

開孔が近接したRC基礎梁のせん断性状に関する実験的研究

濱田 真 * 近藤 祐輔 * 和泉 信之 **

RC 建造物の基礎梁には大開口の人通孔（大開孔）とともに複数の中開口の設備配管孔（中開孔）が設けられるが、梁貫通孔の間隔に関する一般的な構造規定によるため、基礎梁では貫通孔の設定範囲が大幅に制限されてきた。そこで、基礎梁の貫通孔設計の自由度を向上させるため、本研究では2つの中開孔を大開孔に近接させた梁試験体の曲げせん断実験を実施して、RC 基礎梁のせん断性状について評価した。その結果より、大開孔と中開孔に挟まれた領域のせん断補強を十分に行えば、中開孔が近接した大開孔を有する基礎梁においても、既往の有孔梁のせん断強度式を用いて安全側にせん断強度を評価できることを示した。

キーワード：基礎梁，有孔梁，人通孔，近接開孔，せん断強度

1. はじめに

RC 建造物の梁に電気，ガス，給排水などの設備配管用の円形開口（以下，開孔）を設ける場合，(A) 孔の直径は梁せいの 1/3 以下とする，(B) 同一の梁に 2 個以上の孔を開ける場合は孔の中心間隔は孔径の 3 倍以上離す，ことが望ましいとされている¹⁾。これらの構造規定は，開孔による断面欠損による影響で RC 梁の構造性能が低下することが懸念されるために設けられたものであり，特別な調査・研究によらない場合には RC 梁の貫通孔設計において通常遵守されている。一般的な RC 基礎梁では複数の中開口の設備配管孔だけではなく，地上階の梁とは異なり，建物の用途上点検用の大開口の人通孔が設けられることが多い。基礎梁に設けられる人通孔はその役割から径が大きいため，上記(B)を満足させて人通孔（以下，大開孔）と複数の設備配管孔（以下，中開孔）を設けることが困難となる場合があり，基礎梁の貫通孔設計が制約されている。既往の有孔梁の実験的研究では，梁スパン中央に開孔を 1 つだけ設けた場合²⁾や複数の開孔を設けた場合³⁾などが実施されているが，いずれも上記(A)および(B)の規定を遵守した研究が多い。

そこで，本研究では基礎梁の貫通孔設計の自由度を向上させるため，2つの中開孔を大開孔に近接させた梁試験

体の曲げせん断実験を実施して，RC 基礎梁のせん断性状について評価し，大開孔の補強方法や設計方法について考察する。

2. 実験概要

2. 1 試験体

試験体は梁両端部にスタブを有するダンベル形状で，梁には人通孔を模擬した大開孔 1 つと設備用貫通孔を模擬した中開孔 2 つの合計 3 つの開孔を配置した 1/3 縮尺の基礎梁である。梁断面は $b \times D = 300 \times 750 \text{mm}$ ，梁内法長さは $L = 2a = 2,250 \text{mm}$ ，せん断スパン比は $a/D = 1.5$ である。大開孔の直径は $\phi 250 \text{mm} (=D/3)$ ，中開孔の直径は $\phi 125 \text{mm} (=D/6)$ とした。

Table1 に試験体一覧を，Fig.1 に試験体の配筋例を示す。試験体は No1 から No6 の 6 体であり，いずれも大開孔部のせん断破壊が先行するように，梁主筋は上下共熱処理品 8-D16(980N/mm² 級， $p_t = 0.77\%$)を使用した。主な実験因子は開孔間隔と大開孔周囲の補強筋量と補強方法(孔際補強筋，開孔補強筋，大開孔上下の水平・鉛直補強筋)であり，以下に大開孔周囲の補強を中心に各試験体の概要を記す。なお，開孔部の補強計算では孔際補強筋は大開孔用と中開孔用に分別して取り扱うこととした。すなわち Fig.1 の No3 試験体で C 区間を示す斜め 45 度の線は 5 組の孔際補強筋と交差するが，大開孔用として 3 組，中開孔用として 2 組を用いて開孔補強計算をした。

* 技術研究所 建築構造研究グループ
** 千葉大学大学院
工学研究科建築・都市科学専攻教授 博士(工学)

Table1 試験体一覧 (試験体諸元)

	開孔間隔 (距離)	大開孔 φ250		中開孔 φ125		大開孔上下 (梁型補強)	開孔間のせん断 補強筋量と比	■ 共通事項 梁断面: $b \times D = 300 \times 750 \text{mm}$ 梁内法寸法: $L = 2a = 2,250 \text{mm}$ 梁主筋: 上下共 8-D16(熱処理品) 引張鉄筋比: $p_t = 0.77\%$ せん断補強筋: 4-D6@70(SD295A) せん断補強筋比: $p_w = 0.61\%$ 孔際補強筋比: $p_{ws} = a_{ws} / (b \cdot c)$ 開孔補強筋比: $p_{wd} = \sqrt{2} a_{wd} / (b \cdot c)$ a_{ws} : 孔際補強筋断面積 a_{wd} : 開孔補強筋断面積 c : C区間距離=315mm 開孔間のせん断補強筋比: $p_{wb} = \frac{\text{開孔間せん断補強筋量}}{b \cdot \text{孔間距離}}$
		孔際補強筋	開孔補強筋	孔際補強筋	開孔補強筋			
No.1	3H (562.5mm) [375mm]			4-D6×1組 +2-D6×2組 $p_{ws} = 0.271\%$		水平補強筋 2-D6 鉛直補強筋 2-D6×2組	20-D6 $p_{wb} = 0.569\%$	
No.2	2H (375mm) [187.5mm]	4-D6×3組 $p_{ws} = 0.406\%$	2-S6×4枚 $p_{wd} = 0.379\%$	4-D6×2組 $p_{ws} = 0.271\%$	2-S8×2枚 $p_{wd} = 0.296\%$	水平補強筋 7-D10 鉛直補強筋 2-D6×6組	20-D6 $p_{wb} = 1.138\%$	
No.3								
No.4		なし						
No.5		(): 孔芯 []: 孔間	4-D6×1組 $p_{ws} = 0.135\%$	2-S6×4枚 $p_{wd} = 0.379\%$	2-D6×1組 $p_{ws} = 0.068\%$			
No.6		4-D6×3組 $p_{ws} = 0.406\%$		4-D6×2組 $p_{ws} = 0.271\%$		20-D6 $p_{wb} = 1.138\%$		

