

RC 梁部材の構造性能にせん断補強筋の配筋が及ぼす影響に関する実験的研究

- 高強度せん断補強筋 (MK785) の開発 -

RC 梁部材 高強度せん断補強筋 中子筋
せん断余裕度 靱性能 限界変形角

正会員 ○藤田 貴弘*1 同 松崎 育弘*3
同 中野 克彦*2 同 小杉 雅男*4
同 松谷 輝雄*5

1.はじめに

近年、鉄筋コンクリート(RC)造による高層建物が数多く建設されるのに伴い、高強度材料(高強度コンクリート・高強度鉄筋)を組み合わせた RC 梁部材の構造性能に関する研究が数多く行われている。また、曲げ降伏後の靱性能はせん断補強筋を増やすことで向上でき、中子筋の併用も有用とされている。しかし、同じせん断補強筋比であって、中子筋の有無が靱性能に及ぼす影響を調べた研究は少なく不明な点も多い。

そこで本研究では、せん断補強筋比(p_w)とその間隔および中子筋の有無を実験要因とした梁部材実験を行うことで、中子筋の有無が梁の靱性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2.実験概要

図1に試験体形状及び配筋図、表1に使用した鉄筋材料試験結果一覧、表2に試験体及び実験結果一覧を示す。試験体は実大の約 1/3 スケールとし、共通要因は、断面 $b \times D = 210(\text{mm}) \times 360(\text{mm})$ 、せん断スパン比 $a/D = 2.0(a = 720\text{mm})$ とし、コンクリート設計基準強度に $F_c = 60\text{N/mm}^2$ 級、主筋に SD390、せん断補強筋強筋には MK785 の高強度せん断補強筋を用いた。変動要因

は、せん断補強筋比 4 水準($p_w = 0.45, 0.75, 0.90, 1.22\%$)、せん断補強筋形状 2 種類(溶接閉鎖型・135°フック型)、中子筋の有無の 3 種類とし、曲げ破壊先行型を計画した。加力は大野式逆対称モーメント形式の正負交番繰り返し漸増载荷とした。

3.実験結果

3-1 破壊性状

図2に最終破壊状況を示す。中子筋の有無で比較すると、中子筋を有する試験体 No.8($@150\text{mm}, p_w = 0.90\%$)ではせん断ひび割れが試験体端部に集中して発生しているのに対して、中子筋を有しない試験体 No.4, No.5($@150\text{mm}, p_w = 0.45\%$)では、試験体中央部までひび割れが分散して発生する傾向にあった。また、 p_w が小さな試験体になるにつれて主筋に沿った付着ひび割れがより顕著になり、 p_w が大きい試験体になるにつれて試験体端部にひび割れが集中する傾向にあった。部材降伏後は、試験体端部に形成された塑性ヒンジに損傷が集中し、 p_w が最も大きい試験体においては曲げ降伏、その他の試験体においては曲げ降伏後のせん断破壊を示し、せん断補強筋形状が 135°フック型の試験体 No.5 のみせん断補強筋のフック近傍が絞り破断した。

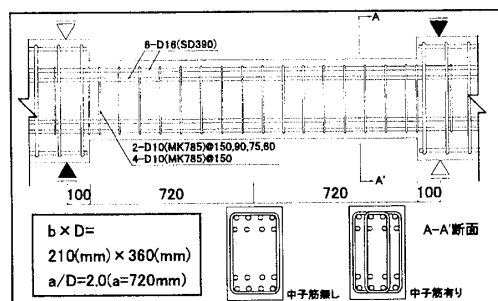


図1 試験体形状及び配筋図

表1 鉄筋材料試験結果一覧

材質	用途	降伏点 σ_y [N/mm ²]	引強さ σ_u [N/mm ²]	ヤング係数 E_s [$\times 10^4$ N/mm ²]	伸び [%]
SD390 D16	主筋	421	581	1.86	19.7
MK785 D10	せん断補強筋	828	1068	2.01	9.0

