

13 条 梁の曲げに対する断面算定

〔下線部は改定箇所を示す。~~二重取消線~~は削除した部分を示す〕

【本文案】

1. 梁の設計用曲げモーメントは、以下の方法で計算する。

(1) 使用性検討用の長期設計用曲げモーメントは、その部材に長期荷重が作用した場合の最大曲げモーメントとする。

(2) 修復性検討用の短期設計用曲げモーメントは、その部材に短期荷重が作用した場合の最大曲げモーメントとする。

2. 長方形梁の許容曲げモーメントは、12 条の基本仮定に基づき、圧縮縁がコンクリートの許容圧縮応力度 f_c に到達したとき、あるいは引張側鉄筋が鉄筋の許容引張応力度 f_t に到達したときに対して求めた値のうち、小さいほうによる。

3. 長方形梁とスラブが一体となった構造とみなされる T 形梁において、スラブが圧縮側になる場合には、次の規定に従って算定する。スラブが引張側になる場合は、スラブを無視した長方形梁として本条 1 項の規定に従って算定する。

(1) T 形梁の有効幅 B は、通常の場合、8 条 1 項 (3) によることができる。

(2) T 形梁の許容曲げモーメントは、i) または ii) による。

i) 中立軸がスラブ内にある場合

T 形梁の有効幅 B を幅とする長方形梁として本条 2 項による。

ii) 中立軸がスラブ外にある場合

12 条の基本仮定に基づいて T 形断面を評価し、圧縮縁がコンクリートの許容圧縮応力度 f_c に到達したとき、あるいは引張側鉄筋が鉄筋の許容引張応力度 f_t に到達したときに対して求めた値のうち、小さいほうによる。

4. 梁の引張鉄筋比が釣り合い鉄筋比以下のときは、許容曲げモーメントは (13.1) 式によることができる。

$$M = a_t f_t j \quad (13.1)$$

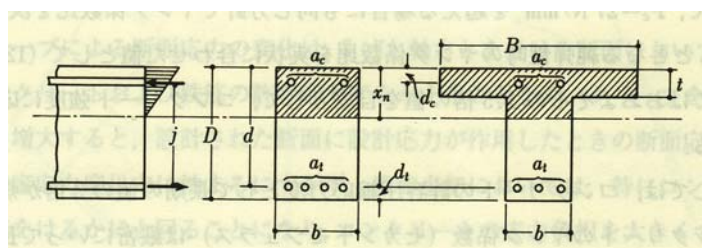
ただし、 $j = (7/8)d$ とする。

図 13.1 梁の断面

5. 前各項の算定のほか、梁は次の限度に従うこと。
- (1) 長期荷重時に正負最大曲げモーメントを受ける部分の引張鉄筋断面積は、 $0.004bd$ または存在応力によって必要とされる量の $4/3$ 倍のうち、小さいほうの値以上とする。
 - (2) 主要な梁は、全スパンにわたり複筋梁とする。ただし、鉄筋軽量コンクリート梁の圧縮鉄筋断面積は、所要引張鉄筋断面積の 0.4 倍以上とする。
 - (3) 主筋は、~~異形鉄筋 D13 以上とする。~~ D13 以上の異形鉄筋とする。
 - (4) 主筋のあきは、 25mm 以上、かつ、異形鉄筋の径（呼び名の数値 mm ）の 1.5 倍以上とする。
 - (5) 主筋の配置は、特別の場合を除き、 2 段以下とする。

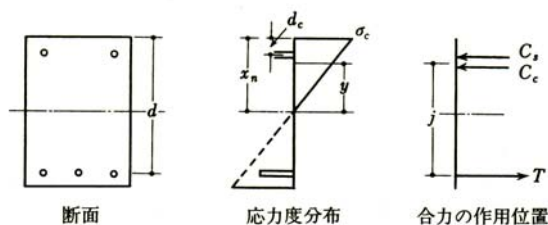
【解説案】

1. 梁の設計用曲げモーメントと限界状態における性能評価の考え方

梁の設計用曲げモーメントを算定するための荷重および外力の組合せは、7 条によるものとする。 梁の長期荷重に対する使用性の検討では、長期許容曲げモーメントが長期設計用曲げモーメント以上であることを確認するとともに、梁の主要支点間距離と梁せいの比を適切に設定する（解(13.19)式参照）。 また、梁の短期荷重に対する修復性の検討では、短期許容曲げモーメントが短期設計用曲げモーメント以上である事を確認する。 なお、安全性の検討については、本条では取り扱わないこととした。 これは、本条の構造規定を満足し、かつ 15 条に従ってせん断破壊を防止すれば、多くの場合、梁には十分なじん性が確保されると考えたことによる。しかし、厳密には安全性に関する検討は本規準では不十分であり、終局時の破壊性状や変形状態を適切な方法で予想して安全性を検討することが望ましい。

