

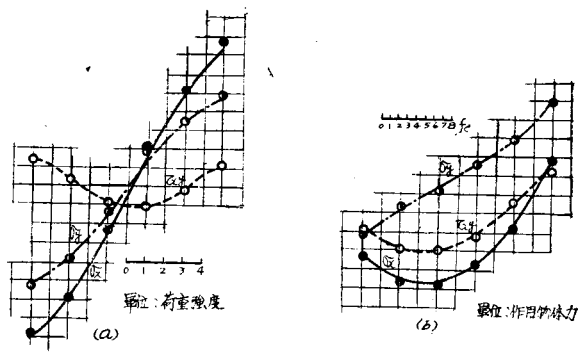
ちじるしくおもむきを異にしているのであつて、物体力による構造物内の応力分布の研究が痛感せられる。

6. 結 言

以上は遠心力光弾性実験において成立する若干の相似法則と著者の試作した装置の概略を述べ、その実験結果の数例を掲げたのであるが、本装置の適用範囲はきわめて広く、土木鉱山各分野における重量構造物の応力分布、例えば自重及び地震力によつて惹起せられる高堰堤の内部応力、長大トラスの各部材応力、坑道掘鑿による地圧の変化及びこれが採鉱に及ぼす影響、擁壁内の土圧による応力分布等の光弾性学的な研究を行いうるのであつて、構造工学の発展に寄与するところが少なくないと考えられる。今後本装置によつて各種の重量構造物に関する徹底的な光弾性学的研究を行い、遂次その成果を報告したいと考えている。

本研究は文部省科学研究費の援助をうけて行つている“重量構造物の光弾性学的研究”の成果の一部であり、また装置の試作は京大鉱山学教室教授平松良雄博士との協同研究である。最後に終始御指導を賜つた科研西田正孝博士並びに京大土木工学教室教授石原藤

図-9 (a), (b) 梁底面の応力分布



次郎博士、小西一郎博士に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) P.B. Bucky and Fentress : Trans. A.I.M.E., Vol. 109, p. 25, 1934
P.B. Bucky and Balolin : Civil Eng., Vol. 5, p. 287, 1935
P.B. Bucky : Trans. A.I.M.E., Vol. 113, p. 314, 1938
P.B. Bucky : Coal Age, Vol. 45, p. 40, 1940

(昭. 28.10.12)

鉄筋コンクリートはりの龜裂荷重について

正 員 山 田 順 治*

CRACKING LOAD OF THE REINFORCED CONCRETE BEAMS

(JSCE April 1954)

Junji Yamada, C.E. Member

Synopsis We have been apt to neglect hitherto the cracking load of the reinforced concrete beams. But recently there are many reinforced concrete bridges in which the concrete covering fall due to by the cracks. So it becomes very important to calculate the cracking load of the reinforced concrete.

The author obtained the simple general formula to calculate the reasonable cracking load from the test results of a group of reinforced concrete beams, and this paper describes this general formula.

要旨 鉄筋コンクリートはりとはどのくらいの荷重で龜裂を生ずるか、すなわち龜裂荷重については従来とかく等閑視されていたが、最近実際の鉄筋コンクリートはりが龜裂のため、かぶりの部分が剥脱するものも多いので、龜裂荷重を求めることはきわめて大切なこととなつてきた。

著者は一連の鉄筋コンクリートはりの実験結果から、合理的な龜裂荷重を求める簡単な一般式を求め、これを提案したものである。

1. 緒 言

鉄筋コンクリートはりの龜裂荷重は従来ほとんど顧みられなかつたが、実際の鉄筋コンクリートはりでは、設計荷重以内の荷重で、はなはだしい場合は自重

*建設省土木研究所

のみで亀裂を生じ、鉄筋が錆びてかぶりに相当するコンクリートが剥脱するものが多いので、亀裂荷重は今後大きな問題となり、一応亀裂荷重を求めておくことはきわめて大切なこととなつてきた。

