水力发电建設技术經验专題报导

水利电力部上海勘測設計院

加筋混凝土結構計算的簡化

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本文根据加筋混凝土理論，簡化了計算方法并同时提供了一組曲綫图表（图一～图四），可以使計算时不必試算即能一次求得結果。同时为了注意在目前水工結构中采用热轧螺絲鋼以节約鋼材，文內亦同时提供一組曲綫图表（图五、图六），以供使用。本文适合于水工設計人員使用，亦可作为大专学校教学参考。

水力发电建設技术經驗专題报导

加筋混凝土結构計算的簡化

水利电力部上海勘測設計院编

上海科学技术出版社出版

（上海南京西路2004号）

上海市书刊出版业营业許可証出093号

上海市印刷五厂印刷　新华书店上海发行所总經售

开本850×1168耗1/32 印张1·字数21,000

1959年6月第1版　1959年6月第1次印刷

印数1～3,000

統一书号：15119·1271

定　价：（十二）0.16元

編制：姚慰城

水力发电建設
技术經驗专題报导

滬 技0055号
1959 年1月

加筋混凝土結构計算的簡化

目　录

前　言

水工結构中采用加筋混凝土設計的构件，常常以偏心受压情况居多数，算式繁瑣，如果不加簡化，仅計算 μ_1 和 μ_2 等工作就十分麻煩。按参考文献[4]（見本书 24 頁）介紹的图表解法，虽有改进，但仍不够簡便，而規范草案[7]所附的图表在計算 μ_1 和 μ_2 时也沒有省却試算的步驟。为此本文在同样的基础上再进一步簡化，繪制一組曲綫，使計算受弯构件的 μ 值和偏心受压构件的 μ_1 和 μ_2 值时非常方便，不需試算就能一次算得結果。

目前在鋼筋混凝土結构中已普遍采用螺紋鋼筋，在加筋混凝土結构中也采用了螺紋鋼筋，按参考文献[1]所列公式均从 $\sigma_T=2500\ \mathrm{kg/cm^2}$ 推导得出，采用螺紋鋼筋后 $\sigma_T=3500\mathrm{kg/cm^2}$，如果也可以照流限的比例減少含鋼率时，則对于加筋混凝土构件的設計或修改計算均方便不少。本文根据参考文献[1]的理論，用 $\sigma_T=3500\mathrm{kg/cm^2}$ 代替 $\sigma_T=2500\ \mathrm{kg/cm^2}$ 按步推导各計算关系式，并繪制曲綫，举例証明采用螺紋鋼筋后也可以按流限的比例減少含鋼率，因此，簡化計算用的 $\sigma_T=2500\ \mathrm{kg/cm^2}$ 的曲綫图，也可用于 $\sigma_T=3500\mathrm{kg/cm^2}$ 的情况。

簡化加筋混凝土結构的計算

I. 受弯构件

按 ГОСТ 4286-48 或混凝土和鋼筋混凝土水工結构設計法規[5]所規定的安全系数 $k_{\text{т}_1}$ 和 k_{p_2} 仅有下列六种組合情况:

表一

$k_{\text{т}_1}$	4.4	4.0	3.6	3.3	3.0	2.8
k_{p_1}	2.0	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6

受弯构件的 μ_1 和 μ_2 值仅决定于 $k_{\text{т}_1}$ 和 k_{p_1} 值和采用的混凝土标号，因此关系式

$$\mu=\mu_2-(\mu_2-\mu_1)\frac{1.0-\dfrac{1}{k_{\text{т}}}}{1.0-\dfrac{1}{k_{\text{т}_1}}}$$

可化成

$$\mu=\frac{R_{\text{pн}}}{12050}\left[\frac{k_{\text{p}_1}}{1.12-0.12k_{\text{p}_1}}-\left(\frac{k_{\text{p}_1}}{1.12-0.12k_{\text{p}_1}}-\frac{1}{1.12\,k_{\text{т}_1}-0.12}\right)\frac{1.0-\dfrac{1}{k_{\text{т}}}}{1.0-\dfrac{1}{k_{\text{т}_1}}}\right]$$