2. 長方形梁の断面計算式

長方形梁の許容曲げモーメントを算定する基本的な考え方を以下に示すが、許容曲げモーメントー引張鉄筋比関係を算定するプログラムを付録に載せておくので参照されたい。



解図 13.1 長方形梁の応力度分布と合力の作用位置

長方形梁の許容曲げモーメントは次式で求められる。

$$M = Cbd^2 \quad \text{解(13.1)}$$

ここで、 C は、以下に求める C_1 、 C_2 のうち小さいほうによる。

σ_c を圧縮縁コンクリートの応力度とすると、長方形梁の応力度分布は、解図 13.1 に示すように

なり、圧縮コンクリートの合力を C_c 、圧縮鉄筋の合力を C_s 、引張鉄筋の合力を T とすると、軸方向の力のつり合いおよびモーメントのつり合いから

$$C_c + C_s = T \quad \text{解(13.2)}$$

$$M = C_s(d - d_c) + C_c \left(d - \frac{1}{3}x_n \right) \quad \text{解(13.3)}$$

または

$$M = Tj \quad \text{解(13.3')})$$

ここに $C_c = \frac{\sigma_c x_n b}{2}$

$$C_s = (n-1)\sigma_c \frac{x_n - d_c}{x_n} p_c b d$$

$$T = n\sigma_c \frac{d - x_n}{x_n} p_t b d$$

なお、引張鉄筋比 p_t は次式による.

$$p_t = \frac{a_t}{bd} \quad \text{解(13.4)}$$

解(13.2) 式より

$$x_{n1}^2 + 2p_t \{n(1+\gamma) - \gamma\} x_{n1} - 2p_t \{n(1+\gamma d_{c1}) - \gamma d_{c1}\} = 0$$

ここに、 $x_{n1} = \frac{x_n}{d}$ 、 $d_{c1} = \frac{d_c}{d}$ 、 $\gamma = \frac{a_c}{a_t}$ (ただし、本条の γ は、2 条の定義と異なる.)

これより中立軸比を求めると

$$x_{n1} = p_t \left[\sqrt{\{n(1+\gamma) - \gamma\}^2 + \frac{2}{p_t} \{n(1+\gamma d_{c1}) - \gamma d_{c1}\} - \{n(1+\gamma) - \gamma\}} \right] \quad \text{解(13.5)}$$

x_{n1} が決まると、圧縮縁コンクリートの応力度が許容圧縮応力度 f_c になるか、引張鉄筋の応力度が引張許容応力度 f_t になる条件

$$\sigma_c = f_c \quad \text{解(13.6)}$$

$$n\sigma_c = \frac{x_n}{d - x_n} f_t \quad \text{解(13.7)}$$

から許容モーメントを求める. すなわち、解(13.6)式を解(13.3)式に入れると C_1 が得られ、解(13.7)式を解(13.3') 式に入れると C_2 が得られる.

$$C_1 = \frac{p_t f_c}{3x_{n1}} \{n(1-x_{n1})(3-x_{n1}) - \gamma(n-1)(x_{n1} - d_{c1})(3d_{c1} - x_{n1})\} \quad \text{解(13.8)}$$

$$C_2 = \frac{p_t f_t}{3n(1-x_{n1})} \{n(1-x_{n1})(3-x_{n1}) - \gamma(n-1)(x_{n1} - d_{c1})(3d_{c1} - x_{n1})\} \quad \text{解(13.9)}$$

また、 $C_1 = C_2$ となる時の引張鉄筋比、すなわち、つり合い鉄筋比 p_{tb} は、解(13.8)式と解(13.9)式を等値し解(13.5)式を用いることによって次式のように得られる。

$$p_{tb} = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{f_t}{nf_c} \right) \left[\frac{f_t}{nf_c} \{ n + (n-1)\gamma d_{c1} \} - (n-1)\gamma(1-d_{c1}) \right]} \quad \text{解(13.10)}$$

