# 論文 開孔を有する鉄筋コンクリート梁のせん断性状に及ぼす補強方法の 影響

篠原 保二\*1·原 彰吾\*2·香取 慶一\*3·林 靜雄\*4

要旨:本研究は,鉄筋コンクリート有孔梁の開孔補強において,より施工性のよい開孔補強筋の補強効果を 確認するために行った。1リング開孔補強筋を基本に,リング数,開孔補強筋形状,コンクリート強度,あば ら筋強度をパラメータとして,補強方法の違いによる有孔梁のせん断性状への影響を明らかにすることを目 的とした。その結果,1リング補強筋を使用した試験体は,従来の開孔補強筋を使用したものに比べて,10 ~15%耐力が低下する傾向が見られた。

キーワード:有孔梁,開孔補強筋,修正広沢式,補強筋量

#### 1. はじめに

鉄筋コンクリート造建物の階高を下げ,コストを削減 するために梁に設備配管用の貫通孔を設けることが 多々ある。孔を設けることによるせん断耐力の低下が顕 著になるため,これまで多くの研究が行われ,現在では 簡易金物による開孔部の補強が一般的となっている。

これらの金物の補強効果を評価する有孔梁せん断終 局強度式設計式は実験式<sup>1)</sup>が準用されることが多い。し かし、この設計式では孔周囲補強筋の有効な範囲は**図**-1に示すように開孔部中心から材軸 45 度に直線を伸ば し、水平に投影した長さCとして定められているが、金 物形状やリング数の違いによる影響は評価していない。 本研究では補強方法の違いや材料強度をパラメータと し、主に1リング補強筋を用いた場合の有孔梁のせん断 性状への影響を実験によって明らかにすることを目的 とした。



図-1 孔周囲補強筋の有効な範囲

## 2.実験概要

# 2.1 試験体概要

試験体形状を図-2, 試験体一覧を表-1, 材料特性を表-2 に示す。全10 体を計画し, No.5, No.10 の試験体は梁幅 b=320mm, 梁せい D=700mm, 試験体スパン L=2000mm, 開孔径 H=234mm とし, 他は全て梁幅 b=300mm, 梁せい D=450mm, 試験体スパン L=1350mm 開孔径 H=133mm とした。主筋には SD685 を使用し, No.5,10 では 5-D25, 他は全て 4-D19 で配筋した。いずれの試験体も曲げ降伏 に先行して開孔部せん断破壊となるよう設計した。

No.1~No.5 では開孔部補強方法の違いによるせん断 性状への影響を確認し, No.6~No.10 では, コンクリー トとあばら筋に高強度材料を用いた場合の1リング補強 筋のせん断補強効果を確認するため, それぞれパラメー タを定めた。

#### 2.2 開孔補強方法

使用したリング補強筋は 785N/mm<sup>2</sup>級の高強度鋼材を 曲げ加工したもので,折り曲げ閉鎖型とした。交差部分 を溶接し,終端位置で3d(d:鉄筋径)の定着長を設け,端 部をコブ定着した。枚数は全試験体2枚としている。図 -3 に各試験体のリング補強筋形状を示す。金物の形状 は,鉄筋が一周したところでコブ定着した1リングのも の(No.3~10) と,一周後に内側に180度フックで折り曲 げもう一周したところでコブ定着した2リング(以下2内 リングと表記)のもの(No.1.2)とした。

また,主筋に跨る形で配筋するコ型拘束筋を No.1,3 に 配筋し,便宜上,リング数に加えるものとした。補強金 物の上下には,拘束横筋が溶接されている。これは孔周 囲補強範囲内のあばら筋の位置を,孔部中心から一定に 保ち,施工性の向上を図る効果を狙ったものである。

\*1 東京工業大学 建築物理研究センター准教授 工博 (正会員) \*2 東京工業大学大学院 総合理工学研究科環境理工学創造専攻 工修 \*3 東洋大学 工学部建築学科准教授 工博 (正会員) \*4 東京工業大学 セキュアマテリアル研究センター教授 工博 (正会員)



図-2 試験体形状(No.1 A27-295-2+1)

