

[2115] 鉄筋コンクリート梁のせん断伝達に関する実験研究

正会員 黒正 清治 (東京工業大学名誉教授)  
 正会員 林 静雄 (東京工業大学工業材料研究所)  
 正会員 小林 克己 (福井大学工学部)  
 正会員 ○武居 泰 (東京工業大学大学院)

1. 序

鉄筋コンクリート部材のせん断破壊機構は複雑であるが、各種の実験、解析が行われた結果、破壊機構のモデル化及び耐力算定式が多数提案されるようになった。しかし、それらはいくつかの仮定に基づいている場合が多く、せん断破壊の基本的性状の解明や既往のモデル等の検証のためにもさらに詳細な実験が必要であると考えられる。

本研究では、せん断補強量 ( $p_w \cdot w \sigma_y$ ) の異なる2体の試験体について主筋及びせん断補強筋の歪測定に重点をおいた梁の曲げせん断実験を行い、せん断補強筋や主筋の挙動、及び各抵抗要素が負担するせん断伝達力等を把握することを目的としている。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体一覧を表1に、試験体形状、寸法及び配筋を図1に示す。試験部分の断面は ( $b \times D$ ) 15cm $\times$ 30cmで、せん断スパン比( $a/D$ )は1.5とした。歪ゲージの貼付による付着作用への影響を極力抑えるために主筋には図2に示すような溝を上下に切った。また、端部の定着を完全にするため試

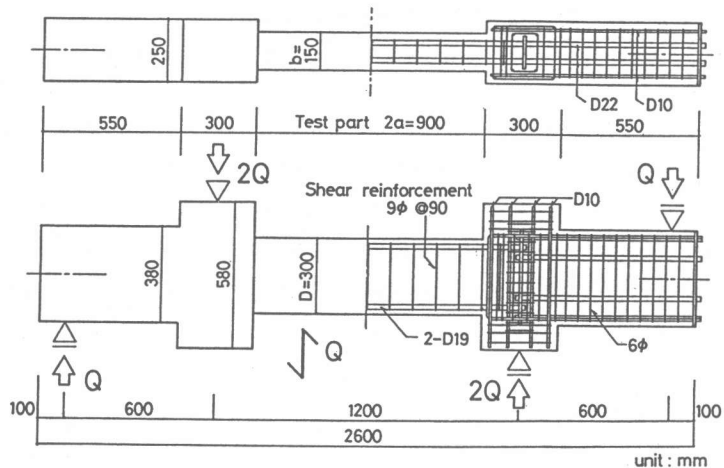


図1 試験体図

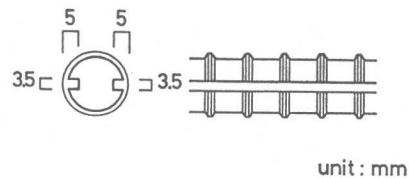


図2 主筋詳細図

表1 試験体一覧

試験体	せん断補強筋	$p_w$ (%)	$w \sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$p_w \cdot w \sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
No.1	4.1φ	0.185	6600	12.2
No.2	9.0φ	0.941	3280	30.9

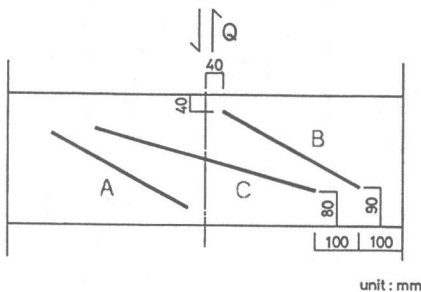


図3 ひび割れ誘発目地位置

験部分主筋を柱形中央で切断し鉄板に溶接した。さらに、引張力を付着及び上述の鉄板のみでは負担しきれないと予想されたので、この鉄板に試験部分主筋1本につき2本のD22を溶接し、これを試験体端部に定着させた。せん断補強筋間隔はどちらも9cmで一定とし、短辺部分で約6cmにわたり溶接しクローズドフープとした。また、せん断力伝達機構を明確にする目的から、せん断補強筋の長辺部分にはパラフィン塗布し、さらにビニールテープを巻いてコンクリートとの付着を切った。同様の目的から、幅15mm、厚さ約2mmのアルミニウム板にビニールテープを巻いたものを図3に示す位置の試験体表裏に埋め込み、ひび割れ誘発目地とした。