該式仅适用于 $\sigma_{\text{т}}=2500\text{kg/cm}^2$ 的情况，即将文献[1]中的(12)式代入(14)式得到者。

将表一所列六組 $k_{\text{т}_1}$ 与 k_{p_1} 值代入式中可繪制六条 $\mu/R_{\text{pн}}\sim k_{\text{т}}$ 关系曲綫，即規范草案[7]中附录 5 的图 3。

受弯构件的計算式

$$h=\sqrt{\frac{6M}{6R_{\text{pи}}}}\cdot\sqrt{\frac{k_{\text{т}}}{1+1230\,\frac{\mu}{R_{\text{pи}}}}}$$

如果令

$$\sqrt{\frac{k_{\text{т}}}{1+1230\,\frac{\mu}{R_{\text{pи}}}}}=A_{\text{и}},$$

則根据 $\mu/R_{\text{pи}}$ 与 $k_{\text{т}}$ 的关系卽可繪制 $\mu/R_{\text{pи}}\sim A_{\text{и}}$ 曲綫，見本文图一。如果因构造上的限制或切力很大 h 为已知值时，則为了計算上的方便，介

$$A_0=\frac{1+1230\,\frac{\mu}{R_{\text{pи}}}}{k_{\text{т}}}$$

卽 $$A_{\text{и}}=\sqrt{\frac{1}{A_0}}$$

根据 $\mu/R_{\text{pи}}$ 与 $k_{\text{т}}$ 的关系可繪制 $\mu/R_{\text{pи}}\sim A_0$ 的关系曲綫，亦見图一。

受彎构件簡化以后的計算步驟如下：

（1）根据建筑物的等級和荷重組合情況决定 $k_{\text{т}_1}$ 和 k_{p_1} 值后卽可查規范草案中的表 7 得 $\mu_1/R_{\text{pи}}$，查表 8 得 $\mu_2/R_{\text{pи}}$。

（2）介于 μ_1 与 μ_2 之間選擇一个 μ 值或選擇一个 $k_{\text{т}}$ 値（規范草案中規定有 $k_{\text{т}}$ 的最小値），查規范草案中的附录 5 的图 3 得 $\mu/R_{\text{pи}}$ 値。

（3）按選擇的 $\mu/R_{\text{pи}}$ 查本文图一可得 $A_{\text{и}}$ 値，隨之卽可根据已知数値 $M, b, R_{\text{pи}}$ 等計算 h 値，

$$h=A_{\text{и}}\sqrt{\frac{6M}{bR_{\text{pи}}}}。$$

（4）欲檢查 k_{p} 値的大小，可应用規范草案中的附录 5 的图 2 計算。如果因构造上的限制或因切力很大，为了避免彎起鋼筋，h

为已知时，則計算步驟如下：

(1′) 按已知的 $M, b, k, R_{pи}$ 等值計算 A_0 值，

$$A_0=\frac{6M}{bh^2R_{pи}}。$$

(2′) 按建筑物級别和荷重組合情况的 $k_{т_1}$、k_{p_1} 值，由 A_0 值查本文的图一卽得 $\mu/R_{pи}$ 值，$\mu=\mu/R_{pи}\cdot R_{pи}$。

(3′) $F_a=0.95bh\cdot\mu$。

(4′) 如果希望校核 $k_т$ 和 k_p 的数值，可以应用規范草案中的附录 5 的图 3 和图 2 計算。

[例一] 采用文献[1]中例 1 的数据

已知：$M=500^{T-M}$，$R_{pи}=26\,kg/cm^2$，$\sigma_т=2500\,kg/cm^2$，

$k_{т_1}=4.0$，$k_{p_1}=1.8$，$h=445cm$，$b=100cm$

解：
$$A_0=\frac{6M}{bh^2R_{pи}}=\frac{6\times500\times10^5}{100\times445^2\times26}=0.583。$$

