

論文 開孔補強筋を使用した RC 造有孔梁のせん断性状に関する実験研究

青田 知己^{*1}・香取 慶一^{*2}・篠原 保二^{*3}・三橋 博巳^{*4}

要旨：RC 造有孔梁に新たに開発された開孔補強筋を使用し，開孔補強筋の径，枚数及び配置方法の違いなどによる補強効果の確認および破壊性状，歪性状について検討を行った。その結果，開孔補強筋を偏在配置させたことによる破壊性状および歪性状への影響は見られないことがわかった。

キーワード：開孔補強筋，偏在配置，せん断性状

1. はじめに

一般に，RC 造建物においては梁成（高さ）を低く抑えて，梁幅を大きくとる設計を行っている。これまでに開発されてきた開孔補強筋の全ては，平面状に円形，四角形を複数に配置して組み立てられていて，外径が大きすぎるため，それを抑えた開孔補強筋の開発が求められてきた。そこで新たに開孔補強筋を開発し，補強効果とせん断性状について考察する。

には把手が溶接されており，あばら筋にはさみ込むように取り付けられる仕組みとなっている。

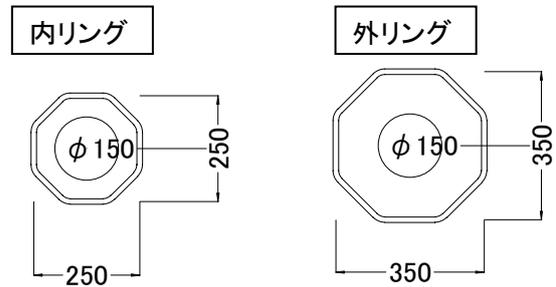


図-1 開孔補強筋図及び写真

2. 実験概要

2.1 開孔補強筋について

開孔補強筋図を図-1 に示す。浮止め，スリーブ受け，フックなどの付属鉄筋は省略する。開孔補強筋は正八角形状をしており，開孔補強筋同士をフックにより連結する仕組みとなっている。開孔補強筋は孔に最も近接させる内リングと，同一平面上で内リングの外側に配置される外リングの2種があり，さらに梁断面内の梁面側に配置される内リングとそれに50mm等間隔で連結していく内リングの2種がある。そして内リングと外リングも，外リングに装備されているフックにより50mm間隔で連結される仕組みとなっている。内リングの二辺の外側

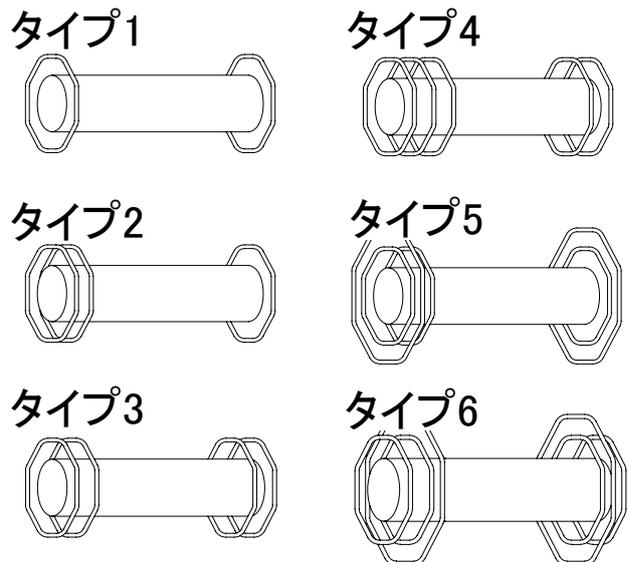


図-2 開孔補強筋配置タイプ

*1 東京工業大学 大学院生 総合理工学研究科 環境理工学創造専攻(正会員)
 *2 東洋大学 助教授 工学部建築学科 工博(正会員)
 *3 東京工業大学 助教授 建築物理研究センター 工博(正会員)
 *4 日本大学 教授 理工学部建築学科 工博(正会員)

2.2 試験体

開孔補強筋の配置タイプを図-2に示す。実験に使用した試験体配筋の一例を図-3に、試験体一覧を表-1に示す。主な変動因子は、開孔補強筋配置方法である。その方法には、梁断面中央を境に、開孔補強筋枚数を違えて配置させたものも含んでいる。(偏在配置；タイプ2, 4, 5) 全試験体とも孔部せん断破壊型となるように計画した。

