

## [91] 鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断耐力に関する実験研究

正会員 ○清水 泰 (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)

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断耐力に関する研究は、有孔梁委員会や村内等により多数の研究が行なわれている。<sup>1), 2)</sup> 最近では曲げ降伏後の大変形下での挙動を追跡したものや、溶接金網等を利用して施工性の簡略化を計画したもの等の研究が広沢等や黒正等により行なわれている。<sup>3), 4)</sup> 筆者等は斜めワイヤーメッシュ筋を配筋した各種の補強方法に関して、それぞれの耐力や変形性能を実験によって検討して来たが、<sup>5)</sup> 本研究では開孔の比較的小さな場合に関する実験研究を行い、以前に発表した実験も含めて、これらの有孔梁の破壊モードの分類について検討を行なうものである。

### 2. 試験体

試験体は無補強有孔梁2体を含む合計6体の有孔梁(82シリーズ)であるが、その一覧を前年度発表した試験体(80シリーズ)と合せ表1に示す。また、各試験体の配筋図を図1に示す。試験体の断面寸法及び主鉄筋数、せん断スパン比等は全試験体について共通で、主要変動因子は孔径と補強方法である。

試験体の設計に際しては、有孔梁のせん断耐力に対する開孔部補強筋の影響を明確にするため、材せいを大きくとり、せん断スパン比を小さくして、反曲点が開孔部位であるせん断スパンの中央に来る様な加力方法を採用した。材せいを大きく取れば開孔部周辺のみの補強による影響を見る

表1. 試験体一覧

試験体	孔径 H (mm) (D)	補強方法					備考
		部位	メッシュ	肋筋	リング筋	P <sub>w</sub> (P' <sub>w</sub> )%	
No.1						0.71	無開孔
80 No.2	230					0.24	無補強
シ No.3	(1/3)	孔周囲	2-9ø	2-D13	9ø	184(101)	
リ No.4		孔周囲	2-9ø	2-D13	9ø	184(125)	U字型鉄筋 D10@100
1 No.5		全せい	2-9ø	2-D13	9ø	213	
ズ No.6		全せい	2-4ø	2-D13	4ø	148	9øメッシュ筋 斜筋溶接
No.7		全せい	2-9ø	2-D13		184	
No.1	140					0.47	無補強
82 No.2	(1/5)	孔周囲	2-9ø	2-D13		210(126)	
シ No.3		孔周囲	2-9ø	2-D13		210(169)	9øメッシュ筋 横筋溶接
リ No.4		全せい	2-9ø	2-D13		271	
ズ No.5	100					0.47	無補強
No.6	(1/7)	孔周囲	2-9ø	2-D13		180(169)	9øメッシュ筋 横筋溶接

(共通事項)・せん断スパン(D)=100cm, ・せん断スパン比M/Q<sub>d</sub>=0.77

・部材断面寸法 b×D(d)=20×70(65)cm, C=D/2-d=30cm

・主鉄筋量 2-D22, 1-D16 (r=1.0), a<sub>t</sub>(P<sub>t</sub>)=9.73cm<sup>2</sup>(0.75%)

・せん断補強筋 D10 □@100, a<sub>w</sub>(P<sub>w</sub>)=1.43cm<sup>2</sup>(0.71%)