由 A_0 值查图一得 $\mu/R_{pи}=0.745\times10^{-4}$

$$\therefore\qquad \mu=0.745\times10^{-4}\times26=0.194\%$$

$$f_a=0.95bh\cdot\mu=0.95\times100\times445\times0.00194=82.0cm^2$$

[例二] 采用規范草案中附录 2 例題 1 的数据

已知：$M=100^{T-M}$，$R_{pи}=22\,kg/cm^2$，$\sigma_т=2500kg/cm^2$

$k_{т_1}=4.0$，$k_{p_1}=1.8$，$b=100cm$。

解：按規范草案中的表 6 得最小的允許安全系数値 $k_т=1.8$，采用 $k_т=1.8$，查規范草案中附录 5 的图 3 得 $\mu/R_{pи}=7.6\times10^{-5}$。按 $\mu/R_{pи}=7.6\times10^{-5}$ 查本文的图一得 $A_и=1.29$。

$$h=A_и\sqrt{\frac{6M}{bR_{pи}}}=1.29\sqrt{\frac{6\times100\times10^5}{100\times22}}=213cm$$

$$f_a=0.95bh\cdot\mu=0.95\times100\times213\times7.6\times10^{-5}\times22=33.8cm^2$$

[例三] 采用規范草案中附录 2 例題 2 的数据

已知：$M=100^{T-M}$，$R_{pи}=22kg/cm^2$，$\sigma_т=2500kg/cm^2$，

$k_{\tau_1}=4.0$, $K_{p_1}=1.8$, $h=250\text{cm}$, $b=100\text{cm}$。

解:
$$A_0=\frac{6M}{bh^2R_{pи}}=\frac{6\times100\times10^5}{100\times250^2\times22}=0.436$$

由 $A_0=0.436$ 查本文图一得 $\mu/R_{pи}=0.50\times10^{-4}$

$$f_a=0.95\times100\times250\times0.50\times10^{-4}\times22=26.2\text{cm}^2$$

在規范草案中列出的受弯构件計算式

$$h=\sqrt{\frac{6M}{bR_{pи}}}\cdot\sqrt{\frac{k_\tau}{1+1000\dfrac{\mu}{R_{pи}}}},$$

式中右边第二个根号内分母中 $1000\dfrac{\mu}{R_{pи}}$ 一定是为了計算上的方便才把文献[1]中推导出的 $1230\dfrac{\mu}{R_{pи}}$ 改成 $1000\dfrac{\mu}{R_{pи}}$，由于 $\mu/R_{pи}$ 値最大也不过 1.5×10^{-4}(見本文图一的縱坐标)，所以这样簡化后幷不影响計算成果的精度，本文的例二和例三也証实了这一点。

II. 偏心受压构件

先看相对偏心距 $c>1$ 的情况，在文献[1]中从基本关系式

$$M=\frac{M_\tau}{k_\tau}=\frac{M_p}{k_p}$$

演算后得到

$$\mu=\frac{k_p}{k_\tau}\cdot\frac{R_{pи}}{5.4\sigma_\tau}\cdot\beta_c\cdot\gamma_c,$$

經过一系列的簡化最后列出的近似算式如下:

$$\mu=\frac{k_p}{k_\tau}R_{pи}\frac{(3.6c-1)^2-\left(0.8-0.056\dfrac{k_p}{k_\tau}\right)(3.6c-1)+0.145\dfrac{k_p}{k_\tau}}{\left(13500-1450\dfrac{k_p}{k_\tau}\right)(3.6c-1)^2-\left(240+86\dfrac{k_p}{k_\tau}\right)\dfrac{k_p}{k_\tau}(3.6c-1)-650\left(\dfrac{k_p}{k_\tau}\right)^2}$$

对于 $c<1$ 的情况，則

$$\mu=\frac{k_p}{k_т}R_{pн}\frac{(6c-1)^2-\left(2.0-0.093\frac{k_p}{k_т}\right)(6c-1)+0.340\frac{k_p}{k_т}}{\left(13500-1450\frac{k_p}{k_т}\right)(6c-1)^2+\left(1430-148\frac{k_p}{k_т}\right)\frac{k_p}{k_т}(6c-1)-1630\left(\frac{k_p}{k_т}\right)^2}$$

