

IV-23 R C 桁および P C 桁の極限強さ設計について

北大工 正員 横道英雄 北大工 正員 O 藤田嘉次

R C 桁および P C 桁を合理的にかつ経済的に設計するには、塑性理論に基づく極限設計によらなければならない。しかし、桁の破壊強さだけではひびわれ強さを定めることができないから、気象作用、繰返し作用等耐久性にたいする安全性を知るため、破壊強さと共にひびわれ強さを求める必要がある。現行の方法は、R C 桁では極限設計に基づく計算は行われていない。P C 桁では、破壊にたいして極限設計を採用し、近似式によって、またひびわれにたいしては弾性理論によって安全度の計算を行っているが、コンクリートおよび P C 鋼、鉄筋は完全な弾性体ではないから、弾性理論による方法を計算基準にするのは適当でないと考える。著者は R C 桁、P C 桁を通じて、極限設計に関する実験を行い多くの資料を得たが、これを基にして比較的簡便でしかも精度の高い計算式を求めることができた。

桁の曲げ破壊時のコンクリート圧縮部およびひびわれ発生時のコンクリート引張部の応力分布をそれぞれ図-1、図-2のように考えれば、破壊時およびひびわれ発生時の平衡状態は図-4、図-5のようになる。

(1) 破壊曲げモーメント

図-4より

$$k = \frac{E_{cb}}{E_{cb} + E_p}, \quad E_p = E_{pv} + E_{pu} + \bar{E}_p \quad (1)$$

$$C = \alpha k b d \sigma_{cb}, \quad T = A_p \sigma_p = k b d \sigma_p \quad (2)$$

$$C = T \text{ より } k = \frac{p}{\alpha} \cdot \frac{\sigma_p}{\sigma_{cb}} \quad (3)$$

(1)式、(3)式と P C 鋼の応力・歪曲線(図-3)によって k を求めることができる。

$$M_b = \alpha f k b d^2 \sigma_{cb} \quad \text{または} \quad f p b d^2 \sigma_p \quad (4)$$

$$f = 1 - \beta k$$

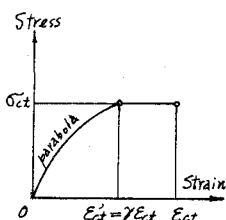


図-1

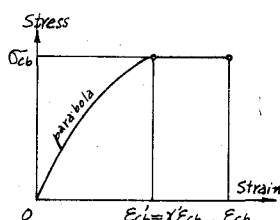


図-2

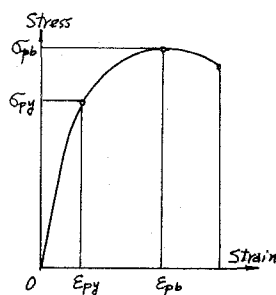
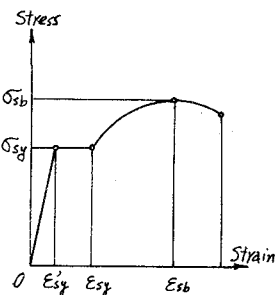


図-3

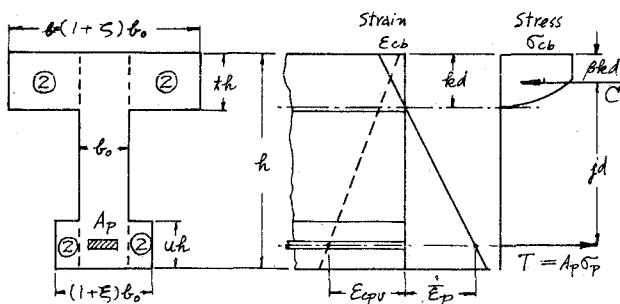


図-4

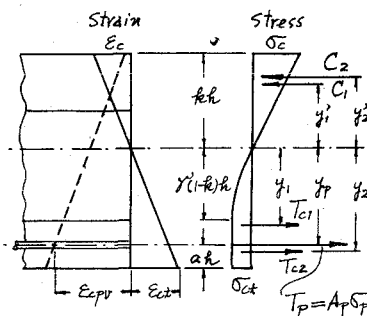


図-5

(2) ひびわれ曲げモーメント

図-5より

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= a_5 k b_0 h \sigma_c, & C_2 &= \frac{5t(k-a_5t)}{k} \cdot b_0 h \sigma_c \\ T_{c1} &= \alpha'(1-k) b_0 h \sigma_c t, & T_{c2} &= u_5 b_0 h \sigma_c t, & T_p &= \frac{q(1-k)-a}{1-k} n p b_0 h E_c E_{ct} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$q = 1 + \frac{E_{pv} + E_{cpv}}{E_{ct}}, \quad E_{pv} = \frac{\sigma_{pv}}{E_p}, \quad E_{cpv} = \frac{\sigma_{cpv}}{E_c}, \quad \sigma_c = \frac{k}{1-k} E_c E_{ct}, \quad p = \frac{A_p}{b_0 h} \quad (8)$$

$$y_1' = \frac{2}{3} k h, \quad y_2' = (k - \frac{1}{2}) h, \quad y_1 = \beta'(1-k) h, \quad y_2 = (1-k - \frac{1}{2}) h, \quad y_p = (1-k-a) h \quad (9)$$

$$\Sigma C = \Sigma T \text{ より} \quad k = -\frac{B}{A} + \sqrt{\left(\frac{B}{A}\right)^2 + \left(\frac{C}{A}\right)} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし} \quad A &= a_5 - \alpha' I, & B &= a_5 5t + (\alpha' + a_5 u_5) I + a_5 n p q \\ C &= a_5 5t^2 + (\alpha' + u_5) I + (q-a) n p, & I &= \frac{\sigma_c t}{E_c E_{ct}} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$M_{cr} = C_1 y_1' + C_2 y_2' + T_{c1} y_1 + T_{c2} y_2 + T_p y_p \quad (12)$$

