

[62] 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研究

正会員 東 洋一 (東京都立大学工学部)
 正会員 速藤 利根徳 (東京都立大学工学部)
 正会員 清水 泰 (東京都立大学工学部)
 正会員 ○日向 俊二 (東京都立大学大学院)

1. まえがき

本研究は鉄筋コンクリート造有孔梁に関し、斜め方向にメッシュ筋を使用した各種の補強方法について、それぞれの耐力やじん性、繰り返し加力による耐力低下、破壊状況等を実験を通して検討することを目的とするものである。実験は大野式加力方法を用いた多数回正負繰り返し加力とした。

2. 実験概要

2. 1 試験体 試験体は無開孔梁及び有孔無補強梁各1体と、斜め方向に配筋したワイヤーメッシュで補強した有孔梁5体の合計7体であり、表1にその一覧表を、図1に配筋状態を示す。部材断面は7体とも同一で、 $b \times D = 20 \times 70 \text{ cm}$ 、有孔梁の孔径は最大限と考えられる^{2), 3)}梁せいの $1/3$ で23cmとした。

表1 試験体一覧

| 試験体記号 | 補強方法 | | 備考 |
|---------|----------|-----|----------------|
| | メッシュ | 部位 | |
| 80-No.1 | なし | | 無開孔 |
| 80-No.2 | なし | | 無補強 |
| 80-No.3 | 2-9φメッシュ | 孔周囲 | |
| 80-No.4 | 2-9φメッシュ | 孔周囲 | U字型鉄筋(D10@100) |
| 80-No.5 | 2-9φメッシュ | 全せい | |
| 80-No.6 | 2-4φメッシュ | 全せい | 9φ鉄筋をメッシュに溶接 |
| 80-No.7 | 2-9φメッシュ | 全せい | 孔まわりリング筋無し |

(共通事項) $P_t = 0.75\%$ $P_w = 0.715\%$ $M/(Q \cdot d) = 0.77$

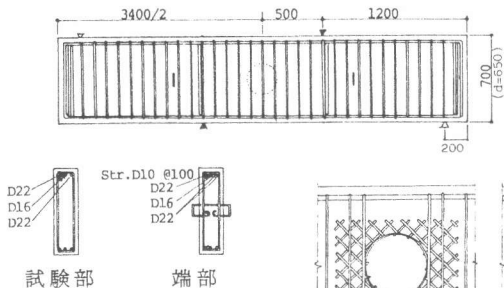


図1 試験体配筋図

試験体の設計に当っては、各補強方法におけるせん断終局耐力を明らかにしたいため無開孔梁以外は後述の(4)式によるせん断耐力が曲げ耐力を下回るように従来の評価方法により補強筋量を決めた。

2. 2 使用材料 コンクリートは普通ポルトランドセメントを用い、横打ちに打設した。梁主筋及び肋筋にはS-D30を用い、開孔補強メッシュには4φと9φの溶接金網を用いた。使用した材料の試験結果を表2に示す。

表2 使用材料試験結果

| 鉄筋 | 断面積 a cm ² | 降伏強度 s _y ㎏/㎠ | 最大強度 s _m ㎏/㎠ |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 4φ※ | 0.122 | 5260 | 5970 |
| 9φ※ | 0.625 | 5510 | 6570 |
| D 10 | 0.71 | 3800 | 5630 |
| D 13 | 1.27 | 3520 | 5190 |
| D 16 | 1.99 | 3820 | 5650 |
| D 22 | 3.87 | 3570 | 5530 |
| ※ 溶接金網素材 | | | |
| 溶接点強さ 4φ: 3600 ㎏ | | | |
| 9φ: 3700 ㎏ | | | |
| コンクリート圧縮強度 C _{σB} 257 ㎏ | | | |

