

コンクリートと鋼材の応力-歪関係に及ぼす歪速度の影響

若林 實・中村 武
吉田 望・岩井 哲

EFFECT OF STRAIN RATE ON STRESS-STRAIN RELATIONSHIPS OF CONCRETE AND STEEL

By *Minoru WAKABAYASHI, Takeshi NAKAMURA,*
Nozomu YOSHIDA, and Satoshi IWAI

Synopsis

An experimental study is made to investigate the effects of a strain rate on fundamental mechanical properties of component materials of reinforced concrete structures subjected to earthquake load, those are concrete and steel reinforcing bars. Load is applied monotonically or cyclically to a specimen under the prescribed strain rate. Range of strain rates in case of dynamic loading is 0.005/sec to 0.1/sec. Compressive strength of concrete increases with increasing strain rate. However, a geometrical configuration of a stress-strain curve and the strain at the maximum stress are hardly affected by a strain rate. From tension tests of steel bars, it is observed that yield stress increases with increasing strain rate. The behavior in the strain-hardening region and the strain at breakage are not affected largely by a strain rate. There is no significant difference between the stress-strain curves under monotonic loading and the envelope curves under repeated loading.

1. は し め に

建築構造物の地震時における性状を調べるために、わが国では単調あるいは繰り返しの準静的な加力実験が多く行われ、これらの研究成果によって地震時の構造物の耐力・変形性能・履歴性状等に関して多くのことが明らかとなった。しかし実際の地震の場合、構造物は大きい歪速度・変形速度で変形するので、準静的な加力実験の結果は部分的に修正する必要があるかもしれない。すなわち加力速度によって構造物の耐力及び変形性状がどのように変化するかを確かめる必要がある。同様の目的をもつ研究は最近幾つか進められているが、部材を構成する材料、すなわちコンクリート及び鋼材の応力-歪関係に対する歪速度の影響を調べた基礎的な資料は多くなく、それぞれの実験結果にはかなりのばらつきがあるため、^{1)~4)} 構造素材の動的載荷実験の必要性が再認識された。このような観点から、コンクリート及び鉄筋に地震時に加わると考えられる程度の歪速度で動的に加力したときの材料特性を実験的に調べた。

2. 実 験 計 画

2.1 試験体 (1) コンクリート 試験体は直径50mm 高さ 100mm の普通コンクリート円柱形供試体を用いた。試験体総数は、45体である。調合材料は、4 週圧縮強度 415 kg/cm² で比重3.15の普通ポルトランドセメント、細骨材に表乾比重2.53で最大粒径1.2mm 以下の川砂、粗骨材に表乾比重2.56で粒径5mm 以上10mm 以下の川砂利を用いた。コンクリートの調合強度は 255kg/cm²、水セメント比64%、スランプ21 cm で、重量調合比はセメント：砂：砂利=1：2.45：2.75 とした。試験体は通常の圧縮試験用供試体に比べて小さいので、直径150mm 高さ300mm の円柱形供試体6体を同じバッチから作製し、静的な圧縮強度試験結果を本実験の静的載荷実験結果と比較して寸法効果の有無を確かめることにした。コンクリートの打設

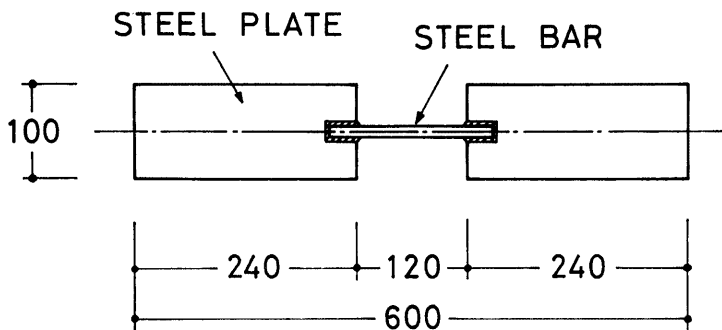


Fig. 1 Test Specimen of Steel Bar

18~24時間後にセメントペーストでキャッピングし、48時間後に脱型して、1ヶ月間恒温室(20℃)で水中養生を行った後、実験日まで空中養生とした。実験時の材齢は72~74日である。キャッピング面は不整を避けるために金剛砂によって研磨した。(2) 鉄筋 鉄筋試験体は公称直径 $D=13\text{mm}$ の丸鋼 (SR24) と異形鋼 (SD30) の2種類を選び、それぞれ16体ずつ、総数32体とした。試験体形状は Fig. 1 のように検長120mm、標点距離 $8D=104\text{mm}$ とし、試験機のつかみ部として鉄筋両端部に15mm厚の鋼板を溶接接合した後、焼鈍を行った。

2.2 載荷装置 加力には Fig. 2 に示すような京都大学防災研究所の電気油圧式サーボ試験機を使用した。試験機の能力は、最大荷重が動的 $\pm 20\text{t}$ ・静的 $\pm 30\text{t}$ 、最大ピストンストローク $\pm 150\text{mm}$ であり、制御量が荷重・ピストンストローク・試料変位で、クローズドループ制御により試験がなされる。総合(静的検定)精度は各レンジフルスケールの $\pm 1.5\%$ 以内である。直径150mmの円柱形供試体の静的圧縮試験には100t アムスラー型試験機を使用した。

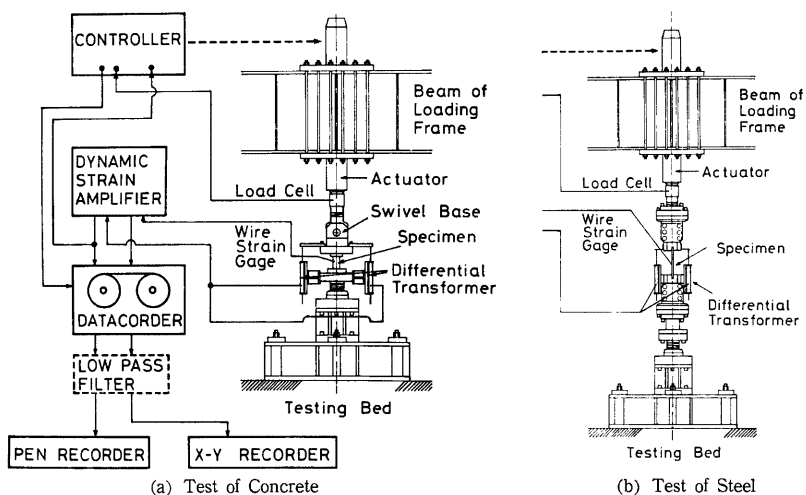


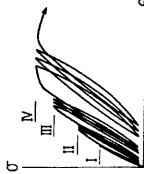
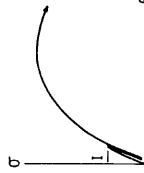
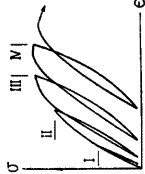
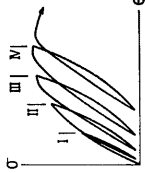
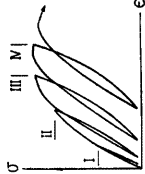
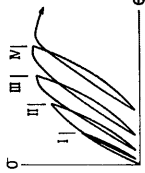
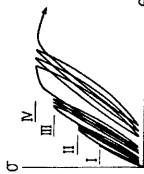
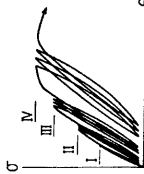
Fig. 2 Test System

