

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	主筋座屈を伴う鉄筋コンクリート造梁の静的載荷実験
Title(English)	Static Loading Tests of Reinforced Concrete Beams with Longitudinal Rebar Buckling
著者(和文)	河村英里子, PRADHAN SUJAN, 尹口ク現, 真田 靖士
Authors(English)	KAWAMURA Eriko, PRADHAN Sujan, YOON Rokhyun, SANADA Yasushi
出典 / Citation	日本建築学会近畿支部研究報告集, , pp. 521-524
Citation(English)	, , , pp. 521-524
発行日 / Pub. date	2018, 6

主筋座屈を伴う鉄筋コンクリート造梁の静的載荷実験

正会員 ○河村 英里子\*1 同 Sujan Pradhan\*2 同 尹 ロク現\*2 同 真田 靖士\*3

2. 構造—8. 鉄筋コンクリート構造—j. 梁

主筋座屈, 鉄筋コンクリート造梁, 耐震性能, 安全限界, 静的載荷実験

1. はじめに

近年では, 鉄筋コンクリート造建物 (以下, RC 建物) の設計において性能評価型の設計方法を利用できる。RC 造建物の耐震性能評価指針<sup>1)</sup>に示される RC 梁部材の安全限界点は, ①耐力が劣化し最大曲げ耐力の 80%に低下する部材角, ②曲げ降伏後のせん断破壊が生じる部材角, ③梁主筋が引張破断する部材角の三者のうち最小のものとするのが提案されている。

しかし, 既往の研究における梁降伏型の RC 架構の静的載荷実験<sup>2)</sup>では梁部材において上記の①~③のような損傷状況は大変形角においても確認されず, 曲げ降伏後の大変形角において梁主筋の座屈が先行することが示された。こうした梁主筋の座屈による耐力低下は RC 梁部材の安全限界点に相当すると判断される。

日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<sup>3)</sup>では, RC 柱については主筋の座屈防止を念頭に置いた軸力制限と構造規定が示されているが, RC 梁における主筋の座屈の防止を意図した規定は定められていない。

そこで, 本研究では既往の研究<sup>2)</sup>により確認された梁主筋の座屈について実験的に再検証するとともに, 主筋の座屈に影響すると考えられる主筋径ならびにせん断補強筋間隔を変数とした RC 梁の構造性能の把握を目的として静的載荷実験を行った。

2. 実験計画

2.1 試験体計画

試験体は図-1 に示す既往の研究<sup>2)</sup>の 1/2.5 スケールの RC 架構を基にした実大スケールの梁である。

表-1 に試験体の構造詳細を示す。実験変数は主筋径とせん断補強筋の間隔である。図-2 に試験体の配筋図を, 図-3 に梁の断面図をそれぞれ示す。

試験体の梁の断面は 450×700mm であり, 高さは

1,540mm である。同図の No.1 が既往の研究<sup>2)</sup>の縮小された梁を実大とした試験体である。コンクリートおよび鉄筋の材料特性は表-2 および表-3 にそれぞれ示す。

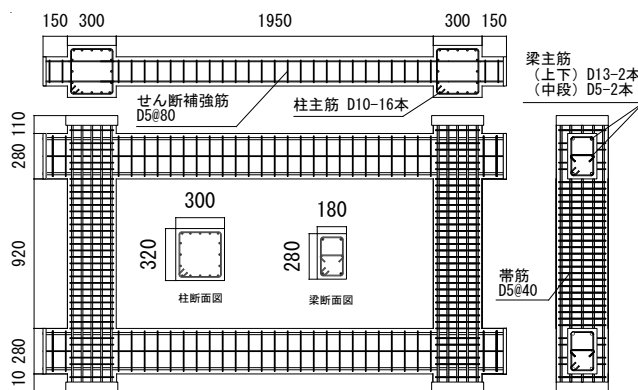


図-1 1/2.5 スケールの RC 架構

表-1 試験体の構造詳細

	No.1	No.2
B x D	450 x 700	
Main bars ( $p_t$ )	5-D19 (0.46)	3-D25 (0.48)
Shear reinf. ( $p_w$ )	2-D13 D10@200 (0.28)	2-D10 D10@100 (0.32)

