

# 論文 鉄筋コンクリート有孔梁の耐震性状に関する研究

宮崎 照\*1・丸田 誠\*2・永井 寛\*3・岩倉 知行\*4

**要旨:** 近年, RC 有孔梁の研究が数多く行われているが, 以下の不明確な2点についての検討を行った。(1) 複数(3つ孔)有孔梁のせん断強度, (2) 梁端部より 0.5D(Dは梁せい)離れたヒンジゾーン内の位置に開孔端を有する開孔梁部材の曲げ靱性能, についての構造性能を把握するために 11 体の RC 有孔梁の曲げせん断実験を行った。実験の結果と検討を行い, せん断強度に関して孔数に関係なく複数開孔と単数孔ではほぼ同様の挙動が示されること, また Y 筋(コ形補強筋)による靱性能の向上等が確認できた。ただし, 開孔周囲の補強筋量と靱性能の関係性は明確とならず, 今後の検討課題として残った。

**キーワード:** 有孔梁, 開孔補強筋, 複数開孔, せん断強度, 靱性能

## 1. はじめに

近年, RC 有孔梁の開孔補強法に関する多くの研究が行われており, 既製品金物の開孔補強筋, 開孔の最内側の横補強筋である孔際補強筋(S筋), コ形の補強筋 Y 筋による比較的簡易な開孔補強方法(図-1)が文献 1)等で提案されている。複数開孔のせん断実験において, 複数開孔(3つ孔)梁の報告には文献 2)があるが, 開孔中心間距離が文献 3)で推奨される開孔中心間距離 3H(H:開孔径)の距離が確保されておらず, また, 複数孔のせん断性状には不明瞭な点が多い。そこで孔数(1つ~3つ)とコンクリート設計基準強度( $F_c30, F_c60$ )とし, S筋と開孔補強筋による方法 2(図-1)によって補強を施した複数開孔梁の曲げせん断実験を行った。

また, RC 梁の梁端のヒンジ域に開孔を有する梁部材は, 端部開孔に応力集中が起こりやすく梁主筋降伏後の靱性能には不明瞭な点が多い。その一方で, 下がり天井など自由度の高い設備計画を可能とするため, 文献1)等の梁端開孔有する梁部材の研究報告がされている。本論文では方法 2 及び, 方法 2 に Y 筋による補強も加えた方

法 1(図-1)による簡易な補強方法を施した梁端開孔を有する梁部材の曲げ降伏後の靱性能把握のためせん断実験を行った。以下の2つの事項について報告する。

- (1)複数開孔を有する梁のせん断性状(せん断破壊型)
- (2)端部開孔を有する梁の曲げせん断性状(曲げ靱性能)

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

代表的な試験体形状を図-2, 試験体部配筋図を図-3 に, 試験体諸元を表-1, コンクリート強度を表-2,

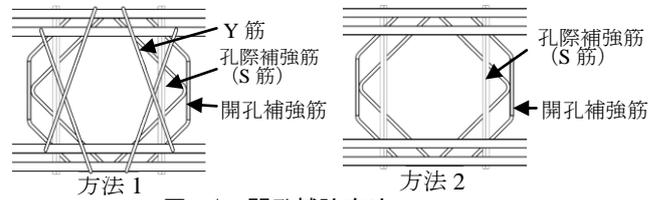


図-1 開孔補強方法

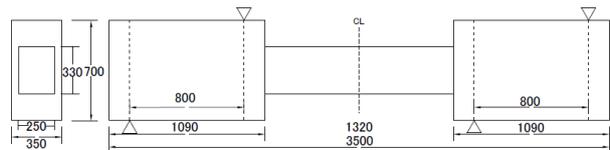


図-2 試験体形状

表-1 試験体諸元

試験体名	断面b×D (mm×mm)	L(mm)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	主筋	横補強筋			開孔補強筋		S筋		孔数 (孔径)	Y筋	備考	
					鋼種	間隔(mm)	pw	鋼種	Pwd	組数	Pws				
NS-M1	250×330	1320	30	6-D16 1000N/mm <sup>2</sup> 級	4-D6	65	0.78%	D6(SD785) ×3セット	0.78%	4-D6(SD785) ×2セット	0.74%	1(110mm)	無	(1)	
NS-M2					4-D6							SD785	2(110mm)		無
NS-M3					4-D6							SD785	3(110mm)		無
NS-M4				6-D16 SD390	4-D6 SD345	52.5	0.97%	D8(SD785) ×3セット	1.22%	4-D6(SD345) ×2セット	1.11%	2(110mm)	有(D6-SD345)	(2)	
NS-M5													無		
NS-M6				6-D16 SD390	4-D6 SD345	52.5	0.97%	D8(SD785) ×4セット	1.63%	4-D6(SD345) ×3セット	0.74%	2(110mm)	有(D6-SD345)	(2)	
NS-M7													無		
NS-M8				6-D16 1000N/mm <sup>2</sup> 級	4-D6 SD785	60	0.84%	D6(SD785) ×4セット	1.04%	4-D6(SD345) ×2セット	0.52%	4-D6(SD785) ×2セット	2(82.5mm)	有(D6-SD345)	(1)
NS-M9													1(110mm)	無	
NS-M10													3(110mm)	無	
NS-M11				6-D16 SD490	4-D6 SD785	44	1.15%	D6(SD785) ×3セット	0.78%	4-D6(SD785) ×3セット	1.11%	2(110mm)	有(D6-SD345)	(2)	