当已知建筑物的級別和确定荷重組合情況后，即得到了規定的 $k_{т_1}$ 和 k_{p_1} 后，將 $k_т=k_{т_1}, k_p=k_{p_1}=1$ 代入式中，卽得

$$\frac{\mu_1}{R_{pн}}=f_1(c),$$

將 $k_т=k_{т_1}=1, k_p=k_{p_1}$ 代入式中，卽得

$$\frac{\mu_2}{R_{pн}}=f_2(c)。$$

按 6 个 $k_{т_1}$ 值可繪制 6 条 $\frac{\mu_1}{R_{pн}}$ 与 c 的关系曲綫，按 4 个 k_{p_1} 值可繪制 4 条 $\frac{\mu_2}{R_{pн}}$ 与 c 的关系曲綫，在規范草案的附录 4 中图 I_a 就是 $\sigma_т=2500\,kg/cm^2$ 的这种曲綫，不过規范草案中幷沒有分成 $c>1$ 和 $c<1$ 的不連續情況。規范草案中列出的(12′)式采用的換算系数 η 是 c 的函数，卽

$$\eta=\frac{1}{0.6+0.067\frac{1}{c}},$$

而文献[1]在推导上面这繁瑣的算式时采用的換算系数 $\eta=\frac{R_{pн}}{R_p}$，当 $c>1$ 时 $\eta=1.67$，当 $c<1$ 时 $\eta=1$，因此按文献[1]的算式繪制 $\frac{\mu_1}{R_{pн}}$ 与 c 的关系曲綫和 $\frac{\mu_2}{R_{pн}}$ 与 c 的关系曲綫，$c=0\to\infty$，在 $c=1$ 处是不連續的。該曲綫本文从略，但从本文图五和图六也可看出不連續的情況。本文仍就用文献[1]的关系式进行簡化，因 η 值采用常数或采用为 c 的函数对 μ 值影响不大。确定断面高度的式子当 $c>1$ 时

$$h=\sqrt{\frac{6M}{bR_{\text{pи}}}}\cdot\sqrt{\frac{3.6\varepsilon-h}{3.6\varepsilon}}\cdot\sqrt{\frac{k_{\text{т}}}{1+\left(1230+\frac{940}{3.6c-1}\right)\frac{\mu}{R_{\text{pи}}}}},$$

当 $c<1$ 时

$$h=\sqrt{\frac{6M}{bR_{\text{pи}}}}\cdot\sqrt{\frac{6\varepsilon-h}{6\varepsilon}}\cdot\sqrt{\frac{k_{\text{т}}}{1+\left(1230+\frac{940}{6c-1}\right)\frac{\mu}{R_{\text{pи}}}}}。$$

式中 $M, b, R_{\text{pи}}, \varepsilon$ 均为已知值，以 $\varepsilon=c\cdot h$ 代入式中，并以符号 A_c 代替

$$\frac{\varepsilon}{\sqrt{\frac{6M}{bR_{\text{pи}}}}},$$

则对于 $c>1$ 的情况

$$A_c=\sqrt{\frac{c(3.6c-1)}{3.6}}\cdot\sqrt{\frac{k_{\text{т}}}{1+\left(1230+\frac{940}{3.6c-1}\right)\frac{\mu}{R_{\text{pи}}}}},$$

对于 $c<1$ 的情况

$$A_c=\sqrt{\frac{c(6c-1)}{6}}\cdot\sqrt{\frac{k_{\text{т}}}{1+\left(1230+\frac{940}{6c-1}\right)\frac{\mu}{R_{\text{pи}}}}}。$$

以 $k_{\text{т}}=k_{\text{т}_1}$ 代入式中，并利用 $\frac{\mu_1}{R_{\text{pи}}}=f_1(c)$ 的关系即可繪制 6 条 $\frac{\mu_1}{R_{\text{pи}}}$ 与 A_c 的关系曲綫，以 $k_{\text{т}}=k_{\text{т}_2}=1$ 代入 A_c 式中同样利用 $\frac{\mu_2}{R_{\text{pи}}}=f_2(c)$ 的关系可繪制 4 条 $\frac{\mu_2}{R_{\text{pи}}}$ 与 A_c 的关系曲綫。利用这两組曲綫从 A_c 值直接查本文的图二得 $\frac{\mu_1}{R_{\text{pи}}}$ 值，查图三得 $\frac{\mu_2}{R_{\text{pи}}}$ 值，省却了試算工作，并且不会发生差錯。初次計算时容易发生差錯的，譬如文献[6]的偏心受压例題，誤将 c 值混为 c_1 和 c_2 值，致使計算的 μ_1 值是过大了，μ_2 值则过小，实际上偏心受压情况按少鋼筋混凝土理論見文献[1]，当計算 μ_1 和 μ_2 时应把 c 作为未知数，如計