2.3 計測システム 荷重は試験機のアクチュエータに取り付けられたロードセルで検出され、試験体の変形は、Fig. 2 (a), (b) に示すように、試験体をはさんで対称位置に置かれた2本の差動トランスと試験部中央に貼付された電気抵抗型歪ゲージによって計測された。差動トランスは、コンクリート試験体場合には試験体上下の耐圧盤間相対変位量を測定するように取り付けられ、鉄筋試験体場合には試験部に対して充分剛であると思われる試験体つかみ部に固定され試験部の伸び量が測定された。歪ゲージは、コンクリート試験体では単調載荷用に対して検長 60mm、繰り返し載荷用に対して検長30mm のものが用いられ、それぞれ4枚ずつ貼付されており、鉄筋試験体では丸鋼には検長 5 mm、異形鋼には検長 2 mm のものが用いられ、それぞれ2枚ずつ貼付された。データは動歪アンプを通してすべてデータレコーダに記録され、ロ

Table 1. Test Results of Concrete under Monotonic Loading

Nominal Strain Rate (%/sec)	Specimen Number	Strain Rate (%/sec)		Sectional Area (cm ²)	Maximum Stress (kg/cm ²)	Strain at Maximum Stress (%)
		Differential Transformer	Strain Gage			
0.002	1	0.00208	0.00167	19.62	285	0.265
	3	0.00206	0.00175	19.61	281	0.296
	4	0.00204	0.00169	19.75	295	0.269
	5	0.00212	0.00181	19.66	276	0.282
	55	0.00205	0.00184		(279)	0.288
0.5	6	0.520	0.556	19.65	304	0.278
	7	0.538	0.445	19.68	299	0.263
	8	0.620	0.477	19.85	337	0.294
	9	0.676	0.493	19.71	334	0.300
	10	0.581	0.546	19.67	336	0.308
1.0	11	1.08	1.09	19.81	326	0.283
	12	1.05	1.11	19.89	352	0.295
	13	1.27	1.26	19.89	327	0.268
	14	0.93	1.35	19.67	345	0.298
	15	1.15	1.23	19.70	312	0.274
2.5	26	2.55	2.38	19.86	314	0.263
	27	2.16	2.82	19.75	297	0.273
	28	2.15	2.15	19.82	321	0.265
	29	2.33	2.36	19.72	318	0.259
	30	2.43	2.60	19.81	350	0.311
5.0	16	4.40	4.82	19.72	345	0.306
	17	5.57	4.23	19.78	366	0.301
	18	4.80	4.85	19.69	330	0.276
	19	6.13	4.44	19.79	368	0.275
	20	4.91	5.69	19.68	339	0.285
10.0	21	5.66	6.16	19.77	361	0.298
	22	5.78	6.77	19.70	339	0.288
	23	8.18	7.21	19.76	345	0.265
	24	7.73	8.51	19.82	323	0.298
	25	7.01	7.80	19.66	323	0.283

Table 2. Test Results of Concrete under Repeated Loading

Nominal Strain Rate (%/sec)	Specimen Number	Sectional Area (cm ²)	Loading Type	Number of Cycles				Maximum Stress (kg/cm ²)	Strain at Maximum Stress (%)	Loading Program
				I	II	III	IV			
0.005	34	19.69	A	3	3	3	3	305	0.267	
	38	19.61	F	1	1	1	1	293	0.270	
0.5	39	19.71	B	10				320	0.270	
	40	19.67	C	10				322	0.265	
	41	19.70	D	5	5			294	0.253	
	42	19.62	A	3	3	3	3	295	0.263	
	33	19.73	A	3	3	3	3	313	0.257	
	43	19.79	E	1	1	1	1	303	0.295	
	35	19.81	F	1	1	1	1	319	0.285	
	36	19.73	F	1	1	1	1	301	0.284	
	44	19.75	F	1	1	1	1	334	(0.273)	
2.5	32	19.78	A	3	3	3	3	297	0.304	
	37	19.83	F	1	1	1	1	315	0.262	
	45	19.68	F	1	1	1	1	317	0.274	
5.0	31	19.80	A	3	3	3	3	321	0.294	

ーパスフィルタを介してリニアペンレコーダあるいは X-Y レコーダによってモニタ及び再生がなされた。

2.4 載荷方法 加力は単調及び片振り繰り返しの2種の載荷とし、差動トランスで測定される変位によって全載荷過程を通じて歪速度を一定に保つよう、フィードバックシステムを用いて制御された。動的載荷実験における歪速度の範囲は、現実の鉄筋コンクリート造建物に想定される固有周期を考慮して0.005/sec から 0.10/sec の間に設定された。コンクリート試験体は30体に単調圧縮載荷を行い、歪速度は準静的載荷 (0.00002/sec) を含み6段階 (Table 1) に設定され、各段階について5体ずつ実験を行った。残り15体は繰り返し圧縮載荷を行い、歪速度は4段階に設定され、折り返し点は Table 2 の図に示されるように変位あるいは荷重によって定められた。鉄筋試験体については、歪速度は準静的載荷 (0.00005/sec) を含み4段階 (Table 4, 5) に設定され、単調引張及び繰り返し引張載荷が行われた。

3. 実験結果

3.1 コンクリート 単調載荷実験、繰り返し載荷実験及び直径 150mm 円柱形供試体の静的圧縮試験の結果をそれぞれ Table 1, Table 2 及び Table 3 に示す。実験時に作用した歪速度・荷重速度は Fig. 3 (a)~(c) のようになっている。差動トランスにより得られた歪-時間関係に見られるように制御歪速度はほぼ一定値を示していることがわかるが、試験体に貼付された歪ゲージから得られたデータによると、実際に試験部に作用している歪速度は載荷時間の経過と共に変化しており、荷重が最大圧縮耐力の半分程度まで作用した時点で設定歪速度に近づいていることが認められる。差動トランスによる歪量は歪ゲージにより測定された値を上回っており、差動トランスの測定値は試験体の縮み量以外の変形を若干含んでいると思われる。単調載荷実験について各歪速度における応力 σ と4枚の歪ゲージから測定された平均歪 ϵ との関係をもとめたものが Fig. 4 (a)~(f) である。各試験体の応力-歪関係をその試験体の最大応力度 F_c 及び最大応