なお、圧縮側の合力を求める場合、圧縮側コンクリート断面積と圧縮鉄筋の等価コンクリート断面積との重複を許容すれば以下のような簡便な式が得られる。コンクリート強度があまり高くなくヤング係数比が比較的大きい場合にはこの式を用いてもよい。

$$C_c = \frac{\sigma_c x_n b}{2}$$

$$C_s = n\sigma_c \frac{x_n - d_c}{x_n} p_c b d$$

$$T = n\sigma_c \frac{d - x_n}{x_n} p_t b d$$

解(13.2)式より

$$x_{n1}^2 + 2np_t(1+\gamma)x_{n1} - 2np_t(1+\gamma d_{c1}) = 0$$

これより、

$$x_{n1} = np_t \left[\sqrt{(1+\gamma)^2 + \frac{2}{np_t}(1+\gamma d_{c1})} - (1+\gamma) \right]$$

また、上記の関係と、解(13.6)、解(13.3)式から C_1 が、解(13.7)、解(13.3') 式から C_2 が次のように得られる。

$$C_1 = \frac{np_t f_c}{3x_{n1}} \{ (1-x_{n1})(3-x_{n1}) - \gamma(x_{n1}-d_{c1})(3d_{c1}-x_{n1}) \}$$

$$C_2 = \frac{p_t f_t}{3(1-x_{n1})} \{ (1-x_{n1})(3-x_{n1}) - \gamma(x_{n1}-d_{c1})(3d_{c1}-x_{n1}) \}$$

さらに、 $C_1 = C_2$ から

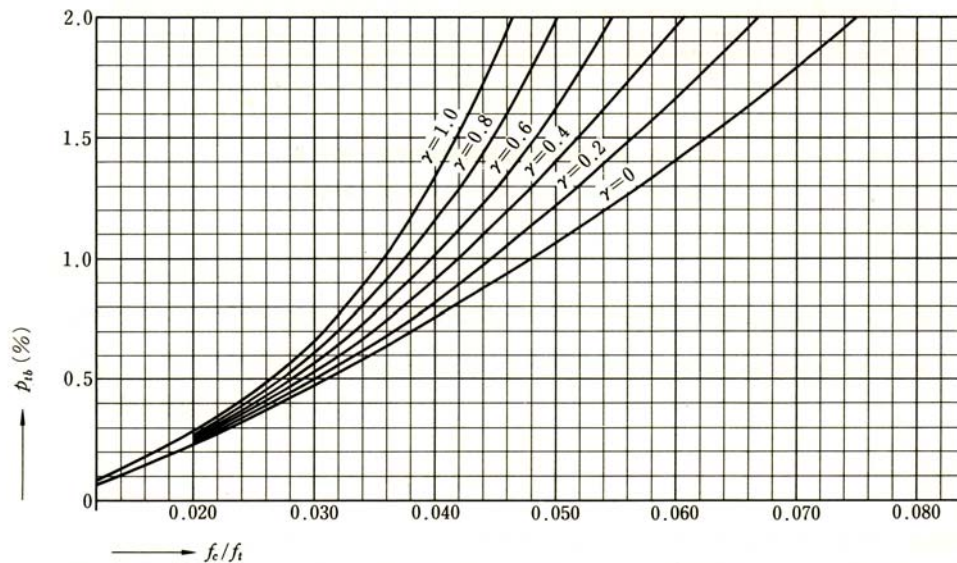
$$p_{tb} = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{f_t}{nf_c} \right) \left[\frac{f_t}{f_c} \{ 1 + \gamma d_{c1} \} - n\gamma(1-d_{c1}) \right]}$$

以上に示したのは、梁の許容曲げモーメントが引張鉄筋あるいはコンクリートで決まる場合である。しかし、許容応力度の低い鉄筋と強度の高いコンクリートを組み合わせると、中立軸比 x_{n1} が 0.55 (ただし、 $d_c/d=0.1$ と仮定) 以上の場合、すなわち、引張鉄筋比が高く、複筋比が小さい場合には圧縮鉄筋の許容応力度で計算上許容曲げモーメントが決まる場合が起こってくる。しかし、圧縮鉄筋応力度が許容応力度を多少超過しても支障はないものと考えられるので、本規準ではこの場合はとり上げなくてもよいこととした。

解図 13.2 に、 $n=15$ の場合におけるつり合い鉄筋比を示す。図の横軸から材料の組合せおよ

び応力の長期・短期に応じて f_c/f_t の値を読み取り、複筋比 γ に応じてつり合い鉄筋比 p_{tb} を求めることができる。つり合い鉄筋比は、コンクリートの許容応力度と鉄筋の許容応力度の比が大きくなり、複筋比 γ が大きいときに大きくなる。引張鉄筋比がつり合い鉄筋比を越えると、コンクリートの許容圧縮応力度によって許容曲げモーメントが決まるので、鉄筋の強度が十分に発揮されないことになり、不経済な設計となる。