算 μ_1 时应当解联立方程式(仅举 $c>1$ 的情况)

$$\mu_1=\frac{1}{k_{\text{r}_1}}R_{\text{pn}}\frac{(3.6c_1-1)^2-\left(0.8-0.056\frac{1}{k_{\text{r}_1}}\right)(3.6c_1-1)+0.145\frac{1}{k_{\text{r}_1}}}{\left(13500-1450\frac{1}{k_{\text{r}_1}}\right)(3.6c_1-1)^2-\left(240+86\frac{1}{k_{\text{r}_1}}\right)\frac{1}{k_{\text{r}_1}}(3.6c_1-1)-650\left(\frac{1}{k_{\text{r}_1}}\right)^2}.$$

$$A_c=\sqrt{\frac{c_1(3.6c_1-1)}{3.6}}\cdot\sqrt{\frac{k_{\text{r}_1}}{1+\left(1230+\frac{940}{3.6c_1-1}\right)\frac{\mu_1}{R_{\text{pn}}}}}$$

式中 k_{r_1} 和 A_c 为已知值，c_1 和 μ_1 为未知数，由于算式过于繁瑣不易直接解算，就采用了試算的方法，在已知断面高度的情况下 c_1 仍应看作是未知数；玆用本文所介紹的簡化方法复算文献[6]所举的例題如下，另外再采用文献[1]中例2的数据以校核本文所附曲綫图的正确程度。

[例四] 采用文献[6]例 I(乙)的数据

$$M=37^{\text{T-M}},\quad N=58.6^{\text{T}},\quad h=100\text{cm},$$

$$\sigma_{\text{r}}=2500\,\text{kg/cm}^2,\quad R_{\text{pn}}=26\,\text{kg/cm}^2$$

$$\varepsilon=\frac{M}{N}=\frac{37}{58.6}=0.631^{\text{M}}=63.1\text{cm},\ k_{\text{r}_1}=3.6,\ k_{\text{p}_2}=1.7$$

$$A_c=\frac{\varepsilon}{\sqrt{\frac{6M}{bR_{\text{pn}}}}}=\frac{63.1}{\sqrt{\frac{6\times37\times10^5}{100\times26}}}=0.682$$

由 $A_c=0.682$ 查图二得

$$\frac{\mu_1}{R_{\text{pn}}}=-0.28\times10^{-5},\quad \mu_1=-0.0073\%$$

查图三得

$$\frac{\mu_2}{R_{\text{pn}}}=0.852\times10^{-4},\quad \mu_2=0.222\%$$

$$c=\frac{s}{h}=\frac{63.1}{100}=0.631<1.0$$

假定 $\mu=0.095\%$，则

$$k_т=\frac{bh^2}{6M}R_{рп}\frac{6c\left(1+1230\frac{\mu}{R_{рп}}\right)}{6c-1-940\frac{\mu}{R_{рп}}}$$

$$=\frac{100\times100^2\times26}{6\times37\times10^5}\cdot\frac{6\times0.631\left(1+1230\frac{0.095}{2600}\right)}{6\times0.631-1-940\frac{0.095}{2600}}$$

$$=1.68$$

$$\mu=\mu_2-(\mu_2-\mu_1)\frac{1.0-\frac{1}{k_т}}{1.0-\frac{1}{k_{т_1}}}$$

$$=0.222-(0.222+0.0073)\frac{1.0-\frac{1}{1.68}}{1.0-\frac{1}{3.6}}=0.094\%$$

与假定的 $\mu=0.095$ 很接近，不再試算。

本文計算的数值与文献[6]中的数值对照如下：

文献[6]中的数值	本文計算的数值
$\mu_1=0.0164\%$	$\mu_1=-0.0073\%$
$\mu_2=0.165\%$	$\mu_2=0.222\%$
$k_т=1.67$	$k_т=1.68$
$\mu=0.09\%$	$\mu=0.094\%$

