

論文 端部に開孔を有する鉄筋コンクリート梁の耐震性状に関する研究

岩崎 亮太*1・丸田 誠*2・永井 寛*3・三原 竜生*4

要旨： 端部に開孔を有する梁の補強方法の合理化を目的に、これまでにフック法、ステッキ法などで開孔補強した D/4~D/3 (D：梁せい) 端部開孔実験を実施し、十分なせん断余裕度を確保すれば D/4 開孔梁部材において十分な曲げ靱性能を確保できること確認した。今回、既報よりせん断余裕度を下げ、複数開孔や短スパンを含む D/4 開孔を有する計 6 体の端部開孔実験を実施した。短スパンを除く試験体で靱性能を確保できた。また、既往の研究を中心にデータを整理し、D/4, D/3 開孔を有する試験体で、一部を除き、せん断余裕度が 1.19 以上、1.40 以上あれば、限界変形角を $40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 確保できることを確認した。

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、損傷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。

今までに端部に開孔を有する RC 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^{2) 3)}。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が示されており、施工が煩雑である (図-1 参照)。そこで文献 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

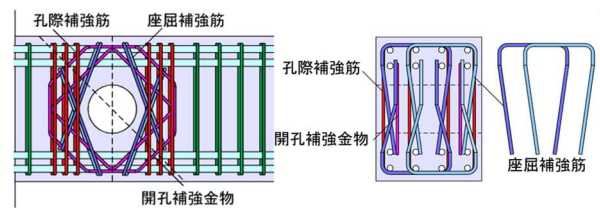


図-1 孔際補強筋, 開孔補強金物, 座屈補強筋^{2)~4)}

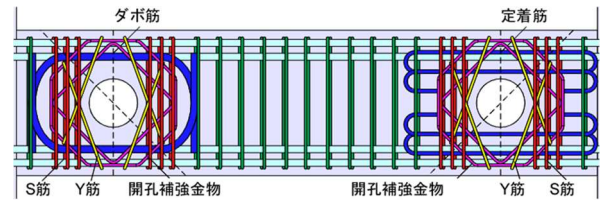


図-2 従来法⁵⁾+ダボ筋または定着筋^{6), 7)}

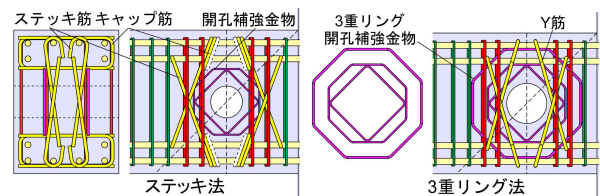


図-3 ステッキ法^{8), 9)}と3重リング法⁹⁾

表-1 試験体諸元

試験体名	F_c (N/mm ²)	b×D (mm)	L (mm)	主筋		τ/σ_B	開孔径 開孔位置 補強方法	一般部横補強筋			孔際補強筋 (S 筋)		開孔補強金物		
				材料情報	P_1 (%)			材料情報	間隔	P_w (%)	材料情報	P_{ws} (%)	材料情報	P_{wd} (%)	
R1	36	300 × 450	2250	6-D19-SD390	1.46	0.051	112.5(D/4) 225 フック法	4-D6-SD295	65	0.65	4-D6-SD785 ×2 セット	0.46	D6-SD785 ×2 セット	0.32	
*R2	36				1.01				0.65						
R3	24				1.98				1.20						
R4	48			7-D16-SD390	1.19			0.061	4-D6-SD295	65	0.65	4-D6-SD785 ×2 セット	0.46	D6-SD785 ×2 セット	0.32
R5	24			1.30	0.063			4-D6-SD785	65	0.65	4-D8-SD785 ×3 セット	1.07			
R6	36			1600	4-D19-SD390 2-D16-SD390			1.30	0.063	4-D6-SD785	65	0.65	4-D8-SD785 ×3 セット		