著者は一連の鉄筋コンクリートはりについて実験を行い、これらの結果から簡単な合理的でなお実用的な亀裂荷重を求める一般式を求めた。本文はこれについて述べたものである。

2. コンクリートの応力ひずみ曲線及びはりにおける応力分布

単にコンクリートの圧縮試験及び引張強さ係数試験でえられる強度を、はりの曲げの際におこる最大応力度と等しいと考えることはできない。従つてコンクリートの圧縮試験、引張強さ係数試験などでえられる応力度とか応力分布をはりの曲げの場合に利用する場合には、はりの曲げに適応するように修正しなければならない。

コンクリートの応力ひずみ曲線については、坂静雄氏の研究によれば¹⁾、同じコンクリートで、圧縮側の応力ひずみ曲線を $\sigma_c = A \epsilon_c + B \epsilon_c^2$ の形で表わせば、そのコンクリートの破壊に達するまでの引張側の応力ひずみ曲線は、同じ A, B の常数を用いて、

$$\sigma_t = A \epsilon_c + n \frac{\sigma_c}{\sigma_t} B \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

で表わされ、 n は常数で普通 $3/4$ 、 σ_c/σ_t の普通の値 12 を使用すれば、式(1) は次式のごとくなる。

$$\sigma_t = A \epsilon_c + 9 B \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

著者のかつて行つた実験結果²⁾によれば、 $\sigma_c = 172 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_t = 18.4 \text{ kg/cm}^2$ 、すなわち $\sigma_c/\sigma_t = 9.3$ のコンクリートについて材令 28 日で、

$$\sigma_c = 3124 \times 10^3 \epsilon_c - 1466 \times 10^5 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_t = 3124 \times 10^3 \epsilon_c - 1320 \times 10^5 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

材令 7 日で、

$$\sigma_c = 3308 \times 10^3 \epsilon_c - 1349 \times 10^5 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_t = 3308 \times 10^3 \epsilon_c - 1214 \times 10^5 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

であつて、上述の推論によれば、材令 28 日で $B = 1466 \times 10^5$ であるから、 $9B = 1320 \times 10^5$ であり、材令 7 日で $B = 1349 \times 10^5$ であるから、 $9B = 1214 \times 10^5$ となり、これらの値は式(4)及び式(6)のそれぞれの値と同じで、著者の実験結果も坂静雄氏の推論とよく一致していることがわかる。

著者の一連の鉄筋コンクリートはりの実験³⁾に使用したコンクリートでは圧縮の場合のひずみしか測定しなかつたので、計算に使用する引張の場合の応力ひずみ間の関係を上記の推論から求めることとする。

日本社の普通セメントを使用した場合、コンクリー

トの強度と働らいている応力度の比、すなわち相対応力値を σ_r とすれば、圧縮の場合の応力ひずみ曲線は

$$\sigma_r = 1797 \epsilon_c - 8075 \times 10^2 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

であつて、平均圧縮強度は 151 kg/cm^2 である。従つて、

$$\sigma_c = 2713 \times 10^3 \epsilon_c - 1219 \times 10^5 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

で、これに上記の推論を応用すれば、

$$\sigma_c = 2713 \times 10^3 \epsilon_c - 1097 \times 10^5 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

となり、相対応力値 σ_r を用いれば式(9)は

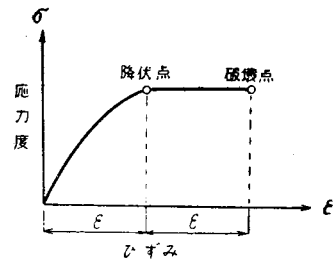
$$\sigma_r = 1610 \times 10^3 \epsilon_c - 6491 \times 10^4 \epsilon_c^2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

