

4. 材端部に貫通孔を有する鉄筋コンクリート梁の 曲げせん断実験

森 浩二
福本 昇
佐藤 尚隆

要 旨

鉄筋コンクリート梁の材端部に設けた貫通孔が梁の構造性能にどのような影響を及ぼすかを知るために、貫通孔の位置および補強筋の量を変動因子として曲げせん断実験を行った。実験の結果、曲げ耐力は貫通孔の位置によらず大きく変わらないこと、また、貫通孔の位置が材端から $1.0D$ (D : 梁せい) 離れているものは、変形角が $30/1000$ となるまでは貫通孔のない梁と同等のじん性を有していることがわかった。

キーワード

鉄筋コンクリート梁／貫通孔／曲げせん断

目 次

1. はじめに
2. 実験概要
3. 実験結果
4. ま と め

4. BENDING SHEAR TEST OF A REINFORCED CONCRETE BEAM WITH AN OPENING IN THE END

Koji Mori
Noboru Fukumoto
Hisataka Sato

Abstract

Tests were carried out on a reinforced concrete beam with an opening incorporated in the end to determine the influence on the structural strength. Bending shear tests were carried out on various specimens with the steel ratio and the position of the opening as the test variables. As a result of the tests it was found that the flexural strength was almost unchanged irrespective of the position of the opening. In the case where the opening was $1.0D$ (D =beam depth) from the end of the beam, the ductility was found to be the same as a beam with no opening up to a rotation angle of $30/1000$.

1. はじめに

現在、梁に設備配管のための貫通孔を設けることは珍しくない。鉄骨構造物については貫通孔周辺を鋼管を用いて補強するなど有効な補強方法があり、構造耐力上あまり問題になることは少ないようであるが、鉄筋コンクリート造の建物においてはその補強方法が確立されていないこともあり、梁の貫通孔が梁の構造性能に及ぼす影響に無視できないものがある。開孔部周辺のせん断耐力についてはすでに多くの研究がなされ、せん断耐力の推定式が提案されているが、孔の位置を変数としたデータが少ないことや無開孔の部材のせん断抵抗機構から、材端から梁せい(以下 D)の1.5倍程度の範囲内には孔を設けないことが望ましいとされている¹⁾。

しかし、これは設計をする上での制約となるため、貫通孔を設ける位置の許容範囲を拡大することが求められている。

このような背景のもとに、梁の端部に貫通孔を設けた場合の構造性能を把握するために下記の実験を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体の寸法および配筋を図-1に、供試体の諸元を表-1に示す。供試体は実大の約 $1/2.5$ とし、断面寸法を $240\text{mm} \times 360\text{mm}$ 、せん断スパン比を 2.0 とした。貫通孔の径は $\phi 120(1/3 D, D: \text{梁せい})$ とした。変動因子は開孔の位置、せん断補強筋の量および開孔部の補強筋の種類とした。

開孔の位置は梁の材端からの距離を $0.5D, 0.75D, 1.0D$ とした。また比較のために無孔の供試体を1体製作した。せん断補強筋量は梁の曲げ耐力に対するせん断強度の比率を $1.0, 1.25$ とした。せん断補強筋比はそれぞれ $0.47\%, 0.94\%$ である。開孔部の補強筋は図-2のW型とR型とした。

コンクリートは四週圧縮強度が $41.2\text{N}/\text{mm}^2$ になるように調合した。主筋はSD390を、せん断補強筋はSBPD1275/1420を、開孔部補強金物W型はSD295、R型はSBPD1275/1420を用いた。材料試験結果を表-2に示す。

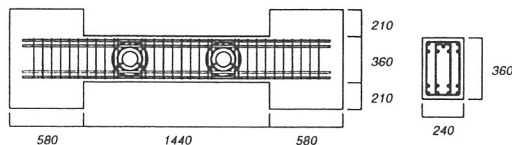


図-1 供試体の寸法および配筋の例

表-1 供試体の諸元

	G00N47	G05W47	G07W47	G10W47
$B \times D$ (mm)	240 × 360			
せん断補強筋	4-RB5.0@70			
開孔位置	—	$0.50D$	$0.75D$	$1.00D$
開孔補強金物	—	D10-2R×4		
開孔部縦補強筋	—	4-RB5.0×2		

