

I-7 動的繰返荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の抵抗性状

北海道大学 大野和男 ○柴田 拓二
服部 高重 城 政
荒井 康幸 青山 久男

1. 概 説

本報は、曲げと剪断の動的正負繰返加力を受ける鉄筋コンクリート梁の抵抗性状に関する実験結果を単調加力時の性状と比較検討したもので、主として剪断破壊によって終局耐力を与えられる場合について検討したが、曲げ降伏破壊に至った若干の例についても取上げている。

鉄筋コンクリート梁の単調加力時の終局剪断耐力に関しては、下記の大野・荒川の実験式(1)が、水平力を受けるラーメン梁に対して極めて良い適合性をもつことが確認されている。

$$\alpha \tau_u = \frac{Q_u}{b j} = k_u \cdot k_p \frac{0.23 (F_c + 180)}{a/d + 0.23} + 2.7 \sqrt{k_u \cdot \omega \sigma_y} \quad \dots (1)$$

ここに、 k_u, k_p = 断面寸法ならびに軸鉄筋比に関する補正係数

$$j = 7d/8, \quad d = \text{有効深}$$

$$a = \text{剪断スパン、大野式加力法では } a = 2M/Q$$

曲げ降伏耐力については、梅村魁博士のE函数法が代表的であり、その略算式(2)が良く知られている。

$$M_{y-cal} = 0.95 \left\{ 1 - 0.43 p_t (1 - 30 p_t) \frac{s \sigma_y}{F_c} \right\} p_t \cdot \sigma_y \cdot b d^2 \quad \dots (2)$$

本報では、上記の2式を基本式として、梁の耐力に及ぼす繰返加力の影響を検討するとともに、あわせて、荷重変形曲線の形状、変形能力などについて、単調加力時と繰返加力時の性状を対比する。

以上の特性に対する影響要因として、i) 軸鉄筋の付着性能(異形筋と丸鋼)、ii) 軸鉄筋の定着長、iii) 繰返経過、iv) 繰返周波数、v) 変位振幅漸増速度を取上げて検討を行なう。

2. 実験方法

(1) 加力方式と加力経過 大野は、1954年に水平力を受けるラーメン部材の応力条件を単体の部材模型実験において再現するために、図-1に示ような逆対称2点加力法を提案し、これにより梁、柱、壁などの多くの静加力実験を行なってきた。上記(1)式は、この方法による鉄筋コンクリート梁の剪断実験の結果を集約して導かれたものであるが、本実験の動的正負繰返加力においてもこの加力法を採用している。

試験装置は2基連動の電気油圧式アクチュエータを主体とし、その構成は図-2のようになっている。アクチュエータは、それぞれ動的 $\pm 30 \text{ ton}$ 、静的 45 ton 、ストローク 200 mm 、周波数 $0.02 \sim 20 \text{ Hz}$ の容量をもち、任意速度の振幅漸増・漸減装置を備えている。本実験ではサイン波を用い、試験体

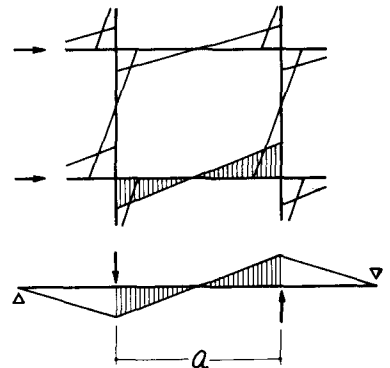


図-1 大野式加力法

に取付けた変位計による変形制御を行なっている。

試験体とアクチュエータの頭部および2箇の支点との結合には、試験体材軸線上に回転中心を有する特殊なピン接合装置を用い、アクチュエータ脚部にもピン接合を設けるとともに1箇の

支点にはローラを併用して、加力点・支点計4箇所は材軸線上で1点ピン支持、3点ピンローラ支持としている。ただし、加力点・支点のいずれにおいても、試験体に対する直接の加力および反力は試験体の上面あるいは下面から加圧板を介して加えられるようになっている。

(2) 試験体

試験体は表-1に示す8種からなる。試験体記号は左より破壊形式(S:剪断破壊、F:曲げ降伏破壊)、数字は剪断スパン比(a/d)、軸鉄筋の定着長(S:30cm、L:190cm)、軸鉄筋の種別(D:異形筋、R:丸鋼)を示す。

