

# 論文 材端部開孔を有する鉄筋コンクリート梁の耐震性状

岩崎 亮太\*1・丸田 誠\*2・永井 寛\*3・三原 竜生\*4

**要旨：**建築構造物では RC 梁の設備配管用貫通孔を端部に設ける要望が多いが、梁の靱性能を乏しくすることが指摘される。これまでに新規のフック法、ステッキ法で開孔補強を施した D/3 端部開孔実験を実施したが、十分な曲げ靱性能を確保できなかった。今回せん断余裕度を上げ、D/4 開孔を中心に計 12 体の端部開孔実験を実施した。比較的大きな D/3.5 開孔には、新たに提案する 3 重リング法を施した。全ての試験体で目標の靱性能を確保することができた。フック法、ステッキ法、3 重リング法は靱性能に寄与できた。D/4~D/3 開孔について筆者らの研究を中心に整理し、せん断余裕度と靱性能の関係を示した。

**キーワード：**鉄筋コンクリート, 有孔梁, 端部開孔, 開孔補強金物, 靱性能

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造 (以下, RC) 集合住宅では、設備用配管が多く設置されている。開孔を納めるために、下がり天井を設置することが多いが、その範囲が広いと、設計での自由度を低下させる。この問題を解消するために、梁端部 (柱面から梁せい以内, ヒンジ領域) に開孔設置の要望が多い。しかし、梁端部は大地震時、変形が集中する部分であり、そこに開孔を設けることで、靱性能を乏しくすることが文献 1) 等によって指摘されている。

今までに RC 端部有孔梁の曲げせん断実験が数多く行われ、様々な開孔補強を施すことで、無開孔 RC 梁と同程度のせん断強度、靱性能を有することが確認されている<sup>2)</sup>。また、文献 2)~4) では、開孔補強金物 (既製金物)、孔際補強筋 (以下, S 筋)、座屈補強筋 (以下, Y 筋) で開孔補強することが提案されているが、Y 筋を 1 段目主筋すべてに配置することから施工が煩雑である。そこで

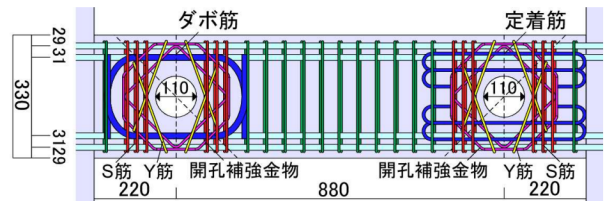


図-1 従来法<sup>5)</sup>+ダボ筋, 定着筋<sup>6), 7)</sup>

文献 5) では Y 筋量を減らし、1 段目主筋の外周にのみ Y 筋を配した開孔補強の曲げせん断実験が実施されている。この開孔補強方法を従来法と呼ぶ。また、靱性能向上を目的に従来法に加え、定着筋、ダボ筋 (開孔周囲に設置した楕円形の鉄筋 図-1 参照) を加えた曲げせん断実験<sup>6), 7)</sup>も行われているが、開孔補強量が多く合理化が求められている。

筆者らは、これまでに、従来法と新たに 2 種類のフック法、ステッキ・キャップ法 (以下, ステッキ法) で RC

表-1 試験体諸元

試験体名	断面 b×D (mm)	L <sub>0</sub> (mm)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	主筋	一般部横補強筋			材端部開孔径 H(mm)	開孔位置	補強方法	開孔補強金物		S 筋			
					鋼種	間隔 (mm)	P <sub>w</sub> (%)				鋼種	P <sub>wd</sub> (%)	鋼種	P <sub>ws</sub> (%)		
P71	330 × 450	1125	48	6-D19	4-D6	SD295	50	0.77	112.5(D/4)	D/2	ステッキ法	D8(SD785) ×2 セット	4-D8(SD785) ×2 セット	0.65		
P72				SD490			50	0.77	112.5(D/4)		フック法			0.46	0.65	
P81				6-D19			60	0.64	90(D/5)	D/3.3	従来法			0.46	0.65	
P82				SD390							**従来法(偏心)			0.35	0.49	
P91			6-D16	24	60	0.64	112.5(D/4)	D/2	ステッキ法	0.46	0.65					
P92			SD390						フック法	0.46	0.65					
P101			36	60	0.64	100(D/4.5)	D/2	ステッキ法	0.46	0.65						
P102								SD390	*柱際ステッキ法	0.46	0.65					
P111			36	50	1.20	8-D19	4-D8	SD785	112.5(D/4)	D/2	ステッキ法			1.32	4-D10(SD785)	1.40
P112						SD490	SD785				50			1.20	112.5(D/4)	フック法
P121			36	60	0.64	6-D19	4-D6	SD295	128.6(D/3.5)	D/2	3 重リング法			1.32	4-D8(SD785) ×2 セット	0.65
P122						SD390	4-D8				50			1.20	128.6(D/3.5)	3 重リング法

