

# 高強度開孔補強金物を用いた大開孔を有する基礎梁の曲げせん断実験

## Experimental Study on the Behavior of Reinforced Concrete Grade Beams with a Large Web Opening Using High Strength Opening Reinforcement Hardware

五十嵐治人\*<sup>1</sup> 相羽均修\*<sup>2</sup> 土方勝一郎\*<sup>3</sup>

### 概要

一般に、直径 600mm の人通孔を有する鉄筋コンクリート造の基礎梁は、梁せいが 1,800mm 以上必要となる。この梁せいを 1,500mm まで縮小できる技術について既報<sup>1)2)</sup>で報告した。

今回は、開孔補強金物について、軽量で施工性に優れた高強度せん断補強筋を使用した製品に限定し、構造実験を実施した。

着目点は、①開孔直径と梁せいの比、②開孔部補強筋(孔際補強筋、開孔補強金物)、③コンクリート強度、④開孔上下の配筋仕様、その他、既報<sup>1)2)</sup>では開孔はスパン中央に 1 個のみの状態しか確認しなかったが、⑤開孔のスパン方向の位置、隣接する小開孔の有無についても、その終局耐力への影響について確認した。

結果として、①～③に関しては修正広沢式<sup>4)</sup>によって終局耐力を適切、かつ安全側に評価できること、④に関しては一定量の配筋をすれば、終局耐力に影響を及ぼさないことが分かった。⑤に関しては開孔位置、他の小開孔との離隔距離のいずれについても、既往の規定を満足した状態であれば、終局耐力に影響を及ぼさないことが確認できた。

key words : 鉄筋コンクリート、基礎梁、貫通孔、開孔補強金物、構造性能確認実験

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート造の基礎梁には、設備配管の保守・点検を行うために人通孔が設けられる。一般に人通孔の開孔直径(以下、孔径)は、容易に人や機材が通れる大きさとして 600mm 以上とする必要がある。一方、RC 規準<sup>3)</sup>では、梁に設ける貫通孔の孔径は梁せいの 1/3 以下が望ましいとされている。このため、人通孔を有する基礎梁の梁せいは、構造計算から定まる断面寸法ではなく、人通孔の孔径から決まる場合があり、これは土工事や躯体工事の合理性を欠くこととなる。孔径を梁せいの 1/2.5 とできれば、

これらの不具合を解消できることが期待される(図-1)。

既報<sup>1)2)</sup>において、既製の開孔補強金物を用いて梁せいに対する孔径の割合(以下、開孔径比)を 1/2.5 とした場合の開孔部せん断耐力について報告した。今回は開孔補強金物を、軽量で施工性に優れた高強度鉄筋(KSS785-K)を使用した製品に限定して実験を実施し、各種因子の開孔部終局せん断耐力に及ぼす影響について検討した。特に既報<sup>1)2)</sup>で確認しなかった事項として、開孔がスパン中央よりずれた場合、小開孔が隣接して設けられた場合についても、その影響を確認した。

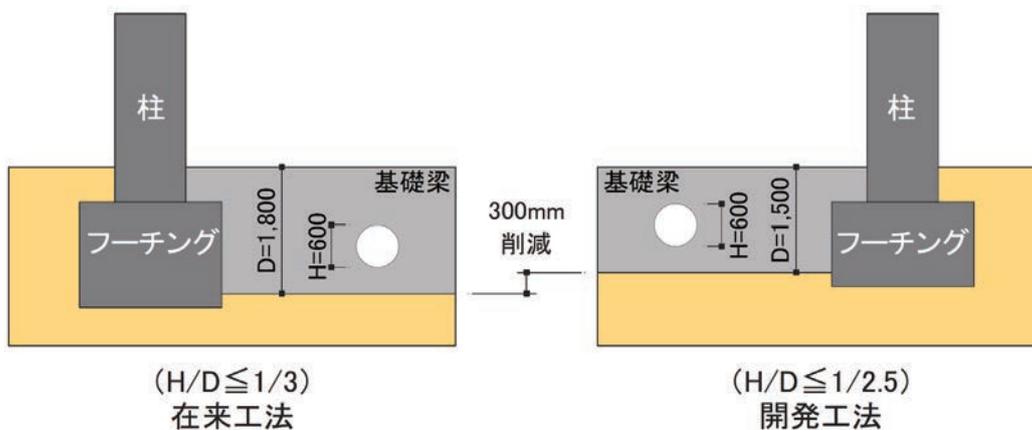


図-1 工法の概要

\*1 Haruhito IGARASHI

技術本部技術研究所 主席研究員

\*2 Masanobu AIBA

技術本部技術研究所 研究員

\*3 Katsuichirou HIJIKATA

顧問 博士(工学)

