RC 無開口耐震壁の履歴性状に及ぼす載荷速度の影響

EFFECT OF LOADING RATE ON HYSTERESIS RESPONSE OF R/C FRAMED SHEARWALLS

松岡良智*, 江崎文也**, 小野正行***

Yoshinori MATSUOKA, Fumiya ESAKI and Masayuki ONO

In order to investigate the effect of loading rate on the hysteresis response of R/C framed shearwalls (hereafter referred to as Shearwall), we conducted the lateral loading tests on the 1/4 scale model shearwalls. The specimens were subjected to the reversed cyclic lateral load under a constant axial load. The experimental variables included in the test series were loading rates, failure modes and loading path. The flexural yielding failure mode and the shear failure mode were planned. The increase rate of lateral load carrying capacity due to the increase of the loading rate was larger in shear failure mode than in flexural yielding mode.

keywords : R/C, shear wall, loading rate, failure mode, loading path

鉄筋コンクリート, 耐震壁, 載荷速度, 破壊モード, 履歴パス

1. 序

地震力のような比較的高速度の動的荷重を受ける鉄筋コンクリート造(以下, *RC*と略す)建築物を構成している構造部材は, 大きなひずみ速度で変形をすると考えられる。したがって, 1960 年以降, コンクリートや鉄筋の力学的性質に及ぼすひずみ速度の影響, および梁や柱などの線材部材の力学的性状に及ぼす載荷速度の影響に関する研究が行われるようになった。

小谷りは, 1983 年までの既往の研究成果をまとめているが, その後も載荷速度の影響に関する実験的研究は継続されている²⁾⁻¹³⁾。これらの研究によると, コンクリート圧縮強度, 弾性係数および鋼材の降伏強度はひずみ速度の対数値に比例して増大すること, 梁・柱部材に関しては, その初期剛性, せん断ひび割れ荷重および水平せん断耐力が増大することなど, 静的載荷実験で得られた力学的性状とは著しく異なることなどが明らかにされている。

主要な耐震要素として採用されている *RC* 耐震壁(以下, 耐震壁と言う)の載荷速度の影響に関する実験的研究は 1970 年代に深田¹⁴⁾, 志賀ら¹⁵⁾, 次いで 1990 年末から水野ら¹⁶⁾, 望月ら¹⁷⁾により報告され, 水平せん断耐力や耐力低下率および劣化率は載荷速度の影響と繰返しの影響を受けることなど, 耐震壁の力学的性状に及ぼす影響の一端を明らかにしている。また, 著者らは *RC* の周辺フレームに組み込まれた耐震壁と鋼板の周辺フレームで拘束した壁板要素試験体により, 静的載荷実験で載荷されている程度の載荷速度を基準として側柱主筋とコンクリート壁板のひずみ速度上昇率や水平せん断耐力

上昇率を報告している¹⁸⁾⁻²⁰⁾。

耐震壁のような面材部材に関する実験的研究は, 最近ようやく端緒についた状況であり, 耐震壁の力学的性状に及ぼす載荷速度の影響を明らかにすることも, また耐震設計上急務の課題といえる。そこで, 耐震壁の力学的挙動に及ぼす載荷速度の影響を検討するために, 載荷速度を一定に保持しながら試験体に水平力を載荷し, 載荷中に連続的に荷重および変位を測定できる装置を用いて一定軸力下の変位漸増一方向単調載荷と正負交番繰返し載荷の水平力載荷実験を計画した。

本論は, 載荷速度と破壊モード, および履歴パスを実験変動因子とし, 耐震壁の水平せん断耐力や破壊性状に及ぼす載荷速度の影響について検討を行ったものである。

2. 実験概要

(1) 試験体

図 1 に実物大の約 1/4 の大きさの試験体の形状および配筋, 表 1 に試験体一覧および使用した材料の力学的性質を示す。なお, 付帯ラーメンの断面形状は, *RC* 規準の 18 条の付帯ラーメンの断面形状に関する推奨条件²¹⁾を満たしているものである。また, 試験体は, 曲げ破壊による水平せん断耐力 Q_{uf} ²²⁾, およびせん断破壊による水平せん断耐力 Q_{us} ²³⁾の各算定式を用いて求めたせん断余裕度 Q_{us}/Q_{uf} が 1.5 程度の曲げ破壊先行試験体シリーズと 0.7 程度のせん断破壊先行試験体シリーズについて計画した。試験体には, $F[S]cWt-g$

* 近畿大学工業高等専門学校 講師・工修

** 福岡大学 教授・工博

*** 近畿大学 名誉教授・博士(工学)

Research Assoc., Technical College, Kinki University, M. Eng.