F<sub>c</sub>: コンクリート設計強度 P<sub>w</sub>: 一般部横補強筋比 P<sub>wd</sub>: 開孔補強筋 (開孔補強金物) 比 P<sub>ws</sub>: 孔際補強筋 (S 筋) 比 \*開孔中心がスタブ面から材軸方向に D/4=100mm 離れている。 \*\*開孔中央が梁せいの半分から鉛直方向に D/7.5=60mm 偏心する。ステッキ筋, キャップ筋, Y 筋は 2-D10-SD295 材を, 3 重リング法の開孔補強金物の 3 リング目は D13-SD785 材を用いている。

- \*1 静岡理科大学 理工学研究科 システム工学専攻 (学生会員)
- \*2 静岡理科大学 理工学部建築学科 教授 博(工) (フェロー会員)
- \*3 (有) SK サービス 工修 (正会員)
- \*4 コーヨー建販 (株)

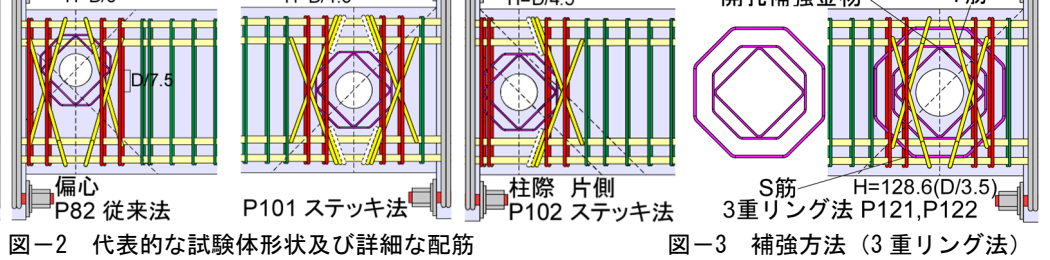
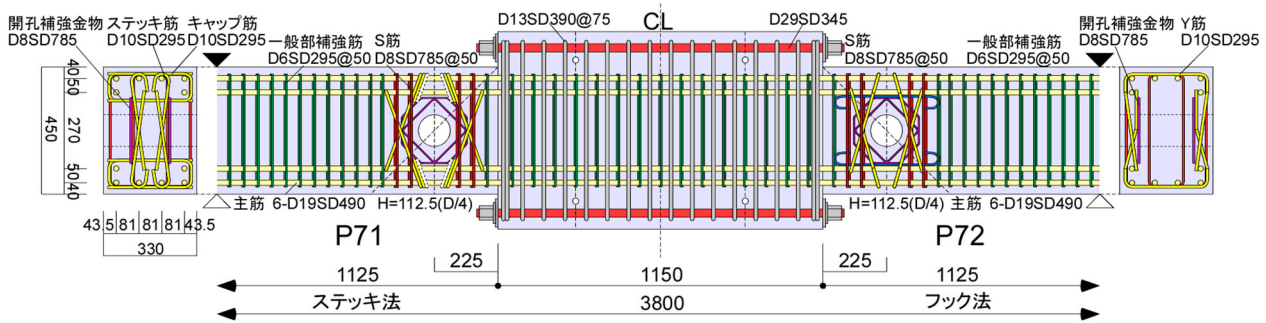


表-2 鉄筋の引張試験結果

鉄筋種	降伏強度	ヤング係数	引張強度	備考	
径 材質	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		
D6	SD295	*385	177	519	一般部横補強筋
D8	SD785	*977	195	1156	
D10	SD295	365	190	513	Y筋,ステッキ筋 キャップ筋
	SD785	*950	200	1134	
D13	SD785	*930	194	1097	開孔補強金物,S筋 3重リング法の 3重目リング筋
D16	SD390	462	197	642	主筋
D19	SD390	450	196	615	
D19	SD490	530	189	700	

\*0.2%オフセット法

表-3 コンクリートの圧縮・割裂試験結果

試験体名	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 強度 σ <sub>B</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
P71,P72	48	52.4	2.92	34.7
P81,P82	36	37.5	2.42	30.6
P91,P92	24	26.4	1.70	27.7
P101,P102	36	37.4	2.42	30.6
P111,P112	36	37.0	2.42	30.8
P121,P122	36	36.9	2.42	29.8

有孔梁の曲げせん断実験<sup>8)</sup>を実施したが、D/3開孔で高い靱性能を確保することは困難であった。本報はこの結果を踏まえ、靱性能の向上を目的に、従来法、フック法、ステッキ法と新たに3重リング法を加え、新規実験を行い、ここに報告する。開孔径は、D/5~D/3.5(D:梁せい)とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

試験体諸元を表-1に、試験体形状及び代表的な詳細配筋を図-2に示す。試験体は約1/2縮尺で、両端に試験区間である梁部と中央にスタブ部を有する形状である。左右梁部で異なった補強を行い、体数は6体、12因子(試験体)である。断面寸法 b×D(梁幅×梁せい)

