

鉄筋コンクリート部材の力学的挙動

平 澤 征 夫*, 杉 田 朗*

Mechanical Behaviour of Reinforced Concrete Members

Ikuo HIRASAWA* and Akira SUGITA*

(Received September 17, 1977)

The object of this study is to clarify the mechanical behaviour of the reinforced concrete members.

16 column specimens and 9 beam specimens were tested under repeated overload conditions. Tests were carried out up to 100 cycles under the constant cyclic load level of 80-95% of the monotonic failure load. The members subjected to repeated loading of 100 cycles were failed by monotonic loading.

The results of these tests are summarized as follows:

- 1) Repeated compressive loading of column caused an increase in member stiffness.
- 2) Repeated tensile loading of column caused the same result as that of the cyclic tensile loading of steel only.
- 3) Repeated reversed loading caused the failure of all columns at 2 cycles.
- 4) Mechanical behaviour of the reinforced concrete beams under repeated overload is not so clear as that of the column. It is influenced by not only the strength but the plastic strain of the steel and concrete.

1. まえがき

近年、強震記録の収集と動的解析法の進歩は耐震設計をより合理的にし、経験に基づき、さらに未知の問題を解決しつつある^{1), 2)}。このように、動的解析と表裏一体となり耐震設計にあたって欠くことができない問題は構造物がどのような強度をもち、どのように変形するかを知ることである。すなわち、一般に、地震時に構造物の各部材に加わる応力は、平常時における長期的（あるいは持続的）な応力（自重＋積載荷重）に比べてはるかに大きい。また、地震力は動的な繰返し力である。しかし、地震力の特性としては、その作用速度はあまり速くなく繰返し回数も少ない。従ってコンクリート

系構造物が被害をうける時の地震時作用応力は、その最高限が部材の終局耐力の約8割以上の大きさで、周期が1～数サイクル/秒でせいぜい100回繰返し載荷されるような高応力繰返し荷重であると思われる。

本報告は、複合材料としての鉄筋コンクリートの力学的挙動に関する基礎的研究の一つとして上界荷重が最大強度の80%以上の定荷重高応力繰返し載荷を受ける柱および梁の挙動について検討する目的で行なった実験について述べたものである。具体的な検討項目は、(1)上界荷重の荷重レベルの相違による繰返し回数一ひずみ（たわみ）関係。(2)定荷重高応力繰返しを行なった後の101サイクル目の荷重一ひずみ（たわみ）関係。(3)繰返し回数一各サイクルでの Loop Chord Modulus の関係。(4)ひ

*土木工学科 (Department of Civil Engineering)

びわれ発生状況・破壊状況。などである。

2. 実験概要

(1) 実験計画

柱、梁の実験計画を表一1、表一2に示す。

コンクリートの打設は、柱・梁の各シリーズ毎に行なった。そのシリーズ区分は、柱は、載荷方法（圧縮繰返し、引張繰返し、両振り繰返しの計3種類）により、梁は、載荷レベル（80%, 85%, 90%の計3レベル）により区別した。

表一1 柱の実験計画

シリーズ名	試験の種類	上界荷重レベル*	供試体名称
圧縮シリーズ	静的圧縮単純載荷	NUC1	CC-01
			CC-02
	圧縮繰返し載荷	0.8 NUC1	CC-80
		0.85NUC1	CC-85
		0.9 NUC1	CC-90
引張シリーズ	静的引張単純載荷	NUT1	CT-01
			CT-02
	引張繰返し載荷	0.8 NUT1	CT-80
		0.85NUT1	CT-85
		0.9 NUT1	CT-90
両振りシリーズ	静的圧縮単純載荷	NUU2	CC-03
			CC-04
	静的引張単純載荷	NCT2	CT-03
	圧縮・引張繰返し載荷	0.8 NUC2・NUT2	CW-80
		0.85NUC2・NUT2	CW-85
		0.9 NUC2・NUT2	CW-90

*NUC, NUT は各々、静的圧縮最大荷重
静的引張最大荷重

表一2 梁の実験計画

シリーズ名	試験の種類	上界荷重レベル**	供試体名称
80%シリーズ	静的圧縮単純載荷	U ₁ **	BC-01
	圧縮繰返し載荷	0.8 U ₁	BC-80
	圧縮・引張繰返し載荷	0.8 U ₁	BW-80
85%シリーズ	静的圧縮単純載荷	U ₂ **	BC-02
	圧縮繰返し載荷	0.85U ₂	BC-85
	圧縮・引張繰返し載荷	0.85U ₂	BW-85
90%シリーズ	静的圧縮単純載荷	U ₃ **	BC-03
	圧縮繰返し載荷	0.9 U ₃	BC-90
	圧縮・引張繰返し載荷	0.9 U ₃	BW-90

