

高強度開孔補強筋を用いた鉄筋コンクリート有孔梁のせん断破壊性状に関する実験的研究

中野亜紀¹⁾ 阪本敦史²⁾ 菊川春三³⁾ 木下拓也⁴⁾ 福原実苗⁵⁾ 南 宏一⁶⁾

Shear Failure of Reinforced Concrete Perforated Beams with High-strength Opening Reinforcement

Aki NAKANO¹⁾ Astushi SAKAMOTO²⁾ Shunso KIKUKAWA³⁾
Takuya KINOSHITA⁴⁾ Minae FUKUHARA⁵⁾ Koichi MINAMI⁶⁾

ABSTRACT

Recently, there is a situation that the high strength shear reinforcement might be used to shear reinforcement of reinforced concrete construction building. To the beam in these buildings the hole of penetration through the beam is often installed. Then, the open hole reinforcing bar of the high strength of the 1275N/mm² class in the yield stress degree is used. It is thought that it is made light, prevent overcrowded bar arrangement, and the reliability of structure improve by using the opening reinforcement sources made from one reinforcement. However, concrete intensity and shear reinforcement strength and a continuation the opening spacing is not yet considered fully. This research experiments to understand the effect of reinforcement of opening reinforcement which uses the high strength reinforcement of 1275N/mm² for RC perforated beam where the shear fracture is caused. Destructiveness, ultimate shearing strength and adaptability of expression in the past are examined. In addition, it designs new type of opening reinforcement.

キーワード: 高強度開孔補強筋, 有孔梁, 鉄筋コンクリート構造, せん断破壊

keywords : High-strength Opening Reinforcement, Perforated Beams,
Reinforced Concrete Structure, Shear Failure

1. 序

最近, 中高層 RC 造建築物のせん断補強筋として高強度せん断補強筋を用いる場合が多くなってきている。

また, これらの建物の梁には, 設備配管用の梁貫通孔を設けることが多く, 開孔部周辺に開孔補強筋を配筋する必要がある。開孔補強方法として施工性の簡易さを備えた開孔補強用の金物が数多く考案されているが, これらの金物に使用される材料としては普通鋼のものが多く, 高強度鋼によるものは少ない。

そのため, 高強度せん断補強筋を使用した梁の開孔補強

筋には, 高せん断力確保のため多量に普通鋼の開孔補強筋が必要となり, 配筋施工性が悪化し, 過密配筋によるコンクリートの打設性が悪くなる。

そこで, 写真-1 に示すような開孔補強筋に降伏応力度が 1275N/mm² の高強度鉄筋を用い, 図-1 に示すように一筆書き状に曲げ加工した金物にすることにより, 軽量化, 過密配筋防止, さらに, 構造的信頼性が向上すると考えられる。

しかし, コンクリート強度, あばら筋強度及び連続開孔間隔の影響については, いまだ十分に検討されていない。

そこで, 本研究は, せん断破壊を生じる RC 有孔梁を

¹⁾工学部建築学科 ²⁾山陽建設株式会社 ³⁾JFE テクノワイヤ ⁴⁾大学院建築学専攻 ⁵⁾福山大学研究員 ⁶⁾工学部建築学科

対象とし、 1275N/mm^2 級の高強度鉄筋を用いた開孔補強筋の補強効果を把握することを主目的とした実験を行い、破壊性状及び終局せん断耐力について検討する。あわせて既往の有孔梁の終局耐力評価式との適合性について検討する。さらに、新しい開孔補強筋を考案する。

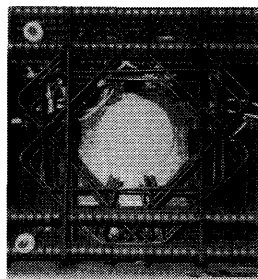


写真-1 開孔補強筋

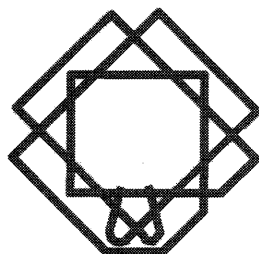


図-1 開孔補強筋

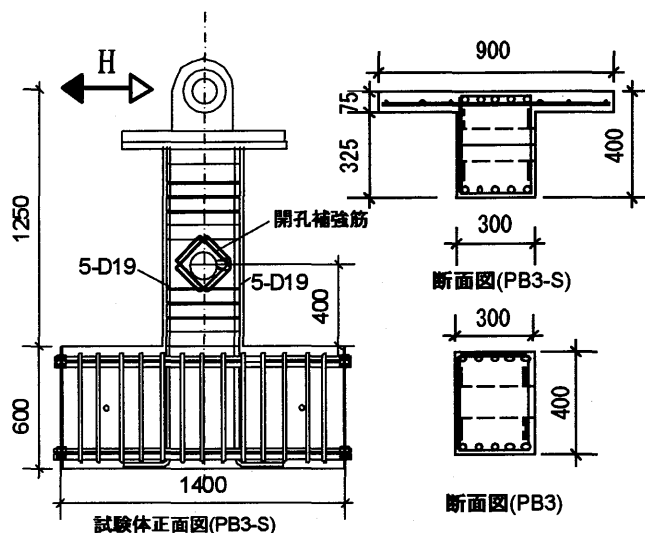


図-3 試験体形状 (単位: mm)