2. 実験概要

2.1 試験体

標準的な開孔周囲の配筋状態を図-2に示す(詳細は既報<sup>1)2)</sup>参照)。開孔周囲の補強鉄筋は、次のとおりである。

- a) 開孔補強金物：材質 KSS785-K の高強度鉄筋を用いた梁貫通孔せん断補強材で、四角形の内リング、八角形の外リングよりなる閉鎖型の形状をなすもの。
- b) 孔際補強筋：図-2に示すC区間内、かつ開孔直近に密に配筋されたせん断補強筋。ただし、C区間内であっても集中的に配筋されていないものはこれに含めない。
- c) 水平補強筋：全長を孔径の3倍として開孔の直上直下に梁材軸方向に配筋し、主筋、開孔上下補強筋とともに開孔上下に梁型の配筋をなすもの。
- d) 開孔上下補強筋：最外縁主筋と水平補強筋間を補強するよう閉鎖型に配筋した鉄筋。ただし、形状はキャップタイを用い、上下とも開孔側にキャップタイを設けるものとした。

試験体一覧を表-1に示す。試験体数は10体で、共通事項は梁幅、梁せい、梁内法長さ、主筋、水平補強筋、一般部せん断補強筋の仕様である。試験体縮尺は1/2~1/2.5とした。試験体の開孔位置を図-3に、大開孔周囲の配筋(試験体 No.11、17)を図-4に示す。なお、孔際補強筋は、開孔からの距離を実状に近づけるため、3列分の配筋を束ね筋として2列に配筋した。

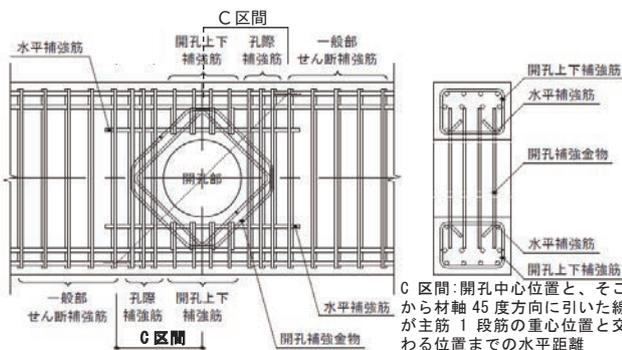


図-2 開孔周囲の配筋状況

試験体相関図を図-5に示す。標準試験体をNo.14として、実験パラメータを次のとおりに設定とした。

- ①開孔径比 H/D：1/2.5 (No.11)、1/3 (No.10)
- ②開孔部補強筋比 ( $p_{ws}$ 、 $p_{wd}$ )：
  - (0.65%、0.61%) (No.14)、(0.43%、0.61%) (No.13)、
  - (0.65%、0.41%) (No.12)、(0.43%、0.41%) (No.11)
- ③開孔部上下補強筋  $p_{oe}$ ：0.32% (No.14)、0.64% (No.17)
- ④コンクリート強度：
  - Fc21 (No.15)、Fc30 (No.14)、Fc42 (No.16)
- ⑤開孔位置：中央 (No.14)、
  - 偏心 (No.18)、偏心+小開孔 (No.19)

なお、試験体 No. 18、No. 19 の大開孔の偏心位置は、大開孔縁ー梁端部距離が梁せいの 0.9 倍の 675mm とした。No. 19 の小開孔の位置は、大開孔との中心間隔が双方の孔径の平均の 3 倍とした。

