

早稲田大学理工学部 正員 神山 一
学生員 〇川口直能

1. 要旨

軸方向引張力と曲げモーメントとを受ける鉄筋コンクリート部材には曲げのみの場合と異なるパターンのひびわれが発達して破壊する場合がある。この点に注目し、その強度を検討した。

2. 破壊強度の計算式と適用範囲

軸方向引張力と曲げモーメントとを受ける鉄筋コンクリート部材が破壊に至る特徴の一つは引張鉄筋降伏後に部材軸方向へひびわれの枝分かれが生じ、フリ合機構が変化する事である。破壊強度や変形能力と推定するにはこの現象を無視できない。この点に注目し、軸方向ひびわれ発生後のフリ合条件をモデル化して破壊強度を求めた。

図-1のようにフリ合条件を仮定し、近似的に $I_1 \ll I_2$, $l/A_s E_s \approx 0$ と仮定すれば、鉄筋の引張力 T は次の式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} T &= A_s \sigma_s \\ &\approx \sigma_t \cdot \Delta N \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで $\sigma_t = \{(1 - \bar{e}_1/2) + \alpha\} / (1 - \bar{e}_1/2)$

最終的に圧縮部は無筋部材となり、この部分の曲げ破壊によって部材の破壊が起こる。このときの破壊荷重は、

$$\left. \begin{aligned} N_{cu} &= N_{sy} + \Delta N & i) \\ \text{ここで } N_{sy} &= b d \bar{\sigma}_{co} (p \beta_y - C_f \bar{e}_{sy}), \bar{e}_{sy} = \{C_f(\alpha+1) - \sqrt{[C_f(\alpha+1)]^2 - 4\alpha p \beta_y (C_f - C_m)}\} / 2(C_f - C_m) & ii) \\ \Delta N &= b d \bar{\sigma}_b \cdot \bar{e}_1 (1 - \bar{e}_1/2) / 4\alpha, \bar{e}_1 = 2\{(4\alpha+3) - \sqrt{(4\alpha+3)^2 - 9(\alpha+1)^2}\} / 3 & iii) \end{aligned} \right\} (2)$$

付加強度 ΔN は図-2のように偏心距離によって変化する。式(2)の適用範囲は次の条件から定まる。

a) 引張鉄筋の降伏までは重合の法則が適用できる。b) $E_s > E_{sy}$, $E_c > E_{cu}$, c) $\bar{e}_1 \leq \bar{e}_{sy}$, d) $\sigma_s \leq \sigma_{su}$
この結果、適用範囲は次の式の範囲に限られる。

$$\left. \begin{aligned} a) \text{ 式(2)-ii)} \\ p \beta_y &\leq \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{E_{cu}}{E_{cu} + E_{sy}} \{C_{fu}(\alpha+1) - \frac{E_{cu}}{E_{cu} + E_{sy}} (C_{fu} - C_{mu})\} & i) \\ \alpha &\geq \frac{1}{p \beta_y - C_{fu} \cdot \frac{E_{cu}}{E_{cu} + E_{sy}}} \left\{ \frac{E_{cu}}{E_{cu} + E_{sy}} \{C_{fu} - \frac{E_{cu}}{E_{cu} + E_{sy}} (C_{fu} - C_{mu})\} \right\} & ii) \end{aligned} \right\} (3)$$

b) 式(2)-iii)

式(3)の範囲で次の条件を満足する $p \beta_y$ および α 。

$$\left. \begin{aligned} \{2\{(4\alpha+3) - \sqrt{(4\alpha+3)^2 - 9(\alpha+1)^2}\} / 3\} &\leq \{C_f(\alpha+1) - \sqrt{[C_f(\alpha+1)]^2 - 4\alpha p \beta_y (C_f - C_m)}\} / 2(C_f - C_m) & i) \\ \bar{e}_1 \cdot (\alpha+1 - \bar{e}_1/2) / 4\alpha p &\leq (\sigma_{su} - \sigma_{sy}) / \sigma_b & ii) \end{aligned} \right\} (4)$$

式(3), (4)の範囲は試算法で図表化しておくことができる。又、実験結果と計算値の比較を表-1に示した。

ここで、 $\alpha = e_c/d$, $p = A_s/bd$, $\beta_y = \sigma_{sy}/\sigma_{co}$, $\bar{e}_1$ = 図-1 参照, $\bar{e}_{sy}$ = 引張鉄筋が降伏するときの中軸偏心率, σ_b = コンクリートの曲げ引張強度, σ_{co} = コンクリートの最大圧縮力強度, σ_{sy} = 鉄筋の降伏点力強度, N_{sy} = 引張鉄筋降伏荷重, E_{sy} = 鉄筋の降伏点ひずみ度, E_{cu} = コンクリートの最大圧縮ひずみ度, $C_f = \int_0^{\bar{e}_f} \sigma d\bar{e}$, $C_m = \int_0^{\bar{e}_m} \sigma d\bar{e}$, $\bar{e} = e_c/\sigma_{co}$, $\bar{e}_f = E_c/E_{co}$, σ_{su} = 鉄筋の引張強度