2. 実験

2.1 実験計画

表-1に実験計画一覧、図-3に試験体形状を示す。試験体は、せん断補強筋強度 $\sigma_{wy}=785\text{N/mm}^2$ とコンクリート強度 $F_c=39\text{N/mm}^2$ を用い、スラブのある場合とない場合を3体ずつ計6体計画する。主筋5-D19(685N/mm^2)、せん断補強筋5.1φ(785N/mm^2)、スラブ筋D10-@140(SD295A)とする。また、開孔補強筋は、高強度開孔補強筋5.1φ(1275N/mm^2)を使用する。図-2(a)に示す形状を用いるが、PB2については、開孔補強筋の形状の影響をみるために図-2(b)に示す形状とした。

なお、孔径は125mmとし、孔の位置は梁せいのD/2とする。

表-1 実験計画一覧

試験体名	スラブ	試験体 主筋(上端, 下端) せん断補強筋	F_c (N/mm^2)	σ_{wy} (N/mm^2)	開孔	開孔補強筋 RR125-9
PB1	なし	5-D19	39	785	なし	—
PB2	なし	5-D19 (685N/mm^2)			あり	B形状
PB3	なし				なし	A形状
PB1-S	あり	□-5.1φ-@70			なし	—
PB2-S					あり	なし
PB3-S					あり	A形状

開孔補強筋: 1275N/mm^2

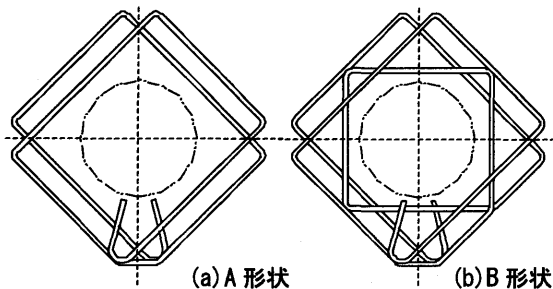


図-2 開孔補強筋形状

2.2 使用材料の機械的性質

表-2にコンクリート強度、表-3に鋼材の機械的性質、図-4、図-5に鋼材の応力-ひずみ曲線およびコンクリート強度のグラフをそれぞれ示す。材料試験では、コンクリートの圧縮試験、割裂試験、鉄筋の引張試験のいずれにおいても3体の試験を行い、その平均値を用いた。

実験は材齢が58日から102日の間に行った。

表-2 コンクリート強度 (N/mm^2)

コンクリート 設計強度 (N/mm^2)	強度推移			
	7日	28日	実験 開始時 58日	実験 終了時 107日
圧縮強度	34.9	44.9	51.8	58.8
割裂強度	—	1.8	2.6	2.9

表-3 鋼材の機械的性質

種別	材質	降伏点 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	伸び (%)
K5.1	せん断補強筋	785	1000	11.3
RB5.1	開孔補強筋	1275	1280	10.0
D10	スラブ筋	SD295A	360	19.8
D19	主筋	685	716	10.6