**U₁, U₂, U₃ は静的圧縮曲げ破壊最大荷重

なお、柱・梁各々の1シリーズあたり、柱では5～6本の供試体、梁では3本の供試体を用いた。本実験に用いた供試体総数は、柱16本、梁9本であった。

(2) 使用材料と配合

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。骨材は木曽川産の砂利を用いた。これらの物理試験結果を表一3、表一4に示す。また鉄筋は、柱では軸方向筋としてD10（異形棒鋼）、および帯鉄筋としてφ6（普通丸鋼）を用い、梁では主鉄筋としてD16（異形棒鋼）、およびスターラップとしてD10（異形棒鋼）を用いた。これらの機械的性質を表一5に示す。コンクリートの配合は材令28日目標圧縮強度を350kg/cm²とした。示方配合を表一6に示す。

表一3 細骨材の物理試験結果

比重	吸水量 (%)	洗い 試験(%)	F.M.	ふるい残留百分率(%)							
				0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	
2.56	1.70	2.20	2.83	96	84	58	30	14	0.4	0	

表一4 粗骨材の物理試験結果

比重	吸水量 (%)	洗い 試験(%)	F.M.	ふるい残留百分率(%)							
				2.5	5	10	15	20	25	30	
2.64	0.84	3.66	7.14	100	99	93	58	22	0.4	0	

表一5 使用鉄筋の機械的性質

	公称断面積 (cm ²)	降伏点応力 (kg/cm ²)	引張最大強度 (kg/cm ²)
D16(異形)	1.986	3690	5570
D10(異形)	0.713	3870	5540
φ6(丸鋼)	0.283	3410	4120

表一6 示方配合

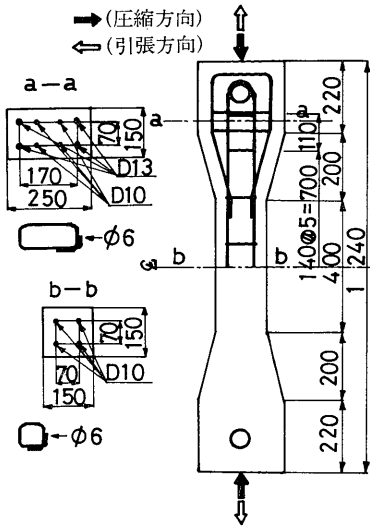
粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ SL (cm)	空気量 A (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材 率 S/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
25	7±1	1.5±1	47	44	185	394	757	1001

(3) 供試体の作製と養生条件

柱・梁の供試験の形状寸法をそれぞれ、図一1、図一2に示す。コンクリートの配合は表一6に示したように、一種類の配合を柱・梁の両方に使用した。柱・梁の主鉄筋比は各々、0.0127, 0.0126であった。

柱2本、梁1本を打設ごとにφ10×20cmのシリンダー供試体を10本、10×10×40cmの曲げ供試体3本を強度試験用に採取した。

柱・梁の各供試体およびシリンダーはともに2日後に脱型して室内養生を行なった。載荷試験は、柱は材令28～31日で、梁は材令29～30日で行ない、シリンダーと曲げ供試体はコンクリートを採取した柱・梁の各供試体の実験日に実施した。



図一：柱供試体寸法と載荷方向

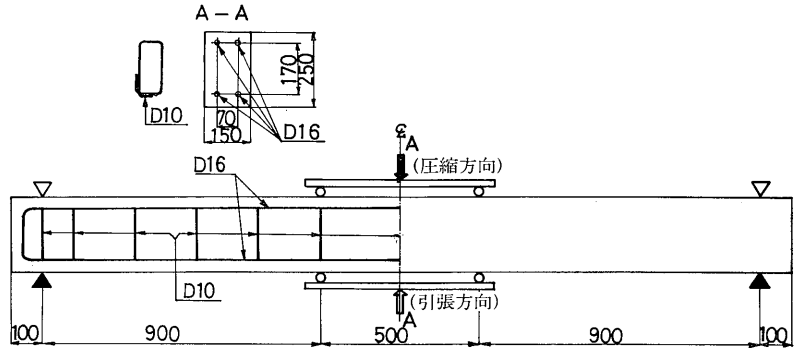
(4) 実験方法

供試体の載荷には柱・梁ともに300 Ton (圧縮)–100 Ton (引張) 構造物試験機を用い、以下に述べる載荷方法で実験を行なった。柱の場合、(i) 静的圧縮および引張単純載荷；載荷軸方向ひずみを単調に増加させ荷重(P)–ひずみ(ϵ) (以下P– ϵ と略記)を測定して最大荷重を求める。(ii) 圧縮および引張り繰返し載荷；上界荷重((i)の試験で得られた静的最大荷重の80, 85, 90%)・下界荷重(圧縮5.0 Ton, 引張–1.0 Ton)各々を一定として載荷・除荷を繰返した。(iii) 両振り繰返し載荷；静的圧縮最大荷重の80, 85, 90%を上界荷重とし、下界荷重を静的引張最大荷重の80, 85, 90%として繰返し載荷を行なった。

梁の場合も柱と同様な載荷方法とした。なお、繰返しの一周期を片振りの時2分±10秒、両振りの時3分±10秒とした。また、(ii) (iii)の繰返し目標回数を100回とし、100回繰返しを行なって供試体が破壊しない時には101サイクル目で破壊に至るまで静的載荷を行なった。