=330mm×450mm, せん断スパン L<sub>0</sub>=1125mmである。全試験体でRC規準式(修正広沢式)<sup>9)</sup>による開孔部せん断強度 Q<sub>H</sub>が曲げ終局強度略算式<sup>9)</sup>による梁曲げ終局せん断強度 Q<sub>R</sub>を上回る計画とした。実験因子は、開孔径 H, 開孔位置(材軸方向, 鉛直方向), 補強方法, 入力せん断応力度レベル τ/σ<sub>B</sub>, せん断余裕度 Q<sub>H</sub>/Q<sub>R</sub>とした。

D/5開孔のP81とP82は従来法で、偏心の有無を因子とした。P81に対して、P82の開孔は鉛直方向に偏心している。P71, P91, P111はステッキ法, P72, P92, P112はフック法で、補強方法を因子とした。これら試験体は入力せん断応力度レベル τ/σ<sub>B</sub>がそれぞれ異なる(P71, P72:0.037 P91, P92:0.044 P111, P112:0.068)。D/4.5開孔のP101とP102はステッキ法で材軸方向の開孔位置を因子としている。P101の開孔中央はD/2に位置するが、P102の開孔中央は柱際に位置する。これにより、P102は片側のみステッキ筋、キャップ筋で補強され(片側ステッキ法), P101に比較し補強筋量が少ない。D/3.5開孔のP121とP122は3重リング法を採用した。それぞれで、主筋量、開孔部補強筋量が異なる。

### 2.2 補強方法

開孔部補強方法を図-1~3に示す。補強方法は従来法(図-1)と既報にて提案したフック法, ステッキ法(図-2), 新たに提案する3重リング法(図-3)に分けられる。開孔補強金物は、内リングを四角形, 外リングを八角形とした閉鎖型形状である。従来法と比べステッキ法はY筋をステッキ筋とキャップ筋で代替し、フック法は開孔補強金物の水平方向にフック筋を設置し、3重リング法は八角形の開孔補強金物を従来金物の外側に追加した補強方法である。表-2, 3にコンクリートと鉄筋の材料試験結果を示す。横補強筋, 開孔補強金物は工場で