共通因子は断面 $b \times D = 300 \times 450\text{mm}$ 、孔径 $H = 150\text{mm}$ ($=D/3$)、シアスパン比 $M/Qd = 1.685$ 、主筋 3-D22 高強度ネジふし鉄筋 (引張鉄筋比 $P_t = 0.95\%$)、開孔補強筋に使用した鉄筋は KSS785 とした。その他は表-2に示す。

2.3 加力方法

加力装置図を図-4に示す。加力形式には建研式曲げせん断加力を採用した。加力サイクルは変位で制御し、層間部材角 $R = \pm 1/1000\text{rad}$, $\pm 1/500\text{rad}$, $\pm 1/200\text{rad}$, $\pm 1/100\text{rad}$ の計 4 サイクルを設け、孔部を反曲点とする逆対称正負交番繰り返し载荷を行った。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

表-3に実験結果一覧、図-5にせん断力 Q と層間部材角 R の関係を、写真-1に試験体 No.I-4-30 の最大耐力時の表面、裏面の破壊状況を表す写真を示す。

全試験体ともせん断破壊により破壊した。まず、孔部せん断対角ひび割れが生じ、その後孔部せん断接線ひび割れが生じ、それが卓越し破壊に至った。

No.I-1-24 試験体においては、+2 サイクルで最大耐力に達し、その他 9 体の試験体は+3 サイクルにて最大耐力に達した。なお、本実験においては試験体両面においてひび割れを観察したが、写真-1に示したように、開孔補強筋を偏在配置した試験体における破壊性状の違いは特に見られなかった。No.I-2-24, I-5-30, I-7-30 の 3 体も同様の傾向であった。