F_c : コンクリート設計強度 P_w : 一般部横補強筋比 P_{wd} : 開孔補強筋 (開孔補強金物) 比 P_{ws} : 孔際補強筋 (S 筋) 比 Y 筋は 2-D10-SD390 を用いている。*一般部の D/3 開孔の孔際補強筋は 4-D6-SD785×2 セット, 開孔補強金物は D6-SD785×2 セットである。 τ/σ_B : 入力せん断応力レベルは、梁端曲げ終局強度 Q_u を梁せい D, 梁幅 b およびコンクリート強度 σ_B で除して算出した。

*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)

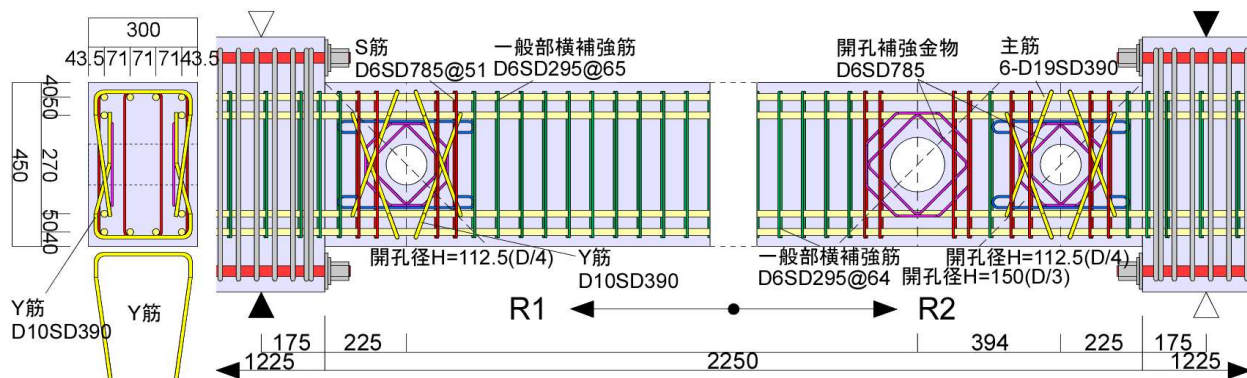


図-4 試験体形状および配筋例(フック法)

表-2 鉄筋の機械的性質

鉄筋種 径 材質	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	備考
D6 SD295	*358	179	518	一般部横補強筋
D6 SD785	*931	189	1152	一般部横補強筋 開孔補強金物
D8 SD785	*996	195	1138	S筋
D10SD390	485	187	634	Y筋
D16SD390	458	191	642	主筋
D19SD390	431	179	598	
D19SD490	545	185	707	

*0.2%オフセット法

表-3 コンクリートの機械的性質

試験体名	コンクリート強度 σ_B (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
R1	33.7	2.25	30.1
R2	34.0	2.25	29.8
R3	24.2	2.88	27.3
R4	45.8	1.80	33.9
R5	24.2	2.88	27.3
R6	35.2	2.25	30.0

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定着筋、ダボ筋(開孔周囲に設置した楕円形の鉄筋 図-2 参照)を加えた曲げせん断実験^{6),7)}も行われているが、開孔補強量が多く煩雑である。

筆者らは、これまでに、合理的な開孔補強方法の提案を目的に従来法と新たに3種類のフック法、ステッキ・キャップ法(以下、ステッキ法)および3重リング法でRC有孔梁の曲げせん断実験^{8),9)}を実施した(図-2~4参照)。その結果、D/3開孔では数体しか靱性能を確保できなかったこと⁸⁾、せん断余裕度を大きくした場合(1.44~1.95)では、D/4開孔で靱性能を確保できること⁹⁾を報告した。せん断余裕度の算定において使用した補強筋はS筋、開孔補強金物(3重目のリングは除く)で、フック筋、Y筋、ステッキ筋、キャップ筋は計算値に考慮していない。本報では、文献9)より、せん断余裕度を小さくし(1.19~1.38)、端部のD/4開孔をフック法で補強した6体の逆対称加力実験を行ったので、ここに報告する。曲げ靱性能が変形角 $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上となることを目

