

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560536

研究課題名(和文) 鉄筋コンクリート造梁部材における材端ヒンジ回転限界の
評価法構築に関する研究研究課題名(英文) Research on valuation method establishment of the hinge rotation
limit in end of a RC beam

研究代表者

松崎 育弘 (MATSUZAKI YASUHIRO)

東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：30138979

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉄筋コンクリート造(RC)梁部材における回転限界(靱性能評価法・せん断設計法)について評価する手法を構築することを目的としている。平成20年、21年度は実大の1/2～1/3スケールである梁部材の曲げ・せん断実験を実施し、平成22年度は梁端部のヒンジ部分をモデル化した部分実験を実施した。その結果、RC梁部材における回転限界を評価するには、梁端部におけるヒンジ領域長さを確定する必要がある、コンクリート強度、配筋状況(複筋比、せん断補強量およびせん断補強筋間隔)に大きく影響を受けることを確認した。評価方法は、梁せん断耐力の曲げ耐力による余裕度による評価が妥当であるが、梁端ヒンジ領域が広がらずに応力が集中した場合には、回転限界が早期に決定されることを考慮する必要があることを提案した。

研究成果の概要(英文)：

It aims at building the technique evaluated about the rotation limit (ductility ability appraisal method・shear design method) in a reinforced concrete beam(RC beam) in this research. The RC beam which is 1/2-1/3 scale of real size carried out the shear and flexial experiment in 2008 and the 2009, and the partial experiment which modeled the hinge segment of the beam end was conducted in the 2010. The hinge region length in a beam end needed to be decided, and the result checked being greatly affected in strength of concrete and an arrangement of steel rods (double line ratio, the amount of shear reinforcement, the space of shear reinforcement) by influence, in order to have evaluated the rotation limit in RC beam. Evaluation by the degree of margin to the flexial capacity of the shear capacity is appropriate to a valuation method. However, when stress concentrated without a beam end hinge region spreading, it proposed that it was necessary to take into consideration that a rotation limit is determined at an early stage.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：鉄筋コンクリート構造

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：RC梁、材端ヒンジ、回転限界、せん断余裕度、靱性能、主筋座屈、拘束効果

1. 研究開始当初の背景

柱・梁・耐震壁により構成される架構型の

鉄筋コンクリート(RC)造建物では、図1に示すように架構に降伏機構を形成するこ

とで強度と靱性を確保し、大地震に耐える設計を行うことが一般的となっている。その方針は、梁部材端に降伏ヒンジ（塑性ヒンジ）を形成し、その塑性ヒンジの回転によりエネルギー吸収を行うことで建物の耐震性能を確保するものである。この際、梁部材端部の塑性ヒンジには、地震時に生じる曲げモーメントおよびせん断力を維持しつつ回転する変形性能（靱性能）が求められる。申請者らは、これまでに、高強度材料を含む梁・柱部材実験を実施して、実験的に材端塑性ヒンジ回転の限界値について示し、超高層 RC 建物などの靱性型架構を数多く実現させるに至っている。さらに、塑性ヒンジの回転限界は、材端ヒンジ区間のせん断破壊により決定され、その限界値は、ヒンジ区間のせん断変形と相関関係があることを示している。一方で、現在示されている「終局強度型耐震設計指針」、「靱性保証型耐震設計指針」において、材端のヒンジ回転限界の設計法（評価法）は、ヒンジ区間の抵抗機構が十分に明らかにされていないため、ヒンジ回転角が増加するにしたがってせん断耐力を低減する手法が示されている。したがって、材端塑性ヒンジの回転限界を明確に評価するためには、塑性ヒンジの抵抗機構を明確にした手法を構築する必要がある。

