

鉄筋コンクリート橋脚における破壊モードの確率論的評価

0417052 志村 貴弘

指導教員 吉川 弘道 青戸 拓起

1. はじめに

鉄筋の強度は、メーカー、鉄筋径及び鉄筋グレード等によりばらつきをもつ。よって、曲げ破壊型として設計としてもせん断破壊型となる可能性を持っている。そこで、RC 橋脚を対象にしてコンクリート強度、鉄筋強度の変化が終局水平耐力 P_u 、曲げせん断耐力比 P_s/P_u 、そして靱性率 δ_u/δ_y に与える影響を、数値シミュレーションにより検討をする。その結果から、橋脚の曲げせん断耐力比 P_s/P_u と鉄筋強度の関係式を算出し、鉄筋強度のばらつきによる破壊モード（せん断破壊型、曲げ破壊型）に与える影響について確率論的評価を行うことを目的とする。

2. 解析概要

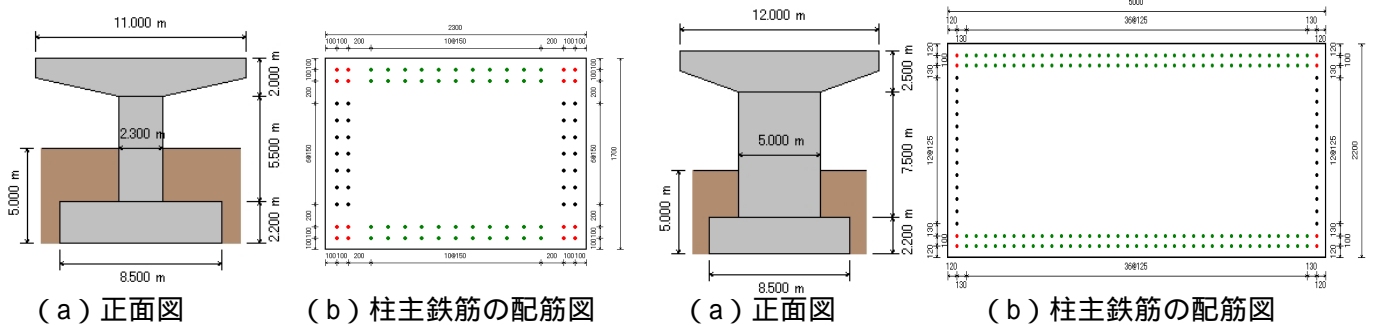
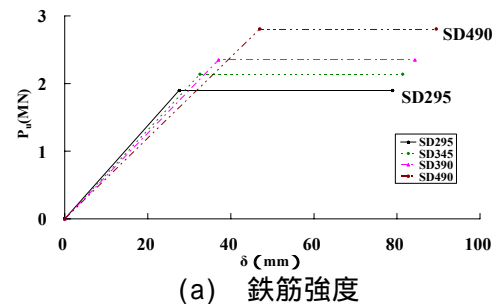


