

論文 高強度開孔補強金物を用いた鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断耐力に関する実験的研究

山本俊彦*¹・豊田将文*²

要旨：8000kgf/cm²級の高強度鉄筋による開孔補強金物のせん断補強効果を調べるため、14体のRC有孔梁試験体による実験を行なった。実験の結果、開孔部補強に用いた高強度鉄筋は、公称降伏強度の約80%~100%以上の応力が生じ高強度鉄筋の特性を有効に発揮した。開孔部補強筋比が0.408~1.25%の範囲で、実験値は有孔梁のせん断終局強度設計式^[1]に対して、平均1.34となり安全側の値を示した。また、異種強度の組み合わせは補強に有効であり、2開孔の場合も間隔を3D(開孔直径)とれば耐力的に問題がなかった。しかし、2段配筋、1方向単調載荷では有孔梁のせん断耐力に影響が見られた。

キーワード：有孔梁、鉄筋コンクリート、開孔補強、高強度鉄筋

1. はじめに

近年、高強度材料の有効利用のため、鉄筋コンクリート部材のせん断補強に高強度鉄筋が使用されるようになってきた。従来より、過密配筋が問題となっている鉄筋コンクリート造有孔梁の開孔部の補強に併せて、高強度鉄筋を用いることにより、施工性の改善をはかることができると考えられる。これまで開孔部の補強に普通強度鉄筋を用いたものは数多く実験されているが^[2]、^[3]、高強度鉄筋を用いたものはあまり行われていない^[4]、^[5]。このため、高強度材料における開孔部のせん断補強効果を調べるため、8000kgf/cm²級の高強度鉄筋によりせん断補強された鉄筋コンクリート造有孔梁の実験を行った。開孔部の補強方法は、多重リング金物と孔際肋筋との組み合わせで、コンクリートは、一般的な普通強度とした。

実験に用いた試験体は14体で、主として開孔部の補強筋量の変化と開孔補強筋(開孔金物および肋筋)に異種材料を組み合わせた場合の補強効果を調べた。また、複数開孔、載荷方法、2段主筋、補強金物の形状についても有孔梁の及ぼす影響を調べた。

2. 試験体と実験要因

2.1 試験体の形状

図1、図2および表1に試験体を示す。試験体は、全部で14体で、スパン165cm、断面30cm×60cm、シアスパン比1.5とし、開孔は直径20cmで1ないし2個とした。いずれの試験体も曲げ降伏に先行してせん断破壊が生じるようにした。また、開孔補強筋量が多くせん断耐力が高くなると考えられる試験体については、主筋の付着割裂を防ぐため2段配筋とした。肋筋はS6、S8、およびD10の中子を有する溶接閉鎖型肋筋を用いた。開孔補強有効範囲(C)は、開孔部の主筋重心間距離の1/2とし、C範囲の肋筋本数は4本で、試験体(No.5~7)が8本である。なお、基準となる無開孔試験体は、主筋は2段配筋とし、曲げ主筋比(Pt)1.45%、せん断補強筋比(Pw)0.302%である。

* 1 東急建設(株)技術研究所、建築構造研究室、工博(正会員)