また、Table1内の「開孔間のせん断補強筋量と比」は大開孔と中開孔の間に配筋されているせん断補強筋を指す。

- ・ No1: 「はじめに」で説明した(A)と(B)を満足している試験体で、孔の中心間距離は隣り合う孔径平均(H)の3倍とした。各々の孔の上下には水平補強筋として2-D6を配し、コ形の鉛直補強筋で梁型を組んだ。
- ・ No2: No1に対して孔の中心間距離を2倍に近接させただけで、大開孔と中開孔の間に配した孔際補強筋の総量はNo1と同じと試験体である。ただし、水平補強筋(2-D6)は1本の折り曲げ鉄筋で3つの孔を補強した。
- ・ No3: No2に対して孔上下の水平補強筋を7-D10に増やし、閉鎖型の鉛直補強筋で梁型を組んだ試験体である。
- ・ No4: No3に対して大開孔の開孔補強筋をなくした試験体である。
- ・ No5: No3に対して大開孔と中開孔の間に配筋した孔際補強筋の総量を約30%に減らした試験体である。
- ・ No6: No3に対して2つの中開孔を125mm 梁上部に配置させた試験体である。

試験体に使用したコンクリートと鉄筋の特性をまとめてTable2に示す。

2. 2 実験方法

荷重は Photo.1 に示すようにフレーム内に梁を立てた状態で試験体をセットし、梁部分に逆対称曲げモーメントが作用するようにジャッキを制御しながら正負交番繰り返し荷重を行った。荷重履歴は部材角($R = \delta/L$)で制御し、1/1000radでは1回、1/400rad, 1/200radと短期許容せん断力時では2回、1/100, 1/67, 1/50radでは1回の繰り返し荷重とした。

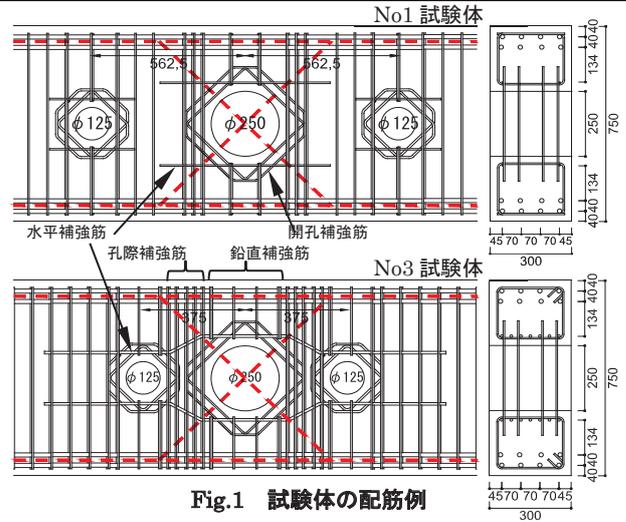


Fig.1 試験体の配筋例

Table2 使用材料の特性

コンクリート	使用部位	弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
No1,2	梁部	27.6	30.8	2.2
No3,4	梁部	28.8	32.0	2.2
No5,6	梁部	28.8	33.7	2.3
鉄筋	使用部位	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
D16(熱処理)	梁主筋	182	995	1038
D6(SD295A)	せん断補強筋	168	381	518
D10(SD295A)	水平補強筋	179	380	556
S6(785級)	開孔補強筋	177	891	1108
S8(785級)	開孔補強筋	180	922	1128



Photo.1 荷重装置全景

3. 実験結果

3.1 ひび割れ発生順と荷重変形関係

せん断力(Q)一部材角(R)関係を Fig.2 に、破壊状況を Photo.2 に、また実験結果一覧を Table3 にひび割れ発生位置の模式図とともに示す。

各種ひび割れの発生順序と荷重は概ね以下であった。(a)梁端部に曲げひび割れ($Q_{cr}=113\sim 175\text{kN}$), (c)大開孔のせん断ひび割れ($Q_{d1}=185\sim 228\text{kN}$), (d)中開孔の