(1) せん断破壊型試験体 (2) 曲げ靱性能型試験体

\*1 島根大学大学院 総合理工学研究科建築・生産設計工学コース (学生会員)

\*2 島根大学大学院 総合理工学研究科建築・生産設計工学領域 教授 博士(工学) (正会員)

\*3 有限会社 SK サービス 代表取締役 工学修士 (正会員)

\*4 コーリョー建販株式会社 顧問 (会員外)

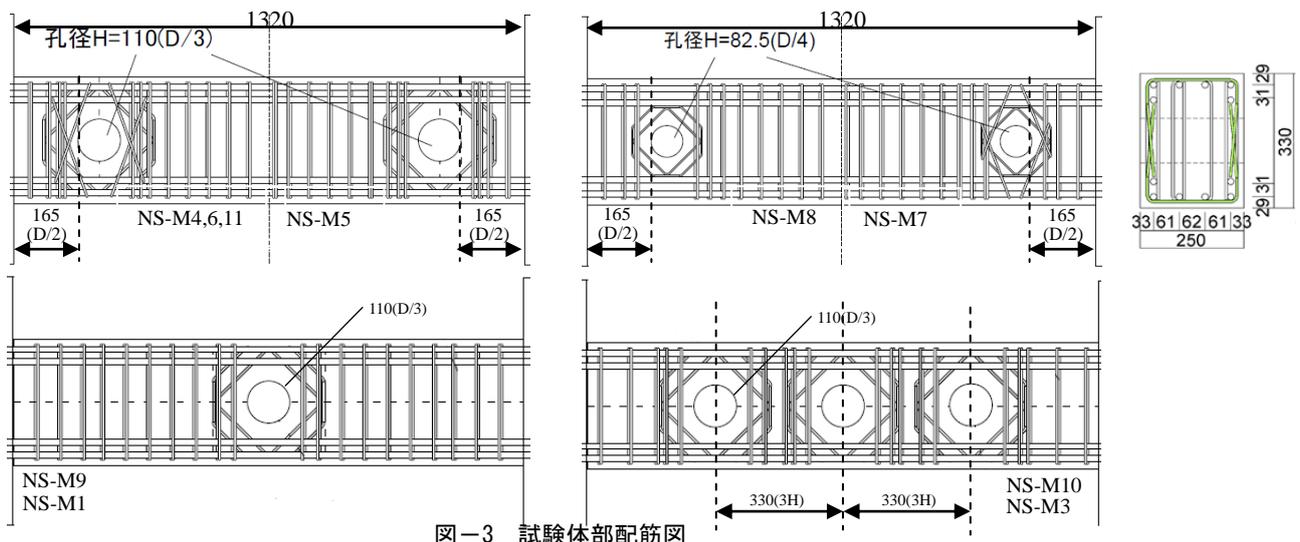


図-3 試験体部配筋図

表-2 コンクリート強度

試験体	$F_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	ヤング係数 $\times 10^3$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
NS-M1	30	37.6	27.4	
NS-M2		39.2	28.9	
NS-M3		36.2	28.7	
NS-M4		37.2	28.7	
NS-M5		37.3	29.0	
NS-M6		27.7	24.3	
NS-M7		30.8	24.6	
NS-M8		30.6	24.6	
NS-M9		60	56.1	32.8
NS-M10			58.6	33.3
NS-M11	53.1		32.2	

表-3 鉄筋強度

径	鉄筋種	降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	ヤング係数 $\times 10^3$ [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	備考
D6	SD345	345	188	545	横補強筋(M4~M6), S筋(M4~M6), Y筋(全試験体)
	SD785	930	182	1130	横補強筋(M1~M3, M9~M11), S筋(M1~M3, M9~M11), 開孔補強筋(M1~M3, M7~M11)
D8	SD785	1010	192	1270	開孔補強筋(M4, M5)
D16	SD390	421	197	632	主筋(M4~M8)
	SD490	533	193	707	主筋(M11)
	1000N/mm <sup>2</sup> 級	1020	188	1050	主筋(M1~M3, M9, M10)

鉄筋強度を表-3に示す。試験体はNS-M1~NS-M11(以下NS-は省略)の計11体(せん断破壊型5体, 曲げ靱性型6体)とした。試験体は内法スパン $L=1320$ mm, 断面形状は $250 \times 330$ (梁せい $\times$ 梁幅), せん断スパン比 $M/(Q \cdot D)=2$ , 実際の梁の1/2.5サイズを共通とし, 開孔は方法1もしくは, 方法2で補強している。既製品金物にはSD785, 方法1のY筋にはSD345を用いた。せん断破壊型は, 主筋が曲げ降伏に至る前にせん断破壊が先行して起こるようにして設計し, 曲げ靱性型は梁主筋が曲げ降伏後開孔部挙動と靱性能が把握できるよう設計した。