$p_t$ : Tensile reinforcement ratio

$p_w$ : Shear reinforcement ratio

Unit: mm

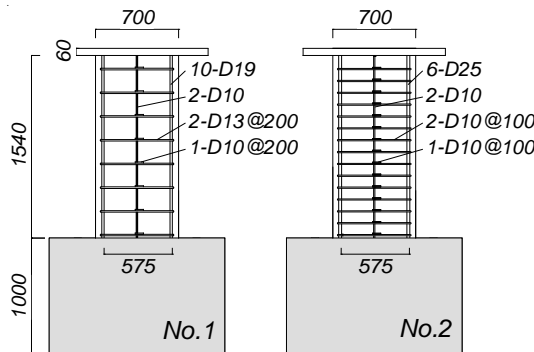
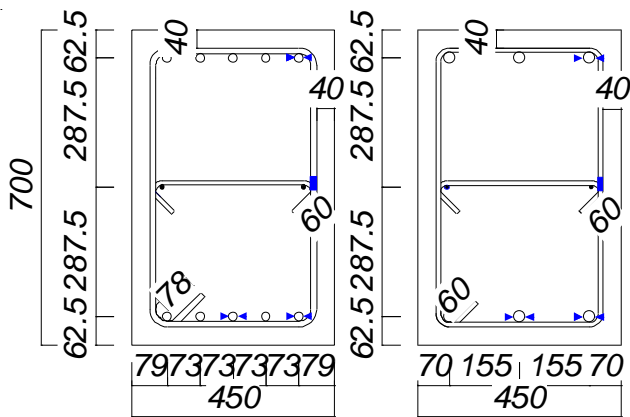


図-2 試験体の配筋図



◀ ひずみゲージ貼付位置

(a) No.1 (b) No.2

図-3 試験体断面図

表-2 コンクリートの材料特性

	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elastic modulus (kN/mm <sup>2</sup> )	Strain at strength (μ)
No.1	35.7	29.6	2064
No.2	34.1	28.7	1781

表-3 鉄筋の材料特性

	Yield stress (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elastic modulus (kN/mm <sup>2</sup> )	Yield strain (μ)
D10 (SD345)	382	523	177	2158
D13 (SD345)	370	517	189	1957
D19 (SD345)	382	571	183	2089
D25 (SD345)	375	558	193	1941

## 2.2 荷荷計画

図-4 に試験体設置図を示す。試験体は PC 鋼棒で荷荷フレームに固定した。各試験体ともに鉛直方向には南北のジャッキ(各 2000kN)によって梁断面に対し軸力比 (=作用軸力/梁の圧縮強度) 0.07 の一定軸力を加えた後、図-5 に示すような曲げモーメント分布となるように作用せん断力に対応させて両側の鉛直ジャッキを制御することによって試験体頂部に付加モーメントを作用させた。なお、鉛直ジャッキの軸力は以下の式(1)によって算出した。

$$N_s = \frac{N}{2} + \frac{Q}{l} \cdot a$$

$$N_N = \frac{N}{2} - \frac{Q}{l} \cdot a$$

(1)

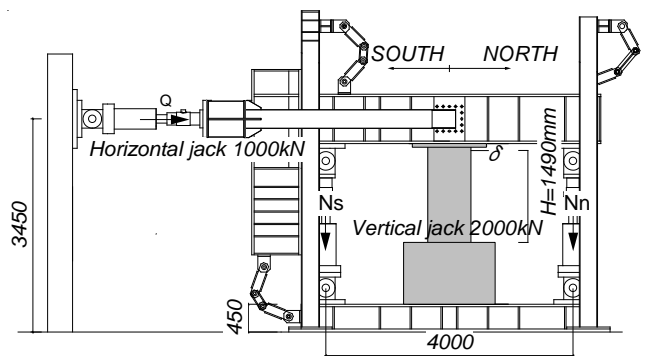


図-4 試験体設置図

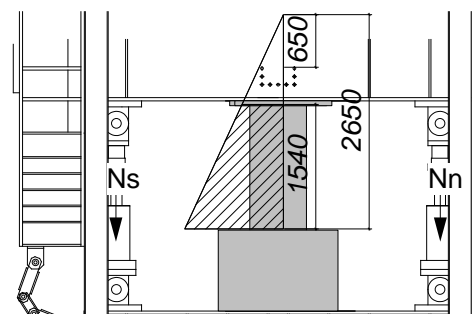


図-5 実験時曲げモーメント分布図

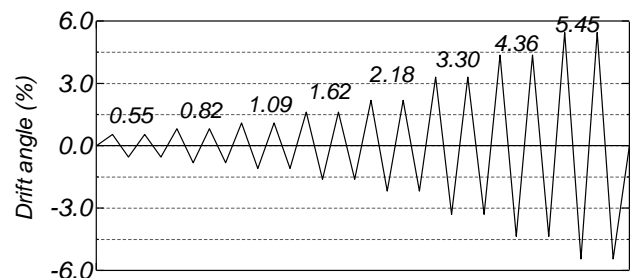


図-6 荷荷履歴

ここで、 $N_s$ :南鉛直ジャッキ軸力(kN),  $N_N$ :北鉛直ジャッキ軸力(kN),  $N$ :合計軸力(kN),  $Q$ :せん断力(kN),  $l$ :鉛直ジャッキ間距離(4000mm),  $a$ :想定加力高さを実加力高さの距離(=650mm)である。

