

論文 軸方向変形拘束を受ける RC 梁部材の挙動に関する実験研究

文野 正裕*1・幸村 信行*2・前田 匡樹*3・壁谷澤 寿海*4

要旨: 軸方向変形を拘束された RC 梁部材の挙動を検討するため、軸方向拘束剛性とせん断スパン比をパラメータとして、RC 梁の正負繰り返し加力実験

を行った。その結果、軸方向剛性が大きいほど降伏荷重、最大耐力は増すが、変形能力は低下することがわかった。また、実験で測定したひび割れ幅に着目し、軸方向伸びとの関係について検討した。さらに、剛体の回転と圧縮ストラットの縮みに基づくマクロモデルを用いて、軸方向伸びを推定する方法を示した。

キーワード: 梁の軸変形、軸方向拘束、ひび割れ幅、剛体回転、圧縮ストラット

1. はじめに

RC 造建物では、地震動が入力する際、建物の脆性的な破壊を防ぐため、梁降伏型の全体降伏機構を形成することが望ましいと考えられている^[1]。一方、1995 年兵庫県南部地震では、計算上は梁降伏型の崩壊形を示すが、柱に被害が集中した事例が報告されている^[例えば 2]。その原因の一つとして、ひび割れの発生や主筋の降伏に伴う梁の伸びが、柱や耐震壁など周囲の構造部材に拘束されて圧縮軸力が作用することによる曲げ耐力の上昇、梁の伸びによる柱の水平変位、せん断力の増大などが挙げられている^[3,4,5]。

本研究では、軸方向伸びを拘束された RC 梁部材の挙動を把握するため、軸方向伸びに対する拘束剛性と、せん断スパン比をパラメータとした、梁部材の正負繰り返し加力実験を行った。また、剛体の回転と圧縮ストラットの縮みから軸方向伸びを評価するマクロモデルを提案し、実験結果と比較検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体断面を 図-1 に、試験体一覧を表

図-1 に示す。試験体断面は、幅 30cm×せい 45cm とし、主筋は 4-D19 とした。スパンは、せん断スパン比 $a/D=1.0$ (1 シリーズ)、 2.0 (2 シリーズ) の 2 種類である。せん断補強筋は、曲げ降伏をせん断破壊に先行させるため、靱性保証指針式^[1]によるせん断強度 $V_u (R_p=0)$ が、軸力比 $\eta=0.1$ における曲げ終局計算値強度 $Q_{Mu}^{[6]}$ を上回るように配筋した。両シリーズとも拘束剛性をパラメータとし、計 4 体の試験体について実験を行った。

使用したコンクリート(設計基準強度 $F_c=30\text{Mpa}$ 、最大骨材寸法 20mm)、および鉄筋(SD345)の力学的特性を表-2, 3 に示す。

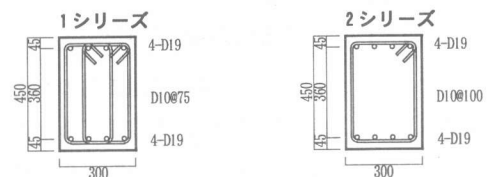


図-1 試験体断面 (単位:mm)

表-1 試験体一覧

試験体	B×D	L	K	主筋	σ_y	$\rho_t \cdot \sigma_y$	横補強筋	$\rho_w(\%)$
2-400	30 × 45	180	400	4-D19	373	3.53	2-D10 @100	0.48
2-100		100						
1-400	90	400	4-D10 @75				1.27	
1-100	100							

L: 内法スパン、K: 軸変形拘束剛性(t/cm)、 σ_y : 主筋降伏強度(MPa)、 $\rho_t \cdot \sigma_y$: 主筋量(MPa)、 ρ_w : 横補強筋比、

*1 横浜国立大学大学院 工学研究科 計画建設学専攻 (正会員)

*2 大成建設(株)

*3 横浜国立大学 助教授 工学部 建設学科 博士(工学) (正会員)

*4 東京大学地震研究所 教授 工博 (正会員)

表-2 コンクリートの力学的特性

試験体	圧縮強度 σ_B (MPa)	圧縮強度歪 ϵ_{cu} (μ)	1/3 σ_B 割線剛性 E_C (GPa)
2-400	33.3	2100	27.3
2-100	37.4	2270	28.2
1-400	38.9	2210	28.7
1-100	38.6	2260	27.4