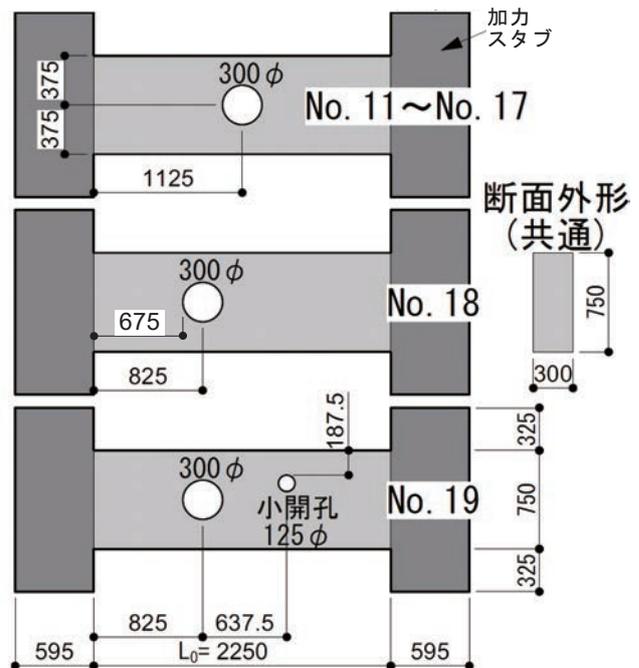


図-3 試験体開孔位置

表-1 試験体一覧

試験体名	Fc	大開孔					小開孔	共通事項、備考			
		位置	H/D	$p_{ws}$	$p_{wd}$	$p_{oe}$			$H_1/D$		
No.10	30	中央	1/3	0.43	0.41	0.38	なし	b×D×L <sub>o</sub> =300×750×2,250 梁主筋 4.4-D16(上下端とも) $p_t=0.78(\%)$ 水平補強筋 2-D13 一般部せん断補強筋 4-D10@90 $p_w=1.06(\%)$ 孔際補強筋比(%) $p_{ws} = a_s / (b \cdot C)$ $a_s$ : 孔際補強筋全断面積 開孔補強金物比(%) $p_{wd} = \sqrt{2}n_d \cdot a_d / (b \cdot C)$ $n_d$ : 開孔補強金物枚数 開孔上下補強筋比(%) $p_{oe} = a_o / (b \cdot H)$ $a_o$ : 開孔上下補強筋断面積 C: C区間長さ(開孔中心 - 主筋1段筋重心間距離と等しい) $a_d$ : 開孔補強金物の計算用断面積 H: 大開孔直径 $H_1$ : 小開孔直径 No.19 小開孔 孔際補強筋 3-D10 2組 $p_{ws}=0.43\%$ 開孔補強金物 S10 3枚 $p_{wd}=0.61\%$			
No.11			1/2.5						0.61	0.32	
No.12			1/2.5						0.41	0.32	
No.13			1/2.5	0.41	0.32	0.63					
No.14			21	1/2.5	0.65	0.61			0.32	なし	
No.15			42	1/2.5	0.65	0.61			0.63	なし	
No.16			42	1/2.5	0.65	0.61			0.63	なし	
No.17			30	中央	1/2.5	0.65			0.61	0.63	なし
No.18			30	端部	1/2.5	0.65			0.61	0.32	なし
No.19	30	端部	1/2.5	0.65	0.61	0.32	1/6				