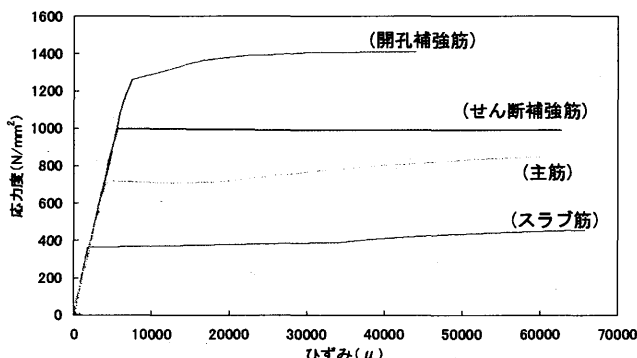


図-4 鋼材の応力-ひずみ関係

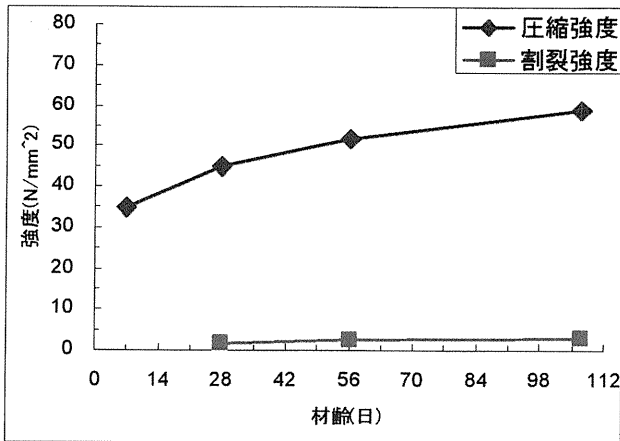


図-5 コンクリート強度

2.3 荷重方法

図-6に荷重装置を示す。荷重装置は福山大学8号館に設置された建研式荷重装置を用いて行った。

荷重方法は、試験体を90°回転させて立てた状態で、上下支持部を荷重装置反力床とL型荷重フレームに固定し、L型荷重フレーム上面に取り付けたロードセルで軸力が作用していないことを確認する。その後、L型荷重フレーム側面の最大容量±2MNの押引オイルジャッキにより正負繰り返しの水平荷重Qを作用させる。

制御方法は、試験体部の変位部材角R(%rad.)にもとづく変位制御により行う。

初めにR=±0.25%rad.の変位振幅で荷重、その後R=±0.5%rad.を2サイクル繰り返す。以降は同様に0.5%rad.毎に変位を増加させ各2サイクルずつ繰り返す。なお、処女サイクルの段階での保有耐力が最大耐力の70%まで耐力が低下した時点で実験を終了させる。

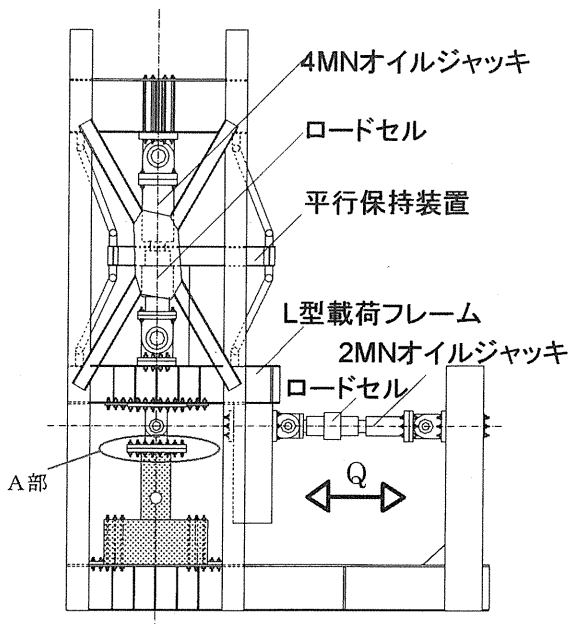


図-6 荷重装置

2.4 測定方法

図-7に前面変位計取り付け位置を示し、写真-2に前面変位計外観を示す。梁を梁頭部、梁中央部、梁脚部の3つに分け、各部における軸方向変形、曲げ変形、せん断変形を計測するために前面に変位計を取り付けた。

変位計はボルトを介して試験体に取り付けられ、ボルトの取り付けは、コンクリート打設前に主筋の内側側面の位置の型枠にボルト止めを行い固定した。

主筋、せん断補強筋、開孔補強筋のひずみは、単軸ひずみゲージ(主筋:3mm, せん断補強筋, 開孔補強筋:1mm)を使用し測定した。ゲージの貼り付けは、測定点1箇所に対して、表裏1枚ずつ、計2枚貼り付けた。

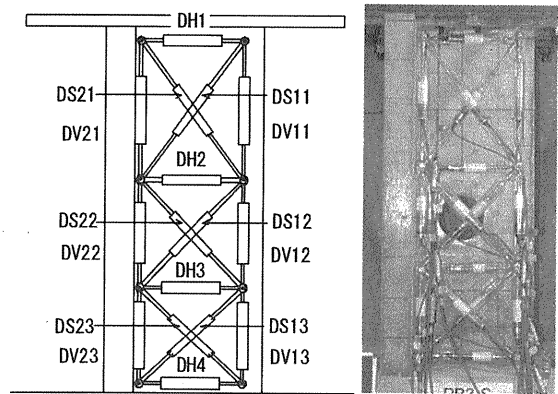


図-7, 写真-2

前面変位計外観及び取り付け位置

3. 実験結果

3.1 破壊性状

終局時の破壊状況を付録1に示す。試験体写真の黒線は、正加力時に発生したひび割れ、赤線は、負加力時に発生したひび割れを示す。スラブなしの試験体では、曲げひび割れ、端部斜めひび割れ、中央部斜めひび割れの順に左右対称に発生した。全試験とも、付着ひび割れは前面には、あまり見られなかった。開孔部ありの試験体は、開孔部斜めひび割れ、開孔部接線ひび割れが共に生じ、せん断破壊した。PB1, PB2-S, PB3-Sについては、図-6のA部に示すように、定着部と主筋溶接部が破断したため、実験を終了した。写真-3は、主筋の破断部である。



