論文 曲げ降伏先行型 RC 梁の履歴吸収エネルギーに関する研究

島津 勝*1

要旨:本研究では,繰り返し荷重を受け曲げ降伏した RC 梁部材の既往実験結果を基に,塑性変形性能とエ ネルギー吸収能力について,特に最大耐力時の両者の関係に着目して検討し,さらに載荷変位振幅,繰り返 し回数およびせん断余裕度との関係についても検討した。その結果,既往実験結果から得られた包絡線にお ける塑性率は,包絡線における履歴吸収エネルギーと線形関係になり,累積履歴曲線における累積履歴吸収 エネルギーとは放物線的な関係になる。本研究で使用した既往実験結果において,本論で定義した累積履歴 吸収エネルギーが載荷変位振幅,繰り返し回数およびせん断余裕度を用いた式で評価できることを示した。 キーワード: RC 梁,繰り返し載荷,塑性率,履歴吸収エネルギー

1. はじめに

RC 造建物の耐震設計では,柱材での降伏ヒンジの発 生を回避し,梁材に地震エネルギーを吸収させるよう計 画することが望ましいとされている。また,梁材の設計 に当たっては,脆性破壊の発生以前に曲げ降伏破壊を先 行させることが設計の基本理念として認識されている。

1999年に靱性保証型設計法¹⁾が施行されたことにより, 大地震による塑性化を考慮して,部材に対して十分な靱 性を保有させることが要求されるようになってきた。こ のような靱性に依存する設計法では,任意に設定した限 界値での構造物の応答を求め,その点での部材の塑性変 形量もしくはエネルギー吸収量が部材の保有性能を下回 っていることを確認しなければならない。すなわち,構 造物の塑性変形能力やエネルギー吸収能力を定量的に評 価し得る算定式によって,構造物に想定される地震外力 に対して部材が適切な性能を保有していることを確認す る必要がある。

この様な背景から,繰り返し載荷を受ける RC 梁の塑 性変形能力やエネルギー吸収能力の定量的評価法に関す る研究が盛んに行われている。渡辺ら²⁾は RC 梁のエネ ルギー吸収能力がせん断余裕度により概ね評価できるこ とを示している。向井ら^{3,4)}は載荷履歴特性を考慮した安 全限界点までの RC 梁のエネルギー吸収量算定式を提案 している。著者も,文献 5)において,既往実験結果⁶⁻¹³⁾ に基づくエネルギー吸収量算定式を提案しているが,曲 げ降伏型の実験結果が少なく,また,式の導出に用いた 実験結果がせん断破壊型を含んでいたことから,曲げ降 伏型についての検討が不十分である。

そこで、本研究では既往実験結果⁶⁻¹³⁾を基に構築した 曲げ降伏型 RC 梁のデータベース⁵⁾に、新たに文献 14-18) の実験結果を追加し、最大耐力に達するまでの塑性変形 性能とエネルギー吸収能力に着目して、両者の相関性と 載荷履歴特性等の各種パラメータとの関係について検討 する。

2. RC 梁の保有性能の定義

本研究で対象とする部材は梁材,載荷方法は正負両側 に同一変位振幅を与える変位漸増型である。部材の保有 性能として,既往実験結果の載荷履歴曲線を基に得られ た包絡線と累積履歴曲線における塑性率及び履歴吸収エ ネルギー量を用いる。

図-1 に既往実験結果から得られる載荷履歴曲線の一 例を示す。本研究では、各実験結果を統一的に整理する ために、実験の載荷履歴曲線をせん断力 Q~変形角 R 関 係に換算し、さらに、実験値である $Q \ge R \varepsilon$ 、計算値で ある降伏荷重 $Q_y \ge$ 降伏変形角 R_y で除して無次元化して いる。ここで、無次元化荷重 Q/Q_y の算定には式(1)¹⁹⁾の $Q_y \varepsilon$,無次元化変形角 R/R_y の算定には菅野式の剛性低減 率を用いた式(2)の $R_y \varepsilon$ 使用する。すなわち、 $R/R_y=1$ は 計算上引張鉄筋が降伏する時点を示している。 $Q_y \ge R_y$ については、実験値が記載されていない文献もあるため、 本論文では取り扱っていない。

