

建設省土木研究所 正員 川島 一彦
建設省土木研究所 正員 〇星限 順一
建設省土木研究所 正員 長屋 和宏

1. まえがき

現行の鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査では、コンクリートの変形特性については、図-1に示す道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編の規定が準用されている¹⁾。しかし、じん性能を合理的に評価するためには、耐震設計上重要な帯鉄筋の影響を考慮したモデルを開発する必要がある。そこで、本文では、帯鉄筋で横拘束した円形断面コンクリート柱の圧縮載荷実験を行い、コンクリートの変形性能に及ぼす横拘束の影響について検討した結果を報告する。

2. 拘束コンクリート柱載荷実験

実験に用いた供試体の諸元ならびに実験状況を表-1、写真-1に示す。供試体は小型供試体（Sシリーズ）と大型供試体（Lシリーズ）の2シリーズとし、帯鉄筋による拘束効果を定量的に評価できるように実験ケースを設定した。実験では、変位制御による単調一軸圧縮載荷とし、軸方向ひずみは、供試体上下面間の変位を変位計によって計測し、これを高さで割って求めた。実験により得られた応力-ひずみ曲線を図-2に示す。帯鉄筋比が増すにつれて、最大圧縮応力、最大圧縮応力時のひずみが向上するとともに、最大応力後の急激な応力低下が抑制されることがわかる。

3. 拘束効果の定量化

図-2に示す実験結果より、拘束コンクリートの応力-ひずみ関係を支配する特性値は、最大圧縮応力 f_{cc} 、最大圧縮応力時のひずみ ϵ_{cc} 、ならびにひずみ軟化域での下降勾配 E_{des} であると判断される。そこで、これらの特性値に影響を及ぼす拘束効果の因子を実験結果をもとに検討した。ここで下降勾配は、圧縮応力が最大値からその50%に低減するまでの区間を最小自乗法によって直線近似して求めた。その結果、拘束効果の要因が、帯鉄筋比 ρ_s 、帯鉄筋の降伏強度 f_{yh} 、プレーンコンクリート強度 f_{co} の3つに絞込まれ、これらと拘束コンクリートの特性値との関係が図-3～5の通り得られた。すなわち、 (f_{cc}/f_{co}) は $(\rho_s f_{yh}/f_{co})$ と比例関係、 ϵ_{cc} は $(\rho_s f_{yh}/f_{co})$ と比例関係、また E_{des} は $(\rho_s f_{yh}/f_{co})^2$ と反比例関係の傾向があること、また供試体の寸法効果の影響は顕著でないことが明らかになった。そこで、実験データの回帰分析結果をもとに、これらの特性値の設計用評価式として次式を提案する。

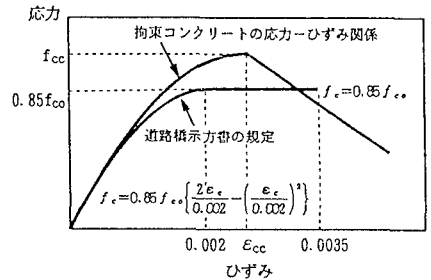


図-1 道路橋示方書に規定されるコンクリートの変形特性

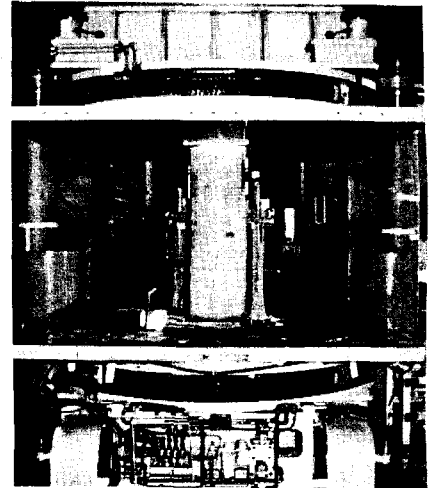
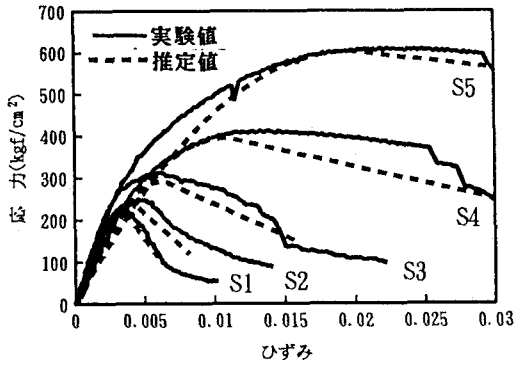


