

[125] 鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断挙動に関する実験研究

正会員○津村 浩三 (東京都立大学工学部)  
 正会員 東 洋一 (東京都立大学工学部)  
 正会員 遠藤 利根穂 (東京都立大学工学部)  
 正会員 清水 泰 (東京都立大学工学部)

1. はじめに

鉄筋コンクリート造有孔梁に関しては種々の補強方法が提案され実験が行なわれてきたが、孔が上下方向に偏心した場合や開孔が短い間隔で並んだ場合の影響をそれぞれ補強の有無を含めて材せいの大きな試験体により検討したものについてはあまり例がない。本研究はこの点を補うもので、比較的簡便な補強をねらった2体を含め、10体の試験体について実験を行ない、荷重、変位、歪に加えてひびわれ幅を測定評価し、比較検討したものである。

2. 実験概要

2.1 試験体 試験体は表1及び図1に示す10体で、断面寸法、主筋、せん断スパン比等を共通として、次の3シリーズに分けられる。施工上の便宜を考えて補強用のメッシュ筋を筋筋の外側に取り付けたものと降伏強度の低いエキスパンデッドメ

タルにより補強したものの各1体。開孔位置を試験体中央から下方へ偏心距離を変えてメッシュ筋により補強した3体と無補強の1体。開孔径の2倍の間隔で開孔を2コ設計、開孔径及び補強の有無が異なる4体。以上の試験体に加え、比較のため筆者らの研究室で既に実験がなされた試験体4体<sup>1)2)</sup>も表1に示す。

試験体製作に使用した諸材料の性質を表2

表1 試験体一覧

| 試験体       | 孔径<br>Hcm<br>(H/D) | 補強<br>部位 | 補強方法        | 備考<br>(単位cm)             |
|-----------|--------------------|----------|-------------|--------------------------|
| '83-No 1  | 14<br>(1/5)        | 全せい      | 斜めメッシュ筋外付け  |                          |
| '83-No 2  | 23<br>(1/3)        | "        | エキスパンデッドメタル |                          |
| '83-No 3  | 14<br>(1/5)        | 孔周囲      | 斜めメッシュ筋     | 偏心<br>シ<br>リ<br>ー<br>ズ   |
| '83-No 4  |                    | "        | "           |                          |
| '83-No 5  |                    | "        | "           |                          |
| '83-No 6  |                    | "        | 無補強         |                          |
| '83-No 7  | 23<br>(1/3)        | 孔周囲      | 斜めメッシュ筋     | 連続開孔<br>シ<br>リ<br>ー<br>ズ |
| '83-No 8  |                    | "        | 無補強         |                          |
| '83-No 9  | 23<br>(1/3)        | 全せい      | 斜めメッシュ筋     | 比較用1)                    |
| '83-No 10 |                    | "        | 無補強         |                          |
| '80-No 2  | 23<br>(1/3)        | "        | 無補強         | 比較用1)                    |
| '80-No 7  |                    | 全せい      | 斜めメッシュ筋     |                          |
| '82-No 1  | 14<br>(1/5)        | "        | 無補強         | 比較用2)                    |
| '82-No 4  |                    | 全せい      | 斜めメッシュ筋     |                          |

表2 使用材料試験結果

| 鉄筋<br>鉄板 | 断面積<br>a cm <sup>2</sup> | 降伏<br>強度<br>σ <sub>y</sub> MPa | 引張<br>強度<br>σ <sub>m</sub> MPa |
|----------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| D 10     | 0.71                     | 4180                           | 5910                           |
| D 13     | 1.27                     | 3900                           | 5770                           |
| D 16     | 1.99                     | 5160                           | 7760                           |
| D 22     | 3.87                     | 4750                           | 7150                           |
| 9φ*      | 0.63                     | 4830                           | 5800                           |
| 1R6**    | -                        | 2170                           | 3350                           |

コンクリート圧縮強度 c<sub>0</sub> 28.5 MPa  
 \* 溶接金網素材 溶接点強さ 3700 MPa  
 \*\* エキスパンデッドメタルに使用、材質と仮定した場合、平面上1mあたりの断面積 24.7 cm<sup>2</sup>