使用材料の力学的性質を表2に示す。主筋は焼き入れて降伏強度を約7000kgf/cm<sup>2</sup>に高めた。コンクリート設計強度F<sub>c</sub>は240kgf/cm<sup>2</sup>とした。

## 2.2 加力・測定方法

加力装置を図4に示す。加力は大野式逆対称集中加力法により、一方向単調載荷で行った。スタブ間の相対変形 $\delta$ を測定するための変位計の位置を図5に、また主筋及び補強筋の歪ゲージ貼付位置を図6に示す。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 Q $\sim$ $\delta$ 関係

表3に実験結果一覧を示し、図7にせん断力Qと相対変形 $\delta$ の関係を示す。最大せん断力Q<sub>u</sub>、最大せん断力時の変形 $\delta_{qu}$ はせん断補強量の大きいNo.2の方が大きかったが、耐力低下も激しかった。

### 3.2 破壊性状

No.2において最大せん断力時に主筋の降伏が認められ、曲げ降伏後せん断破壊したと思われる。

図8に最終破壊状況を示す。両試験体ともまず曲げひび割れが何本か入り、次にひび割れ誘発目地A、B付近にひび割れが入った。

表2 使用材料の力学的性質

\*鉄筋

	A (cm <sup>2</sup> )	E (tonf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_y$ ( $\mu$ )
4.1 $\phi$	0.13	2030	6600	3250
9.0 $\phi$	0.64	2040	3280	1610
D19	2.52	1950	6900	3550

\*コンクリート

E (1/3) (tonf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_B$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
210	244	22.0

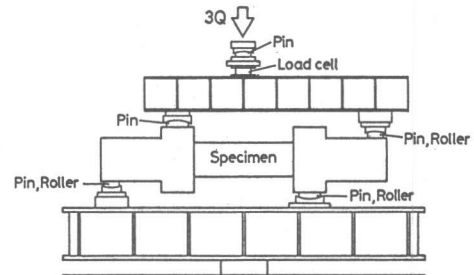
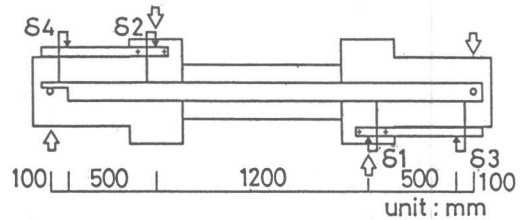


図4 加力装置図



$$\delta = 6/5x(\delta_1 - \delta_3) + \delta_1 + 6/5x(\delta_2 - \delta_4) + \delta_2$$

$$= 2.2x(\delta_1 + \delta_2) - 1.2x(\delta_3 + \delta_4)$$

図5 変位計位置

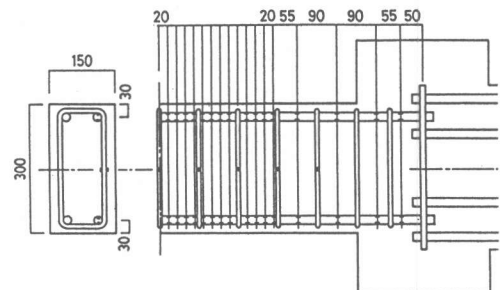


図6 歪ゲージ貼付位置

誘発目地Cには両試験体とも最大せん断力時までひび割れは入らなかったが、No.2は最大せん断力後変形が進む途中で誘発目地Cに平行なひび割れが試験体裏面に入った。両試験体には同じひび割れ誘発目地を入れていたにも関わらず、せん断ひび割れが材軸となす角度はせん断補強量の少ないNo.1のほうがやや小さかった。なお、主筋に沿う付着ひび割れ等は発生しなかった。