2. 3 加力方法及び測定方法 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とも部材角 $R = 1/500$ で正負各1回加力し、さらに $R = 1/200$ と $R = 1/100$ で正負各3回ずつ繰り返し、最後に正方向に押し切ることとした。測定は加力点間の相対的なたわみ量のほか、主筋並びにメッシュ筋、リング筋等の開孔補強筋の歪、ひびわれ幅などを測定した。

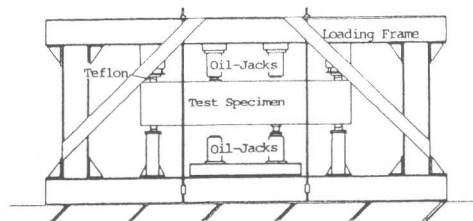


図2 加力装置

3. 実験結果

表3 実験結果一覧

(単位 ton)

| 試験体記号 | 曲げひびわれ荷重 | 孔部ななめひびわれ荷重 | 腹部せん断ひびわれ荷重 | 曲げ降伏荷重 | 最大耐力 | 限界変形 |
|---------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| 80-No.1 | 10.7 (1c) | - | 17.3 (1c) | 44.0 (2c) | 46.2 (8c) | 22/100 (8c) |
| 80-No.2 | 9.3 (1c) | 6.7 (1c) | 22.7 (1c) | - | 24.3 (2c) | 10/100 (5c) |
| 80-No.3 | 12.0 (1c) | 6.2 (1c) | 13.3 (1c) | - | 34.0 (2c) | 3.2/100 (2c) |
| 80-No.4 | 6.7 (1c) | 6.7 (1c) | 16.0 (1c) | - | 40.7 (2c) | 4.7/100 (2c) |
| 80-No.5 | 9.3 (1c) | 6.7 (1c) | 13.3 (1c) | 45.3 (2c) | 46.7 (5c) | 16.4/100 (8c) |
| 80-No.6 | 9.3 (1c) | 8.0 (1c) | 16.7 (1c) | - | 42.5 (2c) | 6.2/100 (5c) |
| 80-No.7 | 8.0 (1c) | 8.0 (1c) | 17.3 (1c) | 45.3 (2c) | 46.8 (5c) | 15.5/100 (8c) |

注)「荷重」は試験部のせん断力を、()内はその際のサイクル数(すべて正側加力時)を示す。
角(R)で示した。

3.1 概要 各試験体の実験結果を表3に、せん断力-相対たわみ曲線及び最終破壊状況を図3(a)及び3(b)に示す。ここで、曲げ降伏については主筋歪度測定結果を参考に、また限界変形は加力途中で急激な耐力低下を生じた時の変形量を部材角(R)で示した。

3.2 せん断ひびわれ 有孔梁では、補強の有無にかかわらず+1サイクルの低い荷重時に孔周囲に斜めひびわれが生じ、剛性の低下を招いている。腹部せん断ひびわれは、無補強のNo.2を除き+1サイクル目に生じ、以後変形の増大にしたがつてきれつが伸展した。無補強(No.2)、孔周囲のみ補強(No.3, No.4)、全せい補強(No.5~No.7)の順に、斜めメッシュ補強筋の量が増すとともにきれつが分散して発生する傾向を示した。

3.3 最大耐力と破壊モード 無孔梁(No.1)、全せい補強(No.5)、リング筋なしの全せい補強(No.7)は、いずれも曲げ降伏後、大変形下においてせん断破壊した。最大耐力は、No.5, No.7とも無孔梁に対してほぼ同等の値を示した。一方、無補強梁(No.2)、孔周囲のみ補強(No.3, No.4)では、主筋は降伏せずに開孔部上下に接するせん断ひびわれをせん断破壊面とする破壊が生じた。最大耐力は無孔梁と比較してNo.2で0.53, No.3で0.74, No.4で0.88と補強筋量が増すと共に耐力比が上昇している。また細径の斜めメッシュに9φ鉄筋を溶接したNo.6では、開孔上下部でせん断圧縮破壊した。最大耐力は無補強梁の約9割の値を示した。