Table 3. Test Results of $\phi 150 \times 300$ Cylinders

Specimen	Sectional Area (cm ²)	Maximum Stress (kg/cm ²)	Strain at Maximum Stress (%)
1	177.2	274	0.292
2	176.9	279	0.302
3	176.9	280	0.270
4	177.2	289	0.315
5	177.2	254	0.296
6	176.4	265	0.286

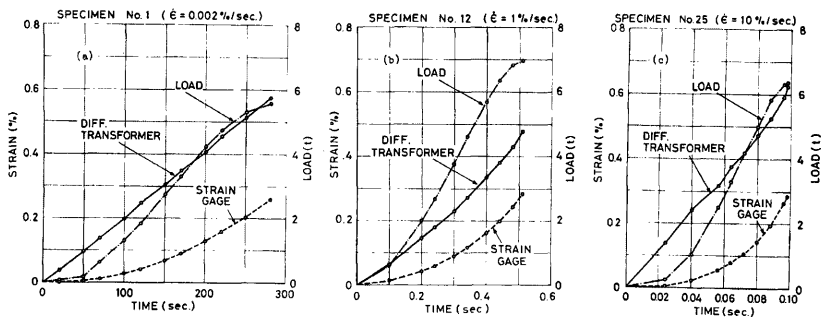


Fig. 3 Strain Rate and Loading Rate Diagram (Concrete)

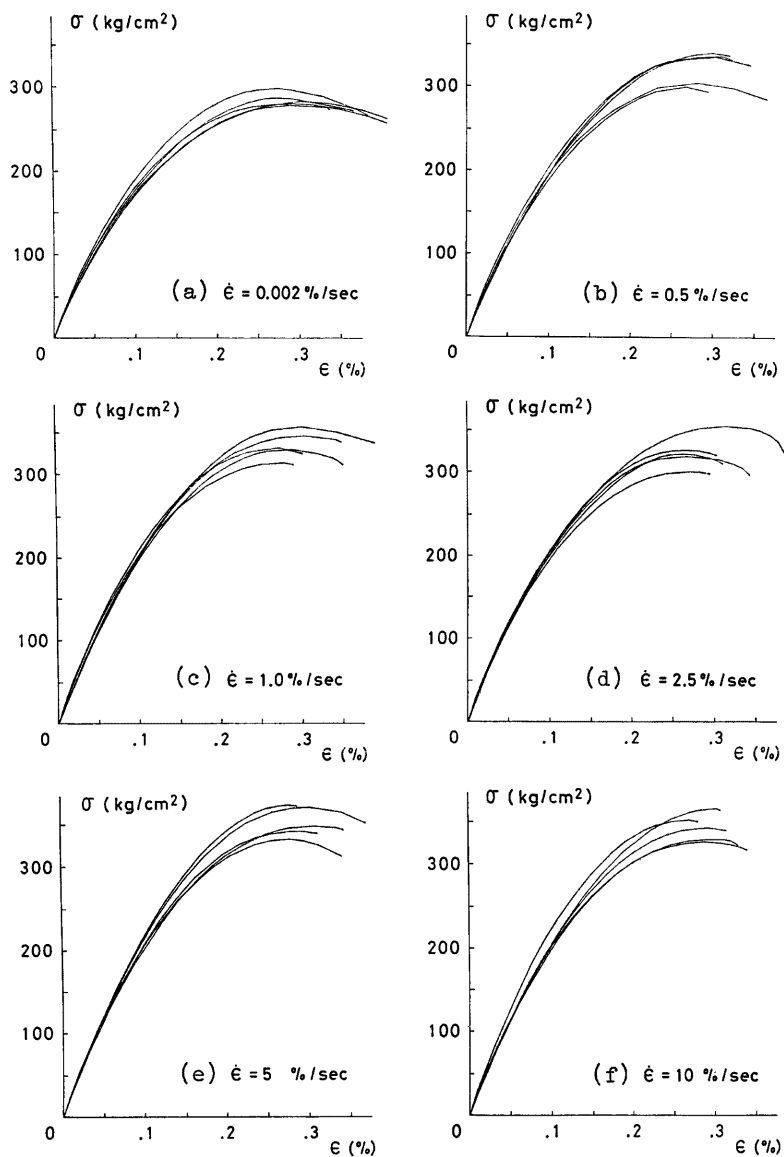


Fig. 4 Stress-Strain Curves of Concrete

力時の歪 ϵ_s で無次元化した曲線を、各歪速度についてまとめたものが Fig. 5 (a)～(f) である。各歪速度で実験された 5 本の無次元化応力-歪関係から、同じ歪値に対する応力の平均値を算定し平均無次元化応力 (σ/F_c)-歪 (ϵ/ϵ_c) 関係を求めたものが Fig. 6 であり、それらの曲線に各歪速度でなされた実験から得られた平均最大応力度と最大応力時の歪の平均値を与えて描かれた応力-歪関係の平均曲線が Fig. 7 に示されている。直径 150mm の円柱形供試体の静的圧縮試験について、得られた応力-歪関係を Fig. 8 に、無次元化された平均曲線を Fig. 9 に、そしてその曲線に平均最大応力度及び平均歪を与えて描かれた応力-歪平均曲線を Fig. 10 に示す。Fig. 9 及び Fig. 10 には直径 50mm の試験体の準静的載荷 (0.00002/sec) の結果を示して比較した。各試験体の最大応力度を差動トランスのデータによる制御歪速度の対数値に対してプロットしたものが Fig. 11 である。図中の $\times$ 印は各歪速度における実験値の平均を示し、破線は実験結果を最小二乗法によって直線回帰させたものである。Fig. 12 は各試験体の最大応力時の歪と歪速度との関係

