

中部大学 正員 伊藤和幸

要旨: 曲げを受ける部材は、急激な脆性破壊と避けるために、最小鉄筋比以上の鉄筋を配置しなければならない。本研究は、鉄筋とコンクリートの両材料の更動と考慮し、釣合鉄筋比の逆数係数を求める際に用いた確率的方法と適用し、最小鉄筋比を求める方法を提案したものである。なお、この方法を用いて、ACI規定の最小鉄筋比 $f_{min} = 200/f_y$ の妥当性を検証する。

1. f_{min} を求めるための条件: ACI では次の条件により f_{min} を求めることを解説している。

条件一Ⅹ; 曲げ部材には、その部材に相応する無筋コンクリート部材の曲げモーメント強度以上のモーメント強度をもつように鉄筋量を配置すること。

よって、無筋コンクリートに対し、図-2.(a) より、 $M' = T'Z' = (1/6) \cdot b \cdot h^2 \cdot f_r = (1/6) \cdot b \cdot d^2 \cdot (8+1) \cdot f_r$ (1)

鉄筋コンクリートに対し、図-2.(b) より、 $M = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$, $a = A_s \cdot f_y / (0.85 \cdot f'_c \cdot b)$ (2)

条件一Ⅹにより、 $(1/6) \cdot b \cdot d^2 \cdot (8+1) \cdot f_r \leq A_s \cdot f_y \cdot (d - A_s \cdot f_y / (0.85 \cdot f'_c \cdot b))$, 式(1)より $8 = d'/d$ (3)

2. 曲げ引張強度 f_r と圧縮強度 f'_c の関係:

図-1の黒丸で記入した Kesler²⁾ の実験と最小角法によってまとめると

$$f_r = 8.54 \cdot f'_c{}^{0.514} \quad (\text{psi}) \quad (4)$$

同図中の△印は Shideler⁵⁾ の実験結果であるが、式(4)にうまく適合している。何れも普通骨材コンクリートに対するものである。式(4)と式(3)に代入して整理すると、

$$f_{min}^2 f_y^2 - 1.7 f'_c f_{min} f_y + 2.42 (8+1)^2 f'_c{}^{0.514} \leq 0 \quad (5)$$

3. 条件一Ⅹと満足する確率, Q_f :

条件一Ⅹと満足しない確率 $P_f = 1 - Q_f$. P_f の求め方は REF[1] の方法と同じである。ただし、次の点に留意する。

- (1) f_{sc} は f_s 分布の尾に位置する。
- (2) 釣合鉄筋比の式(4)に、式(5)の f_r , f'_c と変動値 f_{sc} , f_c にした式(6)と適用する。

$$f_{sc} \leq \frac{1.7 f_c - \sqrt{(1.7 f_c)^2 - 9.68 (8+1)^2 f_c{}^{0.514}}}{2 \cdot f_y} \quad (6)$$

式(6)により変換した f_{sc} の分布は、

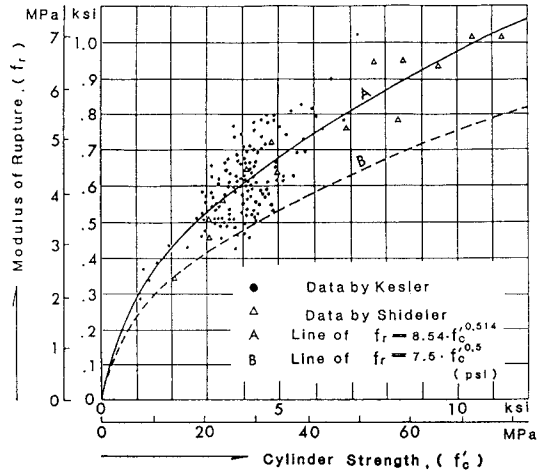
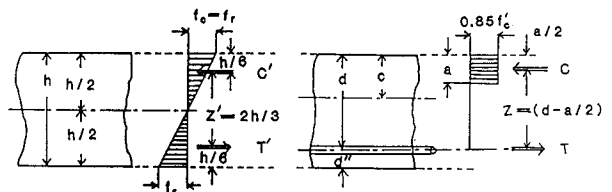


図-1 コンクリートの圧縮強度と曲げ引張強度の関係



(a) 無筋コンクリート (b) 鉄筋コンクリート

図-2 曲げ部材の応力分布と各記号説明図

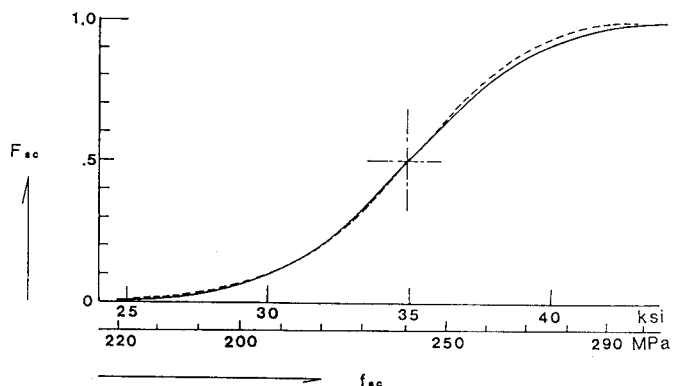


図-3 f_{sc} の真の確率分布関数と近似確率分布関数の比較

図3 により, 正規分布として取扱い得る。

4. 材料: 鉄筋およびコンクリートの指定強度, 変動係数, 平均値, 等の一般的な値は, その理由とともに, RFFH [1] に詳述されているので, その結果のみ引用する。