せん断ひび割れ($Q_{d2}=187\sim 293\text{kN}$), (b)梁腹部にせん断ひび割れ($Q_{sc}=243\sim 392\text{kN}$), (f)大開孔の上下部に接線ひび割れ($Q_{tb}=278\sim 411\text{kN}$), (e)大開孔と中開孔間のひび割れ($Q_{rl}=286\sim 454\text{kN}$)であったが、試験体によっては(e)と(f)が逆となる場合もあった。ひび割れの発生順だけで見ると、開孔間隔、開孔周囲の補強量や中開孔の上部配置による影響はなかったと言える。最終的には No1 と No5 が大開孔の左右部分で破壊し、その他の試験体は大開孔の上下部分で破壊した。

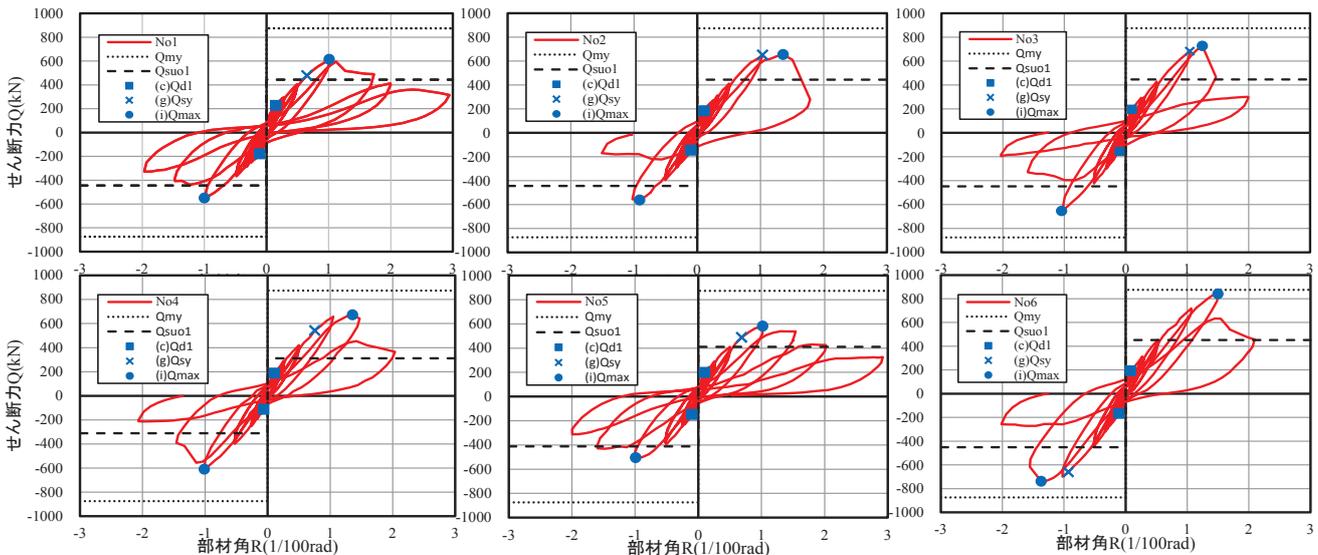


Fig.2 せん断力Q一部材角 R 関係

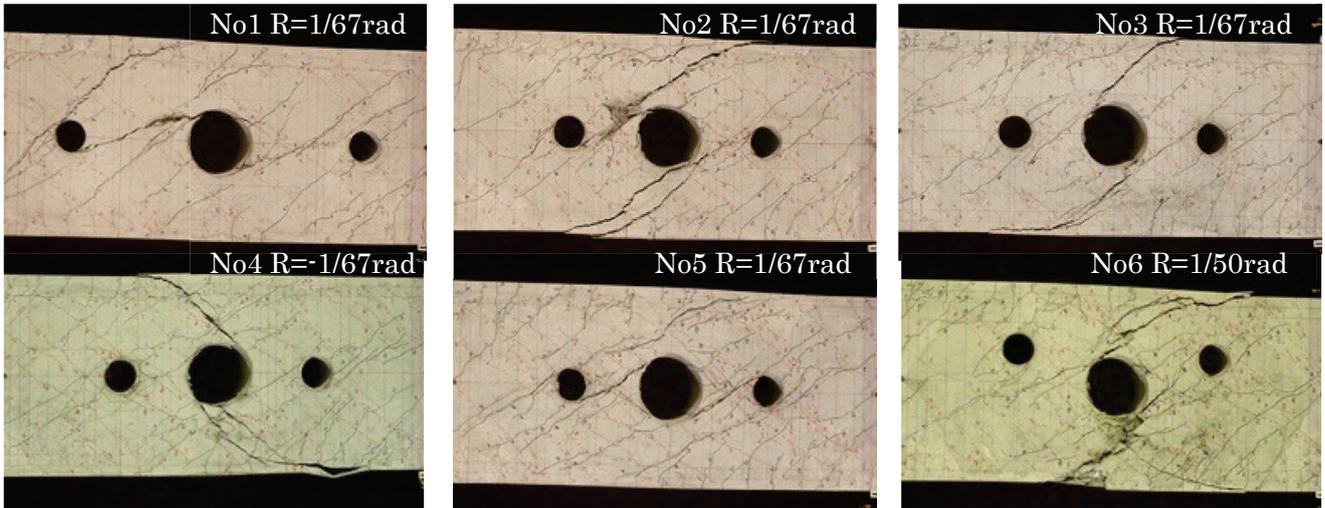


Photo.2 破壊状況 (破壊位置が明確になった部材角時)