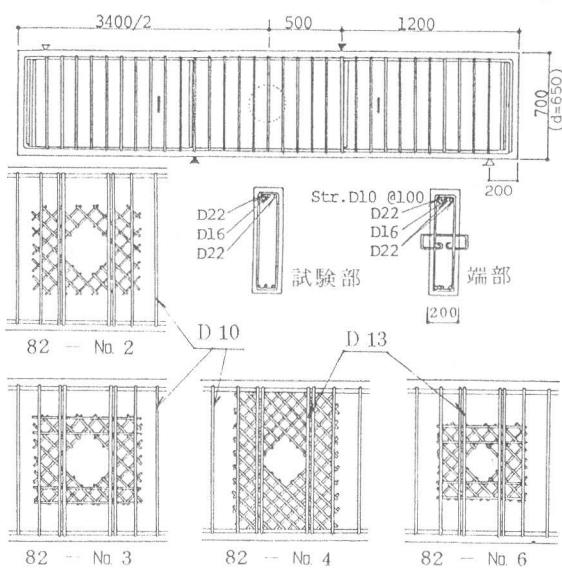


図1. 試験体配筋図

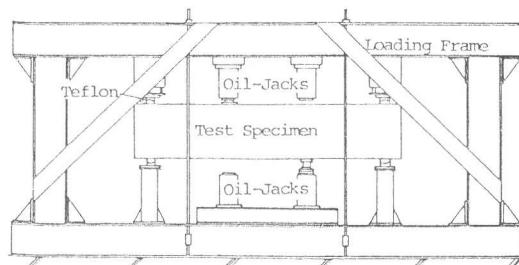


図2. 加力装置

事が可能となり、また、せん断スパン比の小さい逆対称応力を受ける無開孔梁は最終破壊状況でのせん断破壊面は加力点間を結ぶ対角線状に生じやすい事等が知られている。<sup>6)</sup>そのせん断破壊面の中央部に開孔が有る場合の影響や補強筋の効果等を実験結果より推定する事を主に考慮して試験体を設計した。

開孔部の補強筋量に関しては文献(3)に示されている方法で、開孔中心点より45°方向に伸びた斜めの線が主鉄筋に達するまでの距離Cの範囲内に有る補強筋を有効と考え、表1に示す鉄筋比p<sub>wo</sub>をそれぞれ配筋する事とした。なお、表1ではせん断破壊の危険断面を上記Cと平行で、最小補強筋量となる45°線に有効補強筋量の算定区間を仮定して区間Cを多少修正してp<sub>wo'</sub>を求めなおした値も示した。

試験体の製作に用いた諸材料の試験結果を表2に示す。

### 3. 加力方法及び測定方法

加力は大野式加力方法を採用し、図2に示す加力装置を用いて、試験体を拘束梁状に支持し、逆対称応力の多数回正負交番くり返し静加力実験を行なった。予定荷重履歴は各試験体共通とし、部材角R=1/500で正負各1回加力し、更に、R=1/200とR=1/100で正負各3回づつくり返した後、最後に正方向で押し切る事を計画した。尚、加力点は一方を球座を用いてピンとし、他方及び両支点をテフロンシートを用いてローラーとなる様に計画した。

測定は精度500μmの変位計を用いて加力点間の相対的なたわみ量を測定した他、主筋や肋筋、メッシュ筋の歪度、及びひびわれ幅等を測定した。

表2. 使用材料試験結果

シリーズ	80シリーズ			82シリーズ		
	鉄筋	断面積 as cm <sup>2</sup>	降伏強度 sσ <sub>m</sub> %	最大強度 sσ <sub>m</sub> %	断面積 as cm <sup>2</sup>	降伏強度 sσ <sub>g</sub> %
4φ*	0.122	5260	5970			
9φ*	0.625	5510	5670	0.640	4870	5780
D 10	0.71	3800	5630	0.71	3820	5640
D 13	1.27	3520	5190	1.27	3740	5520
D 16	1.99	3820	5650	1.99	3500	5270
D 22	3.87	3570	5530	3.87	3610	5590
コンクリート圧縮強度 cσ <sub>B</sub> %		257			255	