Prof., Fukuoka University, Dr. Eng.

Emeritus Prof., Kinki University, Dr. Eng.

V_R の記号をつけ F は曲げ破壊先行試験体、 S はせん断破壊先行試験体、 c は制御変位における繰返し数、 W は壁板、 t は壁板の厚さ、 g は柱主筋比 (%), V_R は上梁下端の相対水平変位 (δ) を側柱内法高さ (h) で除した層間変形角 ($R=\delta/h$) のおよその計画載荷速度の値 (%/s) である。

(2) 載荷方法および載荷プログラム

図 2 に示す載荷装置は、水平方向と鉛直方向に設置されている 3 本のアクチュエータを同時に制御できる装置である。本載荷装置により、試験体の両側柱にそれぞれ一定軸力 110kN を載荷して、水平力を載荷した。荷重制御により載荷した一定軸力 110kN は、剛な上梁下端中央部において制御する水平方向変位 (R が 3% まで) と側柱の鉛直方向変位 (伸縮量が 5cm まで) が增大しても実験終了時まで 110kN が保持されるように制御した。一定軸力載荷後は、図 3 に示す計画載荷プログラムにより変位漸増一方向単調載荷と変位漸増正負交番繰返し載荷の水平力を載荷した。正負繰返し載荷実験では、各サイクルにおける最大荷重時には変位が反転し、載荷速度が 0 となっていることから、水平せん断耐力時以降の速度依存の影響を明らかにするために、一方向単調載荷実験を行った。水平力は、図 4 に示す剛な上梁下端中央部に設置した水平変位制御用変位計による

変位制御載荷である。水平力の載荷速度は従来から行われている静的載荷実験で載荷されている程度の層間変形角速度 $V_R=0.014\%/s(0.01\text{cm/s})$ を基準の計画速度として、その基準の計画速度のほぼ 100 倍の $1.4\%/s$ と実際の地震時の応答速度に近い $9\%/s$ を計画載荷速度とした。実験時のそれぞれの載荷速度は、図 3 に示した傾斜角 $V_R=(R/s)$ である。

(3) 測定方法

図 4 に変位測定装置を示す。基礎梁に予め埋め込んだボルトにて固定した変位測定用フレームに取り付けた高感度変位計にて試験体各部の変位を、また、主筋の表面に貼付したゲージにて側柱脚部の主筋のひずみを、それぞれ測定した。各測定値は $V_R=0.014\%/s$ の場合は 0.2s, $V_R=1.4\%/s$ の場合は 0.002s, $V_R=9\%/s$ の場合は 0.0005s の

図 2 載荷装置

図 1 曲げ破壊モード試験体形状及び配筋

図 3 計画載荷プログラム

表 1 試験体一覧および使用材料の力学的性質

No.	試験体名	柱				壁		種類	鉄筋				コンクリート					
		柱断面 B×D mm×mm	柱主筋 主筋 P _s (%)	帯筋 径-間隔 P _w (%)		壁厚 t mm×mm	壁筋 径-間隔 P _s (%)		降伏強度 σ _y (MPa)	引張強度 σ _u (MPa)	ヤング係数 E _s (GPa)	伸び ε %	圧縮強度 σ _B (MPa)	引張強度 σ _t (MPa)				
1	F0W5-1.3-0.014	150×150	4-D10 1.26	4φ—@50 0.33	50	縦・横共 シングル 4φ—@50 0.5												
2	F0W5-1.3-1.4						D10 4φ	334 178	473 289	176 120	15.8 -	32.8	3.2					
3	F1W5-1.3-0.014						D10	375	528	178	21.6							
4	F1W5-1.3-1.4						4φ	237	315	114	24.0							
5	F1W5-1.3-9		D10 4φ				325 185	459 294	182 126	29.4 35.8	24.2			2.2				
6	S0W5-3.4-0.014		6-D13 3.4				D13 4φ	361 178	505 289	182 120		17.8 -	26.5		3.0			
7	S0W5-3.4-1.4																	
8	S1W5-3.4-0.014															D13	350	514
9	S1W5-3.4-1.4										4φ			160		301	131	37.7
10	S1W5-3.4-9										D13 4φ			360 185		502 294	178 126	18.9 35.8

