

論文 材端部に開孔を有するRC梁の変形性能に関する研究

細矢 博^{*1}・濱田 真^{*2}・岸本 剛^{*3}・田畑 卓^{*4}

要旨： 材端部に開孔を有する鉄筋コンクリート梁の開孔補強法を確立するために、既製開孔補強筋、孔際補強筋およびU形座屈補強筋を組み合わせて補強する方式の有孔梁を対象に、開孔径、開孔位置、開孔部補強筋量、コンクリート強度等を実験因子とした載荷実験を行った。実験結果から、実験因子と変形性能との関係を検討し、限界部材角と座屈補強筋係数ならびに開孔補強筋係数とは概ね線形関係がみられること、本開孔補強法を採る有孔梁の限界部材角は、提案する評価式で下限を評価できることを示した。

キーワード：鉄筋コンクリート、梁、開孔補強、変形性能

1. はじめに

集合住宅等の建物では、梁に換気設備配管用の開孔を設けるが、居室プラン上、開孔を材端部に設けたいとの要望が強い。しかし、材端部に開孔を有する梁が地震等の外力を受けると、開孔補強が適切でない場合には、当該部分で脆性的な破壊を起こす可能性があることから、一般的には、柱面より梁せい以上離れた領域に開孔を設けて配管を外部に通している。これに伴い、配管を納めるための下がり天井を広範囲に設置するなどの対応が必要になり、種々の制約を受けている。これを解消するべく、材端部に開孔を設けても設計上必要な強度と変形性能を確保できる開孔補強法を確立することを目標に、RC梁を対象とした載荷実験を行った。本報告では、実験因子と変形性能との関係を検討し、開孔部の補強筋の効果を定量的に考慮した限界部材角の評価式を提案する。

2. 載荷実験計画

2.1 試験体

試験体の諸元を表 - 1 に、試験体の形状・寸

法および配筋の例を図 - 1 に示す。試験体は、コンクリート設計基準強度が 24N/mm^2 のFc24シリーズと 48N/mm^2 のFc48シリーズから成る。試験体の総数は20体で、縮小率は約1/2である。20体のうち18体は梁端柱面から $D/3 \sim D/2$ (D :梁せい)の位置に、直径(H) $D/4 \sim D/3$ の円形の開孔が設けられており、このうち2体は開孔中心位置が梁中央より梁せい方向に $D/24$ 偏心している。残りの2体は構造性能比較用の在来RC無孔梁試験体である。有孔梁試験体の開孔部のせん断補強筋は、開孔補強筋と開孔補強範囲内の肋筋(以下、孔際補強筋)から成り、開孔の上下には、梁主筋の座屈防止と梁部材の靱性およびせん断強度確保のためにU形に折り曲げ成形した補強筋(以下、座屈補強筋)が斜め方向に配筋されている。ただし、有孔梁のうち1体には座屈補強筋が配筋されていない。各試験体では、修正広沢式による開孔部のせん断強度が日本建築学会曲げ終局強度略算式¹⁾による材端部の曲げ終局強度時せん断力を上回るように計画されている。主な実験因子は、開孔径、開孔位置、開孔補強筋量、孔際補強筋量、座屈補強筋量である。なお、本

*1 (株)奥村組 技術研究所 第5研究グループ 工博 (正会員)

*2 (株)熊谷組 技術研究所 建築構造研究グループ 工修 (正会員)