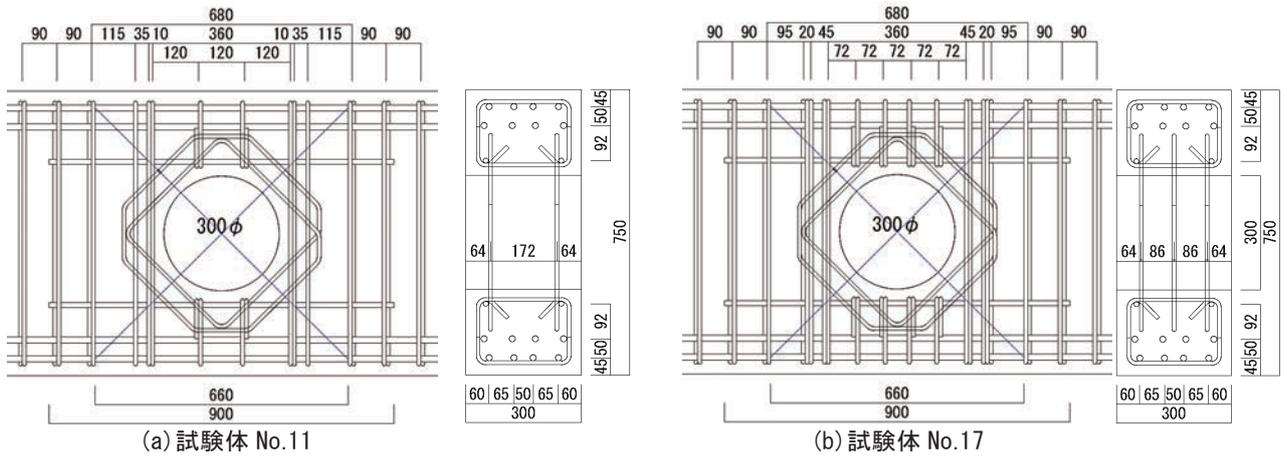


図-4 大開孔周囲の配筋

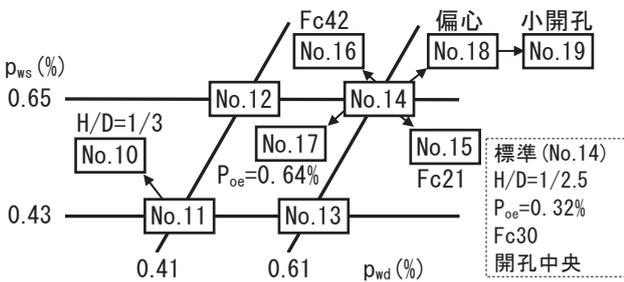


図-5 試験体相関図

2.2 使用材料

鉄筋の引張試験結果を表-2に、コンクリートの試験結果を表-3に示す。開孔補強金物に使用した KSS785-K、主筋に使用した D16(熱処理)の降伏応力は 0.2%オフセット法で求めた。コンクリートの粗骨材の最大寸法は、試験体縮尺(1/2~1/2.5)を考慮して 13mm の 6 号砕石を使用した。コンクリートの材料特性は、各試験体の実験実施日に併せて行った結果より求めた。

2.3 荷重方法

加力装置図を図-6に示す。加力は、建研式加力装置を用い試験体を 90 度回転させ、正負交番の繰り返し漸増荷を行った。なお、試験体の内法スパン中央高さが主ジャッキ高さより 125mm 低いため、試験体上下スタブが常に平行となるように副ジャッキに、主ジャッキと逆方向の補正力を適切に加えることで制御した。加力サイクルを図-7に示す。荷重は部材変形角  $R (= \delta / L_o, \delta : \text{上下スタブ間の相対変位}, L_o : \text{梁の内法スパン長})$  で制御し、 $R = \pm 1/800, \pm 1/600, \pm 1/400, \pm 1/200 \text{rad}$  を各 2 回、 $R = \pm 1/133 \text{rad}$  を 1 回繰り返した後に正荷重方向に押し切り(ジャッキとしては引切り)加力とした。ただし、試験体 No. 16 は、最大耐力がジャッキの荷重能力を超えるため、 $R = -1/133 \text{rad}$  荷重後、荷重を 0 に戻した後に負荷重方向に押し切り加力とした。

表-2 鉄筋引張試験結果

種別	規格	使用箇所	$\sigma_y$	$\sigma_u$	e	備考
D10	SD295	せん断補強筋 孔際補強筋 開孔上下補強筋	375	522	18.9	$\sigma_y$ :降伏応力度 $\sigma_u$ :引張強度(N/mm <sup>2</sup> ) e:伸び率(%)
S10	KSS785-K	開孔補強金物	904	1140	9.0	*D16, S10 の $\sigma_y$ は 0.2%オフセット耐力
D13	SD295	水平補強筋	345	504	23.0	
D16	熱処理	梁主筋	1036	1137	5.9	

表-3 コンクリート試験結果

試験体	$\sigma_B$	$\sigma_t$	$E_c$	$\nu$	試験体	$\sigma_B$	$\sigma_t$	$E_c$	$\nu$
No.10	37.1	2.47	30.3	0.21	No.15	27.2	2.03	25.9	0.19
No.11	37.9	2.42	28.7	0.19	No.16	51.4	3.29	30.9	0.20
No.12	36.2	2.33	28.0	0.18	No.17	38.9	2.77	27.7	0.19
No.13	37.8	2.25	28.7	0.20	No.18	36.9	2.57	26.5	0.21
No.14	38.2	2.64	26.5	0.18	No.19	37.7	2.74	27.4	0.21

備考  
 $F_c$ : 21 (No.15) 30 (No.10~14, 17~19) 42 (No.16)  
 $\sigma_B$ : 圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)  $\sigma_t$ : 割裂強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $E_c$ : ヤング率 (kN/mm<sup>2</sup>)  $\nu$ : ポアソン比