表-1 試験体の種別

シリーズ	記号	断面			試験スパン		全長	軸鉄筋		肋筋		
		b	D	d	a	a/d		上下端 各	f_t %	ϕ mm	間隔 cm	f_w %
A	S2SD	20	35	31	60	1.94	120	3-D22	1.87	3.2 ϕ	2.7	0.3
	S2SR	"	"	"	"	"	"	3-22 ϕ	1.82	"	"	"
	S2LD	"	"	"	"	"	440	3-D22	1.87	"	"	"
	S2LR	"	"	"	"	"	"	3-22 ϕ	1.82	"	"	"
B	S3SD	"	40	36	110	3.06	170	2-D25	1.36	3.9 ϕ	4	"
	S3SR	"	"	"	"	"	"	3-22 ϕ	1.57	"	"	"
C	F3SD	"	"	"	"	"	"	2-D19	0.78	5.6 ϕ	4	0.6
D	F3SR	"	"	"	"	"	"	2-25 ϕ	1.34	3.9 ϕ	4	0.3

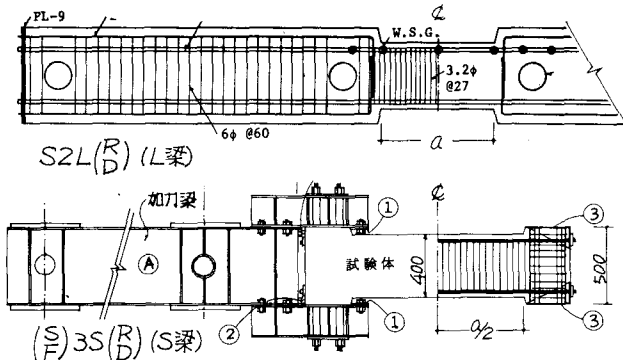


図-3 試験体の詳細

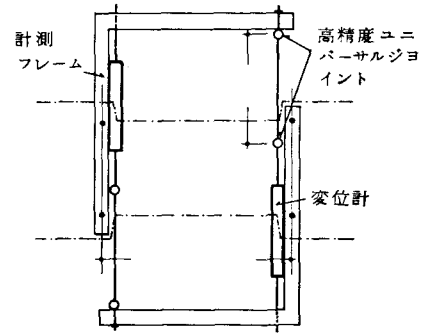


図-4 変形計測フレーム

試験体の詳細を図-3に例示する。試験部分は同図に“a”と記した試験体中央部分で、それ以外の部分は断面を20cm×50cmに拡大してある。L梁では試験スパン以外の軸鉄筋定着余長部分が、そのまゝ大野式逆対稱加力の支点反力を受ける加力梁となるが、S梁では軸鉄筋定着余長部に鋼製の加力梁を緊結し、必要な長さを付加して加力を行なった。

軸鉄筋の端末は全て試験体両端の定着用鋼板に溶接し、定着破壊を防止している。肋筋は、試験体S3SD、F3SRでは直径の10倍の長さの重ね溶接を梁の上下面で行なっているが、その他の試験体では肋筋の端末を軸鉄筋に掛けて折曲げ、135°フックとしている。

各試験体のコンクリートの実験時の圧縮強度、鉄筋の降伏点は表-3に掲げる通りである。

(3) 変形の計測 試験スパンにおける変形量は図-4に示すように、試験体の両側面に2組の鋼製フレームを組付け、これに取付けた変位計により試験スパン両端の相対変位を検出し、自動記録するとともに、これをアクチュエータの制御入力としている。

(4) 加力経過 加力経過は図-5に示すように、一方向単調増加(I)、定振幅正負繰返+振幅漸増正負繰返(II)、振幅漸増正負繰返(III)の3種類とした。それぞれの具体的な内容と適用した試験体の種別および各試験体箇数を表-2に示す。