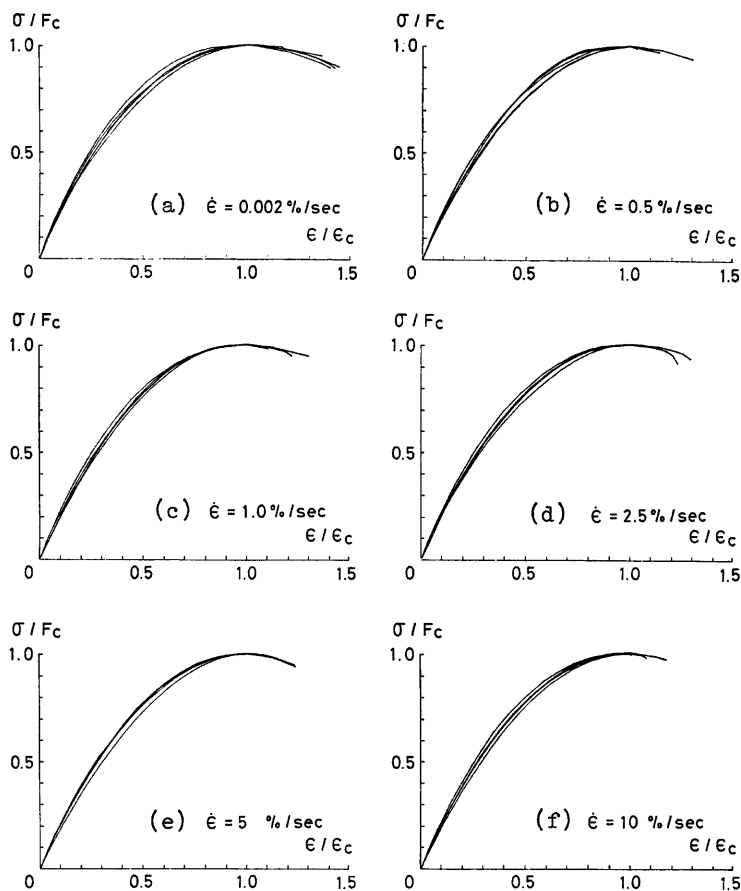


Fig. 5 Normalized Stress-Strain Curves of Concrete

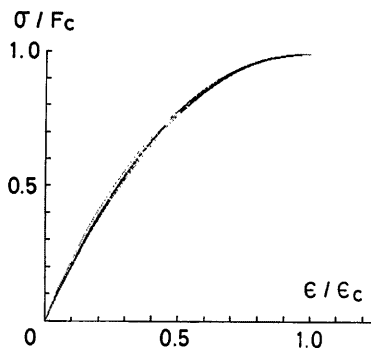


Fig. 6 Normalized Curves

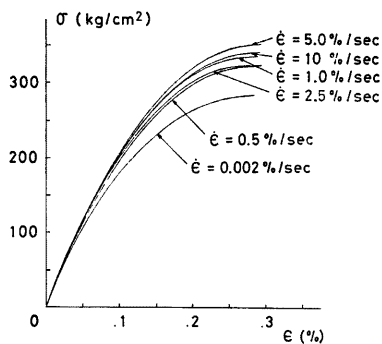


Fig. 7 Average Curves

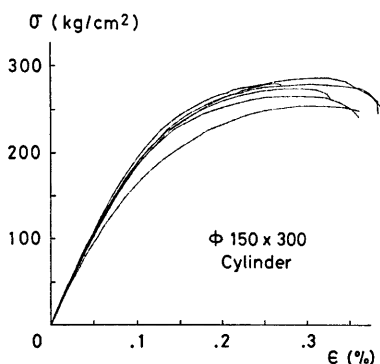


Fig. 8 Stress-Strain Curves from Static Tests

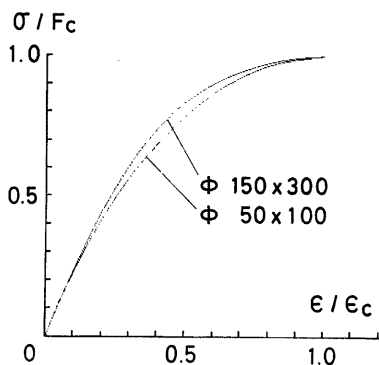


Fig. 9 Average Curves from Static Tests

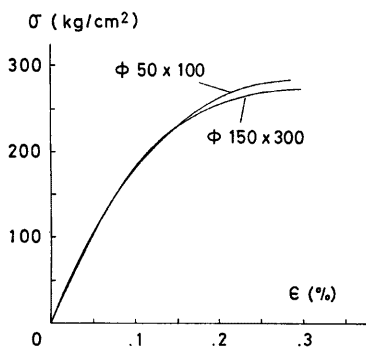


Fig. 10 Average Curves from Static Tests

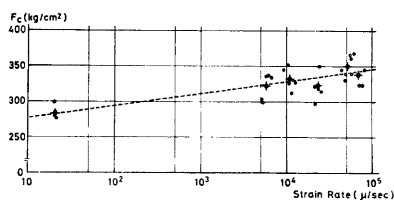


Fig. 11 Maximum Stress versus Strain Rate Diagram

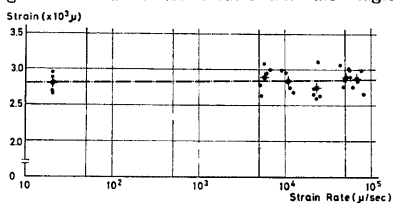


Fig. 12 Strain at Maximum Stress versus Strain Rate Diagram

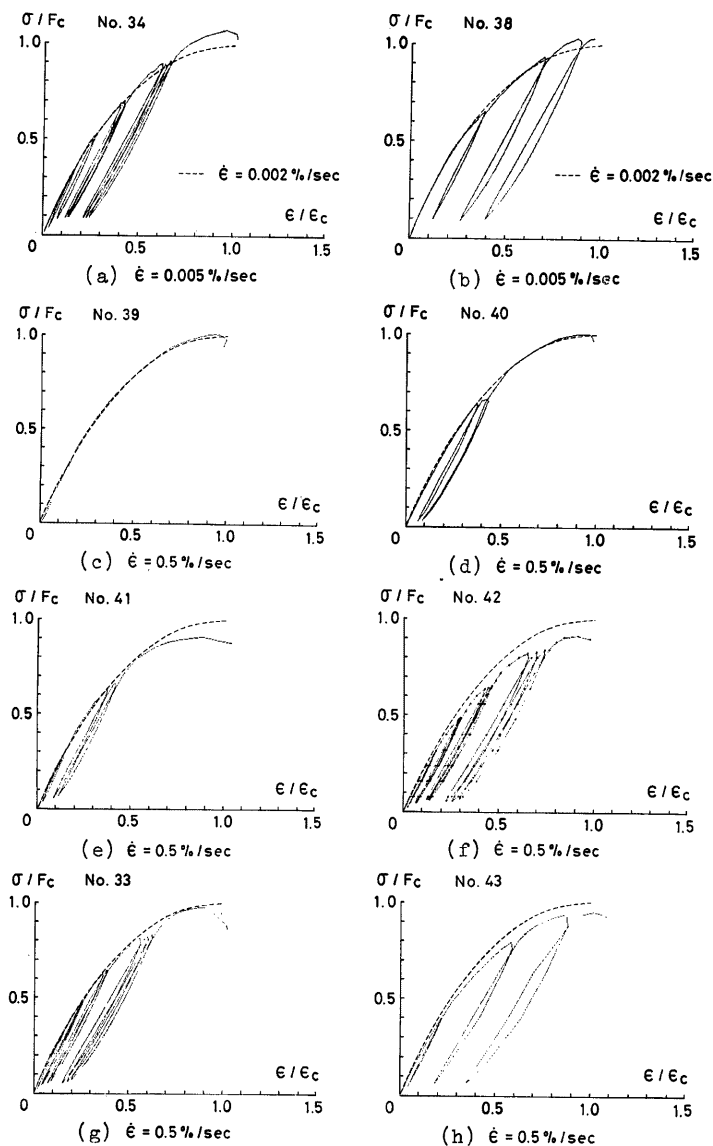


Fig. 13(1) Stress-Strain Curves of Concrete under Repeated Loading

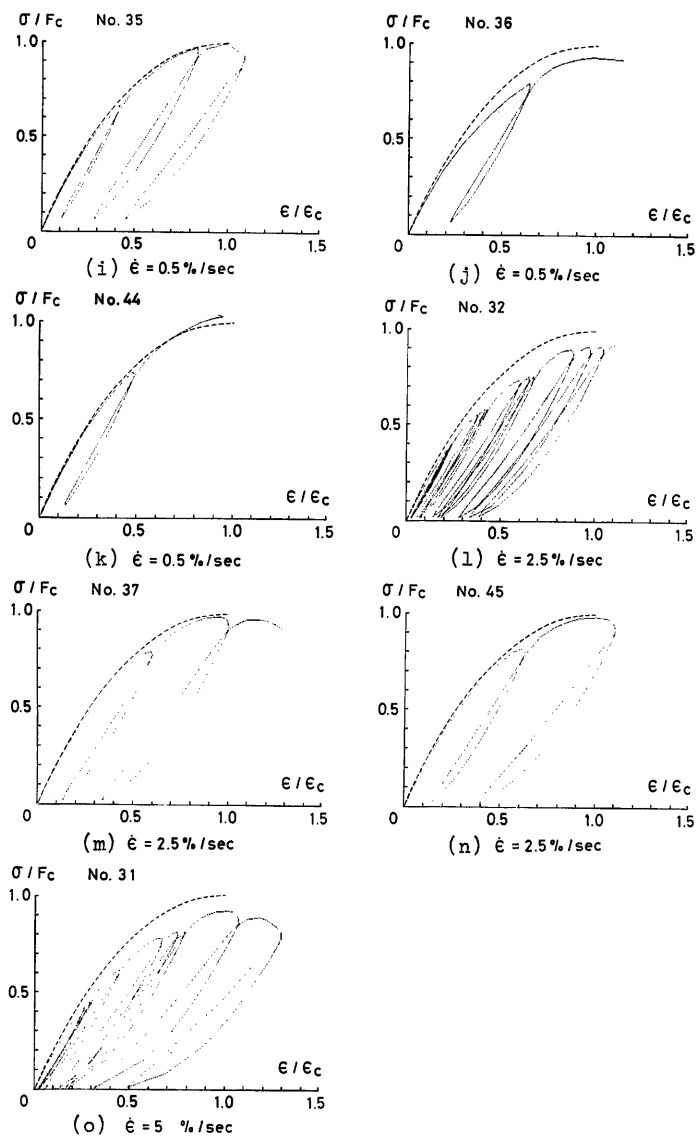


Fig. 13(2) Stress-Strain Curves of Concrete under Repeated Loading

を示している。

繰り返し載荷実験の応力-歪関係を Fig. 13 (a)~(o) で、同一の歪速度での単調載荷実験の平均最大応力度 F 、及び最大応力時の歪の平均値 ϵ_s で無次元化して示されている。図中の破線は単調載荷時の平均応力-歪関係である。

3.2 鉄 筋 丸鋼及び異形鋼の実験結果をそれぞれ Table 4 及び Table 5 に示す。丸鋼の応力は測定された断面積を用いて計算されているが、異形鋼の応力は公称断面積 (1.27 cm²) を用いて得られた。実験で作用した歪速度・荷重速度は Fig. 14 (a)~(c) のようになっている。差動トランスによる制御歪速度はほぼ一定で設定値によく一致しており、最高速載荷時に若干のふらつきが見られた程度である。各歪速度に対する応力-歪関係を Fig. 15 (a)~(h) に示す。