Table3 実験結果一覧とひび割れ発生模式図

試験体	曲げ	斜めひび割れ					補強筋降伏		最大耐力	(a) Q_{cr} : 曲げひび割れ (b) Q_{sc} : 一般部せん断ひび割れ (c) Q_{d1} : 大開孔せん断ひび割れ (d) Q_{d2} : 中開孔せん断ひび割れ (e) Q_{rl} : 大開孔左右部 (f) Q_{tb} : 大開孔上下部 (g) Q_{sv} : 孔隙補強筋降伏 (h) Q_{wy} : 鉛直補強筋降伏 (i) Q_{max} : 最大耐力
	(a) Q_{cr}	(b) Q_{sc}	(c) Q_{d1}	(d) Q_{d2}	(e) Q_{rl}	(f) Q_{tb}	(g) Q_{sv}	(h) Q_{wy}	(i) Q_{max}	
No1	140	291	228	291	286	295	478	615	615	
No2	160	271	185	271	314	314	651	543	655	
No3	121	293	198	293	363	278	686	561	727	
No4	113	392	187	187	421	368	542	658	671	
No5	147	243	199	199	404	411	489	581	581	
No6	175	274	193	205	454	395	-660	635	841	

Q-R 関係よりせん断力は全試験体とも正負ともに RC 規準曲げ略算式³⁾による曲げ降伏時せん断力 Q_{my} には達していないが、(1) 式による開孔部のせん断強度 Q_{su01} (4章で詳述)を上回っているのが分かる。正負のピーク時のせん断力を比較すると、正側の方がやや大きくなっている。大开孔のせん断ひび割れ発生時(c) Q_{d1} (■)は全試験体とも 200kN 前後であった。孔際補強筋の降伏時(g) Q_{sy} (×)は No1,4,5 が 500kN 程度で、No2,3,6 が 660kN 前後であった。この差は Table1 に示したように No1 と No5 は開孔間のせん断補強筋比が小さいため、No4 は大开孔の開孔補強筋が無いために孔際補強筋の負担せん断力が大きくなったと考えられる。最大耐力(i) Q_{max} (●)に達したのは正載荷で 1/100~1/67rad であるが、負載荷は正載荷より小さい部材角であった。最大耐力を示す前は紡錘形のループであるが、最大耐力後はせん断力ゼロ付近でスリップ性状を示した。

以上のことから破壊位置は異なるものの、いずれの試験体とも大开孔部でせん断破壊したものと判断した。

3. 2 変形性状

3. 2. 1 包絡線

最大耐力が大きかった正載荷について全試験体の包絡線を Fig.3 に示す。また、図中には計算による曲げ復元力特性⁴⁾を点線で、靱性指針⁵⁾による開孔の無い部分のせん断強度を破線で示した。

まず、最大耐力 Q_{max} に至る迄はいずれの試験体ともほとんど同じ履歴を示しており、開孔間隔、開孔補強量や中開孔の上部配置による影響はほとんど見られない。また初期剛性と 2 次剛性の実験値は概ね計算値と一致していることが分かる。曲げひび割れ発生荷重(a) Q_{cr} (+)は計算値よりやや大きい、これはひび割れ観測が目視によるためと考えられる。更に最大耐力は開孔の無い部分のせん断強度計算値には達していないことも確認できた。

次に最大耐力以降についてみると、大开孔の左右部分で破壊した No1 と No5 の耐力低下は、大开孔上下部分で破壊したその他の試験体に比べて緩やかものとなっているのが分かる。これは開孔上下部分が梁せいの小さな 2 本の梁のような挙動を示し、せん断破壊が緩やかに進行したためだと考えられる。

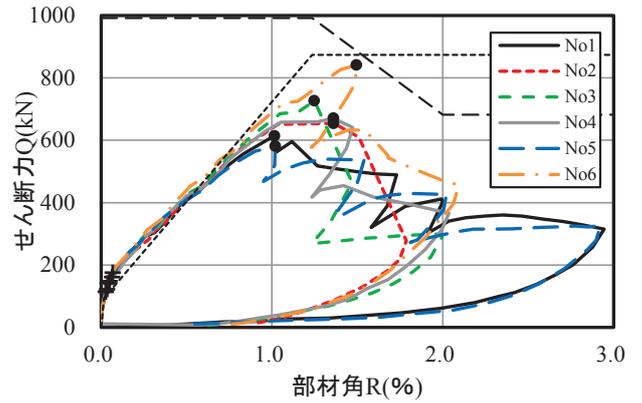


Fig.3 包絡線 (正載荷)