注) 孔周囲補強は13φ横筋溶接  
 部材断面寸法 b×D(d)=20×70(65)cm  
 せん断スパン(ℓ)=100cm  
 せん断スパン比 M/Qd=0.77  
 引張鉄筋比 P<sub>t</sub>=0.75%  
 せん断補強筋比 P<sub>w</sub>=0.71%

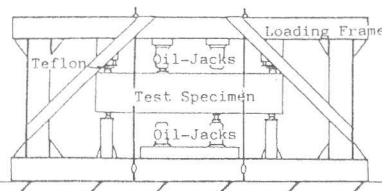
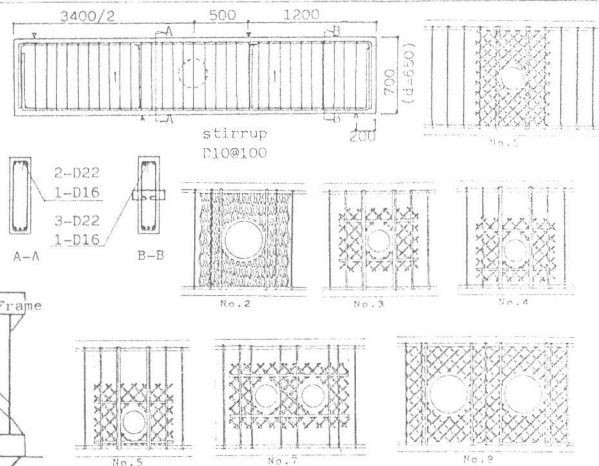
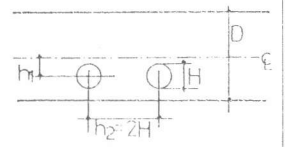


図2 加力装置

図1 試験体配筋図

に示す。コンクリートは横打ちとし、開孔補強メッシュは斜め方向に配筋した9φの溶接金網を用いた。

2. 2 加力及び測定 図2に示す加力装置で逆対称応力正負交番加力を行なった。荷重履歴は各試験体共部材角 $B=1/500$ で正負1回加力し、さらに $R=1/200$ と $R=1/100$ で正負各3回づつ繰り返す。最後に正方向に押し切ることをとした。加力点間の相対的なたわみ量は、材軸方向のねじれ等による誤差を小さくするため試験体の両面に取り付けたゲージホルダーにより測定し平均した値を用いた。その他、主筋並びにメッシュ筋等開孔補強筋の歪、ひびわれ幅等を測定した。

### 3. 実験結果及び考察

各試験体の実験結果を表3に、最大耐力を計算値と比較して表4に示す。また、せん断力・変位関係と最終破壊状況を図3(a), (b)に示す。実験を行なった10体のうち、メッシュ筋で補強を施したものは曲げ降伏後、その他の試験体は曲げ降伏せずにせん断破壊した。以下シリーズ別に実験結果の概要を述べ検討する。

3. 1-a) メッシュ筋の外付け メッシュ筋を筋筋の外側に取り付けたNo.1は、内側に同じ補強をした'82-No.4と履歴特性、破壊性状ともほとんど差が認められず、非補強部分が最も大きく破壊された。最大耐力時における補強部分のひびわれ幅は材端に相当する部分の曲げ、非補強部分のせん断ひびわれよりも小さく多数のひびわれに分散しており、除荷時におけるひびわれ幅及び補強筋の歪の残留も小さい。コンクリートから補強筋へ応力が有効に伝達されているのが判る。

3. 1-b) エキスパンデッドメタルの使用 No.2は単位面積あたりの平均した重量が9φメッシュ筋と同じになるようなエキスパンデッドメタルにより補強を行なった。無補強試験体'80-No.2と比較すると、どちらも降伏せ