せん断破壊型試験体は全5体M1, M2, M3, M9, M10で, 因子は開孔数(1~3つ), コンクリート設計基準強度( $F_c30, F_c60$ )とした。すべての開孔は, 開孔径を $D/3(110$ mm), 開孔間中心距離を $3H(330$ mm)とし, 方法2(図-1)によって補強した。主筋には上下6本ずつの $1000$ N/mm<sup>2</sup>級鉄筋を配置し, 曲げ降伏よりもせん断破壊

が先行するようにした。M1~M3はコンクリート強度を $F_c30, M9, M10$ はとし $F_c60$ とし, 開孔数をそれぞれ1~3で変化させた。

曲げ靱性型試験体は全6体M4, M5, M6, M7, M8, M11で, 因子を開孔径( $D/3, D/4$ ), コンクリート設計基準強度( $F_c30, F_c60$ ), 開孔補強筋量とした。曲げ靱性型は両端に2つの開孔を持ち, 開孔はそれぞれ梁端から $D/2(165$ mm)位置に開孔端を配置した。開孔径は, M9とM10は $D/4(82.5$ mm), それ以外は $D/3(110$ mm)でそれぞれ図-1の方法1, もしくは方法2によって補強している。Y筋は, 文献1)4)で靱性向上に有効なことが示されており, 本実験においても因子とした。試験体部分の主筋は上下6本ずつの $D16$ のSD390(M11のみSD490)とした。コンクリート設計基準強度はM11を $F_c60, M11$ 以外は $F_c30$ とした。

## 2.2 加力方法

口型の反力フレームの中に試験体を設置し, 逆対称曲げモーメントが作用するように正負交番繰り返し载荷を行った。加力は部材変形角で制御し, 全試験体とも $\pm 1.25 \times 10^{-3}$ [rad.]で1サイクル,  $\pm 2.5 \times 10^{-3}$ [rad.],  $\pm 5 \times 10^{-3}$ [rad.],  $\pm 10 \times 10^{-3}$ [rad.],  $\pm 20 \times 10^{-3}$ [rad.],  $\pm 30 \times 10^{-3}$ [rad.]で2回ずつ,  $\pm 50 \times 10^{-3}$ [rad.]で1回を目標として行った。

## 3. 実験結果

### 3.1 破壊性状

代表的試験体の終局時ひび割れ図を図-4に示した。

せん断破壊型の孔数を因子としたM1~M3ではいずれも部材変形角が $+20 \times 10^{-3}$ [rad.]のピークに向かう中, 開孔の対角線上に生じたせん断ひび割れ及び, 開孔上下の接線状に生じた斜めひび割れによってせん断破壊した。M2, M3では, 1つの開孔でのみせん断破壊した。それらの破壊性状は, M9, M10でも同様で, 開孔の対角線上に生じたせん断ひび割れと, 接線状のせん断ひび割れ

によりせん断破壊したが、M1~M3とは異なり開孔上下のかぶり部分のコンクリートの崩落を伴った。

曲げ靱性型では、M11を除くすべての試験体において開孔上下に接線状のせん断ひび割れを伴いせん断破壊した。正加力時に破壊に至ったのはM4, M6, M7試験体のY筋を有する3試験体で $50 \times 10^{-3}$ [rad.]の一度目の載荷時に、M5, M8の2試験体は共に $30 \times 10^{-3}$ [rad.]負加力時(ピーク時)に破壊に至った。一方で、M11は他の試験体のように接線方向の開孔ひび割れが開孔上下に同時に発生せず、東西の開孔において上下いずれかの開孔せん断ひび割れが開いたものの、破壊には至らなかった。

### 3.2 せん断-部材変形角関係

図-5にせん断破壊型試験体のせん断力-部材変形角関係(Q-R図)を示し、せん断破壊型5体の正側のQ-R関係包絡線図を図-6に示す。Fc30使用のせん断破壊型の部材変形関係は、孔数は関係なくほぼ同様の挙動が見られ、最大耐力は部材変形角 $15 \times 10^{-3}$ [rad.]程度で300~330[kN]を示した。Fc60を使用した試験体M9, M10は共に部材変形角 $18 \times 10^{-3}$ [rad.]程度で最大耐力が発揮され、それぞれM9:413[kN], M10:378[kN]を示した。Fc30試験体に比べ、M9, M10は若干の靱性能の向上が見られ、また最大耐力は大きく上回った。Fc30試験体における、M1(1つ孔)とM3(3つ孔)の最大耐力は、M3がM1の96.7%程度で差は見られたが小さく、Fc60試験体ではM9(3つ孔)はM10(1つ孔)の91.5%程度となり、コンクリート強度の向上による孔数の変化には若干の違いが見られた。曲げ靱性型試験体のQ-R関係を図-7に示す。M4, M6, M7のY筋を有する3試験体の破壊性状はほぼ同様であ