歪速度及び歪は、破断歪を除いて、差動トランスにより測定された上下つかみ部鋼板間の変位から計算された。単調載荷実験により得られた丸鋼の応力-歪曲線の降伏棚及び歪硬化開始領域における歪速度の影響の比較を Fig. 16 に示す。歪速度と上部降伏応力度・下部降伏応力度・終局引張強度・弾性係数・歪硬化開始時の歪及び破断歪との関係をそれぞれ Figs. 17, 18, 19, 20, 21, 22 に示す。各図の (a) は丸鋼、(b) は異形鋼の実験結果である。弾性係数は歪ゲージによる歪と荷重との関係から求められ、破断歪は標点距離を直径の 8 倍としたときの伸び率をとった。図中の◆印は各歪速度における平均であり、破線は最小二乗法による回帰直線である。

Table 4. Test Results of Round Bars

Nominal Strain Rate (%/sec)	Specimen Number	Strain Rate (%/sec)	Sectional Area (cm ²)	Loading Type	Elastic Modulus (t/cm ²)	Stress (t/cm ²)			Strain** (%)	
						Upper Yield	Lower Yield	Ultimate	ϵ_{sh}	ϵ_b
0.005	4	0.0052	1.28	M	2010	3.42	3.30	5.00	2.11	31.3
	13	0.0053	1.29	M	1980	3.39	3.24	4.85	2.08	30.1
	10	0.0054	1.29	R	1960	3.48	3.22	—	2.17	—
	3	0.0101	1.28	M	—	3.53	3.42	—	1.90	—
0.5	1	0.486	1.28	M	2040	3.76	3.52	5.10	2.23	28.4
	14	0.509	1.29	M	1970	3.60	3.42	4.84	2.39	28.6
	7	0.452	1.29	R	2010	3.70	3.50	5.02	1.98	27.2
	8	0.507	1.29	R	1980	3.76	3.60	4.99	2.17	—
	9	0.535	1.29	R	1920	3.71	3.54	4.86	2.65	28.9
5.0	2	4.59	1.29	M	2060	3.92	3.74	5.12	2.96	31.5
	15	5.29	1.28	M	1940	4.00	3.81	5.06	2.98	32.5
	6	4.73	1.30	R	2020	3.80	3.72	5.05	2.79	31.5
	11	4.21	1.30	R	1900	3.85	3.66	5.08	2.85	30.1
10.0	5	9.08	1.28	M	2040	4.07	3.91	5.21	3.21	31.1
	16	10.00	1.30	M	1960	3.85	3.66	4.60	3.02	29.5
	12	9.98	1.29	R	1980	3.91	3.79	5.11	2.94	30.6