表-1 試験体概要

|    | 試験体名        | 断面寸法               | スパン      |          | コンクリート            |        | あばら筋  |                     |         | リング補強筋 |       |                     |
|----|-------------|--------------------|----------|----------|-------------------|--------|-------|---------------------|---------|--------|-------|---------------------|
| No |             |                    |          | 材料別      | 設計強度              | 材料     | 径     | 開孔部あばら筋比            | اداد خخ | 径      | リング数  | 開孔部リング補強筋比          |
|    |             | b×D (mm)           | L (mm)   | 軋囲       | $F_{c}(N/mm^{2})$ |        | d(mm) | P <sub>ws</sub> (%) | 19 科    | d (mm) |       | P <sub>wo</sub> (%) |
| 1  | A27-295-2+1 |                    |          | I        |                   |        |       | 0.48                |         | 8 (8)  | 2+(1) | 0.80                |
| 2  | A27-295-2   | 200×450            | 1350     |          |                   |        |       |                     |         | 8      | 2     | 0.53                |
| 3  | A27-295-1+1 | 300~430            |          |          | I 27 SD295        | 13     | 0.40  | KSS785              | 10 (8)  | 1+(1)  | 0.65  |                     |
| 4  | A27-295-1   |                    |          |          |                   |        |       |                     |         | 13     | 1     | 0.68                |
| 5  | B27-295-1   | 320×700            | 2000     |          |                   |        |       | 0.53                |         | 10     | 1     | 0.21                |
| 6  | A27-785-1a  |                    | 150 1350 | II<br>IV | 27                |        |       | 0.48                | KSS785  | 8      | 1     | 0.27                |
| 7  | A27-785-1b  | 200×450            |          |          | 27                | 21     |       |                     |         | 10     |       |                     |
| 8  | A48-785-1   | 300×450<br>320×700 |          |          | 48                | KSS785 | 13    |                     |         | 10     |       | 0.38                |
| 9  | A80-785-1   |                    |          |          | 80                |        |       |                     |         | 10     |       |                     |
| 10 | B48-785-1   |                    | 2000     |          | 48                |        |       | 0.53                |         | 16     |       | 0.58                |

※表中の()はコ型拘束筋の径,リング数

I:Fc<36N/mm<sup>2</sup>,普通強度あばら筋 Ⅲ:Fc<36N/mm<sup>2</sup>,高強度あばら筋 II: Fc≧36N/mm<sup>2</sup>,普通強度あばら筋 IV: Fc≧36N/mm<sup>2</sup>,高強度あばら筋

図-3 リング補強筋形状

表--2 材料特性

| コンクリート<br>設計強度    | 試験体     | 圧縮強度               | 割裂強度          | ヤング係数                                   |  |
|-------------------|---------|--------------------|---------------|---|--|
| $F_{c}(N/mm^{2})$ |         | $\sigma_B(N/mm^2)$ | $f_t(N/mm^2)$ | $E_{c}(\times 10^{4} \text{ N/mm}^{2})$ |  |
|                   | No.1~3  | 26.4               | 2.83          | 2.66                                    |  |
| 27                | No.4    | 30.3               | 2.74          | 2.76                                    |  |
|                   | No.5~7  | 30.1               | 2.75          | 2.66                                    |  |
| 48                | No.8,10 | 45.1               | 3.34          | 3.10                                    |  |
| 80                | No.9    | 64.8               | 4.43          | 3.57                                    |  |

| /+ m   | 실의 구구  | 径   | 使用       | 降伏強度               | 降伏歪み               | ヤング係数                             |
|--------|--------|-----|----------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| (1) 伊用 | I輌材    | mm  | 試験体      | $\sigma_v(N/mm^2)$ | ε <sub>y</sub> (%) | $E_v(\times 10^5 \text{ N/mm}^2)$ |
|        |        | D10 | No1~3    | 759                | 0.42               | 1.79                              |
| 主筋     | SD685  | D19 | No4,6~9  | 732                | 0.44               | 1.85                              |
|        |        | D25 | No5,10   | 771                | 0.41               | 1.84                              |
|        | SD205  | D12 | No1~3    | 333                | 0.17               | 2.03                              |
| 肋筋     | 3D293  | 015 | No4,5,10 | 366                | 0.19               | 1.91                              |
|        | KSS785 | S13 | No6~9    | 989                | 0.72               | 1.90                              |
|        |        | 60  | No1,2    | 801                | 0.60               | 1.88                              |
|        | KSS785 | 30  | No6      | 856                | 0.66               | 1.84                              |
| 胆フ     |        | S10 | No3      | 911                | 0.60               | 2.02                              |
| 補強筋    |        |     | No7      | 1137               | 0.78               | 1.97                              |
|        |        |     | No5,8,9  | 892                | 0.69               | 1.82                              |
|        |        | S13 | No4      | 889                | 0.68               | 1.84                              |
|        |        | S16 | No10     | 901                | 0.67               | 1.93                              |