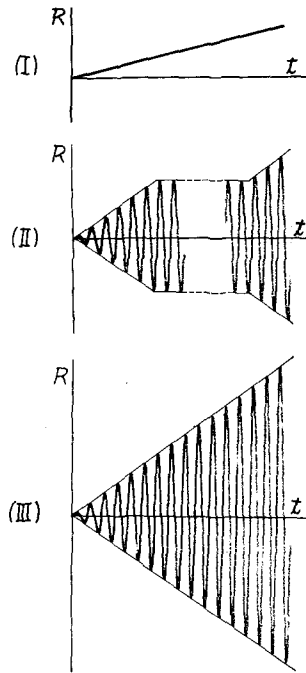


図-5 加力経過

表-2 加力経過の種類

記 号	内 容	漸増 速度		漸増度	適用試験体 (箇数)	
		周波数 10^{-3} rad/min	周波数 10^{-3} Hz	周波数 10^{-3} rad/cycle		
I	一方向単調増加	a	3.3	—	Aシリーズ(2), S3SR(2), F3SD(2) S3SD(3), F3SR(3)	
		b	3.6	—		
定振幅正負繰返 + 振幅漸増正負繰返						
II	a	$\pm 4 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回	20.8	0.5	0.7	Aシリーズ(各2)
	b	$\pm 2.5 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回	2.4	0.02	2	S3SD(2), F3SR(2)
	c	"	12	0.1	"	" (2), " (2)
	d	"	60	0.5	1	" (3), " (4)
	e	$\pm 4 \times 10^{-3} \cdot 100$ 回	30	"	"	S3SR(2)
	f	$\pm 6 \times 10^{-3} \cdot 100$ 回	"	"	"	" (2)
	g	$\pm 1.5 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回	"	"	"	F3SD(2)
	h	$\pm 3 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回	"	"	"	" (2)
振幅漸増正負繰返						
III	a		0.72	0.02	0.6	S3SD(2), F3SR(2)
	b		"	0.1	0.12	" (2), " (2)
	c		3.6	0.02	3	" (2), " (2)
	d		"	0.1	0.6	" (2), " (3)
	e		"	0.5	0.12	" (2), " (3)

3. 実験結果

(1) 亀裂の状況 最大耐力時および実験終了時(大凡 $30 \sim 50 \times 10^{-3} \text{ rad}$)における亀裂と破壊の状況は、全実験シリーズを通じて概ね図-6のようになった。

a) 剪断破壊試験体 単調加力時に曲げ降伏に先立って剪断破壊を生じた試験体は、異形筋梁、丸鋼梁ともに、従来から剪断スパン梁成比の小さい梁に認められているように、明瞭な斜め亀裂を生じ、これが変形の増大に伴って発達して破壊に至る。試験終了時の破壊状況には軸鉄筋種別による差がほとんど認められないが、最大耐力時における亀裂状況では丸鋼梁の方が亀裂数が少ない。

正負繰返(II)、(III)の場合の亀裂形状、破壊状況には、軸鉄筋種別の影響が極めて明瞭に現われている。即ち、異形筋梁では、試験スパン端部より概ね 45° に発生した剪断亀裂が正負繰返により交叉するとともに、上下の軸鉄筋沿いに小亀裂が断続的に発生して、試験スパン中央部に目玉状の無損傷の部分を残して最大耐力に達し、その後の繰返により目玉状部分の周辺に更に亀裂が集中し、最終的にはこの亀裂沿いにコンクリートの著しい損傷を生ずる。 $a/d = 3$ の場合には、上記の亀裂に因

まれた目玉状部分が実験終了時まで残るが、

$a/d = 2$ で加力(Ⅱ)を受けた試験体では、最大耐力後の繰返過程で中央部を貫通する斜め亀裂を発生し、試験スパン側面のほぼ全面にわたって肋筋の露出を見た。

一方、丸鋼梁の場合には、繰返初期に試験スパン端部の引張隅角部からやや離れて発生した曲げ亀裂が斜めに進展し、試験スパンの端部付近に発生した急勾配の剪断亀裂(多く

は材軸に対し $60 \sim 80^\circ$) も加わって、これらが正負繰返によって K 字形または X 字形の亀裂を形作る。繰返回数の増大に伴って軸鉄筋沿いの水平亀裂が端部付近から発生するが顕著にはならず、最大耐力時までには試験スパン中央部には全く亀裂を生じていない。最大耐力後の繰返によって、試験スパン端部で上記の K 字または X 字形の亀裂に挟まれた上下の三角形部分が圧潰崩落し、外見上は剪断破壊というよりも曲げ圧潰に近い形状を示す。しかし、最大耐力値が同種試験体の単調加力時とはほぼ同等であり、かつ曲げ降伏耐力推算値には及ばず、また軸鉄筋歪度の計測値も降伏英に達していないことなどから、曲げ降伏到達前に剪断破壊を生じたものと判断できる。

b) 曲げ降伏試験体 単調加力時には、剪断亀裂が発生してもその後の発展が少なく、試験スパン端部近傍の引張縁から生じた曲げ亀裂が進展し、圧縮側コンクリートが圧潰して耐力に至る。引張隅角部よりやや離れて発生した曲げ亀裂は、圧縮隅角部を指向して斜めに進展する。異形筋梁は丸鋼梁よりも亀裂数が多く、亀裂の範囲も広い。

