

V-301 鉄筋比が高いRCはりの曲げ破壊性状

岐阜大学 正会員 小柳 治 六郷恵哲
関ヶ原工業（株） 正会員 岩瀬裕之
岐阜大学 学生員 ○近藤吉信 伊藤勝美

1. まえがき

鉄筋コンクリート部材ならびに構造物の靱性設計及び耐久性設計の確立が重要視されている。靱性設計の確立のためには部材の最大耐力以降をも含めた終局挙動の解明が必要である。RCはりやPRCはりの曲げ靱性を向上させるには、圧縮鉄筋を配筋する方法、あるいは横拘束筋（スターラップやスパイラル筋）を配筋したり繊維補強コンクリートを用いることによりコンクリートの圧縮靱性を高めるとともに圧縮鉄筋の座屈を遅らせる方法等がある。本研究においては、はりを作製し引張り鉄筋の塑性最大ひずみを表すパラメーターとして提案されているタフネス指数 γ の値が、0.03以上となるようコンクリートの種類と圧縮鉄筋量とを組み合わせ作製したRCはりについて載荷試験を行い、はりの曲げ靱性について検討した。さらに引張り鉄筋の一部をPC鋼材に置き換えプレストレスを導入したPRCはりの載荷試験も行った。

2. 実験概要

RCならびにPRCはり供試体の形状寸法ならびに載荷スパンを図-1に示す。試験条件の概要を表-1に示す。普通コンクリート・鋼繊維補強コンクリート・鋼繊維補強高強度コンクリートの3種類のコンクリートを用いた。コンクリートの強度試験結果と圧縮靱性の値を表-2に示す。供試体は各試験条件ともそれぞれ2体作製し、 $\phi 6\text{mm}$ のスターラップ（ $f_{sy}=4410\text{kgf/cm}^2$ ）を支点間に7cmあるいは10cm間隔で1本ずつあるいは2本束ねて配筋した。PC鋼棒には公称径13mmのもの（ $f_{py}=143$, $f_{pu}=151\text{kg/mm}^2$ ）を用いた。鋼繊維の混入率が2%の場合には $\phi 0.5\text{mm} \times 30\text{mm}$ のインデント付きストレート繊維を使用し、鋼繊維の混入率が4%の場合には $\phi 1.0\text{mm} \times 40\text{mm}$ のストレート繊維を使用した。プレストレス（15tonf）の導入を材令3週間で行い、2週間後に再導入を行った。各はりについて次式により計算したタフネス指数 γ の値を表-1に示す。

$$\gamma = \frac{S_c b d}{A_s f_{sy} + A_p f_{py} - A_s' f_{sy}} - \epsilon_{cu}$$

ここに、 S_c ; コンクリートの圧縮靱性 : b, d ; はり断面の幅、有効高さ（引張り鉄筋位置）

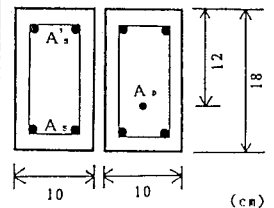
A_s, A_s' ; 引張、圧縮鉄筋の断面積 : f_{sy}, f_{sy}' ; 引張、圧縮鉄筋の降伏強度

A_p, f_{py} ; PRCはりの場合のPC鋼棒の断面積、降伏強度

ϵ_{cu} ; コンクリートの終局ひずみ（ $=S_c/(0.8f_c)$ ）: f_c ; コンクリートの圧縮強度

表-1 試験条件の概要

供試体の名称	コンクリート種類	鋼繊維混入率 (容積%)	鉄		筋		PC鋼棒		スターラップ* 間束ね 隔本数	タフネス 指数 γ
			種類	鉄筋比 ρ' (%)	降伏強度 f_{sy}' (kgf/cm ²)	種類	鉄筋比 ρ (%)	降伏強度 f_{sy} (kgf/cm ²)		
RN	N	-	2022	5.2	3470	2022	5.2	3470	-	∞
RHF	HF	4	2010	0.96	3880	2022	5.2	3470	10 1	0.062
RF	F	2	2016	2.7	3470	2022	5.2	3470	7 1	0.062
PF	F	2	2019	3.8	3770	2016	2.6	3790	7 1	0.059
OF	F	2	2019	3.8	3770	2025	6.8	3590	7 2	0.047



RCはり PRCはり

表-2 コンクリートの強度試験結果と圧縮靱性値

コンクリート種類	圧縮強度 f_c (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	圧縮靱性 S_c (kgf/cm ²)	ϵ_{cu} $=S_c/(0.8f_c)$
N	596	74.0	46.9	1.84	0.00386
F	654	135	75.0	5.81	0.0111
HF	1075	181	130.0	10.59	0.0123