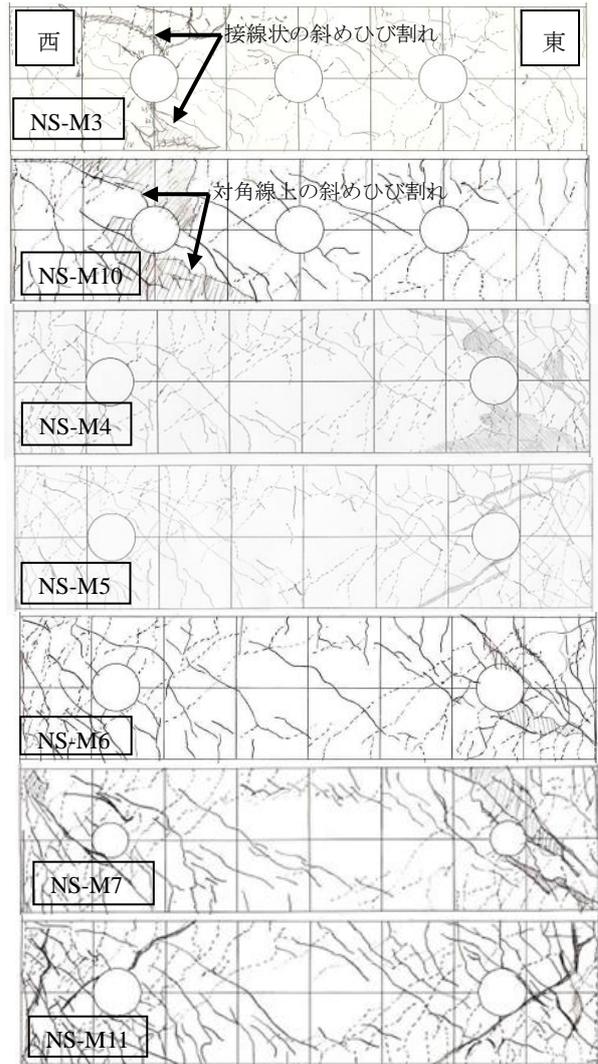


図-4 各試験体終局時ひび割れ図

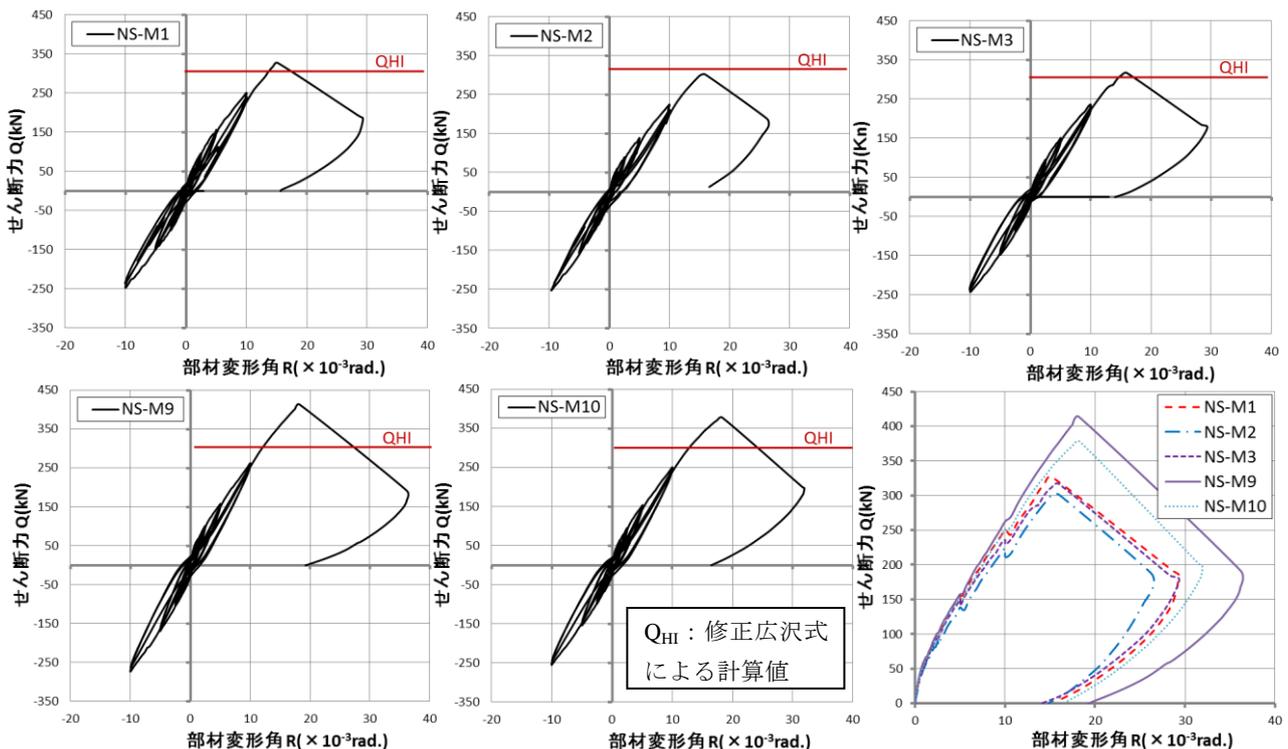


図-5 せん断破壊型(M9, M10)Q-R関係 図-6 せん断破壊型Q-R包絡線図

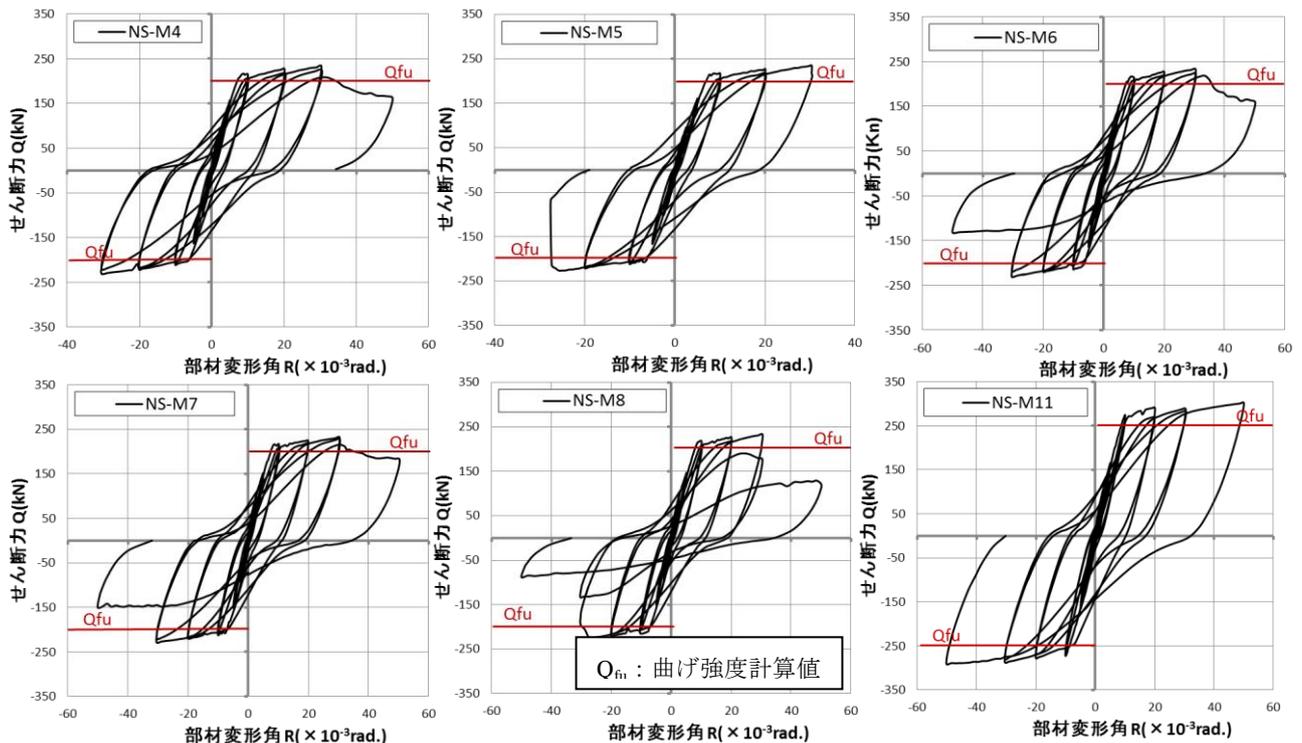


図-7 曲げ靱性型 (M4, M5, M6, M7, M8, M10) Q-R 関係

り、Q-R 性状についても同様の性状となった。それぞれ最大耐力点は 230[kN]程度を、部材変形角  $30 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$  で示したのち、耐力低下を伴いながら  $50 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$  の変形時に開孔せん断ひび割れが開き破壊に至った。補強筋量、開孔径を因子とした影響は見られなかった。

Y筋を有さないM5, M8試験体のQ-R関係についてもほぼ同様な性状となった。最大耐力はY筋有する試験体同様  $30 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$  で示し、その最大耐力もそれぞれ M5:220[kN], M8:232[kN]で同程度の値を示した。しかし、繰り返しの $-30 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$ サイクル時に開孔部せん断ひび割れが開き、その後Y筋有の試験体のような靱性能は示さず、 $50 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$ に至る前に開孔せん断ひび割れは大きく開き破壊に至った。両試験体には、開孔径の違いがあるがその影響は見られなかった。