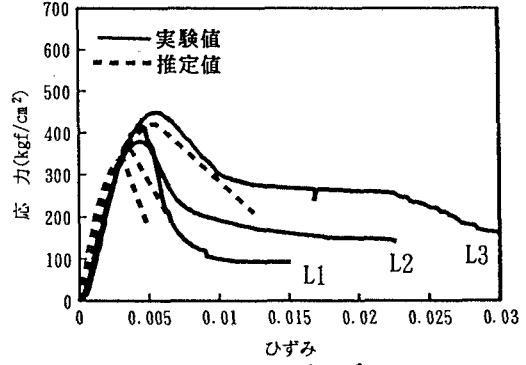
写真-1 30MN大型万能試験機による載荷状況

表-1 供試体諸元

シリーズ	供試体形状 (mm)	プレーンコンクリート強度 (kgf/cm ²)	帯鉄筋			帯鉄筋比 (体積比) (%)
			材質	径	間隔(cm)	
S	S1	189	SR235	φ6	15	0.39
	S2				10	0.58
	S3				5	1.17
	S4				2.5	2.33
	S5				1.25	4.66
L	L1	294	SD295	d10	15	0.38
	L2				10	0.57
	L3				5	1.14
	L4			d13	30	0.34
	L5			d16	30	0.53



(a) S シリーズ



(b) L シリーズ

図-2 応力-ひずみ曲線

$$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + 3.70 \frac{\rho_s f_{yh}}{f_{co}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{cc} = 0.002 + 0.033 \frac{\rho_s f_{yh}}{f_{co}} \quad (2)$$

$$E_{des} = \frac{12 f_{co}^2}{\rho_s f_{yh}} \quad (3)$$

4. 応力-ひずみ曲線の定量化

拘束コンクリートの応力-ひずみ曲線のモデルとして、図-1に示す現行のモデルを基本とした式(4)を提案する。

・応力上昇域 ($0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cc}$)

$$f_c = f_{cc} \left\{ \frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

・応力下降域 ($\epsilon_{cc} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$)

$$f_c = f_{cc} - E_{des} (\epsilon_c - \epsilon_{cc})$$

$$\text{ただし、} \epsilon_{cu} = \epsilon_{cc} + \frac{f_{cc}}{2E_{des}}$$

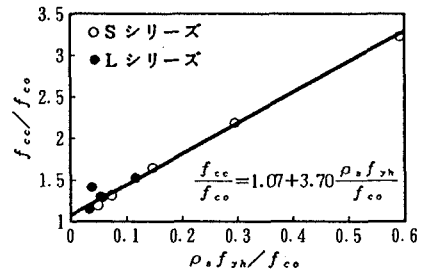
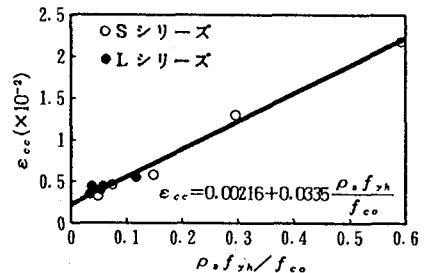
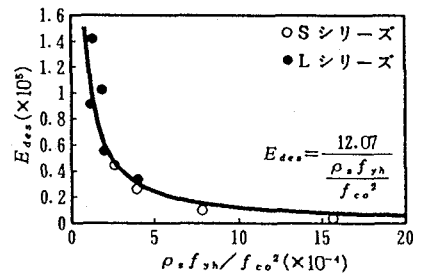
ここで終局ひずみ ϵ_{cu} は、最大圧縮応力が50%に低減した時のひずみで定義した。これは、応力が最大値の概ね50%以上まで低減すると、帯鉄筋の破断や主鉄筋の座屈等の大きな損傷が発生し始めており、もはや耐震設計で考慮すべき領域ではないと考えたためである。

表-1に示す実験条件に対し、上述の提案式(1)~(4)を適用して定量化される応力-ひずみ関係を図-2中に併記した。これより、本提案モデルは、実験結果の傾向をよく推定していることがわかる。しかし、帯鉄筋比が高くなるにつれ初期剛性が小さく評価されており、帯鉄筋比によらず一定の初期剛性を示す実験結果を表現できていない。したがって、初期剛性を境界条件に組み入れた応力-ひずみ曲線モデルを考案する必要がある。

5. まとめ

円形断面の拘束コンクリート柱の圧縮荷重実験を行い、帯鉄筋による拘束効果の評価式を提案した。今後、角形帯鉄筋に対する拘束効果の定量化、ならびに応力-ひずみ曲線のモデルの検討を行う必要がある。

【参考文献】1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、平成2年2月


 図-3 拘束効果と f_{cc} の関係

 図-4 拘束効果と ϵ_{cc} の関係

 図-5 拘束効果と E_{des} の関係