写真-3 主筋の破断部

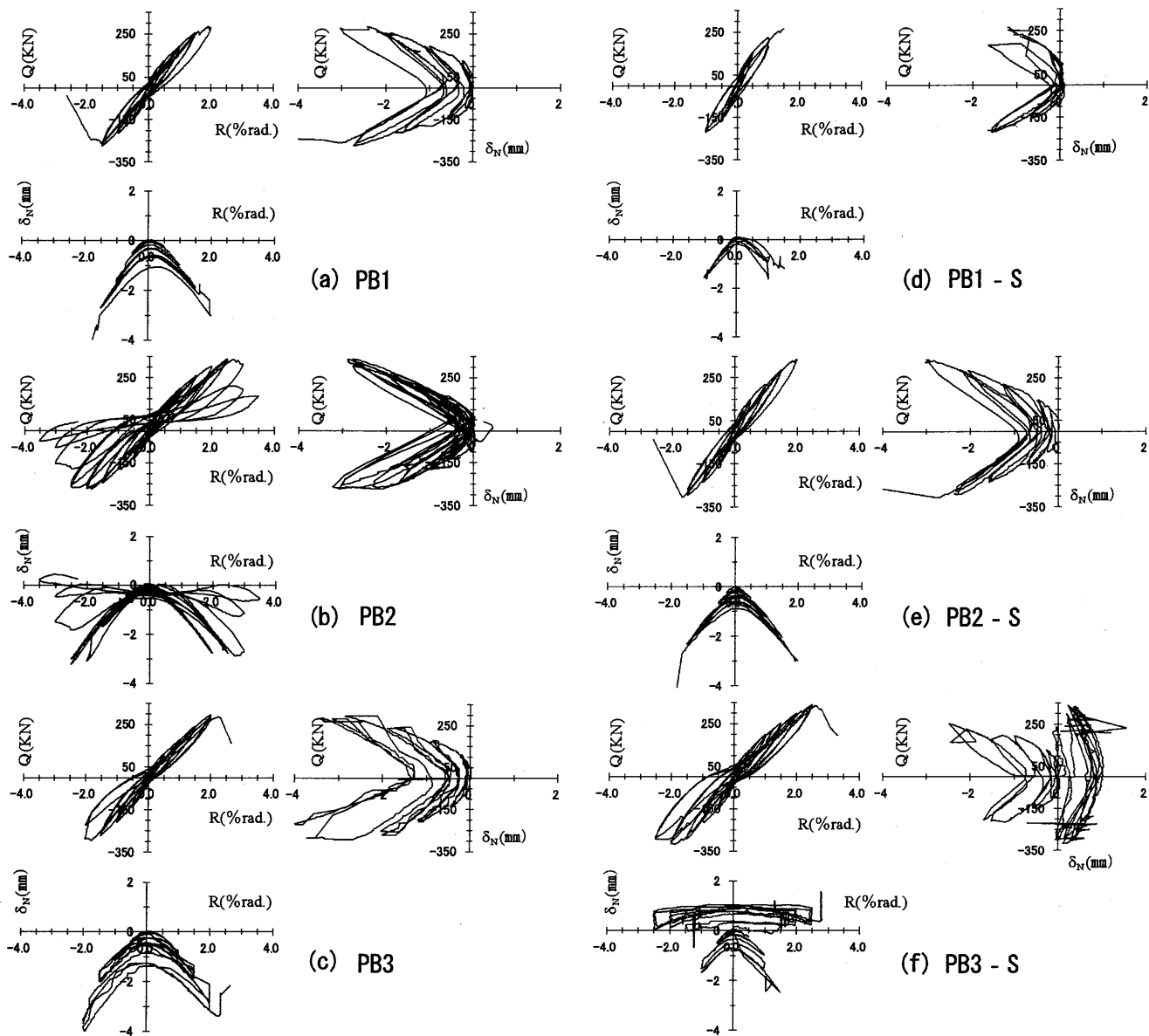


図-8 せん断力 Q —部材角 R ，せん断力 Q —鉛直変位 δ_N ，
および鉛直変位 δ_N —部材角 R との関係

3.2 履歴性状

図-8 にせん断力 Q —部材角 R ，せん断力 Q —鉛直変位 δ_N ，および鉛直変位 δ_N —部材角 R との関係それぞれ示す。