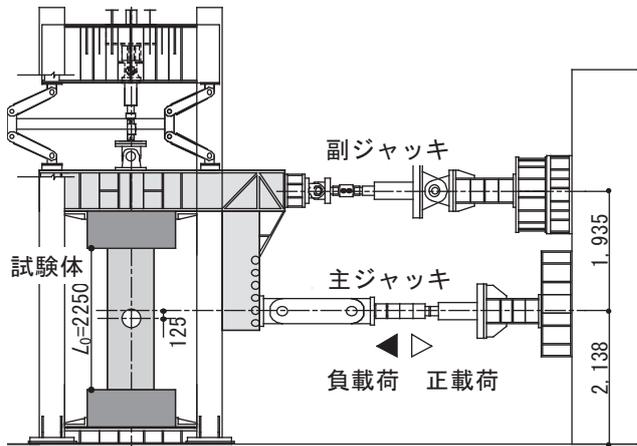


図-6 建研式加力装置

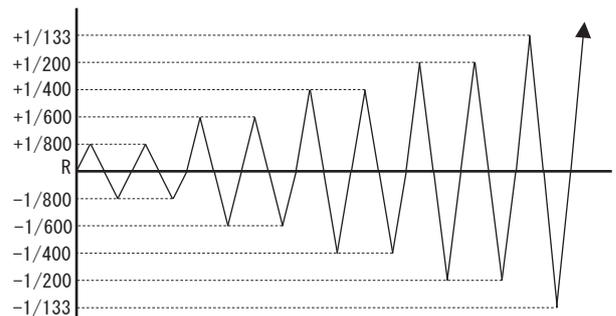


図-7 加力サイクル図

3. 実験結果および考察

3.1 最大耐力

実験より得られた最大耐力と計算値を比較した結果を表-4、図-8に示す。計算値  $Q_{SU0}$  は式(1)に示す修正広沢式<sup>4)</sup>を用いた。実験の結果、いずれの試験体も最大耐力は計算値を上回っており、式(1)により最大耐力を安全側に評価できることが分かった。余裕度 ( $Q_{max}/Q_{SU0}$ )=1.13~1.50、標準偏差=0.109で、ばらつきは小さかった。

$$Q_{SU0} = \left\{ \frac{0.092k_u \cdot k_p(\sigma_B + 18)}{M/(Qd) + 0.12} \left( 1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_{ws} \cdot \sigma_y + p_{wd} \cdot \sigma_y} \right\} b \cdot j \quad (1)$$

ここで、 $k_u = 0.72$ 、 $k_p = 2.36p_t^{0.23}$ 、 $p_t$ :引張鉄筋比

$\sigma_B$ :コンクリート強度(N/mm<sup>2</sup>)

$M/(Qd)$ :せん断スパン比、 $H$ :孔径(mm)

$D$ :梁せい(mm)、 $b$ :梁幅(mm)

$j$ :応力中心間距離(mm)、

$p_{ws}$ :孔際補強筋比、 $p_{wd}$ :開孔補強金物比、

$\sigma_y$ :孔際補強筋降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_y$ :開孔補強金物降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)で、以下による

$$\sigma_y = \min\{785, \max(20\sigma_B, 40\sigma_B - 540)\}$$

3.2 Q-R 関係、最終破壊状況

部材変形角 R-せん断力 Q 関係および試験体の最終破壊状況を図-9に示す。図中には最大耐力点  $Q_{max}$ 、式(1)によるせん断終局耐力  $Q_{SU0}$  の他、試験体の曲げひび割れ、せん断ひび割れ、大开孔周囲の斜めひび割れが生じた点および各補強筋の降伏が最初に生じた点を併せて示した。実験結果は下記のとおりである。

最終破壊形態は、全ての試験体において大开孔に接した斜め45度方向のひび割れが大きく広がり、大开孔中心から斜め45度方向のひび割れは余り進展しなかった。最大耐力の生起変形角は、1/100程度であった。ただし、No.13はR=-1/133に向かう途中でせん断破壊したため、R=1/133サイクルのピーク時の値が最大耐力となった。

主筋、開孔補強金物は、いずれの試験体も降伏しなかった。孔際補強筋は、No.11、12、14、15には降伏は見られなかった。水平補強筋は、 $Q_{max}$  生起以前に降伏した試験体はなく、No.12、16の2体のみ  $Q_{max}$  生起後に降伏した。開孔上下補強筋は、他の試験体よりも配筋量の多いNo.17のみ  $Q_{max}$  生起直前に降伏した。その他の試験体は、降伏しても  $Q_{max}$  生起後か、最後まで降伏しなかった。

したがって、最終破壊形態は大开孔に接した斜め45度方向のひび割れであること、最大耐力の生起変形角は1/100程度であること、開孔補強金物に高強度鉄筋を使用することは有効であること、水平補強筋および開孔上下補強筋は最大耐力にほとんど影響しないことが分かった。