なお、参考のために、鉄筋が SD 345、コンクリートが $F_c 24$ の時の $C - p_t$ 関係を、長期と短期について解図 13.3 と解図 13.4 に示す。



解図 13.2 コンクリートと鉄筋の許容応力度比に応じたつり合い鉄筋比 ($n=15$, $d_c/d=0.1$)

3. T 形梁の断面計算式

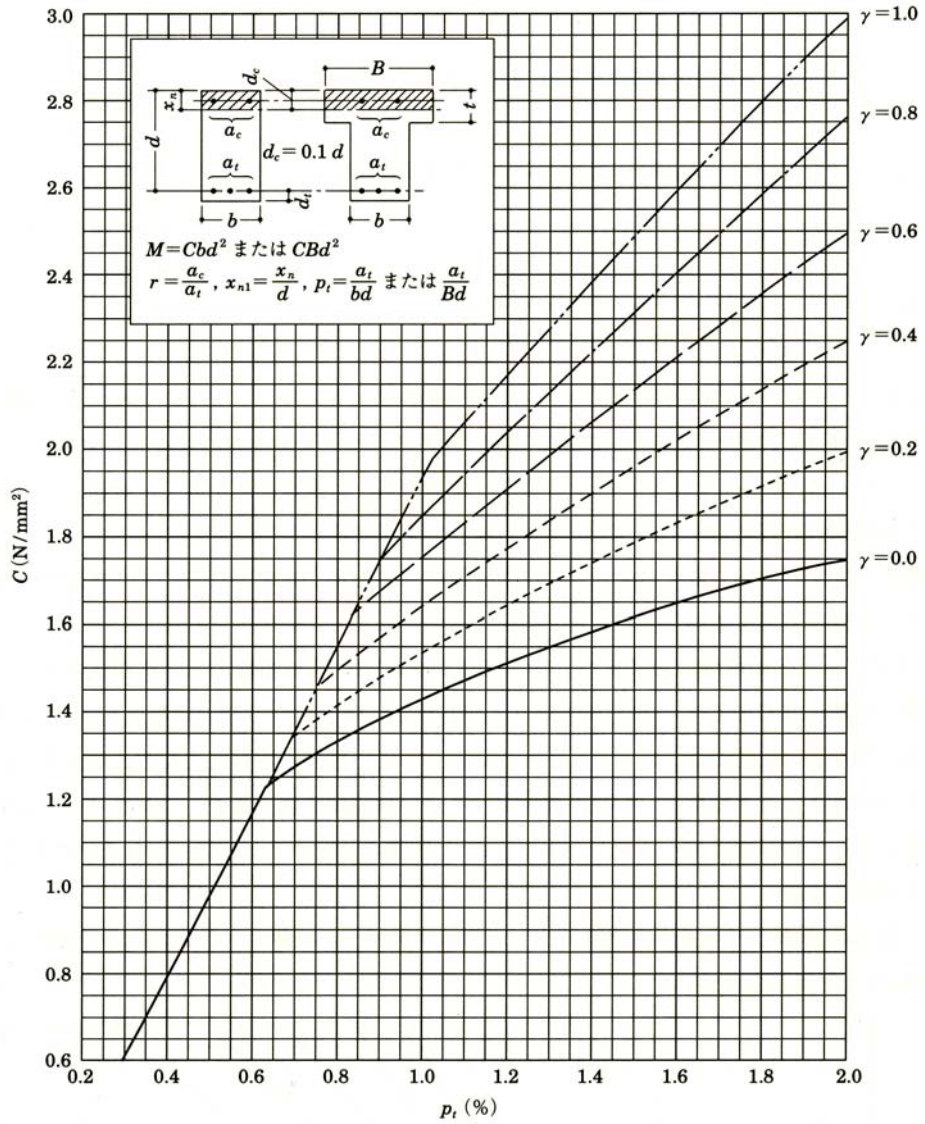
T 形梁においてスラブが引張側になる場合には、スラブを無視した長方形梁として 1 項に基づいて算定してよい。スラブが圧縮側になる場合は、その効果を取り入れて以下のように算定する。