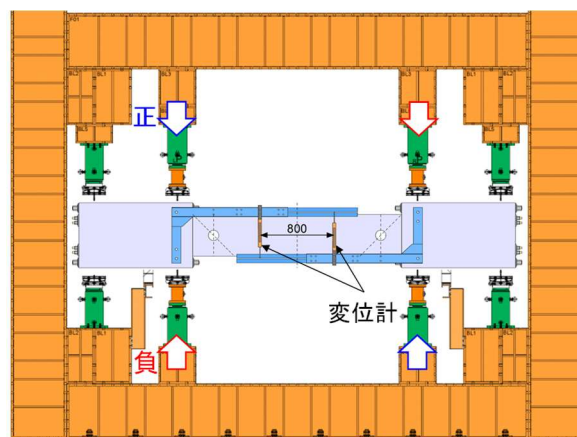


図-5 荷重方法

標とした。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体諸元を表-1に、試験体形状および配筋例を図-4に示す。試験体は約1/2縮尺のダンベル形6体とした。断面寸法は梁幅 $b=300\text{mm}$ 、梁せい $D=450\text{mm}$ で、内法スパン L はR1~R5を2250mm、R6を1600mmとした($M/QD: 2.50, 1.78$)。全試験体でスタブ面から材軸方向に $D/2$ 離して $D/4$ 開孔を設置し、開孔補強はフック法で共通とした。また、RC規準式(修正広沢式)¹⁰⁾による開孔部せん断強度 Q_{HI} がRC規準式(曲げ終局強度略算式)¹⁰⁾による梁曲げ終局強度 Q_{fu} の1.2~1.4倍程度上回るように計画した。因子は開孔数、コンクリート強度 σ_B 、入力せん断応力レベル τ/σ_B 、せん断余裕度 Q_{HI}/Q_{fu} とした。

R1は端部 $D/4$ 開孔のみ設置したが、R2はそれに加えて、一般部 $D/3$ 開孔を設置した(図-4)。この端部 $D/4$ 開孔と一般部 $D/3$ 開孔の開孔中央間距離は $3H'$ (H' :隣接する開孔径の平均値)とした。また、一般部 $D/3$ 開孔に対しての開孔補強金物にフック筋は配置していない。

開孔補強は、図-4に示す様に、フック筋付き開孔補強金物、S筋、Y筋による構成とした^{8),9)}。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。その開孔補強金物の水平方向にフック筋

