

論文

[2005] 曲げと軸力を受ける RC はりの破壊性状

正会員 小柳 治 (岐阜大学工学部)
 正会員 六郷恵哲 (岐阜大学工学部)
 正会員 岩瀬裕之 (関ヶ原工業)
 正会員 ○近藤吉信 (岐阜大学大学院)

1. はじめに

軸力を受ける RC 曲げ部材の破壊性状に及ぼす横拘束効果を実験的に検討する場合、一般に軸力を加えるための、大規模な装置を用いる場合が多い。本研究においては、RC はりの断面の中心部にアンボンド PC 鋼棒を埋め込み、その鋼棒を油圧ジャッキで引張ることで供試体に一定の軸圧縮力を加えて曲げ試験を行い、横補強筋の間隔の違いあるいは軸力の大きさの違いによる、RC はりの曲げ靱性の変化を明かにするとともに引張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 の値と比較検討を加えた。また同一断面の RC 短柱の圧縮試験から求めたコンクリートの応力ひずみ曲線のモデルを用いて RC はりの荷重-変位曲線のシミュレーションを行い、得られた解析結果と実験結果とを比較した。

2. 実験概要

試験条件を表-1に、コンクリートの示方配合を表-2に示す。横補強筋(スターラップ)を D6 ($\sigma_{sy}=4050\text{kgf/cm}^2$, $\sigma_{su}=5550\text{kgf/cm}^2$)、圧縮および引張鉄筋を D10 ($\sigma_{sy}=3890\text{kgf/cm}^2$, $\sigma_{su}=5400\text{kgf/cm}^2$) とし、軸力を 0、40、80 kgf/cm² の 3 種類、横補強筋の間隔をモーメントスパン内 6 cm、9 cm の 2 種類とした。軸力を加えるための PC 鋼棒 ($\sigma_{py}=119\text{kgf/mm}^2$, $\sigma_{pu}=129\text{kgf/mm}^2$, 直径 17mm) 自体の曲げ抵抗性の影響について検討するため、PC 鋼棒を配置

表-1 試験条件の概要

名称	軸力 (kg/cm ²)	横補強筋の 間隔(cm)	軸方向鉄筋	その他の条件	タフネス 指数 γ
S60	0	6	D10	P C 鋼棒なし	∞
S90		9			0.0252
S64		6			
S94		9			
S68	80	6			0.0122
S98		9			
S60P	0	6			∞

表-2 コンクリートの示方配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				減水剤* (cc)
		W	C	S	G	
54	48	170	315	860	931	630

*PZ-No.70

表-3 コンクリートの強度試験結果および圧縮靱性値

シリーズ名	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	圧縮靱性 (kgf/cm ²)
S64, S94	44.2	35.9	51.9	1.34
S60, S90	47.4	32.4	50.1	1.70
S68, S98	47.7	33.9	56.9	1.49
S60P	45.7	30.8	51.3	1.41

しない供試体も同時に作製した。図-1に供試体の配筋図を示す。均等な軸力を導入するため、P C鋼棒はR Cはり断面の中心に配置した。せん断スパン内にはせん断破壊防止のため、スタールップを7 cm間隔に配筋した。表-3にはコンクリートの各強度試験の結果ならびに圧縮靱性値を示す。各シリーズとも2体ずつR Cはり供試体を作製し、2週間湿布養生した。