また、他試験体とは異なった破壊性状を示した M11 は高強度コンクリート Fc60, 高強度鉄筋 SD490 を主筋とした試験体で、 $50 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$ で最大耐力(301kN)で示すなどの差異が見られた

### 3.3 開孔周囲部補強筋せん断力-ひずみ性状

図-8~図-10 に、代表的な試験体の破壊に至った開孔周囲部の補強筋のせん断力-ひずみ関係を示した。開孔配筋図上の点線はひび割れ方向を示しており、ひび割れと交わる位置の鉄筋ひずみゲージの値を示した。

せん断破壊型 M3 と M10 の開孔周りの補強筋のせん断力-ひずみ関係を図-8 に示した。両試験体は共に東側(図-4 参照)の開孔のせん断破壊によって終局に至った。開孔補強筋・S筋は共に SD785 であり、終局時、各補強筋には  $3000 \mu$  近い大きなひずみが生じていたが、降伏

には至っていない。ただし、充分にせん断力に抵抗していたことが覗える。他のせん断破壊型 M1, M2, M10 も同様な挙動を示した。

図-9 に M4, M6 の開孔周りの補強筋のせん断力-ひずみ関係を示した。M4 の開孔補強筋は終局時  $2000 \mu$  程度を示したが降伏には至っていない。一方で Y筋, S筋は共に  $5000 \mu$  を超え降伏していた。M6 の開孔補強筋のひずみは M4 と同様の挙動が見られたが、Y筋, S筋のひずみ性状は M4 が終局サイクル( $50 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$ )で降伏したのに対し、M6 は接線方向の開孔ひび割れが開いた  $30 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$ サイクルからすでに降伏しており、M4 と挙動は若干異なっていた。