以上はPC桁についての計算式であるが、RC桁の場合は $E_{pv}=0$ 、 $E_{cpv}=0$ として計算することができる。計算に必要な諸数値は表-1のとおりである。以上の計算式と実測値を比較すれば、表-2のとおりであってよく一致していることがわかる。

破壊およびひびわれにたいする安全度は次式によって求めることができる。

$$\text{PC桁の場合：活荷重にたいし} \quad f_{cr} = \frac{M_{cr} - M_d}{M_d}, \quad f_b = \frac{M_b}{M_d + M_1} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{RC桁の場合：活荷重にたいし} \quad f_{cr.1} &= \frac{1.8 M_{cr} - M_d}{M_d}, & f_b &= \frac{M_b}{M_d + M_1} \\ \text{死荷重にたいし} \quad f_{cr.2} &= \frac{M_{cr}}{M_d} \end{aligned} \quad (14)$$

安全度の最少値は、PC桁にたいし $f_{cr}=1.5$ 、 $f_b=2.5$ 、RC桁にたいし $f_{cr.1}=2.0$ 、 $f_{cr.2}=1.3$ 、 $f_b=2.5$ 程度にすればよいと考えらる。

表-2の実測値について、破壊とひびわれを比較すれば、PC桁では1.5〜2倍であるが、RC桁では3〜6倍であって、RC桁のオガひびわれ発生後の載荷能力の割合は高い。またRC桁の荷重・たわみ曲線はひびわれの発生によって勾配を多少変えるが、その後ほかなり直線で進み弾性的である。したがって、RC桁の場合は、死荷重+2×活荷重にたいしてはある程度のひびわれ発生を許容して、1.8 M_{cr} を基準にしたのである。

表-1

破壊時	σ_{cb} ($\frac{kg}{cm^2}$)	200	300	400	500
	E_{cb} (%)	0.26	0.27	0.28	0.29
	$\gamma=0.6, \alpha=0.8, \beta=0.41$				
ひびわれ時	E_c ($\frac{kg}{cm^2}$)	260	300	340	370
	E_{ct} (%)	0.244	0.265	0.287	0.308
	σ_{ct} ($\frac{kg}{cm^2}$)	24	29	34	40
	$\gamma'=0.6, \alpha'=0.8, \beta'=0.588$				

表-2

No	種類	実測値 (t.m)			計算値 (t.m)			計算/実測	No	種類	実測値 (t.m)			計算値 (t.m)			計算/実測
		M_{cr}	M_b	$\frac{M_b}{M_{cr}}$	M_{cr}	M_b					M_{cr}	M_b	$\frac{M_b}{M_{cr}}$	M_{cr}	M_b		
1-1	RC 矩形	0.50	2.60	5.2	0.57	2.34	1.14	0.90	3-3	RC	1.13	4.21	3.7	1.11	4.00	0.98	0.95
1-2		0.74	2.96	4.0	0.74	3.50	1.00	1.18	3-4	I形	1.16	4.25	3.7	1.11	3.93	0.96	0.92
1-3		0.77	3.17	4.1	0.83	3.68	1.08	1.16	3-5	RC	0.89	2.72	3.1	0.86	2.83	0.97	1.04
1-4		0.83	3.74	4.5	0.81	3.84	0.98	0.95	3-6	T形	0.93	3.22	3.5	0.90	3.00	0.97	0.93
1-5		0.80	3.77	4.7	0.84	3.78	1.05	1.00	2-1	PC	2.12	3.62	1.7	2.15	3.44	1.01	0.95
1-6		0.83	4.28	5.2	0.95	4.08	1.14	0.96	2-4	I形	1.67	3.47	2.1	1.93	3.55	1.16	1.02
1-7		0.95	4.50	4.7	1.00	4.38	1.05	0.98	2-2	PC	2.57	5.09	2.0	2.49	4.49	0.97	0.88
1-8		1.04	5.05	4.9	1.09	5.67	1.05	1.12	2-5		1.97	4.49	2.3	2.26	4.54	1.15	0.99
1-9		1.01	5.09	5.0	1.07	4.99	1.06	0.98	2-3	T形	2.57	5.78	2.2	2.78	4.98	1.08	0.86
1-10		1.07	5.60	5.2	1.15	5.39	1.07	0.96	2-6		2.27	5.09	2.2	2.26	4.52	1.00	0.89
1-11		1.01	5.99	5.9	1.20	5.92	1.19	0.99	3-1	PC	5.34	7.37	1.4	5.35	7.50	1.00	1.02
1-12		0.65	3.17	4.9	0.72	2.82	1.11	0.89	3-2	I形	4.99	7.49	1.5	5.35	7.46	1.07	1.00