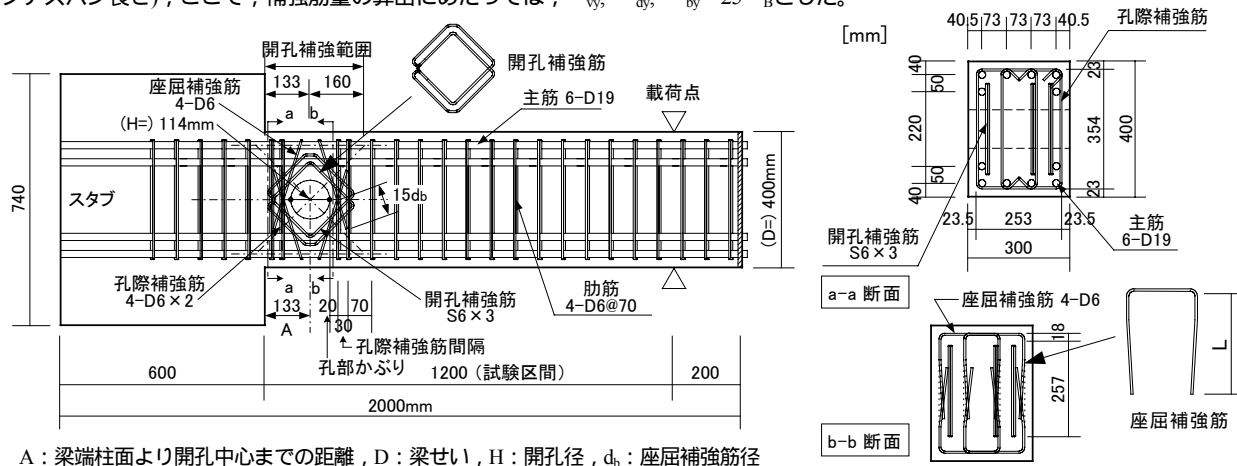
*3 (株)奥村組 東京支社 建築設計部

*4 安藤建設(株) 技術研究所 構造グループ (正会員)

表－1 試験体諸元

シリーズ	試験体	F _c (N/mm ²)	梁主筋		開孔諸元*1			筋筋		孔際補強筋		開孔補強筋			開孔部全体			座屈補強筋			μ ₀ ^{*6} / B														
			配筋	P _t (%)	径	水平方向	鉛直方向	配筋	P _w (%)	配筋*2	P _v (%)	配筋*3	P _d (%)	P _s (%)	P _s σ _{sy} *4 (N/mm ²)	配筋*5	P _b (%)	P _b σ _{by} *5 (N/mm ²)																	
Fe24(1)	L6-0	24	6-D19 [SD345]	1.67	—	—	4-D6@70 [SD295A]	0.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.057														
	L6-5-4L-N				D/3	D/3			中央	4-D6@70 [SD295A]	0.61	4-D6×2 [SD295A]	0.53	S6×2	0.37	0.91	4.74	4-D6	0.34	1.12	—	—	—	—	0.058										
	L6-5-6L				D/3.5																														
	L6-5-6M				D/4																														
	L6-5-6S				D/3.5																														
	L6-5-4M				D/4	D/3			中央	4-D6@70 [SD295A]	0.61	4-D6×2 [SD295A]	0.53	S6×2	0.37	0.91	4.74	4-D6	0.34	1.12	—	—	—	—	—	0.050									
L6-5-4S	D/4																																		
L6-5-6SE-B1	D/4																																		
Fe24(3)	L6-5-6SF	24	6-D19 [SD345]	1.67	D/3	D/3	4-D6@70 [SD295A]	0.61	4-D6×2 [SD295A]	0.48	S6×3	0.51	0.99	5.63	6-D6	0.46	1.68	—	—	—	—	0.048													
	L6-5-6M-B1																						2×D/3	中央	4-D6×2 [SD295A]	0.53	S6×3	0.56	1.09	6.20	4-D6	0.34	1.23		
	L6-5-6M-B2																						D/3.5												
Fe24(4)	L8-12-8M-B2	24	8-D19 [SD345]	2.28	D/3.5	D/3	4-D10@70 [SD295A]	1.35	4-D10×2 [SD295A]	1.18	S6×4	0.75	1.93	9.87	4-D10	0.76	2.75	—	—	—	—	0.073													
	L8-12-8M-B3																						4-D10×2 [SD295A]	1.18	S6×4	0.75	1.93	9.87	4-D10	0.76	2.75				
	L8-8-12M-B3																															4-D8	0.53	2.23	
Fe48(1)	H6-0	48	6-D19 [SD490]	1.67	D/4	D/3	4-S6@70 [KSS785]	0.61	4-S6×2 [KSS785]	0.53	S8×3	0.88	1.41	11.06	4-D10	0.76	2.76	—	—	—	—	0.036													
	H6-5-9S-B2																						S8×4	1.17	1.70	13.35	6-D6	0.51	1.85						
	H6-5-12S-B2																													S8×3	0.79	1.28	10.01	4-D10	0.69
	H6-5-9S-B1																						0.88	1.41	11.06	6-D6	0.51	1.85							
	H6-5-9SE-B2																												4-S10×2 [KSS785]						
H8-12-8M-B2	4-S6×3 [KSS785]	0.79	S8×4	1.17	1.96	15.38																													
H8-8-12M-B2							4-S6×3 [KSS785]	0.79	S8×4	1.17	1.96	15.38																							