(1) T 形梁の引張鉄筋比 p_t は次式による。

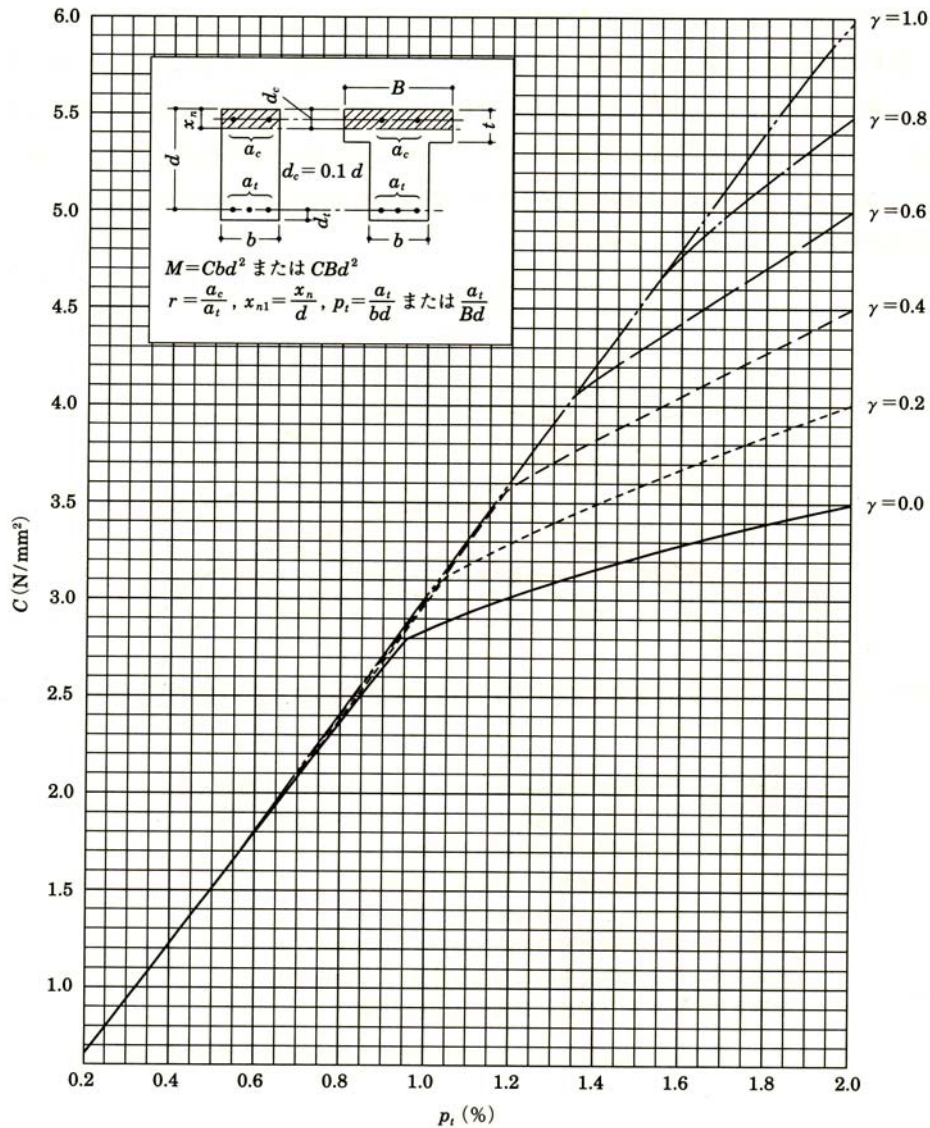
$$p_t = \frac{a_t}{Bd} \quad \text{解(13.11)}$$

T 形梁の有効幅は、8 条の解説の中に述べた各条件によって大きく変化する。また、有効幅は材長に沿って一定でない。辺長比 a/l が無限大の板部をもつ T 形梁が、各種の荷重と各種の支持条件をもつ場合の弾性理論により計算した有効幅の材長に沿う分布を解図 13.5 に示す。弾性材の設計には、これらの理論値の危険断面の値をとるべきであろうが、実験による終局強度は、弾性理論による値より高く、8 条に示した値によっても安全なようである¹⁾。ただ、水平荷重を受ける梁端の有効幅は、一般に小さいので（直交梁の剛性に左右されるが、解図 13.5 の曲線 1 と 2 の間で曲線 1 に近い）、梁として必要な上端配筋の一部をスラブ内に通す場合（いわゆる in slab 筋）でも、端ではできるだけ柱内におさめることが望ましい。

T 形梁のフランジ厚が薄く、フランジ幅が大きいときは、フランジの面内せん断応力度が大きくなり、フランジとウェブとの付け根付近にせん断ひび割れを生じることがあるので注意が必要である。



