

1. 研究の目的: 鉄筋とコンクリートの強度の変動を同時に考慮し、複鉄筋長方形断面曲げ部材の指定耐力の信頼性を評価する方法を提案し、常用の両材料の組合せについて、A・J-Codesによる設計耐力 M_{ud} の信頼性を検証する。さきに単鉄筋の場合を報告¹⁾したが、ここでは複鉄筋とした事、過鉄筋となった場合には設計耐力以下になる確率として取扱った事等が異なる。

2. 曲げ設計耐力: 靱性破壊・脆性破壊の場合の M_{ud} は歪みの直線比例則・力の釣合いから容易に求められるので省略する。記号: Fig.1 参照

3. 信頼性の評価法: 基本概念は既報告^{1)~3), 5)}と同様であるので詳述を略す (Fig.2 参照)。コンクリートの圧縮強度・鉄筋の降伏強度は或る範囲で変動した値を示す。その値を f_c , f_s , 平均値 μ_c , μ_s , 変動係数 V_c , V_s , 確率密度 $p(f_c)$, $p(f_s)$ とする。Fig.2 を参照して、材料の強度の如何に拘らず M_{ud} を充足しない確率は P_s (対 f_s), P_c (対 f_c) であり、その一部の重複を除くと、 $P_w = P_s + P_c \cdot (1 - P_s)$ 。また靱性破壊しかつ M_{ud} 以下になる確率は、 $P_{fz} = \int_{f_{sc}}^{f_{su}} p(f_s) \times [\int_{f_{sc}}^{f_{sc}} p(f_{sc}) \cdot d(f_s)] \cdot d(f_s) + P_w \cdots (1)$ 。脆性破壊に就いても検討したが、 M_{ud} は充足されていないので、 M_{ud} 以下になる確率は f_{co} を f_{cu} として Eq. (1) から求めた P_{fz} 値を適用すればよい。所要の信頼性: M_{ud} 以下になる確率 $P_f = G \times 10^{-X}$ (G : 一桁の有効数字) の X 値を信頼性の指標として適用し、 $X \geq 4$ ¹⁾を採用する。

4. P_{fz} 算定の基本値: 材料の組合せ: コンクリートは 3~5 ksi、鉄筋は 40~60 ksi を適用。Case 1, 2, 3, 4 に対し ($f_c - f_s$) を夫々 (3-40), (3-60), (5-60), (5-40) とした。コンクリートは同じ配合設計強度のものとした。また f_c , f_s は正規分布、信頼性の適否の判定基準としての基準管理程度として $V_c = 0.15$, $V_s = 0.08$ ⁵⁾, $t_s = [(\mu_s - f_{yd}) / (\mu_s \cdot V_s)] = 2$ を適用し、管理が良好な $V_c = 0.10$, $V_s = 0.05$ ⁵⁾、さらに $t_s = 1.5 \sim 3.0$ についても検討した。最大鉄筋比・最小鉄筋比は両 Codes の規定値を適用した。部材の基準断面: 幅 $b = 60$ cm、高さ $h = 60$ cm、 $d = h - 6$ cm、 $d' = 6$ cm。

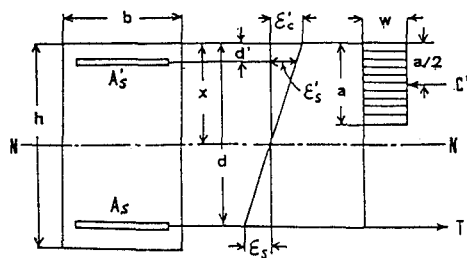
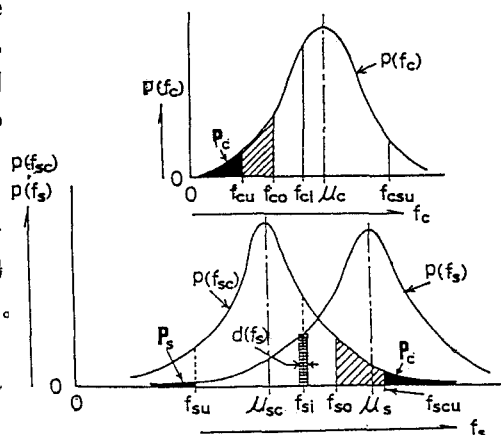


Fig.1 Notations and diagrams of strain and stress.

5. M_{ud} 以下になる確率: (A) 各組合せの X 値: Case 1~4 に対し、基準管理程度で $R=0; 1$, ρ_{max} ; ρ_{min} の場合の P_s, P_c, P_{fz} を Table 1 に示す。表中、 P_c の零は極めて小さい確率を意味する。表より (1) J-Code では $X \geq 4$ を総て充足している。A-Code では ρ_{max} , $R=0$ の Case 1, 2, 4 において信頼性が不足している。原因は P_c 値が卓越しているからである。(2) 表中、最大の P_{fz} 値は、A-Code では Case 1 の $R=0$, ρ_{max} の場合、J-Code では Case 4 の $R=0$, ρ_{min} の場合である。よってこれ等を最危険な場合として以下の要因に就いて検討する。(B) 断面の大小による影響: 結果は何れも X 値の変化が認められず、以後は基準断面に就いて検討する。(C) ρ 値の大小による影響: 結果を Table 2 に示す。表より (1) A-Code の $\rho = 2.784 \times 10^{-2}$; $2.5 \times$

Fig.2 Relationship among distributions of f_c, f_{sc} and f_s .