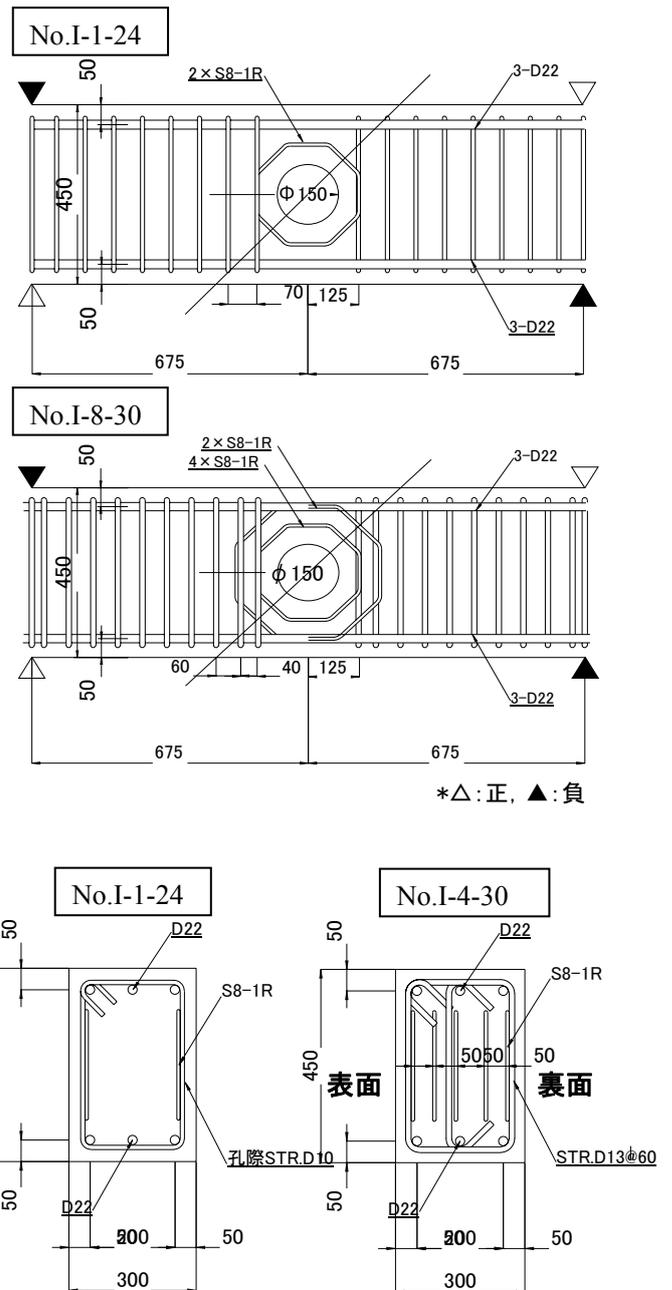


図-3 試験体配筋例

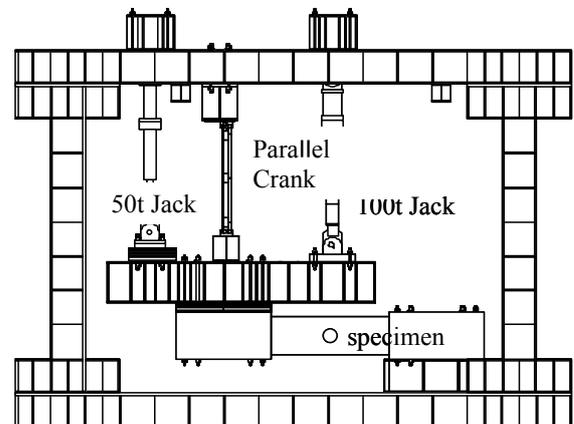


図-4 加力装置図

表-1 試験体一覧

	コンクリート Fc[N/mm ²]	肋筋					開孔補強筋					タイプ	sPwo [%]	wPwo [%]
		肋筋径 [mm]	ピッチ	Pw [%]	孔際組数	肋筋本数	径φ [mm]	リングの配置						
								表面外	表面内	裏面外	裏面内			
I-1-24	24	10	70	0.1	1	2	8		1		1	1	0.27	0.27
I-2-24					1	2	10		2		1	2	0.48	0.58
I-3-24					1	3	8		2		2	3	0.72	0.53
I-4-30	30	13	60	0.21	1	3	8		3		2	4	0.72	0.67
I-5-30					1	3	8	1	2	1	1	5	0.72	0.67
I-6-30					2	2	8		2		2	3	0.97	0.53
I-7-30					1	2	10		3		2	4	0.48	0.96
I-8-30					2	2	8	1	2	1	2	6	0.97	0.8
I-9-30					1	3	13		1		1	1	0.72	0.68
I-10-30					2	2	16		1		1	1	0.97	0.1

主筋 USD685 D22 Fc:設計基準強度
 肋筋 SD295 D10, 13 Pw:無孔部補強筋比
 開孔補強筋 KSS785 φ8, 10 sPwo:孔周囲肋筋の開孔補強筋比
 φ13, 16 wPwo:孔周囲新型開孔補強筋の開孔補強筋比

表-2 使用材料特性

鉄筋(径)	σy [N/mm ²]	sσt [N/mm ²]	Es [×10 ³ N/mm ²]	A [mm ²]
梁主筋D22	695.3	887.9	186.8	387
肋筋D10	393.9	538.2	193.3	71
肋筋D13	397.7	553.1	200.7	127
KSS785φ8	929.9	1099.8	225.7	49.51
KSS785φ10	815.1	985.1	188.1	71.33
KSS785φ13	923.0	1115.3	188.5	126.7
KSS785φ16	842.6	982.7	195.3	198.6
コンクリート	σB [N/mm ²]	cσt [N/mm ²]	Ec [×10 ³ N/mm ²]	
No.I-1,2,3-24	28.1	2.47	18.7	
No.I-4~10-30	36.8	2.19	23.7	

σy:降伏強度 sσt:引張強度 Es:鉄筋弾性係数 A:断面積
 σB:圧縮強度 cσt:割裂強度 Ec:コンクリート弾性係数
 は0.2%オフセット法にて算出

表-3 実験結果

試験体	cQbc	cQsco1	cQsco2	cQbu	eQbc	eQsc	eQsu	cQsu	eQsu/cQsu
I-1-24	45.3	81.9	86.5	424.3	49.1	107.1	223.0	233.4	0.955
I-2-24	45.3	81.9	86.5	424.3	28.5	88.0	312.6	294.9	1.060
I-3-24	45.3	81.9	86.5	424.3	49.2	122.0	345.7	315.2	1.097
I-4-30	51.9	93.7	86.5	424.3	53.9	69.9	348.0	346.5	1.004
I-5-30	51.9	93.7	86.5	424.3	36.4	107.2	387.1	346.5	1.117
I-6-30	51.9	93.7	86.5	424.3	44.9	125	350.8	342.3	1.025
I-7-30	51.9	93.7	86.5	424.3	54.8	80.6	359.9	356.3	1.010
I-8-30	51.9	93.7	86.5	424.3	51.5	121.1	365.9	377.3	0.970
I-9-30	51.9	93.7	86.5	424.3	60.7	60.7	359.8	348	1.034
I-10-30	51.9	93.7	86.5	424.3	46.9	80.2	370.2	397.1	0.932