正負繰返(Ⅱ)、(Ⅳ)を受ける場合には、異形筋梁では試験スパン端部近傍で斜めに進展した曲げ亀裂と、これとは別に材軸に対し約 45° 勾配の独立した剪断亀裂が交叉して錯綜し、圧縮隅角部の圧潰により耐力に達しているが、最大耐力以後繰返回数の増大とともに斜め亀裂はスパン中央寄りに数を増し、試験スパン全面に交錯した斜め亀裂が分布するに至った。軸鉄筋沿いの水平亀裂の進展が顕著でない英が剪断破壊時と異なり、中央部に目玉状の部分を残すことはないが、実験終了時には外見上は剪断破壊と見紛う状況となった。丸鋼梁では、剪断破壊時よりも圧潰部の深さが若干浅い傾向があるが、ほぼ剪断破壊時と同様の亀裂形状を呈し、外観上の差異は不明確である。

破 壊	加 力	a/d	異 形 筋 梁		丸 鋼 梁	
			Q_{max}	実験終了時	Q_{max}	実験終了時
S	I	3				
		2				
	II	3				
		2				
	F	3				
		3				

図-6 最大耐力時の亀裂形状と最終破壊状況

以上の様に、繰返加力時の亀裂状況は軸鉄筋の種別により著しく異なるとともに、いずれの場合にも外見上曲げ降伏破壊と剪断破壊の判別が容易ではないことに注意を要する。なお、軸鉄筋の定着長、繰返周波数、振幅漸増速度による亀裂状況の差異は認められなかった。

(2) 荷重変形曲線 (skeleton 曲線)

図-7に各シリーズの単調加力時の荷重変形曲線と繰返加力時の skeleton 曲線の対比を例示する。

a) 剪断破壊試験体 Aシリーズの異形筋梁では、図(a)に見るように単調加力時には最大耐力到達までにかなりの塑性変形を生じているが、繰返加力時(Ⅱa)にはこれが消えて著しく脆化している。逆に丸鋼梁は図(b)のように単調加力時には脆性的であるが、繰返加力(Ⅱa)によって塑性化している点が注目される。繰返加力時の異形筋梁と丸鋼梁の特性の相違は図(c)のように極めて明瞭で、エネルギー吸収量は丸鋼梁が異形筋梁より著しく大きい。また異形筋梁では、軸鉄筋の定着長の影響が単調、繰返ともに明瞭でないが、丸鋼梁では図(b)、(d)のように、単調加力時には定着長による差異がかなり明瞭に見られ、繰返加力時にはあまり目立たない。

Bシリーズの異形筋梁では、図(e)に示すように、単調加力時に脆性的な挙動を示しているが、繰返加力(Ⅱ, Ⅲ)によって最大耐力付近の急激な変化が緩和される傾向が見られ、Aシリーズの丸鋼梁の性状に近い。繰返経過の違いの影響は最大耐力後の負勾配に顕著に現われ、定振幅繰返+漸増繰返(Ⅱ)よりも漸増繰返(Ⅲ)の方が、また、周波数の大きい程負勾配が大きくなっている。

丸鋼梁の場合には、図(f)のように単調、繰返ともに最大耐力付近の推移が緩やかであるが、繰返加力によって最大耐力以後の負勾配が増大している。定振幅繰返レベルの相違の影響は少ない。

b) 曲げ降伏試験体 Cシリーズの異形筋梁は、図(g)のように単調加力時に典型的な曲げ降伏破壊を生じ、塑性率17~19を示したが、繰返加力(Ⅱg)では降伏点が最大耐力となり、その後降伏変形の約1.5倍まで最大耐力の90~95%の耐力を保持している。繰返加力(Ⅱg)では降伏後の耐力増が認められるが塑性率は5程度に止まり、いずれも繰返による塑性率の低下が著しい。