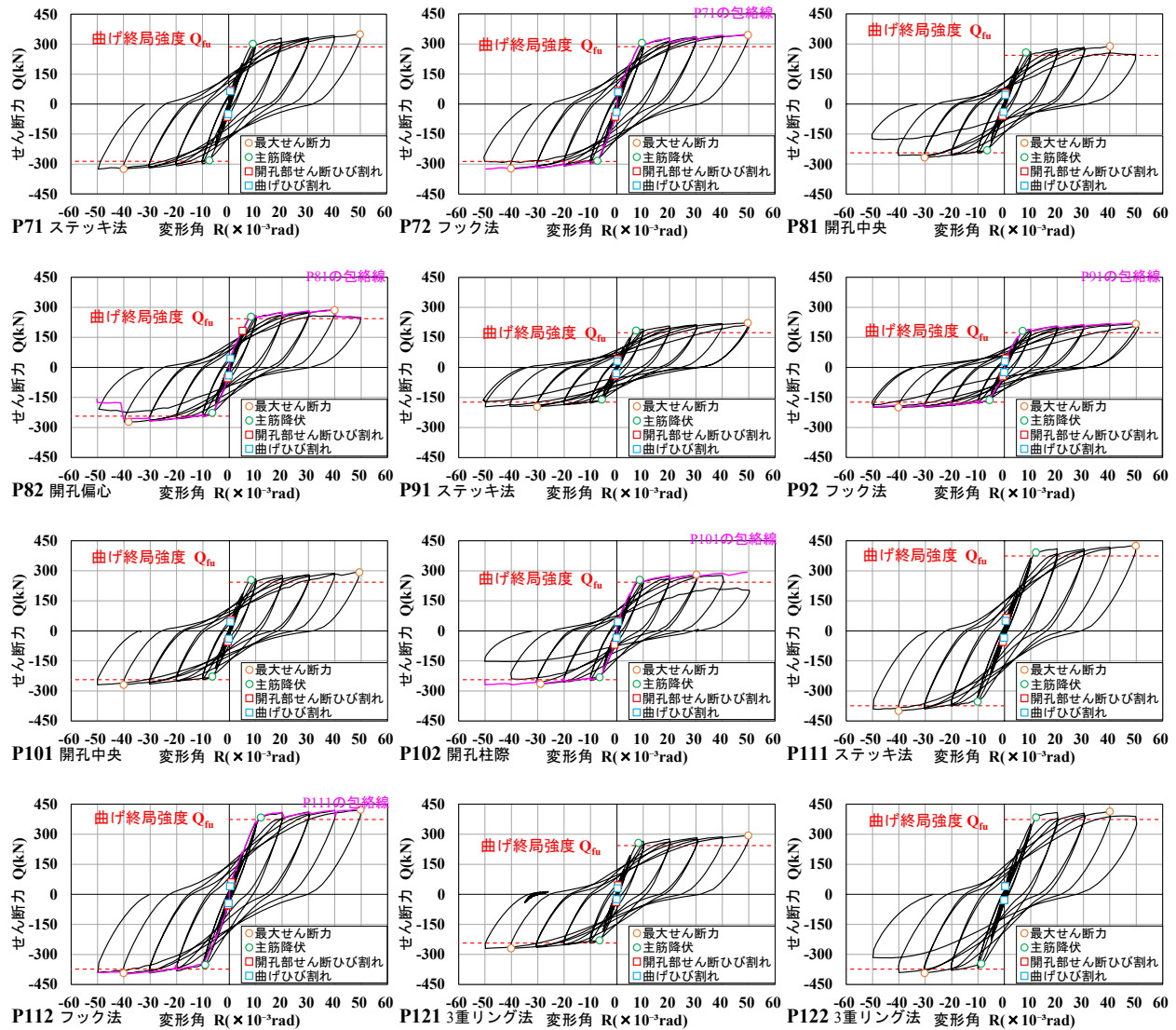


図-4 せん断力  $Q$  (kN) - 変形角  $R$  ( $\times 10^{-3}$ rad) 関係

アプセット溶接にて製作した。

### 2.3 荷重方法

片持ち梁形式で、ロ型フレーム内に試験体を設置した<sup>8)</sup>。荷重は試験体中央のスタブ部を固定し、梁先端位置に曲げせん断力を作用させた。荷重履歴は変形角  $R$  で制御した。変形角  $R = \pm 1.25 \times 10^{-3}$ rad を 1 回、2.5, 5, 10, 20,  $30 \times 10^{-3}$ rad を 2 回、40,  $50 \times 10^{-3}$ rad を 1 回ずつ正負交番荷重した。変形角  $R = 40 \times 10^{-3}$ rad の確保を目標<sup>4)</sup>とした。

## 3 実験結果

### 3.1 せん断力 $Q$ - 変形角 $R$ 関係と破壊性状

各試験体のせん断力  $Q$  - 変形角  $R$  関係を図-4 に、変形角  $R = 40 \times 10^{-3}$ rad の破壊状況を図-5 に、各試験体の計算値及び実験値を表-4 示す。開孔部せん断強度  $Q_{H1}$  算出時は、S 筋、開孔補強金物の降伏強度  $s_{\sigma y}$ ,  $d_{\sigma y}$  の上限強度を  $25\sigma_B$  以下に制限した<sup>10)</sup>。限界変形角  $R_U$  は、せん断力  $Q$  が最大せん断力  $Q_{max}$  の 80% に低下したときの変形角  $R$  とした(文献 4)。多くの試験体は、 $R = 1.25 \times 10^{-3}$ rad

までに、曲げひび割れ、開孔中央から梁材軸方向に対して 45 度方向にせん断ひび割れ(以下、開孔部せん断ひび割れ)が順に発生した。しかし、開孔が偏心している P82 の開孔部せん断ひび割れは、正加力時のみ変形角  $R = 5 \times 10^{-3}$ rad 程度で発生した。その後、変形角  $R = 10 \times 10^{-3}$ rad までに、全試験体の主筋降伏が生じた。以下に主筋降伏後の靱性能を中心に、実験因子毎に比較する。

#### (1) 補強方法(ステッキ法、フック法)

P71 はステッキ法、P72 はフック法で両試験体とも D/4 開孔である。両試験体は負側変形角  $R = 50 \times 10^{-3}$ rad 時まで、破壊に至らず良好な履歴性状を示した。また、D/4 開孔で、補強方法が因子である P91 と P92、P111 と P112 も変形角  $R = -50 \times 10^{-3}$ rad まで良好な履歴性状を示した。ステッキ法とフック法は、概ね同様な履歴性状であった。

D/3.5 開孔の P121、P122 は 3 重リング法である(図-3)。それぞれ入力せん断応力度レベル  $\tau/\sigma_B$ 、せん断余裕度  $Q_{H1}/Q_{fu}$  が異なる ( $\tau/\sigma_B = 0.044, 0.068$   $Q_{H1}/Q_{fu} = 1.95, 1.44$ )。両試験体ともに、変形角  $R = -50 \times 10^{-3}$ rad まで良好

