

論文 住宅用基礎梁の開口部補強構造に関する実験的研究

武内 孝樹*1・徳重 充*2・中野 克彦*3

要旨：戸建住宅等の RC 造基礎梁では、主筋およびせん断補強筋がシングルに配筋される場合が一般的であり、従来の RC 造とは異なる構造性能評価が必要とされる。一方、梁に開口が設けられた場合、明確な補強方法が無いのが現状である。本実験では、推奨基礎仕様マニュアル¹⁾を参考に計画した梁に現場施工で開口を設けた場合を想定し、梁開口部に改良型の補強金物を使用した場合の補強効果を広沢修正式により算出し、破壊モードの違いによる実験を行った。その結果、実験値のせん断応力度は推奨基礎せん断応力度の 1.4 倍以上を確認でき、補強筋による開口補強部のひび割れ制御においても良好な結果を示した。

キーワード：基礎梁、開口、開口部補強

1. はじめに

戸建住宅等の RC 造基礎梁では、主筋およびせん断補強筋がシングルに配筋される場合が一般的であり、主筋がせん断補強筋により拘束されている従来の RC 造とは異なる構造性能評価が必要である。一方、設備配管の要求などによって、基礎梁に開口が設けられることにより、構造的に大きな欠陥となることが懸念されるが、シングル配筋による RC 造有孔梁の明確な開口補強方法が無い

のが現状である。

本研究では、主筋とせん断補強筋を工場で A タイプのスポット溶接(溶接された主筋の降伏点、引張強さおよび伸びが溶接前の母材の JIS 規格値以上であり、溶接点のせん断強度がせん断補強筋の短期の引張応力度以上になるように品質管理されている)をした組立鉄筋ユニットを使用した。現場で開口部補強金物を使用することを想定するため、シングルに配筋された RC 造基礎梁の

表-1 試験体一覧および計算値一覧(第1シリーズ)

No.	試験体名	開口位置	開口部補強筋				計算値				タイプ ⁴⁾
			孔際	縦補強筋比 $p_{ws}(\%)$	金物	斜め補強筋比 $p_{wo}(\%)$	$Q_{mu}^{1)}$ (kN)	$Q_{su}^{2)}$ (kN)	$Q_s^{3)}$ (kN)	Q_s/Q_m	
1	RC-M-24	—	—	0	—	0	77.6	119	120	1.55	—
2	HCC-M-0	中央-中央	—	0	—	0			44.7	0.58	—
3	HCC-M-D1	中央-中央	—	0	2-D10	0.66			128	1.65	I
4	HCC-M-D1	中央-下端	—	0	2-D10	0.66			128	1.65	I
5	HCC-M-D2	中央-中央	1-D10	0.23	2-D10	0.66			141	1.82	II
6	HCC-M-D2	端部-中央	1-D10	0.23	2-D10	0.66			141	1.82	II

1) 主筋降伏時のせん断力, $\sigma_y = 383.3\text{N/mm}^2$ (D22 (SD345))

2) 荒川min式によるせん断力, 圧縮応力度: $\sigma_B = 27.0\text{N/mm}^2$, 引張応力度: $\sigma_y = 354.0, 361.8\text{N/mm}^2$ (D10, 補強金物 (SD295A))

3) 広沢修正式によるせん断力, $\sigma_B = 27.0\text{N/mm}^2$, $\sigma_y = 354.0, 361.8\text{N/mm}^2$ (D10, 補強金物 (SD295A))

4) I: 補強金物+横筋, II: 補強金物+縦筋

表-2 試験体一覧および計算値一覧(第2シリーズ)

No.	試験体名	開口位置	開口部補強筋				計算値				タイプ ⁴⁾
			孔際	縦補強筋比 $p_{ws}(\%)$	金物	斜め補強筋比 $p_{wo}(\%)$	$Q_{mu}^{1)}$ (kN)	$Q_{su}^{2)}$ (kN)	$Q_s^{3)}$ (kN)	Q_s/Q_m	
1	HCC-S-D1	中央-中央	—	0	2-D10	0.66	216	158	126	0.58	I
2	HCC-S-D2		1-D10	0.23	2-D10	0.66			138	0.64	II
3	HCC-S-S1		2-D10	0.36	—	0			113	0.52	III
4	HCC-S-S2		2-D13	0.82	—	0			136	0.63	III