解図 13.3 長方形梁の長期許容曲げモーメント ($F_c = 24 \text{ N/mm}^2$, $n = 15$)



解図 13.4 長方形梁の短期許容曲げモーメント ($F_c = 24 \text{ N/mm}^2$, $n = 15$)

(2) T 形梁のスラブが圧縮側になり、その中立軸がスラブ内にはいる場合には、梁幅として T 形梁の有効幅 を用いれば、長方形梁とまったく同様に取り扱うことができる。

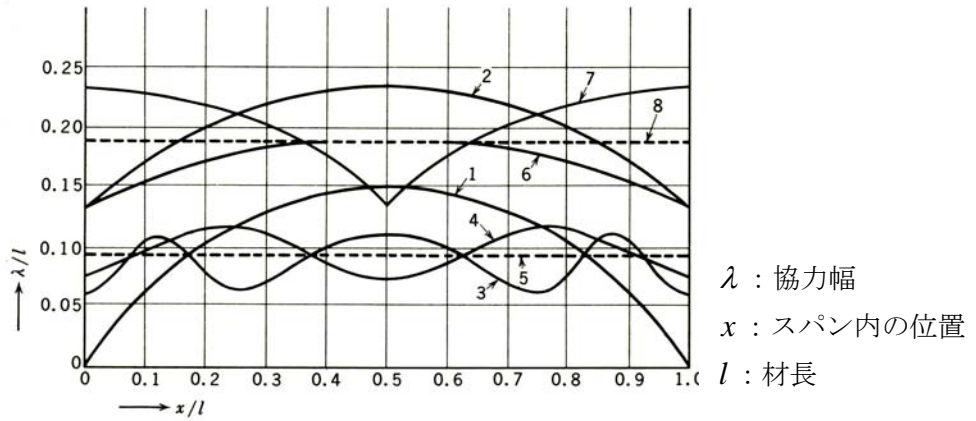
中立軸がスラブの外にあるか内にあるかは引張鉄筋比 p_t によって判定される。中立軸がちょうどスラブ下端に一致するときの鉄筋比 p_t は次式で求められ、これを解図 13.6 に示す。

$$p_t = \frac{t_1^2}{2n(1-t_1)} \tag{解(13.12)}$$

ここに、 $t_1 = \frac{t}{d}$

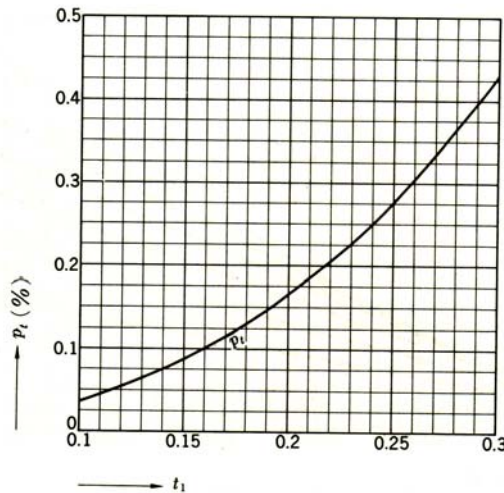
これよりも高い鉄筋比の場合には中立軸がスラブ外に出て T 形梁としての次式が近似的に求められる。

- 1) 東 洋一・大久保全陸・中央集中荷重時単純支持鉄筋コンクリート T 梁の有効幅と破壊性状, 日本建築学会論文報告集, No. 46 (昭 43.4).



- 曲線 1 は 水平荷重時両端にモーメントを受ける自由支持梁 (東)
- 曲線 2 は 水平荷重時両端にモーメントを受ける固定梁 (東)
- 曲線 3 は 等分布荷重の固定梁 (Metzer)
- 曲線 4 は 中央集中荷重時の固定梁 (Metzer)
- 曲線 5 は cosine 形 M 時の固定梁 (Chwalla)
- 曲線 6 は 等分布荷重時の自由支持梁 (Chwalla)
- 曲線 7 は 中央集中荷重時の自由支持梁 (Chwalla)
- 曲線 8 は sine 形 (半波) M 時の自由支持梁

解図 13.5 梁長さに沿う協力幅の変化 ($a/l = \infty$ のとき)



解図 13.6 中立軸がスラブの下端にある場合の鉄筋比 ($n = 15$)

$$C_1 = t_1 \frac{12 - 12t_1 + 4t_1^2 + \frac{t_1^3}{np_t}}{12 + 6\frac{t_1^2}{np_t}} f_c \quad \text{解(13.13)}$$

$$C_2 = p_1 \frac{12 - 12t_1 + 4t_1^2 + \frac{t_1^3}{np_t} f_t}{12 - 6t_1} \quad \text{解(13.14)}$$