M11 は終局時東西両開孔ともに、開孔の上下一方に接線状のせん断ひび割れが発生した。M11 では、両端部の開孔際のせん断ひび割れが  $50 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$ サイクルでも同程度開いたため、両端部(東側・西側)の開孔周りのせん断力-ひずみ関係を図-10 に示す。ひずみ性状は東西でほぼ同様の挙動が見られ、ひび割れと交わる開孔補強筋は  $3000 \mu$  近い比較的大きなひずみを示した。せん断ひび割れと交差した S筋は  $5000 \mu$  以上の比較的高いひずみが生じており降伏に至っている。また、M4 や M6 の Y筋は  $30 \times 10^{-3}[\text{rad.}]$ サイクル付近で一気に降伏し破壊に至ったが、M11 における Y筋は降伏後もせん断破壊が生じず、他の補強筋が抵抗していたことが覗える。

## 4. 考察

開孔部のせん断強度と梁端開孔のせん断余裕度と靱性能について検討する。曲げ強度  $Q_{fu}$  および、一般部の

せん断終局強度  $Q_{umean}$  は文献 3)の方法で算出した。開口部のせん断終局強度は文献 3)の修正広沢式(1)と文献 4)によるトラス機構の(2)式によって最大強度を算定した。

$$Q_{HI} = \{0.092k_u k_p (F_c + 18) / (M / (Q_d) + 0.12) \cdot (1 - 1.61H/D) + 0.85 \sqrt{P_{ss} \sigma_s}\} b_j \quad (1)$$

$$Q_u = b J_{tw} p_{ws} \sigma_{wy} \cos \phi_s + A_x \sigma_{xy} \sin \theta_x \quad (2)$$

(記号は各文献参照)

既製品金物を用いた場合のトラス機構による有孔梁のせん断破壊メカニズムは明確でなく、また、実験において、補強筋に用いた SD785 が降伏に至っておらず、外側筋においては、規格降伏強度の半分程度しか負担していない。よって、実用的な評価法として、(2)式の第 2 項における  $A_x$ (開孔補強筋断面積)及び  $\sigma_{xy}$ (開孔補強筋強度)は下記の組み合わせにより  $1Q_u \sim 3Q_u$  を計算し検討を行った。

- 1 $Q_u$ : 図-11(a),  $\sigma_{xy}$  は表-3 の降伏強度
- 2 $Q_u$ : 図-11(a),  $\sigma_{xy} = 390 \text{ N/mm}^2$  (ひずみ性状考慮)
- 3 $Q_u$ : 図-11(b),  $\sigma_{xy}$  は表-3 の降伏強度

せん断破壊型は  $Q_{umean}$ ,  $Q_{fu}$ ,  $Q_{HI}$ ,  $1Q_u \sim 3Q_u$  の計算値と実験値(最大耐力)との比較を行い、曲げ靱性型は  $Q_{fu}$ ,  $Q_{umean}$ ,  $Q_{HI}$ ,  $1Q_u$  の計算結果と比較し、表-4 に示す。なお、Y筋は(1), (2)式では考慮していない。

$Q_{HI}$  の実験値/計算値(以下: 実/計)はせん断破壊型試験体では M2 試験体を除き 1.0 以上となった。一方、 $1Q_u \sim 3Q_u$  間では実/計は大きく異なる。文献 5)~7)の結果も含め  $1Q_u \sim 3Q_u$  の検討を行い、 $1Q_u$  の結果を図-13 に、 $2Q_u$  の結果を図-14 に、 $3Q_u$  の結果を図-15 に示す。 $1Q_u$  では計算値が実験値に近い値を示している試験体が多くあるが、計算値が実験値を上回り危険側に評価される試験体も M1~M3 を含めあったが、 $2Q_u$ ,  $3Q_u$  では計算値は実験値を安全側に評価することが分かった。 $2Q_u$  の平均値は  $3Q_u$  より、実験との対応が良いが変動係