鉄筋: $p(f_s) \rightarrow N(\mu_s, S_s^2)$, Grade, $f_y \rightarrow 40 \sim 60 \text{ ksi (276} \sim 414 \text{ MPa)}$, $t_s = (\mu_s - f_y) / S_s \rightarrow 1.0 \sim 2.5$, $V_s \rightarrow 4 \sim 12 (\%)$
 コンクリート: $p(f_c) \rightarrow N(\mu_c, S_c^2)$, $f_c' \rightarrow 3 \sim 5 \text{ ksi (21} \sim 35 \text{ MPa)}$, $V_c \rightarrow 10, 15, 20 (\%)$, $y_c = \mu_c / f_c' \rightarrow$ 非超過確率 0.01 で求めた ACI 規定による。

5. B_f の選定: $B_f = 0.01$ と採用する。その理由は, (1) $p(f_s)$ と $p(f_c)$ の分布の交叉の程度, (2) y_c と求めるときも 0.01, (3) 同様の環境と取扱いした RFFH [1] の場合も 0.01

6. 算定のための両材料の組合せ:

Case 1 ; Grade 40 (276 MPa), $f_c' = 3 \text{ ksi (21 MPa)}$

Case 2 ; Grade 40 (276 MPa), $f_c' = 5 \text{ ksi (35 MPa)}$

Case 3 ; Grade 60 (414 MPa), $f_c' = 3 \text{ ksi (21 MPa)}$

Case 4 ; Grade 60 (414 MPa), $f_c' = 5 \text{ ksi (35 MPa)}$

7. 計算結果: 表-1, 2 に示す。要約すれば次の如し。

(1) かぶりの大きい表-1 の方が表-2 よりも f_{min} と大きく
 なる。 (2) f_y が大きいほど f_{min} は小さく, かぶりの影響を除いては, f_y の影響は他の要因に較べて最も大きい。 (3) 同じ f_y に対し, f_c' が大きいほど f_{min} は大きい。 (4) 同じ f_y, f_c' に対し, V_c が大きいほど f_{min} は大きい。 (5) 同じ f_y, f_c', V_c に対し, t_s が大きいほど f_{min} は小さい。 (6) 一部を除く, $t_s = 1.0, 1.5$ では, V_s が大きいほど f_{min} は大きい。 (7) $t_s = 2.0, 2.5$ では, V_s が大きいほど f_{min} は小さい。 (8) ACI 規定では, 表-1, 2 の太線枠内の場合には適切でない。

8 結論: (1) f_{min} は, f_y, t_s, V_s, f_c', y_c が与えられた場合には, (6) を用い, f と仮定し, RFFH [1] で述べた計算手順を実施し, 所定の B_f になるまで計算を繰返すことにより求めらる。 (2) この際, 適用する B_f は 0.01 が望ましい。 (3) 一般に使用された両材料の範囲では, それぞれのかぶりの程度に依り, 表 1, 2 に示した f_{min} 以上の配筋を行えばよい。 (4) ACI 規定の $f_{min} = 200 / f_y$ では, 使用の両材料の諸値の一部と充足していないので注意を要する。

[参考文献]

1. Ito, K., and Sumikama, A., "Probabilistic Study of Reduction Coefficient for Balanced Steel Ratio in the ACI Code," Jour. of ACI, V.82, No.5, Sep-Oct., pp.701-709.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)," ACI, Detroit, 1983, 111pp.
3. ACI Committee 318, "Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318R-83)," ACI, Detroit, 1983, 157pp.
4. Kesler, C. L., "Statistical Relation between Cylinder, Modified Cube, and Beam Strength of Plain Concrete," proc, ASTM, V.54, 1954, pp.1178-1187.
5. Shidehar, J. J., "Light weight Aggregate Concrete for Structural Use," ACI Journal, Proc. V.54, No.4, Oct., pp.299-328.