*1: 開孔水平位置は梁端柱面より開孔中心までの距離 (D: 梁せい), *2: 開孔補強範囲のうち開孔中心より片側の補強範囲に配筋された補強筋, *3: KSS785, *4: $p_v v_y + p_d d_y$ (N/mm²), *5: 座屈補強筋の定着長さ: 開孔中心より15d_bまで延長 (d_b: 座屈補強筋の径), *6: $\mu_0 = Q_{mu}/bD$, Q_{mu}: 梁曲げ終局強度 (Q_{mu}=0.9a_t y_d/a, a_t: 梁主筋断面積, y_d: 梁主筋降伏強度, d: 有効せい, a: シアスパン長さ), ここで, 補強筋量の算出にあたっては, v_y, d_y, b_y 25 Bとした。



図－1 試験体形状・寸法および配筋例 (試験体 L6-5-6M の場合)

実験では, 既往の実験結果²⁾をふまえ, 座屈補強筋の定着性能を確保することを意図し, 試験体の座屈補強筋長さを開孔中心より15d_b (d_b: 鉄筋径)まで延長することを条件としている。

2.2 材料試験

コンクリートの材料試験値を表 - 2 に, 鉄筋の材料試験値を表 - 3 に示す。

2.3 荷重方法

本実験での荷重は片持ち梁形式をとり, 梁の反曲点に相当する位置に油圧ジャッキを取り付け, 変位制御により水平力を加えた。加えた部材角(R)は, ±(5, 10, 20, 30, 40, 50) × 10⁻³ radであ

り, 各部材角ごとに2サイクルの繰返し荷重を行った後, R=+100 × 10⁻³ radまで単調荷重を行った。

3. 荷重実験結果

3.1 変形性能の評価

本報告では, 文献3)に示された方法により求めた梁端ヒンジ領域の回転角(R_p)と部材角(R)との関係を参考に, 一般的に設計で用いられているR_p=20 × 10⁻³ radを保証するのに必要十分な部材角としてR=40 × 10⁻³ radを設定し, その値を基準に試験体の変形性能を評価することとした。

3.2 最大強度(Q_{max})と限界部材角(R_u)

表-2 コンクリート材料試験値

シリーズ	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ度 (×10 ⁻³)	弾性係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
Fc24(1)	24.4	2.01	24.7	2.42
Fc24(2)	27.1	2.05	25.4	2.65
Fc24(3)	28.9	2.03	27.3	2.34
Fc24(4)	24.6	1.84	23.9	2.34
Fc48(1)	54.6	2.63	32.2	3.69
Fc48(2)	35.6	2.01	30.0	3.49

表-3 鉄筋材料試験値

部位	主筋	筋筋, 孔際補強筋			開孔補強筋		座屈補強筋			
		D6	D10	S6	S10	S6	S8	D6	D8	D10
Fc24(1)	375	381	-	-	-	981	-	-	-	-
	560	513	-	-	-	1126	-	-	-	-
Fc24(2)	367	329	-	-	-	905	-	329	-	-
	587	503	-	-	-	1096	-	503	-	-
Fc24(3)	371	361	-	-	-	977	-	361	-	-
	534	528	-	-	-	1148	-	528	-	-
Fc24(4)	375	367	362	-	-	905	938	-	417	362
	552	519	506	-	-	1121	1110	-	573	506
Fc48(1)	538	-	-	882	-	-	993	361	-	364
	690	-	-	1068	-	-	1162	528	-	500
Fc48(2)	538	-	-	833	915	905	938	-	-	362
	690	-	-	1056	1083	1121	1110	-	-	506

上段：降伏強度，下段：引張強度 (単位: N/mm²)
D6,S6,S8,S10の降伏強度：0.2%オフセット法による

表-4 最大強度と限界部材角

シリーズ	試験体	計算値 Q _{mu} (kN)	実験値		実/計 Q _{max} /Q _{mu}
			Q _{max} (kN)	R _u * (×10 ⁻³ rad)	
Fc24(1)	L6-0	166	198, -199	53, -49	1.19, -1.20
	L6-5-4L-N		174, -177	21, -20	1.05, -1.07
Fc24(2)	L6-5-6L	163	196, -199	41, -35	1.20, -1.22
	L6-5-6M		202, -202	43, -42	1.24, -1.24
	L6-5-6S		201, -212	49, -46	1.23, -1.30
	L6-5-4M		194, -200	42, -39	1.19, -1.23
	L6-5-4S		204, -207	42, -45	1.25, -1.27
Fc24(3)	L6-5-6SE-B1	164	192, -204	44, -45	1.17, -1.24
	L6-5-6SF		193, -186	44, -42	1.18, -1.13
	L6-5-6M-B1		195, -194	46, -49	1.19, -1.18
Fc24(4)	L8-12-8M-B2	216	261, -270	67, -50 ↑	1.21, -1.25
	L8-12-8M-B3		258, -265	60, -47	1.19, -1.23
	L8-8-12M-B3		256, -265	67, -50 ↑	1.19, -1.23
Fc48(1)	H6-0	238	270, -278	100, -50	1.13, -1.17
	H6-5-9S-B2		272, -283	100, -50	1.14, -1.19
	H6-5-12S-B2		278, -283	100, -50	1.17, -1.19
	H6-5-9S-B1		271, -286	75, -50 ↑	1.14, -1.20
	H6-5-9SE-B2		274, -284	100, -50	1.15, -1.19
Fc48(2)	H8-12-8M-B2	310	332, -342	61, -48	1.07, -1.10
	H8-8-12M-B2		334, -342	67, -50 ↑	1.08, -1.10