表3 実験結果一覧

| 試験体       | 曲げひびわれ<br>荷重(変形) | せん断ひびわれ荷重  |            | 曲げ降伏<br>荷重(変形) | 最大荷重<br>(変形) | 限界変形    |
|-----------|------------------|------------|------------|----------------|--------------|---------|
|           |                  | 孔部(変形)     | 腹部(変形)     |                |              |         |
| '83 No.1  | 16.2(0.22)       | 16.2(0.22) | 40.4(2.40) | 48.5(3.36)     | 53.1(10.20)  | 5C 10.2 |
| '83 No.2  | 14.2(0.47)       | 10.1(0.23) | 22.1(1.20) | —              | 39.6(5.00)   | 2C 5.3  |
| '83 No.3  | 14.2(0.17)       | 15.2(0.21) | 31.5(1.55) | 49.8(3.60)     | 51.8(10.20)  | 8C 11.9 |
| '83 No.4  | 14.0(0.25)       | 16.0(0.35) | 22.1(0.87) | 51.1(3.80)     | 51.6(10.15)  | 8C 14.3 |
| '83-No.5  | 15.0(0.28)       | 19.0(0.46) | 28.0(1.23) | 51.7(4.21)     | 51.9(5.10)   | 8C 15.3 |
| '83 No.6  | 12.6(0.16)       | 15.1(0.37) | 19.0(0.80) | —              | 39.1(4.50)   | 5C 10.0 |
| '83 No.7  | 16.0(0.27)       | 16.0(0.26) | 31.1(1.45) | 47.9(4.02)     | 49.6(8.30)   | 5C 9.6  |
| '83 No.8  | 11.9(0.39)       | 11.9(0.39) | 24.0(2.02) | —              | 30.5(7.28)   | 8C 13.6 |
| '83 No.9  | 14.1(0.38)       | 12.1(0.28) | 26.0(1.50) | 46.3(4.50)     | 46.3(4.50)   | 2C 5.0  |
| '83 No.10 | 8.9(0.33)        | 8.4(0.45)  | 21.8(3.08) | —              | 24.0(3.70)   | 3C 12.2 |
| '80 No.2  | 9.3(0.84)        | 6.7(0.49)  | 22.7(3.92) | —              | 24.3(5.0)    | 5C 10.0 |
| '80 No.7  | 8.0(0.23)        | 8.0(0.23)  | 17.3(0.78) | 45.3(7.04)     | 46.8(9.6)    | 8C 15.5 |
| '82-No.1  | 12.0(0.18)       | 10.1(0.13) | 24.7(3.52) | —              | 39.1(5.00)   | 3C 10.0 |
| '82-No.4  | 16.2(0.25)       | 20.0(0.47) | 29.1(1.24) | 47.2(2.96)     | 48.9(5.01)   | 5C 10.0 |

注) 実験値は全て正働加力時の値。荷重は試験部のせん断力(単位 ton)を示し、変形は加力点間の相対的なたわみ量(単位 mm)を示す。  
 ○限界変形は急激な耐力低下、くり返しにより50%以上の荷重低下であった場合、それ以外は押し切り加力中最大荷重時の変形とした。