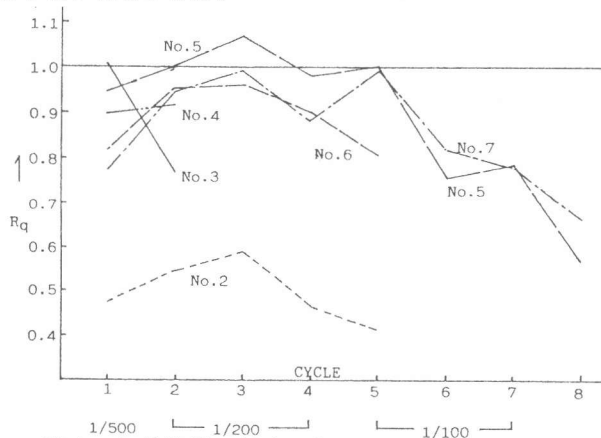


図4 無補強梁に対する各サイクルの最高荷重比

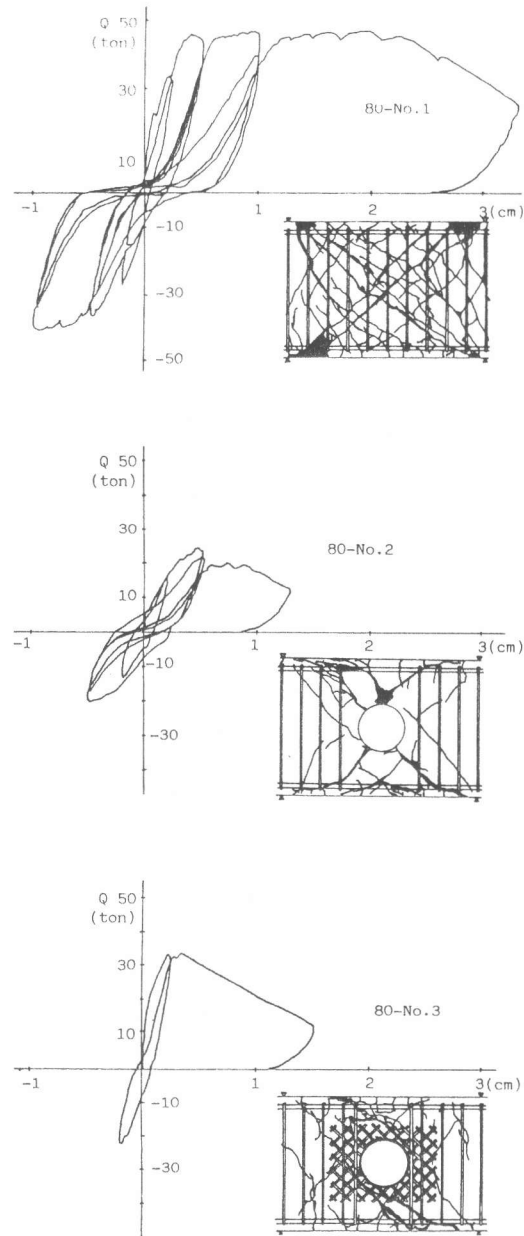


図3(a) せん断力-相対たわみ曲線及び最終破壊状況

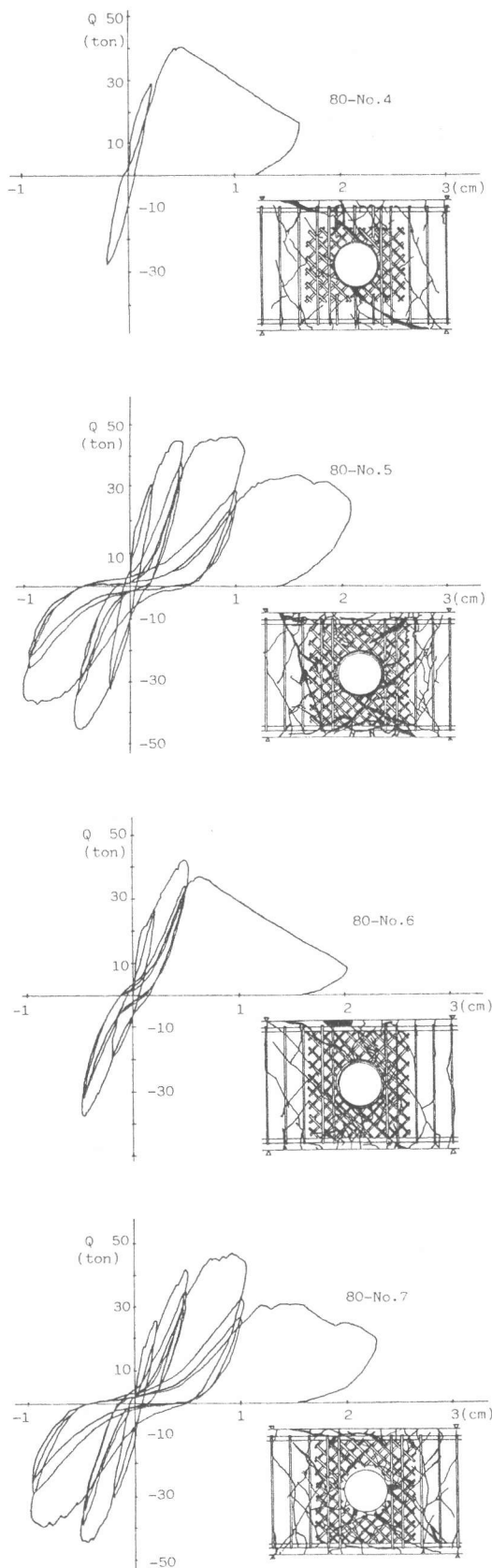


図 3 (b) せん断力-相対たわみ曲線
及び最終破壊状況

3. 4 変形性能と繰り返し加力による耐力低下 無孔梁の限界変形に対し、全せいに2-9 ϕ 斜めメッシュ補強したNo. 5とNo. 7のみが7割以上に達したのに比べ、他の試験体では部材角 $R=1/100$ に至る以前の変形時にせん断破壊による著しい耐力低下を生じた。特にNo. 3, No. 4では、 $R=1/200$ に至る以前に破壊した。また図4に示す無孔梁の各荷重履歴時の繰り返し荷重に対する各試験体の繰り返し荷重の比(R_p)によると、全せいに補強したNo. 5, No. 7の場合、 $R=1/100$ の処女履歴まで無孔梁と同等の荷重を保持している。

4. 実験結果の検討