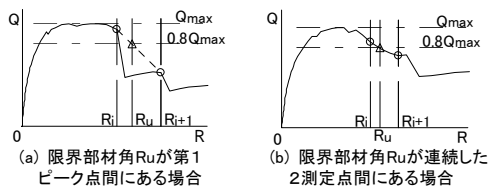


図-4 限界部材角(R_u)*の定義

最大強度の計算値と実験値ならびに限界部材角の実験値を表-4に示す。また、Q_{max}-Q_{mu}関係を図-2に、Q_{max}/Q_{mu}-Q_{su1}/Q_{mu}関係を図-3に示す。ここで、Q_{max}は最大強度の実験値、Q_{mu}は日本建築学会曲げ終局強度略算式¹⁾による計算値、Q_{su1}は後述する修正広沢式¹⁾による開孔部

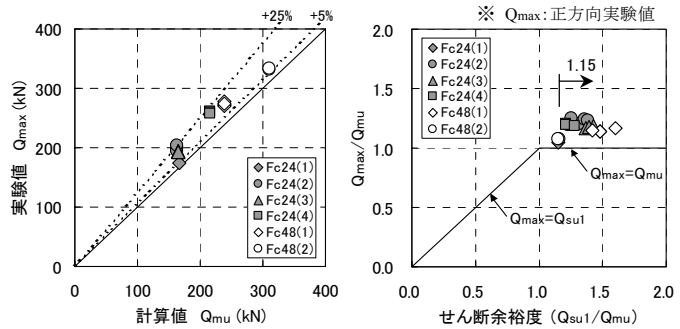


図-2 Q_{max}-Q_{mu}関係 図-3 Q_{max}/Q_{mu}-Q_{su1}/Q_{mu}関係

のせん断強度の計算値、R_uは限界部材角で、図-4に示すように、各部材角における第1サイクルのQ-R曲線の包絡線上で、荷重が最大強度の80%に低下したときの部材角である。図-2から、材料強度によらず、また、座屈補強筋を含めた開孔部補強筋量の違いによらず、実験値は計算値に対し5~25%程度上回ること、図-3から、せん断余裕度が1.15以上の場合、全ての試験体で最大強度の実験値は曲げ終局強度略算式の計算値を上回ることがわかる。このことから、材端部に有孔梁に対しても、曲げ終局強度略算式は、安全側に曲げ終局強度を評価するといえる。

3.3 各実験因子とQ-R曲線との関係

(1) 開孔径の影響

開孔径(H)がD/3, D/3.5, D/4のL6-5-6L, L6-5-6M, L6-5-6Sについて、Q-R曲線を図-5(a)~(c)に、その包絡線を(d)に示す。開孔径がD/3の試験体では、R=30×10⁻³rad以降に荷重が低下し、R_uは正負平均で38×10⁻³radであった。一方、開孔径がD/3.5, D/4の試験体では、R_uは40×10⁻³rad以上であった。開孔径は変形性能に影響し、D/3.5以下では十分な変形性能が得られるが、D/3ではせん断余裕度(Q_{su1}/Q_{mu})が1.32程度であっても変形性能の確保が難しいことがわかる。

(2) 開孔偏心の影響

開孔径がL6-5-6Sと同径であるものの開孔中心位置が梁せい方向にD/24偏心したL6-5-6SE-B1についてQ-R曲線を図-5(e)に示す。ここで、D/24偏心は縁あき長さ(D_e)としてはD/3である。限界部材角は40×10⁻³rad以上、曲げ終局強度は計算値以上であった。この程度の偏心距離(e)では変形性能や強度に影響を与えないといえる。

