigma_{ca}'$  は一般に、材令 28 日のコンクリートの引張強度  $\sigma_{28}'$  の 30/100 とする (後略)。

### 【訳者注】

材令 28 日のコンクリートの圧縮強度  $\sigma_{28}$  は断面積  $200 \text{ cm}^2$ 、高さが直径の 2 倍の円柱供試体によって求めるのを原則としているが、立方供試体を用いてもよいとしている。

材令 28 日のコンクリートの引張強度  $\sigma_{28}'$  は長さか辺の 5 倍 (4 倍のものも許容される) の角柱供試体の曲げ試験によって求める。この場合のコンクリートの引張強度  $\sigma_{28}'$  は次式より求める。

$$\sigma_{28}' = \frac{3.6 M}{b^3}$$

ここに

$M$  : 供試体の破壊曲げモーメント

$b$  : 供試体の辺の長さ

試験を行なわないときは、次の表の値をとってよい。

単位モーメント量	管理されない場合		管理された場合	
	$\sigma_{28}$	$\sigma_{28}'$	$\sigma_{28}$	$\sigma_{28}'$
250	150	15	180	18
300	190	17	230	20.5
350	225	18.5	270	22
400	250	20	300	24

なお、セメント 250/315 とは、材令 7 日の強度が  $250 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、材令 28 日の強度が  $315 \text{ kg}/\text{cm}^2$  のセメントをいう。

### 【解説】

フランスの規準が、その他の国の規準と異なっている点は、鉄筋の許容応力度を鋼材の強度と、コンクリートのひびわれとによって規定していることである。

この規準によれば、鉄筋の許容応力度の第 1 の限界値として、一般に、鋼材の弾性限界の 2/3 を与えている。諸外国におけるその他の規準においても、高強度鉄筋の許容応力度は、その降伏点強度に比例して高く取ることができるよう規定されており、降伏点強度の 40~60% 程度に規定されている (表—1)。これは、鉄筋コンクリートばりの極限強さは鉄筋の強度によって定まること

が、最近の高強度鉄筋と品質のよいコンクリートを用いた鉄筋コンクリートのはりの理論および破壊実験において示されているからである<sup>9)~16)</sup>。

表一 1 諸各国における高強度鉄筋の許容応力度と降伏点強度（または弾性限界）との関係<sup>1), 4), 5), 6), 7), 15)</sup>

国名	鉄筋種類	降伏点強度	許容応力度	摘 要
オーストリア	II III IV V	33kg/mm <sup>2</sup> 40 50 60	18 kg/mm <sup>2</sup> 24 30 35	Tor 40 Baustahlgitter Tor 60
スウェーデン	Kam 40 Kam 60 Ss 70 A	36~40 60 70	17.5~21.5 24-29.5(最大33) 最大 40	
ドイツ (DIN 1045)*	II III IV	34~36 40~42 50	18~20 20~22 20~24	はりに用いた丸鋼の場合 スラブに用いた場合
ドイツ (DIN 1075)*	II~IV II~IV	34~50 34~50	16 20	
フランス	TT T C N	45** 40~42** 40~42** 40~42**	30 26.7~28 26.7~28 26.7~28	acier Tentor acier Tor acier caron acier nervuré nersid
アメリカ	レール鋼, 硬鋼 冷間, 引抜鋼線	35	14	
スイス	II II II	35 35 35	20 (16)*** 18 (14)*** 20~22 (16~18)***	矩形はりスラブ などに用いた場合 T形はりなどに用いた場合 最大値

注: \* DIN 1045 は一般の鉄筋コンクリート部材の規定で DIN 1075 はコンクリート橋の規定である。

\*\* この値は弾性限界である。

\*\*\* ( ) 内は橋梁に対する値である。

この規準においては、鉄筋の許容応力度の第2の限界値を、コンクリートのひびわれによって規定している。鉄筋コンクリート部材において、鉄筋の許容応力度を高くして設計すると、コンクリートのひび能力は、許容応力度における鉄筋のひびの 1/10 程度であるので、コンクリートに生ずる引張りひびわれがいちじるしくなる恐れがある。土木構造物の大部分は風雨にさらされるので、これに発生したひびわれは鉄筋を腐食させることになる。