表-3 鉄筋の力学的特性

鉄筋径	初期剛性 E_s (GPa)	降伏強度 σ_y (MPa)	降伏歪 ϵ_y (μ)	引張強度 σ_u (MPa)	破断歪 ϵ_u (%)
D10	180	362	2280	513	17.8
D19	201	373	2090	561	21.1

※鉄筋種は共にSD345

2.2 軸方向変形拘束剛性

曲げを受ける鉄筋コンクリート梁は、部材を構成する材料の性質により軸方向に伸びを生ずる。この伸びが周囲の部材により拘束され、部材には圧縮軸力が生じる。軸方向拘束剛性(以下、拘束剛性と表記)の程度は、建物のスパン、梁の位置、拘束している構造要素の形態等の様々な要因によって決定され、一意的に定めることは困難である。ここで、図-2のような一層平面純ラーメン RC 骨組を想定し、全ての梁が一様に $\Delta\delta$ 伸びた状態を考える。

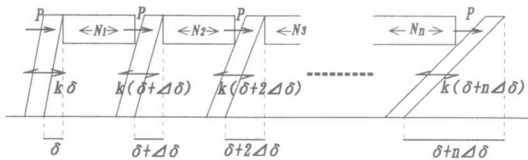


図-2 柱による梁の軸変形拘束

図-2のように、 n スパンの平面骨組の柱の水平剛性を k とし、各節点に外力 P が作用すると仮定する。外力、柱のせん断力、および梁の軸力 N_i より、 n スパン平面骨組の i 番目の梁の軸拘束剛性 K_i は、式(1)で表わせる。

$$K_i = \frac{N_i}{\Delta\delta} = \frac{i(n-i+1)}{2} k \quad (1)$$

本実験では、図-2の骨組で、柱断面 60×60 cm、階高 360 cm、柱の水平剛性をひび割れの発生などによる剛性低下の影響を考慮し弾性剛性の $1/3$ とし、6スパン、12スパンの骨組中央の梁の軸拘束剛性を略算し(それぞれ 116.7 t/cm、 407.4 t/cm)、軸拘束剛性のパラメータとして 100 t/cm

(981 kN/cm)、 400 t/cm (3923 kN/cm)を用いた。

2.3 加力および測定方法

加力装置図を、図-3に示す。試験体には、正負繰り返し逆対称曲げせん断力を作用させた。軸力は、常時測定している軸方向伸びに拘束剛性を乗じた値を、鉛直ジャッキにより作用させた。載荷は、荷重制御により部材角 $1/400$ を1サイクル、その後は変位制御により $1/200$, $1/100$, $1/67$, $1/50$, $1/33$, $1/25$ を2サイクルずつ行い、その後耐力低下するまで押し切った。また、 $1/25$ サイクル以前に耐力低下が認められた場合は、その時点で押し切った。試験体のたわみは、変位計によって測定した試験体上下の値の平均とした。軸方向変形は、材軸に沿った上下スタブ間の変位を測定した。また、各サイクルのピーク時と除荷時に、部材側面に発生したひび割れ幅を、クラックゲージを用いて計測した。

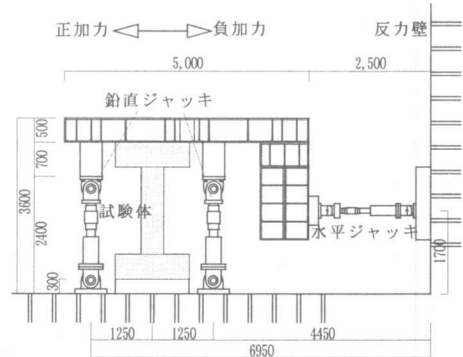


図-3 加力装置図 (単位:mm)

3. 実験結果

3.1 破壊経過と履歴曲線

各試験体のせん断力と部材角の関係を図-4に、実験結果の一覧を表-4に示す。図中の破線はRC規準⁶⁾による曲げ終局強度 Q_{Mu} (軸力比 $\eta=0.0, 0.1, 0.2$)である。また、最終破壊状況を図-5に示す。各試験体とも、曲げひび割れに続きせん断ひび割れが発生して、剛性低下を生じ、部材角 $1/200$ 程度で主筋が引張降伏した。2-400試験体は、部材角 $1/67$ 以降付着割裂ひび割れが進展し、部材角 $1/50$ 付近で繰り返しによる