図1 橋脚Aの構造と断面

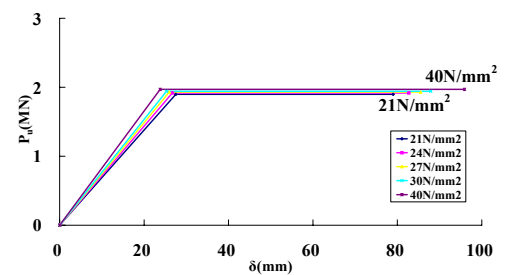
図2 橋脚Bの構造と断面

表1 標準ケース ($f_c=21\text{N/mm}^2, f_y=295\text{N/mm}^2$) の諸元

Case	A	B	C	D
断面幅 b (mm ²)	2300	1700	5000	2200
有効高 d (mm)	1550	2150	2030	4880
主鉄筋比 ρ_t (%)	1.38	1.38	0.925	0.925
横拘束筋体積比 ρ_s (%)	0.161	0.225	0.527	0.601
降伏変位 δ_y (mm)	27.51	31.09	35.51	27.99
終局変位 δ_u (mm)	79.0	89.8	258.6	137.4
変位靱性率 μ	2.87	2.89	7.28	4.91
終局水平耐力 P_u (MN)	1.90	2.11	4.88	8.65
せん断耐力 P_s (MN)	2.53	2.95	7.14	10.53
コンクリート負担分 S_c (MN)	0.59	1.09	1.54	2.24
帯鉄筋負担分 S_s (MN)	1.31	1.86	3.34	8.29
曲げせん断耐力比 P_s/P_u	1.33	1.4	1.46	1.22
対象橋脚と方向	A (橋軸)	A (直角)	B (橋軸)	B (直角)



(a) 鉄筋強度



(b) コンクリート強度

図3 荷重-変位関係

解析対象は図1と図2に示す橋脚である。表1は標準ケース ($f_c=21\text{N/mm}^2, f_y=295\text{N/mm}^2$) の諸元である。図3(a)と(b)は、鉄筋強度とコンクリート強度を変化させた時の、荷重-変位関係である。図3(a)より鉄筋強度 f_y を上げると、終局耐力および終局変位が向上する、図3(b)よりコンクリート強度 f_c を上げると終局変位が向上する。

3. 解析結果および考察

図4は、曲げせん断耐力比 P_s/P_u と材料強度の関係であるが、標準ケースの強度 ($f_c=21\text{N/mm}^2, f_y=295\text{N/mm}^2$) で横軸を基準化し、また、縦軸は標準ケースの曲げせん断耐力比 P_s/P_u で基準化した、増加率で示したものである。図中には回帰式を併記している。

キーワード: 曲げせん断耐力比, せん断破壊型, 曲げ破壊型, 確率密度関数

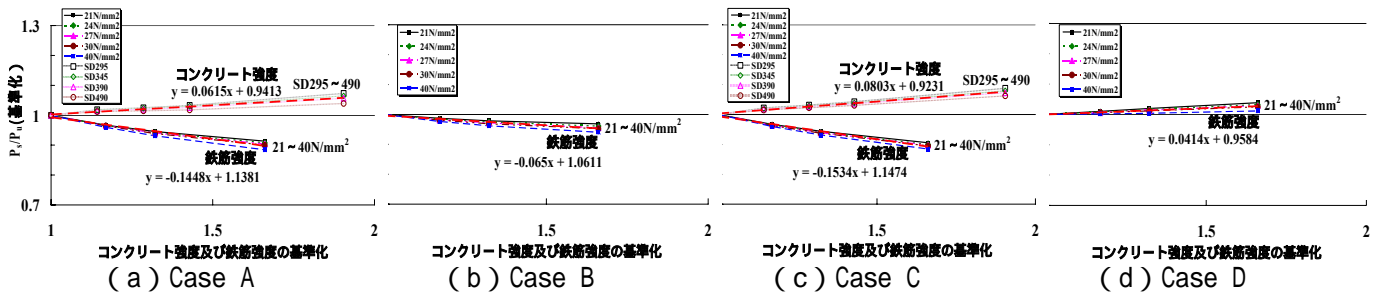


図4 材料強度による曲げせん断耐力比の変化

図5は、図4で得られた回帰式を元に、各ケースについて、せん断破壊型となる鉄筋強度 f_y^* を表したものである。Case A は、鉄筋強度 f_y が 836N/mm^2 を超えると $P_s/P_u > 1$ 、すなわちせん断破壊となる。このときの鉄筋強度 f_y を f_y^* とする。Case C は、 $f_y^* = 938\text{N/mm}^2$ となる。しかしCase D は、鉄筋強度が変化しても曲げせん断耐力比は1以下とならず、せん断破壊は生じない結果となった。