### 3.3 せん断補強筋張力分布

図9にせん断補強筋張力分布を示す。両試験体とも初めのうちは試験部分中央付近の補強筋の引張力は小さかったが、No.1は最大せん断力( $Q_{1max}$ )時にほとんどの補強筋が降伏し引張力は試験部分でほぼ一定となった。付着割裂する場合には主筋の滑動に抵抗する横拘束力の増加により中央部分の補強筋の応力が增大することが報告されているが<sup>1)</sup>、No.1の場合はむしろせん断ひび割れの進展に伴い中央部の補強筋の引張力が増加したと思われる。一方、No.2は中央部分が降伏しないまま最大せん断力( $Q_{2max}$ )に達した。これは最大せん断力までせん断ひび割れが中央部分の補強筋を横切らなかったためと考えられる。

### 3.4 主筋軸方向力分布

図10に試験体下側主筋の軸方向力分布を示す。主筋の軸方向力が0となる位置は試験部分圧縮端部から約20cm離れたところで、載荷中この位置の移動はわずかであった。

$Q = Q_{1max}$  時におけるNo.1とNo.2の主筋軸

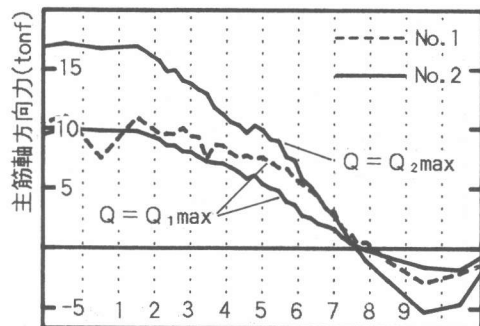


図10 主筋軸方向力分布

表3 実験結果一覧

試験体	$Q_u$ (tonf)	$\tau_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$Q_o$ (tonf)	$\delta_{qu}$ (mm)	$Q_{ny}$ (tonf)
No.1	11.1	31.3	4.2	15.6	21
No.2	20.5	57.8	5.2	22.5	21

$Q_o$  : せん断ひび割れ発生荷重

$\delta_{qu}$  : 最大せん断力時の相対変形

$Q_{ny}$  : 主筋曲げ降伏時せん断力計算値

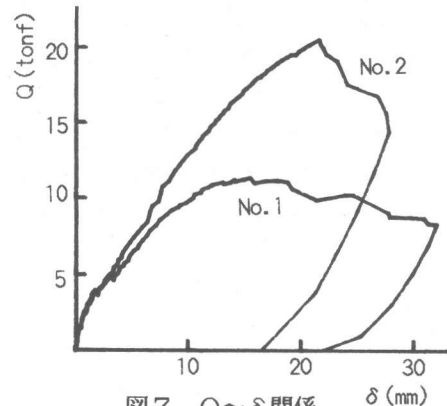


図7  $Q \sim \delta$  関係

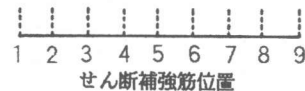
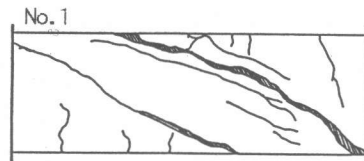


図8 最終破壊状況

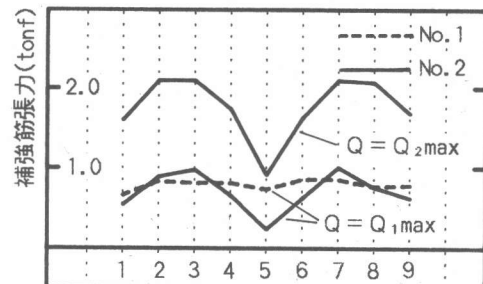


図9 せん断補強筋張力分布

方向力を比較すると両端部での圧縮力と引張力はほぼ等しくなっているが、中央部の引張鉄筋張力はNo.1のほうが大きい。これは主筋の付着性状の違いにより生じたと思われる、せん断補強量の少ないNo.1はひび割れの進展等により付着の劣化が進んでいることがわかる。