2.3 加力方法

No.1~3,5,10 は大野式逆対称加力, No.4,6~9 は建研式 加力にて正負の繰り返し載荷を変位制御にて行った。制 御は部材角 1/1000,1/500,1/200,1/100,1/50 とし, その後は 押し切りとした。建研式加力装置図を図-3 に示す。



| No. | 試験体名        | 材料別範囲 | 開孔部リング筋径 開孔部補強筋比 |                     | 計算值 <sup>※</sup>      | 実験値           | 実験値/計算値           |
|-----|-------------|-------|------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-------------------|
|     |             |       | S (mm)           | $P_{ws}+P_{wo}(\%)$ | Q <sub>cal</sub> (kN) | $Q_{exp}(kN)$ | $Q_{exp}/Q_{cal}$ |
| 1   | A27-295-2+1 |       | 8(8)             | 1.28                | 315                   | 360           | 1.14              |
| 2   | A27-295-2   |       | 8                | 1.01                | 279                   | 356           | 1.28              |
| 3   | A27-295-1+1 | Ι     | 10(8)            | 1.13                | 300                   | 348           | 1.16              |
| 4   | A27-295-1   |       | 13               | 1.16                | 318                   | 327           | 1.03              |
| 5   | B27-295-1   |       | 10               | 0.74                | 437                   | 487           | 1.11              |
| 6   | A27-785-1a  | ш     | 8                | 0.75                | 306                   | 314           | 1.03              |
| 7   | A27-785-1b  | ш     | 10               | 0.86                | 338                   | 300           | 0.89              |
| 8   | A48-785-1   |       | 10               | 0.86                | 345                   | 400           | 1.16              |
| 9   | A80-785-1   | IV    | 10               | 0.86                | 373                   | 369           | 0.99              |
| 10  | B48-785-1   |       | 16               | 1.11                | 679                   | 771           | 1.13              |

表-3 実験結果

注1 I:Fc<36N/mm<sup>2</sup>,普通強度あばら筋 Ⅱ:Fc≥36N/mm<sup>2</sup>,普通強度あばら筋 Ⅲ: Fc<36N/mm<sup>2</sup>,高強度あばら筋

IV: Fc≧36N/mm<sup>2</sup>,高強度あばら筋

※計算値は文献(1の修正広沢式により計算した

# 3.実験結果·検討

# 3.1 強度性状

実験結果を表-3に示す。補強方法の違うNo.1~5の試 験体では、2内リング補強筋を配筋したNo.1とNo.2では コ型拘束筋の有無によって耐力に大きな差は生じなか ったが,1リング補強筋を配筋したNo.3とNo.4では,No.3 の耐力が上回る結果となった。No.2 とNo.4 では補強筋量 ではNo.4 が上回っているが 2 内リングを使用したNo.2 が耐力を上回り,鉄筋を分散配筋したほうが耐力が上昇 した。コンクリート、あばら筋に高強度材料を使用した No.6~10 の試験体では、リング補強筋径の細いNo.6 が No.7 よりも耐力が上回る結果となった。また、 F<sub>c</sub>=80N/mm<sup>2</sup>を使用したNo.9 がF<sub>c</sub>=48N/mm<sup>2</sup>を使用した No.8 よりも耐力が下回った。リング数による余裕度の傾 向を確認するため、本試験体 10 体と、過去の有孔梁実 験試験体 50 体<sup>2), 3), 4), 5)</sup>, 計 60 体を対象としたリング数と 余裕度の関係を図-4に示す。No.1,3のコ型拘束筋はリン グ数に加えるものとする。検討に使用した試験体は、孔 径比 (H/D), せん断スパン比 (M/Qd) を, 今回の実験 と極力近い試験体を選別した。1 リング補強筋を使用し た試験体は 2・3 リングを使用した試験体に比べて余裕 度が 20%ほど低い傾向となった。コンクリートとあばら 筋を普通強度・高強度で場合分けした(表-3 注1),材 料強度と余裕度の関係を図-5 に、表-4 に材料強度別 の平均値を示す。1 リング補強筋の各範囲における余裕 度の傾向は、過去試験体同様に、範囲 I · IV が同等の値 を示し、範囲Ⅲで低い値を示している。しかし、全体的 に2リング以上の補強筋を使用した試験体より、余裕度 が低い傾向となった。



#### 表-4 材料強度別の平均値

|      | Ι      |       | П      |      | Ш      |       | IV     |       |
|------|--------|-------|--------|------|--------|-------|--------|-------|
|      | 2,3リング | 1リング  | 2,3リング | 1リング | 2,3リング | 1リング  | 2,3リング | 1リング  |
| 平均   | 1.23   | 1.07  | 1.41   |      | 1.12   | 0.94  | 1.26   | 1.09  |
| 標準偏差 | 0.095  | 0.095 | 0.145  |      | 0.135  | 0.078 | 0.090  | 0.090 |