次に鉄筋強度のばらつきデータの即応の集計結果³⁾を参照し、鉄筋強度の確率密度関数を求める。鉄筋径(D10~D38)における鉄筋強度の平均値 μ 、標準偏差 σ (表2)を用い、対数正規分布を適用して確率密度関数を求めたのが図6である。図7は過強度係数 (f_y/f_y^*) を表したものであり、図6の確率密度関数を元に非超過確率がどの程度上昇するか表したものである。この結果、鉄筋強度のばらつきによるせん断破壊の確率 P_f を算出し、表2に示す。 P_f は、鉄筋強度 f_y が高くなるにつれて徐々に増加するが、SD490 ($f_y = 490\text{N/mm}^2$) になると急激に増加する結果となった。

4. 結果

- ・曲げせん断耐力比はコンクリート強度を上げると微増であるが、鉄筋強度を上げると減少するケースがあった。
- ・材料強度を上げて得られた曲げせん断耐力比の値の増加率や減少率にCase A, Cのみ大きな違いは見られない。
- ・鉄筋強度が高くなると、せん断破壊確率が上昇した場合は、最大では 0.8×10^{-6} となった。

【参考文献】

- 1) 吉川弘道: 鉄筋コンクリートの設計, 丸善, 2004年10月, pp.80~93
- 2) 株式会社 フォーラムエイト: 橋脚の設計 Ver.5 電子マニュアル
- 3) 財団法人 日本建築学会: 鉄筋コンクリート建造物の靱性保証型 耐震設計指針・同解説, 1999年8月, pp.38~47

表2 せん断破壊型となる強度 f_y^* および確率 P_f

	μ (N/mm^2)	σ (N/mm^2)	A		C		B, D	
			f_y^* (N/mm^2)	P_f ($\times 10^{-6}$)	f_y^* (N/mm^2)	P_f ($\times 10^{-6}$)	f_y^* (N/mm^2)	P_f ($\times 10^{-6}$)
SD295	367	20.65	836	0.0002	938	0.0002	-	
SD345	393	20.7		0.0266		0.0146	-	
SD390	405	19.5		0.1351		0.1051	-	
SD490	509	14.7		0.7809		0.7007	-	

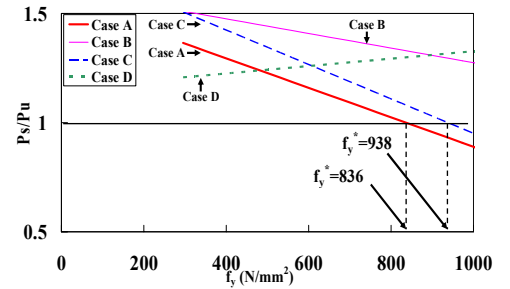


図5 鉄筋強度の回帰式

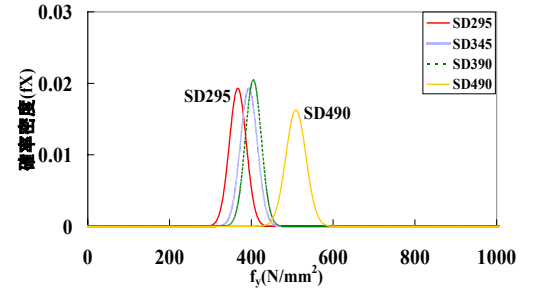


図6 鉄筋の確率密度関数

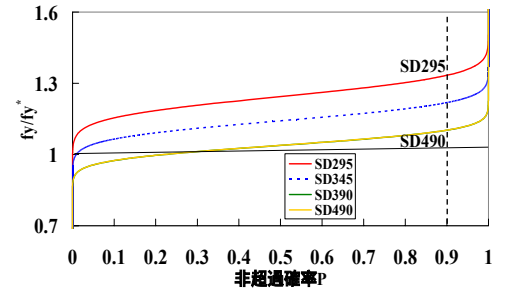


図7 過強度係数