表-4 実験結果 最大耐力と計算値

試験体	$Q_{max}$ (kN)	$Q_{SU0}$ (kN)	$\frac{Q_{max}}{Q_{SU0}}$	試験体	$Q_{max}$ (kN)	$Q_{SU0}$ (kN)	$\frac{Q_{max}}{Q_{SU0}}$
No.10	654	465	1.41	No.15	512	447	1.15
No.11	576	434	1.33	No.16	805	535	1.50
No.12	611	485	1.26	No.17	615	511	1.20
No.13	523	461	1.13	No.18	642	509	1.26
No.14	615	511	1.20	No.19	646	509	1.27

$Q_{max}$ :実験結果最大耐力  $Q_{SU0}$ :せん断耐力計算値

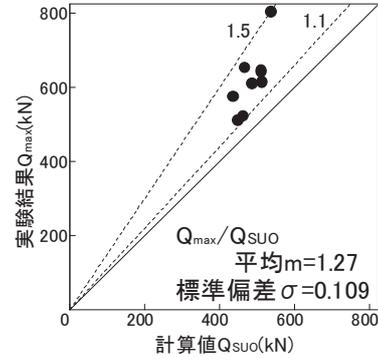


図-8 実験結果 最大耐力と計算値

3.3 Q-R 関係包絡線の比較

実験パラメータの影響を検討するため、Q-R 関係の包絡線を比較した結果を図-10に示す。図は最大耐力  $Q_{max}$  が生じた正側載荷時の Q-R 関係であるが、試験体 No.16 は  $Q_{max}$  が負側で生じたため最終サイクルは負側の包絡線を用いた。

①開孔径比(H/D)の影響(No.10、11)

開孔径比が大きいNo.11(H/D=1/2.5)は、開孔径比が小さいNo.10(H/D=1/3)よりも低い最大耐力を示した。

②補強筋比( $p_{ws}$ 、 $p_{wd}$ )の影響(No.11、12、13、14)

No.13( $p_{ws}=0.65\%$ 、 $p_{wd}=0.41\%$ )が、負側R=-1/133載荷中にせん断破壊を起こし、他の試験体と異なる結果となった。ただし、せん断破壊するまでのQ-R関係は他の試験体と同等であった。

③開孔上下補強筋比( $p_{oe}$ )の影響(No.14、17)

最大耐力  $Q_{max}$ 、生起変形角ともに同等であり、開孔上下補強筋比の影響は見られなかった。開孔周囲のひび割れ発生荷重も同様であり、開孔周囲の性状にはほとんど影響しないと考えられる。

④コンクリート強度( $\sigma_B$ )の影響(No.14、15、16)

コンクリート強度が高いほどせん断耐力  $Q_{max}$  は大きく、式(1)に対する余裕度も大きくなる傾向が見られた。これは、コンクリート強度が高いほど高強度鉄筋である開孔補強金物とバランスが取れ、より有効に働くためと考えられる。

⑤開孔位置、隣接小開孔の影響(No.14、18、19)