測定は、柱については柱高中央断面(図一1のb–b断面)の相対する面のコンクリート表面および4本の主鉄筋のうちの1本の鉄筋の表面にそれぞれコンクリートおよび鉄筋用の電気抵抗線ひずみゲージを用いてひずみを測定した。同時に、変位変換器によるコンクリート表面上の二点間の変位も測定した。

梁については、梁の中央断面の上面と下面のコンクリート表面および4本の主鉄筋のうちの片側、上下二本の鉄筋の表面に、それぞれ、コンクリートおよび鉄筋用の電気抵抗線ひずみゲージを用いてひずみを測定した。同時に、変位変換器によって梁の中央のたわみと曲率を



図二：梁供試体寸法と載荷方向

測定した。

上記の柱・梁の電気抵抗線ひずみゲージの記録はX–Yレコーダーで行なった。

3. 柱の実験結果と考察

実験結果を検討するための図、図一3、図一4について説明する。ただし、図一3(a)と図一4(a)、同様に(b)と(c)についても図一3と図一4において同じ性質を示す図である。

図(a)：一例として柱の静的最大荷重の85%を上界荷重とする圧縮(又は引張)繰返し載荷時の荷重(P)–ひずみ(ϵ)関係を示す。図中のA–A線は下界荷重、B–B線は(上界荷重+下界荷重)/2の荷重(以下、中間荷重と呼ぶ)、C–C線は上界荷重を示す。

図(b)：静的最大荷重の80, 85, 90%を上界荷重とする圧縮(又は引張)繰返し載荷(以下、例えば“80%圧縮繰返し載荷”などと略記する)時の図(a)で示したA–A線、B–B線、C–C線に到達した時のひずみ(ϵ)の値を各線ごとに読みとり、 ϵ と繰返し回数(N)との関係を示した。

図(c)：静的単純載荷と80, 85, 90%繰返し載荷を100回繰返した後、約5分間完全に無載荷状態にした後に再び破壊まで静的載荷する101サイクル目のP– ϵ 関係を示す。

図一3(d)：繰返し回数Nと各サイクルでの弦弾性係数(Loop Chord Modulus)の関係を示す。

$$\text{Loop Chord Modulus} = (\sigma_C - \sigma_A) / (\epsilon_C - \epsilon_A) \quad (\text{kg/cm}^2)$$

ただし σ_C : 上界荷重時の応力 (kg/cm²)

σ_A : 下界荷重時の応力 (kg/cm²)

ϵ_C : 上界荷重時のひずみ

ϵ_A : 下界荷重時のひずみ

表-7 柱の諸強度の比較

シリーズ名	供試体名称	A. 静的試験強度 (Ton)	B. 試験後の強度 (Ton)	B/A
圧縮シリーズ	CC-01	83.8	—	—
	CC-02	85.5	—	—
	CC-80	—	100.0	1.18
	CC-85	—	89.7	1.06
	CC-90	—	99.0	1.17
引張シリーズ	CT-01	15.0	—	—
	CT-02	15.5	—	—
	CT-80	—	15.5	1.02
	CT-85	—	15.4	1.01
	CT-90	—	15.6	1.02
両張シリーズ	CC-03	98.0	—	—
	CC-04	99.5	—	—
	CT-03	16.2	—	—
	CW-80	—	2サイクルで破壊	—
	CW-85	—	2サイクルで破壊	—
	CW-90	—	2サイクルで破壊	—