前述のように本実験では軸力を作用したが、既往の RC 架構の静的荷荷実験<sup>2)</sup>でひび割れの発生に伴う梁部材の伸びが柱に拘束されて梁に軸力が生じたと報告されているためである。実験では試験体頂部の水平変位  $\delta$  を計測位置の高さ ( $H=1490\text{mm}$ ) で除した部材角  $R=\delta/H$  で制御し、南側方向荷荷を正荷荷として制御し、図-6 に示す通り正負交番の漸増繰り返し荷荷をした。

なお、梁部材の変形角は既往の研究<sup>2)</sup>における梁の部材角を模擬して図-7 に示す崩壊メカニズムモデルに基づいた式(2)および式(3)より算出した。

$$\delta = L \cdot \sin R$$

(2)

$$R_b = R + \sin^{-1} \left( \frac{2l_r \sin R}{l_b} \right) \quad (3)$$

ここで、 $\delta$ : 柱の水平変位、 $L$ : 高さ方向のピン中心間距離、 $R$ : 試験体の水平変形角、 $l_r$ : 剛域長さ、 $l_b$ : 梁のクリアスパンの長さである。

### 3. 実験結果とその分析

#### 3.1 水平荷重－水平変形角関係

各試験体の部材角－変形角関係を図-8に、破壊状況を図-9に示す。図-8では梁の曲げひび割れ発生点◇、梁主筋の降伏点△、最大耐力点○および梁主筋の座屈点×を併せて示す。また、鉄筋コンクリート構造計算規準<sup>3)</sup>によって求められた各試験体の曲げ降伏耐力を破線で示す。

##### 【No.1】

$R=0.55 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル正載荷時において梁の端部の曲げひび割れ発生後、梁主筋の降伏および剛性低下が確認されたことから、梁端に曲げ降伏ヒンジが形成されたと判断される。また、 $R=1.09 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル負載荷時に側面で圧縮ひび割れが確認された。 $R=2.18 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル正載荷時に最大耐力が記録され、同サイクル負載荷時に圧縮側側面で梁主筋に沿うひび割れが確認された。 $R=3.30 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル負載荷時に梁端の圧壊ならびに写真1に示すように補強筋1区間程度の長さで座屈が生じたことが目視により確認された。ただし、これ以前の $R=2.18 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル負載荷時に梁端部コンクリートのふくらみが確認されており、耐

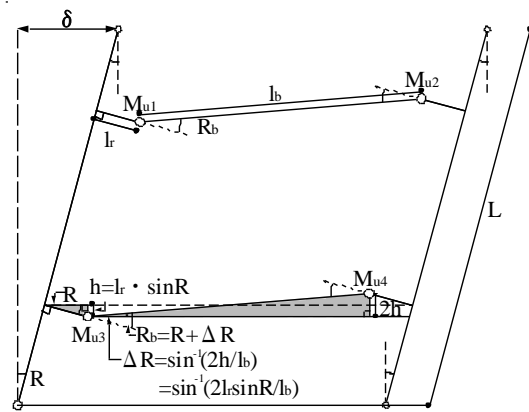


図-7 崩壊メカニズムモデル

力の低下もみられたことから、この時主筋の座屈が生じていたものと判断される。

##### 【No.2】

$R=0.55 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル正載荷時において No.1 と同様に梁の端部の曲げひび割れが発生後、梁主筋の降伏および剛性低下が確認されたことから、梁端に曲げ降伏ヒンジが形成されたと判断される。 $R=2.18 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル負載荷時に圧縮側側面で梁主筋に沿うひび割れが確認された。 $R=3.30 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル正載荷時に最大耐力が記録され、同サイクル負載荷時に圧縮側鉄筋の露出と圧縮側コンクリートの圧壊が確認された。 $R=4.36 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル負載荷時に外側主筋の座屈が目視により確認された。ただし、これ以前の $R=3.30 \times 10^{-2} \text{rad}$  のサイクル負載荷時に梁端部コンクリート中央部のふくらみが確認されており、この時中央の主