となり、引張の際の応力ひずみ間の関係は式(10)を用いることにする。

以上は試験片による引張試験によつてえられる関係で、この値をただちにはりの場合には使用できない。コンクリートの引張の破壊時のひずみについては坂静雄氏は 7×10^{-5} 、河野輝夫氏は $(10 \sim 12) \times 10^{-5}$ の値をえ⁴⁾、著者の行つた実験では²⁾、 $(8.4 \sim 10.1) \times 10^{-5}$ で破壊直前には応力ひずみ曲線は水平に近づくことがわかつた。

図-1

従つてはりの引張側のコンクリートのひずみについては図-1のように2本の線、すなわち式(10)で表わせる1本の曲線



と1本の直線との組合せで、その切点はコンクリートの降伏点で、ひずみは降伏後も増大し、降伏点のひずみの2倍のひずみで破壊するものと仮定して計算する。

3. 無筋コンクリートはりの強度

無筋コンクリートはりに亀裂が生じたときは、はりの引張側のひずみは非常に小さく、またそれに対応する圧縮側のひずみもまた小さいから、応力ひずみ曲線はほとんど直線であると考えてよい。すなわち無筋コンクリートはりの応力分布状態を図-2のごとく考えてよい。

図-2

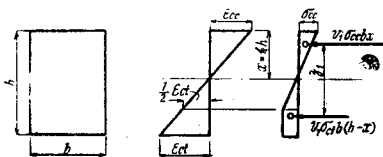


図-2 のように、引張側の応力分布は式 (10)

$$\sigma_r = 1610 \times 10^3 \epsilon_{ct} - 6491 \times 10^4 \epsilon_{ct}^2$$

の表わす曲線と直線とから成立ち、曲線だけの v の値は 0.663 であるが、引張側の応力分布の全体の v の値 v_2 は 0.832 で、圧縮側の v_1 の値はもちろん 0.5 である。

平面保持の法則から

$$\frac{x}{h-x} = \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_{ct}}$$

であり、 $x = kh$ とすると、

$$k = \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_c + \epsilon_{ct}} \dots\dots\dots (11)$$

であり、一方内力の平衡条件から $v_1 \sigma_{cc} b x = v_2 \sigma_{ct} b (h-x)$ であり、これより

$$k = \frac{v_2 \sigma_{ct}}{v_1 \sigma_{cc} + v_2 \sigma_{ct}} \dots\dots\dots (12)$$

がえられ、 $\sigma_c / \sigma_{ct} = \alpha$ とおけば、式(12)は、

$$k = \frac{0.832}{\alpha} \cdot \frac{1}{0.5 \frac{\sigma_{cc}}{\sigma_c} + \frac{0.832}{\alpha}}$$

となり、 $\sigma_{cc} / \sigma_c = \sigma_r = A \epsilon_{cc} + B \epsilon_{cc}^2$ で表わされるから式(12)も ϵ_{cc} の関数で表わされる。従つて式(11)及び式(12)を満足する k の値を求めれば、その値が求める k である。また、無筋コンクリートはりの亀裂発生時の曲げモーメントは、

$$M = v_2 \sigma_{ct} b (h-x) z_1 \dots\dots\dots (13)$$

となり、 z_1 は次のごとくなる。

$$z_1 = 2/3 x + 0.576(h-x) = 0.576 h + 0.091 x$$

従つて式(13)は次のごとくなる。

$$M = 0.832 b h^2 \sigma_{ct} (1-k) (0.576 h + 0.091 x) \dots\dots\dots (14)$$

式(14)は複雑であるから、 $M = \rho b h^2 \sigma_{ct}$ とおけば

$$\rho = 0.832(1-k)(0.576 + 0.091 k)$$

となる。この ρ の値を実際に3種の ϵ_{ct} の値について求めてみると表-1のごとくなる。

表-1

ϵ_{ct}	$\alpha = \sigma_c / \sigma_{ct}$	8	10	12
		k	0.475	0.450
15×10^{-5}	ρ	0.270	0.282	0.294
18×10^{-5}	k	0.455	0.430	0.405
	ρ	0.280	0.292	0.303
20×10^{-5}	k	0.440	0.420	0.395
	ρ	0.287	0.296	0.308