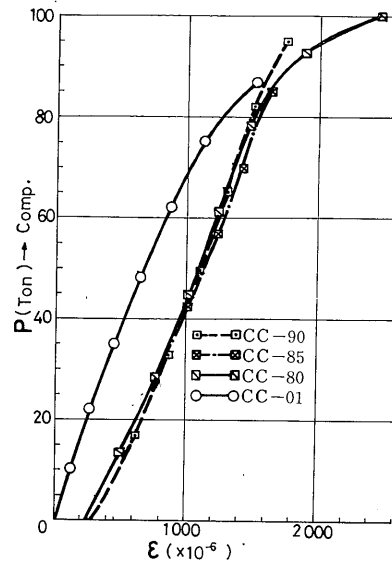


図-3 (c) : 101サイクル目のP-ε曲線と静的圧縮単純載荷時のP-ε曲線

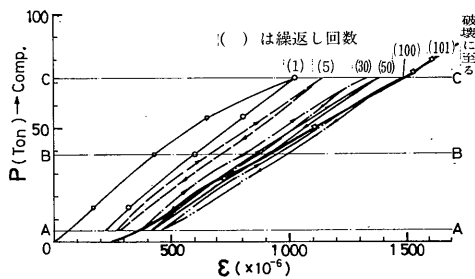


図-3 (a) : 柱の圧縮繰返し試験のP-ε関係

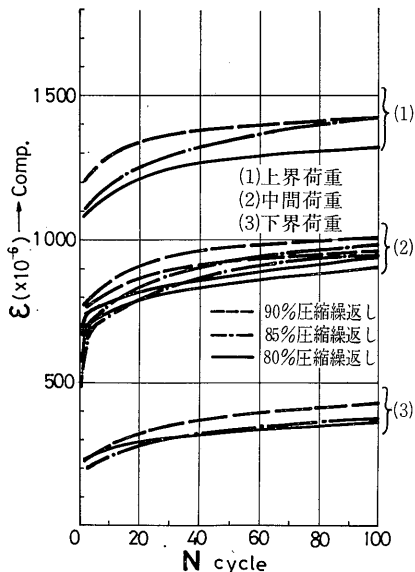


図-3 (b) : 圧縮繰返し載荷時のε-N関係

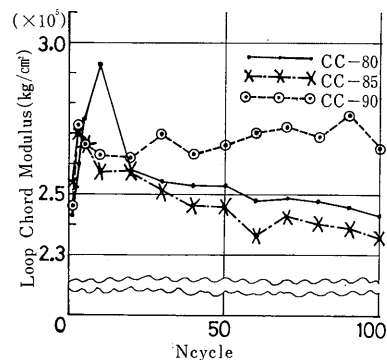


図-3 (d) : Loop Chord Modulus-N関係

以下、高応力域に至る繰返し載荷における上界荷重レベルの大小による柱部材の挙動の変化を比較検討する。

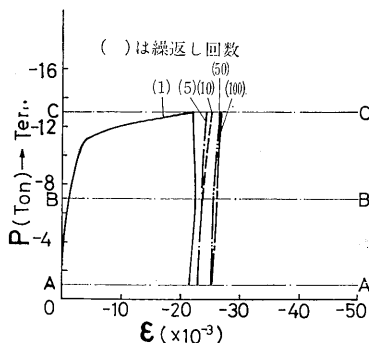
(1) 柱の圧縮繰返し載荷試験 (図-3 参照)

図(a)は85%圧縮繰返し試験のP-ε関係を示す。図(b)の上界荷重のε-N曲線より、80、90%繰返し載荷では40サイクル付近から定常状態になっているが85%繰返し試験のひずみ(ε)は繰返し回数(N)が増すに従って80%繰返し載荷曲線の領域から90%繰返し載荷曲線の領域の方に移動して約100サイクル付近でひずみ(ε)がほぼ90%繰返し載荷曲線に接近する。中間荷重のε-N曲線は各上界荷重レベル1レベルにつき2本づつあるが、その2本のうち上方に位置するのが除荷時のε-N曲線、下方のが載荷時のε-N曲線である。図より10サイクル付近以後から80、85、90%繰返し載荷試験の各々の中間荷重

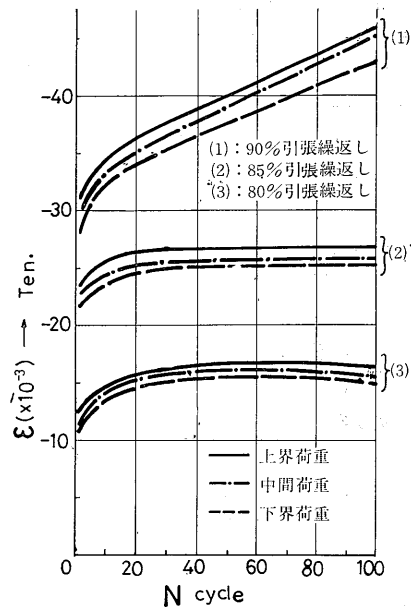
の載荷時のひずみと除荷時のひずみの差の変化がほとんどなくなり80, 85, 90%繰返し試験の5サイクル以後のひずみの差を平均すると各々, $36.8, 38.8, 39.4 \times 10^{-3}$ となり, 上界荷重レベルが大きいほど $P-\epsilon$ 曲線図の各サイクルの履歴曲線のふくらみが大きくなっていくことがわかる。図(c)からは, 100回繰返し載荷した後の101サイクル目の破壊までの $P-\epsilon$ 曲線は3曲線ともに似ている。また, 静的圧縮単純載荷とそれら3曲線との $P-\epsilon$ 曲線を85 Ton までの曲線で囲まれた面積を比べると約 1 : 0.8 であった。さらに各々の繰返し試験後の残存強度を検討してみると表一7から静的圧縮単純載荷による最大荷重と比べて6~18%の増加が見られた。この残存強度が増加することの説明として,