### 3.5 主筋曲げモーメント・せん断力分布

主筋の上下に貼付した歪ゲージ測定値の差より下側主筋に生じた曲げモーメント分布を求め図12に示す。なお、上下に貼付した歪ゲージの差と曲げモーメントの関係は図11に示す主筋の曲げ試験より求めた。最大せん断力時ではせん断ひび割れが主筋を横切る位置で曲げモーメントの正負の逆転が顕著であった。

主筋の曲げモーメント勾配より求めたせん断力分布を図13に示す。主筋せん断力はせん断補強筋の引張力の影響による増減が大きく、また、せん断ひび割れ位置ではダボ作用によると思われるせん断力の変化が見られた。主筋はせん断補強筋の引張力の影響も受けており、この図より正確なダボ作用の負担せん断力を求めることはできないが、両試験体とも全せん断力から見るとダボ作用の負担せん断力は小さく、全体の約1割以下であったと言える。

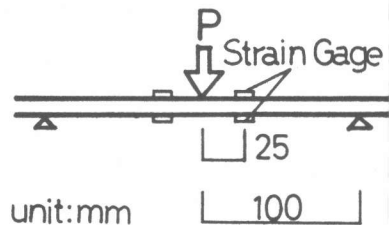


図11 主筋曲げ試験

### 3.6 コンクリート束材の圧縮力

RC部材のせん断抵抗機構としてのトラス

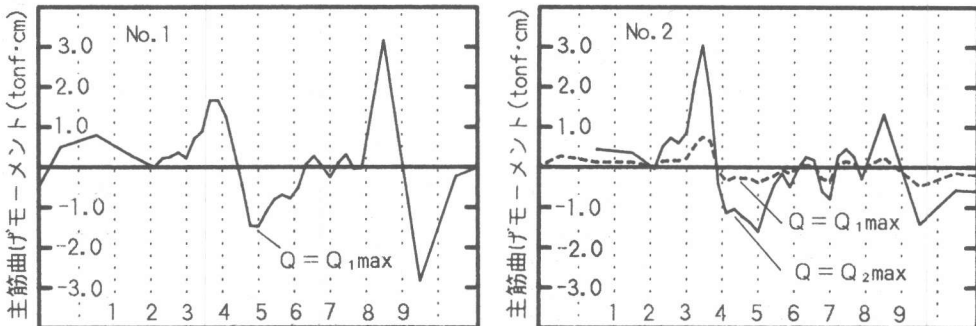


図12 主筋曲げモーメント分布

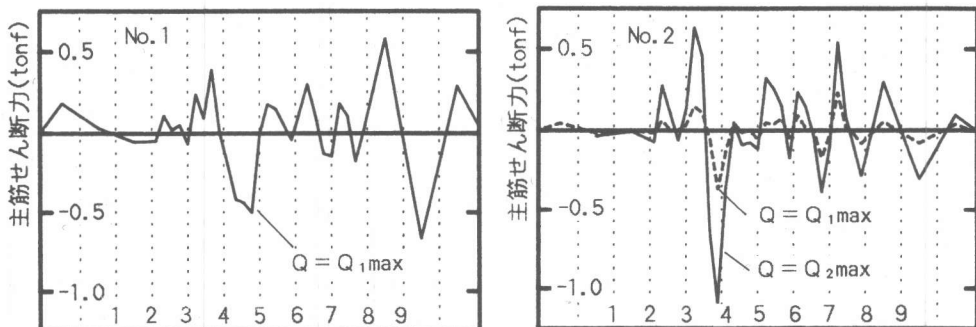


図13 主筋せん断力分布

機構は一般にコンクリート束材に生ずる圧縮力、主筋の付着力、及びせん断補強筋張力により構成される。そこで、コンクリートより主筋に加わる鉛直方向力を主筋のせん断力分布から求め（せん断補強筋位置では補強筋張力を引く）、また主筋に加わる水平方向力を主筋軸方向力分布から求めると、コンクリート束材の力は両者のベクトル和となる。このような方法によって最大せん断力時の下側主筋中央部（歪ゲージを2cm間隔で貼付した部分）における2cm間隔ごとのコンクリート束材の力を求め、図14に示す。ただし、ひび割れ位置におけるダボ作用の影響は無視した。また、最大せん断力までの補強筋位置(2)における束材の力と $\delta$ の関係を図15に、束材の力が材軸となす角度 $\phi$ と $\delta$ の関係を図16に示す。両試験体とも補強筋位置では鉛直方向力が大きく、束材の力及び材軸となす角度 $\phi$ は大きくなった。変形に伴う束材の力の増加量はNo.2のほうが大きかった。材軸となす角度 $\phi$ はせん断ひび割れ発生後はほとんど変化しなかった。No.2では中央付近の力は小さくなっており、補強筋張力分布の影響が大きいと思われる。

### 3.7 せん断補強筋とコンクリートの負担せん断力

主筋のダボせん断力や骨材のかみ合い力を無視すると、外力せん断力はせん断補強筋とコンクリートの負担せん断力の和となる。せん断補強筋の負担せん断力 $Q_w$ はひび割れが横切る補強筋 (No.1では1~5, No.2では1~4) の引張力の合計とし、残りをコンクリートの負担せん断力 $Q_c$ とすると、各負担せん断力と変形 $\delta$ の関係は図17のようになる。両試験体ともせん断ひび割れ発生後から $Q_w$ は急激に増加し始め最大耐力時にピークをむかえ、その後はほぼ一定の値を保った。一方、 $Q_c$ はせん断ひび割れ発生後の増加は小さく、最大せん断力以前にピークをむかえ、その後は減少した。これはせん断ひび割れの進展によりコ