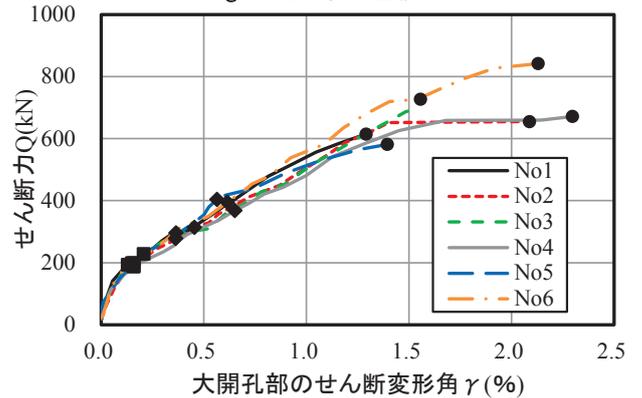


Fig.4 Q-大开孔部 γ 関係

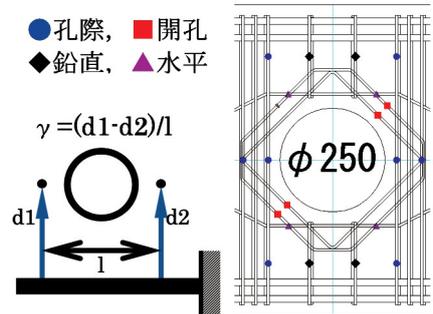


Fig.5 計測・ゲージ位置

3. 2. 2 大开孔部のせん断変形角

大开孔の左右の変位計測値から大开孔部のせん断変形角 (γ) を求めた (Fig.5 参照)。Fig.4 に全試験体のせん断力(Q)-大开孔部の γ 関係を最大耐力 Q_{max} までについて示す。なお、Q- γ 関係は包絡線と同じ荷重ステップで描いた。同図に大开孔のせん断ひび割れが発生した(c) Q_{d1} (■)位置をプロットしたが、その直前で Q- γ 関係が折れ曲がっているのが分かる。また開孔上下にせん断ひび割れが生じた(f) Q_{tb} (◆)をプロットしたが Q- γ 関係には影響を与えていないようである。No1,3,5 が $\gamma=1.5\%$ 前後で、No2,4,6 が $\gamma=2.0\%$ 前後で最大耐力に達しており、開口間隔、開孔補強筋量や中開孔の上部配置による影響は見られない。

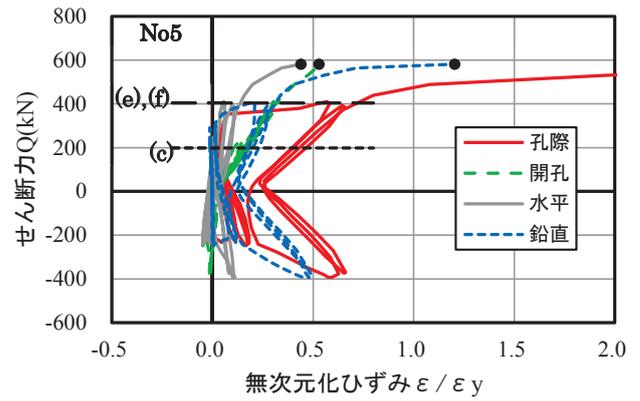
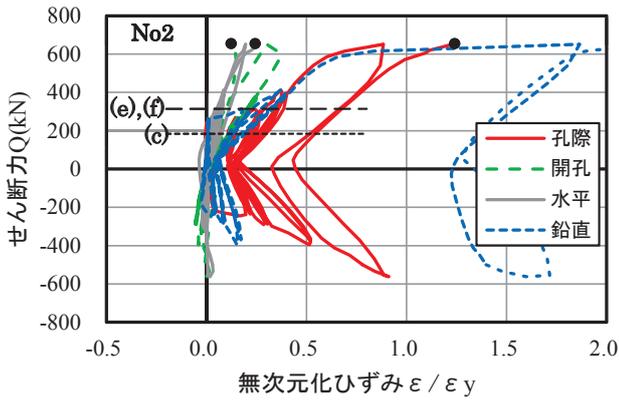


Fig.6 Q-無次元化ひずみ関係 (左: No2, 右: No5)

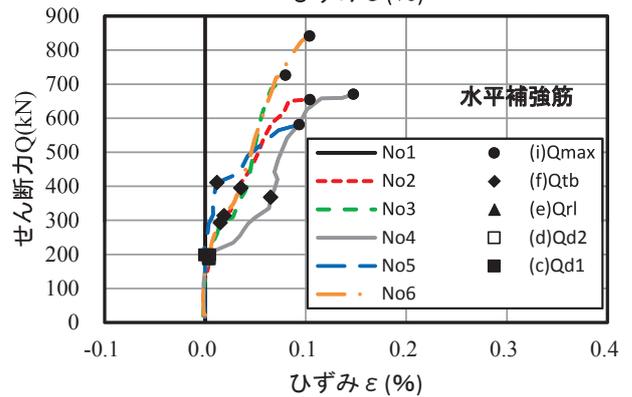
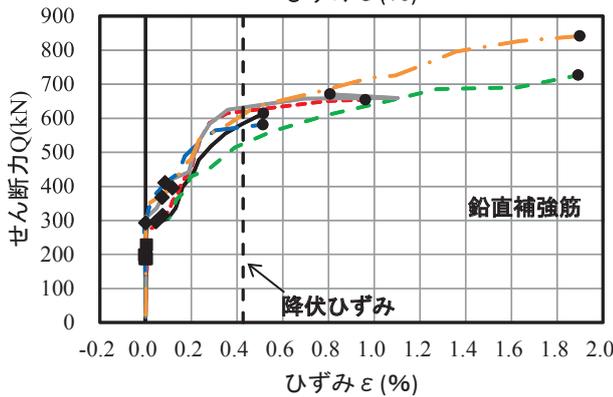
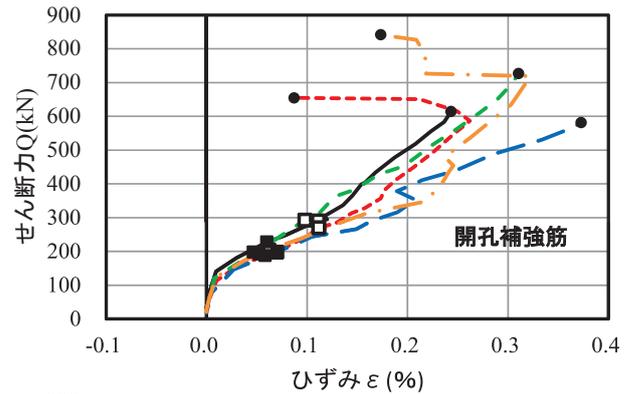
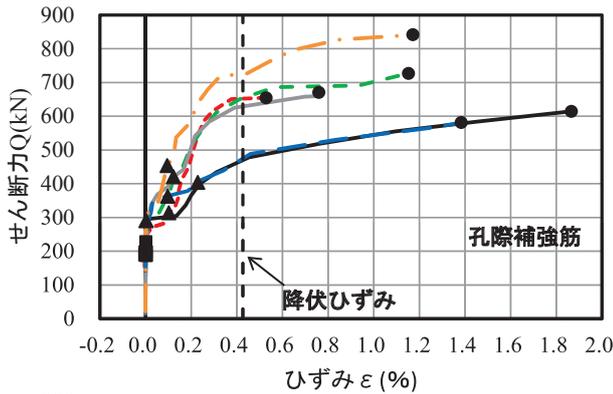