$$Q_{\rm v} = (7d/8l) \times a_t \times \sigma_{\rm v} \tag{1}$$

$$R_{\rm y} = Q_{\rm y} / (\alpha_{\rm y} \cdot K_e \cdot l) \tag{2}$$

 $\alpha_{y} = (0.043 + 1.64n \cdot p_{t} + 0.043 l/D)(d/D)^{2}$ $K = \begin{cases} 3E_{c}I_{e}/l^{3} : 片持ち梁形式 \end{cases}$

$$\left[12E_{c}I_{e}/l^{3}$$
: 逆モーメント加力形式

ここで, *a_t*:引張り鉄筋の総断面積, *σ_y*:鉄筋の降伏強度 *d*:有効梁せい, *l*:シアスパン長さ, *D*:梁せい *α_y*:降伏時の剛性低下率, *n*:ヤング係数比 *p_t*:引張鉄筋比, *K_e*:コンクリートの剛性 *E_c*:コンクリートのヤング係数 *I_e*:鉄筋を考慮した等価断面二次モーメント

*1 崇城大学 工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

本研究では既往実験結果を整理しデータベース化す るための指標が必要であるため、降伏変形評価式として RC 規準¹⁹⁾に記載されている式(2)を使用する。

コンクリートのヤング係数算出に際しては,シリンダ 一強度が 36N/mm²以下の試験体には RC 規準¹⁹⁾の(解 5.1) 式を使用し,36N/mm²より大きい場合には RC 規準¹⁹⁾の (解 5.2)式を採用している。

図-2 に載荷履歴曲線から得られる包絡線を示す。この 包絡線は、図-1の載荷履歴曲線において、全てのループ の最も外側の点を連ねたものである。この包絡線の最大 荷重に至るまでの無次元化変形角R/Rvを塑性率µaと定義 する。ここで、 μ_a は正側 μ_a^+ と負側 μ_a^- の和である。本論文 では、履歴吸収エネルギーと累積履歴吸収エネルギーを 正負の和で定義しており、それらの値との整合を考え、 塑性率を正側と負側の和と定義する。また、最大荷重時 までの総面積 E_aは, 無次元化履歴吸収エネルギー量を示 し, 正側 *E*⁺と負側 *E*⁻の和である。 図-2 において, 無次 元化履歴吸収エネルギーの算出の際には、負側の最大変 形点後の除荷から逆負荷にかけて、履歴曲線に沿ってト レースすることで、最大変形点で部材に蓄えられていた ひずみエネルギーから,弾性ひずみエネルギーを差し引 いている。一方、正側の最大耐力点に達した時点では、 部材には弾性ひずみエネルギーと塑性ひずみエネルギー が生じている状態であるため、弾性分を考慮している。

図-3に載荷履歴曲線から得られる累積履歴曲線を示す。 この累積履歴曲線は、載荷履歴曲線を各ループに分解し、 それぞれ正負ごとに前ループの残留変形角と次ループの 負荷時の初期変形角を $Q/Q_y=0$ 上で繋ぎ合わせたもので ある。また、最大荷重時までの全ループの総面積 E_b は無 次元化累積履歴吸収エネルギー量を示し、正側 E_b^+ と負 側 E_b^- の和である。

3. 既往実験結果の概要

本論で用いた既往実験の試験体数は26体である。 表-1は、既往実験の文献より載荷履歴曲線を抽出する ことができた試験体の諸元および計算結果の一覧である。 実験変数の範囲は、コンクリート強度:10.3~65.5N/mm², 主筋降伏強度:266.3~725N/mm², せん断補強筋降伏強 度:285.2~884.7N/mm², せん断スパン比:1.4~3.3, 引 張鉄筋比:0.8~2.9%, せん断補強筋比:0.3~1.15%, 複 筋比:1.0 である。文献中に主筋およびせん断補強筋のヤ ング係数が記載されていない場合は、200GPaとする。

図-4 に上記変数についての試験体数の分布を示す。

図-5 に塑性率 $\mu_a \sim$ 履歴吸収エネルギー E_a 関係を示す。 図より、 $\mu_a \ge E_a$ が線形関係であることがわかる。このと きの $\mu_a \ge E_a$ の相関係数は 0.97 であった。