1) 主筋降伏時のせん断力, $\sigma_y = 376.7, 405.7\text{N/mm}^2$ (D22, D16 (SD345))

2) 荒川min式によるせん断力, $\sigma_B = 28.2\text{N/mm}^2$, $\sigma_y = 345.0, 361.4, 358.3\text{N/mm}^2$ (D13, D10, 補強金物 (SD295A))

3) 広沢修正式によるせん断力, $\sigma_B = 28.2\text{N/mm}^2$, $\sigma_y = 345.0, 361.4, 358.3\text{N/mm}^2$ (D13, D10, 補強金物 (SD295A))

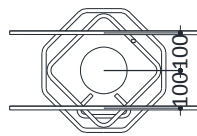
4) I: 補強金物+横筋, II: 補強金物+縦筋, III: 孔際縦筋

*1 千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 (学生会員)

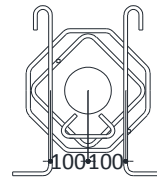
*2 千葉工業大学 工学研究科 工学専攻 修士 (学生会員)

*3 千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科教授 博士(工学) (正会員)

開口部補強金物 D10
横補強筋 D10
接点 A タイプ溶接



タイプ I 補強金物



タイプ II 補強金物

開口部補強金物 D10
上部 180°-下部 90°
フック筋 D10
接点 A タイプ溶接

図-1 開口部補強筋の形状

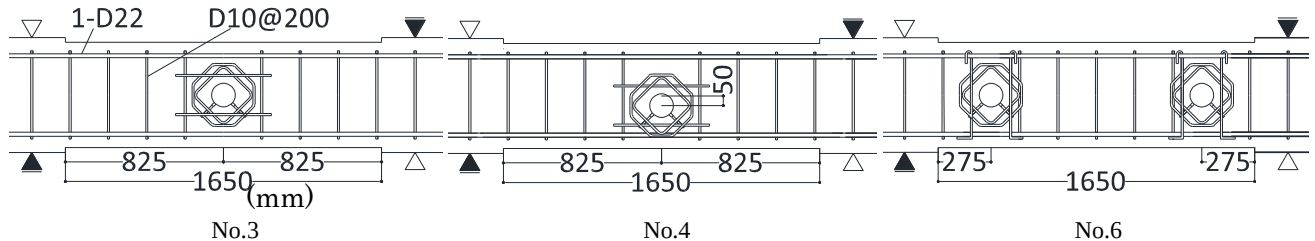


図-2 試験体形状の一例（第 1 シリーズ）

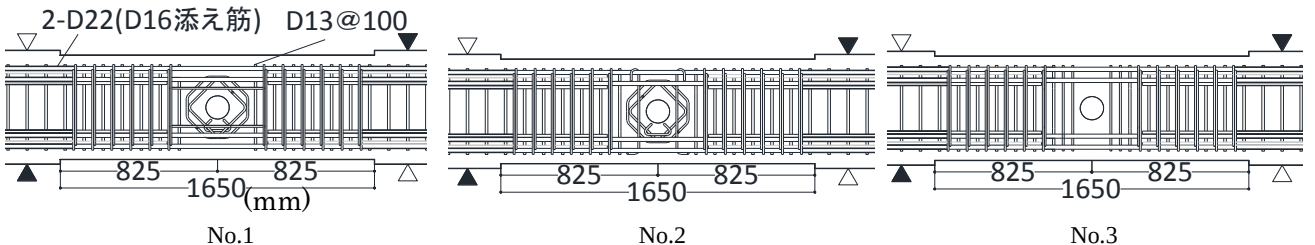


図-3 試験体形状の一例（第 2 シリーズ）

配管設備用開口部の補強金物として、既存の RC 造建物に使用される補強金物に横筋またはフック付き縦筋を同様のスポット溶接した改良型補強金物を用いた。本論文では、この改良型補強金物の補強効果を確認し、シングルに配筋された RC 造基礎梁の配管設備用開口部の設計方法を検討する。