(i) 圧縮繰返しによって, コンクリートが土の突き固めのように圧密の状態になり密度が増して強度が増加した。

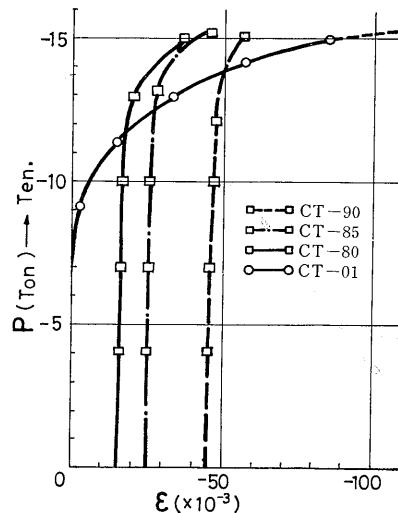
(ii) 圧縮繰返しによって, 内部に微細ひびわれができ, 柱供試体内の空ゲキやブリージングによる鉄筋周辺の空ゲキをふさぐことによって繰返し載荷以前の状態より鉄筋とコンクリートの付着が完全になりコンクリート部分との連結をより強くし, 応力が全断面において平均的に分散される効果が現われた。などが考えられる。図(d)は, Loop Chord Modulus によって繰返し載荷時の鉄筋コンクリートの剛性の低下の程度を調べようとしたものである。上界荷重レベルが, 80, 85%の繰返し試験では繰返し回数の増加にしたがって Loop Chord Modulus の低下が明らかであるが, 90%繰返し試験では, 上界荷重時ひずみと下界荷重時ひずみの増加が同程度の準安定な状態に達しているものと思われ, 繰返し回数が増加しても Loop Chord Modulus の低下が見られなかった。これは, 柱の静的最大荷重の90%以上の上界荷重の繰返し試験では内部鉄筋がひずみ硬化の段階に



図一4(a)：柱の引張繰返し試験の $P-\epsilon$ 関係



図一4(b)：引張繰返し載荷時の $\epsilon-N$ 関係



図一4(c)：101サイクル目の $P-\epsilon$ 曲線と静的引張単純載荷時の $P-\epsilon$ 曲線

入っており, 鉄筋の性質 (特にヤング係数) が変化したことを示すものと考えられる。

(2) 柱の引張繰返し載荷試験 (図一4 参照)

図一4(a)は, 85%引張繰返し載荷試験の荷重 (P)—ひずみ (ϵ) 関係を示す。図から明らかなように2サイクル以後, 載荷と除荷のひずみの増加と減少がほとんど同程度で各サイクルの $P-\epsilon$ 曲線が1本線で表示できるほどであった。図(b)からは, 下界荷重時のひずみの進行状況

をみると, 80, 85%繰返ししの各々 100 サイクル目のひずみ量と 2 サイクル目のひずみ量を比較すれば, 0.70, 0.85 となり 1 サイクルを終了した状態で試験全過程に蓄積するひずみの大半を生じ, 80, 85%繰返しは, 各々 40, 20 サイクル付近で上界, 中間, 下界荷重時のひずみの増加がほぼ止まり定常状態になった。90%繰返しでは, 80, 85%繰返しと同様 1 サイクル目で大半の残留ひずみを生じるが 20 サイクル以後からひずみの増加が上界, 中間, 下界荷重, とともに繰返し回数の増加とほぼ比例して増加する。このように, 2 サイクル以後のひずみの増加量の少ない理由の説明としては, 鉄筋への載荷応力が 1 サイクル目に塑性域に達しているために 2 サイクル目からは鉄筋のひずみ硬化によって 1 サイクル目より降伏点が上がリ, 結果として, 2 サイクル目からはほとんどひずみ硬化後の弾性域内に上界荷重レベルまで入って, その中を繰返し載荷するためにひずみ量の増加はほとんどないという状況が発生するものと考えられる。ただし, 90%引張繰返しだけは, 上界荷重レベルが 2 サイクル以後もわずかながら塑性域に入っているために実験結果のように 90%繰返しのみがひずみが単調に増加したものであろう。図(c)から, 101 サイクル目の 80, 85, 90%繰返し試験の $P-\epsilon$ 曲線を見ると, 各々の上界荷重以下ではひずみの目立った増加はなく上界荷重を越えた時点でひずみの変化が生じ, 静的引張単純試験結果と比べて破壊が約 50%程度のひずみの時に始まっていることがわかる。また, 静的単純試験に対する 101 サイクル目の $P-\epsilon$ 曲線の曲線内面積 (0 ~ 15 Ton まで) を比べると, 80%繰返し後 $\rightarrow 0.26$, 85%繰返し後 $\rightarrow 0.18$, 90%繰返し後 $\rightarrow 0.13$ であり, 上界荷重が大きいく程, 靱性が低下することがわかる。さらに, 外観からの崩壊状況は, 80, 85, 90%繰返し試験ともに 1 サイクル目の載荷過程で, はばコンクリートと鉄筋の付着が切れ 2 サイクル目

以後からは, 鉄筋のみで引張力に抵抗しているようであった。

(3) 柱の圧縮引張繰返し試験 (図-5 参照)

図-5 は, 85%両振り繰返し載荷試験の荷重(P)—ひずみ(ϵ) 関係を示す。80, 85, 90%両振り繰返し試験, 各々 2 サイクル目の圧縮過程の初期に破壊した。崩壊過程を見ると, 1 サイクル目の引張過程でコンクリート鉄筋の付着が切れて 2 サイクル目の圧縮過程の初期段階で鉄筋が座屈するように折れ曲り, 同時にコンクリートをはじき飛ばすように供試体の中央部分が破壊した。このように柱は, 圧縮 $\leftrightarrow$ 引張の繰返し荷重に非常に弱いことがわかる。すなわち, 柱に一度, 引張ひびわれがコンクリート部分に生じると圧縮の際, もとのコンクリートの結合状態に戻らず部分座屈のため, 比較的, 低荷重の圧縮によって供試体が破壊してしまうと考えられる。