図-6 に塑性率 μ_a 〜累積履歴吸収エネルギー E_b 関係を示す。ここで、図中の破線は近似曲線である。この図から分かるように、 μ_a の増加とともに E_b が上昇する傾向にあり、両者の関係を多項式で近似すると次式のようになる。

$$E_b = 0.21\mu_a^2 + 0.51\mu_a \tag{3}$$

 μ_a に対する E_b の割合が放物線的に増加することが分かり、このときの決定係数は 0.94 であった。

4. せん断余裕度と塑性率・履歴吸収エネルギーの関係

図-7 に無次元化最大荷重 $Q_{emax}/Q_y \sim t \delta$ 断余裕度 Q_s/Q_m 関係を示す。 Q_{emax}/Q_y は実験の最大荷重 Q_{emax} を式 (1)の降伏荷重 Q_y で除して得られ、 Q_s/Q_m はせん断耐力 Q_s を曲げ耐力 Q_m で除して得られる。なお、 Q_s の算定に は荒川 mean 式を、 Q_m の算定には RC 規準¹⁹⁾の(解 8.20) 式を用いた。図の横軸のせん断余裕度は、縦軸との相関 を調べることを意図したものではなく、無次元化最大荷 重のばらつきと併せて示すためのものである。

この図から分かるように、無次元化最大荷重 $Q_{\text{emax}}/Q_{\text{y}}$ の値が 1~1.4, せん断余裕度 $Q_{\text{s}}/Q_{\text{m}}$ が 0.8~1.4 の範囲に プロットが集中していることが分かる。

図-8 にせん断余裕度 Q_s/Q_m 〜塑性率 μ_a 関係を示す。 μ_a の値は最小値 1.8,最大値 12.9 であった。ここで、本論で定義した μ_a が正側 μ_a^+ と負側 μ_a^- の値の和であることから、 μ_a の値は文献²⁰⁾で定義されている塑性率の値の倍で



文献 番号	試験体 番号	実験値									計算値								
		D mm	L mm	あばら 筋径 mm	主筋径 mm	鉄筋比 %	せん断補 強筋比 %	コンクリート 強度 N/mm ²	せん断補強 筋強度 N/mm ²	主筋降伏 強度 N/mm ²	M/QD	Qsu Qmu	Qy kN	Ry rad	√Σμ	N	μa	Ea	Eb
6	B-300-7	450	2200	6	22.2	2.75	0.0066	37.1	845.7	522.3	2.44	0.71	482.5	0.013	2.6	5.5	4.2	2.2	2.5
	B-300-10	450	2200	6	22.2	2.75	0.0095	37.1	845.7	522.3	2.44	0.79	482.5	0.013	2.9	6	5.9	5.9	8.0
	B-600-4	450	2200	6	22.2	2.75	0.0045	60.5	845.7	522.3	2.44	0.77	482.5	0.013	2.5	5.5	3.6	2.1	2.7
	B-600-10	450	2200	6	22.2	2.75	0.0095	60.5	845.7	522.3	2.44	0.92	482.5	0.013	3.7	7.5	5.5	4.9	9.8
7	No.1	300	1200	6.4	16	2.71	0.0052	29.7	354.0	394.0	2.00	0.68	165.7	0.009	3.1	5.5	2.2	1.6	2.5
8	Ν	400	1000	6	19	1.52	0.0073	36.8	401.1	344.7	2.50	1.26	153.6	0.004	8.3	10.5	6.2	5.4	16.5
9	No.2	800	1600	6.4	41	1.36	0.0092	57.0	827.1	520.4	2.00	1.43	1090.6	0.013	3.8	7.5	4.8	4.3	7.9
	No.3	800	1600	6.4	41	2.90	0.0115	63.8	827.1	520.4	2.00	0.84	2051.6	0.018	3.2	7.5	3.1	3.1	4.5
10	В	200	500	6	19	0.96	0.0075	29.4	431.2	411.6	2.50	1.86	39.8	0.005	12.1	13.5	12.9	11.2	42.1
11	No.1	400	2000	6	19	2.03	0.0082	49.6	747.0	454.0	2.50	1.20	272.0	0.009	7.2	11.5	8.5	8.8	16.9
12	L076-30	280	840	6	19	0.76	0.003	10.3	425.0	358.0	1.50	1.18	70.9	0.003	4.0	4	6.0	4.7	12.9
13	No.2-5	400	1200	6	19	1.44	0.0047	32.1	826.0	507.0	1.50	0.70	423.2	0.009	3.0	4.5	2.9	2.3	3.0
14	No1	425	1250	6	19.1	1.60	0.0049	64.9	668.0	534.0	2.94	1.39	270.4	0.010	11.8	48	9.9	9.7	35.1
	No2	425	1250	6	19.1	1.60	0.0049	60.2	668.0	626.0	2.94	1.15	317.0	0.012	11.0	48	8.7	7.7	26.4
	No3	425	1250	6	19.1	1.60	0.0049	65.5	668.0	725.0	2.94	1.02	367.1	0.014	10.3	48	7.5	6.5	19.0
15	No1	400	1000	9.5	22.2	1.11	0.0032	31.1	370.0	388.0	1.25	1.01	275.2	0.003	3.9	6	6.1	3.7	5.3
16	No.1	450	2250	6	19.1	1.62	0.0062	45.0	706.0	445.0	2.50	1.41	230.1	0.007	6.5	10.5	11.0	10.9	35.1
	No.4	450	2250	6	19.1	1.62	0.0031	42.2	706.0	445.0	2.50	1.17	230.1	0.007	5.0	8.5	6.9	6.0	13.3
17	D-28-R	400	1600	8	25	2.38	0.0053	29.4	884.7	266.3	2.00	1.29	137.6	0.003	5.4	4.5	10.9	11.3	22.4
	D-40-R	400	1600	8	25	2.38	0.0053	35.3	884.7	412.3	2.00	0.88	213.1	0.004	2.6	2.5	3.4	2.4	2.8
18	履歴1	270	1080	6	13	2.17	0.0064	63.4	769.3	558.6	2.00	0.90	214.7	0.008	1.5	1	4.3	2.6	2.6
	履歴2	270	1080	6	13	2.17	0.0064	63.4	769.3	558.6	2.00	0.90	214.7	0.008	1.5	0.5	2.4	2.1	2.1
	履歴3	270	1080	6	13	2.17	0.0064	63.4	769.3	558.6	2.00	0.90	214.7	0.008	2.2	0.5	4.9	4.8	4.8
	履歴0	270	1080	6	13	2.17	0.0064	63.4	769.3	558.6	2.00	0.90	214.7	0.008	2.2	1.5	2.9	2.3	2.3
	履歴1 (pw=0.91)	270	1080	6	13	2.17	0.0091	63.4	769.3	558.6	2.00	0.97	214.7	0.008	1.1	0.5	1.8	1.4	1.4
	履歴3 (pw=0.91)	270	1080	6	13	2.17	0.0091	63.4	769.3	558.6	2.00	0.97	214.7	0.008	2.2	0.5	4.8	4.7	4.7