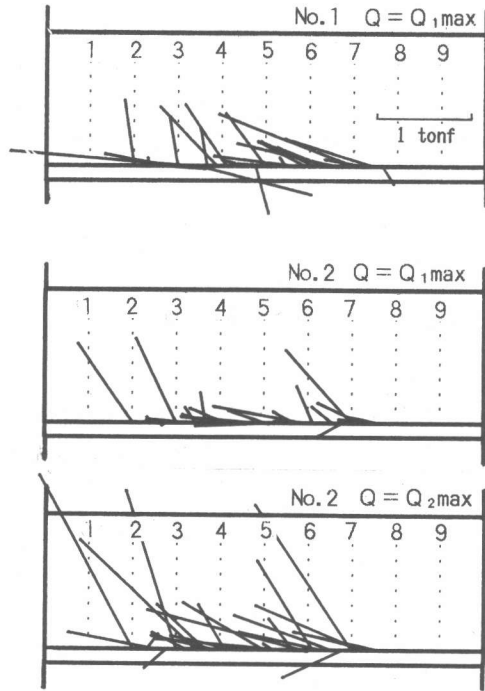


図14 コンクリート束材の力の分布

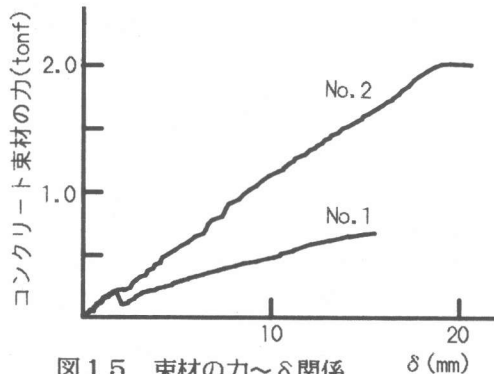


図15 束材の力 $\sim$  $\delta$ 関係

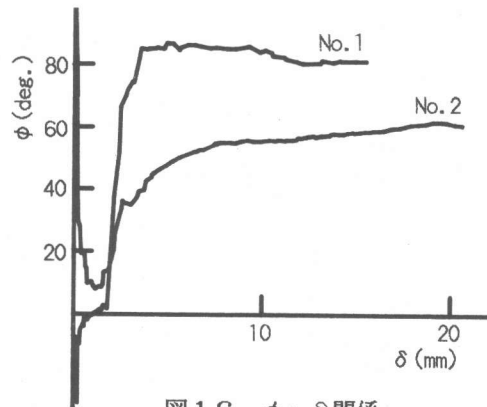


図16  $\phi \sim \delta$ 関係

ンクリート圧縮域が減少し、さらに圧縮部コンクリートの破壊が生じたためと考えられる。以上より、両試験体の最大せん断力は $Q_c$ の減少量が $Q_w$ の増加量を上回ったところで決定されたと言える。

#### 4. 結

歪測定に重点をおいた梁の曲げせん断実験より定性的ではあるが以下のことが明らかとなった。

- (1)主筋に生ずるせん断力はせん断補強筋の引張力とひび割れ位置でのダボ作用の両方の影響を受けることが確認された。
- (2)主筋の付着力、せん断補強筋張力、及び主筋せん断力より求めたトラス機構におけるコンクリート束材の力は変形が進むにつれて大きくなるが、材軸となす角度はせん断ひび割れ発生後はあまり変化しなかった。
- (3)コンクリートの負担せん断力は最大せん断力以前にピークとなりその後は減少する傾向が見られたので、せん断補強筋の負担せん断力がピークに達したときに最大せん断力となった。

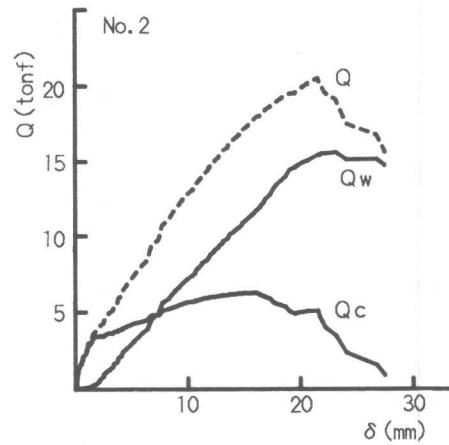