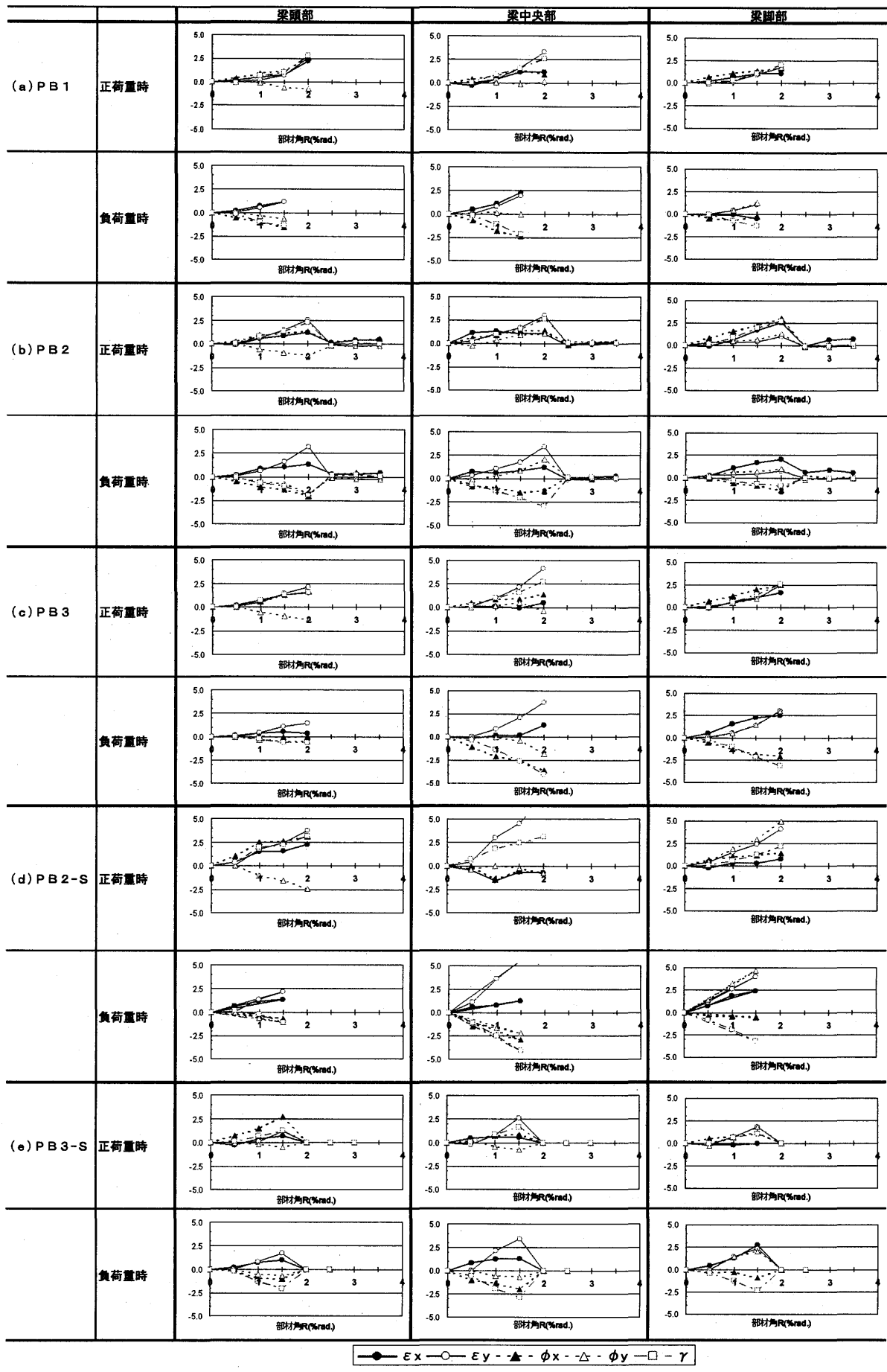
全試験体とも初期剛性はほぼ等しく，最大耐力はPB1 283kN，PB2 337kN，PB3 293kN，PB1-S 263kN，PB2-S 335kN，PB3-S 338kN となった。また，定着部と主筋溶接部が破断したため，途中で試験終了した試験体(PB1，PB2，PB2-S)の履歴曲線は，実験値が低くなっている。

