

[2119] RC ばりの終局曲げ耐力に及ぼす圧縮側コンクリートの影響

正会員 矢代 秀雄 (日本大学 生産工学部)
 正会員 〇清水 庸介 (日本大学 生産工学部)
 師橋 憲貴 (日本大学 大学院)
 村田 義行 (日本大学 大学院)

1. まえがき

鉄筋コンクリートばりの曲げ実験では最大耐力後、被りコンクリートの剥落等によりはりの耐力は低下することがある。この耐力の低下は、複筋比、横補強筋の量及び間隔などによって抑制できることが既往の研究¹⁾でわかっている。

本研究では、はりの純曲げ区間において複筋比 α を約0.4 及び 0とし、横補強筋量を一定にして横補強筋の配筋方法の相違による圧縮側コンクリートに対する拘束効果に着目し、それらがはりのじん性向上に及ぼす影響を比較検討したものである。

また、横補強筋量、横補強筋の間隔、被りの有無を変化させたコンクリート角柱供試体の一軸圧縮実験を行い、これより横補強筋の拘束効果、被りコンクリートの応力-ひずみ関係などの影響を比較検討し、横補強筋の拘束を考慮したコンクリートの応力-ひずみ曲線モデルと硬化域を考慮した鉄筋の応力-ひずみ曲線モデルを想定して最大耐力及び圧縮破壊後の耐力を計算により推定する方法を検討した。

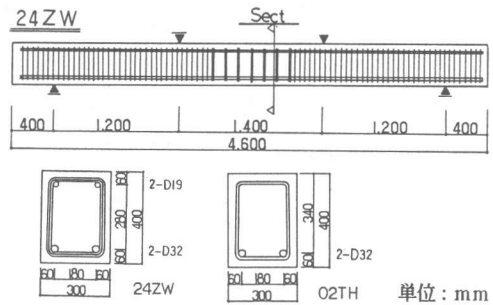


図-1 試験体形状 (はりの曲げ実験)

2. 実験概要

2.1 はりの曲げ実験

試験体は 6体計画した。図-2 に示すように横補強筋比 R_w を一定 (0.76%) にして、横補強筋に D10 (SD30A: JIS G 3112) をシングル及びダブル配筋したもの、また、D13 (SD30A: JIS G 3112) をシングル配筋したものを計画した。圧縮鉄筋

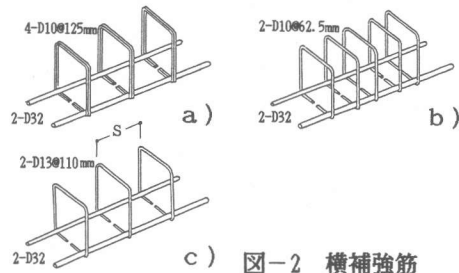


図-2 横補強筋

表-1 試験体詳細一覧 (はりの曲げ実験)

試験体名	試験体形状					主筋										横補強筋			
	断面				せん断スパン	上端筋			下端筋			有効複筋比	(試験区間内)						
	b	D	d	d c		配筋	降伏応力度	断面積	鉄筋比	配筋	降伏応力度		断面積	鉄筋比	配筋	間隔	横補強筋比	降伏応力度	
	cm	cm	cm	cm			cm	σ_v	ΣQ_c		P_c		kg/cm ²	cm ²		%	kg/cm ²	cm ²	%
04ZW					120	—	—	—	—	2-D32	3293				4-D10	12.5	0.76	3925	
02ZN						—	—	—	—	2-D32	3293	15.88	1.56	—	2-D10	6.25		3925	
02TH						—	—	—	—	2-D32	3293			—	2-D13	11.0		3796	
24ZW	30	40	34	6		2-D19	3490	5.73	0.56	2-D32	3299			—	4-D10	12.5		3925	
22ZN						2-D19	3476	5.73	0.56	2-D32	3299	15.88	1.56	0.38	—	2-D10		6.25	3925
22TH						2-D19	3483	5.73	0.56	2-D32	3299			—	2-D13	11.0		3796	