3. むすび

以上を要約すれば次の通りである。

- 部材に軸方向びびわれが発生した後は圧縮部が脆性破壊を起こし易くなり、部材の変形能力は低下する。
特に偏心量が小さい場合は降伏から破壊までの変形の余裕が小さくなる。
- 降伏強度までは重合の法則を用いて求める。
- 破壊強度はフリ合機構の変化による付加強度と降伏強度に加算して求める。

表-1 実験結果と計算値の比較

試験体		項目	$N_{sy}(\text{ton})$			$N_{ec}(\text{ton})$	$N_{cu}(\text{ton})$			コンクリートの品質			
			測定	計算	測計		測定	計算	測計	材令(回)	σ_c' (kg/cm^2)	σ_t (kg/cm^2)	σ_b (kg/cm^2)
一定偏心量	$\alpha=2.333$	$p=0.0138$	1.50	1.71	0.88	2.07	2.60	2.34	1.11	20	290	15.5	29.0
		$p=0.0275$	3.40	3.28	1.04	3.82	4.93	3.91	1.26	22	303	25.7	29.5
	$\alpha=1.500$	$p=0.0083$	2.04	2.41	0.85	2.33	3.99	3.40	1.17	29	401	24.2	35.6
		$p=0.0165$	3.07	4.67	0.66	3.97	6.80	5.66	1.20	32	345	22.7	27.8
		$p=0.0248$	5.20	6.93	0.75	6.83	8.08	7.92	1.02	28	415	26.3	27.7
		$p=0.0330$	7.42	9.03	0.82	8.67	10.09	10.02	1.01	23	372	21.6	27.1
		$p=0.0495$	10.01	13.18	0.76	—	*12.82	14.17	—	22	396	21.4	29.8
鉄筋量一定	$p=0.0165$	$\alpha=2.750$	3.82 3.82	3.02	0.82	3.62	4.47	3.55	1.26	31	301	23.6	49.8
		$\alpha=4.000$	1.81	2.27	0.80	2.63	3.15	2.63	1.20	34	378	23.4	17.9
		$\alpha=5.250$	1.46	1.73	0.84	2.00	2.58	2.00	1.29	30	254	24.7	24.4
		$\alpha=6.500$	1.20	1.48	0.81	1.75	2.03	1.70	1.19	31	321	21.7	50.9

コンクリート: $W:C:S=1:2:6$ (モルタル), フロー値 143~205, 鉄筋: SD30 ($\sigma_{sy}=3225 \text{ kg/cm}^2$, $E_{sy}=1430 \times 10^{-6}$, $E_{sh}=14450 \times 10^{-6}$) および SD35 ($\sigma_{sy}=3800 \text{ kg/cm}^2$, $E_{sy}=1800 \times 10^{-6}$, $E_{sh}=19000 \times 10^{-6}$)

*隅角部で破壊

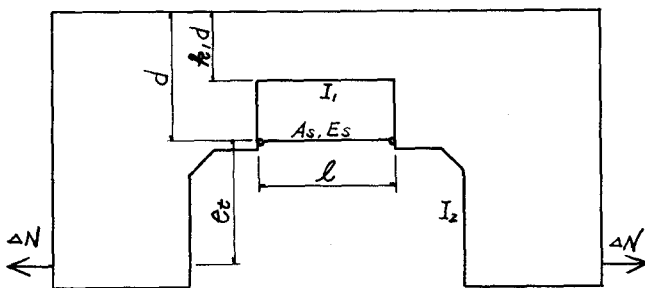


図-1. フリ合条件の仮定

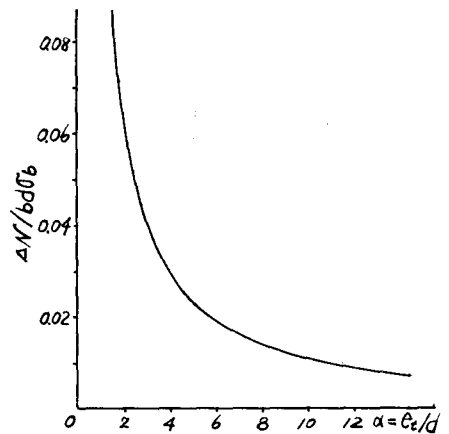


図-2 付加強度 ΔN

関連文献)

- 1) 神山, 川口: 土木学会年次講演概要集, S47, S48年
- 2) 神山, 川口: 橋梁構造工学研究発表会 S47年
- 3) 神山, 川口: セメント技術年報 S48年