Dシリーズの丸鋼梁は、図(h)のように、単調加力時に明瞭な曲げ降伏を生じているが、軸鉄筋比

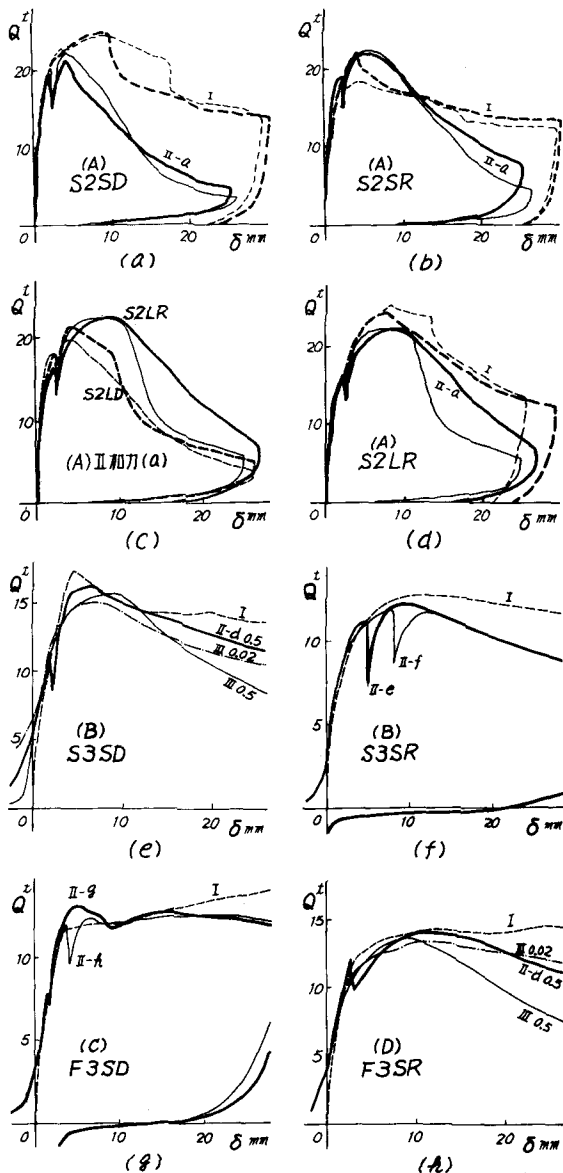


図-7 荷重変形曲線の例

が $p_t = 1.34\%$ と比較的大きいため、塑性率は大凡 5 程度に止まっている。繰返 (Ⅱb) および (Ⅲ) の skeleton 曲線は降伏点が最大耐力となるとともにその後急速に載荷能力が低下している。

C, D シリーズの梁には軸鉄筋比および筋筋比に大きな差があるので、両者の特性の相違を直ちに軸鉄筋種別によるものとするとはできない。単調加力時に曲げ降伏破壊を生ずる部材の繰返加力による特性の変化については、その諸条件をより広範な実験によって究明する必要がある。

(3) 耐力性状 各試験体の剪断初亀裂時と最大耐力時の剪断応力度および (1), (2) 式による計算値との対比を表-3 に掲げる。(1) 式の剪断スパン a には試験スパン内法長を用いて計算している。

a) 剪断破壊時の最大耐力 A シリーズ ($a/d = 2$) では、単調加力時に定着長の長い梁 (L 梁) が軸鉄筋の種別に拘りなく同等の耐力を示している。異形筋梁では定着長による耐力差がないが、定着長の短い丸鋼梁 (SR 梁) のみは他の梁 (LR, LD, SD 梁) に比べ、13~16% 低い耐力値を示した。これに対して、繰返 (Ⅱa) では、LR, LD, SD 梁はいずれも単調加力時の 80~90% に低下しているが、SR 梁のみは単調加力時とほぼ同等の耐力を示している。結局、繰返加力時の耐力は、全般に軸鉄筋種別、軸鉄筋定着長の差異に拘りなく、ほぼ同等の値となっている。

B シリーズ ($a/d = 3$) の異形筋梁については、単調加力時と繰返加力時の耐力に明瞭な差が認められず、繰返周波数、振幅漸増速度、定変位繰返等の繰返経過の耐力に対する影響も顕著ではない。丸鋼梁の場合には、単調加力時に比べ繰返加力時には大凡 16% の耐力低下が認められた。

本実験の T_u/oaT_u の値は、全シリーズの剪断破壊試験体の全てを通じて、単調加力時 0.80~1.18、繰返加力時 0.77~1.12 の範囲にあって、単調、繰返のばらつきの範囲には大差がない。U 式は、大野式加力法による 156 箇の梁の単調加力剪断実験の結果を取纏めて導かれた実験式で、誘導に用いられた原資料に対して ±20% の範囲の適合性を示したものであるが、本実験の単調加力時および繰返加力時の実験結果についても、ほぼ同様の範囲で適合している。ただし、単調加力時の T_u/oaT_u の全平均が 1.04 であるのに対し、繰返加力時の全平均は 0.94 となっており、繰返加力時の剪断耐力は単調加力時に比べ、平均的に 10% 程度の低減があるものと考えられるので、(1) 式の繰返加力時への適用に当ってはこれを考慮すべきであろう。