10^{-2} で $X=3$ となっている。(2) 両Codes共、 ρ が大きいときに P_{fz} 値も大きく、 ρ の低下に連れて減少し、最小値となり、その後は再び増加する。

(3) P_{fz} の最大値は、A-Codeでは ρ_{max} の場合、J-codeでは ρ_{min} の場合であるので、以後は ρ_{max} 、 ρ_{min} の両方に就いて検討する。(D) R 値の大小による影響: 結果を Table 3 に示す。表より (1) J-Code の場合、 P_{fz} は $R=1$ で最小、R 値にほぼ比例して順次増大、 $R=0$ で最大である。(2) A-Codeでは、 $R=1$ で大きく、R 値が減少するに連れて通減し、最小値となるが再び上昇に転じる。(3) P_{fz} が最大値を示すのは $R=0$ の単鉄筋の場合であるが、(2) の傾向を考慮し、以後は $R=0; 1$ の両方に就いて検討する。

6. 材料の品質管理の程度による影響: 両 Codes に就いて、 $t_s=1.5\sim 3.0$ に対し、 $V_c=0.10; 0.15$ 、 $V_s=0.05; 0.08$ の場合の X 値を Table 4 に示す。表より (1) 両 Code 共、管理が良好な場合は $X \geq 4$ であるが、基準管理では、J-Codeでは $t_s \geq 2$ であれば問題ないが、A-Codeでは t_s の全域に亘って $X=3$ であり、不適格である。(2) Table 5 は Table 4 を要約し、各 t_s に対し、管理の良好な場合と基準管理の場合での X 値の最小値を掲げたものである。表より、A-Code では、品質管理の良否により、X 値は 1 階級改善されているが、各 t_s 値に対して、X 値は変わらない。J-Code では t_s 値の増加につれて X 値は次第に向上し、また品質管理の向上によるその値の増加も著しく改善されている。

7. 結論: (1) M_{ud} 以下になる確率は Eq. (1) により求められ、信頼性は $1-P_{fz}$ で評価される。(2) 汎用される両材料の組合せに対し、両Codesで求めた M_{ud} の信頼性は (a) 基準管理程度の場合、J-Code では総ての場合に就いて所要の信頼性を充足していたが、A-Code では鉄筋比が高い $R=0; 0.1$ で不十分であるので注意を要する。(b) 品質管理が良好な場合は $t_s=1.5\sim 3.0$ の範囲で、両Codes共、所要の信頼性を充足している。

[参考文献] 1) 伊藤和幸 et, 材料, 36, 1272, 1987.

2) 伊藤和幸 et, 材料, 38, 1434, 1989. 3) 伊藤和幸 et, 材料, 39, 1411, 1990. 4) 伊藤和幸 et, 材料, 42, 1299, 1993. 5) K. Ito, et, Proc. ACI, 82, 5, 701 (1985)

Table 1 Probability P_{fz} less than design strength. ($P=G 10^{-X}$) ($V_c=0.15, V_s=0.08, t_s=2, \rho$ in 10^{-2})

Code	ACI										JSCE									
Case	R	ρ	P_c		P_s		P_c		P_s		P_c		P_s							
			G	X	G	X	G	X	G	X	G	X	G	X						
f_{max}																				
1	1	2.7840	0		2.15	4	9.11	4	2.0534	0		2.89	5	2.33	4					
2	1	1.6035	0		1.56	4	8.44	4	1.2025	0		2.14	5	2.00	4					
3	1	2.5153	0		1.46	4	7.81	4	2.1646	0		2.59	5	2.00	4					
4	1	4.3671	0		1.97	4	8.51	4	3.6962	0		3.50	5	2.23	4					
1	0	2.7840	2.58	3	8.64	7	2.74	3	2.0534	4.66	5	1.45	7	5.07	5					
2	0	1.6035	1.99	3	2.98	6	2.19	3	1.2025	3.66	5	4.76	7	4.42	5					
3	0	2.5153	7.16	4	4.34	6	8.49	4	2.1646	1.96	5	5.08	7	4.43	5					
4	0	4.3671	9.17	4	1.47	6	1.02	3	3.6962	4.66	5	1.60	7	5.07	5					
f_{min}																				
1	1	0.5	0		5.08	5	4.77	4	0.2	0		5.57	5	1.07	4					
2	1	0.334	0		4.11	5	5.03	4	0.2	0		1.48	5	4.36	5					
3	1	0.334	0		4.11	5	5.03	4	0.2	0		7.28	5	1.29	4					
4	1	0.5	0		1.38	4	3.28	4	0.2	0		1.37	4	2.62	4					
1	0	0.5	0		4.22	4	7.96	4	0.2	0		2.06	4	2.64	4					
2	0	0.334	0		4.22	4	7.96	4	0.2	0		1.52	4	2.21	4					
3	0	0.334	0		6.33	4	8.84	4	0.2	0		2.31	4	2.81	4					
4	0	0.5	0		6.36	4	8.83	4	0.2	0		2.73	4	3.09	4					