3.3 梁部材要素のひずみ状況

試験体の前面に設置した変位計により測定した梁部材要素変形と部材角 R (%rad.)の関係を図-9 に示す。

縦軸に鉛直方向のひずみ H ，水平方向のひずみ ϵ_y ， X 方向の曲率 ϕ_x ， y 方向の曲率 ϕ_y をせん断ひずみ γ をそれぞれ示し，横軸に部材角 R を示す。

前面変位計は上のブロックから順に梁頭部，梁中央部，梁脚部とする。また，鉛直方向の変形を x ，水平方向の変形を y とする



\bullet - ϵ_x \circ - ϵ_y \blacktriangle - ϕ_x \triangle - ϕ_y \square - γ

図-9 梁部材要素変形と部材角の関係

4. 実験結果の検討

4.1 開孔補強筋形状の影響

スラブ付きでない試験体で異なる補強筋形状 A 形状, B 形状について, 直接比較を試みた。

図-10 に A 形状, B 形状の開孔補強筋を配筋した試験体 (PB2, PB3) の荷重特性の包絡線を取って比較したものを示す。

この図から明らかなように, 両者の荷重-変形特性は, ほぼ同等と言える。したがって, 開孔補強筋形状 (A 形状, B 形状) の違いから, 開孔部に起こるせん断ひび割れに比較的影響の少ない縦の補強筋がなくても耐力に影響を与えることが小さいことがわかる。

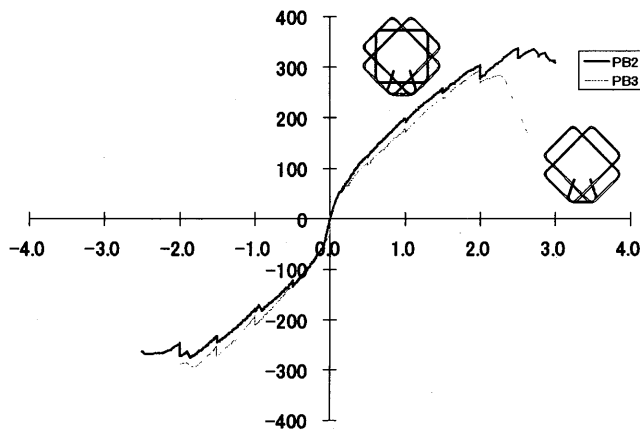


図-10 開孔補強筋形状の影響

4.2 スラブの影響

PB3 と PB3-S は同一形状の補強金物を用いて, スラブの有無による影響を調査した。図-11, 図-10 と同様に PB3 と PB3-S の包絡線で両者を直接比較した。

この図より, スラブが圧縮曲げを受ける場合 (図の負側) に耐力に差が生じることがわかる。ただし, この影響は軽微にとどまっている。

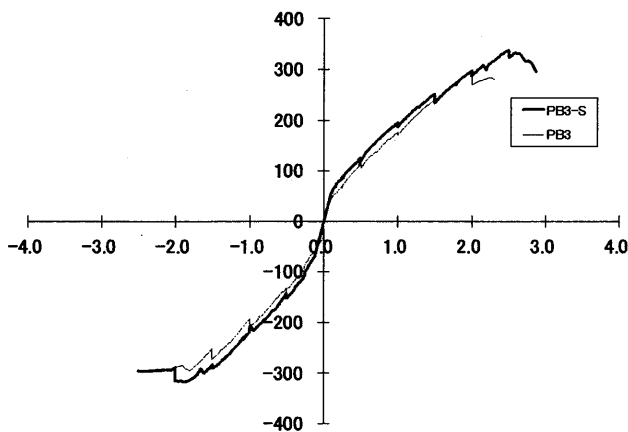


図-11 スラブの影響

4.3 無孔梁と有孔梁の比較

図-12 はスラブが付いていない無孔梁の試験体 (PB1) と有孔梁の試験体 (PB3) の包絡線を比較したものである。この場合も, 荷重-変形に関する力学的性状は, 部材変形角 1.5%rad. 程度までは概ね一致した挙動を示しており, 開孔補強の効果が発揮できていることがわかる。