	G05W94	G10W94	G10R47	G10R94
$B \times D$ (mm)	240 × 360			
せん断補強筋	4-RB5.0@35		4-RB5.0@70	4-RB5.0@35
開孔位置	$0.50D$	$1.00D$		
開孔補強金物	D13-2R×4		RR5.0×4	RR6.4×4
開孔部縦補強筋	4-RB5.0×2			

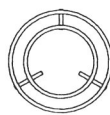


図-2 開孔部の補強筋

2.2 載荷方法

実験に際して、供試体を図-3に示す建築研究所方式の逆対称加力装置にグラウト材およびPC鋼棒を用いて固定し、200tf油圧ジャッキを用いて加力を行った。載荷履歴は図-4に示すように梁両端の相対変位 δ とクリアスパン長 L による部材角($R = \delta/L$)が $R = 5/1000, 10/1000, 20/1000, 30/1000, 40/1000$ になるよう全体変位を制御しながら各々3サイクルずつ正負交番繰返し載荷を行い、最終 $R = 50/1000$ まで変形させた。

2.3 計測方法

供試体の上下のスタブにそれぞれL型の計測用治具を固定し、治具間の変位から全体の変形を求めた。また供試体に計測用のボルトを埋め込み、ボルト間の距離から曲率およびせん断変形ひずみを算出した。梁主筋、あばら筋および開孔補強金物のひずみはひずみゲージを用いて計測した。なお、計測点1箇所につき2枚のひずみゲージを貼り付け、2枚のひずみゲージの読みの平均値をひずみの値とした。

表-2 材料試験結果
a) コンクリート

	G00N47	G05W47	G07W47	G10W47
強度 (N/mm ²)	32.4	32.9	33.3	34.7

	G05W94	G10W94	G10R47	G10R94
強度 (N/mm ²)	33.6	33.2	34.2	35.2

b) 鉄 筋

	主筋	せん断補強筋	開孔補強金物(W)	開孔補強金物(R)
降伏応力度 (N/mm ²)	424	1463	351	1463
引張強度 (N/mm ²)	534	1529	480	1529

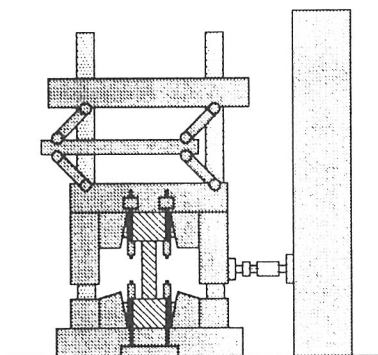


図-3 建築研究所方式の逆対称加力装置

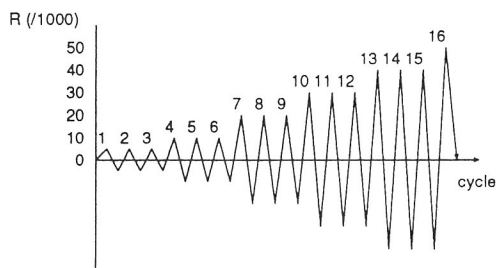


図-4 載荷履歴

3. 実験結果

3.1 荷重-変形関係

各供試体の荷重-変形関係を図-5に、ひび割れ状況を図-6に示す。各供試体は1サイクル目の荷重が34.3N～77.4Nとなったときに曲げひび割れが材端に発生した。またそれと前後して開孔部周辺には材軸に対して45度の方向に斜めひび割れが発生した。その後供試体の中央部に斜めひび割れが発生した。

G10W94を除く全ての供試体は4サイクル目の部材

角が $R=8/1000 \sim 9/1000$ のときに主筋が引張降伏した。供試体G10W94については7サイクル目の部材角が $R=12/1000$ のときに主筋が引張降伏した。

7サイクル目の上限部材角 ($R=20/1000$) 時に全ての供試体が最大荷重値を示した。ほぼ同時に梁材端部でコンクリートの圧壊が見られた。

G10R94を除く全ての供試体は最終サイクルに至る前に耐力が大きく低下したため、その時点で供試体が破壊したものとみなし以後の加力サイクルを中断した。G05W47, G07W47, G05W94は $R=30/1000$ の2回目(11サイクル)、G10W47, G10W94, G10R47は $R=40/1000$ の2回目(14サイクル)、G00N47は $R=40/1000$ の3回目(15サイクル)で加力サイクルを中断した。なお、G10R94は最終サイクル(16サイクル)まで大きな耐力低下は見られなかった。