の配筋方法による影響を比較するため、引張鉄筋に 2-D32(SD30A:JIS G 3112)を使用して、複筋比 γ がおおよそ 0.4となるように圧縮鉄筋に 2-D19(SD30A:JIS G 3112)としたもの、横補強筋の拘束効果及び圧縮鉄筋とコンクリートの応力負担の状態を探るため、圧縮鉄筋を配筋せずに複筋比 γ を 0としたものを計画した。試験体詳細一覧を表-1 に、形状を図-1 に示す。

加力は 2点集中単調加力とし、荷重は部材降伏後は変位量により制御しながら加力して、部材降伏時たわみ (δy)の約10倍になるまで加力を行った。

2.2 角柱供試体の一軸圧縮実験

断面は図-3 に示すとおりであり、被りのない20cm×20cmと被り厚を 5cmとした30cm×30cmとした。全高は、被りのない20cm×20cmで幅高さ比が3となる試験体を計画した。断面が30cm×30cmの被り有り試験体は、被りコンクリート剥落後、被りのない試験体と形状が等しくなるように幅高さ比を2とした。

横補強筋には、D10(SD30A:JIS G 3112)を使用し、図-4 に示すようにシングル及びダブルに配筋した。また、横補強筋の間隔をシングルに配筋した試験体については 5cm, 10cm, 15cm, 20cmとし、ダブルに配筋した試験体については 10cm, 15cm, 20cm, 30cmとした。なお、試験体詳細一覧を表-2 に示す。

加力は、上端球座、下端固定支持で、一軸中心圧縮载荷とした。また、上下加圧面を速乾性の石膏でキャッピングし、加圧板をアセトンで洗浄することにより、加圧板と加圧面の摩擦状態が一定になるようにした。

測定は、全体の圧縮ひずみ2.5%までを目安として行い、崩壊のため圧縮ひずみが2.5%まで測定不可能な試験体についてはその限界近くまで加力を行った。

3. 実験結果

3.1 はりの曲げ実験

実験結果一覧を表-3 に、モーメント-たわみ曲線を図-5, 6に示す。

表-2 試験体詳細一覧 (一軸圧縮実験)

試験体名	試験体形状				横補強筋								
	断面 b cm	高さ H cm	幅高 さ比 H/b	被り 厚さ cm	配筋	間隔 cm	降伏 応力度 kg/cm ²	横補強 筋比 %					
05S3	20×20	60	3	0	2-D10	5	3925	1.43					
10S3						10		0.71					
15S3						15		0.48					
20S3						20		0.36					
10W3						10		1.43					
15W3					15	0.95							
20W3					20	0.71							
30W3					30	0.48							
0003					30×30	60		2	5	2-D10	5	3925	0.95
05S2C											10		0.48
10S2C	15	0.32											
15S2C	20	0.24											
20S2C	30	0.16											
10W2C	15	0.63											
20W2C	20	0.48											
30W2C	30	0.32											
0002C	-	-	-	-			-			-	-		

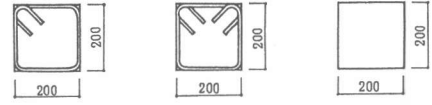


図-3 断面 (一軸圧縮実験) 単位: mm

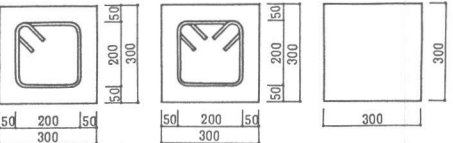


図-4 横補強筋 (一軸圧縮実験)

表-3 実験結果 (はりの曲げ実験)