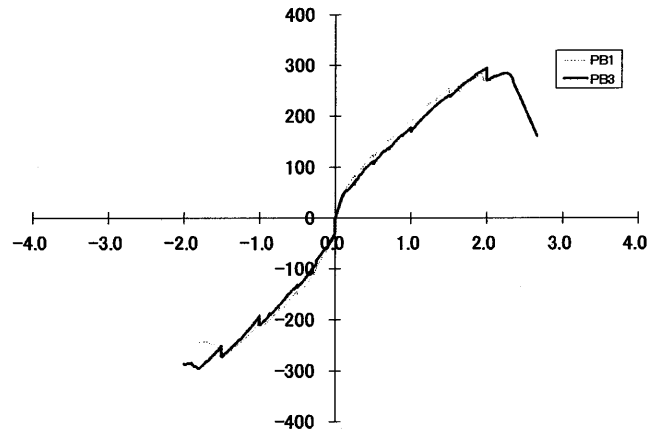


図-12 無孔梁との比較

5. 終局耐力の検討

5.1 終局せん断耐力の検討

終局せん断耐力 Q_{su} の検討を参考文献 2) より (1) 式によって求めた。

開孔のない試験体 (PB1, PB1-S) は無孔梁であるので (2) 式を用いる。 (1) 式では, (3) 式のように, 開孔補強筋量として左端字の K は開孔補強筋, 左端字の R はせん断補強筋をそれぞれ表わす。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 \times Pt^{0.23} (Fc + 18)}{\left(\frac{M}{Q \times d} \right) + 0.12} + \left(1 - 1.61 \times \frac{He}{D} \right) + \Omega u \times 0.85 \sqrt{P_{w0} \times \sigma_{wy}} \right\} b \times j \quad (1)$$

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 \times Pt^{0.23} (Fc + 18)}{\left(\frac{M}{Q \times d} \right) + 0.12} + \Omega u \times 0.85 \sqrt{P_{w0} \times \sigma_{wy}} \right\} b \times j \quad (2)$$

$P_{w0} \times \sigma_{wy}$: 開孔補強筋量

$$= K P_{w0} \times \sigma_{wy} + R P_{w0} \times \sigma_{wy} \quad (3)$$

5.2 終局曲げ耐力の検討

終局曲げ耐力 Q_{fu} の検討を (4) 式で求めた。

$$Q_{fu} = \frac{Mu}{L} = \frac{0.9 \times at \times \sigma_y \times d}{L} \quad (4)$$

表-4 理論値—実験値

試験体名	スラブ	開孔	開孔補強筋	Qsu		Qfu		Qu		Qexp		Qu/Qexp	
				(kN)		(kN)		(kN)		(kN)		(kN)	
				正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
PB1	なし	なし	-	206		270		206		281	273	0.73	0.75
PB2		あり	あり(B)	178		270		178		334	272	0.53	0.65
PB3		あり	あり(A)	178		270		178		291	294	0.61	0.61
PB1-S	あり	なし	-	250	246	310	270	250	246	261	219	0.96	1.14
PB2-S		あり	あり(A)	185	183	310	270	185	183	333	305	0.56	0.61
PB3-S		あり	あり(A)	216	214	310	270	216	214	335	316	0.64	0.68

終局曲げ耐力と終局せん断耐力の理論値と実験値を表-4に示す。Qexp(kN)は、実験値を表す。理論値の終局曲げ耐力(Qfu)と終局せん断耐力(Qsu)の比較では、終局せん断耐力の方が低い値を示したため、理論上せん断破壊をされると考えられる。

実験値と理論値の比較では、理論値をほぼ実験値が上回ったが、安全率(Qu/Qexp) > 1で安全といえるが、この実験では、ほとんどの試験体が安全率 < 1となり、過少評価と考えられる。この理由には、実験値の最大耐力に到達するまでに主筋の溶接部が破断したことや、高強度の鉄筋を使用したため、定着部で主筋がすべり抜け出したと考えられる。この点については、主筋の溶接部の改良および定着部の改良、検討が必要である。

6. まとめ

a) 開孔補強筋性状の違いによる影響

スラブなしの試験体(PB2, PB3)において、開孔補強筋形状の違いによる影響の比較を行う。本研究で用いた2種類の開孔補強筋形状により、履歴特性、破壊性状の違いがみられなかった。

b) スラブの影響

スラブ付きの試験体の場合、正加力時と負加力時の耐力に差が出るが、その影響は小さいと思われる。

c) 開孔の有無の影響

履歴特性を比較してみると、変位部材角R=1.5%rad.程度までは概ね一致した挙動を示しており、開孔補強筋が有効に働いていると考えられる。

以上のことより、有孔梁に開孔補強筋を用いることにより、変位部材角R=1.5%rad.程度までは、無開孔梁と大きな挙動の違いがみられない。また、スラブの有無の影響は小さいことから、開孔補強筋の検討にあたっては、スラブのないものとして検討を行えると思われる。したがって、主筋の溶接部が破断したために、正確な実験結果が得られなかったため、改良し再度実験を行う必要があると考えられる。