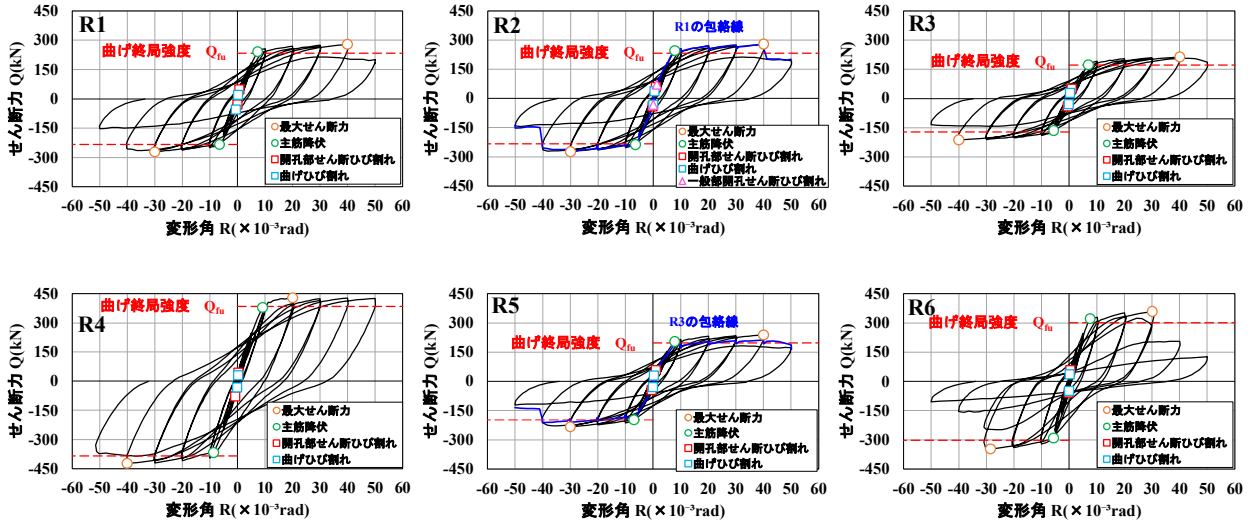


図-6 せん断力 Q (kN) - 部材変形角 R (×10⁻³rad) 関係

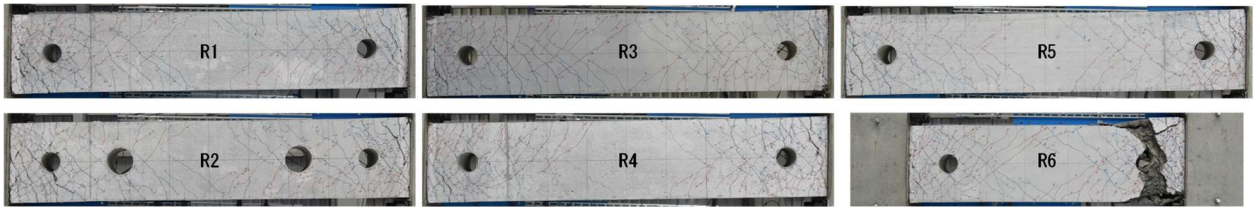


写真-1 各試験体の損傷状況 (変形角 R = +40 × 10⁻³rad 時)

表-4 各試験体の実験値および計算値

試験体名	計算値								実験値			
	せん断 スパン比	曲げ 終局強度	入力せん断 応力度レベル	開孔部せん断強度		付着破壊を考慮した せん断信頼強度*2		最大せん断力		限界変形角		
				Q _{H1} (kN)	Q _{H1} /Q _{fu}	V _{bu} (kN)	V _{bu} /Q _{fu}	Q _{max} 正 (kN)	Q _{max} 負 (kN)	R _U 正 (×10 ⁻³ rad)	R _U 負 (×10 ⁻³ rad)	
R1	2.50	233	0.051	287 ^{*1}	1.23	440	1.89	279	-271	47.2	-43.8	
R2	2.50	233	0.051	288(274) ^{*1}	1.24(1.18)	440	1.90	279	-274	46.5	-43.7	
R3	2.50	172	0.053	237 ^{*1}	1.38	336	1.96	213	-212	50.0	-45.5	
R4	2.50	385	0.062	470	1.22	543	1.41	429	-424	50.0	50.0	
R5	2.50	198	0.061	235 ^{*1}	1.19	336	1.70	239	-233	47.3	-42.9	
R6	1.78	302	0.063	398 ^{*1}	1.32	453	1.50	359	-347	34.8	-32.7	

()内の数値は、一般部 D/3 開孔に対しての計算値である。*1: s_{σ_y} , d_{σ_y} の強度が $25\sigma_B$ で制限された試験体 *2: 靱性指針¹²⁾による付着破壊を考慮したせん断信頼強度

を設置した。

鉄筋の機械的性質を表-2 に、コンクリートの機械的性質を表-3 に示す。

2.3 載荷方法

載荷方法を図-5 に示す。ロ型反力フレーム内に試験体を設置し、載荷は試験体に逆対称曲げモーメントを作用させた。載荷履歴は変形角 R で制御し、変形角 R = ±1.25 × 10⁻³rad を 1 回、2.5, 5, 10, 20, 30 × 10⁻³rad を 2 回、40, 50 × 10⁻³rad を 1 回ずつ正負交番載荷した。変形角 R は、図-5 内に示す 2 つ変位計から得た両側スタブの相対変位の平均を内法スパンで除すことで算出した。

3 実験結果

3.1 せん断力 Q-部材変形角 R 関係と破壊性状

各試験体のせん断力 Q-部材変形角 R 関係を図-6 に、変形角 R = 40 × 10⁻³rad 時の損傷状況を写真-1 に、各試験体の実験値および計算値を表-4 示す。図-6 中の R2 には R1, R5 には R3 の包絡線を伏せて示す。表-4 の開孔部せん断強度 Q_{H1} 算出には、表-2, 3 の実強度を用いた。ただし、S 筋、開孔補強金物の SD785 鉄筋はコンクリート強度が低い場合、十分有効に働かないことが懸念されるため¹¹⁾、降伏強度 s_{σ_y} , d_{σ_y} の強度を $25\sigma_B$ ¹³⁾ に制限した。また、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。全試験体は変