試験体名	実験値				計算値
	引張 強度	降伏時	最大耐力	低下後 の耐力	最大耐力
	σ_b	M_y	M_u	M_{uc}	M_{ucl}
	kg/cm ²	t·m	t·m	t·m	t·m
04ZN	271	15.00	15.81	13.56	15.86
02ZN	272	15.00	15.81	14.23	15.87
02TH	272	15.00	15.99	14.50	15.84
24ZN	256	15.60	16.11	14.70	15.83
22ZN	261	15.60	16.05	14.82	15.86
22TH	264	15.60	16.29	15.02	15.88

*: 低下後の耐力の最小値

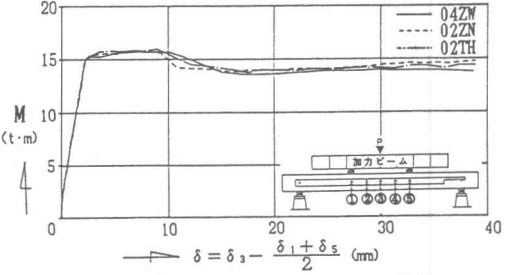


図-5 モーメント-たわみ曲線

モーメント-たわみ曲線において、圧縮鉄筋のない試験体についてみると、最大耐力後の耐力の低下は、シングル配筋で間隔の狭い試験体の方が小さな変形で生じている。その後変形が進み、降伏たわみの8倍位になると、間隔が狭い、即ち横補強筋を小分けにいった試験体ほど耐力に回復がみられ、その耐力はD10シングルで間隔の狭い試験体、D13シングルで間隔がやや広い試験体、D10ダブルで間隔の広い試験体の順になっている。

次に、圧縮鉄筋のある試験体についてみると、余り差がみられていない。しかしながら、圧縮鉄筋のない試験体と同様に、横補強筋を小分けにいった試験体の方が、若干ではあるが耐力が向上している。

これらを見ると、圧縮鉄筋がない試験体では、横補強筋だけでコンクリートを拘束しているため、変形が大きくなったときに横補強筋の間隔によって被りコンクリート及び横補強筋で囲まれているコンクリートの圧縮破壊する深さが変化したものと思われる。そのために耐力に差が現れたものと思われる。また、圧縮鉄筋のある試験体において、横補強筋量が同じ場合では、横補強筋の掛け方と間隔による差は余りみられなかった。

3.2 角柱供試体の一軸圧縮実験

実験結果として、被り無し試験体の荷重-ひずみ曲線を図-7に、また、被り有り試験体の荷重-ひずみ曲線を図-9, 10に示す。被り無し試験体における荷重-ひずみ曲線を最大耐力との比で表すと図-8に示す $P/P_{max}-\epsilon/\epsilon_u$ 曲線として表される。

$P/P_{max}-\epsilon/\epsilon_u$ についてみると、間隔が広い試験体ほど耐力低下の割合は大きく、間隔が等しい場合ダブルで配筋した方がシングルで配筋した試験体よりも耐力低下の割合は小さくなっている。また、横補強筋量が等しい場合、ダブルで間隔を広く配筋した試験体よりもシングルで間隔を狭く配筋した方が、耐力低下の割合は小さくなっている。即ち、横補強筋の拘束効

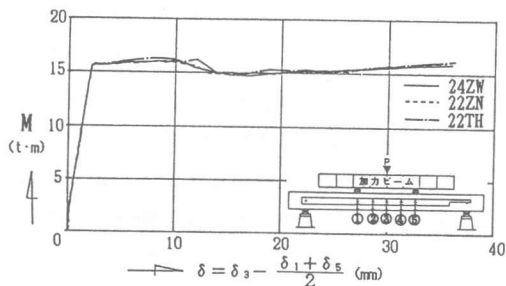


図-6 モーメント-たわみ曲線

表-4 実験結果 (一軸圧縮実験)