コンクリートのひびわれによって鉄筋に生ずる腐食の程度は、主としてその個々のひびわれの開きの大きさに関係するものである。鉄筋に対して有害でないひびわれの開きの大きさとして杉木博士は 0.2 mm を与えており<sup>17)</sup>、Brocard 氏は鉄筋の腐食度が急激に増大する限界の開きの大きさは 0.4 mm であるとのべている<sup>18)</sup>。スウェーデンの道路橋のひびわれの開きの許容値として、Wästlund 教授の公式による計算値に対して、死荷重のみで 0.3 mm、死荷重と活荷重の 1/2 との和について 0.4 mm を与えている<sup>15)</sup>。アメリカの鉄筋コンクリート規準の改訂案<sup>22)</sup>は荷重によるひびわれの開きの平均値の許容値として、屋内の部材で 0.4 mm、屋外の部材で 0.25 mm に規定している。ソ連の鉄筋コンクリート

規準<sup>23)</sup>ではこの値は 0.2 mm になっている。ヨーロッパコンクリート委員会（最近のコンクリートおよび鉄筋の品質と技術の進歩に対応する新しいヨーロッパにおける統一的な規準を研究するための委員会が 1953 年より発足している）において、このひびわれの開きの許容値として、次の値が提案された<sup>9)</sup>。

- 0.1 mm 相当の浸食作用をうける構造物の部材
- 0.2 mm 防護工のない普通の構造物の部材
- 0.3 mm 防護工のある普通の構造物の部材

この値は、ひびわれの開きの大きさの算定方法が正確でないとの理由で、この委員会では保留になっているが、一応の規準を示すものと考えることができる。

鉄筋コンクリートのひびわれについては Saliger 教授（オーストリア）<sup>13)</sup>、Wästlund 教授（スウェーデン）<sup>15)</sup>、Brice 氏（フランス）<sup>10)</sup>、Efsen 教授（デンマーク）<sup>10)</sup>、Rüsch 教授（ドイツ）<sup>10)</sup>、などによって理論的研究が発表されている。鉄筋コンクリート部材に発生するひびわれはコンクリートの乾燥収縮と部材に作用する引張力または曲げモーメントによってコンクリートに作用する引張応力とに起因する。このひびわれが発生すると、その点で鉄筋コンクリートとの間で相対変位が生じ、ひびわれ発生前と応力状態が変化する。ひびわれ発生後の応力状態は、一般に弾性的というよりも、むしろ塑性的な性質をもっているといわれている。このひびわれ発生後における、2つのひびわれの間のコンクリートと鉄筋との付着応力度の状態を仮定すれば、ひびわれの間隔が求められ、そこにおける鉄筋の平均応力度を仮定すれば、ひびわれの開きの大きさを求めることができる。表一 2 はひびわれの開きの大きさの理論式と、その計算上の仮定を示したものである。

高強度鉄筋を用いた鉄筋コンクリートばりのひびわれ実験は、これまでいくつか報告されているが、上記の理論を比較するため、フランスの土木建築研究所で一連の実験<sup>10)</sup>が行なわれた。この実験は 1956 年の Lasard 氏などによる実験<sup>11)</sup>を参考にし、スパン 7.5 m、桁高 90 cm の II 型、T 型、I 型断面の 13 本の実験桁のひびわれ、および破壊実験を行なったものであるが、この結果、Saliger, Wästlund, Brice 各氏の理論値とこの実験値との差は 13~15% であり、この程度であれば、比較的簡単な Brice 氏の理論が実用的であると報告されている。

BA 1960 の規準<sup>9)</sup>の 2.112 の規定は、Brice 氏の理論を前述の実験によって修正して作られたものと思われる。また、ここの式の  $K$  の値、150 000、100 000、50 000 はそれぞれコンクリートのひびわれの開きの大きさが 0.3 mm、0.2 mm、0.1 mm に相当するものであり、ここの式の  $\sigma_{21}$  は鉄筋比の大きい場合、 $\sigma_{22}$  は鉄筋比の

表—2 10)13)15)23)