一方弾性理論より無筋コンクリートはりの曲げを受ける場合、 $M = \sigma_b b h^2 / 6$ であり、一方 $M = \rho b h^2 \sigma_{ct}$ であるから、両者から、

$$\rho = \frac{\sigma_b}{6 \sigma_{ct}} \dots\dots\dots (15)$$

となり、コンクリートの曲げ強度と引張強度から式(15)を用いて ρ を用いてを求めることができる。

著者は表-2のごとき配合のコンクリートを用いて行つた試験から、表-3のごとき ρ の値をえた。

さらに Gonnerman 氏及び Shuman 氏の行つた一連のコンクリート試験⁵⁾の結果から ρ の値を求めてみると、まずセメント骨材比が容積で 1:4 のコンクリートについては表-4のごとくである。

また、セメント骨材比を容積で 1:2~1:8 で変えた5種のコンクリートについての結果は表-5のごとくである。

表-2

試料番号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	w/c (%)	セメント量 (kg/m ³)	水量 (kg/m ³)	粗細骨材比重 G/S	粗骨材の量 (kg/m ³)	細骨材の量 (kg/m ³)
1	40	5.0	45	354	159	2.2	601	1310
2	40	5.0	50	318	159	2.2	610	1340
3	40	5.0	55	289	159	2.2	618	1360
4	40	5.0	60	269	159	2.2	624	1373

表-3

試料番号	材令	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	曲げ強度 (kg/cm ²)	圧縮強度引張強度	ρ
1	7日	247	24	41.4	10.3	0.29
	28日	402	31.6	54.0	12.5	0.29
2	7日	218	18.7	40.7	11.7	0.36
	28日	376	27.6	49.4	13.1	0.30
3	7日	162	18.9	33.3	8.57	0.29
	28日	324	27.4	48.3	11.8	0.29
4	7日	124	14.0	29.6	8.85	0.35
	28日	256	20.7	45.4	12.35	0.37

表-4

試料番号	水セメント比 (%)	セメント量 (kg/m ³)	材令28日 圧縮強度	ρ の値				
				3日	7日	28日	3月	1年
1	53	340	171	0.23	0.26	0.25	0.30	0.26
2	61	356	308	0.26	0.24	0.26	0.25	0.20
3	68	356	331	0.28	0.29	0.28	0.26	0.25
4	76	351	314	0.32	0.31	0.28	0.30	0.27
5	87	345	250	0.32	0.28	0.31	0.29	0.32
6	106	334	147	0.42	0.38	0.30	0.28	0.25
7	143	317	79	0.47	—	0.42	0.40	0.34

表-5

試料番号	セメント骨材比 (%)	セメント量 (kg/m ³)	材令28日 圧縮強度	ρ の値					
				3日	7日	28日	3月	1年	
1	1:2	57	585	419	0.23	0.26	0.27	0.29	0.27
2	1:3	64	434	361	0.30	0.30	0.29	0.29	0.26
3	1:4	76	350	314	0.32	0.31	0.28	0.30	0.27
4	1:5	85	290	247	0.35	0.30	0.28	0.29	0.26
5	1:8	113	189	122	0.59	0.40	0.32	0.28	0.27

以上から考察すると ρ の値としては一般の計算値としては 0.28 くらいが最も妥当と思われ、亀裂荷重の計算には ρ の値として 0.28 をを用いるものとする。