試験体名	コンクリート	実験値 (最大耐力時)		
	強度 σ_b	荷重 P max	ひずみ ϵ_u	P max / Ag σ_b
	Kg/cm ²	ton	%	
05S3	260	114.32	0.3076	1.099
10S3	260	100.72	0.2361	0.968
15S3	260	100.28	0.2283	0.964
20S3	260	100.2	0.2065	0.970
10W3	260	101.90	0.2403	0.980
15W3	260	107.91	0.2333	1.038
20W3	260	108.12	0.1951	1.040
30W3	260	108.78	0.2118	1.046
0003	260	99.80	0.1866	0.960
05S2C	260	225.35	0.2514	0.963
10S2C	260	220.53	0.2371	0.942
15S2C	260	219.23	0.2259	0.937
20S2C	260	223.92	0.2345	0.957
10W2C	260	213.08	0.2004	0.911
15W2C	260	213.48	0.2404	0.912
20W2C	260	220.46	0.2276	0.942
30W2C	260	221.03	0.2289	0.945
0002C	260	213.26	0.2094	0.910

Ag: 全断面積

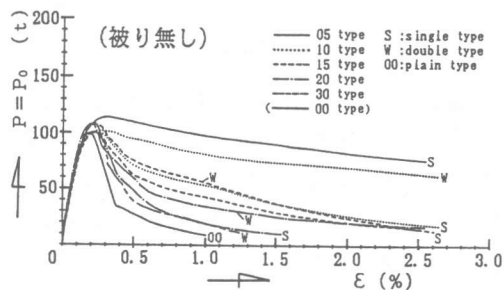


図-7 荷重-ひずみ曲線

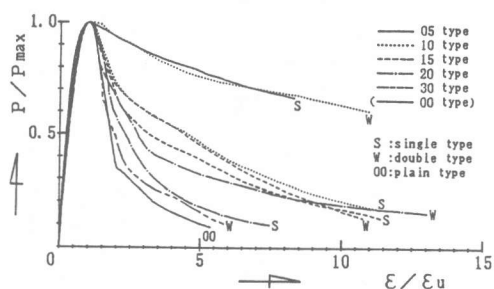


図-8 $P/P_{max} - \epsilon/\epsilon_u$ 曲線

果は特に間隔による影響が大きいと思われる。

次に被りコンクリートの影響は、被り有り試験体と被り無し試験体により比較することができる。被り有り試験体の荷重-ひずみ曲線についてみると、最大耐力及び最大耐力時のひずみは、横補強筋の量及び間隔による影響があまりみられず、ほぼ等しい値となっている。

被り有り試験体は被りコンクリートの剥落後、被り無し試験体とほぼ等しい形状になるので、図-9, 10 に示す被り有り試験体の荷重-ひずみ曲線より図-7 の被り無し試験体の荷重-ひずみ曲線を差し引けば、被りコンクリートの荷重-ひずみ関係を推測することができる。その耐力差の最大耐力及び最大耐力時のひずみを基準にした $P_c/P_{cmax} - \epsilon/\epsilon_u$ 曲線を図-11, 12 に示す。この曲線より被りコンクリートの荷重-ひずみ関係は、横補強筋をシングル及びダブルで配筋した試験体ともにほぼ等しい傾向を示しており、本実験における試験体ではコア内の横補強筋の配筋方法による差は余りみられなかった。

4. 終局耐力算定の検討

コンクリートの応力-ひずみ曲線モデルは被りコンクリートと、拘束されているコンクリートに区別して仮定する。

圧縮側の被りコンクリートのモデルは、図-11, 12に示す一軸圧縮実験結果よりコア内の横補強筋の配筋方法に関係なく、図-13 a) の実線に示すようにひずみ 0.19%までは放物線とし、0.19%で最大値 σ_{max} としてテストピースの圧縮強度 σ_B の0.95倍をとり、0.38%で σ_{max} の0.4倍、0.76%で0と仮定する。

横補強筋によって拘束されている拘束コンクリートのモデルは、図-7 に示す被り無しの試験体における横補強筋間隔が10cm(10W3)と15cm(15W3)の試験体の荷重-ひずみ曲線をもとに図-13 b) の実線に示すように仮定する。ひずみ 0.19%までは被りコンクリートと同様に放物線として 0.19%で最大値 σ_{max} とし、 σ_B の0.95倍、その後圧縮鉄筋のない試験体は、0.38%で σ