\* 溶接金網素材 溶接点強さ 4φ: 3600 %

9φ: 3700 %

表3. 実験結果一覧

試験体	曲げひびわれ 荷重Q <sub>BC</sub> t	せん断ひびわれ荷重Q <sub>sc</sub>	曲げ降伏		最大耐力時荷重(変形)		限界変形 δ <sub>ou</sub> mm	せん断耐力計算値 Q <sub>H</sub> t (Q <sub>m</sub> /Q <sub>H</sub> )	破壊モード
			孔部	腹部	荷重Q <sub>y</sub> t	Q <sub>m</sub> t (δ <sub>m</sub> mm)			
80 シリ ーズ	No.1	1C 10.7		1C 17.3	2C 44.0	8C 46.2 (20.0)	8C 22.0	44.5 (1.04)	A
	No.2	1C 9.3	1C 6.7	1C 22.7		2C 24.3 (5.0)	5C 10.0	22.3 (1.09)	B
	No.3	1C 12.0	1C 6.2	1C 13.3		2C 34.0 (3.2)	2C 3.2	34.3 (0.99)	C
	No.4	1C 6.7	1C 6.7	1C 16.0		2C 40.7 (4.7)	2C 4.7	36.2 (1.12)	C
	No.5	1C 9.3	1C 6.7	1C 13.3	2C 45.3	5C 46.7 (10.2)	8C 16.4	44.7 (1.04)	E
	No.6	1C 9.3	1C 8.0	1C 16.7		2C 42.5 (5.0)	5C 6.2	38.6 (1.10)	E
	No.7	1C 8.0	1C 8.0	1C 17.3		5C 46.8 (9.6)	8C 15.5	42.1 (1.11)	E
82 シリ ーズ	No.1	1C 12.0	1C 10.1	1C 24.0		2C 39.1 (5.0)	3C 10.0	32.3 (1.21)	B
	No.2	1C 14.0	1C 20.0	1C 27.3	2C 46.4	2C 47.4 (5.0)	5C 10.0	41.8 (1.13)	D
	No.3*	1C 16.0	1C 20.0	1C 26.0	2C 46.3	2C 46.6 (5.0)	5C 8.0	45.8 (1.02)	D
	No.4*	1C 16.2	1C 20.0	1C 29.1	2C 47.2	2C 48.9 (5.0)	5C 10.0	53.1 (0.92)	E
	No.5	1C 14.0	1C 15.2	1C 26.1	2C 43.3	5C 44.1 (9.0)	5C 9.0	34.9 (1.26)	B
	No.6*	1C 14.0	1C 14.0	1C 22.0	2C 46.9	2C 46.9 (5.0)	5C 13.6	48.4 (0.97)	D

補注 \* 実験値は全て正側加力時の値で、サイクル数と荷重の値及び変形量を示した。尚、荷重は試験部のせん断力を示す。

\* 限界変形は耐力が急激に低下した時の変形量。 \* \* 印は加力途中で加力点部分が圧壊した試験体

\* せん断耐力の計算式<sup>3)</sup> (記号は文献3参照)

\* 曲げ降伏耐力の計算<sup>7)</sup>

$$Q_H = \frac{0.092 k u \cdot k p (180 + F_c)}{(M/Q \cdot d) + 0.12} (1 - 1.61 \frac{H}{D}) + 2.7 \sqrt{p_{wo} \cdot \sigma_{wy}} \quad b \cdot j , \quad Q_y = \frac{0.9 a t \cdot \sigma_y \cdot d}{(\rho/2)} = \begin{cases} 41.2 \text{ ton (80シリーズ)} \\ 40.8 \text{ ton (82シリーズ)} \end{cases}$$

#### 4. 実験結果及び考察

各試験体の実験結果を計算値と比較して表3に示す。82シリーズのせん断力・変位関係と最終破壊状況を図3に示す。また、各試験体の破壊モードを分類して図4に示す。

なお、表3に示したせん断耐力の計算値は文献3)に示されている広沢式を用いて算定したものであり、同文献では文献1)と同様に斜め45°に配筋した補強筋はその断面積を $\sqrt{2}$ 倍した効果が有るとしている。また、算定に際しては開孔部補強筋比の値は表1のP<sub>wo</sub>を用いて行なっている。

次に各試験体を破壊モード別に分類しその特徴を記す。

(破壊モード A) 曲げ降伏後の対角線状せん断破壊；80-No.1

無開孔ばかりの80-No.1は曲げ降伏後、部材角R=1/50を起す大変形下で対角線状のせん断破壊を生じた。くり返し加力により曲げひびわれが上下の加力点間を結ぶ所に生じ、このひびわれ幅が大きく広がった。せん断ひびわれは始め斜め45°方向に生じたが、加力が進むに従って左右の加力点間を結ぶ対角線状にも生じ始め、最終的な破壊状態ではこの対角線状のせん断ひびわれのひびわれ幅が大きく拡大した。この結果を見ると80-No.1の部材中央部に開孔を設ける事は構造耐力上重要な欠陥となる可能性が有る事が判断される。

(破壊モード B) 対角線状せん断破壊；80-No.2, 82-No.1, No.5

有開孔無補強ばかりの80-No.2, 82-No.1及びNo.5はいづれも開孔部周囲より発生したせん断ひびわれが左右の加力点に向って進展してゆき、最終的にはこのひびわれ幅が大きくなり、せん断破壊面を形成して、対角線状のせん断引張破壊となった。これらの試験体の最大耐力は無開孔ばかりに比べて、それぞれ53%, 85%, 94%の値となった。また、最大耐力の算定値は実験値より下回ったものとなつたが、開孔が大きくなるに従って実験値に近い評価となつて来ている。