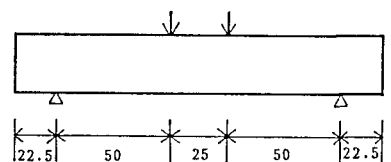


図-1 はり供試体の形状寸法

3. 結果と考察

載荷試験から得られた各供試体の荷重-変位曲線を図-2に示す。目視により測定したひび割れ耐力と最大耐力の測定値、ならびに最大耐力及び弾性解析によるひび割れ耐力の算定値、さらにはりの靱性(荷重-変位曲線で囲まれる部分の面積)と降伏耐力の測定値を表-3に示す。表-3に示すはりの靱性値は、図-2において矢印(↓)で示した点までの荷重-変位曲線下の面積として求めた。すなわち、RF、PF、OFでは圧縮鉄筋の座屈により耐力低下が生じる点、RHFでは圧縮鉄筋の座屈が生じる点と荷重が最大耐力の2/3に低下する点(括弧付き矢印)、RNでは載荷部分の局部破壊によって耐力が急激に低下する点までの曲線下の面積をそれぞれ靱性とした。

RNは、はりの降伏後、載荷点部分のコンクリートが局部破壊し、圧縮鉄筋が座屈する前に載荷が不可能になった。圧縮鉄筋量が最も少ないRHFは、引張鉄筋の降伏後、圧縮鉄筋の座屈が他のはりと比較して早い段階で生じ、その後は徐々に荷重が低下していった。PFのひび割れ耐力はプレストレスを導入した効果分だけRFに比べて大となった。RF、PFは降伏後も大きな変形能を示し、圧縮鉄筋の座屈までの靱性値はそれぞれRHFの約3倍になった。引張鉄筋比が6.8%と著しく高いOFの降伏耐力は、約20tonfとなり、その後も高い耐力を保持し続けた。以上のことから、RFならびにPF、OFのはりは、コンクリートと圧縮鉄筋がバランスよく設計されたはりであると考えられる。

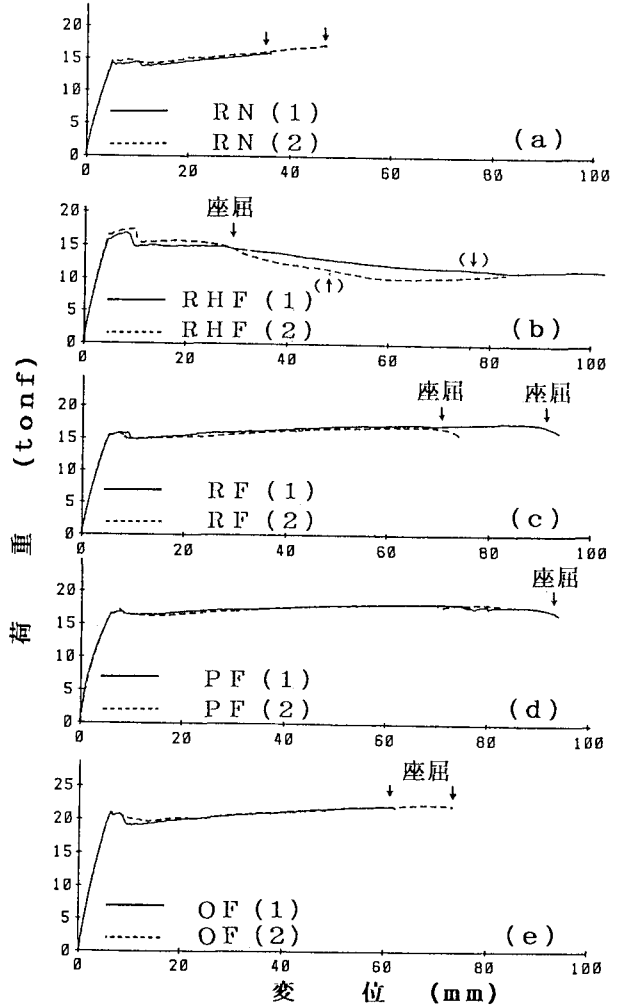


図-2 はりの荷重-変位曲線

表-3 はりの載荷試験による各耐力と靱性値

供試体の種類	ひび割れ耐力 (tonf)		降伏耐力の測定値 (tonf)	最大耐力 (tonf)		はりの靱性の測定値 (tonf·cm)
	目視による測定値	算定値		測定値	算定値	
RN (1)	4.9		14.3	15.9		49.9
RN (2)	4.7	2.9	14.8	17.1	13.8	70.8
RHF (1)	7.3		15.9	16.9		39.7 (102)
RHF (2)	6.6	5.7	16.6	17.5	14.6	42.6 (105)
RF (1)	4.6		15.5	17.6		153
RF (2)	4.9	5.0	15.6	16.9	14.0	117
PF (1)	10.5		16.6	18.3		167
PF (2)	10.0	8.2	16.6	18.3	15.3	147
OF (1)	6.1		20.6	22.0		114
OF (2)	6.5	7.6	20.9	22.2	19.7	141

4. まとめ

鋼材とコンクリートの性能と使用量とを適正に組み合わせて、例えばタフネス指数 γ を0.03以上とすることにより引張鉄筋比が5~7%と著しく高いRCはりにおいても、高い曲げ耐力とともに大きい靱性を確保することがわかる。更に引張り鉄筋の一部をPC鋼材に置き換えてプレストレスを導入することにより高い曲げ耐力と靱性に加え、ひびわれ抵抗性能をも改善できる。ただし、圧縮鉄筋の座屈や載荷点の局部破壊の適切な予測と防止についての検討が今後必要である。

参考文献 1)小柳、六郷、岩瀬、酒井：材料、36-406, pp.744~750, 1987年7月。