有孔梁のせん断終局強度実験式は、有孔梁研究委員会⁴⁾、広沢博士ら³⁾により発表されている。それらの計算値並びに諸強度の計算値及び実験値との比を表4に示す。ここで、せん断補強筋量(P_{wo})の評価方法は破壊モードを考慮して種々仮定した斜め45 $^\circ$ 線と交差する最少鉄筋量とした。また最大耐力と降伏強度に関する(実験値)/(計算値)の分布を図5に示す。

4. 1 せん断強度 (4)式による値は補強の種別にかかわらず比較的よく一致しており、全試験体の(実験値)/(計算値)を平均すると1.05となる。(4)式では0.78~1.05とばらつきがあるが、曲げ降伏後せん断破壊したNo. 5, No. 7では0.95~0.96と比較的よく適合している。一方、(5)式では(実験値)/(計算値)の平均が0.75となり、全試験体とも計算値が高い値を示している。

4. 2 ひびわれ強度と曲げ降伏強度 腹部せん断ひびわれ強度は実験値に対し計算値が全試験体の平均で1.01となっている。曲げひびわれ荷重は各試験体とも計算値よりかなり低く、平均で0.49とほぼ $1/2$ の荷重時に発生している。一方、曲げ降伏時耐力については曲げ降伏した試験体では孔の有無にかかわらず比較的よく一致している。