謝辞

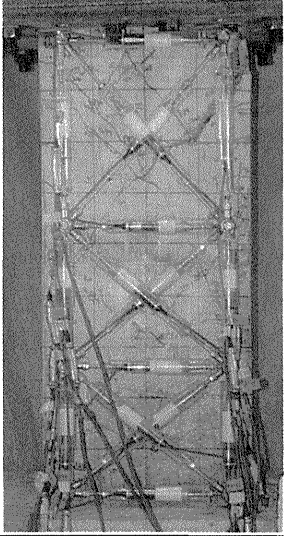
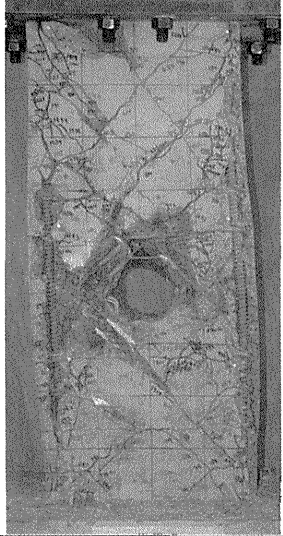
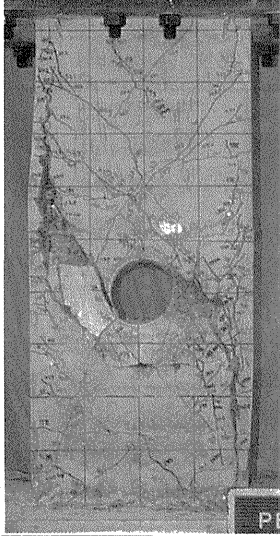
本研究は、「高強度開孔補強筋を用いた鉄筋コンクリート有孔梁のせん断破壊性状に関する実験的研究」として、平成17年度福山大学工学部建築学科阪本敦史の卒業研究の一環として行われた成果をまとめたものである。

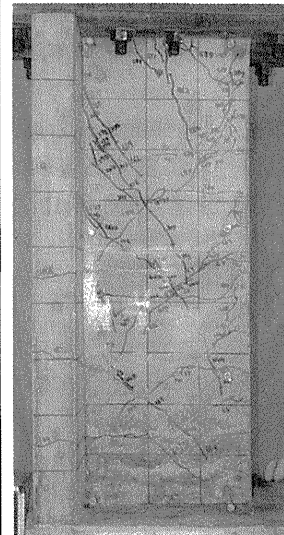
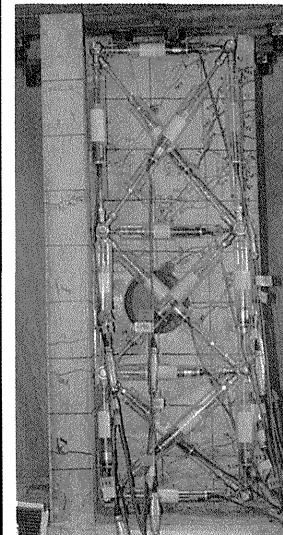
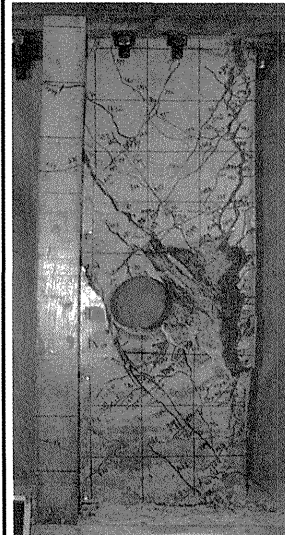
また、本実験の実施にあたって、(株)JFEテクノワイヤよりご支援いただきました。ここに記し深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 阪本敦史：「高強度開孔補強筋を用いた鉄筋コンクリート有孔梁のせん断破壊性状に関する実験的研究」福山大学卒業論文 平成18年2月
- 2) 川鉄テクノワイヤ株式会社：高強度はり貫通孔補強筋リバーレン 平成15年9月
- 3) 「高強度開孔補強筋を用いた鉄筋コンクリート有孔梁のせん断破壊性状に関する実験的研究(その1)、(その2)」日本建築学会大会学術講演梗概集
- 4) 木下拓也：「高強度せん断補強筋を用いたRC柱の曲げ破壊性状に関する実験的研究」福山大学工学部紀要 第29巻 2005年12月

付録1 終局時破壊状況

スラブなし		
PB1	PB2	PB3
—	B形状	A形状
		
Ru=2.0%rad.	Ru=3.5%rad.	Ru=2.5%rad.

スラブあり		
PB1-S	PB2-S	PB3-S
—	—	A形状
		
Ru=1.5%rad.	Ru=2.0%rad.	Ru=3.0%rad.