注) 鉛直荷重: 110kN

各サンプリング間隔でハードディスクに取り込み、記録した。ひび割れの記録はビデオカメラなどによる写真撮影によった。

3. 実験結果

(1) 破壊性状および履歴性状

図5に水平力 Q と層間変形角 R の関係、平均せん断応力度 $\tau (=Q/tl, Q$: 水平力, t : 壁厚, l : 壁長) と R の関係の包絡線、 Q と R の時刻歴、および実験終了時の破壊状況を示す。図5中の R_b は限界変形角で、 $0.8Q_{max}$ (Q_{max} は水平せん断耐力) の破線の水平線との2つの交点のうち大きい方の変形角の値である。

本論では、耐震壁の破壊性状を分類する際、破壊モードを用いる。耐震壁の破壊モードは、水平耐力時の層間変形角とせん断余裕度の範囲によりせん断破壊モード、曲げ・せん断破壊モード、および曲げ破壊モードに区分され、その判別式が提案されている²⁴⁾。こ

れは水平せん断耐力以降、どれだけ変形可能かで規定される耐震性能の指標を示すものであるが、この判別式は曲げやせん断耐力の算定を必要とするものである。

図4 変位測定装置

F0W5-1.3-0.014

F1W5-1.3-0.014

図5 a 曲げ破壊先行シリーズの水平力 Q - 層間変形角 R の履歴曲線、平均せん断応力度 τ - R の関係の包絡線、 Q - R の時刻歴、および実験終了時の破壊状況

図 5 b 曲げ破壊先行シリーズの水平力 Q - 層間変形角 R の履歴曲線，平均せん断応力度 τ - R の関係の包絡線， Q - R の時刻歴，および実験終了時の破壊状況

せん断耐力算定式の精度を考慮すると必ずしも実際の破壊モードと対応していない場合もあることから、本論文での破壊モードは、上述で定義した限界層間変形角 R_b の値を用いて、 $R_b \geq 1.0\%$ の時を曲げ破壊モード、 $R_b < 1.0\%$ の時をせん断破壊モードとし、実際の Q - R 曲線の性状に合わせて定義した。

全試験体とも荷重速度は計画した速度とほぼ一致した。しかし、図 6 に示すように荷重速度が $V_R=9\%/s$ の試験体は、両側柱に荷重した一定軸力 $110kN$ が若干変動しているが、各サイクルのピーク時付近では一定軸力 $110kN$ を保持しているとみなせる。曲げ破壊先行シリーズ試験体の場合、いずれの試験体とも曲げ降伏が先行し、降伏後水平変形が増大しても R_b が 2% 近傍まで水平荷重が大きく低下することのない典型的な曲げ破壊の安定した履歴曲線を示した。 V_R が $0.014\%/s$ と $1.4\%/s$ の試験体の履歴性状についてみると、一方向単調荷重のほうが同一変形時における水平荷重が多少大きくなるが、履歴パスの違いが荷重変形履歴曲線に及ぼす顕著な影響はみられな

い。これは、水平せん断耐力が側柱の主筋の降伏点強度に依存しているため、壁板のせん断応力度が小さくなり、その結果、繰返しによる壁板コンクリートの損傷が拡大しなかったことによるものである。一方向および繰返し荷重の破壊モードは R_b の値から曲げ破壊モードである。