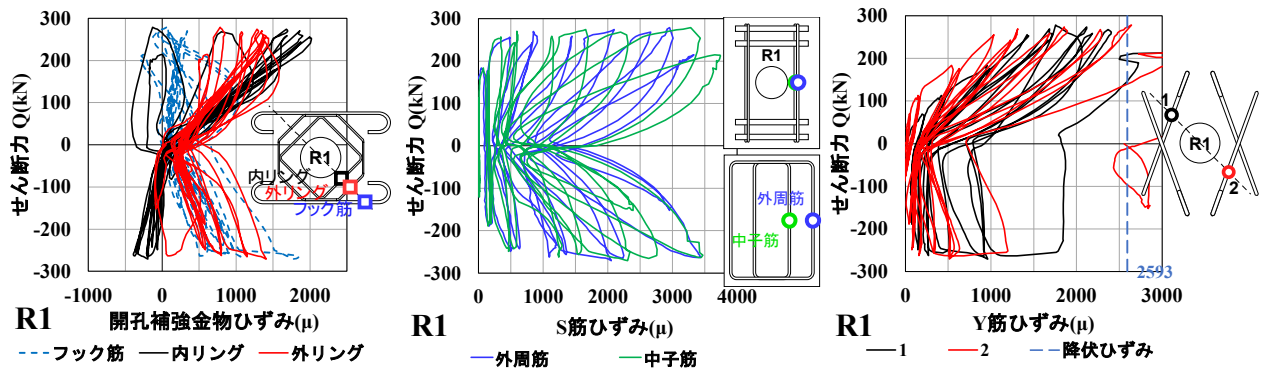


図-7 代表的な試験体の各補強筋のせん断力 Q (kN) - ひずみ (μ) 関係

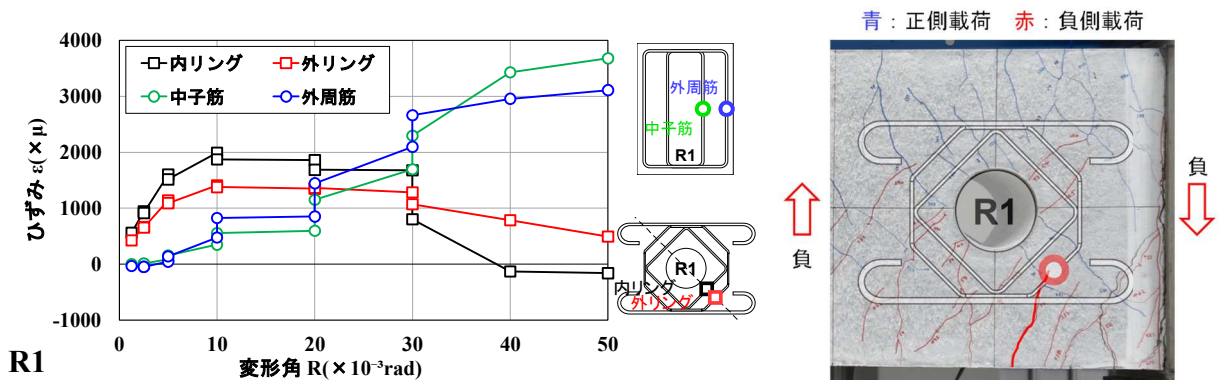


図-8 R1 の開孔補強金物と S 筋のひずみ (μ) - 変形角 R 関係

写真-2 開孔周囲のひび割れ状況

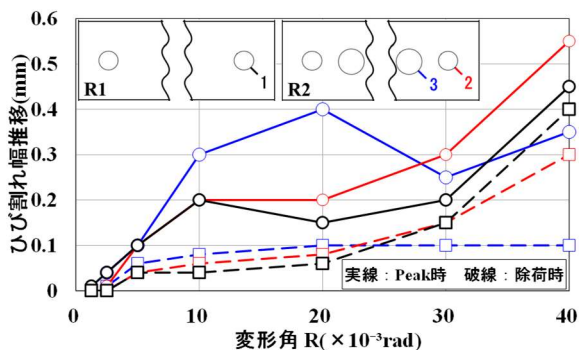


図-9 開孔部せん断ひび割れ幅 - 変形角 R 関係

形角 $R=1.25 \times 10^{-3} \text{rad}$ 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。その後、変形角 $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$ までに、全試験体で主筋降伏が生じた。以下に主筋降伏後の靱性能を中心に述べる。