表-1 既往実験の試験体の諸元および計算結果一覧

[注] D:梁せい、L:クリアスパン、Q_s: せん断耐力、Q_m: 曲げ耐力、Q_y: 降伏荷重、 a_y: 剛性低下率、R_y: 降伏変形角、 μ_i: 変位振幅、N: 最大耐力に達するまでの繰り返し回数、E_a: 履歴吸収エネルギー、E_b: 累積履歴吸収エネルギー

ある。つまり、 $\mu_a \hat{e} \chi \hat{m}^{21}$ の塑性率に換算すると、換算 値は 0.9~6.5 程度となり、文献 ²¹⁾中に記載されている最 小値 2 よりやや小さい値を示した。また、 Q_s/Q_m が高く なると μ_a も上昇する傾向にあり、 Q_s/Q_m と μ_a の相関係数 は 0.73 であった。

図-9にせん断余裕度 $Q_s/Q_m \sim 履歴吸収エネルギーE_a$ 関係を示す。この図から分かるように、 Q_s/Q_m が上昇する と E_a が増加する傾向にあり、 Q_s/Q_m と E_a の相関係数は 0.66 であった。

図-10 にせん断余裕度 Q_{s}/Q_{m} ~累積履歴吸収エネルギ $-E_{b}$ 関係を示す。この図より、 Q_{s}/Q_{m} が上昇するに従っ て E_{b} が増加する傾向にあることが分かり、両者の相関係 数は 0.75 であった。

5. 累積履歴吸収エネルギーと各種パラメータの関係

図-11 に累積履歴吸収エネルギー E_b 〜せん断補強筋比 p_w 関係を示す。 E_b と p_w の関係を調べるためには、 p_w 以 外のパラメータの相違も考慮する必要がある。そこで、 コンクリート強度、主筋降伏強度、せん断補強筋比およ びせん断余裕度の違いによる影響について検討する。 図中の○, △, □, *はそれぞれ比較する試験体のプ ロットを示す。