Fig.7 Q-ひずみε関係 (孔際, 開孔, 鉛直, 水平)

3. 3 鉄筋のひずみ性状

3. 3. 1 梁主筋

梁主筋のひずみは、全試験体ともゲージ貼付位置では降伏ひずみには到達しておらず、Q-R 関係で述べたように曲げ降伏強度に達しなかったことと整合していた。

3. 3. 2 大开孔周囲の補強筋の挙動

No2 と No5 試験体の大开孔部近傍の補強筋に貼付したひずみゲージ (Fig.5 参照) の履歴を Fig.6 に示す。大开孔周囲の補強筋 (孔際補強筋, 開孔補強筋, 水平補強筋, 鉛直補強筋) の効き具合を比較するためひずみは降伏ひずみ (ϵ_y) で無次元化し最大耐力までを図示した。No2 と No5 の違いは、水平補強筋量と開孔間のせん断補強筋量

の違いである。図から No2 と No5 とも孔際補強筋と鉛直補強筋は降伏しているが、開孔補強筋と水平補強筋は降伏していないのが分かる。また両試験体とも孔際、水平、鉛直補強筋は $Q=300\text{kN}$ からひずみが大きくなっており、大开孔左右と上下部分にせん断ひび割れが生じた荷重に対応している。開孔間のせん断補強筋が少ない No5 は No2 に比べて開孔補強筋と水平補強筋のひずみが大きくなっており、開孔間のせん断補強筋が開孔を近接させた場合のせん断強度に大きく寄与しているのが分かる。

3. 3. 3 補強筋ごとの比較

前項で示した4つの補強筋のせん断力 (Q) とひずみ (ϵ) 関係を Fig.7 に示す。Q- γ 関係と同様に包絡線と同じ荷

重ステップで示した。

・孔際補強筋：全試験体とも大開孔せん断ひび割れ発生(c)Q_{d1}(■)とともにひずみが大きくなり、最大耐力時には降伏しているのが分かる。開孔間のせん断補強筋が少ないNo1とNo5が大きなひずみとなっており、大開孔左右部分で最終破壊に至ったことと対応している。

・開孔補強筋：Q=150kNを超えてからひずみが大きくなっているが、高強度鉄筋(785級)であるために降伏はしていない。No2とNo6は最大耐力前にひずみが小さくなっている。これはコンクリートの破壊が進行して開孔補強筋の定着性能が低下したためだと考えられる。

・水平補強筋：孔際補強筋と同様に大開孔せん断ひび割れ発生(c)Q_{d1}(■)とともにひずみが大きくなっているが、降伏ひずみには達していない。開孔補強筋を設けなかったNo4は他の試験体に比べて若干ひずみが大きくなっていた。

・鉛直補強筋：大開孔上下部分のせん断ひび割れ発生(f)Q_{tb}(◆)からひずみが大きくなり、全試験体とも降伏ひずみを越えた。

以上のことから、大開孔に複数の中開孔を近接させた基礎梁の貫通補強方法としては、大開孔左右部分の孔際補強筋と大開孔上下部分の鉛直補強筋がせん断強度の増大に有効に寄与することが分かった。一方、開孔補強筋と水平補強筋は孔際補強筋に比べてせん断強度への寄与がやや小さいと考えられる。

3. 4 せん断ひび割れ幅

有孔梁の設計でも一般の梁と同様に長期応力と短期応力に対して安全になるように設計すべきであるとRC規準¹⁾に記載されている。本実験では基礎梁において開孔を近接させた場合のせん断性状を把握することが目的であるので、開孔部に生じたせん断ひび割れ幅の計測を行った。部材角R=1/400,1/200rad時の他にRC規準¹⁾による短期許容せん断力(建物の耐用年限中に数度は遭遇する程度の中規模な地震動)時の大開孔部のせん断ひび割れ幅(Table3内のひび割れ(c))をクラックスケールにて計測した。Fig.8にせん断ひび割れ幅の推移を示す。縦軸にせん断ひび割れ幅、横軸には4章で説明する補強筋比(Fig.9と同じ)で示した。R=1/400rad時(▲, Q≒270kN)は全試験体ともひび割れ幅は0.1mm以下、短期荷重時(■, Q≒