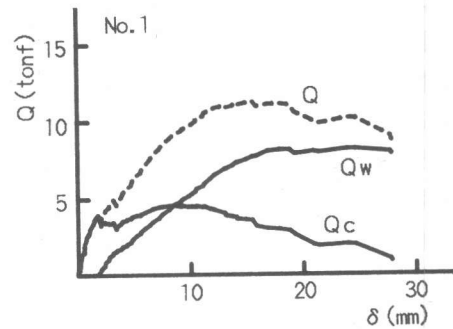


図 17  $Q_w, Q_c \sim \delta$  関係

#### [謝辞]

本研究の実験に際しては、東京工業大学研究生・光木史朗氏、技官・石井元氏、同・宗像光博氏、同・伊藤千明氏に多大な御協力を得ました。ここに、厚く御礼申し上げます。また、本研究は昭和61年度文部省科学研究費補助金の援助を受けております。関係各位に厚く御礼申し上げます。

#### [参考文献]

- (1)六車 照、渡辺史夫：鉄筋コンクリート柱のせん断抵抗機構に関する実験研究 その2、日本建築学会論文報告集、No.341、pp.11-18、1984
- (2)境 有紀、田才 晃、小谷俊介、青山博之：震害を受けた鉄筋コンクリート造部材のエポキシ樹脂による補修に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、vol.9、pp.263-268、1987
- (3)若林 實、南 宏一：コンクリート系構造部材のせん断強度について、京都大学防災研究所年報、vol.24、pp.245-277、1981
- (4)黒正清治、林 静雄、小林克己、光木史朗、熊谷仁志：鉄筋コンクリートはりにおけるせん断力伝達に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、vol.C、pp.79-80、1987