表-4 計算値および実験値

試験体名	曲げ 終局強度 <sup>*1</sup>	入力せん断 応力度レベル <sup>*2</sup>	開孔部 せん断強度 <sup>*3</sup>	せん断余裕度	最大せん断力		限界変形角	
	$Q_{fu}$ (kN)	$\tau/\sigma_B$	$Q_{Hh}$ (kN)	$Q_{Hh}/Q_{fu}$	$Q_{max}$ 正 (kN)	$Q_{max}$ 負 (kN)	$R_U$ 正 ( $\times 10^{-3}rad$ )	$R_U$ 負 ( $\times 10^{-3}rad$ )
P71	287	0.037	408	1.42	349	-325	50	-50
P72	287	0.037	408	1.42	344	-323	50	-50
P81	243	0.044	392 <sup>*4</sup>	1.61	288	-268	50	-45
P82	243	0.044	351 <sup>*4</sup>	1.44	286	-273	50	-48
P91	173	0.044	314 <sup>*4</sup>	1.81	222	-197	50	-50
P92	173	0.044	314 <sup>*4</sup>	1.81	218	-200	51	-50
P101	243	0.044	387 <sup>*4</sup>	1.59	292	-270	49	-50
P102	243	0.044	387 <sup>*4</sup>	1.59	280	-265	47	-43
P111	374	0.068	547 <sup>*4</sup>	1.46	425	-400	50	-50
P112	374	0.068	547 <sup>*4</sup>	1.46	422	-394	50	-50
P121	243	0.044	475 <sup>*4</sup>	1.95	293	-270	50	-50
P122	374	0.068	539 <sup>*4</sup>	1.44	413	-394	50	-50

注) \*1: RC 規準<sup>9)</sup>, 曲げ終局強度略算式 \*2:  $\tau/\sigma_B=Q_{Hh}/(bD \times \sigma_B)$  \*3: RC 規準<sup>9)</sup> 修正広沢式 (S 筋, 開孔補強金物の降伏強度  $\sigma_s, \sigma_y, \sigma_d$  の上限強度は  $25\sigma_B$  以下に制限<sup>10)</sup>) \*4:  $\sigma_s, \sigma_y, \sigma_d$  の上限強度が  $25\sigma_B$  以下に制限された試験体

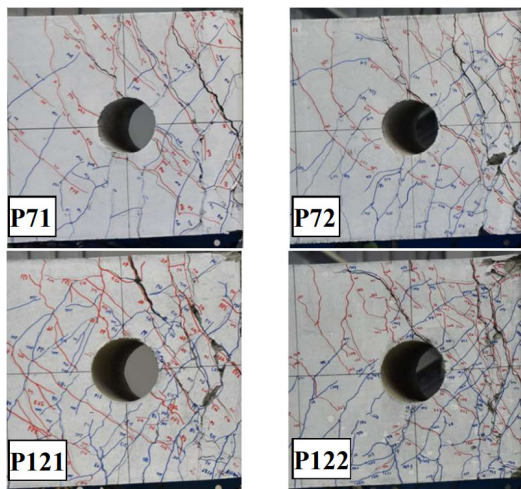


図-5 破壊状況 (変形角  $R=-40 \times 10^{-3}rad$ )

な履歴性状を示した。

### (2) 偏心の影響

D/5 開孔で従来法の P82 は P81 に対し, 開孔位置が偏心している (図-2)。両者は変形角  $R=+50 \times 10^{-3}rad$  時まで, せん断力を維持した。偏心の有無で  $R=-40 \times 10^{-3}rad$  時までの靱性能に有意な差は見られなかった。

### (3) 開孔位置の影響

D/4.5 開孔でステッキ法の P101 と P102 は, 材軸方向の開孔位置が異なる (図-2)。変形角  $R=+40 \times 10^{-3}rad$  まで両試験体は概ね同様な履歴性状を示した。その後 P101 は変形角  $R=+50 \times 10^{-3}rad$  時までせん断力  $Q$  を上昇させたが, P102 は変形角  $R=+50 \times 10^{-3}rad$  時に, 開孔近傍の損傷が大きくなり, せん断力  $Q$  の低下が生じた。P101 に比べ, P102 の限界変形角  $R_U$  は 10%程度小さい結果となった。これは P102 の開孔が柱際であり, P101 に比べ, 開孔補強筋量が少ないことが原因であると思われる。

## 3.2 開孔部補強筋のひずみ性状

以下の図-6~9 にひずみ位置を○, 載荷時 (正載荷: 図-6, 7 負載荷: 図-8) の開孔部せん断ひび割れを点線で示す。

### (1) 開孔補強金物

開孔補強金物とフック筋のせん断力  $Q$ -ひずみ  $\epsilon$  関係を図-6 に, P71, P72 の外リングと内リングのせん断力  $Q$ -ひずみ  $\epsilon$  関係を図-7 に示す。図-6, 7 より, ひび割れを横切る開孔補強金物が引張を負担し, 開孔部せん断ひび割れを抑制していたと考えられる。また, 外リングよりも内リングのひずみが大きいことから, 外リングに比べ, 内リングの方が開孔部せん断ひび割れ抑制に寄与していたと考えられる。他試験体についても同様の傾向が見られた。フック筋は変形角  $R=30 \times 10^{-3}rad$  以降で負載荷時にもひずみを生じさせたが, これは曲げせん断ひび割れ (開孔よりも中央側) の抑制に寄与したことが原因であると思われる。また, P122 も負加力時にひずみが生じているが, これは梁付け根部の曲げせん断ひび割れを 3 重リングが抑制したことが原因であると思われる。