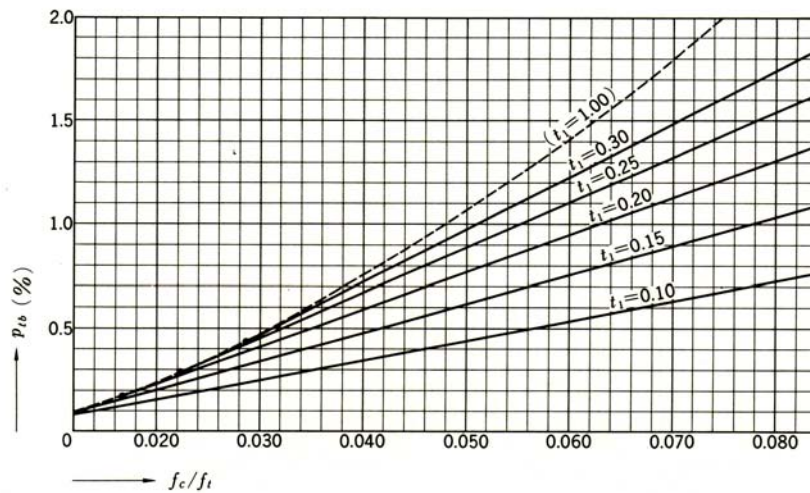
これらより、許容曲げモーメントは

$$M = CBd^2 \quad \text{解(13.15)}$$

ただし、 C は、 C_1 、 C_2 のうち小さいほうとする。

なお、中立軸がスラブの外に出た場合のつり合い鉄筋比は解(13.13)式と解(13.14)式を等値して次式として得られる。その値を解図 13.7 に示す。

$$p_t = \frac{1}{2} \left\{ t_1 (2 - t_1) \frac{f_c}{f_t} \right\} - \frac{t_1^2}{n} \quad \text{解(13.16)}$$



解図 13.7 T 形梁のつり合い鉄筋比 ($n=15$)

4. つり合い鉄筋比以下の場合

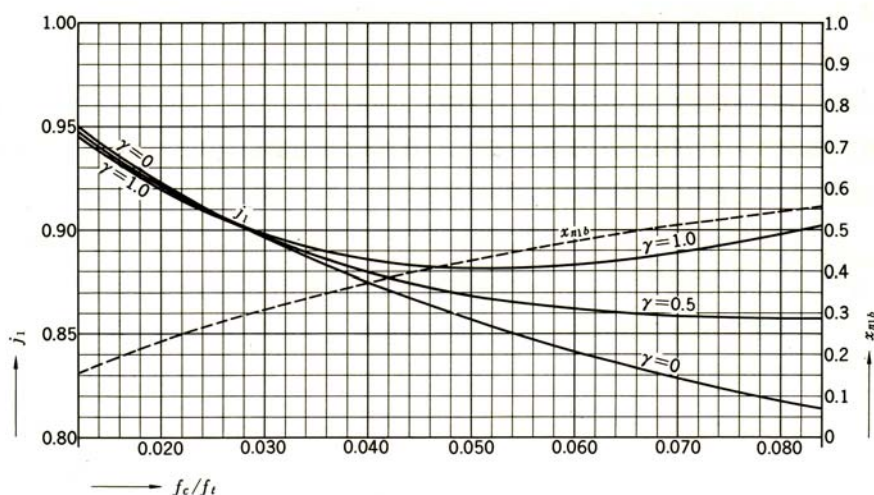
i) 長方形梁の場合

引張鉄筋比が、つり合い鉄筋比以下のときには解(13.3') 式がそのまま使えて規準本文の(13.1)式が得られる。

j の値は複筋比、鉄筋比で異なり、次式で与えられる。

$$j = \frac{d}{3(1-x_{n1})} \left\{ (1-x_{n1})(3-x_{n1}) - \gamma(x_{n1}-d_{c1})(3d_{c1}-x_{n1}) \right\} \quad \text{解(13.17)}$$