cQbc=Mbc/a=0.57√σB・Z/a[N]

unit: kN

cQsco1=1.071K_l√σ_BBD(M/Qd)^{K_s}(1-1.61H/D)[kgf] (K_l, K_sはそれぞれ0.971, -0.605である)

cQsco2=20.11K_cBD(M/Qd)^{0.05}(1-1.61H/D)[kgf] (K_c=45.3/(d+32), kc<0.72のときは0.72とする)

cQbu=0.9at・σy・d/a[N]

cQsu=[0.053・Pt^{0.23}(σ_B+18)/((M/Qd)+0.12)](1-1.61H/D)+0.85√(w_{wow}P_{wow}σy+sP_{wos}σy) (修正広沢式)

eQsuはせん断耐力実験値

M/(Qd):シアスパン比 H/D≤1/3あるいはM/(Qd)≥3のとき、3とする。as:孔の片側cの範囲内にある1組の補強筋断面積[mm²]

b,d,j:それぞれ梁幅・梁有効せい・応力中心距離(単位はいずれもmn) θ:孔周囲補強筋が材軸となす角度

σB:コンクリート強度[N/mm²]

sσy:孔周囲補強筋の降伏点強度[N/mm²]

H:孔径(正方形孔の場合は、その外接円の直径)[mm]

c:孔周囲補強筋の有効な範囲[mm]

wPwo=Σ(as(sinθ+cosθ))/(b・c)

Pt:引張鉄筋比[%]