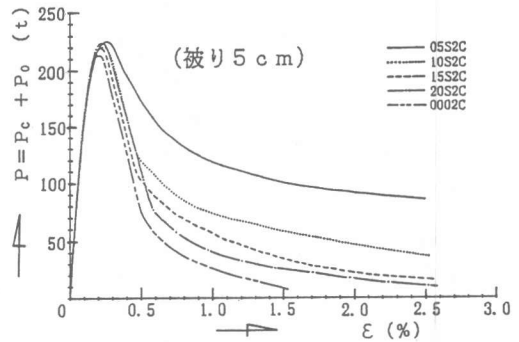


図-9 荷重-ひずみ曲線

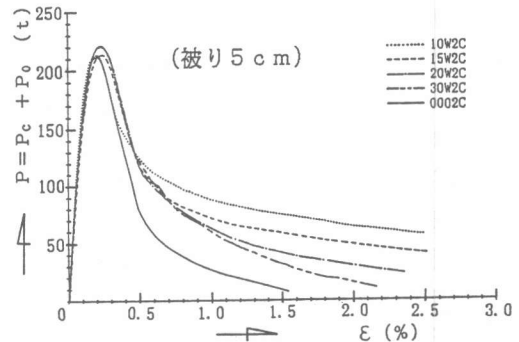


図-10 荷重-ひずみ曲線

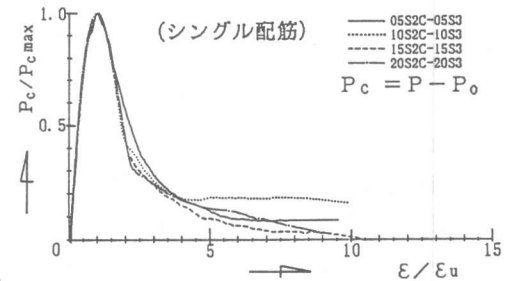


図-11 耐力差の $P_c/P_{cmax} - \epsilon/\epsilon_u$ 曲線

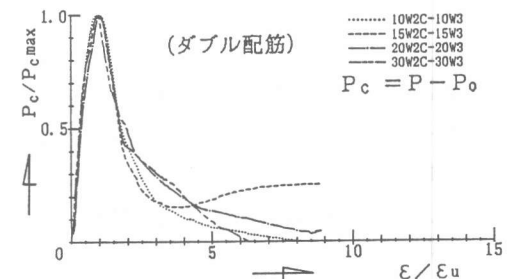


図-12 耐力差の $P_c/P_{cmax} - \epsilon/\epsilon_u$ 曲線

max の0.85倍、0.76%で0.65倍、1.14%で0.55倍、2.28%で0.40倍と仮定する。

鉄筋の応力-ひずみ曲線のモデルは、図-13c)に示すように鉄筋の引張試験により得られた曲線を基に、降伏後、ひずみ 1.2% からひずみ硬化が始まり、ひずみ 5.0% で降伏応力度の 1.45 倍になるものと仮定する。

はりの耐力の計算において、被りコンクリートは、図-13 a) に示すように 0.76%以降応力は負担しない、即ち、剥落すると考えられる。本研究では、圧縮破壊による耐力低下の差は、被りコンクリートと拘束されているコンクリートの応力-ひずみ関係と境界位置によって生ずる面積の差と考えられる。図-14に示すひずみと応力の分布に加え、被りとみなされるコンクリートと拘束コンクリートの境界を仮定する。この境界は、図-15に示すように横補強筋の中心を基準として、横補強筋の間隔によって変化するものとする。また、その境界の深さ t は横補強筋の間隔 (内り間隔) X および被りコンクリートとみなされる拘束コンクリートの円弧の接線と横補強筋とのなす角度 θ によって表し、実験終了後の最終破壊形状よりその角度 θ を 75° と仮定する。