(破壊モード C) 補強筋量最小値の部位でのせん断破壊；80-No.3, No.4

孔周囲のみ補強した80-No.3, No.4は斜めワイヤーメッシュで補強した所以外にもせん断ひびわれが発生したが、最終的には最小補強筋量となる開孔部上下に発生したせん断ひびわれが大きく進展し、これがせん断破壊

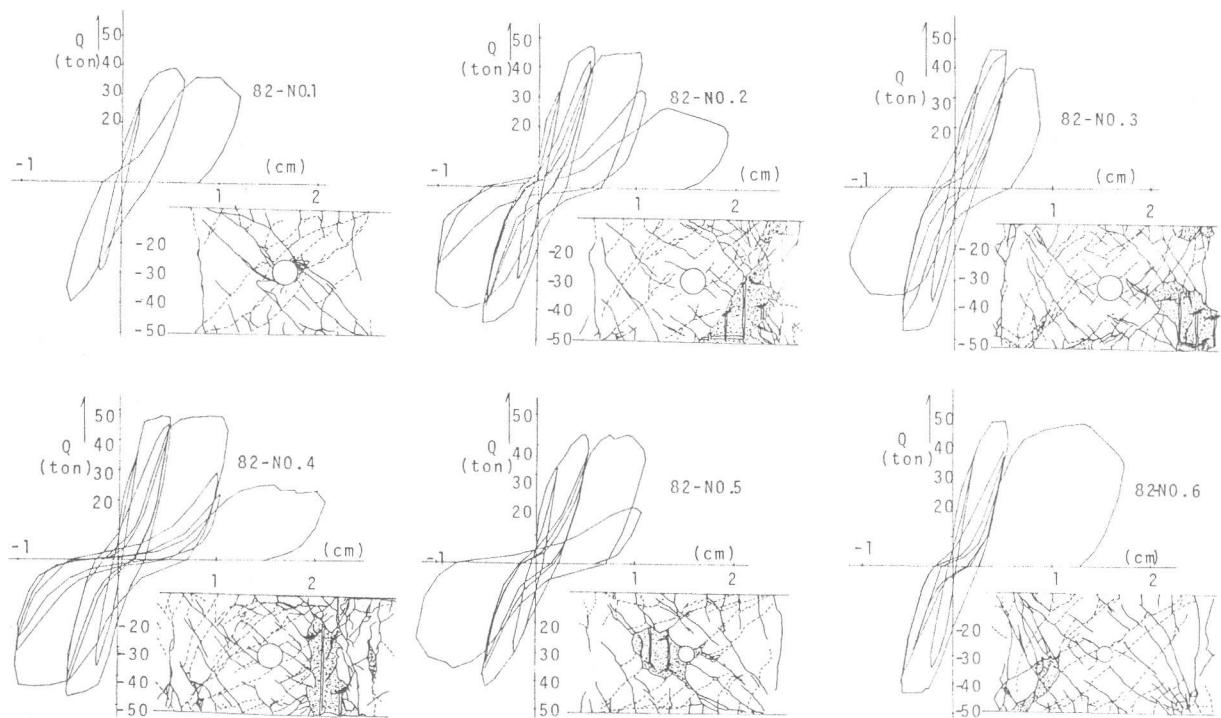


図3. せん断力・変位曲線及び最終破壊状況

面を形成してせん断引張破壊となつた。

(破壊モード D) 補強周囲のせん断破壊: 82-No.2, No.3, No.6

破壊モード C を示した 80-No.3, 4 と同様に孔周囲のみ補強した 82-No.2, 3, 6 はこれら 2 体に比べ開孔が小さく、更に補強筋量も多い為、補強を施した開孔部周辺のせん断ひびわれはあまり進展せず、補強部位をさけた形のせん断ひびわれが進展し、45°方向に近いせん断ひびわれがせん断破壊面となり、せん断圧縮破壊となつた。これらの最大耐力はいずれも無開孔ばかりの耐力を上回る結果となつた。また、No.3, 6 では加力点位置で局部的な圧壊を生じ限界変形を得る事ができなかつた。