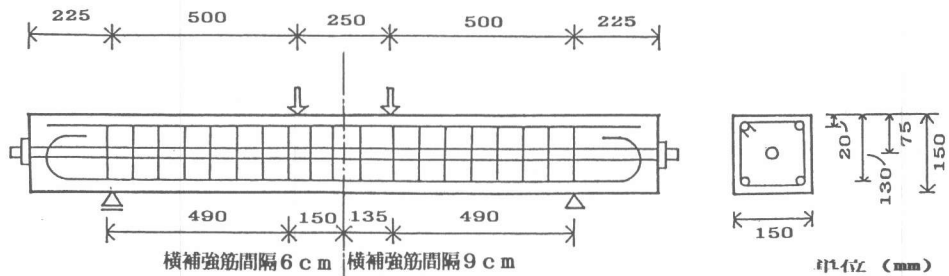


図-1 供試体の形状寸法及び配筋

荷重試験装置を図-2に示す。スパン長125 cm（モーメントスパン25 cm、せん断スパン50 cm）とし、対称2点曲げにより荷重を行った。P C鋼棒の一端にセンターホール型ジャッキ、他端に容量30 t o nのロードセルをナットで取り付け、P C鋼棒を引張ることでR Cはりの断面に軸力を加え、ロードセルから検出される値を試験中、随時ディスプレイモニターに表示し、ジャッキのバルブを手動で開閉することで、軸力を所定の値（目標値の $\pm 3\%$ 程度の幅、）に保ち続けた。

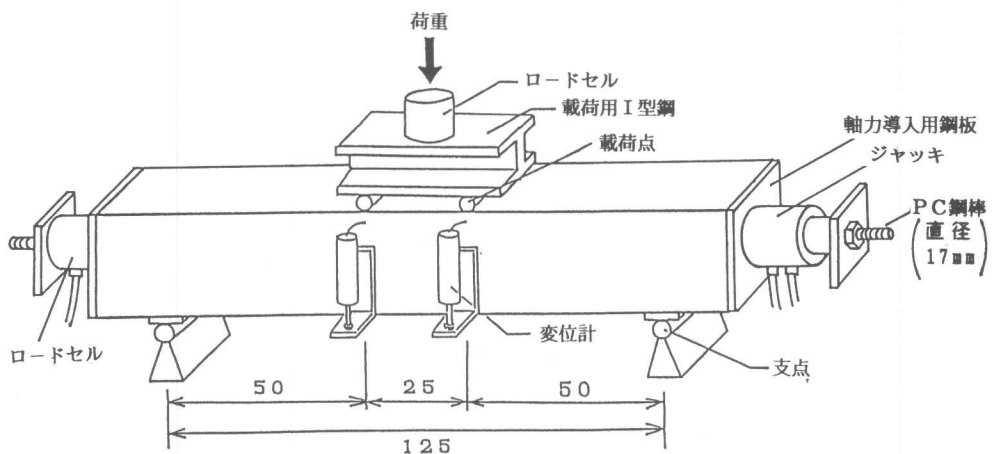


図-2 荷重試験装置

次に示すタフネス指数 γ は引張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もので¹⁾、軸力Nの増加によりその値は減少し、また圧縮鉄筋量と引張鉄筋量が同じで、軸力がない場合、その値は無限大となる。