以上の仮定に基づいて圧縮合力と引張合力の釣合より算出されたモーメント-たわみ曲線と実験で測定したモーメント-たわみ曲線を図-16~21に示す。圧縮鉄筋のない試験体についてみると部材降伏後耐力はやや上昇して最大耐力に達し、その後ゆるやかに低下しながら被りコンクリートと被りとみなされる拘束コンクリートの応力負担の低下により一時的に耐力は低下し、そして引張鉄筋のひずみ硬化により再び上昇して実験値と同じような傾向がみられた。

圧縮鉄筋が 2本の試験体についてみると、図-13 a), b)の実線により計算を行うと、部材降伏後耐力はやや上昇して最大耐力に達し、その後ゆるやかに低下し、再び引張鉄筋のひずみ硬化によりやや上昇し、被りコンクリートの応力負担の減少によって耐力は若干低下し、変形が進むにつれ、上昇し最終的には実験値よりも 10%弱大きな値となっている。そこで、図-13 a), b)に示す一点鎖線のように低い値により計算値を求めると、図-19~21に示す一点鎖線のように

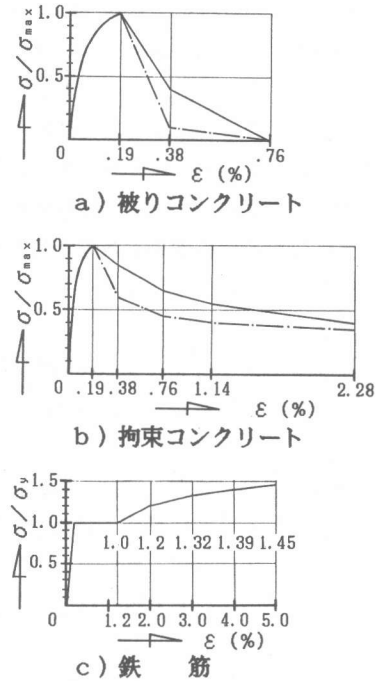


図-13 応力-ひずみ曲線 (モデル)

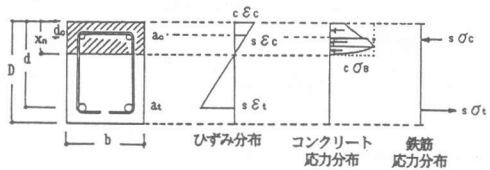


図-14 ひずみと応力分布 (仮定)



$$t = \frac{X}{2} (\frac{1}{\cos \theta} - \tan \theta)$$

図-15 被りと拘束コンクリートの境界 (仮定)

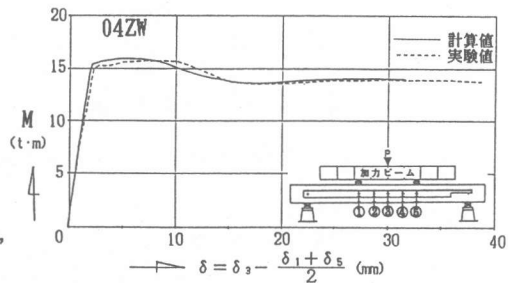


図-16 モーメント-たわみ曲線

になり実験値とほぼ同じ傾向の曲線が得られる。

このように圧縮鉄筋のあるはりの場合では、コンクリートの応力-ひずみ関係のモデルを圧縮鉄筋の無い場合よりも低い値を与えないと同じ傾向が得られず、圧縮鉄筋がコンクリートへの拘束効果だけではなく、横補強筋のコンクリートに対する拘束効果を減少させる影響を与えているものと考えられる。

5. まとめ

鉄筋コンクリートばりの純曲げ区間における曲げ実験により本研究では以下のことがわかった。

横補強筋の配筋方法による影響については、横補強筋量が等しい場合、横補強筋間隔を狭く配筋する方が圧縮側の拘束コンクリートに対する拘束が高められじん性は向上すると思われる。