b) 曲げ降伏破壊時の最大耐力 C シリーズの異形筋梁の場合は、単調加力時に降伏後著しい耐

表-3 (a) A シリーズ試験体の耐力と変形

試験体	加力法	Fc kg/cm ²	fcσy kg/cm ²	ρσy kg/cm ²	剪断初亀裂時			最大耐力時					
					回数	Tc kg/cm ²	Rc 10 ⁻³ rad	回数	Tu kg/cm ²	Tu σTu	Mmax My-cal	Ru 10 ⁻³ rad	
S2SD	Ⅰa	1	228	74.8	6.87	—	24.3	1.1	—	45.3	1.16	0.68	14.9
		2	233	74.8	"	—	32.4	2.4	—	44.6	1.13	0.76	15.5
	Ⅱa	1	232	76.6	"	- 3	32.5	1.4	- 6	38.3	0.98	1.15	7.6
		2	231	73.8	"	- 3	31.5	1.9	+ 3/2	40.6	1.03	0.64	7.2
S2SR	Ⅰa	1	227	56.9	"	—	32.3	3.1	—	33.8	0.87	0.71	7.0
		2	226	54.5	"	—	28.1	2.1	—	41.2	1.06	0.96	6.8
	Ⅱa	1	240	55.2	"	- 5	37.5	2.8	+ 3/3	39.9	1.00	0.75	8.4
		2	225	54.6	"	- 5	30.2	1.5	- 3/5	40.3	1.04	0.82	9.2
S2LD	Ⅰa	1	242	74.1	"	—	23.3	1.7	—	45.4	1.13	0.62	13.7
		2	236	74.4	"	—	20.3	1.4	—	43.3	1.09	0.65	14.2
	Ⅱa	1	244	74.3	"	+ 4	31.9	2.8	+ 3/0	38.5	0.95	0.58	6.9
		2	237	74.1	"	- 4	31.4	2.8	+ 3/0	35.8	0.90	0.55	7.2
S2LR	Ⅰa	1	240	57.2	"	—	24.3	3.9	—	45.2	1.13	0.85	13.5
		2	229	56.4	"	—	29.6	3.2	—	46.1	1.18	0.87	14.0
	Ⅱa	1	231	55.1	"	+ 10	26.8	3.9	- 340	40.7	1.04	0.80	16.5
		2	236	54.7	"	+ 6	28.8	4.0	+ 325	40.4	1.02	0.72	12.5

表-3 (b) Bシリーズ試験体の耐力と変形

試験体	加力法	F _c kg/cm ²	p _t σ _y kg/cm ²	p _w σ _y kg/cm ²	剪断初電裂時			最大耐力時						
					回数	T _c kg/cm ²	R _c 10 ⁻³ rad	回数	T _u kg/cm ²	T _u σ _A T _u	M _{max} My-cal	R _u 10 ⁻³ rad		
S3SD	I	b 1	241	51.2	7.39	—	14.7	2.7	—	23.1	0.89	0.77	8.1	
		2	288	47.6	"	—	10.4	0.8	—	27.6	0.98	1.05	5.5	
		3	273	47.9	"	—	10.5	0.6	—	21.9	0.80	0.80	4.8	
	II	b	1	261	48.0	"	+ 3	9.9	0.8	+309	26.7	0.99	0.88	4.6
			2	283	48.0	"	+ 3	10.2	0.6	+308	25.6	0.92	0.83	4.4
		c	1	296	47.2	"	+ 5	17.0	1.6	-309	29.2	1.03	1.17	4.5
			2	264	47.8	"	+ 3	9.2	0.8	-308	25.7	0.95	0.83	5.4
		d	1	296	47.2	"	+ 4	13.6	0.7	-317	29.5	1.04	0.95	4.5
			2	267	47.6	"	+ 3	8.5	0.6	+309	20.9	0.77	0.75	7.3
			3	267	48.1	"	- 4	13.2	1.5	+311	26.2	0.96	0.82	6.5
		a	1	288	47.9	"	- 11	13.5	0.5	- 30	28.4	1.01	0.90	4.1
			2	273	48.1	"	+ 6	5.6	—	+ 26	22.8	0.83	0.81	4.2
		b	1	290	49.5	"	- 20	5.1	0.3	+148	28.1	1.00	0.99	6.9
			2	273	47.4	"	+ 30	6.7	0.3	-117	22.3	0.81	0.80	4.3
	III	c	1	239	46.7	"	+ 3	14.1	1.2	+ 6	23.9	0.92	0.89	5.4
			2	285	46.1	"	+ 2	11.0	0.6	- 6	28.4	1.01	0.97	4.5
		d	1	261	47.5	"	- 11	13.4	0.8	+ 22	21.4	0.79	0.85	3.5
			2	285	47.5	"	+ 11	12.4	0.8	+ 33	31.3	1.12	0.98	8.4
		e	1	290	47.9	"	+ 45	10.4	0.3	+147	26.1	0.92	0.89	7.4
			2	273	46.9	"	+ 40	8.8	0.3	-142	24.4	0.89	0.82	7.8
			3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S3SR	I	a 1	124	52.4	7.15	—	10.4	0.8	—	20.4	0.95	0.61	10.9	
		2	127	52.4	"	—	10.2	0.9	—	21.3	0.99	0.67	9.5	
		3	121	52.6	"	—	9.5	0.7	—	22.6	1.06	0.77	11.3	
	II	e	1	128	52.6	"	+ 3	15.6	2.5	-110	18.4	0.85	0.62	8.6
			2	130	52.5	"	+ 2	11.2	2.1	+109	17.7	0.81	0.63	5.5
		f	1	120	52.5	"	- 2	12.4	1.2	- 5	17.7	0.83	0.62	5.2
			2	125	52.6	"	+ 2	10.4	1.0	- 6	18.7	0.87	0.66	6.1
			3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表-3 (c) C,Dシリーズ試験体の耐力と変形