* 2 東急建設(株)技術研究所、建築構造研究室、工修

表-1 試験体一覧

試験体	実験要因	荷 方 法	曲げ主筋		一般部せん断補強筋		開孔補強金物		開孔補強筋		開孔補強
			配筋	Pt (%)	配筋*	Pw (%)	配筋*	wPwo (%)	配筋*	sPwo (%)	量 Pwo (%)
No. 1	無開孔	繰返	4-2-D22	1.45	4-S 6-@140	0.302	-	-	-	-	-
No. 2	補強筋比	〃	4- D29	1.56	4-S 6-@140	0.302	2-S 6-2R	0.239	4-S 6	0.169	0.408
No. 3	〃	〃	4- D29	1.56	4-S 6-@140	0.302	2-S 6-3R	0.358	4-S 6	0.169	0.527
No. 4	〃	〃	4- D29	1.56	4-S 6-@140	0.302	3-S 6-3R	0.537	4-S 6	0.169	0.706
No. 5	〃	〃	4-2-D22	1.45	4-S 6-@140	0.302	3-S 6-3R	0.571	8-S 6	0.359	0.930
No. 6	〃	〃	4-2-D22	1.45	4-S 6-@140	0.422	3-S 8-3R	0.893	8-S 6	0.359	1.25
No. 7	2開孔	〃	4-2-D22	1.45	4-S 6-@140	0.302	3-S 6-3R	0.571	8-S 6	0.359	0.930
No. 8	金物形状	〃	4- D29	1.56	4-S 6-@140	0.302	3-S 6-3R**	0.537	4-S 6	0.169	0.706
No. 9	主筋段数	〃	4-2-D22	1.45	4-S 6-@140	0.302	3-S 6-3R	0.571	4-S 6	0.180	0.751
No.10	荷方法	1方向	4- D29	1.56	4-S 6-@140	0.302	3-S 6-3R	0.537	4-S 6	0.169	0.706
No.11	異種材料	繰返	4- D29	1.56	4-S 6-@140	0.302	2-D10-3R	0.807	4-S 6	0.169	0.976
No.12	〃	〃	4- D29	1.56	4-S 6-@140	0.302	2-D10-3R**	0.807	4-S 6	0.169	0.976
No.13	〃	〃	4- D29	1.56	4-D10-@140	0.676	2-S 6-2R	0.239	4-D10	0.381	0.620
No.14	〃	〃	4- D29	1.56	4-D10-@140	0.676	3-S 6-3R	0.537	4-D10	0.381	0.918

*S6、S8：8000kgf/cm²級鉄筋の直径の呼び名(mm)

**枝筋 8本

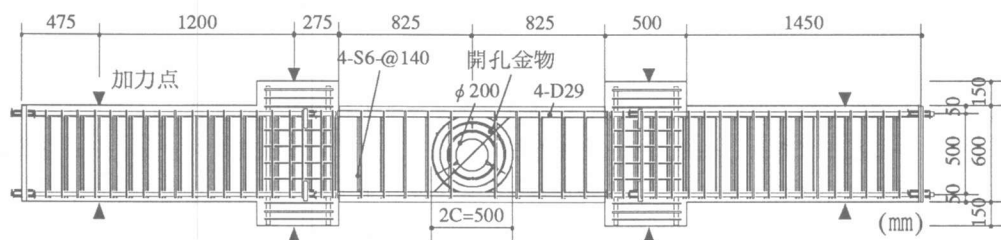


図-1 試験体

2. 2 開孔補強金物

図3に開孔補強金物を示す。開孔補強金物の形状は、鉄筋径S6、S8、D10で2もしくは3つのリングを同心円上に配したものである。リングの直径は内環300mm、中環400mm、外環500mmを基本としたが、通常強度の開孔金物は内環290mm、中環370mm、外環450mmとした。リング筋はアプセットバット溶接し、枝筋はプロジェクション溶接した。

2. 3 実験要因

実験要因を、表1試験体一覧に示すように、開孔部補強筋比 (Pwo)、開孔数、開孔補強金物の形状、2段主筋の影響、荷方法、異種材料の組み合わせとした。

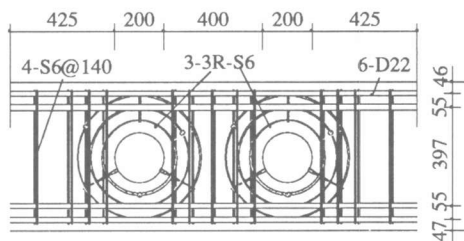


図-2 試験体 No.7 (mm)

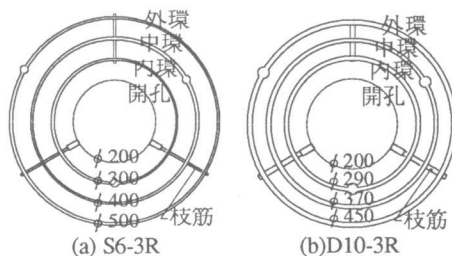


図-3 開孔補強金物

3. 使用材料

表2および表3に使用したコンクリートおよび鉄筋の材料特性を示す。コンクリート圧縮強度は試験体打設時に同時に採取した供試体による部材実験材齢の圧縮強度とした。

表-2 コンクリートの材料特性

試験体	比重	圧縮強度 kgf/cm ²	割裂強度 kgf/cm ²	ヤング係数 (×10 ⁵) kgf/cm ²
No. 1, 5	2.29	284	21.1	2.67
No. 2, 3	2.29	305	28.2	2.62
No. 4, 6	2.29	324	22.0	2.57
No. 7, 8	2.28	280	22.7	2.49
No. 9, 10	2.29	317	27.1	2.56
No.11,12	2.25	311	23.4	2.77
No.13,14	2.25	283	23.7	2.38