* M : monotonic loading, R : repeated loading

** ϵ_{sh} : strain at beginning of strain-hardening

ϵ_b : strain at breakage

Table 5. Test Results of Deformed Bars

Nominal Strain Rate (%/sec)	Specimen Number	Strain Rate (%/sec)	Loading* Type	Elastic Modulus (t/cm ²)	Stress (t/cm ²)			Strain** (%)	
					Upper Yield	Lower Yield	Ultimate	$\epsilon_{s,h}$	ϵ_b
0.005	19	0.0053	M	1780	3.10	2.85	4.93	1.45	28.3
	20	0.0056	M	1730	3.01	2.89	5.00	1.36	29.0
	21	0.0051	R	1730	3.05	2.94	5.01	1.18	29.5
	22	0.0055	R	1740	3.05	2.91	4.83	1.40	29.4
0.5	23	0.521	M	1690	3.21	3.05	4.86	1.61	27.3
	24	0.585	M	1810	3.31	3.12	4.98	1.53	27.4
	25	0.547	R	1780	3.19	3.08	—	1.57	—
	26	0.525	R	1740	3.24	3.10	4.99	1.50	28.0
5.0	27	5.43	M	1750	3.52	3.42	5.19	1.68	28.0
	28	5.43	M	1710	3.51	3.38	5.22	1.77	30.9
	29	4.06	R	1780	3.49	3.36	—	2.08	—
	30	5.60	R	1790	3.60	3.47	5.19	1.89	31.5
10.0	31	9.18	M	1700	3.73	3.40	5.30	1.81	28.2
	32	9.55	M	1690	3.53	3.32	5.06	1.83	27.4
	33	8.96	R	1790	3.72	3.42	5.24	1.66	29.2
	34	8.42	R	1780	3.64	3.49	5.21	1.99	30.6

* M : monotonic loading, R : repeated loading

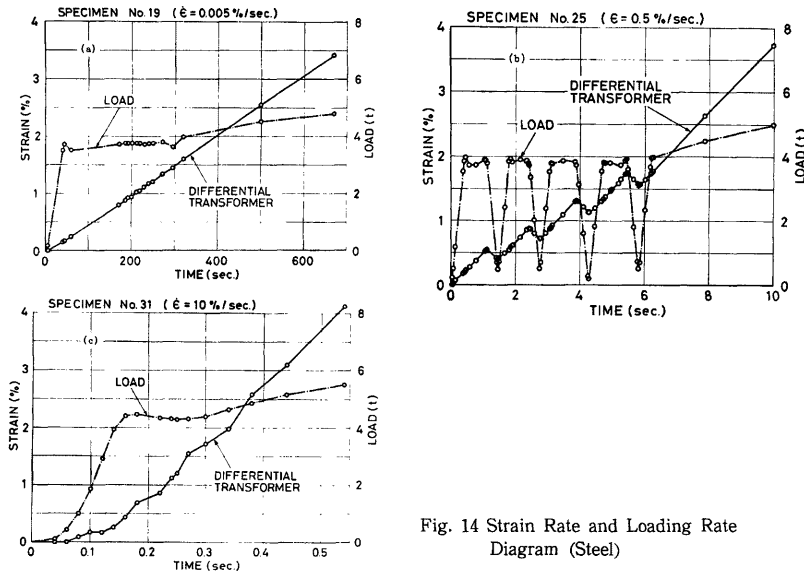
** $\epsilon_{s,h}$: strain at beginning of strain-hardening ϵ_b : strain at breakage

Fig. 14 Strain Rate and Loading Rate Diagram (Steel)