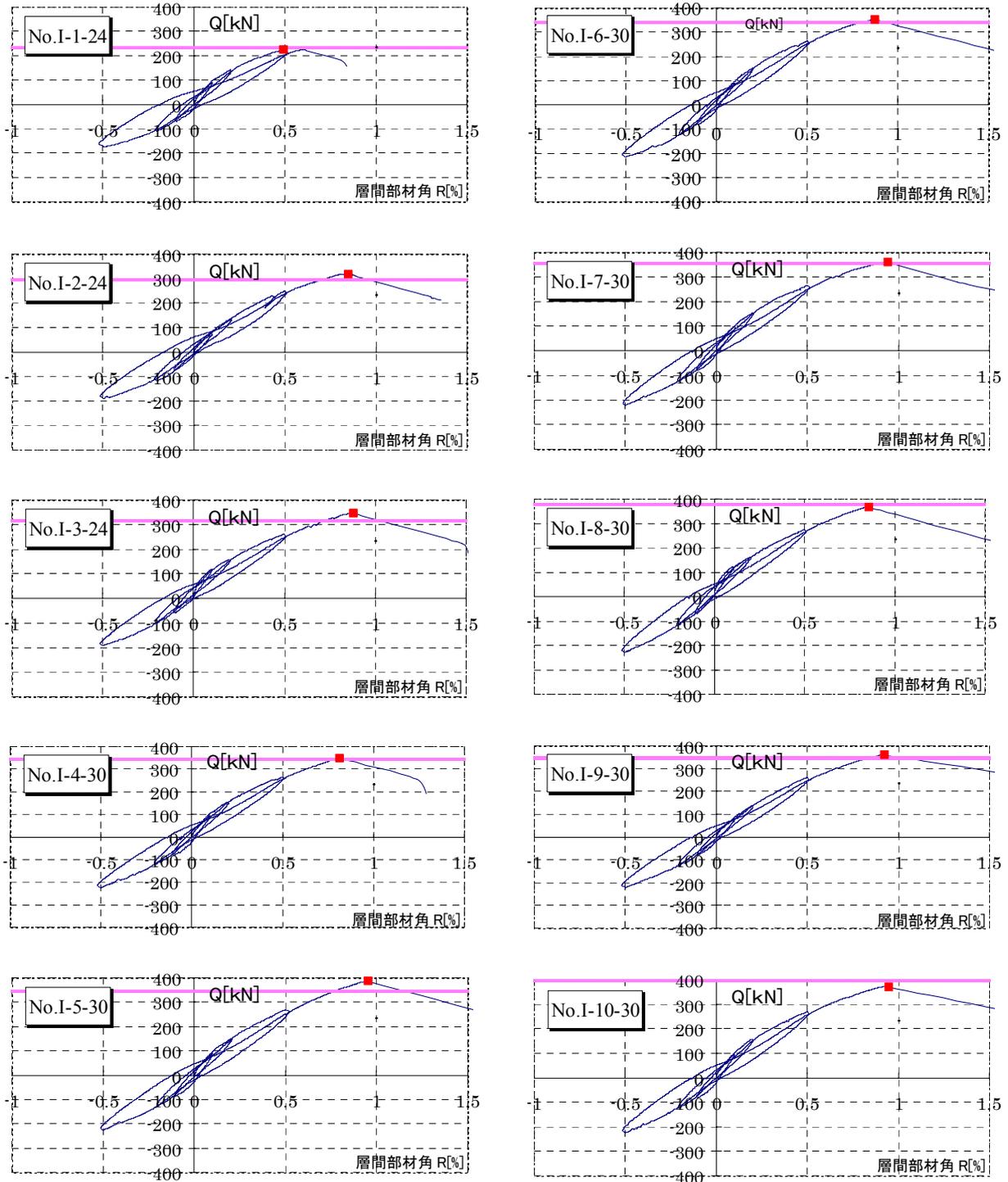


図-5 せん断耐力 Q-層間部材角 R 曲線

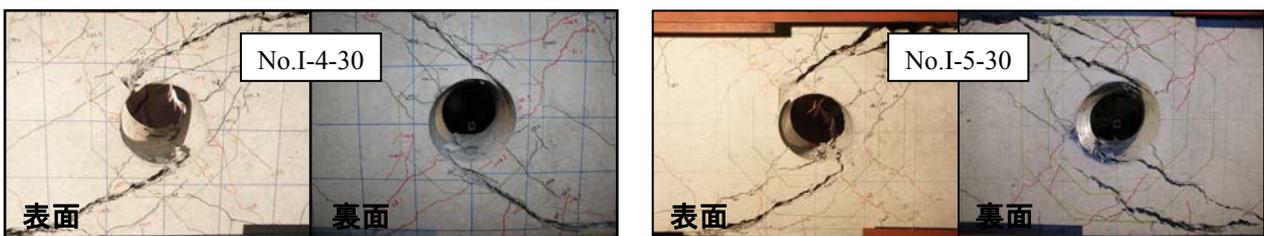


写真-1 試験体破壊状況 (最大耐力時)

3.2 せん断終局耐力

修正広沢式¹⁾を用いてせん断終局強度を算定し、実験値との対応を検討する。図-6は縦軸を最大耐力実験値とし、横軸をせん断終局強度計算値としてプロットしたものである。No.I-1-24, No.I-8-30, I-10-30の最大耐力実験値は修正広沢式による計算値を下回る結果となった。これは従来の開孔補強筋のような枝鉄筋が付属しておらず、開孔補強筋が大きく変形してせん断引張力に対する開孔補強筋の効果があまり得られなかったという形状上の理由からであると考えられる。

3.3 開孔補強筋配置の比較について

孔周囲せん断補強筋量が同じである試験体 No.I-4-30, I-5-30, I-9-30 の比較した結果を図-7に示す。タイプ5配置である No.I-5-30 がタイプ1, 4配置である No.I-4-30, I-9-30 に比して高い補強効果を示した。No.I-5-30 は内リング及び外リングにて構成されており、内リングが内リング同士あるいは、外リングとフックで連結されている。この連結が従来の枝鉄筋に相当するような挙動をしたために、No.I-5-30 では高い補強効果が得られたものと考えられる。

3.4 開孔補強筋径とせん断最大耐力の関係

図-8に、開孔補強筋径とせん断耐力 Q の関係を示す。 $\phi 8$ (No.I-1-24 $w_{Pwo} : 0.27\%$) と $\phi 13$ (I-9-30 $w_{Pwo} : 0.68\%$) を比較すると、せん断最大耐力の増加が大きくなっている。それに対して $\phi 13$ と $\phi 16$ (No.I-10-30 $w_{Pwo} : 1.07\%$) を比較すると、せん断最大耐力の増加は頭打ちとなっている。