表-3 鉄筋の材料特性

用途	種別	降伏強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	ヤング係数 (×10 ⁶) kgf/cm ²
主筋	D22	4700	6680	1.96
	D29	4570	6470	1.85
肋筋	S 6	8750	10600	1.97
	D10	3500	5050	1.86
リング筋	S 6	8990	10800	1.99
	S 8	9030	10900	2.11
	D10	3760	5060	1.94

4. 加力および測定方法

加力および測定方法を図4に示す。試験体は100tのくし型ジャッキ2台により逆対称加力を行った。加力は、試験体No.10を除き、正負の繰返し載荷を変位制御で行った。制御は、部材角(R)=1/1,000, R=1/400, R=1/200で正負一回繰返し載荷を行った後、最大耐力を確認するまで加力を行った。鉄筋のひずみは、曲げ主筋、せん断補強筋および開孔金物(全周)について測定した。

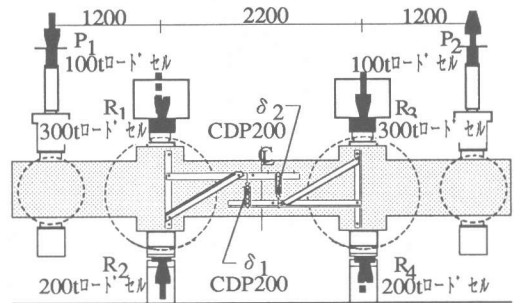


図-4 加力および測定方法

5. 実験結果

実験結果の一覧を表4に示す。有孔梁のせん断耐力の計算には、有孔梁のせん断終局強度設計式^[1]を用いた。

5.1 ひび割れおよび荷重変形関係

代表的な試験体の最終ひび割れ状況を図5に、荷重変形関係を図6に示す。有孔梁試験体は、

表-4 実験結果一覧

試験体	実験要因	コンクリート強度 σ _B kgf/cm ²	実験値 cQu (tf)	曲げ cQmu (tf)	せん断 cQu (tf)	付着割裂 cQb (tf)	開孔部せん断耐力			耐力比 cQu/cQh
							cQhc (tf)	cQhr (tf)	cQh (tf)	
No. 1	無開孔	284	66.9	63.7	47.8	54.3	-	-	-	1.40*
No. 2	補強筋量	305	48.9	70.5	52.6	40.2	11.8	22.3	34.1	1.44
No. 3		305	51.2	70.5	52.6	40.2	11.8	25.3	37.1	1.38
No. 4	〃	324	57.0	70.5	54.4	41.5	12.2	29.3	41.5	1.37
No. 5	〃	284	56.8	63.7	47.8	54.3	10.5	32.7	43.2	1.31
No. 6	〃	324	60.3	63.7	54.9	57.9	11.4	38.0	49.4	1.22
No. 7	2開孔	280	50.7	63.7	47.4	53.9	10.4	32.7	43.1	1.17
No. 8	金物形状	280	50.8	70.5	50.1	38.5	11.1	29.3	40.4	1.26
No. 9	主筋段数	317	59.2	63.7	51.0	57.3	11.2	29.4	40.6	1.46
No.10	載荷方法	317	60.5	70.5	53.8	41.0	12.0	29.3	41.3	1.47
No.11	異種材料	311	45.8	70.5	53.2	40.6	11.9	25.8	37.7	1.21
No.12	〃	311	46.3	70.5	53.2	40.6	11.9	25.8	37.7	1.23
No.13	〃	283	53.7	70.5	51.4	45.8	11.2	22.2	33.4	1.61
No.14	〃	283	56.4	70.5	51.4	45.8	11.2	29.2	40.4	1.39