	ひびわれ発生後の鉄筋とコンクリートとの付着応力度の変化の仮定	ひびわれの開きの大きさの計算式
Saliger 教授		$\frac{0.039}{p} \frac{\sigma_p}{E_s} \frac{\sigma_s}{\tau_0} \phi \left[ \sigma_s - \left( \frac{0.05}{p} + 2 \right) \sigma_p \right]$
Wästlund 教授		$\tau_1 \phi \left( \frac{I_c}{d_1 d_2 A_s E_s} \right)^{2/3}$
Brice 氏		(1) はり部材 ( $p > 0.6\%$ ) $\frac{1}{2500} \frac{\phi \sigma_s}{\tau_2 p} \left( 1 + 3 \frac{e_a}{e_b} \right)$ (2) 引張部材 ( $p > 0.6\%$ ) $\frac{1}{700} \frac{\phi \sigma_s}{\tau_2 p} \left( 1 + 3 \frac{e_a}{e_b} \right)$
ソ連の鉄筋コンクリート規準 <sup>22)</sup>		$\frac{\sigma_s}{E_s} l_T$ 引張部材 $l_T = \frac{u}{p}$ はり部材 $l_T = k_1 n u$

記号

- $\sigma_p$  コンクリートの立方体強度
- $\sigma_s$  鉄筋の応力度 (ソ連の規準による曲げ部材のこの値は曲げモーメントを鉄筋の弾粘性抵抗モーメントで除した値である)
- $\tau_0$  鉄筋とコンクリートとの付着応力度
- $E_s$  鉄筋の弾性係数
- $\phi$  鉄筋の直径
- $p$  鉄筋比 ( $A_s/b_0h$ )
- $I_c$  コンクリート全断面二次モーメント
- $A_s$  鉄筋の断面積
- $d_1$  圧縮縁より引張鉄筋までの距離
- $d_2$  中立軸より引張縁までの距離
- $e_a$  縦ひびわれの仮想して切った線を横断する鉄筋直径の総和
- $e_b$  縦ひびわれの仮想して切った線を横断するコンクリート断面の巾
- $\tau_1$  鉄筋の表面の粗度に関する係数、普通丸鋼の場合 0.23 異形鉄筋の場合 0.16
- $\tau_2$  鉄筋の表面の粗度に関する係数、普通丸鋼の場合 1、異形鉄筋の場合 1.6
- $u$  鉄筋の断面積を周長で除した値
- $n$  鉄筋とコンクリートとの弾性係数の比
- $k_1$  鉄筋比によって定まる係数

小さい場合のひびわれの開きの大きさから定められたもので、この両者の大きい値を、鉄筋の許容応力度の第2の限界値としている。

普通の鉄筋コンクリートはり部材は、比較的鉄筋比が大きい場合が多いから、上記の  $\sigma_{21}$  で許容応力度が定められることが多いことになるが、この式の許容応力度はひびわれ係数  $\eta$  に比例している。この鉄筋のひびわれ係数  $\eta$  は普通丸鋼に対して 1、BA 1960 の制定委員会が認許した異形鉄筋に対して 1.6 に定められている。このことは、同一のひびわれの状態に対して、異形鉄筋は普通丸鋼の 1.6 倍の効果があることを意味しており、

前記のスウェーデンの Wästlund 教授の式によっても、ひびわれの開きの大きさにに対する普通丸鋼と異形丸鋼との影響の割合は約 1.7 倍になっている<sup>15)</sup>。ひびわれに対する普通丸鋼と異形鉄筋との相違を定量的に規定したものととして、この規定の意義は大きいものと考えられるが、この規定によって、現在筆者のところで設計中の二、三の鉄筋コンクリート部材の断面を検討した結果によれば、ひびわれから定められる鉄筋の許容応力度は、その断面によって変化してくる。このことは、この規定によって高強度鉄筋を用いた部材を経済的に設計することをかなり複雑にするのではないかと考えている。

フランス以外の規準においても、高強度鉄筋は異形鉄筋にして、この許容応力度を高く規定しているところが多い。表—1 に示す DIN 1075 (ドイツ橋梁規準)<sup>9)</sup> の II ~ IV 種鉄筋は鉄筋断面 5.31 cm<sup>2</sup> 以下のものに対して異形鉄筋の場合の許容応力度の割増 (200 kg/cm<sup>2</sup>) を注記しており、スイスの規準<sup>7)</sup> においては II 種鉄筋を用いた場合は高強度のコンクリートを用いることを規定し、I 種鉄筋より 25% 以上付着強度が大きくなっていることを確認するように規定するとともに、ひびわれについての注意事項を規定している。また、オーストリア<sup>8)</sup> の II 種、IV 種鉄筋は Torstahl である。フランスの 1948 年の高強度鉄筋に関する規準<sup>3)</sup> も、ひびわれが有害である場合の許容応力度について、異形鉄筋と普通丸鋼とに差を与えている (表—3)。