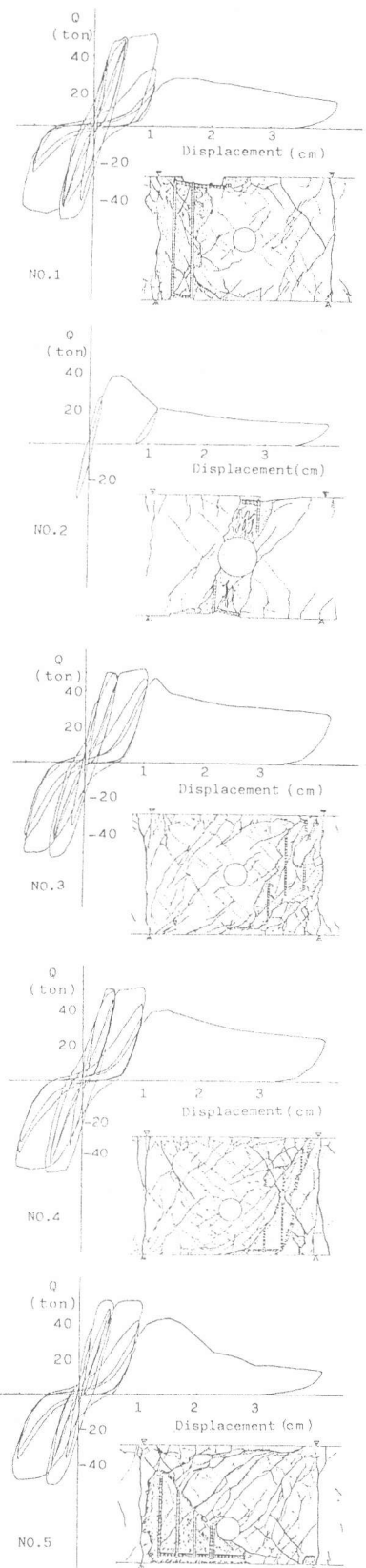


図3 (a) せん断力・変位曲線及び最終破壊状況

せずにせん断破壊したが、最終的な危険断面は、無補強の場合の孔部せん断ひびわれに対して、No. 2は補強筋を横ぎる距離が短くなるような開孔に接する腹部せん断ひびわれであり、最大耐力時のひびわれ幅もこの部分が最も大きい。せん断耐力計算値は、表4の注)に示すようにエキスパンデッドメタルを平面的に均質な材料とみなして危険断面上の断面積を求め、あばら筋と同様に扱って広沢式<sup>3)</sup>により算定した。実験における補強によるせん断耐力の増分は、No. 2と'80-No. 2で15.3 tonの増加に対し、広沢式による値は16.8 ton、材料強度の多少の違いによる誤差を無視すれば、表4注)のようなせん断補強筋の算定は1割程度危険側になった。

3.2 偏心開孔 破壊性状はNo. 3～No. 6各試験体で特色のある結果が得られた。偏心のない無補強試験体である'82-No. 1は孔部せん断ひびわれが危険断面となっているが、No. 3は補強筋により危険断面が加力点から補強筋をかすめる形になり、No. 4のように偏心するとさらにこの主なひびわれ面が急な角度で補強筋を避けて生じている。補強された最も偏心の大きいNo. 5は破壊性状が複雑であり危険断面が明確ではない。無補強のNo. 6では偏心することにより、対角線状のせん断ひびわれが開孔に接するように引張られたような位置が危険断面となっている。荷重・変位関係を補強のなされた3体と比較すると、 $R = 1/100$ の処女加力までは最大耐力も含め履歴特性にほとんど差はない。しかし、その後の加力では同一変形での荷重が概ねNo. 3、No. 4、No. 5の順で大きく、変形性能は偏心が大きいほど劣った。ただしどの変形状態においても、無補強試験体の荷重を下回ることなく、限界変形も補強により増大した。無補強の試験体No. 6と'82-No. 1を荷重・変位関係上で比較しても、偏心による差異は認められない。偏心した試験体で補強の有無が異なるNo. 5とNo. 6とを比較して、補強による最大耐力の増分は12.8 ton、広沢式による計算値の増分は13.1 tonであり、広沢式によるせん断補強筋の評価は実験結果に近い。