試験体	加力法		F _c kg/cm ²	P _t σ _y kg/cm ²	P _w σ _y kg/cm ²	剪断初電裂時			最大耐力時						
						回数	T _c kg/cm ²	R _c 10 ⁻³ rad	回数	T _u kg/cm ²	T _u σ _A T _u	M _{max} My-cal	R _u 10 ⁻³ rad		
F3SD	I	a	1	222	25.6	16.7	—	13.2	1.9	—	25.9	0.95	1.24	76.2	
		2	209	25.7	"	—	13.1	2.1	—	24.9	0.93	1.18	69.3		
	II	g	1	204	25.6	"	2	11.7	1.3	-305	19.6	0.74	1.18	4.6	
			2	202	25.7	"	1	8.4	—	-305	20.0	0.76	1.28	4.4	
		h	1	223	25.6	"	2	13.8	1.6	+117	19.1	0.70	1.17	18.4	
			2	210	25.6	"	4	18.8	3.3	+320	19.3	0.72	1.33	19.7	
F3SR	I	b	1	243	31.5	7.39	—	19.4	6.3	—	23.0	0.89	1.07	28.6	
		2	271	31.3	"	—	13.9	1.3	—	23.3	0.86	1.16	26.5		
		3	242	46.7	"	—	12.0	0.6	—	24.5	0.95	1.10	18.9		
	II	b	1	239	37.1	"	- 5	19.0	2.5	+309	23.7	0.92	1.08	10.2	
			2	267	42.5	"	- 4	15.7	2.5	+310	24.9	0.93	0.90	12.3	
		c	1	244	30.7	"	—	—	—	-310	22.7	0.87	1.09	9.7	
			2	268	35.8	"	+ 5	16.3	2.4	-308	22.1	0.82	1.02	9.1	
		d	1	246	29.8	"	+ 4	13.0	1.1	-318	23.0	0.88	1.29	6.7	
			2	267	41.8	"	—	—	—	-311	25.5	0.95	0.95	12.9	
			3	231	29.6	"	+ 5	15.3	2.7	+310	22.4	0.88	1.19	—	
			4	236	30.3	"	—	—	—	+310	23.8	0.93	1.24	11.7	
		III	a	1	243	31.3	"	+ 17	17.3	2.4	- 26	22.5	0.87	1.21	8.4
				2	264	31.5	"	+ 14	15.1	1.5	- 25	21.0	0.78	1.10	7.0
			b	1	264	30.1	"	+ 32	7.8	0.3	+110	19.9	0.75	1.09	6.6
				2	235	36.1	"	- 14	15.4	2.6	+126	20.4	0.80	1.14	9.0
	c		1	272	32.1	"	- 2	10.1	—	- 7	24.6	0.90	1.08	10.8	
			2	231	30.2	"	- 2	9.8	0.5	- 7	21.8	0.86	1.27	12.1	
	d		1	268	29.9	"	—	—	—	+ 25	21.3	0.79	1.13	7.6	
			2	231	29.3	"	- 16	16.7	3.0	+ 27	21.1	0.83	1.20	10.5	
			3	236	35.5	"	+ 6	6.5	0.7	+ 29	22.5	0.88	1.10	11.2	
	e		1	243	30.4	"	—	—	—	+120	20.2	0.78	1.17	7.6	
		2	272	30.0	"	+ 26	5.7	0.1	-123	21.0	0.77	1.23	6.6		
	3	235	31.7	"	+ 38	8.2	0.5	-130	21.1	0.83	1.13	8.5			

力上昇が見られ、降伏曲げモーメント比 M_y/M_{y-cal} の平均値 1.20 に対し、最大耐力時 M_u/M_{y-cal} は平均 1.65 となっているが、これに対して、繰返加力時における M_u/M_{y-cal} の平均は、1.24 で単調加力時の M_y/M_{y-cal} に対応する値となった。繰返経過の影響は認められなかった。