表-8 梁の諸強度の比較

シリーズ名	供試体記号	A 推定強度 (Ton)	B 静的試験強度 (Ton)	C 試験後の強度 (Ton)	C/B
80% シリーズ	BC-01	4.98	7.30	—	—
	BC-80	4.98	—	7.00	0.96
	BW-80	4.98	—	70 サイクルで破壊	—
85% シリーズ	BC-02	4.98	6.90	—	—
	BC-85	4.98	—	6.10	0.88
	BW-85	4.98	—	76 サイクルで破壊	—
90% シリーズ	BC-03	4.98	6.70	—	—
	BC-90	4.98	—	37 サイクルで破壊	—
	BW-90	4.98	—	51 サイクルで破壊	—

4. 梁の実験結果と考察

(1) 梁の諸強度の比較検討 (表-8 参照)

i) 静的圧縮曲げ破壊強度と推定破壊強度との比較

推定破壊強度は ACI 基準 (1963 年) の梁の設計用モメントの式から求めた。

$$M_u = \phi [(A_s - A'_s) \sigma_{sy} (d - a/2) + A'_s \sigma_{sy} (d - d')] \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{ただし, } a = \frac{(A_s - A'_s) \sigma_{sy}}{0.85 \sigma'_c b}$$

$$\phi = 0.9 \text{ 減少係数}$$

本実験では, $A_s = A'_s$ なので上式の第 1 項目は消え,

$$M_u = \phi [A'_s \sigma_{sy} (d - d')] \quad \dots\dots(2)$$

として求めた。(2) 式から得られた推定強度 (A) と静的圧縮最大曲げ破壊強度 (B) との比は, BC-01 では 1.47, BC-02 では 1.39, BC-03 では 1.35, というように推定値は実際の実験値の静的圧縮曲げ破壊強度より 35~47%安全側の値となっている。

なお, 静的圧縮最大曲げ破壊強度の各シリーズ毎のば

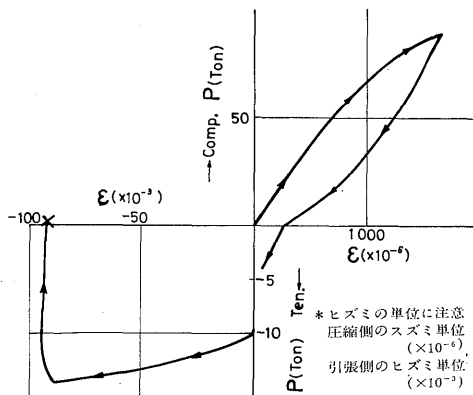


図-5 : 柱を圧縮・引張繰返し試験の $P-\epsilon$ 曲線

らつきは、供試体個々の製作上の差異、載荷速度、供試体のセッティング状態、いずれもすべてのシリーズにわたって同じように慎重に配慮して行なったが幾分かの相違が実験結果に表われたのであろう。

ii) 圧縮繰返し試験を受ける前の強度と試験後の残存強度との比較

圧縮繰返しを受ける前の強度と試験後の残存強度の割合は、BC-80で0.96、BC-85で0.88、BC-90は37サイクル目で破壊した。

BC-80では、試験後の残存強度の割合から見ると試験前の強度とあまりかわらないように思える。このように最大強度の80%、100回繰返した程度では強度的に見ると強度の低下は少ないようである。また、BC-85、BC-90と上界荷重を大きくするにしたがって強度の低下が目立って大きくなっている。したがって、80%ぐらいが100回程度の繰返しに対して強度低下を生じない上限であろうと考えられる。

iii) 圧縮・引張繰返し試験の強度の比較

各荷重レベルとも100サイクル以内で破壊したため繰返し試験後の残存強度の比較はできなかったが、破壊した時の繰返し回数を比べると、BW-80では70サイクル目、BW-85では76サイクル目、BW-90では51サイクル目で破壊した。このように80%以上の繰返し荷重レベルで圧縮・引張繰返しの両振り載荷を与えると片振りの場合と異なり100回の繰返しにも耐られないことがわかる。

以上、梁の諸強度の比較をした結果 ii), iii) のどちらの試験でも上界荷重の荷重レベルが高いほど強度に与える影響が大きいことは明白であるが、梁に与える強度の影響の大きさから見て、上界荷重の荷重レベルの大小よりも、載荷方法、すなわち、片振り（圧縮繰返し）か、両振り（圧縮・引張繰返し）かの相違の方が強度におよぼす影響はかなり大きいと思われる。