最大耐力  $Q_{max}$ 、生起変形角ともに同等であり、開孔位置、隣接小開孔の影響は見られなかった。

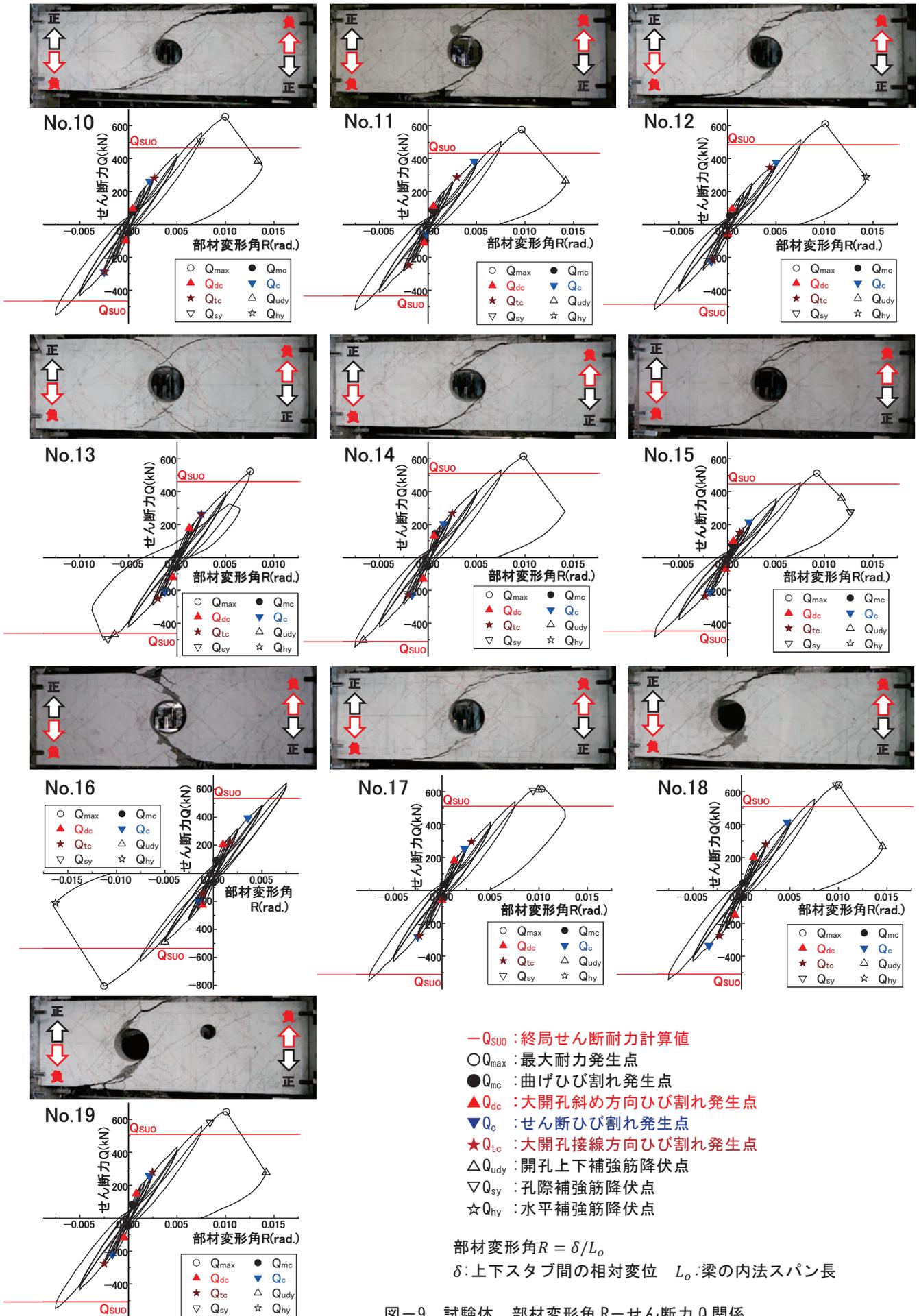


図-9 試験体 部材変形角 R-せん断力 Q 関係

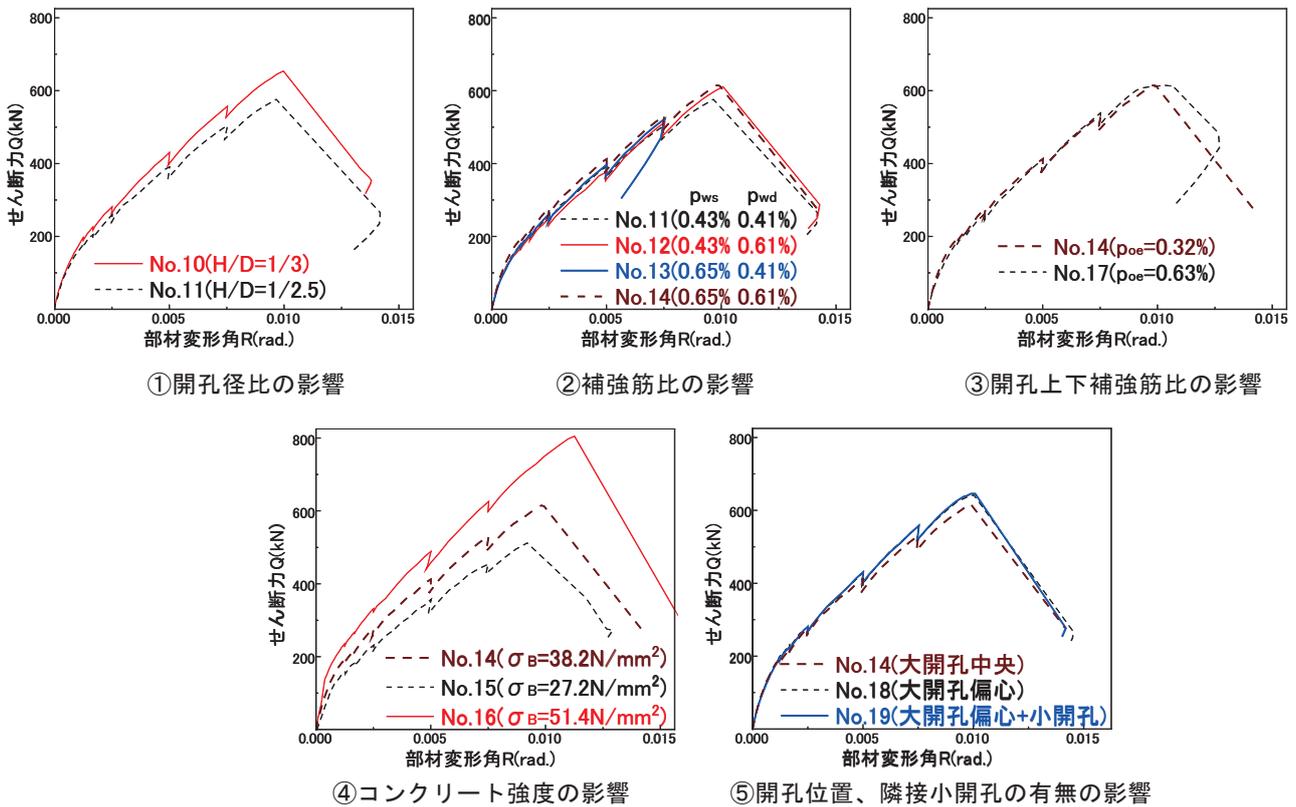


図-10 実験結果 包絡線の比較

以上より、最大耐力  $Q_{max}$  に影響をおよぼすパラメータは、開孔径比 ( $H/D$ )、補強筋比 ( $p_{ws}$ 、 $p_{wd}$ )、コンクリート強度 ( $\sigma_B$ ) であることが分かった。

4. まとめ

開孔部を、高強度鉄筋 (KSS785-K) を使用した開孔補強金物で補強した梁に対して載荷実験を行い、終局せん断耐力におよぼす開孔径比、補強筋比、コンクリート強度、開孔上下補強筋比、開孔位置・隣接小開孔の有無の影響について確認した。その結果、以下のことが分かった。

- ① 高強度補強金物を用いた開孔部の終局せん断耐力  $Q_{max}$  に影響をおよぼすパラメータは、開孔径比 ( $H/D$ )、補強筋比 ( $p_{ws}$ 、 $p_{wd}$ )、コンクリート強度 ( $\sigma_B$ ) であり、いずれも、今回実施したパラメータの範囲において最大耐力は修正広沢式<sup>4)</sup>で安全側に評価できる。
- ② 開孔上下補強筋は、今回実施した補強量 ( $p_{oe}=0.32\%$ ) で充分であり、それ以上配筋しても耐力は変わらない。