300kN)は開孔補強筋がないNo4が0.2mmであるがその他試験体は0.15mm以下である。R=1/200rad時(●, Q≒400kN)では開孔補強筋がないNo4と中開孔を上部配置したNo6の2体が0.3mmを超えるひび割れ幅となっていた。短期荷重時までは補強筋比の大きさによるせん断ひび割れ幅の影響はみられない。これらのことから開孔部のせん断ひび割れ幅の拡大を抑えるには開孔補強筋が有効であること、中開孔の上部配置がせん断ひび割れ幅に影響を与えることが確認できた。

4. 大開孔部のせん断強度

4. 1 実験値と計算値の比較

Table4に実験値最大耐力と大開孔部のせん断強度計算値をまとめたものを示す。開孔部のせん断強度はRC規準¹⁾の次式によった。

$$Q_{suo} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.23}(\sigma_B + 18)}{M/(Q \cdot d) + 0.12} \left(1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_{ws} \cdot \sigma_{wsy} + p_{wd} \cdot \sigma_{wdy}} \right\} b \cdot j \quad (1)$$

p_{ws}は実験計画時と同様に孔際補強筋を大開孔用と中開孔用に分別した場合(p_{ws1}, Q_{suo1}, 詳細は4.2参照)と分別しない場合(p_{ws2}, Q_{suo2})について計算した。なお、孔際補強筋の降伏強度σ_{wsy}は材料試験結果を、開孔補強筋の降伏強度σ_{wdy}は規格強度を用いた。比較値が小さい(Q_{max}/Q_{suo2})の場合でも十分に安全側に実験値を評価しているのが分かる。比較値だけをみると破壊位置の違いによる影響はないようである。つまり、上記の開孔部せん断強度式は開孔を近接させた場合でも安全側の評価を与えるが、破壊位置を区別することはできないと考えられる。

4. 2 近接開孔の補強方法

実験因子、最大強度と計算値の関係について考察する。本実験では3.3で説明したように開孔補強筋は降伏していなかったため、Table4内の孔際補強筋比p_{ws2}と開孔補強筋比p_{wd}の和で検討する。なお、p_{ws2}はC区間を示す斜め45度の線と交差する孔際補強筋比とする。

横軸に開孔補強筋比p_{ws2}+p_{wd}、縦軸に最大耐力Q_{max}と計算値Q_{suo2}としたものをFig.9に示す。●が最大耐力、

■が計算値であり、緑実線が最大耐力と計算値の差、黒破線が試験体の実験因子の変化である。なお、No2,3,6の計算値のプロット位置は分かり易いように水平方向にスライド（補強筋比は同じ）させて表示した。

まず実験因子と最大耐力の関係について検討する。

・No5→No1→No2 は補強筋比が徐々に増えている試験体であり、補強筋比の上昇とともに最大耐力も上昇している。また補強筋比が 0.8%以下の No5 は大開孔の左右部分で破壊しているのに対し、補強筋比が 1.0%以上の No2 は大開孔上部部分での破壊に移行しており補強筋比が破壊位置に影響を与えていると考えられる。

・No2→No3 は開孔上下部分の水平補強筋が 2・D6→7・D10 に増えたので、最大耐力の上昇もこの水平補強筋の補強効果によるものと考えられる。

・No3→No6 は中開孔の配置位置が異なる試験体であり、上部への配置により最大耐力が上昇しているので開孔間のせん断抵抗機構が変化したものと考えられる。

・No3→No4 は開孔補強筋の有無であり、補強筋比が下がっているのが最大耐力も低下しているのが分かる。注目したいのは、No5→No2 の勾配と No4→No3 の勾配が同じであり、最大耐力は補強筋比 $p_{ws2+p_{wd}}$ に比例していることである。このことから、大開孔の左右部分での破壊を防止するには、 p_{ws2} が 0.68%以上、 $p_{ws2+p_{wd}}$ が 0.79%以上必要であると言え、高強度開孔補強筋の開孔部せん断強度への寄与はやや小さいと考えられる。

次に最大耐力と計算値の関係について検討する。

・No5,1,2 の最大耐力と計算値の差は 3 体とも約 170kN であり、補強筋比と比例関係にある。

・No3 は前述したように開孔上下の水平補強筋の効果が計算式には入っていないためと考えられる。

・No4,6 の最大耐力と計算値の差は両方とも 300kN と大きく乖離している。No4 は開孔補強筋が無いために計算値が小さくなったので、No6 は中開孔の上部配置の影響が計算値に考慮されていないためであると考えられる。

これらのことから、大開孔のせん断強度算定に既往のせん断強度式を用いる場合は、孔際補強筋と鉛直補強筋とともに、高強度開孔補強筋の補強効果を適切に評価する必要があると考えられる。

