

## 論文 鉄筋コンクリート梁部材の変形評価法に関する実験的研究

前田 匡樹\*1・有蘭 祐介\*2・幸村 信行\*3

要旨：本研究では、主筋の降伏強度及び横補強筋比をパラメータとした鉄筋コンクリート梁部材の繰り返し荷重実験を行い、部材の変形を曲げ変形・せん断変形・主筋の拔出しによる付加回転変形（拔出し変形）の各変形成分に分離した。実験で得られた各変形成分を用い、特に、評価法が十分に確立されていない曲げ降伏変形について、日本建築学会の RC 規準および近年提案されている既往の降伏変形評価法について検証を行った。

キーワード：降伏変形、梁部材、曲げ変形、せん断変形、拔出し変形

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート梁・柱部材の復元力特性を支配する要因のひとつである各種強度については、これまでに多くの研究が行われ比較的精度の良い評価法が確立されている。一方、降伏変形・終局変形などの変形性能については、必ずしも十分な評価法が開発されていないのが現状である。特に、梁・柱部材の降伏変形はその復元力特性を決定する重要な因子のひとつであるが、現在日本建築学会の RC 規準[1]で用いられている評価法（菅野式[2]）は、高強度材料を用いた部材には適用できないなどの問題が指摘されている。近年、部材の変形を曲げ変形・せん断変形・主筋の拔出しによる付加回転変形（拔出し変形）に分離してモデル化した降伏変形評価法が提案されている[例えば 3,4]。筆者等も文献[5]において同様の試みを行った。これらの評価法により、高強度 RC 部材も含んだ RC 部材の降伏変形がある程度評価できる。しかしながら、いずれの評価法でも各変形成分のモデル化の妥当性は検証されていない。

そこで本研究では、鉄筋コンクリート梁部材の実験を行い、曲げ変形・せん断変形・拔出し変形の各変形成分を計測し、これらの各変形成分の評価法の検証を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体

試験体は、試験部分を断面  $20 \times 30\text{cm}$ 、内法スパン  $120\text{cm}$ ( $M/QD=2$ )とし、両側にスタブを有する梁部材である。試験体の側面図及び断面図をそれぞれ図1、図2に示す。また、各試験体の一覧を表1に示す。各試験体のパラメータは、主筋の降伏強度  $\sigma_y$  及び横補強筋比  $p_w$  である。引張鉄筋比  $p_t$  と  $\sigma_y$  の積  $p_t \cdot \sigma_y$  がほぼ同程度となるように主筋を配筋し、試験体 M2 及び L2 は 4-D13(SD295)、試験体 M2m は 4-D10(SD490)、試験体 M2h は 3-D10(SD785)とした。横補強筋は、試験体 M2、M2m、M2h では 2-D6@75 とし、試験体 L2 は 2-D6@150 とした。材料試験により得られた鉄筋及びコンクリートの材料特性をそれぞれ表2、表3に示す。コンクリートは、設計基準強度  $F_c=210\text{kgf/cm}^2$  の普通コンクリート（最大骨材寸法 10mm）を使用し、材料試験は各試験体の加力直前に実施した。

荷重は、大野式加力により試験部分に正負繰り返し逆対称曲げモーメントを加え、変位制御で部材角  $1/400$  を1回、 $1/200$ 、 $1/100$ 、 $1/50$ 、 $1/25$  をそれぞれ2回ずつ繰り返した後押し切った。

\*1 横浜国立大学助手 工学部建設学科、博士（工学）（正会員）

\*2 (株)大林組（正会員）

\*3 横浜国立大学大学院

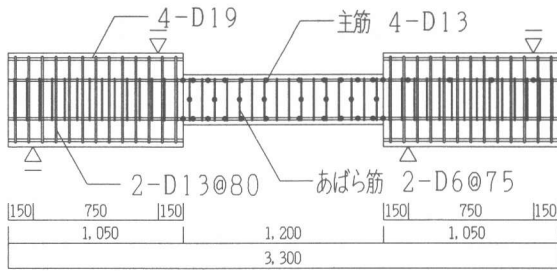


図1 試験体側面図 (単位 mm)

## 2.2 測定計画

梁の全体変位 (部材角) の測定は、左右のスタブに固定した治具に変位計を取り付け測定した。

また、曲げ変形成分を測定するために、図3に示すように試験体上面及び下面に100mm 間隔 (危険断面側2区間は危険断面側から20mm、80mm)

で試験体に定着したネジ棒に変位計を固定しそれぞれの区間の変位を測定した。また、せん断変形成分を測定するために、試験体側面に変位計を取り付け対角方向の変位を計測した (図3)。梁危険断面から30mm スタブ側に入った位置の最外縁主筋にネジ棒を溶接し、周囲のコンクリートと縁を切りスタブ側面に露出させ、スタブに定着したネジ棒との相対変位を測定した。主筋及び横補強筋には図1中に●で示した位置に歪ゲージを貼り歪を計測した (図3)。