3.5 開孔補強筋偏在配置による歪性状への影響について

No.I-5-30 及び No.I-8-30 の、+1/200 ピーク時及び最大耐力時における、開孔補強筋右上、左下斜辺部歪の、梁幅方向の推移をそれぞれ図-9, 10に示す。横軸には表面の梁せい面から開孔補強筋までの距離をとり、縦軸には+1/200 ピーク時あるいは最大耐力時における開孔補強筋歪値をとった。(X=0は表梁せい面, X=300は裏

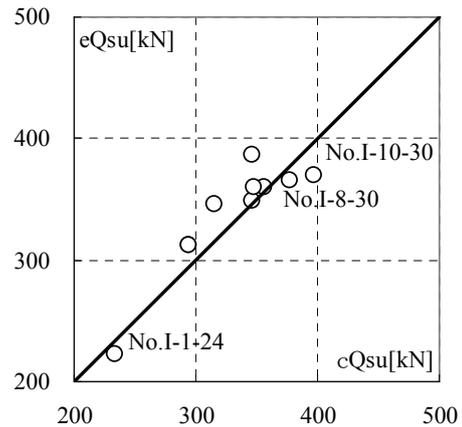


図-6 径とせん断最大耐力の関係

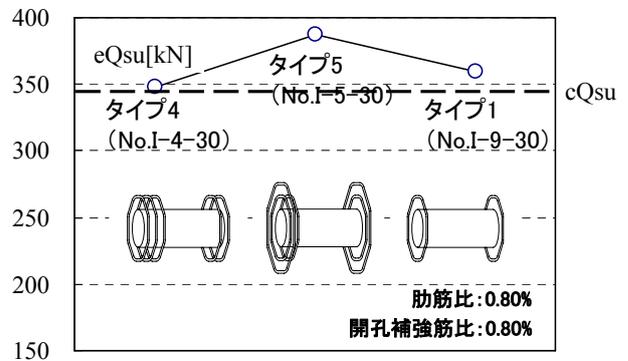


図-7 開孔補強筋配置の違いによるせん断最大耐力の違い

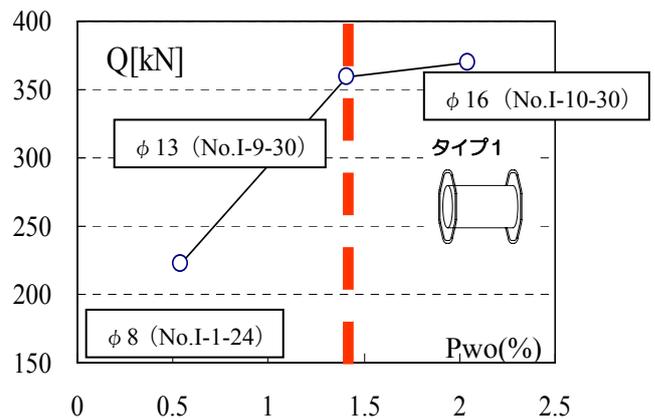


図-8 径とせん断最大耐力の関係

梁せい面を表す。) No.I-5-30において、内リング開孔補強筋の歪値は開孔補強筋右上、左下斜辺部共に開孔補強筋の梁幅方向位置による影響は見られなかった。+1/200 ピーク時から最大耐力下斜辺部共に開孔補強筋の梁幅方向位置による影響は見られなかった。しかしながら、+1/200