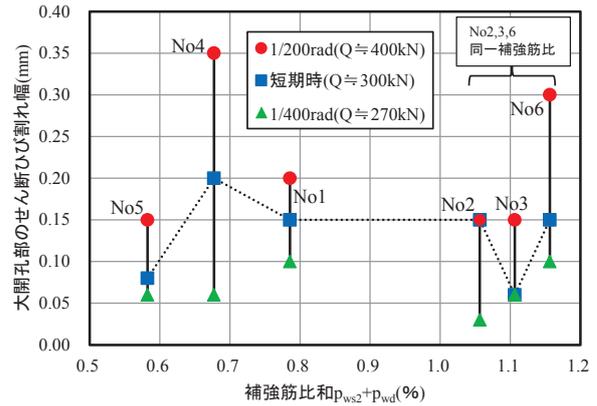


Fig.8 開孔部せん断ひび割れ幅の推移

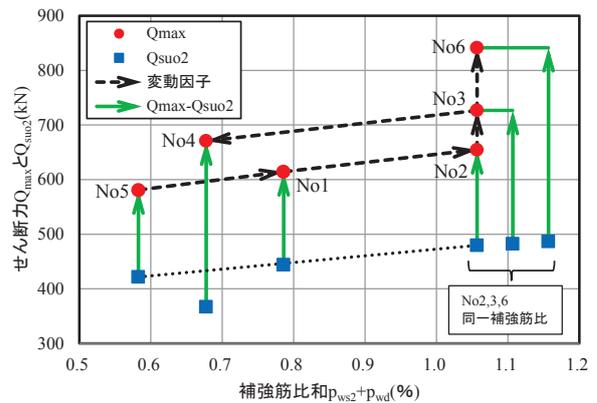


Fig.9 Q_{max} と Q_{suo2} - 補強筋比 $p_{ws2+p_{wd}}$ 関係

Table4 実験値と計算値の比較

	最大耐力 Q_{max} (kN)	破壊位置 (大開孔の)	孔際・開孔補強筋比			開孔部せん断強度		比較値	
			p_{ws1} (%)	p_{ws2} (%)	p_{wd} (%)	Q_{suo1} (kN)	Q_{suo2} (kN)	$\frac{Q_{max}}{Q_{suo1}}$	$\frac{Q_{max}}{Q_{suo2}}$
No1	615	左右	0.41	0.41	0.38	444	444	1.38	1.38
No2	655	上下	0.41	0.68	0.38	444	480	1.47	1.36
No3	727	上下	0.41	0.68	0.38	447	483	1.63	1.51
No4	671	上下	0.41	0.68	0.00	311	367	2.16	1.83
No5	581	左右	0.14	0.20	0.38	411	422	1.41	1.38
No6	841	上下	0.41	0.68	0.38	451	487	1.86	1.73

5. まとめ

中開孔を大開孔に近接させた梁試験体の曲げせん断実験により、RC 基礎梁のせん断性状について評価した。

- (1) 開孔を近接させた場合、2つの破壊形式を示した。単開孔と同様な開孔上下部分における破壊形式と開孔間部分における破壊形式である。
- (2) 開孔間隔、補強量や中開孔の上部配置が最大耐力に至るまでの Q-R 関係に及ぼす影響は小さかった。
- (3) 孔際補強筋と鉛直補強筋は降伏しており、せん断強度の増大に有効に寄与した。
- (4) 開孔補強筋は開孔周りのひび割れ幅の抑制に効果が

見られた。

- (5) 開孔部のせん断強度は既往の単開孔のせん断強度算定式により安全側に評価できたが、(1)で述べた破壊形式は判別できなかった。
- (6) 開孔間のせん断破壊はこの部分に配置する孔際補強筋（強度，断面積）により防止できると考えられる。
- (7) 中開孔を大開孔より上部に配置した場合，開孔部のせん断強度が増大した。

なお，中開孔が近接した大開孔を有する基礎梁の破壊形式の判別などの補強設計方法・規定については，今後の課題とした。

謝辞

本研究は民間企業 12 社（青木あすなる建設，浅沼組，奥村組，熊谷組，鴻池組，銭高組，東亜建設工業，飛島建設，長谷工コーポレーション，ピーエス三菱，三井住友建設，コーリョー建販）で実施した成果の一部をまとめたものである。関係者の皆さまに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，pp.71-77，pp.354-364，2010年版
- 2) 村上秀夫他：高強度開口補強金物を用いた RC 有孔梁のせん断性状に関する実験研究，日本建築学会学術講演梗概集（北陸）C-2，pp.237-238，2002.8
- 3) 細矢博他：開孔を有する高強度 RC 梁の構造性能に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集（関東）C-2，pp.355-356，2001.9
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料，p.81，1987.9
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，pp.142-162，1999

Experimental research for shear-behavior on RC footing beam bearing adjacent web openings

Makoto HAMADA, Yusuke KONDO and Nobuyuki IZUMI

Abstract

Although the large openings as well as the small others through footing beam of RC structure are designed, a designer has been strictly controlled by the prescribed structural design code which details configuration between the openings. Accordingly, this research evaluated shear-behavior on the RC footing beam in order to enhance the flexibility of the opening design, experimenting of bending shear with beam specimens in which two small openings placed adjacent to large one. These results, despite the beam with the openings, indicated that the compatibility is on safety side with the conventional formula for shear strength on footing beam with web opening, as long as shear reinforcement was properly arranged at the interspace between the large and small openings.

Key words: RC footing beam, Web opening, Man pass opening(large opening), Adjacent web opening, Shear strength