4. 鉄筋コンクリートはりの亀裂荷重の計算

鉄筋コンクリートはりが曲げを受けて亀裂を生ずるとき、無筋コンクリートはりの場合と同様に、**図-3**のごとく応力が分布するものと考えてよい。

亀裂曲げモーメント M は、

$$M = v_2 \sigma_{ct} b(h-x) z_1 + A_s \sigma_s z_2 \dots\dots\dots (16)$$

であり、平面保持の法則から

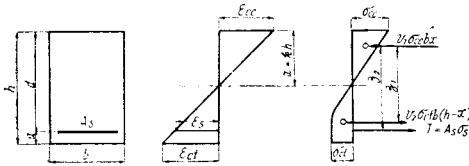
$$k = \frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_{ct} + \epsilon_{cc}} \dots\dots\dots (17)$$

であり、また平衡の条件から

$$v_1 \sigma_{cc} b x = p b(h-a) \sigma_s + v_2 \sigma_{ct} b(h-x) \dots\dots (18)$$

である。この式で v_1 の値は応力度によつて異なるが 0.5 よりわずかに大きい値で、0.5 として計算することとし、 v_2 は既述のごとく 0.832 を使用する。

図-3



式(18) で $a=a'h$ とすると次のごとくなる。

$$v_1 \sigma_{cc} b k h = p b(h-a'h) \frac{h-kh-a'h}{h-kh} E_s \epsilon_{ct} + v_2 \sigma_{ct} b(h-kh)$$

これより次式を得る。

$$\left(v_2 + \alpha v_1 \frac{\sigma_{cc}}{\sigma_c} \right) k^2 - \left\{ 2 v_2 + \alpha v_1 \frac{\sigma_{cc}}{\sigma_c} + p(1-a') E_s \epsilon_{ct} \frac{\alpha}{\sigma_c} \right\} k + \left\{ p(1-a')^2 + E_s \epsilon_{ct} \frac{\alpha}{\sigma_c} + v_2 \right\} = 0 \dots\dots\dots (19)$$

よつて精密に k の値を計算するには、式(17) と式(19) を満足するように試的に求めなければならない。コンクリートの圧縮強度 $\sigma_c = 150, 200, 250 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon_{ct} = 15 \times 10^{-5}$, $\alpha = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ct}} = 8, 10, 12$ などの各値に対して精密にこの方法で求めたものが、**図-6~8** である。これからわかるように k の値の変化はごくわずかであつて、大体近似的に 0.5 として計算してよい。

式(16) は $k=0.5$ としても計算上面倒なので、コンクリートで受持つ曲げモ

ーメント $v_2 \sigma_{ct} b(h-x) z_1$ を無筋コンクリートはりの場合と同様に $\rho b h^2 \sigma_{ct}$ でおきかえれば、亀裂曲げモーメントを求める式は、

$$M = \rho b h^2 \sigma_{ct} + A_s E_s \epsilon_s z_2 \dots\dots\dots (20)$$

前節で $\rho=0.28$ を用いることは述べたが、 $x=0.5h$ であり、さらに、

$$\epsilon_s = \epsilon_{ct} \left(1 - \frac{a}{h-x} \right) = \epsilon_{ct} \left(1 - \frac{a}{0.5h} \right)$$

$$z_2 = d - \frac{x}{3} = d - \frac{0.5h}{3} = d - 0.167h$$

であるから、式(20) は次のごとくなる。

$$M = 0.28 b h^2 \sigma_{ct} + A_s E_s \epsilon_{ct} \left(1 - \frac{a}{0.5h} \right) \times (d - 0.167h) \dots\dots\dots (21)$$

上式中の鉄筋コンクリートはりの引張側のひずみ ϵ_{ct} の値については種々の説があり、*Considère* 氏、*Emperger* 氏及び *Schreyer* 氏などは鉄筋コンクリートはりの方が無筋コンクリートはりのひずみより大きいと唱える人々であり、*Talbot* 氏及び *Turneure* 氏などはこれに反対する人々であり、*Kleinloger* 氏及び *Bach* 氏などは両者ほとんど同じであると唱えている。