(破壊モード E) 補強端でのせん断破壊: 80-No.5, No.6, No.7, 82-No.4

部材の全せいにわたって補強した 80-No.5, 6, 7 及び 82-No.4 ではいずれもせん断ひびわれが分散して多数発生した。細物(4φメッシュ)で補強した 80-No.6 は他に比べて補強量が少ない事もあって最終破壊状況は他の 3 体と多少異なり、開孔部上下部分が爆裂状に圧壊し、せん断圧縮破壊となつたが、他の 3 体は斜めメッシュ筋で補強した部位をさけた所に最終的な限界せん断ひびわれ面<sup>6)</sup>を生じた。この為、限界せん断ひびわれは角度が極端に小さくなり、加力点近傍に集中して発生し、この結果最大耐力は無開孔梁と比較していずれも高い値が得られた。なお、これらの最大耐力はいずれも曲げ降伏した後、部材角  $R = 1/100$  でせん断圧縮破壊をしており、変形性能としては無開孔ばかりまでには達しなかつた。なお、82-No.4 は加力途中で加力点部分が圧壊した為、正確な限界変形を得る事ができなかつた。

## 5. まとめ

本研究はせん断スパン比の小さい、逆対称応力を受ける鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断補強方法に関して実験を行なつたものである。以下にその結果を要約する。

- 1) 対角線状のせん断破壊を生ずるはりの部材中央部に開孔を設けるとその影響は大きく、材せいの  $1/3$  程度の孔径のものでも耐力は約半分に低下してしまう。なお、 $1/5$  の孔径では  $1/5$  も、 $1/7$  では  $6\%$  の耐力低下となつた。
- 2) 開孔部の補強として斜めワイヤーメッシュによる補強は有効であり、鉄筋量の算定を  $\sqrt{2}$  倍した値を用いて広沢式により求めた耐力を期待し得るものと思われる。
- 3) 無補強有孔梁は開孔部周辺に生じたせん断ひびわれが進展して破壊するのに対し、これを補強すると、補強筋量の増加に従って破壊モードが変化し、補強筋量の最も少ない部分で破壊が進展する。部材の全せいに渡って補強を施すとせん断ひびわれは分散して発生し、補強筋量が多いと補強筋の端部で破壊が進展する。
- 4) 対角線状のせん断破壊をする梁の反曲点位置に開孔が有る場合の破壊モードは本実験の範囲では、その補強方法により 5 種類に大別された。

(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) 有孔梁委員会「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 № 63～№ 69, 1959.10～1961.10 2) 村内明他「鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断補強に関する実験的研究」(その 1)～(その 10) 日本建築学会大会号 1973.10～1975.10 3) 広沢雅也、山田二男、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), (その 2) 建築技術 1979.3, 4) 黒正清治他「鉄筋コンクリート造有孔ばかりの実験的研究」(その 1)～(その 6) 日本建築学会大会号 1980.10～1981.10 5) 東洋一、遠藤利根雄、清水泰、日向俊二「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演会 1982.6 6) 広沢雅也「鉄筋コンクリート部材の強度と韌性」建築研究報告 № 76, 1973. 7) 日本建築学会「鉄筋コンクリート計算規準」

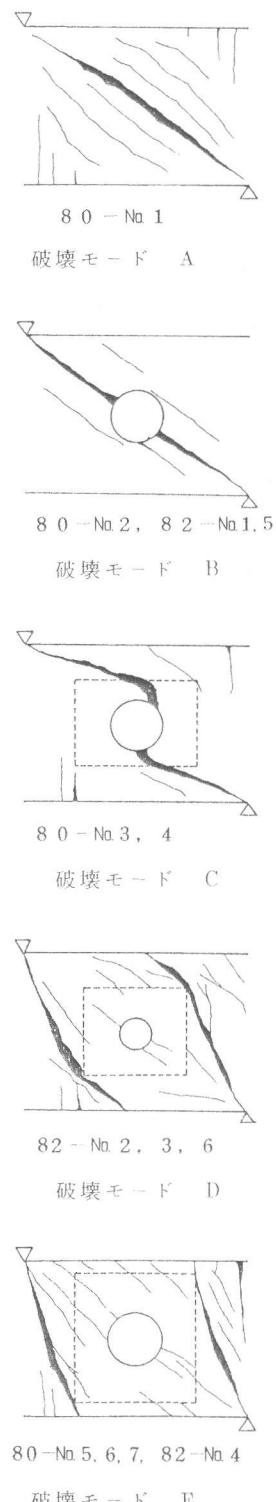


図 4. 破壊モードの分類