### (2) Y 筋, ステッキ筋, キャップ筋

座屈補強筋のせん断力  $Q$ -ひずみ  $\epsilon$  関係を図-8 に示す。ここでの座屈補強筋はステッキ筋, キャップ筋, Y 筋とする。P71 のステッキ筋, P72 の Y 筋は, 変形角  $R=30 \times 10^{-3}rad$  で大きくひずみが伸びて, 降伏に至った。開孔補強金物と同様に, 開孔部せん断ひび割れを抑制していると考えられる。また, キャップ筋の最大ひずみは  $700 \mu$  程度生じていた。Y 筋, ステッキ筋, キャップ筋は, せん断抵抗に有効であることが確認された。

### (3) S 筋

S 筋のせん断力  $Q$ -ひずみ  $\epsilon$  関係を図-9 に示す。正・負載荷時でせん断力が増加するとともに引張ひずみが増加した。P71 と P72, P111 と P112 の最大ひずみは  $2500 \mu$  と  $5000 \mu$ ,  $3000 \mu$  と  $4000 \mu$  程度であった。

## 4 限界変形角の評価

既往の D/3 開孔では限界変形角  $R_U=40 \times 10^{-3}rad$  を得ることが難しかったため, 今回の実験と筆者らがこれまでに行った実験<sup>8)</sup>, 既往文献<sup>5)~7)</sup>を含めた 34 体を検討対象

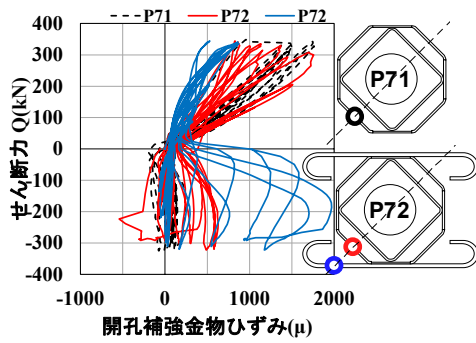


図-6 せん断力 Q (kN) - 開孔補強金物ひずみ ε 関係

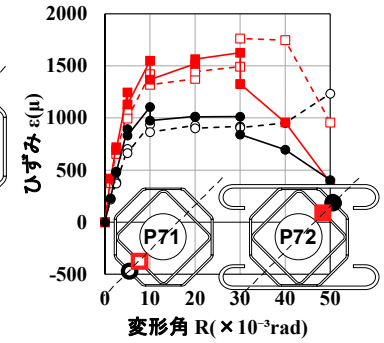
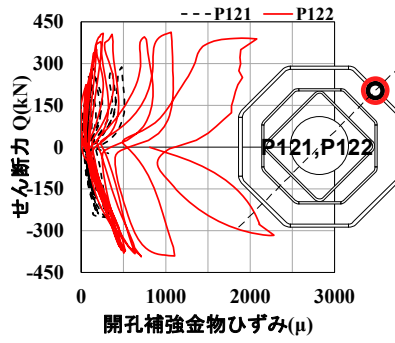


図-7 外リングと内リングひずみ

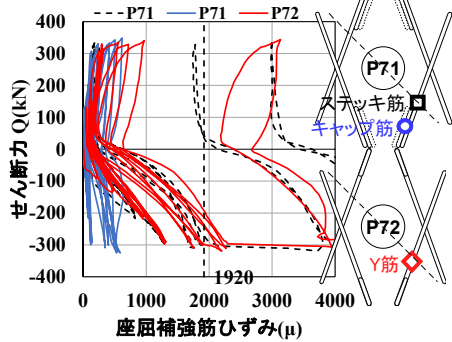


図-8 せん断力 Q (kN) - 座屈補強筋ひずみ ε 関係

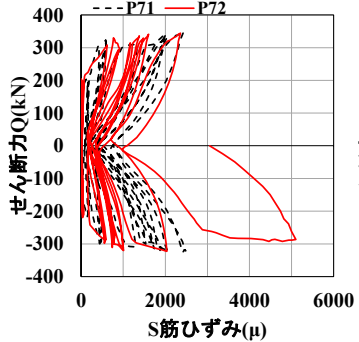
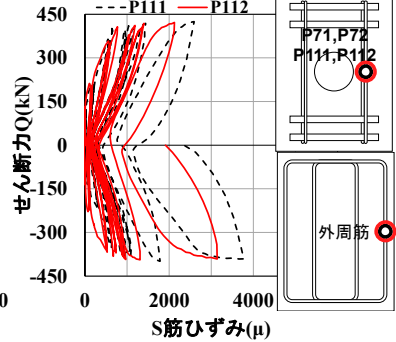


図-9 せん断力 Q (kN) - S筋ひずみ ε 関係



とし、D/3、D/4 開孔試験体を中心に、せん断余裕度  $Q_{HI}/Q_{fu}$  と限界変形角  $R_U$  の関係について総合的に検討する。全試験体とも Y 筋が 1 段目主筋の外周のみに配置されている。またステッキ法の場合は Y 筋の足の数と同量になるようステッキ筋が配筋されており、同様に評価する。