$$\gamma = \frac{S'_c b d}{A_s f_{sy} - A'_s f'_{sy} + N} - \epsilon'_{cu}$$

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, : N ; 軸力

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

ϵ'_{cu} ; コンクリートの終局ひずみ ($= S'_c / (0.8 f'_c)$) : f'_c ; コンクリートの圧縮強度

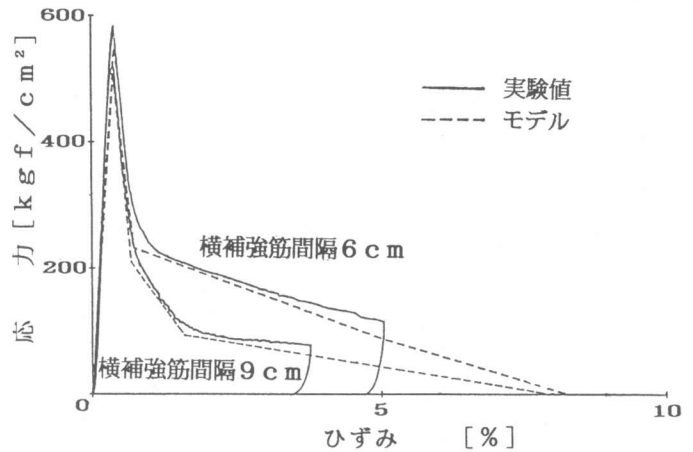
3. 軸力を受けるRCはりの解析方法

解析に用いたコンクリートならびに圧縮鉄筋のモデルを図-3に示す。コンクリートのモデルは、断面が同一で高さ40cmのRC短柱供試体の圧縮試験の荷重-変位曲線から、変位を供試体高さの40cmで除した値をひずみと定め、求めた応力ひずみ曲線をもとに、モデル化を行った。またコンクリート中の鉄筋の引張応力ひずみ曲線は降伏踊り場がなく、降伏直後に加工硬化域に入るという従来の研究結果をもとに²⁾、鉄筋単体の応力ひずみ曲線から降伏直後の降伏踊り場を除いてモデル化を行った。コンクリートの引張力を無視し、引張域のコンクリートのひび割れによる剛性の低下を考慮して³⁾ RCはりの載荷点下の変位を計算した。なお、軸力を加えるために供試体の中心に配置したPC鋼棒自体の剛性がRCはりの曲げ剛性に及ぼす影響は解析では考慮していない。

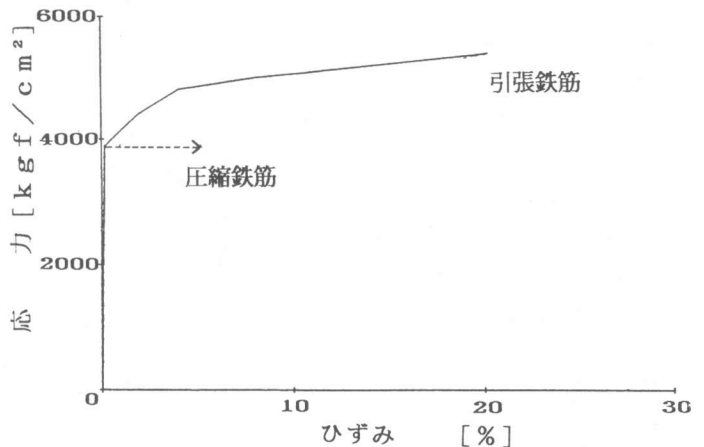
4. 結果及び考察

各シリーズ2体の載荷試験を行った。軸力を一定値にするた

めに行った油圧ジャッキのバルブの開閉により荷重-変位曲線は上下に微妙に変化したため、その包絡線を求め、2体の包絡線の平均値を、図-4に実線で示す。同図中には解析によって得られた結果も破線で示し、解析において降伏点以降、引張鉄筋のひずみが増加から減少に転ずる点(降伏終了点^{4,5)}と呼ぶ)を○印で示す。表-4には試験ならびに解析によって得られた各供試体の降伏点の荷重と変位、および最大荷重点とその変位を示す。