表-1 $B_f = 0.01$ に対する最小鉄筋比, $d' = 0.1d, (10^3)$

Case	1					2					3					4						
f_s, ksi	40 (276)					40 (276)					60 (414)					60 (414)						
f_c', ksi	3 (21)					5 (35)					3 (21)					5 (35)						
t_s	V_s	$V_c, \%$					$V_c, \%$					$V_c, \%$					$V_c, \%$					
		%	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20					
1.0	4	33	36	42	43	49	56	22	24	28	29	32	38	33	36	42	43	49	56	22	24	28
	6	33	36	42	43	49	56	22	24	28	29	32	38	33	36	42	43	49	56	22	24	28
	8	34	37	43	45	50	57	23	25	29	30	33	39	34	37	43	45	50	57	23	25	29
	10	35	38	44	46	51	58	24	26	29	31	34	39	35	38	44	46	51	58	24	26	29
	12	37	39	45	48	53	60	25	26	30	32	35	40	37	39	45	48	53	60	25	26	30
1.5	4	32	35	41	42	47	55	22	24	27	28	32	37	32	35	41	42	47	55	22	24	27
	6	32	35	41	42	47	55	22	24	27	28	32	37	32	35	41	42	47	55	22	24	27
	8	33	36	41	43	48	55	22	24	27	29	32	37	33	36	41	43	48	55	22	24	27
	10	33	36	41	43	48	55	22	24	27	29	32	37	33	36	41	43	48	55	22	24	27
	12	34	37	42	44	49	56	23	25	28	30	33	37	34	37	42	44	49	56	23	25	28
2.0	4	31	35	40	41	46	54	21	23	27	27	31	36	31	35	40	41	46	54	21	23	27
	6	31	34	39	41	46	53	21	23	26	27	31	35	31	34	39	41	46	53	21	23	26
	8	31	34	39	41	46	52	21	23	26	27	30	35	31	34	39	41	46	52	21	23	26
	10	31	34	39	41	45	52	21	23	26	27	30	35	31	34	39	41	45	52	21	23	26
	12	32	34	39	41	46	52	21	23	26	28	31	35	32	34	39	41	46	52	21	23	26
2.5	4	31	34	39	40	46	53	21	23	26	27	30	35	31	34	39	40	46	53	21	23	26
	6	30	33	38	39	44	51	20	22	26	26	30	34	30	33	38	39	44	51	20	22	26
	8	30	32	37	39	43	50	20	22	25	26	29	33	30	32	37	39	43	50	20	22	25
	10	30	32	36	38	43	49	20	21	24	26	29	33	30	32	36	38	43	49	20	21	24
	12	29	31	36	38	42	48	20	21	24	25	28	32	29	31	36	38	42	48	20	21	24

Numbers in parentheses - MPa

表-2 $B_f = 0.01$ に対する最小鉄筋比, $d' = 0.05d, (10^3)$

Case	1					2					3					4						
f_s, ksi	40 (276)					40 (276)					60 (414)					60 (414)						
f_c', ksi	3 (21)					5 (35)					3 (21)					5 (35)						
t_s	V_s	$V_c, \%$					$V_c, \%$					$V_c, \%$					$V_c, \%$					
		X	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20					
1.0	4	30	33	38	39	44	51	20	22	26	26	30	34	30	33	38	39	44	51	20	22	26
	6	30	33	38	40	45	51	20	22	26	27	30	34	30	33	38	40	45	51	20	22	26
	8	31	34	39	41	45	52	21	23	26	27	30	35	31	34	39	41	45	52	21	23	26
	10	32	35	40	42	47	53	22	23	27	28	31	36	32	35	40	42	47	53	22	23	27
	12	33	36	41	43	48	55	22	24	27	29	32	37	33	36	41	43	48	55	22	24	27
1.5	4	29	32	37	38	43	50	20	22	25	26	29	34	29	32	37	38	43	50	20	22	25
	6	29	32	37	38	43	50	20	22	25	26	29	33	29	32	37	38	43	50	20	22	25
	8	30	32	37	39	43	50	20	22	25	26	29	33	30	32	37	39	43	50	20	22	25
	10	30	33	37	40	44	50	20	22	25	27	30	34	30	33	37	40	44	50	20	22	25
	12	31	33	38	40	45	51	21	22	25	27	30	34	31	33	38	40	45	51	21	22	25
2.0	4	29	32	37	37	42	49	19	21	25	25	28	33	29	32	37	37	42	49	19	21	25
	6	29	31	36	37	42	48	19	21	24	25	28	32	29	31	36	37	42	48	19	21	24
	8	29	31	35	37	42	48	19	21	24	25	28	32	29	31	35	37	42	48	19	21	24
	10	29	31	35	37	41	47	19	21	24	25	28	32	29	31	35	37	41	47	19	21	24
	12	29	31	35	37	42	47	19	21	24	25	28	32	29	31	35	37	42	47	19	21	24
2.5	4	28	31	36	37	41	48	19	21	24	25	28	32	28	31	36	37	41	48	19	21	24
	6	28	30	35	36	40	47	19	20	23	24	27	31	28	30	35	36	40	47	19	20	23
	8	27	29	34	35	40	45	18	20	23	24	27	30	27	29	34	35	40	45	18	20	23
	10	27	29	33	35	39	44	18	19	22	23	26	30	27	29	33	35	39	44	18	19	22
	12	27	29	32	35	38	43	18	19	22	23	26	29	27	29	32	35	38	43	18	19	22