2. 実験概要

2.1 試験体計画

表-1、表-2 に試験体一覧および計算値一覧、図-1 に開口部補強金物の形状、図-2、図-3 に試験体形状の一例を示す。

試験体は推奨基礎仕様マニュアル¹⁾を参考に、梁幅 150mm、梁せい 550mm、引張鉄筋 1-D19(SD345)、せん断補強筋 1-D10(SD295A) @200 の布基礎を想定して計画した。推奨基礎に生じるせん断応力度 $\tau(Q/bj)$ は、せん断スパン比 (a/D) 1.0 で約 1.0N/mm^2 となる。

そこで本研究では、荒川 min 式および広沢修正式によるせん断力 Q_s 、曲げによるせん断力 Q_m の関係により、第 1 シリーズと第 2 シリーズを計画した。

第 1 シリーズでは、 $\tau=1.25\text{N/mm}^2$ 程度の試験体を計画し、 $Q_s/Q_m>1$ の端部曲げ破壊先行型を 6 体計画した。

第 2 シリーズでは、改良型補強金物の補強効果を確認

するために $Q_s/Q_m<1$ の開口部せん断破壊先行型を 4 体計画した。

また、コンクリートの設計基準強度はどちらも $F_c=24\text{N/mm}^2$ とした。断面は $b \times D=150 \times 550\text{mm}$ 、せん断スパン比 $a/D=1.5(a=825\text{mm})$ 、開口径 $H=125\text{mm}(D/H=4.4)$ 、開口部補強金物は D10(SD295A) の 125ϕ を使用し、コンクリートの圧縮強度は実験時 $\sigma_B=27.0, 28.2\text{N/mm}^2$ であった。

第 1 シリーズでは、主筋に D22(SD345)、主筋比： $p_t=0.54\%$ 、せん断補強筋に D10(SD295A)@200 を使用し、せん断補強筋比： $p_w=0.24\%$ とし、No.1 は無開口梁、No.2 は開口部無補強梁、No.3, 4 は開口部補強金物に横筋 D10(SD295A)を溶接したもの（タイプ I）、No.5, 6 は開口部補強金物にせん断補強筋に見立てたフック付き縦筋 D10(SD295A)を溶接したもの（タイプ II）を用いた。開口部は、No.2, 3, 5 では梁中央部に 1 箇所、No.4 は梁せい中央部から 50mm 下げた位置に 1 箇所、No.6 は梁両端から 275mm($D/2$)の位置に 2 箇所設けた。

第 2 シリーズでは、主筋に 2-D22(SD345)、 $p_t=1.08\%$ 、せん断補強筋に D13(SD295A)@100 を使用し、 $p_w=0.48\%$ とし、No.1 はタイプ I 補強、No.2 はタイプ II 補強とし、No.3 は開口部中心から 100mm と 150mm の位置に D10(SD295A)を溶接したもの（タイプ III）、No.4 は開口部

中心から 100mm と 150mm の位置に D13(SD295A)を溶接したもの(タイプⅢ)を用いた。開口部は No.1～No.4 すべて梁中央部に 1 箇所設けた。

2.2 荷重方法

荷重方法は、大野式逆対称モーメント形式の正負交番繰り返し荷重とした。

第 1 シリーズでは、荷重制御により、開口部無補強梁における孔周囲の長期許容せん断力: Q_{AL} を 1 サイクル、各試験体の孔周囲の損傷制御のための短期許容せん断力: Q_{A0S} を 1 サイクル行い、変位(部材角)制御では、 $R = \pm 1/400\text{rad.}, \pm 1/200\text{rad.}, \pm 1/100\text{rad.}, \pm 1/50\text{rad.}$ を基本とした。