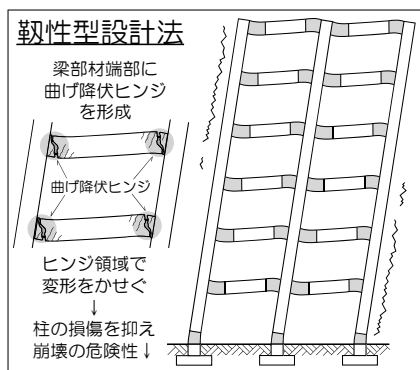


図1 大地震時の挙動

2. 研究の目的

本研究は、RC 梁部材におけるヒンジ回転限界（靱性能評価方法・せん断設計法）について評価する手法を構築することを目的としている。複筋比が 1.0 未満の梁部材に対する $F_c=40\text{N/mm}^2$ 級、 $p_w=0.41\%$ レベルでの静的加力実験によると、複筋比が 1.0 未満の梁部材は、複筋比 1.0 の梁部材よりもコンクリートの圧壊を早期に誘発しやすく、そのため、主筋の座屈も誘発しやすいことを把握している。このため、複筋比 $\gamma=1.0$ の場合に把握されている材端ヒンジ部分のせん断破壊と若干異なり、主筋の座屈により材端ヒンジ部分でのせん断抵抗（せん断力の保持能力）が

失われる傾向を把握している。そこで本研究では、材端ヒンジの回転限界を以下の二つで決定される場合に分類して、評価方法の構築を行うものとする。

- (1) 材端ヒンジ部のせん断破壊によりヒンジ回転限界が決定される場合（主として $\gamma=1.0$ ）
- (2) 材端主筋の座屈によりヒンジ回転限界が決定される場合（主として $\gamma < 1.0$ の場合、またせん断補強間隔が広い場合）

研究は、まず、圧縮主筋が引張主筋よりも少ない、複筋比=1.0 未満である梁部材の靱性能の評価方法を構築する。そして、申請者らが蓄積している複筋比 $\gamma=1.0$ の梁部材が（コンクリート強度：21~150N/mm²程度、使用補強鉄筋が 295 から 1275N/mm²）に関する既往の実験結果も合わせて用いて、応力伝達性状を検討し、鉄筋コンクリート梁部材におけるヒンジ回転限界（靱性能評価法・せん断設計法）について評価する手法を構築する。

3. 研究の方法

本研究では、まず、複筋比が 1.0 未満の梁部材に対する静的加力実験を行うことで、その変形性能（靱性能）について明らかにする。そして、複筋比が 1.0 未満で主筋の座屈によって材端ヒンジの回転限界が決定される場合について、靱性能の改善手法として端部ヒンジ区間のせん断補強量を多く配筋する手法についての検討を行う。そして、この実験データおよび既往の複筋比 1.0 の既往実験資料をもとに断面解析および有限要素解析を合わせて実施することで曲げとせん断抵抗機構について検討し、ヒンジ回転限界の評価手法について検討する。

実験は、①複筋比、②せん断余裕度を実験要因として、既往の研究成果も併せて、圧縮側コンクリートの負担状況の差異、コンク

表1 試験体一覧

No.	試験体要因									
	コンクリート FC(σ _c)	材質 σ _y	配筋 ρ _w	γ	材質 σ _y	配筋 ρ _w	P _{wm} (%)	P _{mh} (%)	Q _{ult} /Q _{max} ¹⁾	せん断余裕率
1					4-D10(150N)	0.41	0.88	2.22(4.34)		
2	42(92)	SD295A (378)	4-φ-D10	0.5	UR785	0.88	0.88	2.22(4.34)		
3			8-φ-D10	1.0	4-D10(150N)	0.88	1.22	2.42(2.42)		
4			8-φ-D10	1.0	4-D10(150N)	0.88	1.22	2.42(2.42)		
5	42(40)	SD490 (547)	4-φ-D10	0.5	UR785	0.41	0.88	1.57(1.33)		
6			4-φ-D10	0.5	UR785	0.88	1.22	1.88(1.77)		
7	80(81)		8-φ-D10	1.0		0.41	0.88	1.83(1.22)		
8			8-φ-D10	1.0	4-D10(150N)	0.41	1.22	1.31(1.22)		
1-4		SD490 (487)	8-φ-D10	1.0	UR785	4-D10(150N)	0.41		1.35	
1-5	42(40)		8-φ-D10	1.0	UR785	4-D10(150N)	0.88		1.85	
06-1		SD490 (547)	4-φ-D10	0.50	UR785	4-D10(150N)	0.41		1.28	
06-2	42(38)		4-φ-D10	0.50	UR785	4-D10(150N)	0.88		1.50	
06-3			4-φ-D10	0.50	UR785	4-D10(150N)	1.22		1.80	