限界変形角  $R_U$  - せん断余裕度  $Q_{HI}/Q_{fu}$  関係を図-10 に示す。■はダボ筋や定着筋が配筋されている (図-1)。図-10 より、本研究でせん断余裕度  $Q_{HI}/Q_{fu}=1.42$  以上あれば、限界変形角  $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  以上を示す。既往文献 (9-7) も含めると D/4 開孔試験体 (○) で、せん断余裕度  $Q_{HI}/Q_{fu}=1.12$  以上あれば、D/3 開孔試験体 (□) では、せん断余裕度  $Q_{HI}/Q_{fu}=1.52$  以上あれば、限界変形角  $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  以上を示す。しかし、せん断余裕度  $Q_{HI}/Q_{fu}=1.52$  以下で、限界変形角  $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  を確保できている試験体も存在する。特にダボ筋や定着筋が配筋された試験体 (■) は高い靱性能を確保している。それら以外の D/3 開孔試験体で限界変形角  $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  未満であった試験体 (×) が、どのような因子条件か整理し、せん断余裕度  $Q_{HI}/Q_{fu}=1.52$  以下の試験体について検討する。

限界変形角  $R_U$  - 各因子関係 (コンクリート強度、S筋、開孔補強金物の補強筋比、入力せん断応力度レベル) を図-11~14 に示す。限界変形角  $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  未満の一部の試験体 (×) を A、B、C とする。また図中の各点線 (1, 2, 3) は限界変形角  $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  以上で各コンクリート強度を代表する試験体 (□) がもつ補強筋比、入力せん断応力度レベルを示し、以下に、その数値を記す。点線 1 が  $\sigma_B=25 \text{N/mm}^2$ ,  $P_{ws}=1.40\%$ ,  $P_{wd}=1.32\%$  および  $\tau/\sigma_B=0.088$ , 点線 2 が  $\sigma_B=37 \text{N/mm}^2$ ,  $P_{ws}=0.75\%$ ,  $P_{wd}=1.24\%$

および  $\tau/\sigma_B=0.065$ , そして点線 3 が  $\sigma_B=47 \text{N/mm}^2$ ,  $P_{ws}=0.97\%$ ,  $P_{wd}=0.92\%$  および  $\tau/\sigma_B=0.055$  となる。検討は A、B、C の試験体 (×) が点線 (1, 2, 3) に対して、どこに位置するかを見て、変形角  $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  を下回った要因を考えることで行う。また、同程度のコンクリート強度  $\sigma_B$  ごとに検討する (A 試験体と点線 1 B、C 試験体と点線 2)。

図-11~14 より、A 試験体は S 筋と開孔補強金物の補強筋比が点線 1 より左側に位置し、小さいことが要因と考えられる。点線 2 に対して、B 試験体は入力せん断応力度レベル  $\tau/\sigma_B$  が右側に位置し大きいことが、C 試験体は開孔補強金物の補強筋比が左側に位置し小さいことが要因と考える。また、A、B、C 以外の他試験体 (×) は、S 筋と開孔補強金物の補強筋比が点線 2 より左側に位置し、小さいことが要因と考えられる。

## 5 まとめ

梁端部開孔を有する 12 体の RC 有孔梁の実験を行い下記のことが分かった。

- 1) ステッキ法、フック法、3 重リング法は、そのひずみ性状から、せん断力 Q を負担し、いずれも靱性能に有効であることが確認された。また、開孔補強金物のひずみは、外リングに比べ内リングの方が大きいことが確認された。
- 2) 本研究における試験体は、変形角  $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  を確保することができた。試験体内で最も大きい開孔径 D/3.5 や入力せん断応力度レベル  $\tau/\sigma_B=0.068$  でも変形角  $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  を確保した。また D/4 開孔、