実験後の観察では、供試体のうち貫通孔を有するものはいずれも孔の変形が著しく、開孔部のせん断破壊が顕著に現れていた。

3.2 開孔補強金物のひずみ

R型の補強金物のひずみはW型の補強金物のひずみに比べて大きかった。また開孔補強金物は降伏に至らなかった。

3.3 諸荷重と耐力計算値

各供試体の諸荷重と耐力の計算値を表-3に示す。曲げひび割れ、斜めひび割れおよび開孔部の斜めひび割れ発生時の荷重値の計算値に対する比は概ね1.0～2.0の間であった。最大荷重は曲げ耐力の計算値をやや上回っており、その比は1.13～1.19であった。

修正荒川min式によるせん断耐力の計算値が曲げ耐力の計算値を下回っている供試体はいくつか見られるが、これはコンクリートの強度が予定より低かったためである。

3.4 荷重-変形関係の包絡線

各供試体の荷重変形関係の包絡線を図-7に示す。貫通孔の位置を0.5D, 0.75Dとした供試体(G05W47, G07W47, G05W94)は変形角が30/1000のときに耐力の低下が生じて破壊した。このうちG05W47についてはすでに変形角が20/1000の段階で大きな耐力の低下が始まっている。これに対し貫通孔の位置を1.0Dとした供試体(G10W47, G10W94, G10R47, G10R94)は、20/1000, 30/1000の段階では無孔(G00N47)のものと同様に耐力の低下は小さな範囲に留まっている。

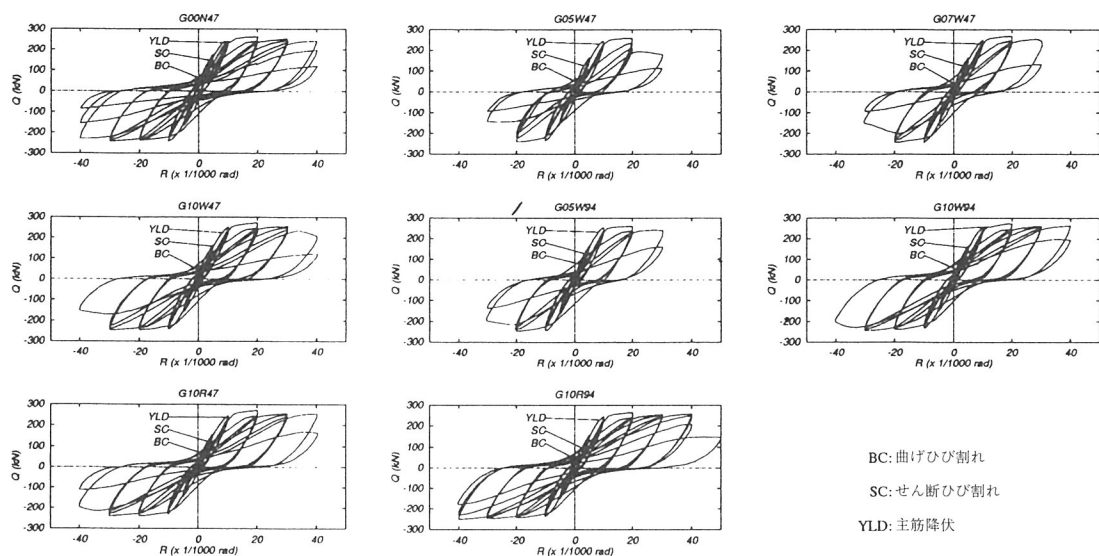
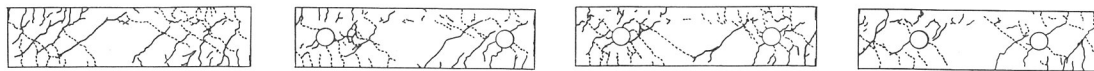
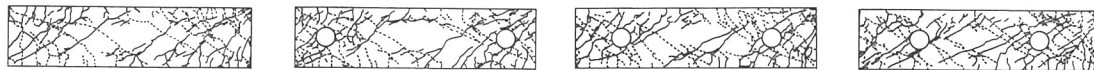