解図 13.8 に、つり合い鉄筋比のときの応力中心距離比 $j_1 = j/d$ の値および中立軸比 x_{nb} を示しておく。

解図 13.8 つり合い鉄筋比のときの中立軸比および応力中心距離比 ($n=15$, $d_c/d=0.1$)

$$\text{ここに } x_{nlb} = \frac{1}{1 + \frac{f_t}{nf_c}} \quad \text{解(13.18)}$$

つり合い鉄筋比以下ならば、 j_1 は解図 13.8 の値よりも大きくなる。したがって、 j として $j = (7/8)d$ をとつても一般に差し支えない。

ii) T 形梁の場合

スラブが圧縮側の場合で、中立軸がスラブ内のときはもちろん、中立軸がスラブ断面外に出た場合にも、解(13.16) 式 (または解図 13.7) のつり合い鉄筋比以下ならば、(13.1) 式 $M = a_t f_t j$ が使える。一般に B が大きいから、ほとんどつり合い鉄筋比以下で設計できる。

4. 構造規定

i) 主筋量

梁の引張鉄筋断面積が、コンクリート断面積に比べて非常に小さいと、断面のひび割れ抵抗モーメントよりも降伏モーメントが小さくなることがあり、ひび割れ発生と同時に鉄筋が降伏したり、曲げひび割れが大きくなって急激な剛性低下をきたすことが考えられる。このようなことを防ぐために、長期荷重時に正負最大曲げモーメントを受ける断面で、最小引張鉄筋比を 0.4% とすることにした。一般の梁では、端部上端と中央下端、基礎梁で地盤反力を受ける場合には端部下端と中央上端がこれに相当する。T 形梁においても、この鉄筋比は、梁幅に関するもの

($p_t = a_t/bd$) でよいが、解(13.11) 式の規定 ($p_t = a_t/Bd$) とまぎらわしいので、長方形梁と一

括して $0.004bd$ という表現になっている。なお、非常に大きな断面をもつ場合、例えば、ウォールガーダーや基礎梁ではひび割れの危険も少なくなり、また現実に 0.4% を入れられないことも考えられるので、存在応力による必要量の 4/3 倍でもよいという緩和を行った。ここに、存在応力とは長期荷重による応力のことである。なお、コンクリート強度が大きい場合には曲げひび割

れによる剛性低下が大きいので、0.4% より多めにするよう配慮することが望ましい。

また、引張鉄筋比をつり合い鉄筋比よりも大きくしない通常の設計では問題は少ないが、引張鉄筋比を過大にした場合には、主筋に沿う付着割裂破壊が生じたり、あるいは変形性能が小さくなるので注意が必要である。

圧縮鉄筋は曲げ強度には寄与することが小さいが、長期荷重によるクリープたわみの防止、短期（地震時）に対する靱性の確保に効果的である。したがって、主要な梁は必ず複筋とする。また、軽量コンクリートはヤング係数が小さいので、同じ荷重条件のもとに普通鉄筋コンクリートと同断面の梁を設計した場合、曲げ剛性は小さく、クリープの効果も含めてたわみは大きくなる傾向があるので、主要な梁では $\gamma \geq 0.4$ の圧縮鉄筋で補強することを規定した。

ii) 梁断面

長期荷重時にコンクリートの過大なひび割れなど建物の使用上の障害を防止するため、梁の主要支点間距離と全せいの比は、次の限度に従うことをすすめる。

$$\frac{l}{D} < \sqrt{\frac{C_c b}{\alpha w_0}} \quad \text{解(13.19)}$$

$$C_c = 1.0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{T 形梁}$$

$$= 0.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{長方形梁}$$

$$\alpha = \frac{M}{Wl} = \frac{1}{16} \quad \text{両端固定}$$

$$= \frac{1}{8} \quad \text{単純支持}$$

$$= \frac{1}{2} \quad \text{片持梁}$$

記号 M : 単純梁・片持梁に対しては最大曲げモーメント (kNmm)
 両端固定梁に対しては正負最大曲げモーメントの平均値 (kNmm)
 W : 梁にかかる全荷重 (kN)
 l : スパン (mm)
 D : 梁の全せい (mm)
 b : 梁の最小幅 (mm)
 w_0 : 梁の平均荷重 (N/mm)

梁の振動障害に関しては、通常の建物では、特に梁のせいの制限を必要としないが、相当な重量の車が通るような特別の荷重を受ける場合は考慮する必要がある。

iii) 2 段配筋

主筋の配置は、基本的に 2 段以下とした。しかし、基礎梁などのように大きな主筋量が必要であるにも拘らず断面幅が小さい場合には、主筋は 3 段以上の配置となることがある。こうした場合でも、多段配筋の影響が必ずしも明らかでないため、できるだけ段数を減らして主筋配置を行なうことが好ましい。