(a) コンクリートのモデル



(b) 鉄筋のモデル

図-3 解析に用いたモデル

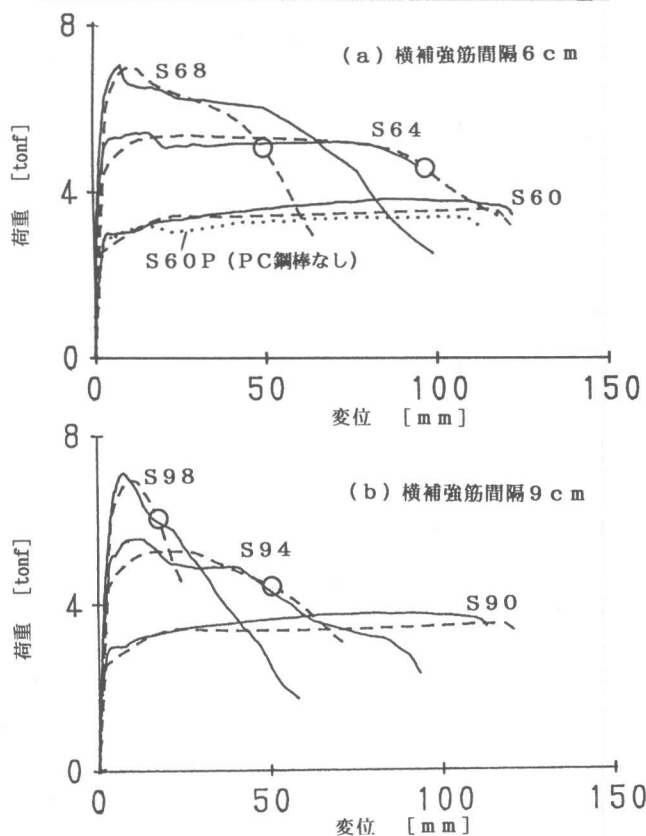
4.1 荷重－変位曲線の形状

荷重－変位曲線を比較すると、軸力が 0 kgf/cm^2 の場合、圧縮側において横補強筋の外側のかぶりが変位 5 mm 前後で剥離するが、その後は圧縮側の顕著な破壊はみられず、荷重も徐々に上昇し、引張鉄筋が破断して荷重が急激に低下した。この荷重変位特性は横補強筋の間隔が 6 cm でも 9 cm でもほぼ同じであった。図－4（a）にはPC鋼棒を供試体中心部に配置しないはりの荷重－変位曲線を示す。降伏点の荷重は表－4からPC鋼棒がある場合とPC鋼棒がない場合とはほぼ同じであるが、最大荷重は図－4（a）から明らかのように、PC鋼棒がある場合はない場合に比べ、 0.3 tonf ほど高かった。これはPC鋼棒自身による曲げ抵抗の影響のためと考えられる。

軸力が 40 kgf/cm^2 に増加すると降伏点ならびに最大荷重点は上昇する。しかし横補強筋の間隔が 6 cm では変位が 75 mm 、横補強筋の間隔が 9 cm では変位 40 mm 程度で荷重が急激に低下しはじめ、その付近から圧縮領域の破壊が顕著になった。軸力の値が 80 kgf/cm^2 になると、さらに降伏点、最大荷重点は上昇するが、横補強筋の間隔が 6

表－4 実験ならびに解析によるはりの各強度及び曲げ靱性値

シリーズ名		降伏点		最大荷重		曲げ靱性値 tonf・mm
		荷重 tonf	変位 mm	荷重 tonf	変位 mm	
S60	(1)	2.95	3.39	3.74	95	442
	(2)	2.96	3.35	3.69	109	533
	解析値	2.52	2.42	3.60	115	388
S90	(1)	2.89	3.31	3.76	92	388
	(2)	3.01	3.30	3.80	93	477
	解析値	2.53	2.42	3.50	115	380
S64	(1)	5.29	5.44	—	—	—
	(2)	5.13	4.39	5.49	13.9	517
	解析値	3.98	2.72	5.31	25.5	483
S94	(1)	5.08	3.64	5.60	12.9	285
	(2)	5.02	3.46	5.37	12.2	269
	解析値	3.98	2.73	5.29	25.2	259
S68	(1)	6.59	4.60	6.88	6.92	470
	(2)	6.93	4.85	7.04	8.25	427
	解析値	6.02	4.01	6.94	11.2	299
S98	(1)	6.78	5.45	6.86	6.95	162
	(2)	6.76	4.83	7.13	7.52	177
	解析値	6.03	4.39	6.95	10.5	102
S60P	(1)	2.91	3.37	3.49	87.3	356
	(2)	2.94	3.34	3.39	71.5	301
	解析値	2.52	2.42	3.61	115	388



図－4 RCはりの荷重－変位曲線
(各条件の供試体2本の結果を実線と破線で示す)