著者もこれについて寸法 $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$ の無筋コンクリートはりと同じ寸法の鉄筋比 p が 0.655, 0.976, 1.485, 2.23, 2.69% の5種類の鉄筋コンクリートはりを製作して、コンクリートのひずみを測定したところ、鉄筋比が増大しても、これというひずみの変化は認められず、大体平均 1.5×10^{-4} と云える。

従つて著者の本計算にはすでに述べたごとく直接試験でえられる2倍のひずみを用い、鉄筋によるひずみの修正は行わないものとする。

式(17) と式(19) を用いて精密に k の値を求めて式(16) より求めた M/bh^2 の精密な値と、式(21)によ

表-6 M/bh^2 及び k の値 ($\sigma_c = 200 \text{ kg/cm}^2$)

ひずみ	$\alpha = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ct}}$		鉄筋比 p							
			0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040
$\epsilon_{ct} = 15 \times 10^{-5}$	8	k	0.48	0.50	0.51	0.525	0.535	0.55	0.56	0.57
		精密解	7.645	8.311	9.076	9.758	10.489	11.108	11.797	12.459
		近似解	7.92	8.84	9.76	10.67	11.59	12.51	13.43	14.35
	10	k	0.46	0.48	0.49	0.505	0.52	0.53	0.54	0.55
		精密解	6.508	7.243	8.055	8.787	9.491	10.241	10.981	11.685
		近似解	6.52	7.44	8.36	9.27	10.19	11.11	12.03	12.95
12	k	0.44	0.455	0.47	0.485	0.50	0.515	0.525	0.54	
	精密解	5.756	6.583	7.389	8.164	8.918	9.637	10.399	11.070	
	近似解	5.60	6.52	7.44	8.35	9.27	10.19	11.11	12.03	

表-7 M/bh^2 及び k の値 ($\sigma_c=150 \text{ kg/cm}^2$)

ひずみ	$\alpha = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ct}}$	k	鉄筋比 ρ							
			0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040
$\epsilon_{ct} = 15 \times 10^{-5}$	10	精密解	0.47	0.49	0.51	0.525	0.54	0.55	0.57	0.58
			5.040	5.811	6.541	7.927	8.015	8.765	9.364	10.065
			5.12	6.04	6.96	7.87	8.79	9.71	10.63	11.55

表-8 M/bh^2 及び k の値 ($\sigma_c=250 \text{ kg/cm}^2$)

ひずみ	$\alpha = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ct}}$	k	鉄筋比 ρ							
			0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040
$\epsilon_{ct} = 15 \times 10^{-5}$	10	精密解	0.45	0.47	0.475	0.49	0.505	0.515	0.525	0.535
			8.020	8.716	9.581	10.305	10.984	11.732	12.443	13.155
			7.92	8.84	9.76	10.67	11.59	12.51	13.43	14.35

る近似式から求めたその値と比較すると表-6~8のごとくなる。

以上の計算結果から、式(21)による近似解によつ

て亀裂荷重を求めても、実用上ほとんど差異のない結果がえられることがわかる。

5. 鉄筋コンクリートはりの亀裂荷重を求める実用式

著者が行つた一連の鉄筋コンクリートはりの亀裂荷重を、式(21)を用いて求めて、実際の亀裂荷重と比較してみよう。コンクリートの引張強さ係数試験は、材令 28 日で試験した鉄筋コンクリートはりの分しか行わなかつたので、材令 28 日で試験した鉄筋コンクリートはりだけについて求めた。計算には、使用し

た鉄筋の試験結果から、鉄筋のヤング係数は 2320000 kg/cm^2 を使用し、ひずみ ϵ_{ct} は、 15×10^{-5} 、 18×10^{-5} 、 20×10^{-5} について計算した。