はりの終局耐力の算定については、配筋方法の違いによるコンクリートの応力-ひずみ曲線モデル及び硬化域を含む鉄筋の応力-ひずみ曲線モデル、更に被りとみなされる拘束コンクリートの剥落の仮定を与えることにより、実験値とほぼ同じ傾向の終局耐力を算出することができるものと思われる。その際特に横補強筋の配筋間隔の違いによって被りコンクリートと被りとみなされる拘束コンクリートの境界を考慮することが必要であると思われる。

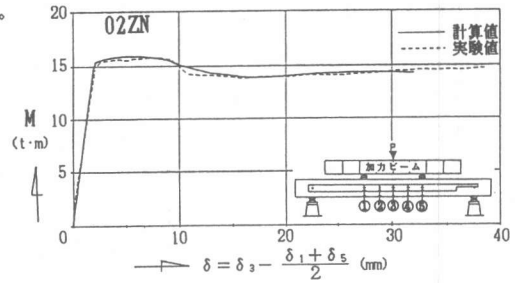


図-17 モーメント-たわみ曲線

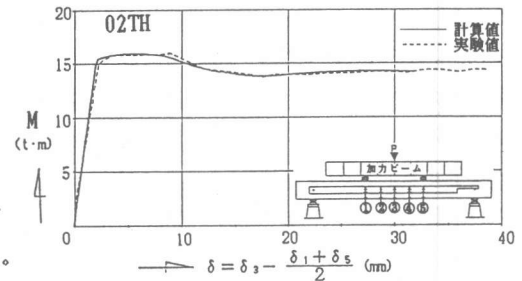


図-18 モーメント-たわみ曲線

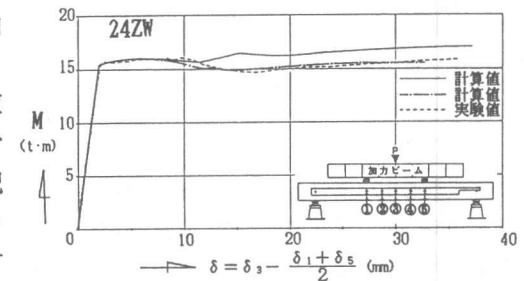


図-19 モーメント-たわみ曲線

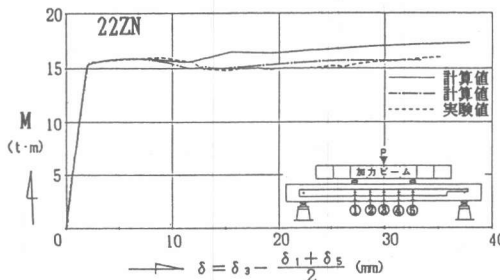


図-20 モーメント-たわみ曲線

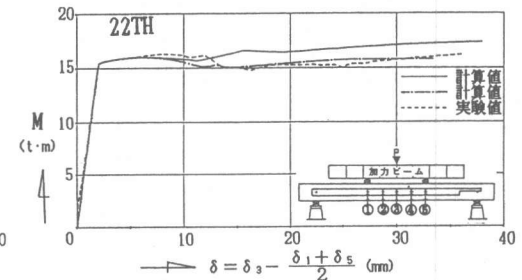


図-21 モーメント-たわみ曲線

本研究の一部は、昭和62年度日本大学学術研究助成金（奨励）によって行なわれた。

参考文献

- 1) 矢代秀雄、清水庸介：RCばりにおける横補強筋の配筋方法の靱性に及ぼす影響、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986、pp. 477~480
- 2) 矢代秀雄 他：鉄筋コンクリートばりの強度とじん性に関する実験的研究（その9. p_w が等しいときの配筋方法による影響）、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、1987、pp. 47~48
- 3) R. Park and T. Pauley: Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, 1975