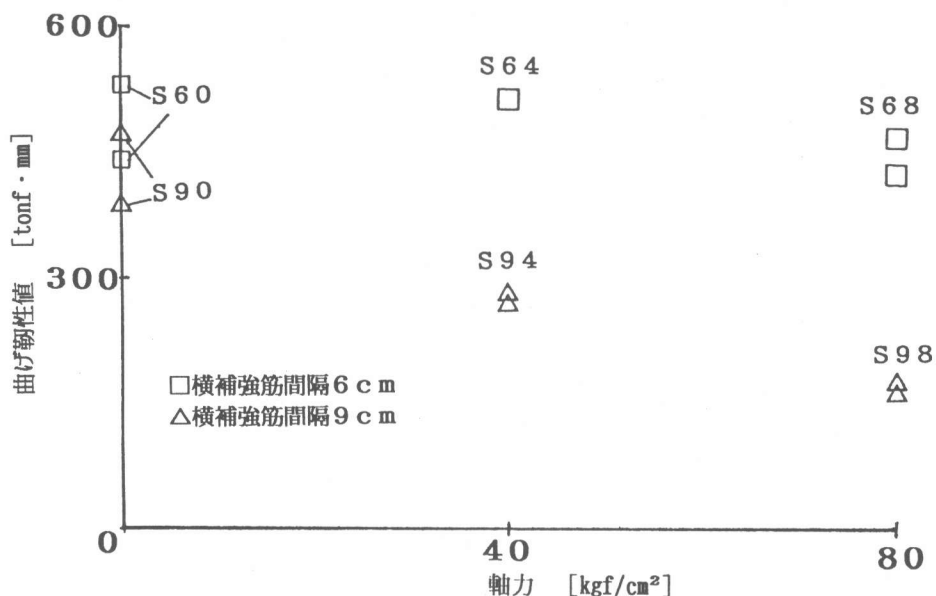
c m の場合、変位が 45 mm 前後で荷重が急激に低下しはじめる。9 c m の場合は、降伏後、圧縮縁のかぶりが剥離した後の荷重が持ちこたえる領域がほとんどなく、圧縮側の破壊の進行により荷重が低下していく。

解析による荷重－変位曲線とを比較すると軸力が 0 kgf/cm^2 の場合、変位が増加するにつれて解析値は P C 鋼棒がない供試体の荷重－変位曲線によく一致する。横補強筋の間隔の違いや、軸力が 40 あるいは 80 kgf/cm^2 に増加したことによる最大荷重点以降の荷重の形状についての解析値は実験値によく追従している。

4.2 曲げ靱性値

最大荷重の 3 分の 2 まで荷重が低下する点までの荷重－変位曲線下の面積として R C はりの曲げ靱性値を評価した。それらの値を表－4 に同時に示す。また、曲げ靱性値と軸力の値との関係を図－5 に示す。軸力が 0 kgf/cm^2 の場合、横補強筋の間隔の違いによる曲げ靱性値の差は明確ではない。横補強筋の間隔が 6 c m の場合には、軸力が 0 kgf/cm^2 のシリーズと軸力が 40 kgf/cm^2 のシリーズの曲げ靱性値はほとんど同じで、軸力が 80 kgf/cm^2 に増加しても曲げ靱性値は大きく低下しない。間隔が 9 c m の場合には、軸力が 0 kgf/cm^2 から 40 、 80 kgf/cm^2 と増加するにつれて、曲げ靱性値は軸力の増加に対してほぼ直線的に低下している。

すなわち、今回の実験で用いた軸力の大きさの範囲内においては、軸力の増加によって曲げ靱性値は低下するが、曲げ靱性値のを最大荷重の 3 分の 2 の点までの面積とした場合、横補強筋の間隔の小さいシリーズでは軸力の増加に対する曲げ靱性値の値の低下の割合は小さい。軸力がなく、本実験で用いた程度の鉄筋比 ($p = 0.73\%$) の供試体の場合には、圧縮側の破壊の進行による荷重の低下が生じる前に引張鉄筋の破断によって荷重が急激に低下し、横補強筋の間隔の変化が曲げ靱性値へ及ぼす影響は表れなくなる。