R1 (端部 D/4 開孔) と R2 (端部 D/4 開孔と一般部 D/3 開孔) の履歴性状は同様で、両者は変形角 $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ まで顕著な耐力低下は見られなかった。また、写真-1 より、R2 の一般部 D/3 開孔に顕著な損傷は見られない。開孔中央間距離を $3H$ 確保すれば、複数開孔の影響は見られなかった。

R3, R4 は変形角 $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$ まで顕著な耐力低下は見られなかった。また、R4 は他の試験体に比較し、開孔

部の損傷が小さかったが、これは、コンクリート強度 σ_B が 45.8N/mm^2 と高いことに要因があると思われる。R5 は、R3 から主筋本数を増やし、入力せん断応力度レベル τ/σ_B は 0.053 から 0.061、せん断余裕度 Q_H/Q_{fu} は 1.38 から 1.19 としたが、R3 と同じ開孔補強量で、変形角 $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ まで顕著な耐力低下は見られなかった。R6 は短スパン化した試験体で ($L=1600 \text{mm}$)、変形角 $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ に至る途中で、開孔部せん断破壊が生じた(写真-1)。この原因として、短スパンとしたこと、入力せん断応力度レベル τ/σ_B が高かったことが考えられる。

3.2 開孔部補強筋のひずみ性状

代表的な試験体として R1 の各補強筋(開孔補強金物とフック筋、S 筋、Y 筋)のせん断力 $Q(\text{kN})$ - ひずみ (μ) 関係を図-7 に、図-7 で示した開孔補強金物と S 筋のひずみ (μ) - 変形角 R 関係を図-8 に、R1 の開孔周囲のひび割れ状況を写真-2 に示す。点線は開孔部せん断ひび割れ方向を示す。

(1) 開孔補強金物

図-7, 8 より、開孔部せん断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。これは、変形角 $R=30 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以降で開孔補強金物のひずみは減少し、後述する図-9 より、開孔部せん断ひび割れ幅 (1) が大きくなることでわかる。正側載荷時において、外リングは内リングに比較して負