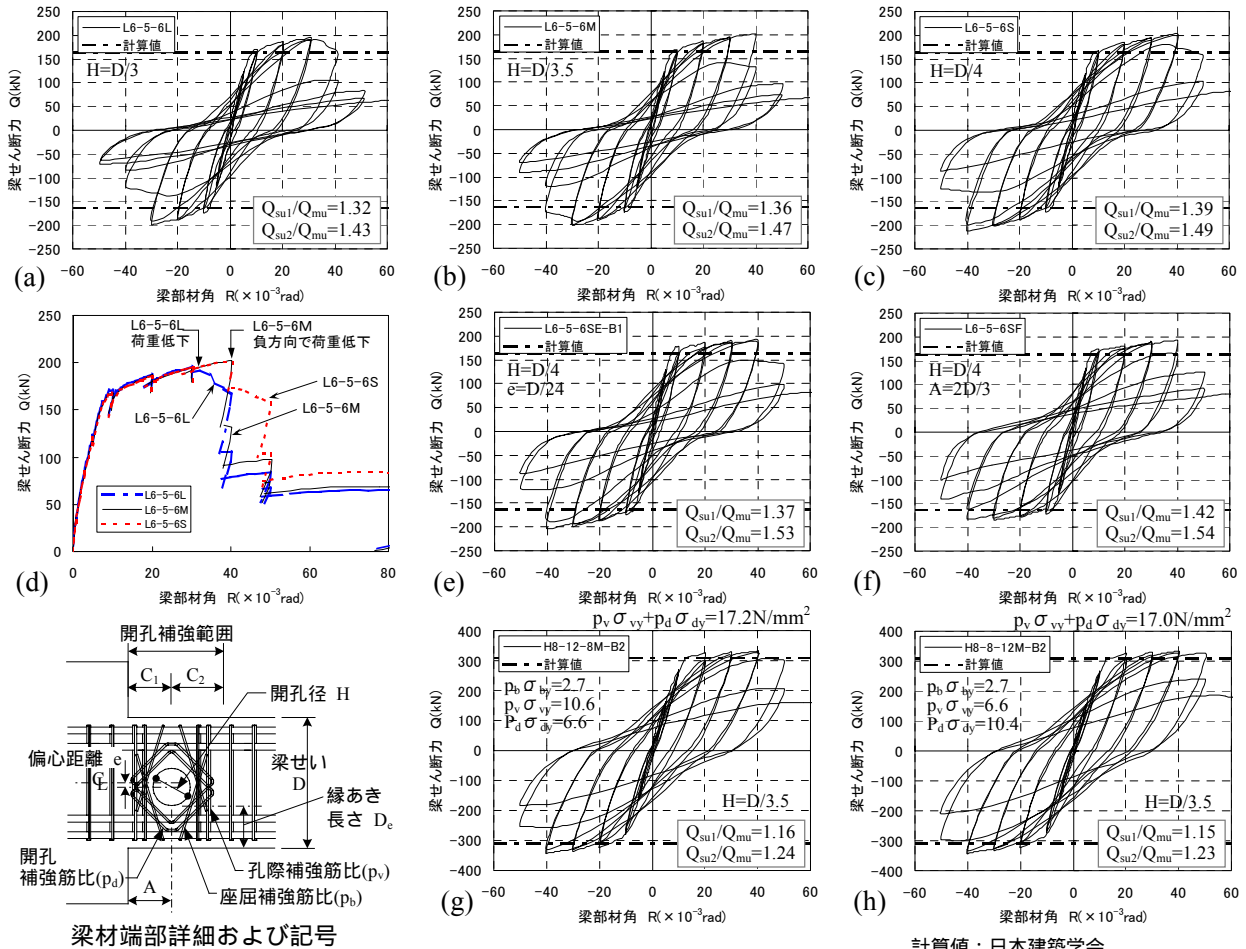


図-5 梁せん断力-梁部材角曲線

計算値：日本建築学会
曲げ終局強度略算式による

(3) 開孔水平位置の影響

開孔径がL6-5-6Sと同径であるものの開孔中心位置が梁端柱面から $2D/3$ 離れた位置にあるL6-5-6SFについてQ-R曲線を図-5(f)に示す。L6-5-6SFではL6-5-6Sに比べ $R=40 \times 10^{-3} \text{rad}$ の第2サイクル以降の荷重低下が若干大きいものの、 R_u は $40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上、曲げ終局強度は計算値以上であり、両者の変形性能ならびに強度に大きな差はみられなかった。