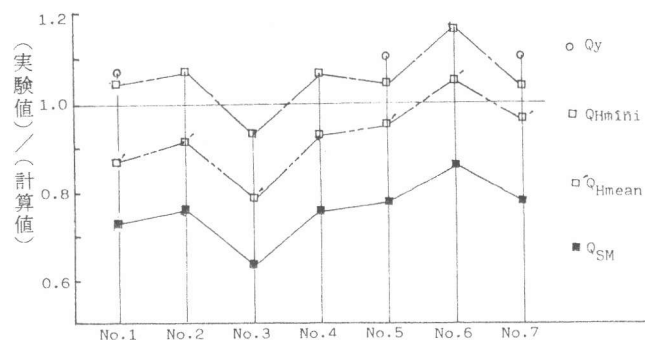


図 5 (実験値)/(計算値)の分布

表4 計算値一覧

| | 腹部剪断ひびわれ ⁽¹⁾ | | 曲げひび割れ ⁽²⁾ | | 曲げ降伏時耐力 ⁽³⁾ | | 最大耐力Ⅰ ⁽⁴⁾ | | 最大耐力Ⅱ ⁽⁴⁾ | | 最大耐力Ⅲ ⁽⁵⁾ | | せん断耐力/曲げ耐力 | | |
|---------|-------------------------|------|-----------------------|------|------------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|------------|---------|---------|
| | 計算値 | 実/計 | 計算値 | 実/計 | 計算値 | 実/計 | 計算値 | 実/計 | 計算値 | 実/計 | 計算値 | 実/計 | (4)/(3) | (4)/(3) | (5)/(3) |
| 80-No.1 | 16.4 | 1.05 | 18.9 | 0.57 | 41.3 | 1.07 | 44.5 | 1.04 | 53.1 | 0.87 | 63.0 | 0.73 | 1.08 | 1.29 | 1.53 |
| 80-No.2 | 16.4 | 1.38 | 18.9 | 0.49 | 41.3 | - | 22.7 | 1.07 | 26.8 | 0.91 | 31.8 | 0.76 | 0.55 | 0.65 | 0.77 |
| 80-No.3 | 16.4 | 0.81 | 18.9 | 0.63 | 41.3 | - | 36.5 | 0.93 | 43.7 | 0.78 | 54.0 | 0.63 | 0.88 | 1.06 | 1.31 |
| 80-No.4 | 16.4 | 0.98 | 18.9 | 0.35 | 41.3 | - | 38.3 | 1.06 | 43.7 | 0.93 | 54.0 | 0.75 | 0.93 | 1.06 | 1.31 |
| 80-No.5 | 16.4 | 0.81 | 18.9 | 0.49 | 41.3 | 1.10 | 44.9 | 1.04 | 49.0 | 0.95 | 61.0 | 0.77 | 1.09 | 1.19 | 1.48 |
| 80-No.6 | 16.4 | 1.02 | 18.9 | 0.49 | 41.3 | - | 36.5 | 1.16 | 40.6 | 1.05 | 49.9 | 0.85 | 0.88 | 0.98 | 1.21 |
| 80-No.7 | 16.4 | 1.05 | 18.9 | 0.42 | 41.3 | 1.10 | 44.9 | 1.04 | 49.0 | 0.96 | 61.0 | 0.77 | 1.09 | 1.19 | 1.48 |

(1) $Q_{sc} = \left\{ \frac{0.065 k_c \cdot (500 + F_c)}{(M/Q \cdot d) + 1.7} \right\} \cdot b \cdot j^2$ (2) $Q_{BC} = \frac{1.8 \sqrt{F_c} \cdot Z^2}{a}$ (3) $Q_y = \frac{0.9 \alpha_t \cdot \sigma_y \cdot d^2}{a}$ (5) $Q_{SM} = \left\{ 0.143 (1 - 1.61 \frac{H}{D}) + 0.22 \sqrt{\frac{F_{wo} \cdot \sigma_{wy}}{F_c}} \right\} \cdot b \cdot j$