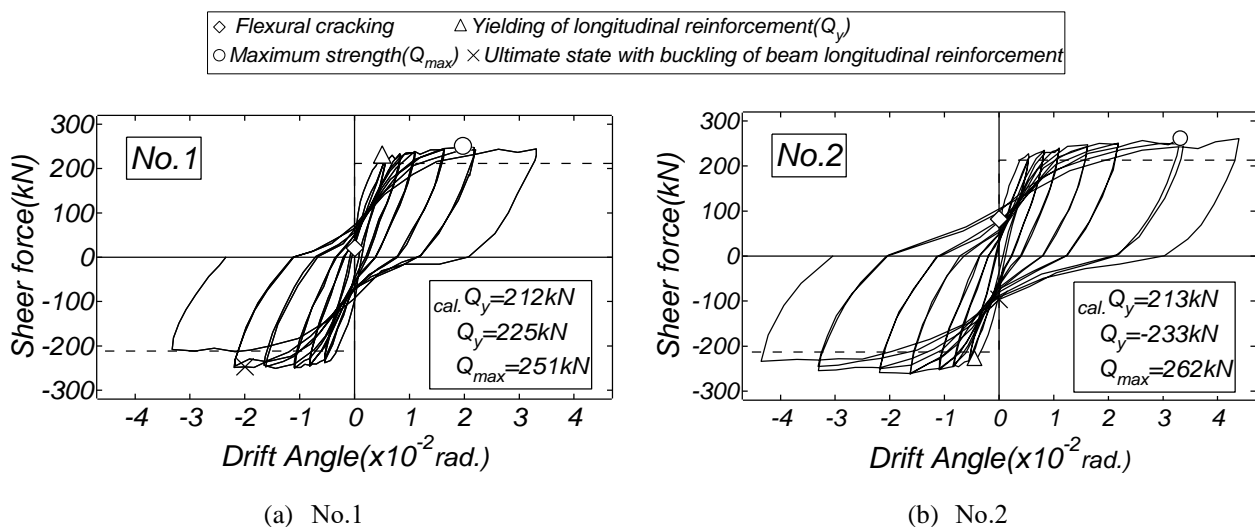
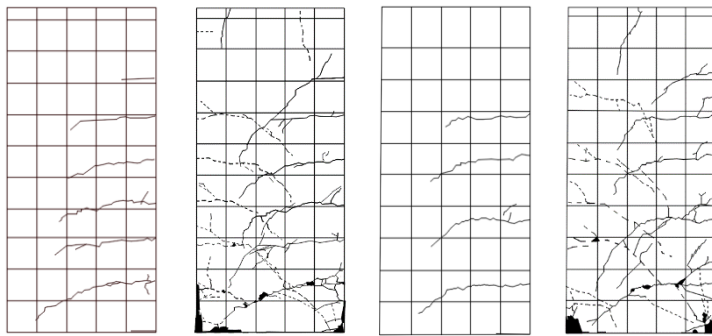


図-8 水平荷重－水平変形角関係



主筋降伏時 主筋座屈時 主筋降伏時 主筋座屈時

(a) No.1

(b) No.2

図-9 破壊状況

筋の座屈が生じていたものと判断される。また、写真1に示すように中央の主筋はせん断補強筋 3 区間程度の長さで部材の外側に膨れだすように座屈が生じ、外側主筋はせん断補強筋 2 区間程度の長さで荷重直交方向に入り込むように座屈が生じた。試験体中央付近のせん断補強筋は面外方向に変形しやすいため、中央の主筋はせん断補強筋を荷重方向に押し出ししながら座屈が生じたものの、外側主筋はせん断補強筋の拘束効果により試験体外側方向への座屈は生じなかったものと考えられる。このように No.2 では主筋位置によって座屈挙動が異なることが確認された。

#### 4. まとめ

本研究ではせん断補強筋の間隔と主筋径をパラメータとした実大 RC 梁部材の構造実験を実施した。

以下に本研究により得られた知見を示す。

1. 本報に示す実大スケールの梁部材においても、既往の研究<sup>2)</sup>の梁降伏型の RC 架構と同様に、RC 建造物の耐震性能評価指針<sup>1)</sup>において安全限界点とされる最大曲げ耐力の 80%以下となる耐力劣化、曲げ降伏後のせん断破壊、梁主筋の引張破断は確認されなかったが梁主筋の座屈に伴う耐力低下が確認された。
2. No.1 試験体では、せん断補強筋 1 区間程度で座屈が生じた。一方 No.2 試験体では、せん断補強筋複数区間にわたって座屈が生じた。



(a) No.1



(b) No.2

写真1 座屈状況

3. 補強筋間隔を狭めることによる座屈防止効果は本実験の範囲では確認されなかった。
4. 試験体 No.2 では、中央の主筋が補強筋を荷重方向に押し出ししながら同方向に座屈し、外側主筋は荷重直交方向に入り込むように座屈が生じた。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説、2004年1月
- 2) 尹ロク現，真田靖士，赤堀巧，鈴木卓，倉本洋：二次壁が単層単スパン RC 架構の水平耐力に与える影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.79, No.706, pp.1869-1878, 2014.12
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010

\*1 大阪大学工学部 工学部

\*2 大阪大学大学院 大学院生

\*3 大阪大学大学院 准教授・博士(工学)

Faculty of Engineering, Osaka University

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Osaka University

Associate Professor, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.