表—3 フランスの許容限界 40 kg/mm<sup>2</sup> 以上の高強度鉄筋についての規準 (1948 年) によるひびわれが有害である場合の鉄筋の許容応力度<sup>3),9)</sup>

コンクリートの配合および部材の条件			許容応力度	
セメント使用量	材令 90 日の圧縮強度	乾燥密度*	丸 鋼	異形鉄筋
350 kg/cm <sup>3</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>	0.8	14.4 kg/mm <sup>2</sup>	20 kg/mm <sup>2</sup>
400 "	320 "	0.82	16 "	22 "
特別の場合には次の値をとる				
部材の一面が水に接する場合			10	14
その他の場合			12	18
許容応力度の最大値 (特別の場合を除く)			8	24

\* 施工後の単位体積当りのコンクリート中における、セメント、骨材の絶対容積 (コンクリートの硬化による容積の増加をふくまない) の割合をいう。

図—1



また、アメリカの規定<sup>21)</sup>は鉄筋の許容応力度を比較的低い値に定めているが (表—1 参照)、最近の改訂案<sup>22)</sup>は鉄筋コンクリート部材の極限強度設計法を規定して、高強度鉄筋は、その鉄筋の降伏点応力度に比例して鉄筋量が節約できるように改訂されており、この極限強度設計法を用いる場合には、それに使用する鉄筋は異形鉄筋

に限定している。これはひびわれを考慮して定められたもので、さらに引張鉄筋の設計降伏点強度が3400 kg/cm<sup>2</sup>以上用いる場合には原寸大の供試体によって、ひびわれの開きの大きさを検討するように規定している。この極限強度設計法を古くから採用しているソ連においては<sup>23)</sup>鉄筋コンクリート部材の断面を、部材の耐力（強度および安定性）部材の変形、部材のひびわれの3つの条件から定めている。これによれば、鉄筋の設計降伏点応力度に鉄筋に対する荷重係数を用いて、極限強度設計法によって部材断面を求めるとともに、高度の耐久性を必要とする部材、活荷重のくり返しをうける部材、外気に接する部材、湿度の高い状態にある部材（相対湿度 60% 以上）ではひびわれの開きの大ききの計算式を与えて、これを計算するように規定している。この計算式において異形鉄筋を用いた場合には、ひびわれの間隔および開きの大ききは、普通丸鋼を用いた場合の 1/2 になるように定められている。

以上、鉄筋の許容応力度に対するフランスの規定を中心に考察を行なったが、鉄筋の許容応力度に関するその他の条件として、鉄筋の疲労強度と、部材の変形とがある。異形鉄筋には以上のような、ひびわれに対しての利点があるが、鉄筋の表面の異形部に応力集中が生じて、疲労強度が普通丸鋼より減少するといわれている。ドイツの異形鉄筋の暫定規準は動的荷重をうける構造物に対して、異形鉄筋の使用を制限しているが、これは異形鉄筋の疲労を問題にしているのではないかと推測されている<sup>19)</sup>。フランスにおける硬鋼の異形鉄筋は 1948 年の規準<sup>2)</sup>のものと、1960 年の規準<sup>1)</sup>のものと、そのデフォーメーションを変えている。この理由は明らかでないが、デフォーメーションに関するフランスの実験結果<sup>10)</sup>は、理論的に考えた場合よりも縦リブが有効であるこ

とを述べており、横リブは圧延加工の欠陥によって不良製品のできる危険性が大きいと報告している。わが国の異形鉄筋についての疲労試験が、国鉄の技術研究所において実施中である。この報告の一部<sup>20)</sup>によれば、現在の異形鉄筋は疲労強度に対して問題があるとされているが、これは現在の異形鉄筋の製造方法に欠陥があるのではないかと考えられる。また、圧接継手部では疲労強度は相当に低下するようである。