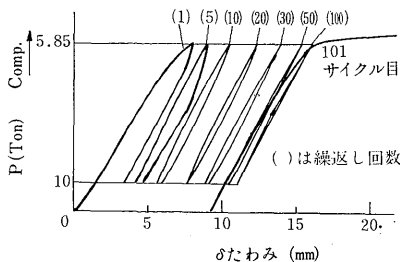


図-6(a)：梁の圧縮繰返し試験のP- δ 関係

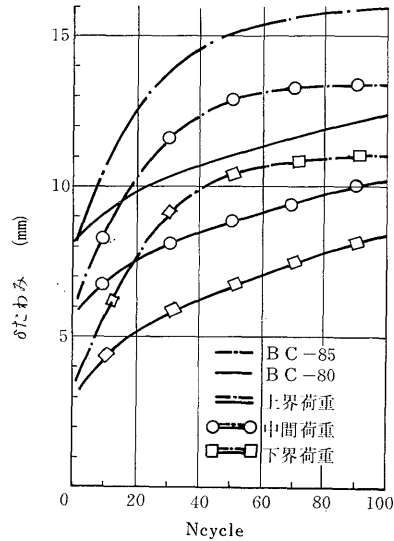


図6(b)：圧縮繰返し載荷時の ε -N関係

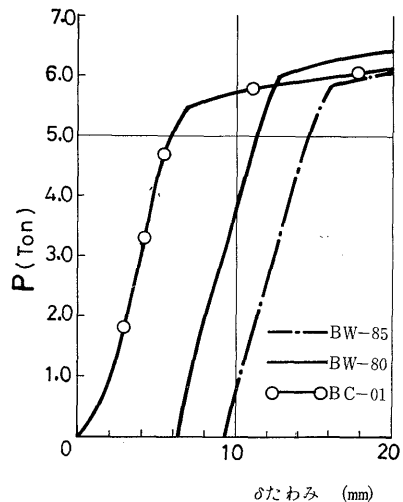


図-6(c)：101サイクル目のP- δ 曲線と静的圧縮単純載荷時のP- δ 曲線

(2) 繰返し載荷時の梁の挙動について

ここでは、主としてたわみ量の変化について調べた結果について述べる。

i) 圧縮繰返し載荷試験結果 (図-6(a)(b)参照)

図(a)は例として85%圧縮繰返し載荷試験の荷重(P)-たわみ(δ)曲線を示す。

図(b)から、繰返し回数とたわみ量の増加をみると、BC-80では、回復たわみ量(上界荷重時のたわみ量から下界荷重時たわみを差し引いたもの)は、繰返し回数(N)の多少にかかわらずほぼ一定値を示している(回復たわみ量約4.3mm前後)。BC-85では、回復たわみは繰返し回

数(N)が増すにつれて徐々に大きくなっている。また、塑性たわみ（本文では下界荷重時の残留たわみをこう呼ぶことにする。）は50サイクル付近まで急激に増加し、それ以降は増加の割合が下がっていくのがわかる。

BC-80とBC-85を比較してみると、それぞれ繰返し荷重回数の増加とともにBC-80とBC-85の塑性たわみの差は開き続け、50サイクル付近の差を最大にしてそれ以降の差は少しずつ縮まる傾向が見られる。

BC-90においては、BC-80とBC-85に比べて、1サイクル目のたわみ量がはるかに大きく、繰返し荷重とともにたわみも急激に増加し、37サイクル目で破壊した。

つぎに、繰返し荷重を受ける前と受けた後の荷重—たわみ曲線について比較検討してみる（図-6(c)参照）。繰返し荷重をうけた後のBC-80とBC-85の荷重—たわみ曲線を比べると、傾き、形状はほとんど同じであるが、最大荷重時のたわみは、繰返し試験後の方が繰返し荷重をうける前のものより、その半分程度に小さくなっている。また、靱性についても繰返し荷重をうけたものは低下しているようである。

ii) 圧縮・引張繰返し試験結果（図-7(a)(b)(c)参照）

BW-80について、各サイクルの荷重—たわみ曲線を見ると0点に対してほぼ対称である（図-7(a)参照）。たわみの増加の割合は、20サイクルごろまで圧縮側の上界荷重時のたわみや各サイクル毎の包絡線内の面積の方が引張側のそれよりも多少大きいことがわかる。20サイクル以後は、圧縮・引張側の上界荷重時のたわみ量と包絡線内の面積の増大の割合が20サイクルまでのものよりも大きいことが観察される。このことから、80%程度の圧縮・引張繰返しをうけた場合には20サイクル程度がたわみに対する一つの限界繰返し回数と考えられる。

BW-85（図-7(b)参照）においては、BW-80と同

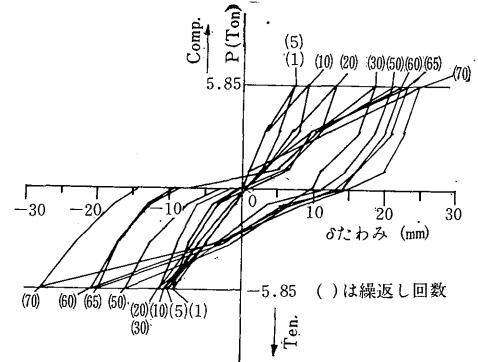


図-7(a)：梁の80%両振り荷重試験 (BW-80)