* cQu/cQu = 2 · (0.9 · at · ft · d) / L^[1], cQb = τ bu · Σ φ · j^[6], cQhc : cQhのコンクリート負担分、

$$cQu = \left(\frac{0.12 \cdot ku \cdot kp \cdot (180 + Fc)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 2.7 \cdot \sqrt{pw \cdot \sigma wy} \right) \cdot b \cdot j \text{ [1]}$$

$$cQh = \left(\frac{0.053 \cdot (100 \cdot pt)^{0.25} \cdot (180 + Fc) \cdot (1 - 1.61 H/D)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 2.7 \cdot \sqrt{pw \cdot \sigma wy} \right) \cdot b \cdot j \text{ [1]}$$

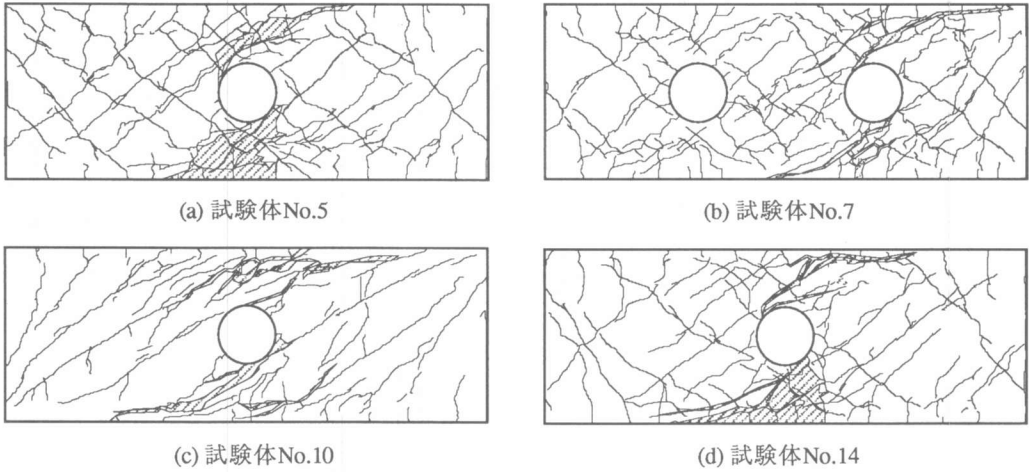


図-5 最終ひび割れ状況

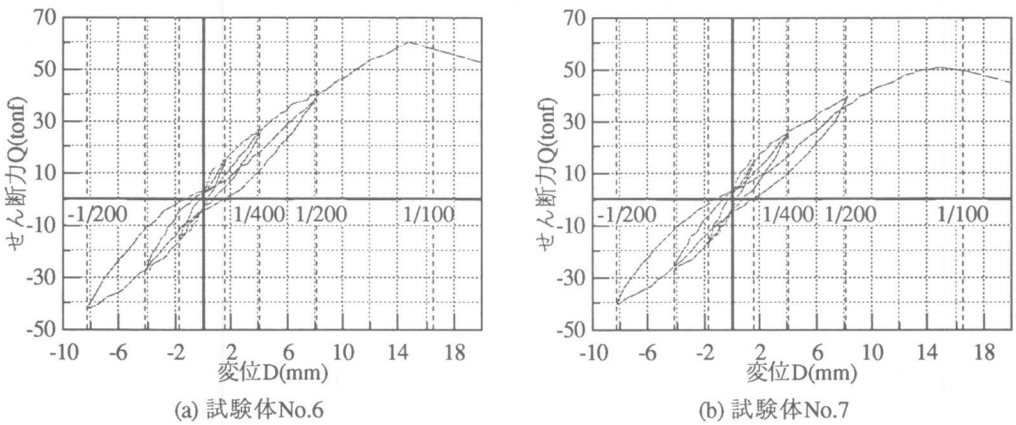


図-6 荷重-変形関係

部材角1/1000前後で梁端部で曲げひび割れ、続いて開孔部にせん断ひび割れが生じ、その後は開孔周辺に数多く発生した。最大耐力は、部材角約1/100前後で達し、最終的に開孔部の接線ひび割れが拡大してせん断破壊した。これらの特徴は、いずれの試験体においてもほぼ共通して見られたが、開孔部補強量が多いほど耐力が高く、また、開孔部回りのひび割れが多く発生した。