(4) 孔際補強筋と開孔補強筋の効果の比較

開孔部補強筋量($p_v \sigma_{vy} + p_d \sigma_{dy}$)が $17.0 \sim 17.2 \text{ N/mm}^2$ でほぼ同一であるものの、 $p_v \sigma_{vy}$ と $p_d \sigma_{dy}$ がそれぞれ交互に異なる試験体H8-12-8M-B2とH8-8-12M-B2のQ-R曲線を図-5(g),(h)に示す。H8-12-8M-B2に比べ $p_d \sigma_{dy}$ が大きいH8-8-12M-B2では、 $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$ のサイクルに至ると荷重低下が小さく、両者に違いがみられた。このことから、開孔部補強筋量を同量配筋する場合には、孔際補強筋量に比べ開孔補強筋量を多く配

筋する方が補強効果が幾分高いといえる。

3.4 限界部材角と各補強筋量との関係

(1) 限界部材角と座屈補強筋量との関係

R_u と曲げ終局強度時せん断応力度に対する座屈補強筋量の比($p_b \sigma_{by} / \mu_{u0}$)との関係を図-6に示す。以後、 $p_b \sigma_{by} / \mu_{u0}$ を座屈補強筋係数と称する。図中、6-D6の座屈補強筋が配筋された試験体では、座屈補強筋が束ね鉄筋であったため定着性能を発揮できず限界部材角は小さいが、他の試験体では、補強筋係数が増大すると限界部材角も増大する傾向があり、座屈補強筋係数が0.83以上あれば、 R_u は $40 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上であった。また、座屈補強筋量が $p_b \sigma_{by}=0$ の試験体と $p_b \sigma_{by}=1.12 \text{ N/mm}^2$ の試験体を比較すると、開孔部の補強筋量が同一であっても、 R_u は約 $20 \times 10^{-3} \text{rad}$ の差が生じており、変形性能に与える座屈補強筋の効果が見られる。

(2) 限界部材角と孔際補強筋量との関係

R_u と曲げ終局強度時せん断応力度に対する孔

際補強筋量の比($p_v \sigma_{vy} / \tau_{mu0}$)との関係を図 - 7 に示す。以後、 $p_v \sigma_{vy} / \tau_{mu0}$ を孔際補強筋係数と称する。本実験の範囲では、 R_u と孔際補強筋係数との明確な関係は認められなかったが、座屈補強筋量($p_b \sigma_{by}$)が 1.12N/mm^2 以上の場合、孔際補強筋係数が1.29以上であると、 R_u は 40×10^{-3} rad以上であった。

(3) 限界部材角と開孔補強筋量との関係

R_u と曲げ終局強度時せん断応力度に対する開孔補強筋量の比($p_d \sigma_{dy} / \tau_{mu0}$)との関係を図 - 8 に示す。以後、 $p_d \sigma_{dy} / \tau_{mu0}$ を開孔補強筋係数と称する。 R_u は開孔補強筋係数に対して概ね線形的に増大する傾向がみられた。本実験の範囲では、 $p_b \sigma_{by}$ が 1.12N/mm^2 以上の場合、開孔補強筋係数が1.86以上であると、 R_u は 40×10^{-3} rad以上であった。

(4) 限界部材角と開孔部補強筋量との関係

R_u と曲げ終局強度時せん断応力度に対する開孔部補強筋量(孔際と開孔補強筋量の和)の比($(p_v \sigma_{vy} + p_d \sigma_{dy}) / \tau_{mu0}$)との関係を図 - 9 に示す。以後、 $(p_v \sigma_{vy} + p_d \sigma_{dy}) / \tau_{mu0}$ を開孔部補強筋係数と称する。本実験の範囲では、開孔部補強筋係数が3.16以上あれば、 R_u は 40×10^{-3} rad以上を確保できること、 R_u は開孔部補強筋係数に対して概ね線形的に増大する傾向があることがわかる。

3.5 限界部材角とせん断余裕度との関係

$R_u - Q_{su1}/Q_{mu}$ 関係、 $R_u - Q_{su2}/Q_{mu}$ 関係を図 - 10 に示す。ここで、 Q_{su1} は、座屈補強筋の開孔部せん断強度に与える効果を考慮せず修正広沢式により求めたせん断強度である。一方、 Q_{su2} は、座屈補強筋は開孔部のせん断強度の増大に寄与

すると考え、その効果を考慮して求めたせん断強度である。本実験の範囲では、せん断余裕度として Q_{su1}/Q_{mu} が1.15以上、 Q_{su2}/Q_{mu} が1.23以上であれば、材端開孔部近傍でのせん断破壊が先行せず、限界部材角は 40×10^{-3} rad以上であった。しかしながら、 R_u と Q_{su1}/Q_{mu} 、 R_u と Q_{su2}/Q_{mu} との明確な関係はみられず、せん断余裕度だけで変形性能を評価することは難しいことがわかる。