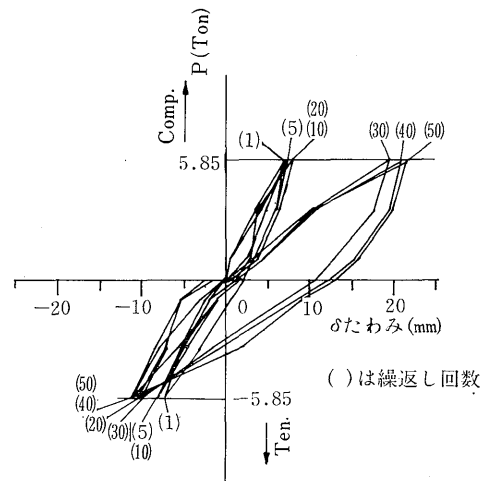


図-7(b)：梁の85%両振り荷重試験 (BW-85)

程度の割合でたわみ量が増加しているが24サイクルから25サイクルの間で急に圧縮側の上界荷重時たわみ量が増大しているのがわかる。この原因としては、供試体上部の荷重点の位置がわずかにずれて、ずれた方の荷重点に

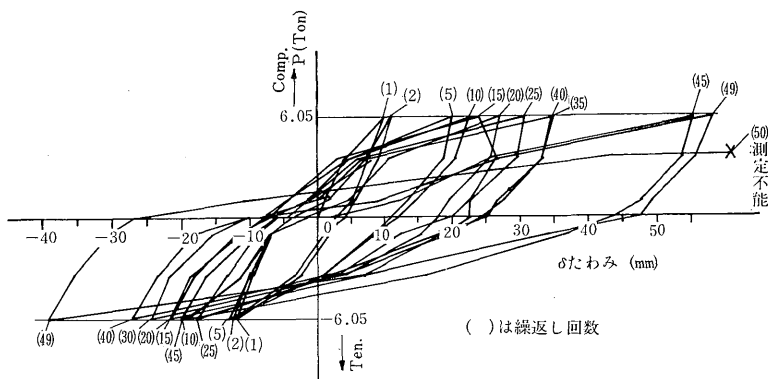


図-7(c)：梁の90%両振り荷重試験 (BW-90)

一時的に荷重が集中してたわみ量が急増したと思われる。26サイクル目以降は、一時的に荷重が集中した場所を中心としてひびわれが増加していった。

BW-90 (図-7(c)参照) においては、BW-80, BW-85に比べて1サイクル目からかなり圧縮および引張側の上界荷重時のたわみ量、包絡線内の面積の増加量および、ひびわれの発生量が大きかった。しかし、繰返し回数とたわみ量の進行状況を見るとかなりたわみ量が増加しても、BW-80, BW-85が崩壊を生じた時より以上のたわみ量でも荷重がかけられ、繰返し回数も、たわみの増加の割合には多かった。このことから、繰返し荷重レベルが高いからといって必ずしも限界となる繰返し数が小さくなるとは限らないことがわかる。これは、その繰返し荷重レベルにおける鉄筋の降伏程度（あるいはひずみ硬化到達程度）に関係しているものと考えられる。

なお、本報告は梁の圧縮繰返し試験、圧縮・引張繰返し試験内での定量的な比較検討は供試体の本数からも、試験の載荷状態からもみて、それほどの意味を持たないと考え個々の供試体について、その挙動を詳細に調べ今後の研究のための基礎資料としたものである。

5. むすび

本研究は、複合材料としての鉄筋コンクリートの力学的挙動に関する基礎的研究の一つとして、上界荷重が最大荷重の80%以上の定荷重高応力繰返しを受ける柱および梁の力学的挙動を実験から調べたものである。

以下、本研究の範囲で得られた結果を要約すると次のようである。

(1) 柱の圧縮繰返し載荷試験では、いずれも100回繰返し試験後の強度が繰返し前の強度より増加した。

(2) 柱の引張繰返し載荷試験では、いずれも1サイクル目でコンクリートと鉄筋の付着が切れて、2サイクル以後は鉄筋だけで引張繰返し載荷試験を行なっているのとはほとんど変りなかった。

(3) 柱の圧縮・引張繰返し載荷試験では、すべて2サイクル目の圧縮載荷の初期に破壊が生じた。

(4) 梁試験については、今回の実験だけでは、はっきりしたことがいえないが、高応力繰返しをうける梁の力学的挙動は材料強度のみによって決まるのではなく、コンクリートや鉄筋の塑性ひずみ、載荷速度などいろいろな他の要因が複雑に組み合わさったものとして現われているので、今後は、各材料の高応力時の挙動を明らかにする一方で、これら相互の複合機構を明らかにすることが重要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) I. Demir Karsan, and James O. Jirsa, "Behavior of Concrete under Compressive Loadings" proceedings, ASCE Vol. 95, No. ST 12, December, 1969.
- 2) 六車 照, 富永 恵: Repeated Over-Load をうけるコンクリートの力学的性質の遷移現象について, 「材料」第19巻, 第200号, 昭和45年5月.