5. 2 開孔部補強筋のひずみ

図7に最大耐力時まで測定された開孔補強金物と孔際筋の最大ひずみを示す。開孔筋のひずみが大きく、また、補強金物では一般的に外側の方が大きなひずみを示した。開孔部補強量が大きくなると、補強筋のひずみは小さくなる傾向を示すが、開孔補強金物では 2530×10^{-6} (普通強度) $\sim 8160 \times 10^{-6}$ 、筋筋では $3410 \times 10^{-6} \sim 23500 \times 10^{-6}$ を示し、開孔部補強筋には公称降伏強度の約80% \sim 100%

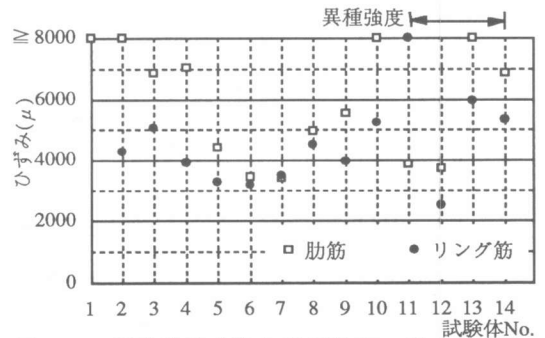


図-7 開孔補強金物と孔際筋の最大ひずみ

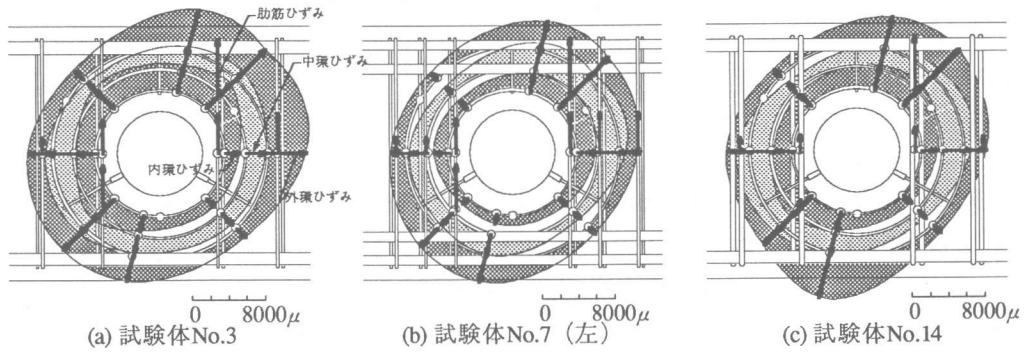


図-8 最大耐力時の開孔補強金物のひずみ

以上の応力が作用した。図8に最大耐力時の開孔補強金物のひずみを示す。内、中、外各リング筋全周にわたって引張ひずみが生じており、孔際肋筋と共同して、開孔部廻りのコンクリートを有効に拘束している様子を示している。

5.3 最大せん断耐力

図9に開孔部補強筋比 (P_{wo}) とせん断耐力比の関係を示す。開孔部せん断耐力実験値と計算値との比は、開孔部補強筋比を0.408~1.25%に変化させた5体では、1.22~1.44平均1.34であった。開孔部補強筋比が高くなるとやや耐力比が低下する傾向がみられた。

5.4 開孔数

2開孔を設けた試験体No.7のせん断耐力比は1.17で、1開孔試験体に比べ10%程低い値を示した。剛性は2開孔のためやや低く、最大耐力時の変形も部材角1/110とやや小さかった。最大耐力時の開孔補強金物のひずみに差はほとんどなかった。最終破壊は、開孔間では破壊せず、開孔が1・D以内にあることの影響からか端部で破壊した。

5.5 開孔補強金物の形状

枝筋を通常の3本から8本とした補強金物の形状による違いは、せん断耐力上ほとんどみられなかった。

5.6 2段主筋および載荷方法

主筋を2段配筋とした試験体は、開孔部補強筋のひずみに差は見られなかったが、1段配筋試験体に比し7%高い耐力を示した。2段筋では、開孔部分での付着割裂が最終まで見られなかったことが原因の1つと考えられる。また、単調載荷試験体は、最大耐力時の開孔部補強筋ひずみが大きく、正負繰り返し載荷試験体に比し8%高い耐力を示した。