最後に、高強度鉄筋の許容応力度に關係する条件として、部材の変形、たわみが考えられる<sup>19)</sup>。高強度鉄筋の許容応力度を高くとって、部材が経済的に設計され、鉄筋量が減少してくると、部材の変形、たわみがいちじるしくなる。これに対して高強度鉄筋によるコンクリートばりの実験<sup>14)</sup>もいくつか行なわれており、アメリカ<sup>22)</sup>、ソ連<sup>23)</sup>で、スラブ、はりの変形（たわみ）の計算方法を規定し、そのたわみ量とスパンとの比によって部材の剛性を規定している。

以上、フランスの規準および最近の文献から、鉄筋、特に高強度異形鉄筋の許容応力度を定める条件を整理して見た。高強度鉄筋の許容応力度は、必ずしも、諸外国において一定していないが、おおむね、次のような要素によって定められているといえる。

- (1) 鉄筋の降伏点強度または弾性限界
- (2) コンクリートの引張りひびわれの開きの大きさ
- (3) 鉄筋の疲労強度
- (4) 部材の変形、たわみ

異形鉄筋はコンクリートとの付着強度が大きいため、鉄筋の定着長を短かくできること、フックのはぶける場合のあること、重ね合せ継手の重ね合せ長さが短くなること、などの配筋上の有利な点があるが、鉄筋の手配、加工および取り扱い、普通丸鋼よりはるかに困難であ

表-4 Regles BA 1960 の高強度異形鉄筋

		I	II	III	IV
鉄筋の名称		acier Tentor	acier tor	acier caron	acier nervuré nersid
鉄筋の記号		TT	T	C	N
性質		引張りとなねじりを与えて冷間加工した軟鋼	ねじりを与えて冷間加工した軟鋼	ねじりを与えて冷間加工した軟鋼	硬鋼
強度	弾性限界 ( $\sigma_{eg}$ ) kg/cm <sup>2</sup>	5 000	4 200 ( $\phi < 20$ ) 4 000 ( $\phi > 25$ )	4 200 ( $\phi < 20$ ) 4 000 ( $\phi > 20$ )	4 200 ( $\phi < 16$ ) 4 000 ( $\phi > 20$ )
	引張強度 ( $\sigma_{arg}$ ) kg/cm <sup>2</sup>	5 800	4 850 ( $\phi < 20$ ) 4 600 ( $\phi > 25$ )	4 850 ( $\phi < 20$ ) 4 600 ( $\phi > 20$ )	5 000 ( $\phi < 16$ ) 4 800 ( $\phi > 20$ )
	破断時ののび ( $\epsilon_{arg}$ ) %	21	14	14	12
付着に關係する係数	ひびわれ係数 $\eta$	1.6	1.6	1.6	1.6
	定着係数 $\eta_d$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$
強度計算に用いる弾性限界 (kg/cm <sup>2</sup> )		4 500	4 200 ( $\phi < 20$ ) 4 000 ( $\phi > 25$ )	4 200 ( $\phi < 20$ ) 4 000 ( $\phi > 20$ )	4 200 ( $\phi < 16$ ) 4 000 ( $\phi > 20$ )
形状		図-2, 図-3	図-4	図-5	図-6

図-2



図-3

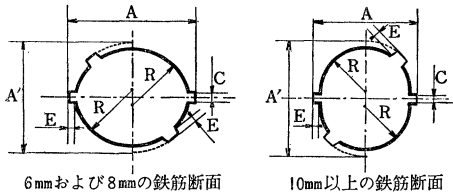


図-4



図-5

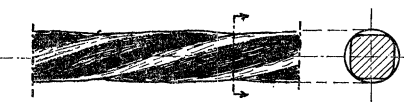
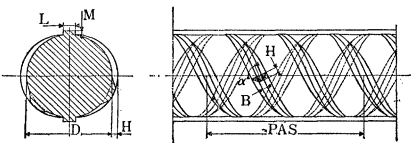