○は文献⁶⁰の4体の試験体について検討したものであ る。試験体の違いは、コンクリート強度とせん断補強筋 比のみであり、それ以外の条件は同じである。なお、文 献⁶⁰の試験体名はコンクリート強度とせん断補強筋比を 表わしており、例えば B-300-7 試験体は、コンクリート 強度が 30N/mm² でせん断補強筋比が 0.66%である。コン クリート強度とせん断補強筋比が高い試験体の方が *E*b が高くなることが分かる。

△は文献¹⁴⁾の2体の試験体について検討したものであ る。△では主筋降伏強度の影響を検討する。主筋降伏強 度とコンクリート強度以外のパラメータはすべて同じで ある。図より,主筋降伏強度高くなると,*E*bが低くなる ことがわかる。ここで,主筋降伏強度の変動係数は12.4%, コンクリート強度の変動係数は3.7%であり,コンクリー ト強度に多少のばらつきがあるものの,主筋降伏強度の 違いによる影響の方が大きいと考えられる。



□は文献¹⁶⁾の2体の試験体について検討したものである。□では *p*wの影響を検討しており, *p*wが高いと *E*bが

高くなることがわかる。

*は文献¹⁷⁾の2体の試験体について検討したものであ



累積履歴吸収エネルギー~せん断補強筋比関係

図-11



図-13 累積履歴吸収エネルギー〜載荷変位振幅関係

る。*では、せん断余裕度の影響を検討しており、せん 断余裕度が高いと *E*b が高くなることがわかる。

図-12 に累積履歴吸収エネルギーE_b〜繰り返し回数 N 関係を示す。横軸のNは最大耐力に達するまでの繰り返 し回数であり,正側と負側の両方の履歴を経験したとき を1回とし,正側のみの場合は0.5回とする。

 E_b とNの関係を調べるためには、同じ載荷履歴を経験 した試験体での比較を行う必要がある。そこで、図-11と同様に文献⁶の4体の試験体について検討する。図中 の〇がその実験結果を示している。

図中の文献⁶⁰の実験結果を比較すると、コンクリート 強度とせん断補強筋比が高い試験体の方が $N \ge E_b$ の値 が高くなることが分かる。

図-13 に累積履歴吸収エネルギー E_b 〜載荷変位振幅関係を示す。横軸の μ_i はiサイクル目の変位振幅であり、は最大耐力に達するまでの変位振幅の総和である。この図より、全体的に μ_i が増加するに従って E_b も上昇している。

図-14に累積履歴吸収エネルギー E_b 〜載荷変位振幅 μ_i , 繰り返し回数 N およびせん断余裕度 Q_s/Q_m 関係を示す。 横軸は, N, μ_i および Q_s/Q_m を考慮した E_b の評価式で, 次式の右辺の項である。

なお、図 11~図 13 の既往実験結果より、 E_b と N、 μ_i あるいは Q_s/Q_m との間に相関が示されている。そこで、



図-12 累積履歴吸収エネルギー〜繰り返し回数関係





本研究ではそれらの指標を用いて、*E*_bを線形的に表現し うる評価式を試行錯誤により求め、(4)式を提案している。 よって、(4)式には特別な物理的意味づけを行っていない。

$$E_b = 2.4 \times \log(2N \times \sqrt{\Sigma \mu_i}) (Q_s/Q_m)^2 \tag{4}$$

図より,曲げ降伏型試験体においては,本論で提案した評価式が,*E*bを概ね線形的に評価できることが分かる。 評価式の線から大きく外れているプロットが存在する理 由は,同一振幅で多数回繰り返しを実施しているものが 多く,同一振幅での耐力低下を考慮できていないためで ある。

6. まとめ

曲げ降伏型 RC 梁の既往実験結果を基に,塑性変形性 能とエネルギー吸収能力について,特に最大耐力時の両 者の関係に着目して検討した。さらに,載荷履歴特性お よびせん断余裕度との関係についても検討した。限られ た範囲ではあるが,本検討により得られた結論を以下に 示す。

- 既往実験結果から得られた包絡線における塑性率と 履歴吸収エネルギーとの関係は線形になる。
- 2) 既往実験結果から得られた包絡線における塑性率と 累積履歴曲線における累積履歴吸収エネルギーとは 放物線的な関係になる。

3)本研究で使用した既往実験結果において、本論で定 義した累積履歴吸収エネルギーは載荷変位振幅、繰 り返し回数およびせん断余裕度に依存する。

今回,載荷履歴特性および実設計時によく利用される せん断余裕度を用いて,曲げ降伏型 RC 梁の最大耐力時 までのエネルギー吸収能力の評価を試みたが,同一振幅 での繰り返しによる耐力低下に関しては考慮できてい ない。今後, RC 梁の繰り返し載荷実験を行い,評価式 の提案並びに妥当性の検証を行う。