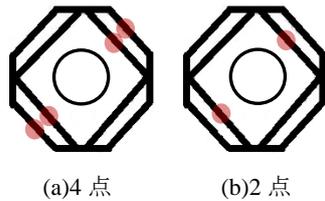


図-11 式(3)における  $A_x$

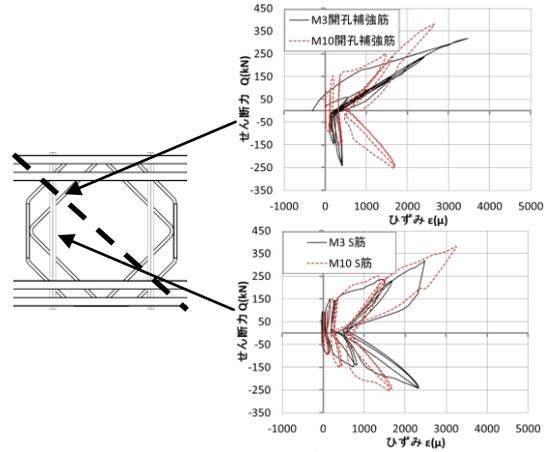


図-8 M3, M10 破壊側開孔

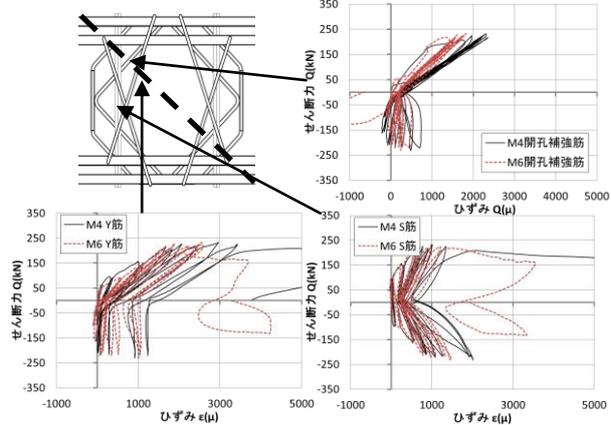


図-9 M4, M6 破壊側開孔

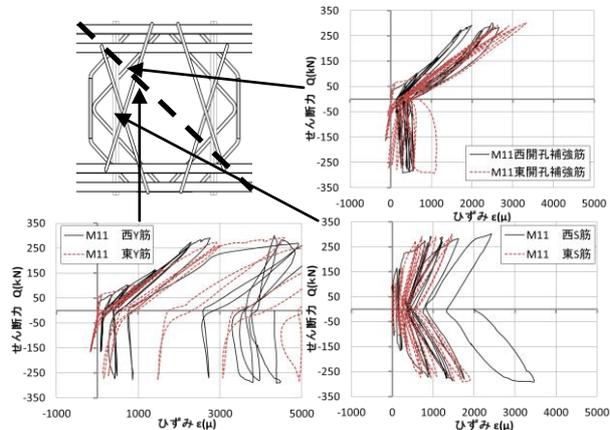


図-10 M11 東西開孔

表-4 計算結果比較

(1) せん断破壊型	試験体名	最大強度		曲げ強度		一般部せん断強度		開口部せん断強度					
		$Q_{max}$ [kN]	$Q_{fu}$ [kN]	$Q_{umean}$ [kN]	$Q_{max}/Q_{umean}$	$Q_{HI}$ [kN]	$Q_{max}/Q_{HI}$	$1Q_u$ [kN]	$Q_{max}/1Q_u$	$2Q_u$ [kN]	$Q_{max}/2Q_u$	$3Q_u$ [kN]	$Q_{max}/3Q_u$
	NS-M1	327	503	251	1.30	315	1.04	356	0.92	210	1.56	230	1.42
	NS-M2	301	503	254	1.19	318	0.95	358	0.84	212	1.42	232	1.30
	NS-M3	317	503	248	1.28	312	1.02	353	0.90	207	1.53	226	1.40
	NS-M9	413	503	294	1.40	338	1.22	304	1.36	206	2.00	219	1.89
	NS-M10	378	503	299	1.26	343	1.10	307	1.23	209	1.81	222	1.70
(2) 曲げ靱性型	試験体名	最大強度		曲げ強度		一般部せん断強度		開口部せん断強度					
		$Q_{max}$ [kN]	$Q_{fu}$ [kN]	$Q_{max}/Q_{fu}$	$Q_{umean}$	$Q_{max}/Q_{umean}$	$Q_{HI}$ [kN]	$Q_{max}/Q_{HI}$	せん断余裕度 $\alpha 1$	$3Q_u$ [kN]	$Q_{max}/3Q_u$	せん断余裕度 $\alpha 2$	靱性能*3 $\times 10^{-3}$ [rad.]
	NS-M4	231	199	1.16	220	1.05	326	0.71	1.64	299	0.77	497	43.8
	NS-M5	220	199	1.11	220	1.00	327	0.67	1.64	299	0.74	497	30.5
	NS-M6	231	199	1.16	201	1.15	342	0.68	1.72	347	0.67	610	43.8
	NS-M7	232	199	1.17	207	1.12	323	0.72	1.62	372	0.62	540	46.3
	NS-M8	232	199	1.17	207	1.12	323	0.72	1.62	371	0.63	539	38.1
	NS-M11	301	252	1.19	312	0.96	370	0.81	1.47	298	1.01	466	50.1