注) σ_B, σ_y の () 内の値は材料試験結果を示す。

P_{wm} : 非ヒンジ領域せん断補強筋比, P_{mh} : ヒンジ領域せん断補強筋比, () 内は非ヒンジ領域せん断余裕度
 No.1-4, 1-5 : 石飛, 松崎, 他 : 高強度せん断補強筋を用いた RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究(その 4), AIJ 大会梗概集, C-2, pp.255-256, 2002
 No.06-1~3 : 1) 池寄, 松崎, 他 : RC 梁部材の靱性能に複筋比が及ぼす影響に関する実験的研究 (その 1), AIJ 大会梗概集, C-2, pp.193-194, 2007

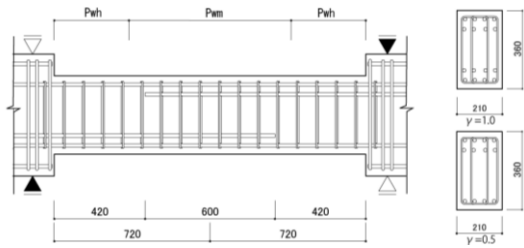


図2 試験体形状

トの圧縮拘束状況と主筋座屈長さの差異を調べた。実験方法は、圧縮主筋を引張主筋よりも小さくすることで、曲げ降伏後の圧縮側コンクリートの圧壊を顕著にさせ、曲げモーメントの維持または、せん断力の維持が困難となる性状も顕在化することを意図した。

表1に試験体一覧、図2に梁部材の試験体形状を示す。試験体は実大の1/3スケール、試験体断面 $b \times D = 210 \times 360\text{mm}$ 。変動要因は、複筋比 $\gamma = 0.5, 1.0$ の2水準、一般部せん断補強筋比 $p_{wm} = 0.41, 0.68, 1.22\%$ の3水準、材端ヒンジ部分補強筋比 $p_{wh} = 0.68, 1.22\%$ の2水準、主筋降伏強度 $\sigma_y = 295\text{N/mm}^2$ 級とし、コンクリート設計基準強度 $F_c = 42\text{N/mm}^2$ とした。载荷は大野式逆対称モーメント形式正負交番繰返し漸増载荷とした。

4. 研究成果

(1) 梁部材の曲げ・せん断実験

図3に破壊状況、図4にせん断力 (Q) - 相対変位 (δ) 関係、図5に塑性率 μ - せん断余裕度 Q_{su}/Q_{mu} 関係、図6に $Q/Q_y - \delta/\delta_y$ 関係を示す。図6(1)には、既往の実験結果を示した。 $\gamma = 0.5, Q_{su}/Q_{mu} = 1.39$ の No.06-1 はヒンジ領域において圧縮側鉄筋が座屈することで、せん断ひび割れが口開き耐力低下し $\mu = 1.67$ となり、 $\gamma = 1.0, Q_{su}/Q_{mu} = 1.35$ の No.1-4 ($\mu = 2.56$) に比べて小さい値を示した。これよりせん断余裕度が同等でも複筋比により靱性能が劣るといえる。

No.1~4 はコンクリートが $\sigma_B = 52\text{N/mm}^2$ で、主筋が $\sigma_y = 376\text{N/mm}^2$ のシリーズである。No.1 は $\gamma = 0.5, p_{wm} = 0.41\%$ であり、既往の実験では曲げ降伏後に材端主筋の座屈によりヒンジ回転限界が決定される試験体である(図6(1)の No.06-1)。この試験体は材端ヒンジ部分を $p_{wh} = 0.68\%$ とすることにより、ヒンジ回転限界が向上している。No.1, 2, 3 とともに $R = 1/25\text{rad}$ 時まで耐力低下のない良好なヒンジ回転を示している。 $p_{wh} \geq 0.68\%$ 以上とすることにより、 $\gamma = 0.5$ であっても主筋の座屈を防ぐことができている。図6(1)より、No.6 からせん断余裕度のみを増加させた No.3 ($cQ_{su}/cQ_{mu} = 2.49$) が、 $\gamma = 1.0$ の No.4 ($cQ_{su}/cQ_{mu} = 2.49$) と同等の靱性能を有していた。以上の事より、 γ が 1.0 未満の梁部材においてもせん断補強筋量を増すことにより、