表-9 $\epsilon_{ct} = 15 \times 10^{-5}$ 日本社普通セメント

型式	引張強さ係数 kg/cm^2	計算亀裂曲げモーメント kg-cm	計算亀裂荷重 kg	実際亀裂荷重 kg	計算亀裂荷重/実際亀裂荷重
I	17	35 697	1 190	1 358	0.88
II	18	41 867	1 396	2 108	0.66
III	18	45 826	1 528	2 608	0.59
IV	14	43 181	1 439	3 358	0.43
V	16	46 682	1 556	2 608	0.60
VI	16	46 985	1 566	3 358	0.47
VII	16	51 159	1 705	5 358	0.32
VIII	14	51 493	1 716	3 858	0.45
IX	17	58 349	1 945	3 858	0.51

 $\epsilon_{ct} = 15 \times 10^{-5}$ 小野田社早強セメント

型式	引張強さ係数 kg/cm^2	計算亀裂曲げモーメント kg-cm	計算亀裂荷重 kg	実際亀裂荷重 kg	計算亀裂荷重/実際亀裂荷重
I ₀	23	46 449	1 548	1 358	1.14
II ₀	21	47 243	1 575	1 608	0.98
III ₀	19	47 618	1 587	1 983	0.80
IV ₀	20	53 933	1 798	2 608	0.69
V ₀	19	52 058	1 735	2 108	0.82
VI ₀	18	50 569	1 686	3 108	0.54
VII ₀	19	56 535	1 885	2 608	0.81
VIII ₀	22	65 829	2 194	2 608	0.84
IX ₀	19	61 933	2 064	2 608	0.79

表-10 $\epsilon_{ct} = 18 \times 10^{-5}$ 日本社普通セメント

型式	引張強さ係数 kg/cm^2	計算亀裂曲げモーメント kg-cm	計算亀裂荷重 kg	実際亀裂荷重 kg	計算亀裂荷重/実際亀裂荷重
I	17	36 744	1 225	1 358	0.90
II	18	43 789	1 460	2 108	0.69
III	18	48 540	1 618	2 608	0.62
IV	14	46 799	1 560	3 358	0.47
V	16	48 930	1 631	2 608	0.63
VI	16	50 648	1 688	3 358	0.50
VII	16	55 657	1 855	5 358	0.35
VIII	14	56 774	1 892	3 858	0.49
IX	17	63 927	2 131	3 858	0.55

 $\epsilon_{ct} = 18 \times 10^{-5}$ 小野田社早強セメント

型式	引張強さ係数 kg/cm^2	計算亀裂曲げモーメント kg-cm	計算亀裂荷重 kg	実際亀裂荷重 kg	計算亀裂荷重/実際亀裂荷重
I ₀	23	47 496	1 583	1 358	1.17
II ₀	21	49 165	1 639	1 608	1.02
III ₀	19	50 332	1 678	1 983	0.85
IV ₀	20	57 551	1 918	2 608	0.74
V ₀	19	54 306	1 810	2 108	0.86
VI ₀	18	54 232	1 808	3 108	0.58
VII ₀	19	61 033	2 034	2 608	0.78
VIII ₀	22	71 110	2 370	2 608	0.91
IX ₀	19	67 511	2 250	2 608	0.86

表-11 $\epsilon_{ot} = 20 \times 10^{-5}$ 日本社普通セメント

型式	引張強さ係数 kg/cm ²	計算亀裂曲げモーメント kg-cm	計算亀裂荷重 kg	実際亀裂荷重 kg	計算亀裂荷重 実際亀裂荷重
I	17	37 442	1 248	1 358	0.92
II	18	45 106	1 504	2 108	0.71
III	18	50 399	1 680	2 608	0.64
IV	14	49 278	1 643	3 358	0.49
V	16	51 247	1 708	2 608	0.65
VI	16	53 165	1 772	3 358	0.53
VII	16	58 744	1 958	5 358	0.37
VIII	14	60 399	2 013	3 858	0.52
IX	17	67 760	2 259	3 858	0.59