从本例列举的数值可知，如果誤将 c 值代替 c_1 和 c_2 值是偏于不安全的。

[例五] 采用文献[1]中例 2 的数据

已知：$M=200^{T-M}$，$N=250^{T}$，$b=100\text{cm}$，$R_{рн}=26\,\text{kg/cm}^2$，

$\sigma_т=2500\text{kg/cm}^2$, $k_{т_1}=4.0$, $k_{p_1}=1.8$

解: $$\varepsilon=\frac{M}{N}=\frac{500}{250}=2.0\text{м}=200\text{cm}.$$

$$A_c=\frac{\varepsilon}{\sqrt{\frac{6M}{bR_{pn}}}}=\frac{200}{\sqrt{\frac{6\times500\times10^5}{100\times26}}}=\frac{200}{340}=0.588。$$

由 $A_c=0.588$ 查本文图二得

$$\mu_1/R_{pn}=-0.85\times10^{-5},\quad \mu_1=-0.0221\%$$

查本文图三得

$$\mu_2/R_{pn}=0.81\times10^{-4},\quad \mu_2=0.210\%$$

为了切力由混凝土承受避免弯起鋼筋，断面高度 $h=445\text{cm}$

$$c=\frac{\varepsilon}{h}=\frac{200}{445}=0.45$$

假定 $\mu=0.013\%$，　即　$\mu/R_{pn}=0.5\times10^{-5}$

$$k_т=\frac{bh^2}{6M}\cdot R_{pn}\frac{6c\left(1+1230\frac{\mu}{R_{pn}}\right)}{6c-1-940\frac{\mu}{R_{pn}}}$$

$$\doteq\frac{100\times445^2}{6\times500\times10^5}\cdot26\cdot\frac{2.7(1+0.006)}{2.7-1-0.0047}$$

$$=2.75$$

由 $\frac{1}{k_т}=0.364$ 查規范草案中附录 5 的图 1 得 $m=0.85$

$$\mu=\mu_2-(\mu_2-\mu_1)m=0.210-0.232\times0.85=0.210-0.197$$
$$=0.013\%$$

与假定的 μ 値相符。

規范草案附录 4 所列的例題"采用可变安全系数 k_p 节省鋼筋的比較計算"就是采用少鋼筋混凝土与鋼筋混凝土的比較計算，例中少鋼筋混凝土部分的計算显然較鋼筋混凝土的麻煩，但如果利用本文介紹的曲綫图計算，象該例的已知断面高度的受弯构件，

可以比鋼筋混凝土的計算更簡易。

III. 偏心受拉构件

从文献[1]看所列的偏心受拉构件的关系式，形式上与偏心受压构件的計算关系式相似，因此也可以象偏心受压的情况一样繪制曲綫，簡化 μ_1 和 μ_2 的計算工作。本文仅繪制 $k_{т_1}=3.6$ 和 $k_{p_2}=1.7$ 的 A_p 与 $\frac{\mu_1}{R_{pи}}$ 关系曲綫和 $A_p\sim\frac{\mu_2}{R_{pи}}$ 关系曲綫，符号

$$A_p=\frac{e}{\sqrt{\frac{6M}{bR_{pи}}}},$$

繪制曲綫的方程式如下：$c>0.45$ 的情况：

$$\frac{\mu}{R_{pи}}=\frac{k_p}{k_т}\cdot\frac{(3.6c+1)^2+\left(0.8-0.056\frac{k_p}{k_т}\right)(3.6c+1)+0.145\frac{k_p}{k_т}}{\left(13500-1450\frac{k_p}{k_т}\right)(3.6c+1)^2+\left(690+57.5\frac{k_p}{k_т}\right)\frac{k_p}{k_т}(3.6c+1)-490\left(\frac{k_p}{k_т}\right)^2}$$

$$A_p=\sqrt{\frac{c(3.6c+1)}{3.6}}\sqrt{\frac{k_т}{1+\left(1230-\frac{940}{3.6c+1}\right)\frac{\mu}{R_{тн}}}}.$$