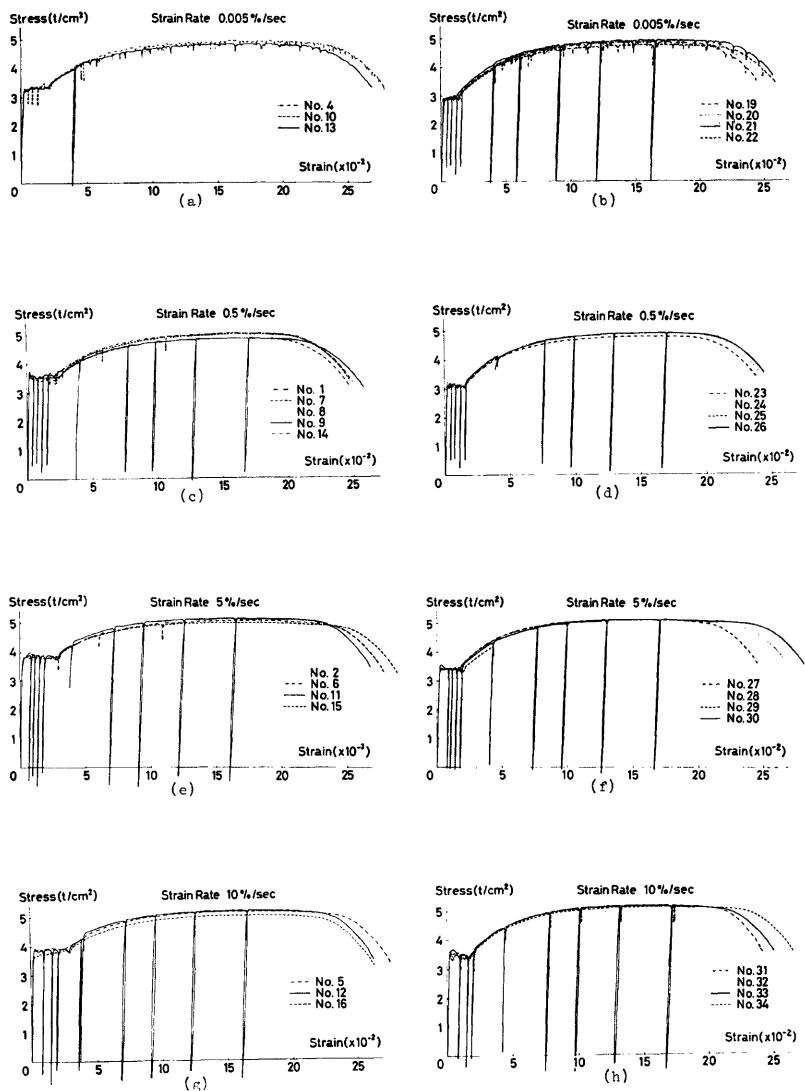


Fig. 15 Stress-Strain Curves of Steel Bars

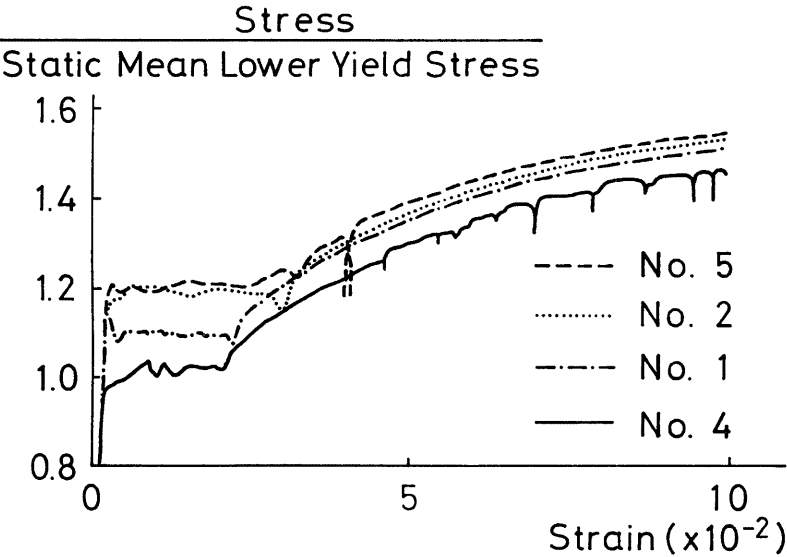


Fig. 16 Stress-Strain Curves of Steel Bars near Yield Plateau Region

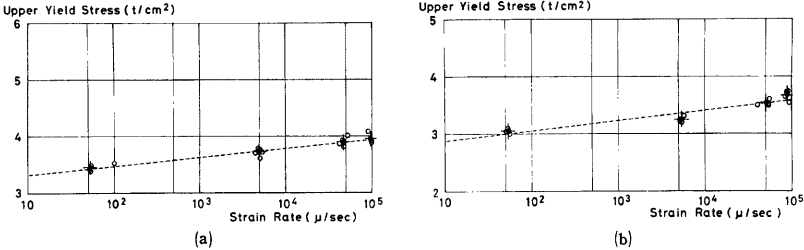


Fig. 17 Upper Yield Stress versus Strain Rate Diagram

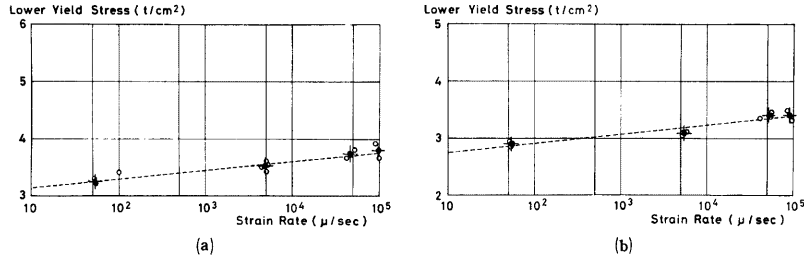


Fig. 18 Lower Yield Stress versus Strain Rate Diagram

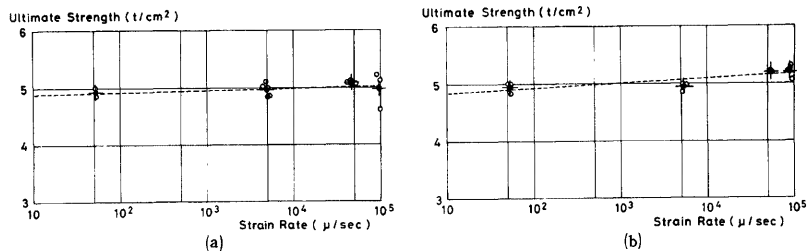


Fig. 19 Ultimate Strength versus Strain Rate Diagram

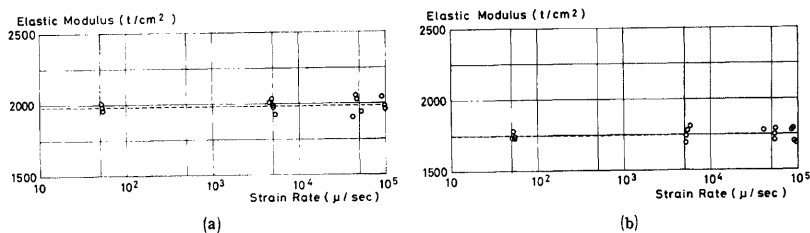


Fig. 20 Elastic Modulus versus Strain Rate Diagram

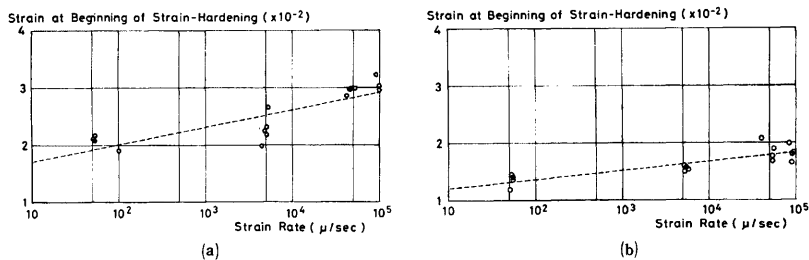


Fig. 21 Strain at Beginning of Strain-Hardening versus Strain Rate Diagram

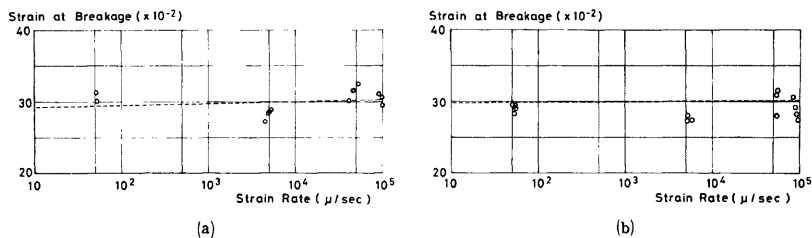


Fig. 22 Strain at Breakage versus Strain Rate Diagram

4. 考 察

4.1 コンクリート 単調載荷実験結果から、歪速度の増大につれて最大応力度が上昇する傾向が顕著である。歪速度が大きくなると応力のばらつきが静的載荷時よりも大きくなり、同一歪速度に対する応力-歪曲線は Fig. 4 に見られるように最大応力度付近である幅をもつことになる。しかしながら、これらの曲線をその最大応力度と最大応力時の歪で無次元化すると、Fig. 5 のようにその幾何学的な形状はよく一致し、Fig. 6 の平均応力-歪関係から歪速度はほとんど形状に差異を与えないことがわかる。平均最大応力度は、準静的載荷時の応力を 1 とすると、歪速度 $\dot{\epsilon}=0.005/\text{sec}$ で14%、 $\dot{\epsilon}=0.05/\text{sec}$ で24%の上昇が認められた。しかし最大応力到達時の歪は、Fig. 12 のように多少のばらつきが見られるが、それらの平均値については歪速度の影響は認められない。従って最大応力点までの平均応力-歪関係を比較すると、Fig. 7 のように応力について歪速度の影響が大きく現れる形となる。動的載荷の場合には歪ゲージが最大応力到達直後あたりで剥離し歪の計測は不可能になった。

繰り返し載荷時にも、単調載荷時と同程度に、歪速度の増大につれて最大応力度が上昇する。しかし繰り返し載荷時の応力は多くの場合単調載荷時の応力を越えることがない。最大応力の 2/3 程度以下の応力域における 5～10 回程度の繰り返しでは応力-歪関係の包絡線に影響を与えないが、更に高応力下においては繰り返し数が増すと共に歪が徐々に蓄積されていく傾向が認められる。