(4) $Q_{Hmini} = \left\{ \frac{0.092 k_u \cdot k_p (180 + F_c)}{(M/Q \cdot d) + 0.12} (1 - 1.61 \frac{H}{D}) + 2.7 \sqrt{F_{wo} \cdot \sigma_{wy}} \right\} \cdot b \cdot j$ (4) $Q_{Hmean} = \left\{ \frac{0.12 k_u \cdot k_p (180 + F_c)}{M/Q \cdot d + 0.12} (1 - 1.61 \frac{H}{D}) + 2.7 \sqrt{F_{wo} \cdot \sigma_{wy}} \right\} \cdot b \cdot j$

注) a はせん断スパン比, 他の記号は文献参照。

4.3 変形状 全せいにわたり斜めメッシュ補強した試験体は (限界変形) いずれも $R=1/200$ の繰り返し加力までは無孔梁と比較してほぼ同等であるが, $R=1/100$ の大変形下では繰り返し加力による最高荷重の低下がみられる。一方, 全せいにわたるメッシュ補強を施さない試験体では, 変形性能が著しく良くなかった。図6に限界変形と曲げ耐力に対するせん断耐力の強度比を示す。無補強梁 (No. 2)を除き, 強度比が大きくなるにしたがい限界変形が大きくなる傾向がみられる。

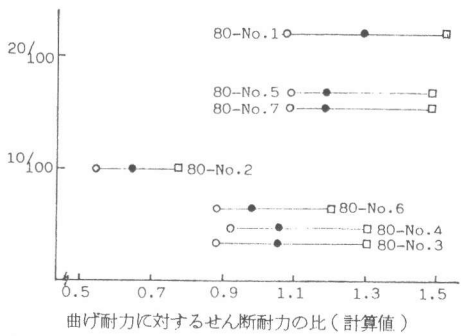


図6. 限界変形と(剪断耐力/曲げ耐力)

5. まとめ

- 1) 孔径が梁せいの $1/3$ に達する有孔梁において全せいにわたって斜めメッシュで補強した場合, せん断耐力, 変形性能ともに無補強梁と比較してかなり補強効果があり, また補強筋量の少ない場合と比べせん断ひびわれが分散する状況が観察された。
- 2) 孔周囲の補強筋量が少ないか無いものはすべて $R=1/100$ の大変形に至る前に孔上下に接するせん断ひびわれが破壊面となった。また孔上下の補強筋量の増加に従ってせん断耐力が上昇し, 変形性能が良くなる傾向がみられたが, 開孔周囲のリング筋の効果は顕著ではなかった。
- 3) せん断耐力(4)式, (4)式では, リング筋を除いてメッシュ筋, 肋筋などせん断補強に有効と考えられるすべての鉄筋を破壊モードと共に考慮した計算値が実験値と比較的良好一致した。この評価方法によるせん断耐力算出方法は終局強度設計に有効と思われる。
- 4) 孔部の斜めひびわれは補強の有無, 種別にかかわらず低い荷重 ($\tau=4.7\%$) 時に発生したが, 補強した梁ではそのひびわれ発生による剛性低下はほとんど認められず, 最終的な破壊面は初期の斜めひびわれ位置と異なっていた。一方, 無補強梁では斜めひびわれ発生により著しい剛性低下を示し, そのひびわれ発生位置が最終的なせん断破壊面となった。

参考文献

- 1) 東 速藤他「斜めワイヤーメッシュで補強した鉄筋コンクリート造有孔梁の多数回くり返し水平加力実験」(その1), (その2) 日本建築学会大会, 昭和56年9月
- 2) 日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」4章・部材の算定
- 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
- 4) 有孔梁研究委員会「鉄筋コンクリート造有孔梁に関する研究」(その1)~(その10) 日本建築学会論文報告集 No. 63 ~ No. 69