せん断余裕度\*1:  $Q_{HI}/Q_{fu}$  せん断余裕度\*2:  $3Q_u/Q_{fu}$  靱性能: 耐力が 80%低下した時の部材変形角

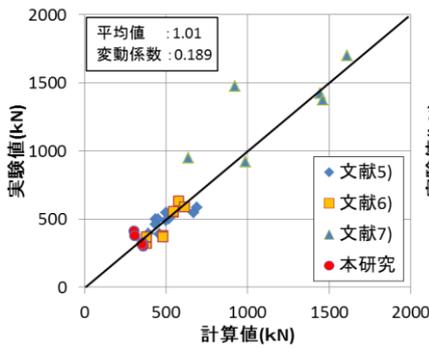


図-13  $1Q_u$ の実験値と計算値比較

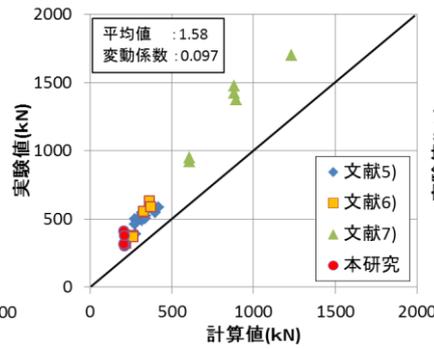


図-14  $2Q_u$ の実験結果と計算値比較

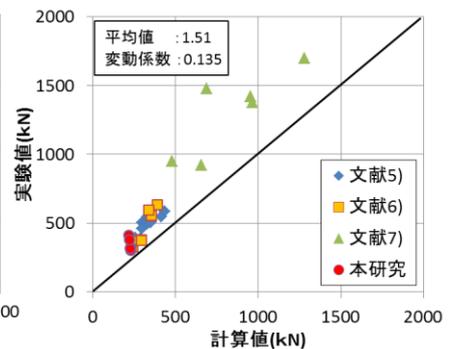


図-15  $3Q_u$ の実験結果と計算値比較

数は大きくなった。今回の実験での開孔補強筋のひずみは、終局時いずれも降伏まで達しておらず(図-8~図-10参照)、補強筋に用いたSD785鉄筋の $\sigma$ - $\epsilon$ 関係上、2500 $\mu$ ~3000 $\mu$ 程度のひずみでは規格降伏応力度の約1/2程度の390N/mm<sup>2</sup>程度の応力を負担しており、 $\sigma_{xy}$ =390N/mm<sup>2</sup>とするのも妥当性があると考えられる。

梁端開孔のせん断余裕度と靱性能について、文献1)では $Q_{H1}$ と $Q_{fu}$ のせん断余裕度が1.36以上あれば $50 \times 10^{-3}$ [rad.]が確保される、また文献4)では、Y筋を考慮しない(2式( $3Q_u$ ))でせん断余裕度が1.2以上の場合、 $40 \times 10^{-3}$ [rad.]の靱性能が確保できると報告されているが、図-7、表-4に示すように本実験ではせん断余裕度と靱性能の関係が確認できず、Y筋の効果の検討も含め今後の検討課題としたい。

#### 4.まとめ

本実験を通して下記結論を得た。

- 1) D/3の開孔を複数(2または3)有していても、3H以上の開孔間の確保と適切な開孔補強をしていればせん断強度や破壊性状は単開孔の試験体と大きく異ならず、これは開孔周囲の補強筋のひずみ性状が、開孔数に関わらず同様となったことから分かった。
- 2) 曲げ靱性型のY筋を有する試験体は、無い試験体に比べ靱性能の向上が見られた。ひずみからも有効にY筋が作用しており、梁主筋降伏後も部材変形角 $40 \times 10^{-3}$ [rad.]の大変形を示すことが分かった。
- 3) 曲げ靱性形でY筋以外の開孔補強筋やS筋を増加させせん断余裕度を上げて、また開孔径をD/3→D/4と小さくしても靱性能の向上は見られず、同様なせん断力-部材変形角関係を示した。
- 4) コンクリート・各鉄筋共に高強度材料を使用し、Y筋を配したM11は、他の曲げ靱性試験体に比べ高い靱性能を示し $R=50 \times 10^{-3}$ [rad.]の繰り返しでも耐力低下を生じなかった。
- 5) せん断破壊型試験体では、修正広沢式(1)によるせん断強度の計算値と実験値は、ほぼ対応した。
- 6) 既往の実験結果も含め、トラス機構によるせん断強

度評価式で $Ax$ と $\sigma_{xy}$ の取り方を変化させて検討を行った。 $Ax$ は4点での断面積、 $\sigma_{xy}$ を実強度とした $1Q_u$ の実/計の平均値が最も1.0に近く、 $\sigma_{xy}$ を390N/mm<sup>2</sup>一定とした $2Q_u$ の平均値は1.58、 $Ax$ を2点の断面積とし実強度を用いた $3Q_u$ の平均値は1.51、となり、 $2Q_u$ 、 $3Q_u$ 両式では実験結果を安全側に評価した。

- 7) 既往の研究1)、4)からは、ヒンジゾーンに端部開孔がある場合、せん断余裕度を上げると靱性能が向上することが示されているが、今回の結果は靱性能は向上せず、この点にも注視し今後検討を進めてゆく。

#### 参考文献

- 1) 黒沢俊也他：材端ヒンジ領域に開孔を有するRC梁の曲げせん断実験、(その1 実験概要および実験結果)、(その2 実験結果の考察)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、構造IV、pp523~526、2000
- 2) 市之瀬敏勝他：高強度コンクリートを用いたRC有孔梁のせん断実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No.2、pp221~226、1992
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説、日本建築学会、2010
- 4) 鈴木紀雄他：部材端開孔を有する鉄筋コンクリート梁の補強法、コンクリート工学年次論文集、pp335~360、Vol.24、No.2、2005
- 5) 小杉雅夫他：高強度材料を用いたRC有孔梁のせん断性状に関する実験研究、(その1 実験概要)、(その2 実験結果及び検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、構造IV、pp925~928、1999
- 6) 村上秀夫他：高強度開口金物を用いたRC有孔梁のせん断性状に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、構造IV、pp237~238、2002
- 7) 村上秀夫他：高強度開口金物を用いた大口徑RC有孔梁のせん断性状に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、構造IV、pp227~228、2007