## 3.2 破壊性状

図-6 に最終耐力時のひび割れ図を示す。いずれの試 験体も、R=1/1000 で端部曲げひび割れ発生後、開孔の中 心を 45 度に通るような孔部対角ひび割れが発生した。 その後 R=1/200 で孔部の接線方向を通る孔部接線ひび割 れが発生、そのひび割れが拡大して破壊に至る、開孔部 せん断破壊となった。最終的な破壊状況に各試験体で大 きな違いは見られなかったが、コンクリートが高強度に なる程ひび割れが少なくなる傾向が見られた。図-6 に No.4,8,9 の最終耐力時ひび割れ図を示す。No.9 の孔部右 側では正載荷時にひび割れが発生せず、No.8 より小さな 部材角で孔部接線ひび割れが卓越して破壊に至ったた め、No.9 は No.8 より耐力が下回った。

#### 3.3 変形性状

せん断応力-変形角関係を図-7に示す。せん断応力は せん断力を有効断面積で除したものを、変形角は試験体 端部で測定した垂直変位を試験体スパンLで除したもの を用いた。いずれの試験体も孔部対角ひび割れ発生後に, 剛性の低下が見られた。2,3リング補強金を配筋したNo.1 ~3 では変形性状に大きな差は見られなかったが、1 リ ング補強筋の No.4 では変形角 0.9%付近で耐力の上昇が 停止し、変形角 1%で破壊に至った。高強度あばら筋を 使用した No.6~9 では、リング径の異なる No.6,7 での変 形性状に大きな違いは見られなかった。No.8,9において は変形角 0.75%までほぼ等しい変形性状を示している。 大型試験体である No.5,10 では最終変形はほぼ同等であ るものの, No.5 の試験体は変形角 0.5%で耐力の上昇が 停止した。結果として、1リング補強筋を使用した試験 体では最終変形の前に最大耐力を迎える場合があるこ とが確認できた。





No.9 A80-785-1

0.75

1

R(%)

1.5

1.25



3.4 開孔部補強筋ひずみ性状

図-8 に開孔部補強筋のひずみゲージ貼付位置を示す。 SL1F,SR1F が開孔部補強範囲内のあばら筋である。リン グ筋・コ型拘束筋にはそれぞれの辺に各一枚ゲージを貼 り付けた。2内リング補強筋は外側(拘束横筋側)と内側に 今回示す補強金物のひずみ性状は、正載荷時に引張を受 ける箇所のみのため,負載荷時に引張を受ける箇所のゲ ージ名称・ひずみ性状については省略する。

表-5 に開孔部補強筋の最大耐力時ひずみを示す。最 終ひずみの値には図-8のひずみゲージ貼付け位置の中 で最も値の高いものを採用した。あばら筋に普通強度鉄 筋を使用したNo.1~5 と高強度鉄筋を使用したNo.6,7 で は、ひずみ性状に大きな差はなく、No.6,7の余裕度が低 い要因と思われる。文献<sup>3),5)</sup>によってはあばら筋強度 σ<sub>v</sub>=25F<sub>c</sub>とし,降伏強度を制限することによって余裕度を 補正している。

図-9 にあばら筋に作用する引張力と変形角の関係を 示す。あばら筋の引張力は実験で測定したひずみから算 出した。No.1,2,3 ではNo.4 と比べると変形角 0.75%の段 階であばら筋が 2,3 本降伏しており、全体的にあばら 筋に作用する引張力がNo.4 よりも大きい。有孔梁のトラ ス作用<sup>6</sup>を考慮すると、2内リング補強筋、コ型拘束筋を 用いたNo.1,2,3は1リング補強筋のみを用いたNo.4より も鉄筋の拘束効果によって開孔部コンクリートの破壊 が抑制されたと考えられる。このことから、有孔梁の耐 力は開孔部補強筋比が同等の場合、よりリング数の多い 試験体で耐力が上昇する。

図-10に No.1,3,4 のリング補強筋・コ型拘束筋ひずみ -変形角関係を示す。孔部接線ひび割れが発生後(変形) 角 0.5%), No.1 の 2 内リング補強筋ではひずみを一定に 維持しているが、No.3,4の1リング補強筋は、ひずみが 低下していく現象が見られた。No.3 では孔部接線ひび割 れ時のひずみから 25%低下, No.4 では 50%低下している。 これは開孔部コンクリートの損傷に伴い、リング補強筋 の定着が保持できなくなっていったためだと思われる。