せん断破壊先行シリーズの場合、いずれの試験体とも水平せん断耐力に達した後は、壁板のスリップ状せん断破壊により急激に水平荷重が低下した。 V_R が $0.014\%/s$ と $1.4\%/s$ の繰返し荷重試験体の破壊モードは R_b の値からせん断破壊モードであり、 V_R が $9\%/s$ の試験体は、 R_b が 1% をわずかに超える曲げ破壊モードの破壊性状を示した。これは実際の地震時のように荷重速度が速くなると計画した破壊モードと異なることを示唆している。一方向単調荷重試験体では、正負繰返し荷重時にはみられなかった側柱主筋が水平耐力近傍で降伏を起こして、一時水平荷重を維持する履歴性状を示し、 R_b が 1 より大きくなる曲げ破壊モードを示した。これは、一方向単調荷重の

S0W5-3.4-0.014

S1W5-3.4-0.014

図 5 c セン断破壊先行シリーズの水平力 Q -層間変形角 R の履歴曲線，平均せん断応力度 τ - R の関係の包絡線， Q - R の時刻歴，および実験終了時の破壊状況

図 5 d セン断破壊先行シリーズの水平力 Q -層間変形角 R の履歴曲線，平均せん断応力度 τ - R の関係の包絡線， Q - R の時刻歴，および実験終了時の破壊状況

図6 一定軸力110KN($N_{右}$, $N_{左}$)の変動

場合には壁板コンクリートの水平抵抗性能が正負繰返し载荷の場合よりも低下しなかったためと考えられる。壁板のせん断破壊後は、側柱もかなりの損傷を受けたが、一定軸力の支持能力は維持された。履歴性状についてみると、一方向単調载荷のほうが同一変形時における水平荷重が大きくなり、水平せん断耐力時の変形も大きくなる。せん断破壊先行試験体では、履歴パスが荷重変形履歴曲線に影響を及ぼしていると言える。これは、水平せん断耐力が壁板コンクリートの圧縮強度に依存していることから、壁板のせん断応力度が大きくなると、繰返しにより壁板コンクリートの損傷が徐々に進行し、その水平抵抗性能が低下するためと考えられる。

(2) ひずみ速度と水平せん断耐力の関係

载荷速度が速くなると曲げ破壊先行試験体もせん断破壊先行試験体ともに水平せん断耐力が上昇している。鉄筋およびコンクリートの材料強度に及ぼすひずみ速度の影響を考慮した既往の提案式(1)式²⁵⁾および(2)式²⁶⁾より各試験体の水平せん断耐力上昇率を(3)式および(4)式で求めた。

$$\frac{D\sigma_y}{s\sigma_y} = 1.39 + 0.1577 \log \dot{\varepsilon} + 0.01577 \left(\log \dot{\varepsilon} \right)^2 = f_y(\dot{\varepsilon}) \quad (1)$$

$$\frac{D\sigma_c}{s\sigma_c} = 1.59 + 0.224 \log \dot{\varepsilon} + 0.021 \left(\log \dot{\varepsilon} \right)^2 = f_c(\dot{\varepsilon}) \quad (2)$$

FIW5-3.4-9

SIW5-3.4-9

ε' : 主筋および壁板のひずみ速度

図7 主筋と壁板のひずみの履歴

$${}_{cal}\alpha_{Qs} = \frac{f_y(\dot{\varepsilon})}{f_y(\dot{\varepsilon}_0)} \quad (3)$$

$${}_{cal}\alpha_{Qw} = \frac{f_c(\dot{\varepsilon})}{f_c(\dot{\varepsilon}_0)} \quad (4)$$

ここに、

$D\sigma_y$ = 鉄筋のひずみ速度 ε mm/mm/s における降伏点応力度

$s\sigma_y$ = 静的载荷時の鉄筋の降伏点応力度

$D\sigma_c$ = ε 時のコンクリートの圧縮強度

$s\sigma_c$ = 静的载荷時のコンクリートの圧縮強度

$\dot{\varepsilon}$ = 各試験体のひずみ速度

$\dot{\varepsilon}_0$ = 基準試験体 (载荷速度 $R = 0.014\%/s$) のひずみ速度

${}_{cal}\alpha_{Qs}$ = 主筋のひずみ速度から求めた水平せん断耐力上昇率

${}_{cal}\alpha_{Qw}$ = 壁板のひずみ速度から求めた水平せん断耐力上昇率

側柱脚部の主筋のひずみ ε_s と壁板の対角線方向圧縮ひずみ ε_w の履歴の一例を図7に示しているが、主筋の引張ひずみ速度と壁板の圧縮ひずみ速度は水平せん断耐力近傍での平均ひずみ速度として求めた。