第 2 シリーズでは、荷重制御により、各試験体の孔周

囲の損傷制御を目的とする短期許容せん断力: Q_{A0S} を 1 サイクル、各試験体の安全確保のための孔周囲の短期許容せん断力: Q_{Su0} を 1 サイクル、変位(部材角)制御では、 $R = \pm 1/800\text{rad.}, \pm 1/400\text{rad.}, \pm 1/200\text{rad.}$ を基本とした。

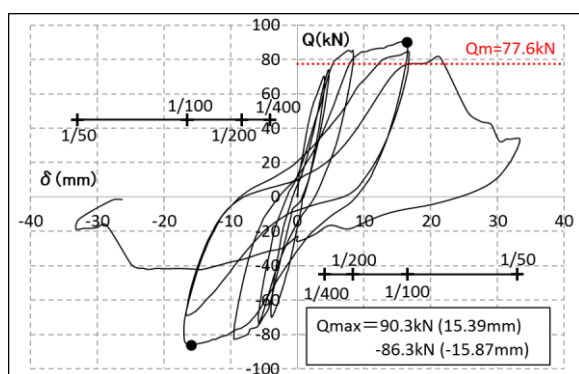
3. 実験結果

3.1 第 1 シリーズ

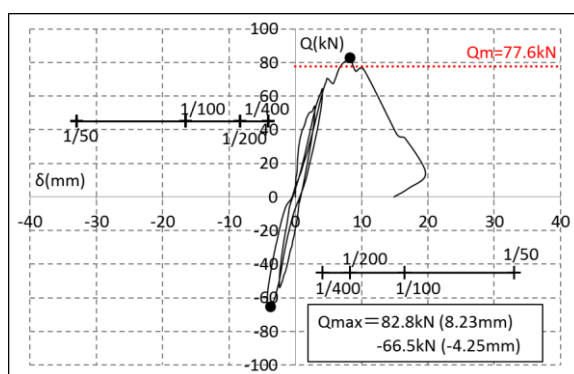
3.1.1 変形状および破壊性状

図-4 に各試験体のせん断力: Q と相対変位: δ 関係、図-5 に破壊状況の写真を示す。

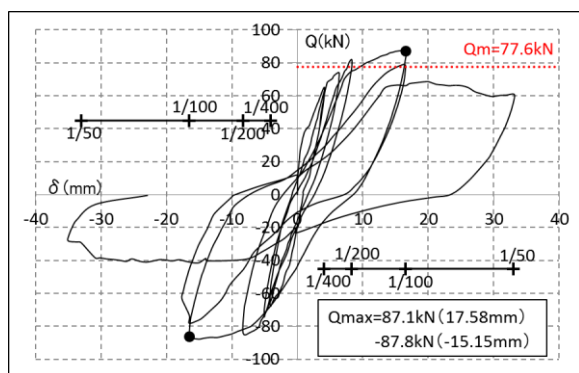
開口部無補強梁(No.2)は、 $R=1/200\text{rad.}$ 時に、曲げ降伏前に開口部でせん断破壊した($Q=82.8\text{kN}$, $\delta=8.23\text{mm}$)。無開口梁および開口補強梁は、 $R=1/200\text{rad.}$ 時付近で曲げ降