4.2 鉄 筋 上部降伏応力度及び下部降伏応力度は歪速度が増大するに従って上昇する。平均下部降伏応力度は準静的載荷時に比べ、丸鋼では歪速度 $\dot{\epsilon}=0.005/\text{sec}$ のとき 8 % の上昇、 $\dot{\epsilon}=0.10/\text{sec}$ のとき16% の上昇となっており、異形鋼では $\dot{\epsilon}=0.005/\text{sec}$ のとき 7 % の上昇、 $\dot{\epsilon}=0.10/\text{sec}$ のとき18% の上昇が認められた。上部降伏応力度の上昇率は丸鋼・異形鋼ともそれぞれの下部降伏応力度の上昇率とほぼ同じである。歪硬化開始時の歪は歪速度の増大に伴う降伏応力度の上昇に依存して大きくなる。歪硬化域に入ると、動的な載荷による応力の上昇は降伏棚域における上昇率ほど大きくなく、終局引張強度は準静的載荷時の強度に比してただか 3 % (丸鋼) から 5 % (異形鋼) の上昇を示す程度である。破断時の歪は実験結果にばらつきが大きい、歪速度の影響は明瞭には現れていない。弾性係数についても歪速度の影響は明らかではない。従って動的な載荷がなされると、降伏棚域では応力度が上昇すると共に歪硬化開始時の歪が増大するが、歪硬化域に入ると地震時に作用すると考えられる程度の歪速度での加力が材料特性に与える影響は小さいと結論することができる。

繰り返し載荷時の挙動は単調載荷時に比べて大きな差異はなく、降伏棚域においても歪硬化域においても繰り返し時の応力-歪関係の包絡線は単調載荷時の曲線とほぼ同様の材料特性を示すことが認められた。

4.3 既往のデータとの比較 コンクリートの圧縮強度、鉄筋の上部降伏応力度及び下部降伏応力度のそれぞれの準静的載荷時の応力に対する比と歪速度との関係について、本実験結果と参考資料¹⁹⁻⁴⁾の値との比較が Fig. 23 (a)～(c) でなされている。各資料にはばらつきが見られるが、本実験結果もほぼ同様の特性を示していることがわかる。

5. 結 論

得られた実験結果から次の結論が導かれる。

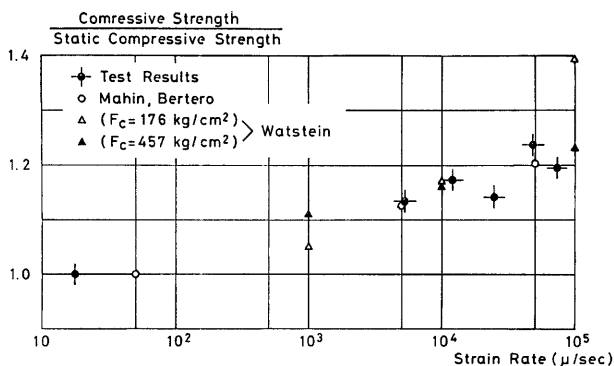
5.1 コンクリート (1) 最大応力度は歪速度が増大するにつれて上昇する。

(2) 最大応力時の歪は歪速度の影響をほとんど受けない。

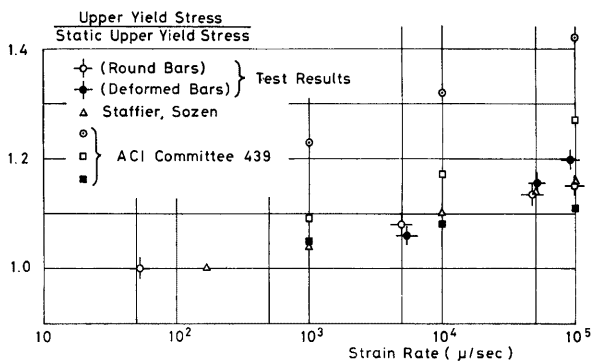
(3) 無次元化された応力-歪曲線の形状は歪速度に影響されない。

(4) 圧縮強度の約 2/3 以下の応力下における繰り返し載荷は応力-歪関係の包絡線に影響を与えない。しかし更に高応力下においては繰り返し数の増大につれて徐々に歪が蓄積する傾向を示す。

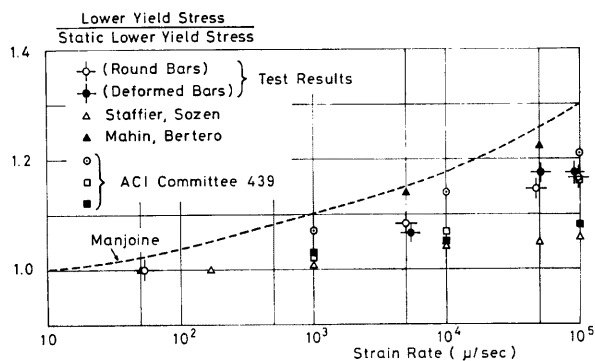
5.2 鉄 筋 (1) 上部及び下部降伏応力度は歪速度が増大するにつれて上昇する。応力の上昇率は丸鋼と異形鋼の両方ともほぼ同一である。



(a) Compressive Strength of Concrete



(b) Upper Yield Stress of Steel



(c) Lower Yield Stress of Steel

Fig. 23 Comparison with Reference Data

- (2) 歪硬化開始時の歪は歪速度による降伏応力度の増大に依存して大きくなる。
- (3) 歪速度は、弾性係数、引張強度、及び破断時の歪にほとんど影響を与えない。
- (4) 繰り返し載荷時の応力-歪関係の包絡線は、降伏棚域及び歪硬化域の全域にわたって単調載荷時の曲線とほとんど一致する。

謝 辞

本実験でコンクリート試験体の製造及び恒温室における養生等に関して、大阪工業大学建築学教室諸氏の御便宜を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。本研究は昭和52年度及び53年度文部省科学研究費補助金・一般研究(C)「動的繰り返し力を受ける構造部材の曲げ及びせん断破壊挙動に関する基礎的研究」(研究代表者・若林実)に依るもので、その基礎実験として行われたものである。

参 考 文 献

- 1) Mahin, S. A. and Bertero, V. V., "Rate of Loading Effects on Uncracked and Repaired Reinforced Concrete Members," Earthquake Engineering Research Center Report No. EERC 72-9, Berkeley, Dec. 1972.
- 2) ACI Committee 439, "Effect of Steel Strength and of Reinforcement Ratio on the Mode of Failure and Strain Energy Capacity of Reinforced Concrete Beams," Journal of the ACI, Vol. 66, No. 3, Mar. 1969, pp. 165-173.
- 3) Staffier, S. R. and Sozen, M. A., "Effect of Strain Rate on Yield Stress of Model Reinforcement," Civli Engineering Studies, Structural Research Series No. 415, University of Illinois, Feb. 1975.
- 4) Manjoine, M. J., "Influence of Rate of Strain and Temperature on Yield Stress of Mild Steel," Journal of Applied Mechanics, Vol. 11, Dec. 1944.