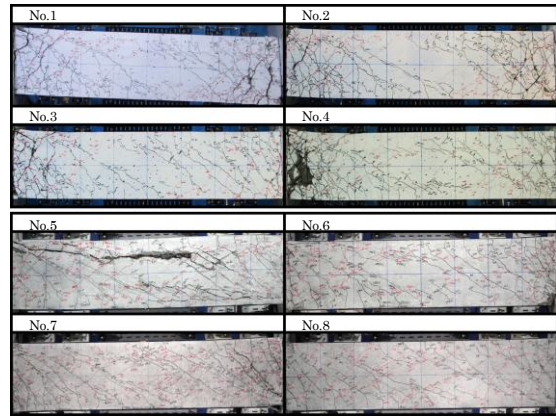
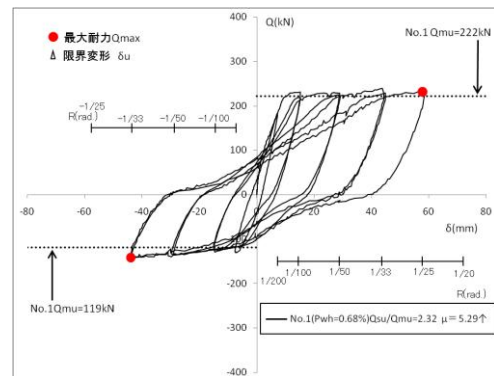
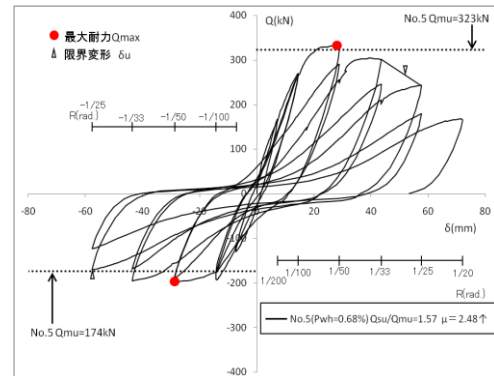


図3 破壊状況写真 ($R=1/25\text{rad}$ 時)



(1) No.1 試験体, $\gamma = 0.5, p_{wm} = 0.41\%, p_{wh} = 0.68\%$



(2) No.5 試験体, $\gamma = 0.5, p_{wm} = 0.41\%, p_{wh} = 0.68\%$

図4 せん断力 (Q) と相対変形 (δ) の関係

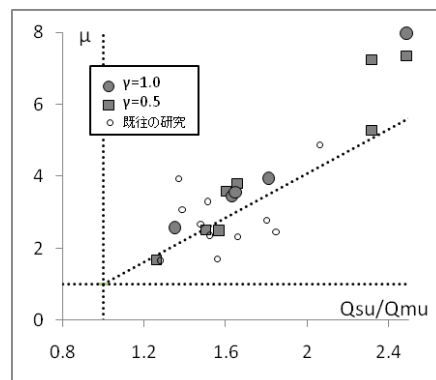
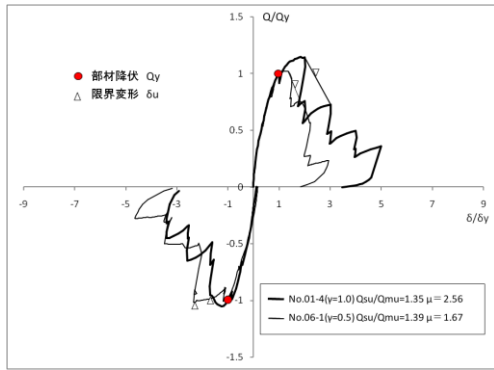
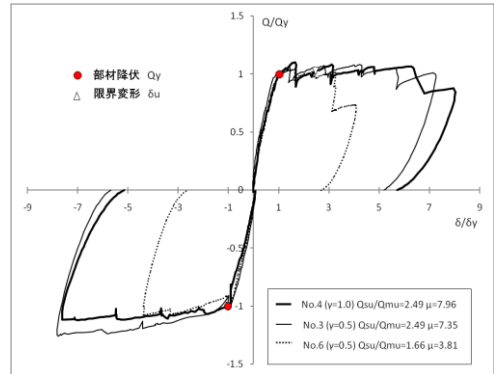