図-6



る。従って、施工をふくめて、高強度異形鉄筋が経済的に用いられるためには、その設計上の許容応力度を慎重に検討して定める必要があるものと考えている。

高強度異形鉄筋は約 20 年前からオーストリア、スウェーデンなどで実用化され、現在使用されている高強度鉄筋は炭素含有量の多い特殊の硬鋼のものと、軟鋼を冷間でねじり、または引張りを与えて強度を高めたものと大別することができる。フランスの規準の制定委員会は、現在フランスで用いられている高強度鉄筋（現在の所すべて異形鉄筋である）について、強度計算に用いる鉄筋の弾性限界ひびわれ係数、定着係数を定めている（表-4）。この高強度異形鉄筋の形状および機械的性質は製造者がその責任を負っている。なお、この表における定着係数は普通丸鋼を 1 とした場合の、定着効果を示す係数であり、ひびわれ係数は前出のものである。

以上の資料の整理に当って、御懇切な御指導を賜った東京大学 国分正胤先生、京都大学 岡田 清先生、国鉄構造物設計事務所 川口輝次夫長、国鉄新幹線総局 河野通之設計課長に厚く御礼申上げる。

参考文献

- 1) Règles pour le calcul et l'exécution des constructions en béton armé, 1960 (Règles BA 1960)
- 2) Règles d'utilisation du béton armé (Règles BA 1945)
- 3) Règles d'utilisation des ronds crénelés et lisses pour béton armé de limite d'élasticité supérieure ou égale à 40 kg/mm<sup>2</sup> (Règles 1948 Ronds né 40-60)
- 4) DIN 1045, Beton Kalender
- 5) DIN 1075, Beton Kalender
- 6) Österreichische Stahlbetonbestimmungen, Beton Kalender (1955)
- 7) Schweizerische Stahlbetonbestimmungen (1956), Beton Kalender (1961)
- 8) 吉田徳次郎; 鉄筋コンクリート設計方法 (1960)
- 9) Y. Saillard; Compte rendu des travaux du comité européen du béton, Annales I.T.B.T.P. mar-avril 1960
- 10) J. Perchat et Y. Saillard; Conditions d'emploi des aciers à haute adhérence des treillis soudés et des toles déployées; Annales I.T.B.T.P mai 1960
- 11) A. Lazard, G. Lemaire, S. Soretz, J. Chefdeville, J. Festa; Essais comparatifs des poutres armées en acier Tor 40 et acier doux <ponts et chaussées>; Annales I. T.B.T.P fevrier 1956
- 12) M. Rös "Bericht Nr 162 der EMPA" (1950)
- 13) R. Saliger "Die neue Theorie des Stahlbeton" 1950
- 14) W. Jäniche, H. Wascheide, "Zur Entwicklung eines Sonderbetonrippenstahles" B. u St. Heft 1, 1961
- 15) G. Wästlund, "Use of high-strength steel in reinforced concrete" Journal of A.C.I. 1957 June
- 16) S.A. Guralnick "High-strength deformed steel bars for concrete reinforcement" Journal of A.C.I. 1960 Sept.
- 17) 杉木六郎; 鉄筋コンクリートのひびわれ, セメント・コンクリート No. 96, 昭和 30 年 2 月
- 18) M.J. Brocard; Corrosion des acier dans le béton armé, Annales I.T.B.T.P. Juin 1958
- 19) 小寺重郎; ドイツの異形鉄筋暫定規準その他の抄訳; 土木技術 1961 年 3 月号
- 20) 富田勝信, 渡辺信一; 鉄筋用鋼材の疲れ強さ; 鉄道技術研究所速報 No. 61-323 昭 36. 10
- 21) Building Code Requirements for Reinforced Concrete (A.C.I 318-56)
- 22) Proposed Revision of Building Code Requirements for Reinforced Concrete (A.C.I 318-56), Journal of A.C.I Feb, 1962
- 23) ИНСТРУКЦИЯ ПО РАСЧЕТУ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ (И 123-55) (原受受付: 1962.3.10)

海岸工学講演会講演集 (1957 年版) (平版)	B 5 判 254 頁	実費 300 円	(送料 90 円)
第 5 回 海岸工学講演会講演集 (1958 年版)	B 5 判 204 頁	" 400 円	( " 70 円)
第 6 回 海岸工学講演会講演集 (1859 年版)	B 5 判 160 頁	" 400 円	( " 60 円)
第 7 回 海岸工学講演会講演集 (1960 年版)	B 5 判 303 頁	" 600 円	( " 110 円)
第 8 回 海岸工学講演会講演集 (1961 年版)	B 5 判 218 頁	" 1000 円	会員特価 800 円 ( " 100 円)