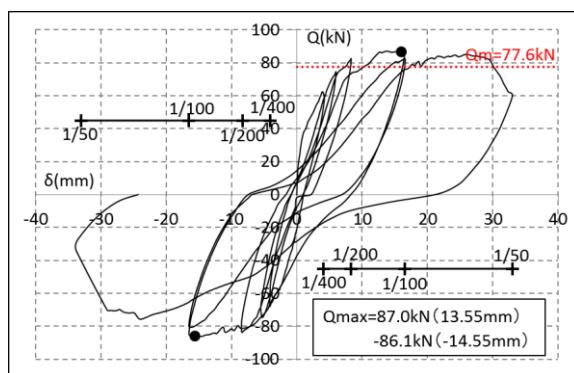
No.1 無開口梁



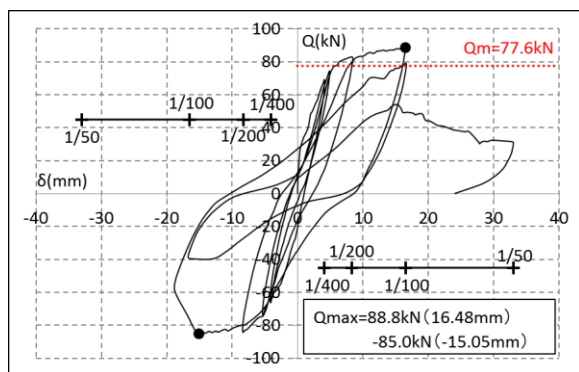
No.2 開口部無補強梁



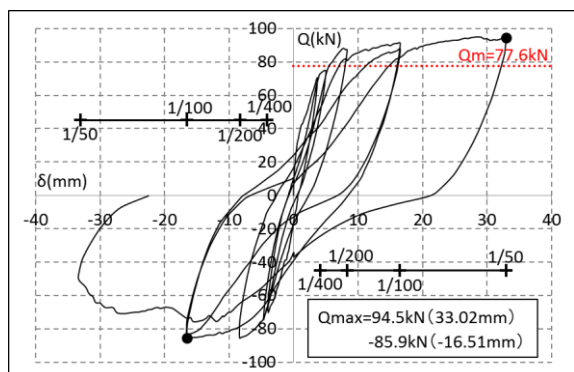
No.3 開口部タイプ I 補強梁



No.4 下部開口部タイプ I 補強梁



No.5 開口部タイプ II 補強梁



No.6 両端開口タイプ II 補強梁

図-4 せん断力と相対変位の関係(第 1 シリーズ)

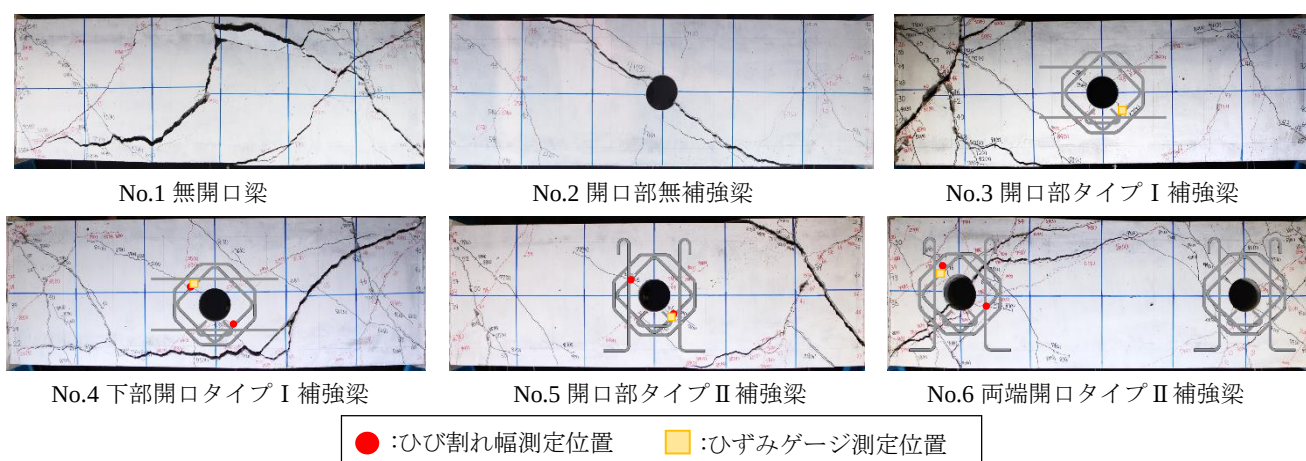


図-5 破壊状況写真（第1シリーズ）

伏し、 $R=1/100\text{rad}$ の繰返しまでは良好な履歴性状を示した。その後は、無開口梁およびNo.3, 4, 5では開口部以外の一般部にてせん断破壊し($Q=90.3, 87.1, 87.0, 88.8\text{kN}$, $\delta=15.39, 17.58, 13.56, 16.48\text{mm}$), No.6では開口部でせん断破壊した($Q=94.5\text{kN}$, $\delta=33.02\text{mm}$)。