$\epsilon_{ot} = 20 \times 10^{-5}$ 小野田社早強セメント

型式	引張強さ係数 kg/cm ²	計算亀裂曲げモーメント kg-cm	計算亀裂荷重 kg	実際亀裂荷重 kg	計算亀裂荷重 実際亀裂荷重
I ₀	23	48 194	1 606	1 358	1.18
II ₀	21	50 482	1 683	1 608	1.05
III ₀	19	52 191	1 740	1 983	0.88
IV ₀	20	60 030	2 001	2 608	0.77
V ₀	19	56 623	1 887	2 108	0.90
VI ₀	18	56 749	1 892	3 108	0.61
VII ₀	19	64 120	2 137	2 608	0.82
VIII ₀	22	74 735	2 491	2 608	0.96
IX ₀	19	71 344	2 378	2 608	0.91

一般に、鉄筋コンクリートはりの亀裂荷重を見出すこと、すなわち、はじめて亀裂の出るのをみつけることはきわめて困難なことであつて、著者の行つた実験でも、石膏を塗つて亀裂の発見を容易にしたが、観測者が亀裂の発見に漸次なれてゆくに従つて、早期に亀裂を発見するので、実験の進むにつれて各鉄筋コンクリートはりの亀裂荷重は小さくなつてゐる。すなわち、実験の順序は日本社の普通セメントを使用したものを先に行い、小野田社の早強セメントを使用したものを後から行つたのである。

上記の筆者の行つた実験で、実際の亀裂荷重と、計算による亀裂荷重との比較をみると、日本社の普通セメントを使用したものは、いずれも実際の亀裂荷重の方がはるかに大きいのに、小野田社の早強セメントを使用したものは、実際亀裂荷重と計算亀裂荷重とが比較的良好一致する結果は、実にこの亀裂荷重を見出すのに実験者が漸次なれていつたことを示している。従つて実際の亀裂荷重は小野田社の早強セメントを使用した鉄筋コンクリートはりの実験による亀裂荷重よりもやや小さい値と思われ、著者の提案する亀裂荷重を求める近似式はきわめてよく一致するものと云える。

従つて鉄筋コンクリートはりの亀裂荷重を求める一般式として次式を提案する。ただし、鉄筋のヤング係数 $E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ 、コンクリートの引張側のひずみは著者の実験結果から妥当な値と思われる $\epsilon_{ot} = 15 \times 10^{-5}$ を用いれば、 $E_s \epsilon_{ot}$ は 315 となり、この

値を使用する。

$$M = 0.28 bh^2 \sigma_{ot} + 315 A_s \left(1 - \frac{a}{0.5h} \right) (d - 0.167h) \quad \dots\dots\dots(22)$$

ここに、

- M: 亀裂発生時の曲げモーメント (kg-cm)
- σ_{ot} : コンクリートの引張強さ係数 (kg/cm²)
- A_s : 引張主鉄筋断面積 (cm²)
- h: はり断面の全高 (cm)
- a: 引張主鉄筋の図心から、はりの下縁までの距離 (cm)

参考文献

- 1) 坂静雄: コンクリート引張応力歪曲線と圧縮応力歪曲線との関係, 日本ポルトランドセメント業技術会, 第24回例会報告, 昭和13年
坂静雄: 建築雑誌, 昭和9年1月
坂静雄: 鉄筋コンクリート設計 p. 128
- 2) 山田順治・磯崎正晴: コンクリートはりの曲げ強度に及ぼす諸因子の影響について, セメント技術年報, 昭和26年, p. 274
- 3) 山田順治: 鉄筋コンクリートはりの破壊実験に関する2,3の結果について, セメント技術年報, 昭和26年, 土木学会昭和26年, 年次講演会講演, 於大阪
- 4) 建築学会論文集, 第4号, 昭和12年
- 5) H.F. Gonnerman, E.C. Shuman: Compression, Flexure and Tension Tests of Plain Concrete, Proceedings of A.S.T.M., Vol. 28, 1928, p. 528

(昭.28.11.6)