謝辞

本研究においては,文献 ⁶⁻¹⁸⁾の貴重な実験結果を使用 させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靱性保 証型耐震設計指針・同解説,1999
- 渡辺英義, 是永健好, 中野克彦, 松崎育弘:曲げ降 伏後にせん断破壊する RC 梁部材の靱性評価に関す る実験研究, 日本建築学会構造系論文集, No.560, pp.161-168, 2002.10
- 向井智久,畑洋和,野村設郎:曲げ降伏する RC 造 梁部材の地震時損傷評価と安全限界エネルギー吸 収量算定式の提案,日本建築学会構造系論文集, No.617, pp.145-151, 2007.7
- 高橋俊之,向井智久,濱田真,斉藤大樹,福山洋, 薬研地彰,衣笠秀行:多数回繰り返し変形を受ける RC 造梁部材のエネルギー吸収低下に関する研究, 構造工学論文集,No.56B, pp.33-41, 2010.3
- 5) 島津勝,松本豊,栗原和夫:RC 梁部材の塑性変形 性能とエネルギー吸収能力の相関について、コンク リート工学年次論文報告集, Vol.37, No.2, pp.229-234, 2015.7
- 6) 中村雅彦,別所佐登志,加藤友康,張愛暉:高強度 材料を用いた高層 RC 梁の曲げせん断実験、コンク リート工学年次論文報告集, Vol.14, No.2, pp.529-534, 1992.6
- 7) 八十島章: DFRCC パネルで補強した RC 梁の耐震 性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論 文報告集, Vol.32, No.2, pp.1375-1380, 2010.7
- 藤川昌作,香取慶一,林静雄:鉄筋コンクリート有 孔梁の変形性能に関する実験研究,日本建築学会大

会学術講演梗概集, pp.467-468, 1993.9

- 9) 張愛暉,別所佐登志,加藤友康:高強度材料を用いた高層 RC 実大はりの曲げ実験,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.719-720,1992.8
- 10) 窪田陽一,衣笠秀行,野村設郎,田中敬人:RC梁 部材の曲げ降伏後の繰り返し載荷下に特有な破壊 の発生メカニズム,日本建築学会大会学術講演梗概 集,pp.477-478,1998.9
- 細矢博,岡靖弘,岸本剛,浅野芳伸:開孔を有する 高強度 RC 梁の構造特性に関する研究,日本建築学 会大会学術講演梗概集,pp.355-356,2001.9
- 松井剛,八十島章,荒木秀夫:低強度コンクリート を用いた RC 梁の耐震性能,日本建築学会大会学術 講演梗概集, pp.9-12, 2008.9
- 益尾潔,市岡有香子,田川浩之,足立将人:SD490 および785N/mm²級横補強筋を用いた RC 梁の構造 性能(その1実験概要),日本建築学会大会学術講 演梗概集,pp.183-184,2010.9
- 14) 横川智裕,濱田聡,竹中啓之,和泉信之:多数回繰 り返し載荷を受ける高強度鉄筋コンクリート梁の 履歴特性,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.37, No.2, pp.265-270, 2015.7
- 15) 増田駿祐,岸本一蔵:せん断補強筋の付着切れが
 RC 梁部材の挙動に及ぼす影響,コンクリート工学
 年次論文報告集, Vol.37, No.2, pp.217-222, 2015.7
- 16) 近藤祐輔,岩渕一徳,藤井睦,杉本訓祥,岡安隆史, 依田昌典,中島崇裕,竹中啓之,福井剛,濱田真: 多数回繰り返し載荷を受ける RC 梁部材の修復性 に関する実験的研究(その1)実験概要,日本建築 学会大会学術講演梗概集,pp.257-258, 2012.9
- 17) 松原洋志,高木仁之,狩野芳一:正負繰り返し載荷 および主筋の降伏がRC梁の付着割裂破壊に及ぼす 影響,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.717-718, 1990.10
- 18) 杉浦泰樹,松崎育弘,中野克彦,平川勝基:高強度 材料を用いた鉄筋コンクリート梁部材の履歴性状 に関する実験研究,日本建築学会大会学術講演梗概 集,pp.825-826,1994.9
- 19) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同 解説,2010
- 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,1990