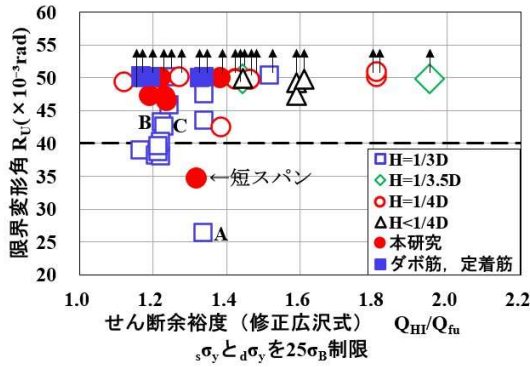


図-10 限界変形角—せん断余裕度 Q_{HI}/Q_{fu} 関係

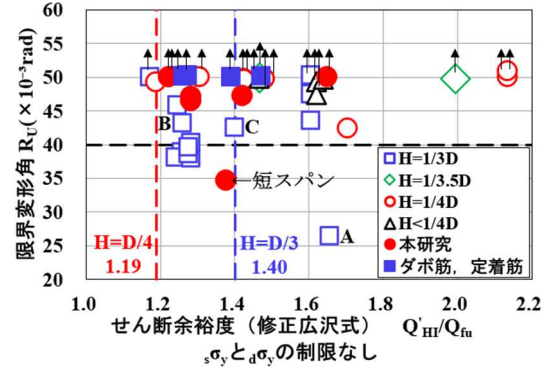


図-11 限界変形角—せん断余裕度 Q'_{HI}/Q_{fu} 関係

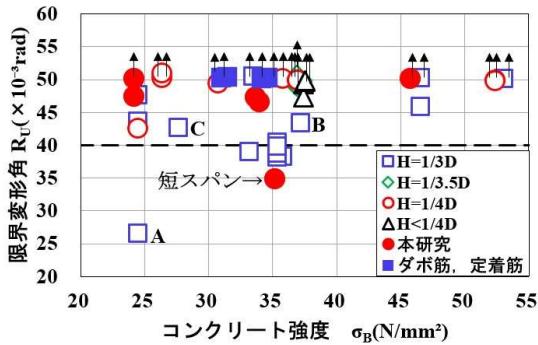


図-12 限界変形角—コンクリート強度 σ_B 関係

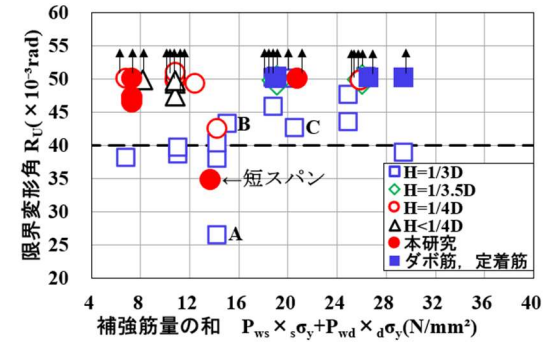


図-13 限界変形角—補強筋量の和関係

担するひずみが若干小さいが、負荷時においても引張力を負担している。これにより、写真-2 に示すように開孔周囲の曲げひび割れの抑制に寄与していたと思われる。同様にフック筋も負荷時に引張力を負担していたことを確認した。

(2) S筋

図-7, 8 より、外周筋、中子筋は同様なひずみ性状で、正および負荷時に引張を負担していることが確認された。また、開孔補強金物のひずみの減少に伴って、S筋のひずみは大きくなり、S筋は大変形時まで、せん断力に抵抗していることが確認された。

(3) Y筋

図-7 より、Y筋は開孔補強金物と同様に引張を負担した。また、Y筋のひずみは降伏ひずみに至っており、せん断抵抗に有効であった。

3.3 開孔部せん断ひび割れ幅の推移

R1 と R2 の開孔部せん断ひび割れ幅—変形角 R 関係を図-9 に示す。開孔中央から材軸方向に対して 45 度方向の開孔部せん断ひび割れ (以下、ひび割れ) を計測した。図-9 より、R1 と R2 の端部 D/4 開孔のひび割れ幅推移は概ね同様で、変形角 $R=30 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以降でひび割れ幅が大きくなった。R2 の一般部 D/3 開孔のひび割れ幅は、変形角 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時まで、端部 D/4 開孔のひび割れ幅に比較して大きい。これは、開孔径による影響と思われるが、その後、ひび割れ幅が急激に拡大することはな

く、除荷時のひび割れ幅は 0.1mm 程度で一定であった。

4 限界変形角の評価

既報^{8), 9)}から、せん断余裕度 Q_{HI}/Q_{fu} と限界変形角には相関がみられることを確認している。筆者らがこれまでにに行った実験^{8), 9)}および既往文献^{5)~7)}と本実験結果を含めた 40 体を検討対象とし、D/3, D/4 開孔試験体のせん断余裕度 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 (図-3 参照) 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、同様に評価することとした。以下で示す図-10~13 内の矢印のついている試験体は、限界変形角 $R_U=50 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上であることを示す。

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。D/3 開孔は同程度のせん断余裕度 Q_{HI}/Q_{fu} で限界変形角 R_U にばらつきが見られる。これは S 筋、開孔補強金物の実降伏強度 $s_{\sigma y}$, $a_{\sigma y}$ の強度を $25\sigma_B$ によって制限していることが原因と思われる。特に、コンクリート強度 σ_B が小さく、開孔部の補強筋量が多い試験体は見かけ上、せん断余裕度 Q_{HI}/Q_{fu} が小さくなる。そこで、補強筋強度の $25\sigma_B$ による制限をかけずに開孔部せん断強度 Q'_{HI} を算出した限界変形角 R_U —せん断余裕度 Q'_{HI}/Q_{fu} 関係を図-11 に示す。本検討の範囲内で、限界変形角 $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上のせん断余裕度 Q'_{HI}/Q_{fu} を調べると、D/4 開孔で