図-5 荷重-変形関係

3 サイクル終了時



9 サイクル終了時



最 終



G00N47

G05W47

G07W47

G10W47

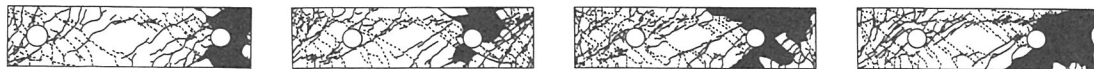
3 サイクル終了時



9 サイクル終了時



最 終



G05W94

G10W94

G10R47

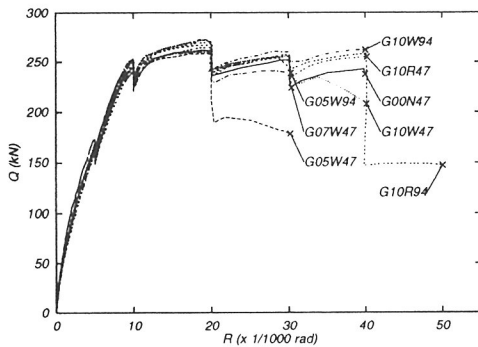
G10R94

図-6 ひび割れ状況

表－3 実験結果の諸荷重と耐力の計算値との比較

試験体	曲げひび割れ		斜めひび割れ		開孔部ひび割れ		最大荷重	曲げ耐力 (比率)	せん断耐力		開孔部 せん断耐力 ^{＊2}
	実験	計算 ^{＊1} (比率)	実験	計算 ^{＊1} (比率)	実験	計算 ^{＊2} (比率)			＊3	＊4	
G00N47	59.8	33.3 (1.79)	149.0	80.4 (1.85)	—	— (—)	261.7	229.3 (1.14)	221.5	250.9	—
G05W47	48.0	33.3 (1.44)	126.4	80.4 (1.57)	57.8	51.9 (1.11)	258.7	229.3 (1.13)	222.5	254.8	243.0
G07W47	37.2	34.3 (1.09)	125.4	81.3 (1.54)	34.3	51.9 (0.66)	267.5	229.3 (1.17)	223.4	257.7	244.0
G10W47	38.2	34.3 (1.11)	157.8	82.3 (1.92)	67.6	52.9 (1.28)	273.4	230.3 (1.19)	225.4	267.5	245.0
G05W94	77.4	34.3 (2.26)	128.4	81.3 (1.58)	49.0	51.9 (0.94)	259.7	229.3 (1.13)	278.3	373.4	284.2
G10W94	51.9	34.3 (1.51)	156.8	81.3 (1.93)	64.7	51.9 (1.25)	272.4	229.3 (1.19)	277.3	370.4	286.2
G10R47	67.6	34.3 (1.97)	123.5	81.3 (1.52)	73.5	52.9 (1.39)	269.5	229.3 (1.18)	224.4	263.6	224.4
G10R94	41.2	35.3 (1.17)	97.0	82.3 (1.18)	64.7	52.9 (1.22)	264.6	230.3 (1.15)	281.3	384.2	251.9

＊1 R C基準 ＊2 広沢式 ＊3 修正荒川min式 ＊4 学会指針A法



図－7 荷重－変形関係の包絡線

また、貫通孔の位置が同じものを比較すると補強筋量の多い供試体は、同じ形状で補強筋量の少ない供試体よりも耐力の低下が始まる時期が遅くなるなど、じん性の向上が見られる。

3.5 全体変形に対する曲げ変形成分とせん断変形成分の割合

主筋が降伏した時点でのせん断変形の成分は全体変形に対して0.35～0.45であり、供試体の条件による違いは認められなかった。

G05W47, G07W47, G05W94が破壊した30/1000の時点ではせん断変形成分の比率は0.4～0.5となったが、供試体間に際だった特徴は見られなかった。

4. まとめ

本研究ではせん断耐力が曲げ降伏耐力と一致するようになった場合とせん断耐力が曲げ降伏耐力の約1.25倍となるようにした場合との2つの場合について、貫通孔の位置およびせん断補強筋の量および貫通孔まわり

の補強方法が異なる供試体を複数製作し、これらに対して曲げせん断実験を行った。実験結果から以下のことが確認された。

1. 開孔補強を行った場合、貫通孔の位置は曲げ降伏耐力に影響を与えないことがわかった。
2. 開孔部周辺の補強を十分に行うならば、貫通孔を材端より1.0D以上離れた梁は変形角30/1000程度まで貫通孔を設けない梁と同等の性能が期待できる。
3. 貫通孔を材端から0.5Dの位置に設けた供試体はじん性に乏しく、補強筋を増した供試体においても改善の度合は大きなものではなかった。

〔参考文献〕

- 1) 広沢、清水：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）有孔梁についての既往の研究成果
建築技術1979年3月