4. 限界部材角の評価式の提案

せん断余裕度だけでは上記の通り材端部有孔梁の変形性能の評価は難しいが、修正広沢式による Q_{su1} には、開孔径の影響、孔際補強筋ならびに開孔補強筋の効果が既に考慮されており、 Q_{su1} に座屈補強筋の効果を考慮する指標を導入すれば、材端部有孔梁の変形性能を評価することが可能と考える。すなわち、導入する指標はせん断余裕度と座屈補強筋係数との積($Q_{su1}/Q_{mu} \times (p_b \sigma_{by} / \tau_{mu0})$)で表され、変形性能指標と称する。本実験試験体による限界部材角 - 変形性能指標との関係を図 - 11 に示す。図中に示す試験

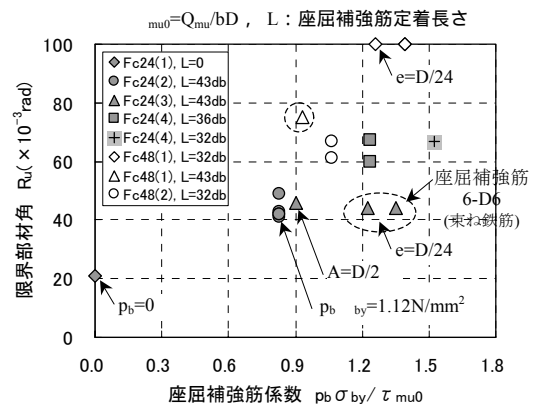


図-6 $R_u - p_b \sigma_{by} / \tau_{mu0}$ 関係
Ru: 正方向実験値

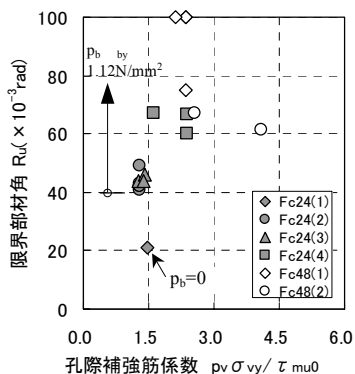


図-7 $R_u - p_v \sigma_{vy} / \tau_{mu0}$ 関係

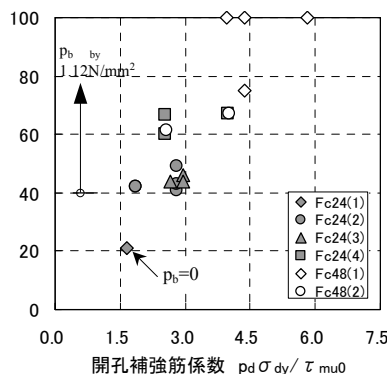


図-8 $R_u - p_d \sigma_{dy} / \tau_{mu0}$ 関係

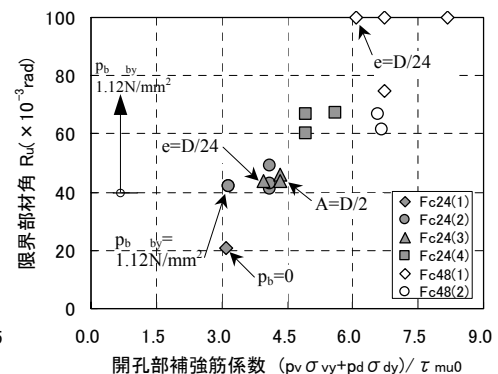
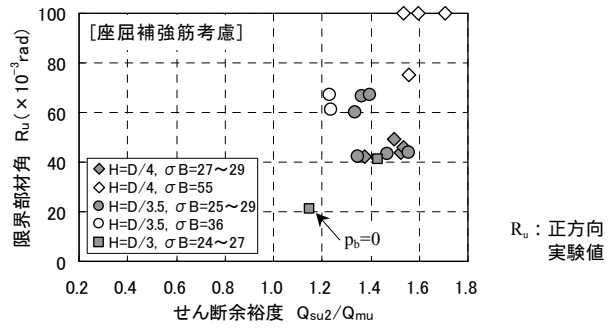
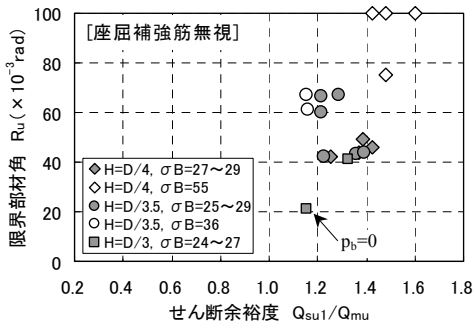