以 $k_{т_1}$ 值和 $k_{p_1}=1$ 代入式中繪制 $\frac{\mu_1}{R_{pи}}\sim A_p$ 曲綫，而以 $k_т=k_{т_2}=1$，$k_p=k_{p_2}$ 代入式中繪制 $\frac{\mu_2}{R_{pи}}\sim A_p$ 曲綫。

$c<0.45$ 的情况，方程式为

$$\frac{\mu}{R_{pи}}=\frac{k_p}{k_т}\cdot\frac{(3.6c+1)(c+0.45)}{3560(3.6c+1)^2-(2270c+261)\frac{k_p}{k_т}}$$

$$A_p=\sqrt{\frac{c(3.6c+1)}{3.6}}\cdot\sqrt{\frac{k_т}{1+\left(700-\frac{410}{3.6c+1}\right)\frac{0.90}{0.45+c}\cdot\frac{\mu}{R_{pи}}}}$$

繪制曲綫的步驟与 $c>0.45$ 的情况相似，譬如以 $k_т=k_{т_1}$, $k_p=1$ 代入式中，然后以 $c=0.1$, 0.2, 0.3, 0.4 等代入第一式中卽得相应的

$$\frac{\mu_1}{R_{pи}}=0.322, 0.300, 0.286, 0.276\times10^{-4}\text{等},$$

将这相应的 c 値和 $\frac{\mu_1}{R_{pи}}$ 値代入第二式中卽可繪制 A_p 与 $\frac{\mu_1}{R_{pи}}$ 关系曲綫，同样以 $k_т=1$, $k_p=k_{p_1}$ 代入繪制 A_p 与 $\frac{\mu_2}{k_{pи}}$ 的关系曲綫。

采用螺紋鋼筋的計算

加筋混凝土結构采用螺紋鋼筋后的計算式推导如下，为便于和規范草案中的 (12′) 式相对照，并証实規范草案中的 (12′) 式卽相当于文献[1] 中的(24)式，关于加筋混凝土計算中的符号及其意义，参考文献[1]，[8]，[6]及規范草案的假定符号，本文不再重复。加筋混凝土結构的性质及計算原理在文献[1]中叙述很詳細，本文卽根据該书中列出的关系式，用換算系数 $\eta=\frac{R_{pи}}{R_p}$ 代替文献[1]中的

$$\frac{R_{pи}}{R_p}=1.67 \quad \text{和} \quad \frac{R_{pи}}{R_p}=1$$

(相应于 $c>1$ 和 $c<1$ 的情况)，并且保留 $\sigma_т$ 不以 $2500\,kg/cm^2$ 代入，推导出 $\mu=f(\sigma_т, R_{pи}, k_p, k_т, \eta)$ 的关系式，然后再以 $\sigma_т=3500\,kg/cm^2$, $\eta=1.67$ (和 $\eta=1.0$) 代入簡化得到象文献[1] 的 (27) 式相似的近似算式，最后举例証明 $\sigma_т$ 从 $2500kg/cm^2$ 改为 $3500\,kg/cm^2$，若断面高度不变，則含鋼率也可以象鋼筋混凝土結构一样按鋼筋流限的比例減少。

I. 受弯构件

从文献[1]推导关系式

$$M_т=\frac{bh^2}{6}\left(1+1230\frac{\mu}{R_{pи}}\right)R_{pи}$$

的步驟，可知如果采用 $\sigma_т=2500\,\mathrm{kg/cm^2}$ 計算的 μ 值，而改用 $\sigma_т=3500\mathrm{kg/cm^2}$ 的螺紋鋼筋，則幷不增加 $M_т$。再看 M_p 的式子

$$M_p=0.9bh^2\mu\sigma_т\left(1-0.53\mu\frac{\sigma_т}{R_и}\right),$$

可知改用螺紋鋼筋后可增加 M_p。将 $M_т$ 和 M_p 的式子代入关系

$$\frac{k_p}{k_т}=\frac{M_p}{M_т},$$

式简化之即得

$$\mu\approx\frac{k_p}{k_т}\cdot\frac{R_{pи}}{5.4\sigma_т}\left[1+1230\frac{\mu}{R_{pи}}+0.53\mu\frac{\sigma_т}{R_и}\right]。$$