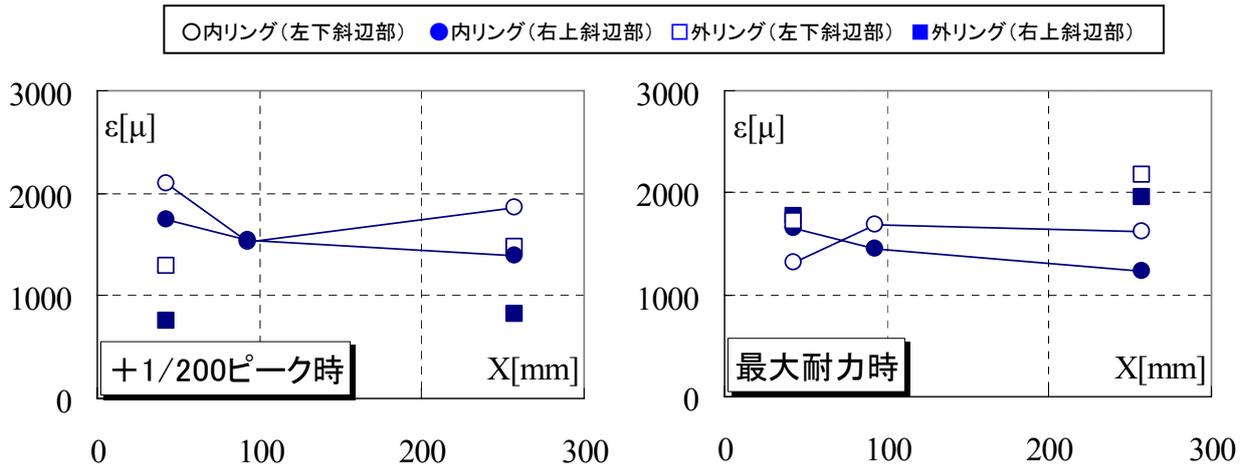


図-9 ε—X 関係 (No.I-5-30)

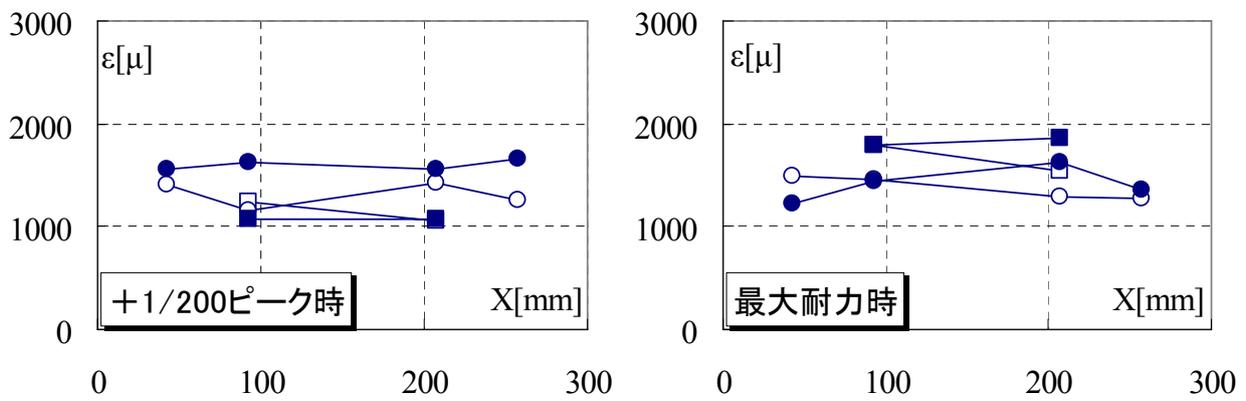


図-10 ε—X 関係 (No.I-8-30)

ピーク時から最大耐力時に移行したとき、外リングの歪値と同位置における内リングの歪値の大小が逆転していた。No.I-8-30 においても、No.I-5-30 と同様の傾向がみられた。

以上のことから、開孔補強筋偏在配置による開孔補強筋の歪性状への影響は見られなかったと考えられる。

4. まとめ

本実験の結果を以下に示す

- ①試験体 No.I-1-24, No.I-8-30, No.I-10-30 のせん断最大耐力実験値は、修正広沢式によるせん断耐力計算値を下回った。
- ②開孔補強筋偏在配置の試験体の試験体両面の破壊性状には、特に大きな違いは見られなかった。
- ③No.I-5-30, No.I-8-30 に関して、外リングの開孔補強筋右上, 左下斜辺部位置において、+

1/200 ピーク時から最大耐力時に移行したとき、同位置での内リングの歪値と外リングの歪値の大小が逆転した。また、No.I-5-30, No.I-8-30 共に、内リングの開孔補強筋の梁幅方向位置による歪性状への影響は見られなかった。

今後、詳細な検討を行う予定である。

謝辞

本研究は東京工業大学建築物理研究センターの全国共同利用の一環で行われました。

また、(株)東京鐵鋼には試験体材料を提供していただきました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 広沢雅也他：鉄筋コンクリート造有孔梁の設計方法に関する総合的な検討，(財)日本建築センター，1994
- 2) 日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999