図-9 $R_u - (p_v \sigma_{vy} + p_d \sigma_{dy}) / \tau_{mu0}$ 関係

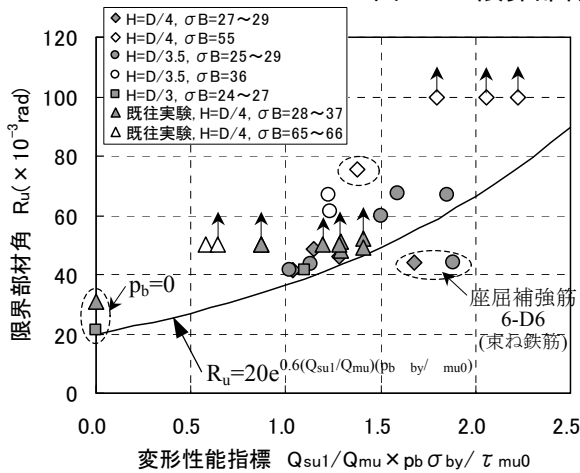


強度計算に用いた曲げ終局強度式およびせん断強度式
 $Q_{mu} = 0.9a_t \sigma_y d/a$ [日本建築学会曲げ終局強度略算式]¹⁾

$$Q_{su1}, Q_{su2} = \left\{ 0.053 p_t^{0.23} (F_c + 18) (1 - 1.6H/D) / (M/Qd + 0.12) + 0.85 \sqrt{p_v \sigma_{vy} + p_d \sigma_{dy} + p_b \sigma_{by}} \right\} j \quad (Q_{su1} \text{ のとき } p_b = 0)$$

ここで、 a_t : 梁主筋量、 d : 梁有効せい、 a : シアスパン長さ、 p_t : 梁主筋比、 H : 開孔径、
 p_v : 孔際補強筋量、 p_d : 開孔補強筋量、 p_b : 座屈補強筋量、 $j = 7d/8$ 、 $\sigma_{vy}, \sigma_{dy}, \sigma_{by} \leq 25 \sigma_B$

図-10 限界部材角とせん断余裕度との関係



印の試験体では、荷重が低下傾向を示さなかったものの、所定の部材角に至り载荷を終了。そのため、限界部材角は未確認。実際の限界部材角はさらに上昇する可能性がある。

図-11 限界部材角と変形性能指標との関係

体のうち、座屈補強筋(6-D6)の足を束ね鉄筋のように配筋した試験体では、座屈補強筋の定着性能が発揮されず限界部材角が他の試験体に比べ小さいと判断された。そこで、これらの試験体を除き、他の試験体を対象にして、 R_u -変形性能指標関係において下限値を包絡するように限界部材角評価式を設定すると、式(1)が得られる。

$$R_u = 20e^{0.6(Q_{su1}/Q_{mu})(p_b \sigma_{by} / \tau_{mu0})} \quad (1)$$

ここで、同図中に本実験結果の他、開孔部の補強方法が本実験試験体の補強法とほぼ同一である試験体による既往の実験結果^{4), 5)}を示す(

印)。実験値は、得られた限界部材角評価式の近傍もしくは上回る位置にあり、評価式の妥当性が認められる。なお、この限界部材角の評価

式は、有孔梁に十分に定着性能の高い座屈補強筋が配筋され、かつ実験で確認した領域の $R_u / \sigma_B \leq 0.073$ 、 $D_e/D \leq 1/3$ の場合を適用対象とする。

5. まとめ

- (1)限界部材角と座屈補強筋係数、および限界部材角と開孔部補強筋係数とは概ね線形関係がみられる。
- (2)せん断余裕度(Q_{su2}/Q_{mu})が1.23以上の場合、限界部材角は 40×10^{-3} rad以上であったが、せん断余裕度だけでは限界部材角を評価し難い。
- (3)本開孔補強法を採る有孔梁の限界部材角の下限は、提案した評価式で求められる。

謝辞

本研究は、浅沼組、安藤建設、大木建設、奥村組、熊谷組、五洋建設、大末建設、テイエム技研、日産建設、松村組の10社による共同研究である。研究の実施にあたり、(財)日本建築総合試験所の益尾部長には貴重なご指導・ご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、1999年版
- 2) 荒川玄、細矢博ほか：梁端部に開孔を有するRC梁の構造性能に関する実験研究(その2)、23115、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002年8月
- 3) R. Park and T. Paulay：Reinforced Concrete Structures, pp.236 ~ 254
- 4) 黒沢俊也、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1,2) 23262 ~ 23263、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年9月
- 5) 駿河良司、黒沢俊也ほか：同題(その3)、23113、同梗概集、2002年8月