図－5 軸力と曲げ靱性値の関係

次に引張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 と曲げ靱性値との比較を行う。タフネス指数 γ の計算式からも明らかにように軸圧縮力 N が引張鉄筋の力と等価な影響を及ぼしている。表-1中に示した各シリーズのタフネス指数 γ の値と表-4の曲げ靱性値との関係を図-6に表

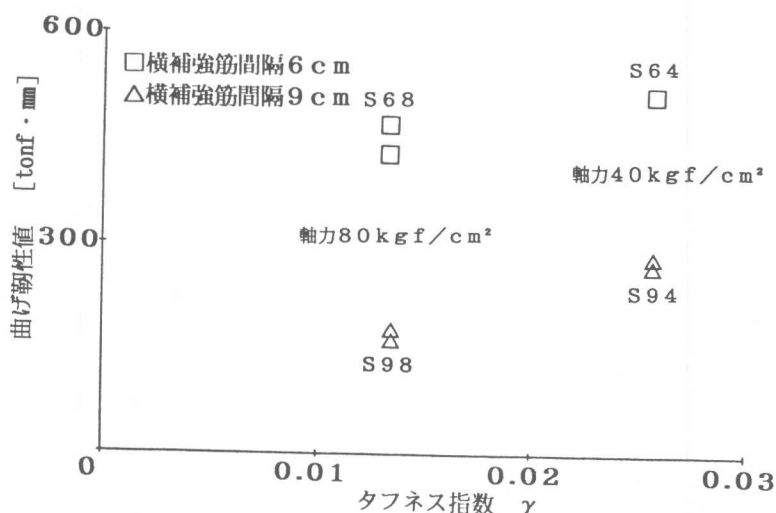


図-6 タフネス指数 γ と曲げ靱性値の関係

す。軸力の値が大きいとタフネス指数 γ の値は小さくなりRCはりの曲げ靱性値も減少している。

3. まとめ

(1) 供試体の中心部にアンボンドPC鋼棒を配置し、そのPC鋼棒を手動式の油圧ジャッキで引張り、一定の軸圧縮力を加えることで、軸力を受けるRCはりの曲げ試験を簡便に精度よく行うことができる。

(2) コンクリートの応力ひずみ曲線にRCはりと同じ断面のRC短柱の圧縮試験の結果を用いて、軸力を有するRCはりの曲げ荷重-変位曲線のシミュレーションを行い、実験値とよく一致する解析値が得られた。

(3) 軸力がRC部材に加わる場合、軸力の値の増加により曲げ靱性値は低下する。横補強筋の間隔の違い（横拘束効果の違い）によって、軸力がRCはりの曲げ靱性値に及ぼす影響の度合は異なる。

(4) 軸力 N の増加によるRCはりの曲げ靱性値の低下を、タフネス指数 γ によって表すことができる。

参考文献

- 1) 小柳治, 六郷恵哲, 岩瀬裕之, 酒井康宏: PCはりの靱性挙動と靱性設計に関する基礎的研究, 材料, 36-406, pp.744~750, 1987. 7
- 2) 小柳治, 六郷恵哲, 岩瀬裕之: コンクリート中の鉄筋の応力ひずみ関係と曲げを受けるRCはりの終局挙動, 土木学会論文集, No.384, V-7, pp.83~92, 1987. 8
- 3) CEB-FIP: Recommendation internationales, pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton, Juin.1970
- 4) 小柳治, 六郷恵哲, 岩瀬裕之: RCはりの曲げ破壊過程と曲げ靱性に及ぼす材料特性の影響, 土木学会論文集, No.348, V-1, pp.153~162, 1984
- 5) 小柳治, 六郷恵哲, 内田裕市, 岩瀬裕之: 複鉄筋コンクリートはりの靱性評価, 第5回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.333~336, 1983