式中括号內带有 μ 的二項均甚微小，所以 μ 与 $\sigma_т$ 几乎就成为简单的反比关系。由此可知，在加筋混凝土結构的受弯构件中采用螺紋鋼筋也可以达到节約鋼材的目的。

兹采用 $\sigma_т=3500\mathrm{kg/cm^2}$ 和 $R_и=6R_{pи}$ 代入

$$\mu=\frac{k_p}{k_т}\cdot\frac{R_{pи}}{5.4\sigma_т}\left[1+1230\frac{\mu}{R_{pи}}+0.53\mu\frac{\sigma_т}{R_и}\right]$$

式中，即得

$$\mu=\frac{k_p}{k_т}\cdot\frac{R_{pи}}{18900}\left(1+1540\frac{\mu}{R_{pи}}\right) \tag{1}$$

以 $k_p=k_т=1$ 代入(1)式，解得 $\mu_0=\frac{R_{pи}}{17360}$。

对 $\frac{k_p}{k_т}$ 解(1)式并以 $R_{pи}=17360\mu_0$ 代入即得

$$\frac{k_p}{k_т}=\frac{(1+0.09)\mu}{\mu_0+0.09\mu} \tag{2}$$

(2) 式即規范草案中的(6)式，不过規范草案中的

$$\frac{k_p}{k_т}=\frac{(1+0.07)\mu}{\mu_0+0.07\mu}$$

所以会有区别就是由于規范草案中的 $M_т$ 为

$$M_{\text{т}}=\frac{bh^2}{6}\left(1+1000\frac{\mu}{R_{\text{рн}}}\right),$$

因此

$$\mu=\frac{k_{\text{p}}}{k_{\text{т}}}\cdot\frac{R_{\text{рн}}}{18900}\left(1+1310\frac{\mu}{R_{\text{рн}}}\right),\quad \mu_0=\frac{R_{\text{рн}}}{17600},$$

对 $\frac{k_{\text{p}}}{k_{\text{т}}}$ 解之卽得

$$\frac{k_{\text{p}}}{k_{\text{т}}}=\frac{(1+0.07)\mu}{\mu_0+0.07\mu}$$

本文仍用文献[1]的

$$M_{\text{т}}=\frac{bh^2}{6}\left(1+1230\frac{\mu}{R_{\text{рн}}}\right)$$

以 $k_{\text{т}}=k_{\text{т}_1}, k_p=1$ 代入(2)式得表二:

表二

$k_{\text{т}_1}$	4.4	4.0	3.6	3.3	3.0	2.8
$\frac{\mu_1}{R_{\text{рн}}}$	1.22×10^{-5}	1.35×10^{-5}	1.50×10^{-5}	1.64×10^{-5}	1.81×10^{-5}	1.94×10^{-5}

以 $k_{\text{т}}=1, k_{\text{p}}=k_{\text{p}_2}$ 代入(2)式得表三:

表三

k_{p_2}	2.0	1.8	1.7	1.6
$\frac{\mu_2}{R_{\text{рн}}}$	1.26×10^{-4}	1.17×10^{-4}	1.04×10^{-4}	0.974×10^{-4}

由表三可知,加筋混凝土与鋼筋混凝土有一段搭接的范圍,譬如采用 $k_{\text{p}_2}=1.8$, 140 号混凝土的 $R_{\text{рн}}=22\text{kg/cm}^2$,則 $\mu_2=0.246\%$,而在旧的规范中(ГОСТ 4286-48)規定鋼筋混凝土的最小配筋率 $\mu_{\min}=0.2\%$,那末在这交搭的范圍内 k_p 为常数,卽 $\mu=\mu_{\min}\to\mu_2$ 这段范圍内 $k_{\text{p}}=k_{\text{p}_2}$, 在这段范圍内 $k_{\text{т}}$ 的变化如何,可将 $R_{\text{рн}}=22\text{kg/cm}^2$, $k_{\text{p}_2}=1.8$ 代入(2)式分析之,卽