本論では、実験値の水平せん断耐力上昇率 ${}_{ex}\alpha_{tu}$ 、载荷速度の速度比 ${}_{ex}\alpha_{VR}$ 、主筋と壁板のひずみ速度上昇率 ${}_{ex}\alpha_{s'}$ 、 ${}_{ex}\alpha_{w'}$ 、主筋と壁板のひずみ速度から求めた(3)式および(4)式より求めた水平せん断耐力上昇率算定値 ${}_{cal}\alpha_{Qs}$ 、 ${}_{cal}\alpha_{Qw}$ は、载荷速度 $0.014\%/s$ の各値を基準として、载荷速度 $1.4\%/s$ 、 $9.0\%/s$ 時の各値を除いて求めたものである。なお、各試験体の材料強度に多少のバラツキがあるが载荷速度を変化させた各シリーズは原則同一の材料強度としている。表2に実験結果および算定値を示す。図8に ${}_{ex}\alpha_{s'}$ 、 ${}_{ex}\alpha_{w'}$ と ${}_{ex}\alpha_{VR}$ の関係、図9に実験値の ${}_{ex}\alpha_{tu}$ と ${}_{cal}\alpha_{Qs}$ 、 ${}_{cal}\alpha_{Qw}$ の関係を示す。

試験体を構成している側柱主筋のひずみ速度とコンクリート壁板の対角線方向の圧縮ひずみ速度は载荷速度に比例して大きくなる。その結果、耐震壁の水平せん断耐力が上昇することになる。表2に示すように、主筋のひずみ速度は、せん断破壊先行試験体よりも曲げ破壊先行試験体のほうが速く、壁板のひずみ速度は、曲げ破壊先行試験体よりせん断破壊先行試験体のほうが若干速くなった。本実験では、破壊モードや履歴パスが異なっても算定値の水平せん断耐力上昇率は、主筋のひずみ速度による上昇率よりも壁板のひずみ速

図 8 荷重速度の速度比とひずみ速度の関係

図 9 実験値と算定値の水平せん断耐力上昇率の関係

表 2 実験結果および算定値

試験体名	$ex Q_u$ (kN)	R_b (%)	ひずみ速度		ひずみ速度上昇率		水平せん断耐力上昇率			$cal Q_{uf}^{22)}$ (kN)	$cal Q_{us}^{23)}$ (kN)
			主筋 (μ / s)	壁板 (mm/mm/s)	実験値		実験値 $ex \alpha_{\tau u}$	算定値			
					$ex \alpha_{\epsilon s}$	$ex \alpha_{\epsilon w}$		$cal \alpha_{qs}$	$cal \alpha_{qw}$		
F0W5-1.3-0.014	307	2.61	110	0.11×10^{-3}	1	1	1.00	1.00	1.00	229	398
F0W5-1.3-1.4	335	2.05	6803	3.13×10^{-3}	62	28	1.10	1.11	1.13	229	398
F1W5-1.3-0.014	286	1.83	84	0.03×10^{-3}	1	1	1.00	1.00	1.00	251	312
F1W5-1.3-1.4	302	1.97	4358	2.21×10^{-3}	52	74	1.05	1.10	1.14	251	312
F1W5-1.3-9	338	1.92	42356	31.96×10^{-3}	504	1065	1.18	1.19	1.29	230	324
S0W5-3.4-0.014	518	1.10	54	0.09×10^{-3}	1	1	1.00	1.00	1.00	546	344
S0W5-3.4-1.4	567	1.38	4812	3.59×10^{-3}	89	40	1.09	1.11	1.13	546	344
S1W5-3.4-0.014	463	0.85	21	0.04×10^{-3}	1	1	1.00	1.00	1.00	536	354
S1W5-3.4-1.4	519	0.90	3506	2.74×10^{-3}	167	69	1.02	1.10	1.14	536	354
S1W5-3.4-9	557	1.14	38321	32.71×10^{-3}	1825	818	1.10	1.20	1.29	551	341