Dシリーズの丸鋼梁は、単調加力時の降伏後の耐力上昇が僅小で M_u/M_{y-cal} の平均値が 1.11 であったが、繰返加力時の耐力も単調加力時とほぼ同等の値を示している。繰返周波数、振幅漸増速度、定振幅繰返などの繰返経過の影響は認められない。

(4) 変形性状 各試験体の最大耐力時の変形角を表一三に併記した。

a) 剪断破壊時の変形角 Aシリーズの単調加力時において、SR梁の最大耐力時変形角は $7 \times 10^{-3} \text{ rad}$ に止まったが、SD、LD、LR梁の3種はいずれも大凡 $14 \times 10^{-3} \text{ rad}$ の変形能力を示した。これに対して、定振幅 ($\pm 4 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回) + 漸増繰返 (II a) を行なった場合には、異形筋梁は定着長の大小に拘りなく変形能力が単調加力時の大凡 $1/2$ に減少した。丸鋼梁においては、LR梁は単調加力時と大差ない変形能力を示し、SR梁は単調加力時よりも30%近く変形能力が増大している。結局、繰返加力時の変形能力は、丸鋼梁が異形筋梁よりも大きく、L梁では約2倍、S梁では約1.2倍の値を示した。また、異形筋梁では繰返加力時にも定着長の大小による変形能力の差がないが、丸鋼梁ではL梁がS梁の約1.6倍の変形能力を示している。

Bシリーズにおいては、異形筋梁の単調加力時の変形能力は大凡 $6 \times 10^{-3} \text{ rad}$ であり、これに対して定振幅 ($\pm 2.5 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回) + 漸増繰返 (II b-d) では平均 $5.3 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 、振幅漸増繰返 (III) では平均 $5.7 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で、いずれも単調加力時よりやや減少するが、ばらつきの範囲は単調加力時と重なっている。繰返加力時には、繰返周波数が大きい程変形能力が大きくなる傾向が認められるが、振幅漸増速度、定振幅繰返の有無の影響はほとんど認められない。一方、丸鋼梁では、単調加力時の変形能力平均 $10.6 \times 10^{-3} \text{ rad}$ に対して、定振幅 ($\pm 4 \times 10^{-3} \cdot 100$ 回) + 漸増繰返 (II e) の変形能力は $9.2 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で約10%減であるが、定振幅 ($\pm 6 \times 10^{-3} \cdot 100$ 回) + 漸増繰返 (II f) では、最大耐力が定振幅繰返の開始直にあつて変形能力が約40%減となっている。ただし (II f) の場合には、定振幅繰返終了後の振幅漸増繰返段階での耐力のピーク値が最大耐力の95~98%まで上昇しており、この時の変形角は大凡 $12 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で、単調加力時の変形能力よりも僅かながら大きい値を示した。

b) 曲げ降伏破壊時の変形角 Cシリーズの異形筋梁の単調加力時の降伏変形角および最大耐力時の変形角は、それぞれ大凡 $4 \times 10^{-3} \text{ rad}$ および $70 \times 10^{-3} \text{ rad}$ であるが、これに対して、定振幅 ($\pm 1.5 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回) + 漸増繰返 (II g) における最大耐力時変形角は平均 $4.5 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で単調加力時の降伏変形角に対応している。最大耐力後のヤニピーク値における変形角は大凡 $15 \times 10^{-3} \text{ rad}$ である。定振幅 ($\pm 3 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回) + 漸増繰返 (II h) における変形能力は平均 $19 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で (II g) よりも大きい。

Dシリーズ丸鋼梁の単調加力時の降伏変形角および最大耐力時の変形角は、それぞれ大凡 $6 \times 10^{-3} \text{ rad}$ および $24 \times 10^{-3} \text{ rad}$ であるが、定振幅 ($\pm 2.5 \times 10^{-3} \cdot 300$ 回) + 漸増繰返 (II b-d) における変形能力は平均 $10.4 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で、単調加力時の降伏変形角の約1.7倍、最大耐力時の比較では大凡0.4倍となっている。振幅漸増繰返 (III) の場合の変形能力は平均 $8.8 \times 10^{-3} \text{ rad}$ で、(II b-d) よりも更に減少しているが、ばらつきの範囲はほぼ同様である。繰返周波数、振幅漸増速度の影響は顕著ではない。以上の様に、変形能力は剪断破壊時、曲げ降伏時ともに繰返経過によりかなりの変動を示している。