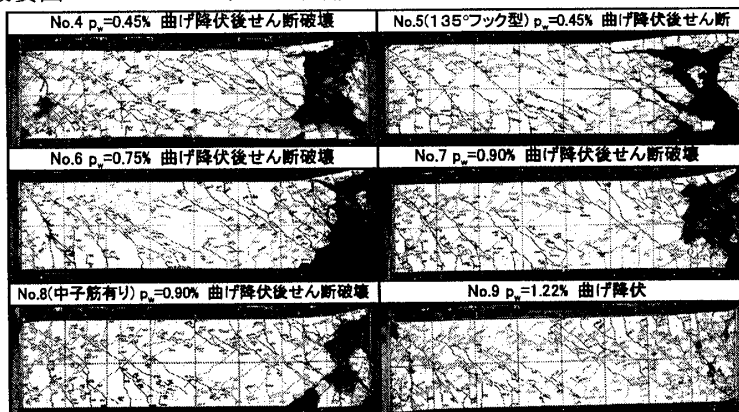


図2 最終破壊状況

表2 試験体及び実験結果一覧

NO.	コンクリート $\sigma_B(F_c)$ [N/mm ²]	主筋 SD390		せん断補強筋 MK785		計算値一覧					実験結果一覧			
		配筋	pt[%]	配筋[mm]	pw[%]	cQmu [kN] ^{※2}	cQsu1 [kN] ^{※3}	cQsu2 [kN] ^{※4}	cQsu1 / cQmu	cQsu2 / cQmu	最大耐力時			
											Q[kN]	δ [mm]	Ru(rad) ^{※5}	破壊モード ^{※6}
4	63 (60)	8-D16	2.54%	2-D10@150	0.45	249	394	229	1.58	0.58	267	23.99	1/24	FS
5				2-D10@150 ^{※1}	0.45	249	394	229	1.58	0.58	269	26.89	1/33	FS
6				2-D10@90	0.75	249	518	329	2.08	0.64	271	28.44	1/24	FS
7				2-D10@75	0.90	249	547	379	2.20	0.69	271	28.85	1/22	FS
8				4-D10@150	0.90	249	547	379	2.20	0.69	269	28.18	1/25	FS
9				2-D10@60	1.12	249	575	419	2.31	0.73	276	27.56	1/20↑	F

※1せん断補強筋が135°フック※2 cQmu:曲げ耐力(RC規準曲げ略算式)※3 cQsu1:せん断耐力(終局強度型耐震設計指針A法非靱性式)

※4 cQsu2:せん断耐力(ウルボン785設計施工指針式)※5 曲げ降伏後せん断耐力が最大耐力の80%に低下したときの変形角※6 FS:曲げ降伏後せん断破壊 F:曲げ降伏

Structural Performance of RC Beam Influenced by Bar Arrangement of Shear Reinforcement.
Development of High Strength Shear Reinforcing Bars.

FUJITA Takahiro, MATSUZAKI Yasuhiro
NAKANO Katsuhiko, KOSUGI Masao, MATSUTANI Teruo

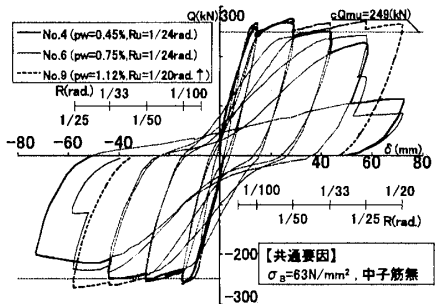


図3 Q-δ関係[pw別比較]

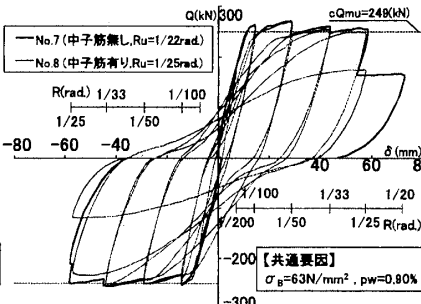


図4 Q-δ関係[中子筋有無比較]

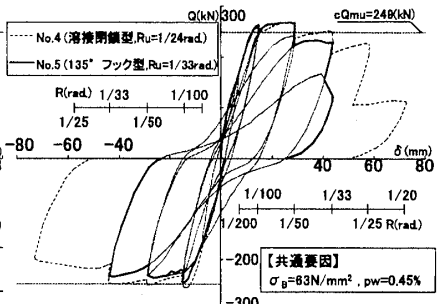


図5 Q-δ関係[補強筋形状比較]

また、曲げ降伏後せん断破壊した試験体では圧縮側主筋が座屈しており、せん断補強筋の間隔がより粗い試験体ほど座屈が顕著であった。

3-2 変形性状

図3~5に変動要因別のせん断力(Q)-相対変位(δ)関係を示す。すべての試験体において、変形角 R=1/100 rad.に向かうサイクルで部材降伏に至った。図3は中子筋を有しない試験体の比較であるが、pw=0.45~0.75%では変形角 R=1/25rad.に向かうサイクルにて耐力低下し、限界変形角 Ru=1/24rad.となったのに対して、pw=1.22%とした試験体では、変形角 R=1/20rad.まで安定した変形性状が得られ、pwが大きくなることによって靱性能が向上していることがわかる。図4より、中子筋を有しない試験体では、R=1/20rad.に向かうサイクルで耐力低下したのに対して、中子筋を有する試験体では R=1/25rad.の繰返し载荷において耐力低下した。以上のことより、中子筋の有無で pw を同じにした場合、せん断補強筋の間隔がより粗い試験体の方が早期に耐力低下するが、ほぼ同程度の靱性能を有するということがわかる。また、図5はせん断補強筋形状別の比較になるが、どちらの試験体も最大耐力までは同様の変形性状を示していたが、変形角 R=1/33rad.の繰返し载荷で135°フック型の試験体のみ、せん断補強筋のフック近傍において絞り破断し著しい剛性低下がみられた。