3.3 連続開孔 開孔が2つ並んでいる試験体No. 7～No. 10の破壊性状はそれぞれ対応する孔が1つの試験体と比べて多少複雑になった。最大荷重時と

表4 最大耐力計算値との比較

| 試験体        | 広沢式 <sup>①)</sup> |      | 広沢式 <sup>②)</sup> |      | ○ 曲げ降伏耐力 $0.9a_t \sigma_y d \cdot h = 55.0 \text{ ton}$<br>○ せん断耐力<br>①式) $\frac{0.092kukp(180 \text{ Fc})}{(M \cdot Qd + 0.12)} (1.161) \frac{H_j}{D} 2.7 \sqrt{\Delta T w \sigma_{wy}}   b \cdot j^3$<br>②式) ①式において $P_{wo}$ を最小補強筋により求めたもの <sup>2)</sup><br>ここで、エキスパンデッドメタルの算定は下記による。<br>$\Sigma P_{wo} \cdot \sigma_{wy} \cdot a_{se} \cdot e \cdot \sigma_{wy} + \Sigma a_{ss} \cdot s \cdot \sigma_{wy}$<br>$e \cdot \sigma_{wy}$ : エキスパンデッドメタル原材料の降伏強度<br>$a_{ss}$ : 区間cの範囲内にあるあばら筋の断面積<br>$s \cdot \sigma_{wy}$ : あばら筋の降伏強度<br>他の記号は文献参照 |
|------------|-------------------|------|-------------------|------|--|
|            | 計算値               | 実/計  | 計算値               | 実/計  |  |
| '83-No. 1  | 54.6              | 0.97 | 51.2              | 1.04 |  |
| '83-No. 2  | 39.5              | 1.00 | 33.8              | 1.17 |  |
| '83-No. 3  | 50.5              | 1.03 | 47.5              | 1.09 |  |
| '83-No. 4  | 51.2              | 1.01 | 48.4              | 1.07 |  |
| '83-No. 5  | 48.9              | 1.06 | 48.4              | 1.07 |  |
| '83-No. 6  | 35.8              | 1.09 | 32.4              | 1.20 |  |
| '83-No. 7  | 50.5              | 0.98 | 47.5              | 1.04 |  |
| '83-No. 8  | 34.2              | 0.89 | 30.2              | 1.01 |  |
| '83-No. 9  | 46.2              | 1.00 | 37.5              | 1.23 |  |
| '83-No. 10 | 27.8              | 0.86 | 14.0              | 1.71 |  |

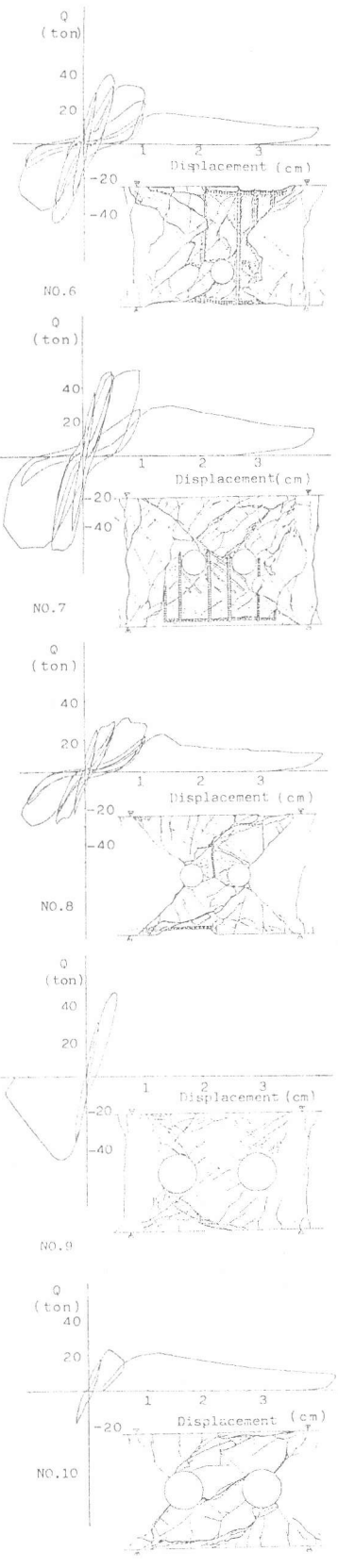
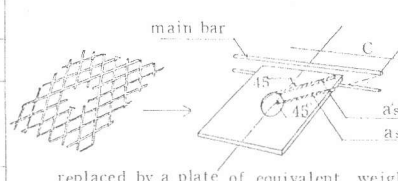


図3 (b) せん断力・変位曲線及び最終破壊状況

除荷時におけるひびわれ幅の差をとると、典型的な例を最大荷重時の歪と合わせて図4に示すが、メッシュ筋による補強の有無の違いで、補強のないものは主なせん断ひびわれにひびわれ幅の動きが集中するのに対し、補強のあるものは曲げひびわれと多くのせん断ひびわれに分散するという傾向が表われている。これは他のシリーズの試験体でも同様である。ただし、本実験中最も開孔面積の大きいNo.9はメッシュ筋により補強がなされているが、主なせん断ひびわれに動きが集中しており、それに対応して急激な耐力低下を生じている。補強筋により、4体の試験体において最小補強筋量<sup>2)</sup>による広沢式算定と1割と変わらない