5.7 異種材料の組み合わせ

開孔補強金物に普通強度鉄筋を用い肋筋に高強度鉄筋を用いた試験体のせん断耐力比は、1.22~1.23でこれまでの普通強度鉄筋を用いた試験体^[3]と同程度の耐力比を示した。最大耐力時、開孔補強金物は降伏し、肋筋もほぼ公称降伏強度に達した。

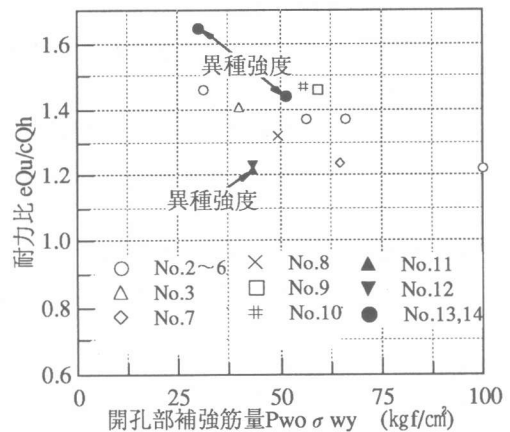


図-9 開孔部補強量とせん断耐力比の関係

一方、開孔補強金物に高強度鉄筋を用い肋筋に普通強度鉄筋を用いた試験体のせん断耐力比は、1.44～1.64でかなり高い耐力比を示した。最大耐力時、開孔補強金物は公称降伏強度を超え、肋筋も降伏強度を超えた。

6. まとめ

14体の試験体による有孔梁のせん断耐力実験から、次のことが明らかになった。

- 1) 高強度鉄筋による鉄筋コンクリート造有孔梁の開孔部の補強は有効であり、有孔梁のせん断終局強度設計式^[1]により十分安全側に評価される。
- 2) 開孔部補強に用いた高強度鉄筋は、公称降伏強度の約80%～100%以上の応力が生じ高強度鉄筋の特性を有効に発揮した。
- 3) 鉄筋コンクリート造有孔梁の開孔部補強筋比 (P_{wo}) が0.408～1.25%の範囲で、有孔梁のせん断終局強度設計式による計算値に対するせん断耐力比は、平均1.34であった。補強筋比が高くなると、耐力比はやや低下する傾向が見られた。
- 4) 異種材料の組み合わせでは、いずれの組み合わせにおいても開孔部の補強に有効で、最大せん断耐力時にはそれぞれの公称降伏強度に達した。
- 5) 主筋が2段筋では1段筋に比べ7%、1方向単調載荷では正負繰返し載荷に比べ8%それぞれ高い耐力を示した。
- 6) 2開孔を設けた試験体のせん断耐力比は、開孔中心間隔を $3 \cdot D$ (開孔直径) とれば孔の間では破壊せず、耐力的に問題がないことが示された。

謝辞

本研究は、TM技研(株)との共同で行ったものである。また、本実験を行うにあたり住友金属工業(株)のご協力を頂いた。

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、1988.
- [2]広沢雅也・清水 泰：鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断強度とじん性(その1)有孔梁についての既往の研究成果、建築技術、No.331、pp.93～101、1979.3.
- [3]山本俊彦ほか：鉄筋コンクリート有孔梁の補強補強に関する実験的研究(その8)リング筋のせん断補強効果の総合的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造C、No.21254、pp.681～682、1992.8.
- [4]山本俊彦・豊田将文：鉄筋コンクリート有孔梁の補強補強に関する実験的研究(その11)高強度材料におけるせん断補強性能、日本建築学会1994年度大会学術講演梗概集、構造C、No.21497、pp.927～928、1994.9.
- [5]中澤 淳・三原重郎・益尾 潔・南 宏一：高強度開孔補強筋を用いたRC有孔梁のせん断破壊性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.2 pp.293-298、1993.6.
- [6]日本建築学会：鉄筋コンクリート構造物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990.10.