は短スパンを除き、どの試験体も 1.19 以上であることを確認した。続いて D/3 開孔では、せん断余裕度 Q'_{HI}/Q_{fu} が 1.40 以上であることを確認した。しかし、せん断余裕度 $Q'_{HI}/Q_{fu}=1.40$ 未満でも限界変形角 $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上を確保している数体の試験体が存在する。これら試験体の要因を確認するため、限界変形角と各因子関係を図-12~13 に示す。せん断余裕度 $Q'_{HI}/Q_{fu}=1.40$ 未満でも限界変形角 $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上の試験体は、図-11 より、ダボ筋や定着筋 (D/3 開孔) が配筋されていること、図-12 より、コンクリート強度 σ_B が 45.8N/mm^2 以上と大きいことによるものと思われる。D/3 開孔では、せん断余裕度 Q'_{HI}/Q_{fu} が 1.65 と大きいのが限界変形角 $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上を確保できなかった A 試験体 (NS-P11⁸⁾) がある。この要因を検討するために、B、C 試験体 (NS-M4⁵⁾、NS-M6⁶⁾) を用いて A 試験体と比較検討する。B、C 試験体は上記のようなダボ筋や定着筋も無く、コンクリート強度も 37.2N/mm^2 (B)、 27.7N/mm^2 (C) の試験体だが、限界変形角 $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上である。B、C 試験体を基準とし、A 試験体と比較する。図-12~13 より、A 試験体は、B 試験体に比較しコンクリート強度が小さい (σ_B : A は 24.5N/mm^2) こと、C 試験体に比較し、開孔部の補強筋量の和が小さい ($P_{wd} \times d \sigma_y + P_{ws} \times s \sigma_y$: A は 14.2N/mm^2 C は 20.5N/mm^2) ことが要因と考えられ、せん断余裕度 Q'_{HI}/Q_{fu} が大きいことのみで、A 試験体の靱性能は評価できないことが分かった。

5 まとめ

梁端部開孔を有する 6 体の RC 有孔梁の実験と既往のデータを整理し、下記のことが分かった。

- 1) 一般部 D/3 開孔に損傷は集中せず、 $3H'$ (隣接する開孔径の平均値) あれば、梁中央側の開孔による影響はないことが確認された。
- 2) D/4 開孔で、せん断余裕度 Q_{HI}/Q_{fu} が 1.19 以上、入力せん断応力度レベル τ/σ_B が 0.061 以下であれば、変形角 $40 \times 10^{-3} \text{rad}$ までせん断力を維持できることを確認した。また、コンクリート強度 σ_B は靱性能に有効であることが確認された。
- 3) せん断スパンが小さい試験体は変形角 $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ までせん断力を維持できなかった。これは入力せん断応力度レベル τ/σ_B が大きかったことが原因であると思われるが、詳細は今後の検討課題である。
- 4) フック法は、そのひずみ性状からせん断力を負担し、靱性能に有効であることが確認された。開孔補強金物は開孔部せん断ひび割れおよび曲げひび割れの抑制に寄与した。
- 5) $3H'$ (隣接する開孔径の平均値) あれば、端部開孔のひび割れと一般部開孔のひび割れは干渉しない

ことが、幅の推移から確認された。

- 6) 既報も含めた実験結果より、限界変形角 $R_U=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上の試験体のせん断余裕度 Q'_{HI}/Q_{fu} を調べると、D/4 開孔では短スパンを除き、どの試験体も 1.19 以上であることを確認した。また、D/3 開孔では、コンクリート強度が低く開孔周囲の補強量が少ない 1 試験体を除いて、せん断余裕度 $Q'_{HI}/Q_{fu}=1.40$ 以上であることを確認した。

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 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
- 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) 岩崎亮太, 丸田誠, 永井覚, 三原竜生: 材端部開孔を有する鉄筋コンクリート梁の耐震性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.2, pp.379-384, 2023
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性能保証型耐震設計指針, 日本建築学会, pp.175-177, 1999
- 13) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針, 日本建築学会, pp.106, 1990