図5 $\mu - cQ_{su}/cQ_{mu}$ 関係



(1) 主筋の座屈による耐力低下状況



(2) ヒンジ部分のせん断余裕度の違いによる比較

図 6 $Q/Q_y - \delta/\delta_y$ 関係

RC 梁部材の破壊および靱性能はヒンジ領域のせん断余裕度によって決定されることが考えられる。No.5, 6, 7, 8 は、コンクリートが $\sigma_B = 40, 61 \text{N/mm}^2$ 、主筋が $\sigma_y = 547 \text{N/mm}^2$ であり、せん断余裕度 (cQ_{su}/cQ_{mu}) を No.1~4 に比べて低くした試験体である。一般部の p_{wm} に比べてヒンジ部分の p_{wh} が高くなっており、 $p_{wh} \geq 0.68\%$ 以上となっている。これらの試験体は曲げ降伏後のせん断破壊を示しており、 $\gamma = 0.5$ であってもヒンジ部分のせん断余裕度によってヒンジ部の回転限界を評価できることがわかる。また、図 3 より p_{wh} が高くなるにつれてヒンジ領域が狭くなっているのがわかる。

図 5 に塑性率 μ - せん断余裕度 cQ_{su}/cQ_{mu} 関係を示す。限界変形はせん断力 (Q) - 相対変位 (δ) 曲線包絡線上でせん断力が曲げ降伏後の最大耐力の 80% に低下したときの変形とし、塑性率は限界変形を降伏時変形で除した値とした。せん断耐力計算値 cQ_{su} は終局強度型非靱性式、曲げ耐力計算値 cQ_{mu} は RC 規準曲げ略算式により算出した。尚、図 5 中には既往の実験結果をあわせて示す。既往の研究により $\mu - cQ_{su}/cQ_{mu}$ 関係には比例関係があるとされているが $\gamma < 1.0$ においては座屈の影響により靱性能が劣る場合があるため比例関係を示していない。しかし、せん断余裕度が大きくなることで概ね適合性が良くなり既往の研究と同様な分布を示す。よって $\gamma < 1.0$ であってもせん断余裕度によって靱性

能評価できるといえる。

平成 20 年、21 年度の梁部材の曲げ・せん断実験を実施し、以下の知見を得た。

- ① 複筋比が 1.0 未満の梁部材において、せん断補強量が同程度の場合であっても、せん断補強筋が大きい場合、主筋の座屈長さの違いおよび主筋の圧縮力負担の違いの影響により、早期にヒンジ回転限界が決定される。
- ② 複筋比が 1.0 未満の梁部材においても、せん断耐力にせん断補強筋間隔の影響を考慮した評価式を用いたせん断余裕度によってヒンジ回転限界を評価することが可能である。

(2) 梁端部ヒンジ部分の要素実験

平成 22 年度は、梁端部ヒンジ部分に影響を及ぼすと思われるせん断補強筋の拘束効果をモデル化した実験を行った。実験要因は、せん断補強筋のフック形状 (135° フック、溶接閉鎖型) であり、フック部分の定着を調べるための実験である。フック部分をコンクリートに埋込み、1 組のせん断補強筋を引張ることにより、フック部分の定着力を把握するとともにコンクリートの拘束効果を確認した。実験により、以下の知見を得た。

- ① せん断補強筋のフック部の定着力は、フック形状には関係なく、同程度の耐力を示した。
- ② 135° フックの拔出し量は、溶接閉鎖型に比べて多くなっており、フック部の余長部分がコンクリートのかぶり部分を支圧することにより割裂ひび割れが発生し、急激に剛性が低下する結果となった。このことより、ヒンジ部分の回転限界に影響を及ぼすと考えられる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① 藤田貴弘, 徳重充, 中野克彦, 松崎育弘: RC 梁部材の靱性能にせん断余裕度と複筋比が及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 2009 年 8 月
- ② 藤田貴弘, 中野克彦, 松崎育弘: RC 梁部材の靱性能に複筋比が及ぼす影響, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第 53 号, pp. 183-186, 2010 年 7 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松崎 育弘 (MATSUZAKI YASUHIRO)
東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 30138979

(2) 研究分担者

佐々木 文夫 (SASAKI FUMIO)
東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 80385533