あばら筋引張力(kN)



図-9 あばら筋引張力-変形角関係

表-5 開孔部補強筋の最大耐力時ひずみ

|    |             | 実験値/計質値                            | 孔際あ            | ばら筋              | リング補強筋         |                  |  |
|----|-------------|------------------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|--|
| No | 試験体名        | 天政恒/町井恒                            | 降伏ひずみ          | 最終ひずみ            | 降伏ひずみ          | 最終ひずみ            |  |
|    |             | Q <sub>exp</sub> /Q <sub>cal</sub> | ε <sub>y</sub> | ٤ <sub>max</sub> | ε <sub>y</sub> | ε <sub>max</sub> |  |
| 1  | A27-295-2+1 | 1.14                               | 0.17           | 降伏               | 0.60           | 0.21             |  |
| 2  | A27-295-2   | 1.28                               | 0.17           | 降伏               | 0.60           | 0.19             |  |
| 3  | A27-295-1+1 | 1.16                               | 0.17           | 降伏               | 0.60           | 0.21             |  |
| 4  | A27-295-1   | 1.03                               | 0.19           | 0.17             | 0.68           | 0.06             |  |
| 5  | B27-295-1   | 1.11                               | 0.19           | 0.18             | 0.69           | 0.14             |  |
| 6  | A27-785-1a  | 1.03                               | 0.72           | 0.16             | 0.66           | 0.15             |  |
| 7  | A27-785-1b  | 0.89                               | 0.72           | 0.16             | 0.78           | 0.12             |  |
| 8  | A48-785-1   | 1.16                               | 0.72           | 0.20             | 0.69           | 0.08             |  |
| 9  | A80-785-1   | 0.99                               | 0.72           | 0.19             | 0.69           | 0.14             |  |
| 10 | B48-785-1   | 1.13                               | 0.72           | 0.31             | 0.67           | 0.15             |  |



1.5

変形角R(%) No. 4 A27-295-1 Pw=1.16%

-239-



※図中の太線は包絡線を示す。

図-10 リング補強筋・コ型拘束筋ひずみ-変形角関係

No.1,3 のコ型拘束筋は最大耐力までひずみが上昇している。これは主筋に跨る形で配筋されていることと、定着長の長さが起因していると思われる。1 リング補強筋を用いた場合でも、コンクリートの損傷に影響を受けないコ型拘束筋を用いることで、耐力の上昇が見込める。

# 4.まとめ

- (1) 1 リング補強筋を使用した試験体は2 リング以上の 補強筋を使用する試験体と比べて10~15%ほど耐力 が低下する。
- (2) 材料強度別に1リング補強筋の余裕度を確認したところ、各範囲で過去試験体と同様の傾向が見られたが耐力は既往の実験より低いものとなった。
- (3) 開孔部補強筋比が同等でも開孔部断面のリング数 (補強筋数)が多い方が,耐力は上昇する。
- (4) 1 リング補強筋では孔部接線ひび割れ後、コンクリ ートの損傷に伴い、補強効果が低下していく。コ型 拘束筋を併用することによって耐力の低下を防ぐ ことができる。

# 謝辞

テイエム技研㈱の浅野芳伸氏,宇都圭祐氏には実験の 際にご指導,ご協力をいただきました。ここに深く感謝 いたします。 参考文献

- 広沢雅也,清水泰:鉄筋コンクリート造有孔ばり のせん断強度と靭性(その1 有孔ばりについて の既往の研究成果),建築技術,1979.3,pp.13-21 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算基準・ 同解説,1999,pp.271-274
- 福迫浩一,田中博昭,佐藤立美:一筆書き簡易形状の高強度開口補強金物を使用した RC 有孔梁のせん断補強効果に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集,2003.9, pp.189-192
- 菊川春三,筋杉英輝,中澤 淳,南 宏一:高強 度開口補強筋を用いた RC 有孔梁の終局せん断強 度に関する調査研究,日本建築学会大会学術講演 梗概集,2004.8, pp.189-192
- 三澤智史,香取慶一,三橋博巳,高木仁之:鉄筋 コンクリート造有孔梁の開孔補強方法に関する 研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No..2, pp.277-282, 2006
- 5) テイエム技研㈱: MAX ウェブレン設計・技術マ ニュアル, BCJ 評定-RC0097-03, 2006.6
- 6) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靭性保 証型耐震設計指針・同解説,1999,pp.169-175