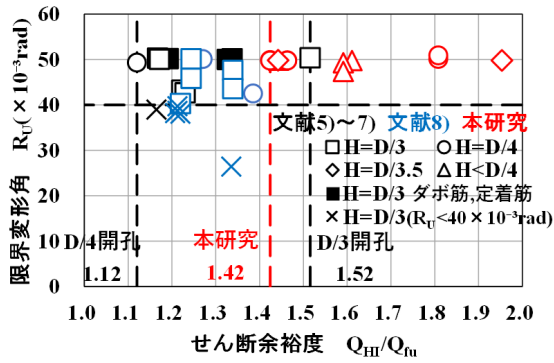


図-10 限界変形角—せん断余裕度関係

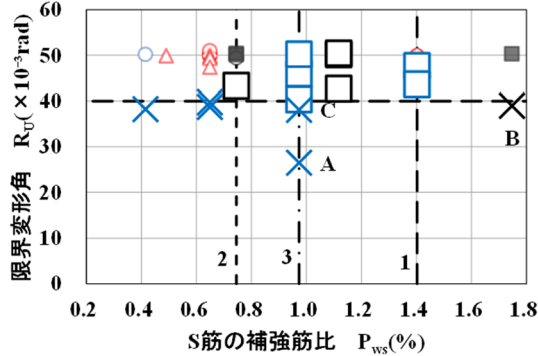


図-12 限界変形角—S筋の補強筋比関係

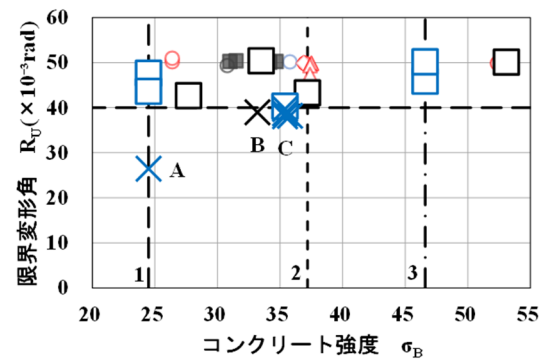


図-11 限界変形角—コンクリート強度関係

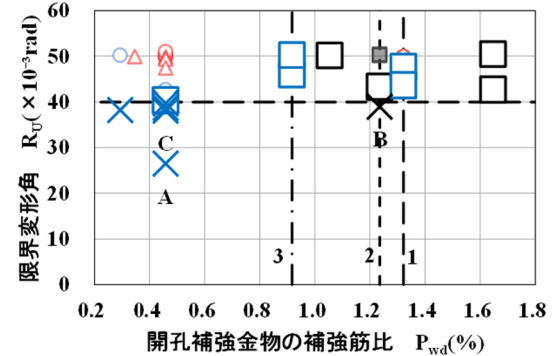


図-13 限界変形角—開孔補強金物の補強筋比関係

開孔を偏心させた、開孔を柱際に寄せた場合も、変形角  $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  を確保することができた。偏心による靱性能に差異は見られなかった。

- 3) 既報も含めた実験結果より、D/4 開孔試験体ではせん断余裕度  $Q_{Ht}/Q_{ft}=1.12$  以上、D/3 開孔試験体ではせん断余裕度  $Q_{Ht}/Q_{ft}=1.52$  以上あれば、変形角  $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  を確保することができる。しかし D/3 開孔で、せん断余裕度  $Q_{Ht}/Q_{ft}=1.52$  以下でも、高強度コンクリート、開孔補強筋 (S 筋、開孔補強金物) 比を多くする、または、ダボ筋や定着筋 (図-1) を配筋することで、変形角  $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$  以上を確保することが確認された。

#### 参考文献

- 1) 寶祖融, 駿河良司, 山本憲一郎, 岩倉知行: ヒンジ領域に開孔を有する RC 梁のせん断耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.319-324, 2002
- 2) 黒沢俊也ほか: 梁端部ヒンジ領域に開口を有する RC 梁の曲げせん断実験 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.89-90, 2000.9
- 3) 駿河良司ほか: 梁端部ヒンジ領域に開口を有する RC 梁の曲げせん断実験 (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.91-92, 2000.9
- 4) 細矢博, 濱田真, 岸本剛, 田畑卓: 材端に開孔を有する RC 梁の変形性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp.415-420, 2003

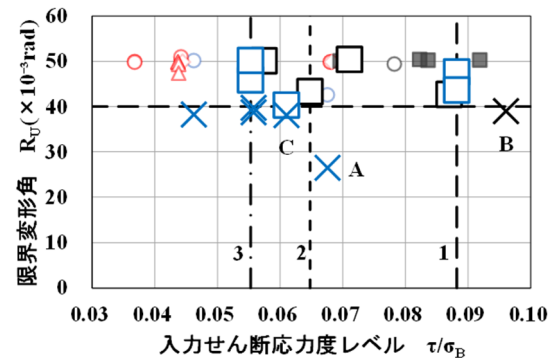


図-14 限界変形角—入力せん断応力度レベル関係

- 5) 永井覚, 宮崎照, 丸田誠, 岩倉知行: 鉄筋コンクリート有孔梁の曲げせん断実験 (その 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.255-256, 2014
- 6) 永井覚, 丸田誠, 岩倉知行: 鉄筋コンクリート有孔梁の曲げせん断実験 (その 5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.121-122, 2016
- 7) 永井覚, 丸田誠, 岩倉知行, 岩倉知行: 鉄筋コンクリート有孔梁の曲げせん断実験 (その 6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.45-46, 2017
- 8) 岩崎亮太, 丸田誠, 永井覚, 三原竜生: 端部開孔を有する鉄筋コンクリート梁の構造性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.2, pp.439-444, 2022
- 9) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造規準・同解説, 日本建築学会, pp.168, pp.393-395, 2018
- 10) 村上秀夫ほか: 高強度開孔補強金物を用いたせん断性状に関する実験研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.237-238, 2002.8