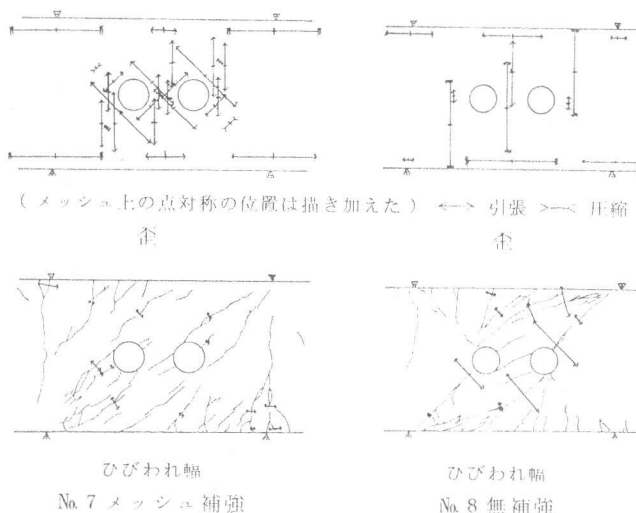


図4 最大荷重時歪及び最大荷重時と除荷時のひびわれ幅の差

程度に増大している。しかしながら、コンクリートに関する項も含めた最大耐力で実験値と計算値を比較すると、広沢式における(実/計)の平均が0.93と危険側の値となり、特に無補強の試験体でバラツキが大きい。これに対して、最小補強筋量による算定では、(実/計)の平均が1.25と一応安全側の計算になるが、これもばらついた。材料強度が多少異なるものもあるため完全な比較にならないが、対応する孔が1つの試験体と比べ開孔が増すことにより最大荷重時の変形は小さくなり、最大耐力は1~2割減少した。

#### 4. まとめ

- i) 孔径 $D/5$ の試験体にメッシュ筋を肋筋の外側に付けて補強を施し、曲げ降伏耐力を越える十分な強度の上昇を得た。主なひびわれ面がメッシュ筋を避けて生じ、メッシュ筋を内付けにしたものとの差が生じなかった。
- ii) 孔径 $D/3$ の試験体を単位あたりの降伏強度が低いエキスパンデッドメタルにより補強を施し、無補強試験体に比べて明瞭な危険断面の変化を観察した。せん断耐力は、エキスパンデッドメタルを等重量の鉄板とみなして算入したせん断補強筋の評価より、1割低い程度に増大した。
- iii) 孔径 $D/5$ の試験体について孔の偏心の大きさを変えて比較した。最大耐力は、孔周囲補強によりどの試験体も同程度に上昇し、曲げ降伏した。変形性能は、補強された試験体において部材角 $1/100$ の繰り返し加力以降差がつき、偏心の大きいものは劣った。補強筋による耐力増大は、広沢式の評価とほぼ一致した。
- iv) 開孔を2コに増し、孔径と補強の有無を変えて実験した。それぞれの対応する開孔が1コの試験体と比較すると、最大荷重時の変形は小さく変形性能は劣り、最大耐力も多少減少した。また、補強筋によりせん断耐力はほぼ広沢式の最小補強筋量による算定と同程度に増大した。
- v) 最大荷重時及び除荷時におけるひびわれ幅の差を求め、無補強試験体では主なせん断ひびわれに動きが集中するのに対し、メッシュ筋により補強された試験体では多数のせん断ひびわれ及び材端の曲げひびわれに動きが分散するという結果を得た。
- vi) 広沢式によるせん断耐力の算定では、(実/計)の平均が0.99でわずかに危険側、最小補強筋量で計算すれば一応すべての試験体で安全側の値となったが、連続開孔の場合にバラツキが目立った。

(謝辞) 本実験を行なうにあたり、多大の御協力をいただいた日鉄建材工業株式会社の岸本幸秀氏に厚く御礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 東、遠藤他 「鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断補強方法に関する実験的研究」第4回コンクリート工学年次講習会 1982.6
- 2) 東、遠藤他 「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」第5回コンクリート工学年次講習会 1983.6
- 3) 広沢、清水他 「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)、(その2) 建築技術 1979.3~4