Table 2 Effect of various steel ratio on probability P_{fz} less than design strength. ($V_c=0.15, V_s=0.08, t_s=2, \rho$ in 10^{-2})

Code		ACI						JSCE							
ρ		P_c		P_s		P_{xz}		ρ		P_c		P_s		P_{xz}	
		G	X	G	X	G	X			G	X	G	X	G	X
Case 1, $R = 0$															
2.7840		2.58	3	8.64	7	2.74	3	3.6962	4.66	5	1.60	7	5.07	5	
2.5		1.05	3	2.19	6	1.26	3	3.0	0	9.30	7	1.09	5		
2.0		1.42	4	1.00	5	4.21	4	2.0	0	9.23	6	4.13	5		
1.5		0		4.03	5	3.78	4	1.0	0	6.68	5	1.35	4		
1.0		0		1.38	4	4.64	4	0.5	0	1.64	4	2.29	4		
0.5		0		4.22	4	7.96	4	0.2	0	2.73	4	3.09	4		
Case 4, $R = 0$															
2.7840		2.58	3	8.64	7	2.74	3	3.6962	4.66	5	1.60	7	5.07	5	
2.5		1.05	3	2.19	6	1.26	3	3.0	0	9.30	7	1.09	5		
2.0		1.42	4	1.00	5	4.21	4	2.0	0	9.23	6	4.13	5		
1.5		0		4.03	5	3.78	4	1.0	0	6.68	5	1.35	4		
1.0		0		1.38	4	4.64	4	0.5	0	1.64	4	2.29	4		
0.5		0		4.22	4	7.96	4	0.2	0	2.73	4	3.09	4		

Table 3 Effect of R-value on P_{fz} less than design strength. ($V_c=0.15, V_s=0.08, t_s=2$)

Code	ACI						JSCE					
R	P_c		P_s		P_{sz}		P_c		P_s		P_{sz}	
	G	X	G	X	G	X	G	X	G	X	G	X
	Case 1, ρ_{max}						Case 4, ρ_{min}					
1.0	0		2.15	4	9.11	4	0		1.57	4	2.62	4
0.8	0		2.06	4	8.93	4	0		1.71	4	2.69	4
0.6	0		1.84	4	8.51	4	0		1.89	4	2.78	4
0.4	0		1.54	5	5.28	4	0		2.09	4	2.88	4
0.2	0		1.33	5	5.43	4	0		2.37	4	2.98	4
0.1	8.79	4	3.92	6	1.12	3	0		2.54	4	3.06	4
0	2.58	3	8.64	7	2.74	3	0		2.73	4	3.09	4

Table 4 X-values of P_{fz} on various degree of quality control.

No.	Case	R	p	ACT												JSCE											
				0.15						0.10						0.15						0.10					
				0.08						0.05						0.08						0.05					
				3.0	2.5	2.0	1.5	3.0	2.5	2.0	1.5	3.0	2.5	2.0	1.5	3.0	2.5	2.0	1.5								
X - values																											
1	1	1		5	4	4	3	7	7	6	5	4	6	5	4	3	8	7	6	5							
	2	1		5	4	4	3	7	6	5	4	4	6	5	4	3	8	7	6	5							
	3	1		5	4	4	3	7	6	5	4	4	6	5	4	3	8	7	6	5							
	4	1	max	5	4	4	3	7	6	5	4	4	6	5	4	3	8	7	6	5							
2	1	0		3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	12	11	10	9							
	2	0		3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	11	10	9	8							
	3	0		4	4	4	3	5	5	5	5	4	6	5	5	5	12	11	10	9							
	4	0	max	4	4	4	3	5	5	5	5	4	6	5	5	5	12	11	10	9							
3	1	1		5	5	4	3	7	7	6	5	4	6	5	4	4	9	8	7	6							
	2	1		5	5	4	3	7	6	5	4	4	6	5	4	4	9	8	7	6							
	3	1		5	5	4	3	7	6	5	4	4	6	5	4	4	9	8	7	6							
	4	1	min	6	5	4	3	7	6	5	5	6	5	4	3	8	7	6	5								
4	1	0		5	4	4	3	7	7	6	5	4	6	5	4	4	8	7	6	5							
	2	0		5	4	4	3	7	6	5	4	4	6	5	4	4	8	7	6	5							
	3	0		5	4	4	3	7	6	5	4	4	6	5	4	4	8	7	6	5							
	4	0	min	5	5	4	3	7	6	5	5	6	5	4	3	8	7	6	5								

Table 5 Max. X-value on various degree of quality control.

Code	JSCE		ACI	
	0.15	0.10	0.15	0.10
V _c				
V _s	0.08	0.05	0.08	0.05
t _s	X-values			
1.5	3	5	3	4
2.0	4	6	3	4
2.5	5	7	3	4
3.0	5	8	3	4