度によるほうが大きくなる傾向にある。

曲げ破壊先行試験体シリーズの主筋のひずみ速度による算定値の水平力せん断耐力上昇率は、実験値より若干大きめである。せん断破壊先行試験体シリーズの主筋のひずみ速度による上昇率は、一方単調荷重の場合には大きめに、繰返し荷重の場合には若干大きめに実験値の上昇率を捉えている。

耐震壁の水平せん断耐力は、曲げ破壊モードの場合は主筋の強度

に依存し、せん断破壊モードの場合はコンクリートのせん断強度に依存することが知られているが、本実験の結果では荷重速度が速くなっても、曲げ破壊モードもせん断破壊モードも主筋の強度上昇率で、大略説明できるといえる。

著者らは、鋼板の周辺フレームで拘束された RC 壁板要素の実験を行い (W-M シリーズ)、せん断性状に及ぼすひずみ速度の影響の一端を報告した²⁰⁾。その報告と本実験の結果を比較すると、RC 壁

板要素の水平せん断耐力上昇率よりも本実験の耐震壁の水平せん断耐力上昇率の方が大きな値となった。これは、本実験の耐震壁のほうが壁板要素試験体よりも壁板周辺フレームの拘束力が大きいためと側柱に一定軸力が載荷されているためと考えられる。

4. 結論

本実験から得られた結果は、以下のようにまとめられる。

- 1) 測定された載荷速度は、いずれの試験体とも計画した速度とほぼ同じであった。
- 2) 曲げ破壊先行試験体シリーズは、載荷速度が速くなっても破壊性状が変化することなく計画した通りの曲げ破壊モードとなった。しかし、せん断破壊先行試験体シリーズは、載荷速度が速くなると計画したせん断破壊モードと異なる曲げ破壊モードの破壊性状を示した。
- 3) 側柱主筋と壁板のひずみ速度は、載荷速度にほぼ比例して大きくなり、水平せん断耐力が上昇した。また載荷速度が同じならば、繰返し載荷に比べて一方向載荷のほうがひずみ速度と水平せん断耐力が大きくなった。
- 4) 側柱主筋と壁板のひずみ速度による算定値の水平せん断耐力上昇率は、壁板のひずみ速度による上昇率のほうが大きくなった。
- 5) 本実験の範囲では載荷速度が速くなっても、水平耐力上昇率は、曲げ破壊モードもせん断破壊モードも主筋の強度上昇率で、大略説明できる。
- 6) 既報の壁板要素試験体の水平せん断耐力上昇率に比べて本実験のせん断破壊先行試験体シリーズの水平せん断耐力の上昇率のほうが大きくなった。

なお、載荷速度が同じならば、コンクリートシリンダーのひずみ速度と厚さが薄い壁板のひずみ速度は必ずしも同じひずみ速度ではないと考えられる。これについては今後の研究課題である。

謝辞

本研究は、平成13、14年度文部省科学研究費(基盤研究C、課題番号12650590、研究代表者:小野正行)の助成を受けた。試験体製作および実験の実施にあたっては、平成11、12、13、19年度の近畿大学九州工学部建築学科小野研究室および平成11、12、13年度九州共立大学工学部建築学科江崎研究室の卒論生の協力を得た。ここに、関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 小谷俊介: 鉄筋コンクリートにおける載荷速度の影響, コンクリート工学, Vol. 21, No. 11, pp. 23-33, 1983
- 2) 遠藤孝夫・加藤治・田辺忠顕: 動的な外力を受ける鉄筋コンクリート柱部材のせん断性状に関する研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 689-692, 1984
- 3) 野村祥一・大上実・藤井栄・森田司郎: 鉄筋コンクリート柱の挙動に及ぼす載荷速度の影響(その1 実験計画及び実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C分冊, pp. 411-412, 1986. 8
- 4) 野村祥一・大上実・藤井栄・森田司郎: 鉄筋コンクリート柱の挙動に及ぼす載荷速度の影響(その2 載荷速度の影響の検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C分冊, pp. 413-414, 1986. 8
- 5) 小野新・安達洋・中西三和・高梨成次: 動の実験における相似則の検証と載荷速度の影響について, コンクリート工学年次論文集10-3, pp. 473-478, 1988