## 3. 実験結果の概要

### 3.1 破壊にいたる挙動

実験により得られた荷重～変形関係を図4に示す。また、実験結果の概要を表4に示す。いずれの試験体もせん断力1～2tf程度で曲げひび割れが生じ、次いで曲げせん断ひび割れが生じた後、主筋が引張降伏した。主筋降伏時の変形角は、普通強度主筋を用いた試験体 M2 及び L2 では 1/200 程度、高強度主筋を用いた試験体 M2m 及び M2h では 1/100 前後であった。主筋降伏後、主筋に SD785 を用いた試験体 M2h は試験部分のひび割れは伸展せず、主筋のスタブからの

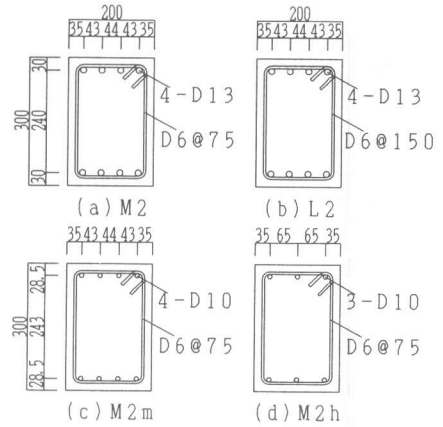


図2 試験体断面図 (単位 mm)

表1 試験体一覧

名称	B×D	L	主筋	$\sigma_y$	$P_t \cdot \sigma_y$	横補強筋	$P_w$ (%)	$\sigma_B$
M2	20×30 (cm)	120 (cm)	4-D13	3440	32.4	2-D6@75	0.43	318
L2						2-D6@150	0.21	311
M2m	20×30 (cm)	120 (cm)	4-D10	6490	34.3	2-D6@75	0.43	310
M2h					3-D10	8620	34.2	

L: 内法スパン、 $\sigma_y$ : 主筋降伏強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)、 $P_t \cdot \sigma_y$ : 主筋量 (kgf/cm<sup>2</sup>)、 $P_w$ : 横補強筋比、 $\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

表2 鉄筋の材料特性

呼び名	$\sigma_y$	$\epsilon_y$	$E_s$	$\sigma_u$	$\epsilon_u$
D6	3370	1940	1.74	5120	14.5
D10 (SD785)	8600	3600	2.12	10080	14.0
D10 (SD490)	6480	4070	1.80	8020	12.7
D13	3450	1890	1.81	4911	22.7

$\sigma_y$ : 主筋降伏強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)、 $\epsilon_y$ : 降伏ひずみ ( $\mu$ )、 $E_s$ : ヤング係数 (106 kgf/cm<sup>2</sup>)、 $\sigma_u$ : 破断強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)、 $\epsilon_u$ : 破断ひずみ (%)

表3 コンクリートの材料特性

試験体	$\sigma_B$	$\epsilon_c$	$E_c$	$F_t$
M2	318	2020	2.75	27.1
L2	311	1891	2.94	25.0
M2m	310	1741	2.80	24.6
M2h	286	1734	2.83	24.7

$\sigma_B$ : 圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)、 $\epsilon_c$ : 圧縮強度時ひずみ ( $\mu$ )、 $E_c$ :  $\sigma_B/3$ 割線剛性 (10<sup>9</sup> kgf/cm<sup>2</sup>)、 $F_t$ : 割裂引張強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

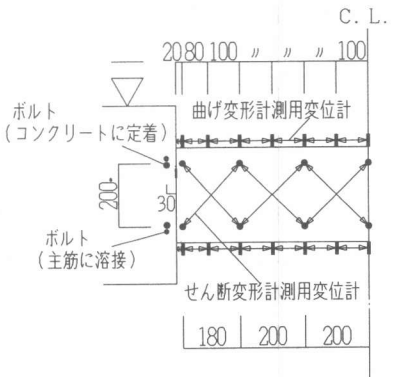


図3 変形の計測

表4 実験結果一覧

試験体	曲げひび割れ		せん断ひび割れ		曲げ降伏		最大耐力	
	Qcr (t)	$\delta_{cr}$ (mm)	Qsc (t)	$\delta_{sc}$ (mm)	Qy (t)	$\delta_y$ (mm)	Qmax (t)	$\delta_{max}$ (mm)
M2	1.41	0.34	4.54	2.68	7.00	5.42	8.03	48.01
	-1.20	-0.14	-4.79	-2.91	-7.35	-6.06	-8.12	-48.01
L2	1.40	0.43	5.64	4.28	7.35	7.06	7.71	40.05
	-1.40	-0.22	-3.19	-1.99	-6.78	-6.37	-7.66	-46.07
M2m	1.38	0.46	4.39	4.10	7.60	10.04	8.93	48.07
	-0.79	-0.44	-2.59	-1.87	-7.60	-10.51	-8.84	-46.11
M2h	1.80	1.12	2.95	3.01	7.23	14.03	7.87	24.01
	0.80	0.37	-3.28	-4.52	-6.80	13.51	-7.64	-24.02