3-3 ひずみ性状

図6に破壊を決定付けたと考えられるひび割れが横切っているせん断補強筋のひずみ推移図を示す。ここで ε/εy=せん断補強筋に貼付したひずみの値/降伏時ひずみ、Q/Qy=せん断力/部材降伏時荷重とする。図より、破壊を決定付けたせん断補強筋のひずみは中子筋を有しない場合、変形角 R=1/25 rad.のサイクルのときに外周筋が降伏しているのに対して、中子筋を有する場合は、変形角 R=1/33 rad.の繰返しサイクルのときには降伏値寸前まで達していた。以上のことより、中子筋を

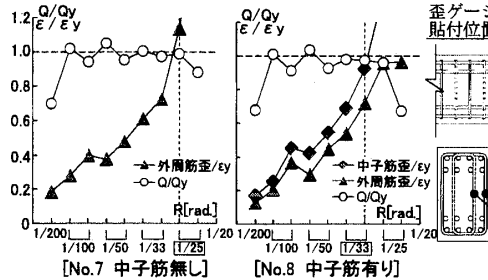


図6 せん断補強筋ひずみ推移図

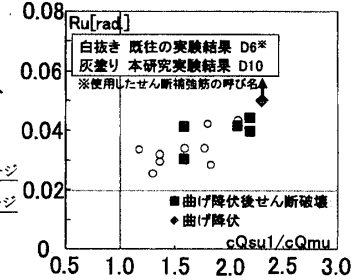


図7 Ru-cQsu1/cQmu 関係

有する試験体の端部では変形角 R=1/25 rad.のサイクルの時点で中子筋がせん断力を負担できない状態にあったと考えられ、そのため中子筋を有しない試験体より若干靱性能が劣り、中子筋を有しないせん断補強筋の間隔が等しい試験体 No.4 と同程度の靱性能になったと考えられる。

4.靱性能評価

図7に限界変形角(Ru)-せん断余裕度(cQsu/cQmu)関係を示す。Ruは曲げ降伏後のせん断力が最大耐力の80%に低下したときの変形角とした。なお、せん断耐力は終局強度型A法非靱性により、曲げ耐力はRC規準曲げ略算式を用いて算出した。また図には、参考として既往の実験結果²⁾(Fc=24~60N/mm², 中子筋有り)を合わせて示す。コンクリート強度が比較的高く、中子筋を有しない試験体においては主筋座屈の影響を受けるため、やや適合性は良くないが、概ね既往の実験結果と同様に限界変形角とせん断余裕度に相関関係が見られる。

5.まとめ

- [1]高強度コンクリートと高強度せん断補強筋を組み合わせたRC梁の靱性能は、中子筋の影響は顕著でなく既往の評価方法により評価できることを確認した。
- [2]本実験の範囲内において、せん断補強筋の間隔によってはせん断補強筋比に関係なく、圧縮側主筋の座屈により靱性能が決定される場合がある。

【謝辞】本研究は高強度鉄筋 MK785 の研究開発に関する研究委員会(委員長 松崎育弘 東京理科大学名誉教授)の研究活動として行われたものである。
 【参考文献】1)鉄筋コンクリート造梁、柱のせん断補強筋としてウルボン785を使用する工法 設計施工指針・同解説 2003, 2)日本建築学会学術梗概集 鈴木, 石飛, 松崎他 高強度せん断補強筋を用いたRC部材の構造性能に関する実験的研究 2002 p.253-p.256

*1 新潟工科大学 大学院工学研究科
 *2 新潟工科大学 教授・博士(工学)
 *3 東京理科大学 名誉教授 工博
 *4 (株)堀江建築工学研究所
 *5 (株)向山工場

*1 Graduate student, Niigata Institute of Technology.
 *2 Prof., Niigata Institute of Technology, Dr. Eng.
 *3 Professor Emeritus, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.
 *4 Horie Engineering And Architectural Research Institute.
 *5 Mukoyama Steel Works Co., Ltd.