- 6) 藤本盛久ほか: 高速荷重を受ける鉄筋コンクリート柱に関する実験的研究(その5 コンクリート動的素材試験および曲げ破壊型の高速載荷実験概要, その6 曲げ破壊型の高速載荷実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C分冊, pp. 753-756, 1988. 10
- 7) 中西三和・高梨成次・安達洋・小野新: せん断破壊する鉄筋コンクリート柱の力学的性状に及ぼす載荷速度の影響, コンクリート工学年次論文集11-2, pp. 235-240, 1989
- 8) 最相元雄・須田量哉・松山輝男・吉田広幸: 鉄筋コンクリート柱の動的復元力に関する実験的研究(その1 静載荷実験と動載荷実験, その2 動的復元力と予測式), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C分冊, pp. 889-892, 1990. 10
- 9) 小池正昭・中西三和・安達洋: 鉄筋コンクリート造柱の力学的性状に及ぼす載荷速度の影響に関する研究(その1. 実験結果の概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2分冊, pp. 167-170, 1991. 9
- 10) 細矢博・安部勇・岡田恒男・北川良和: 鉄筋コンクリート部材の耐力と破壊性状に及ぼすひずみ速度の影響に関する研究(材料実験と高軸力が作用する柱部材の水平加力実験), コンクリート工学年次論文集4-2, pp. 43-55, 1993. 7
- 11) 安達洋・中西三和・奥田明久・阿久澤真子: 鉄筋コンクリート造柱の最大耐力に及ぼす載荷速度の影響に関する研究(その1 材料特性に及ぼす載荷速度の影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造(4)分冊, pp. 409-412, 1995. 8
- 12) 荒井正直・谷川恭雄・森博嗣・平岩陸: 高速圧縮荷重を受けるコンクリートの力学特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 18, No. 1, pp. 549-554, 1996
- 13) 廣崎裕一ほか: 鉄筋コンクリート造梁部材の破壊性状におよぼす載荷速度の影響(その1 実験概要, その2 実験結果および検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2分冊, pp. 481-484, 2000. 9
- 14) 深田康夫: 鉄筋コンクリート造耐震壁の動的特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), C分冊, pp. 579-580, 1971. 11
- 15) 志賀敏男ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の動的破壊実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C分冊, pp. 1521-1522, 1979. 9
- 16) 水野淳・鈴木篤・市川正武・中村紀吉・松尾一平・河西良幸: 鉄筋コンクリート構造物の挙動における載荷速度の影響に関する研究, その4 鉄筋コンクリート壁要素の高速せん断載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2分冊, pp. 879-880, 1998. 10
- 17) 後藤寛・服部英一・望月洵: 高速・繰返し荷重をうける無開口耐震壁の劣化性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2分冊, pp. 431-432, 1999. 10
- 18) 松岡良智・江崎文也・小野正行: 耐震壁の弾塑性性状に及ぼす載荷速度の影響に関する研究, SRC造側柱を有する無開口耐震壁の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2分冊, pp. 429-430, 1999. 10
- 19) 松岡良智・江崎文也・小野正行: 一定速度の水平力を受けるRC耐震壁の履歴性状, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 3, 2000
- 20) 松岡良智・江崎文也・小野正行: 周辺フレームで拘束されたRC壁板のせん断性状に及ぼすひずみ速度の影響, 構造工学論文集, Vol. 151B, 2005. 3
- 21) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準同解説, 1999改定
- 22) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説, pp. 11-12, 1992. 8
- 23) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度型耐震設計指針・同解説, pp. 122-135, 1990. 11. 1
- 24) 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能, 1981
- 25) 中村和行ほか: 鉄筋コンクリート構造物の挙動における載荷速度の影響に関する研究, その1 コンクリート材料の高速載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), C-2分冊, pp. 787-789, 1997. 9
- 26) 藤本盛久ほか: 地震動を受ける単一山形鋼筋かいの高引張実験, 地震時の衝撃的過荷重による鋼筋かいの破断に関する実験的研究その1, 日本建築学会構造系論文報告集, 第389号, pp. 32-41, 1988. 7

(2009年5月4日原稿受理, 2009年7月22日採用決定)