- ③ 既往の規定 ( $H/D \leq 1/3$  の場合) は、以下となっている。
  - ・開孔の縁は柱際より梁せい分以上離す。
  - ・他の小開孔との離隔は、開孔中心間距離が双方の孔径の平均の3倍以上となるよう離す。

$H/D=1/2.5$  の場合においても、開孔の縁を柱際より梁せいの0.9倍、隣接小開孔との離隔は双方の孔径の平均の3倍であっても、終局耐力には影響しない。

【謝辞】

本研究は、鹿島建設、鴻池組、清水建設、コーヨー建販との共同で実施した。また、実験実施に際しては大阪工業大学馬場教授研究室の皆様にご多大なご協力を頂いた。実験実施、論文作成にあたり、多大なご助言、ご助力を頂いた関係各位に深甚なる謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 五十嵐治人：既製開孔補強製品を用いた大開孔を有する基礎梁の曲げせん断実験、銭高組技報 No. 42、2017. 11
- 2) 五十嵐治人：既製開孔補強製品を用いた大開孔を有する基礎梁の曲げせん断実験-高強度補強金物の影響-、銭高組技報 No. 43、2018. 11
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、pp. 393~402、2018. 12
- 4) 広沢雅也、清水泰、山田二男：鉄筋コンクリート造有孔ばりのせん断強度と靱性(その1)、建築技術、No. 331、pp. 93~101、1979. 3
- 5) 広沢雅也、清水泰、山田二男：鉄筋コンクリート造有孔ばりのせん断強度と靱性(その2)、建築技術、No. 332、pp. 139~153、1979. 4