最大せん断力を比較すると、端部で開口部せん断破壊をしたNo.6を含め全ての試験体で計算値以上の曲げ終局強度(Q_m)を確認できた。これにより、梁の開口部に既存のRC造建築に使用される補強金物を用いた場合、無開口梁と同程度の強度および変形性能を持たせることが可能であることが確認できた。

3.1.2 ひびわれ幅と開口部補強金物のひずみ性状

図-6に $1/100\text{rad}$ 時の荷重から Q_{AL} 、荷重ゼロに向かって除荷した場合の孔周囲最大ひびわれ幅および孔周囲最大ひずみの挙動を示す。

No.3, No.4(中央下端), No.6(梁両端)の $R=1/100\text{rad}$ 時の開口部の最大ひび割れ幅および補強金物の最大ひずみを比較すると、ひび割れ幅が $0.20, 0.20, 0.15$ (左端), 0.65mm (右端)で、最大ひずみが、 $306, 1122, 611$ (左端), 1455μ (右端)であった。除荷時の残留ひび割れ幅は $0.03, 0.08, 0.04$ (左端), 0.2mm (右端)で、残留ひずみは、 $50, 250$,

163 (左端), 421μ (右端)であった。 $R=1/100\text{rad}$ から Q_{AL} , Q_{AL} から荷重ゼロへと荷重を落としていくにつれひび割れ幅、ひずみ共に減少しており、荷重ゼロ時での開口部付近のひび割れ幅はすべての試験体で 0.3mm を下回ったため、開口部補強にRC造建築に使用される補強金物を改良したものはシングル配筋の梁でも有効であることが確認され、中心から開口位置を 50mm 下部又は端部より $D/2$ の位置に設けた場合もひび割れ幅を抑えるのに有効であることが確認できた。

以上より、推奨基礎仕様マニュアル¹⁾を参考に、基礎に生じるせん断応力度 $\tau=1.25\text{N/mm}^2$ 程度のシングル配筋RC基礎梁に、 125ϕ の設備配管用スリーブを設けた有孔梁を開口部以外での曲げ破壊を想定し破壊させたNo.3～No.6の試験体で最大せん断応力度の平均が 1.4N/mm^2 となり、推奨される基礎のせん断応力度の 1.2 倍程度であった。

3.2 第2シリーズ

3.2.1 変形性状および破壊性状

図-7に各試験体のせん断力(Q)と相対変位(δ)関係、図-8に破壊状況の写真を示す。

開口部補強筋をせん断補強筋に設置した補強梁(No.1)

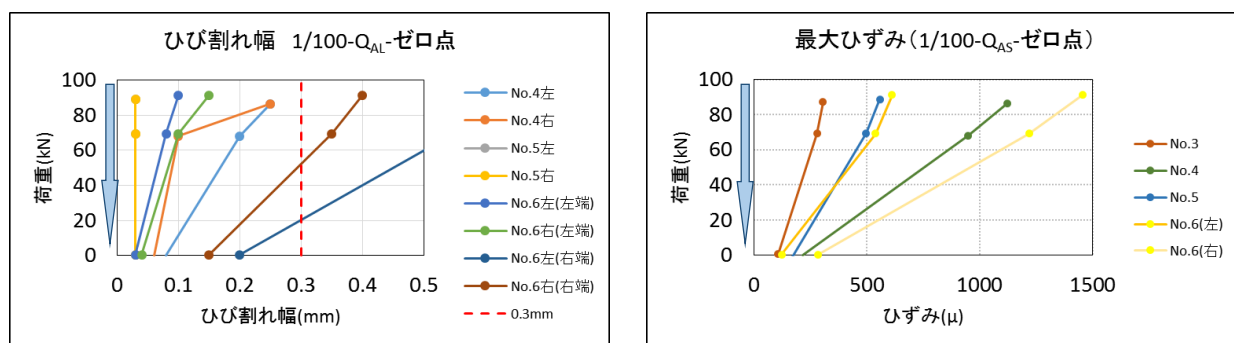
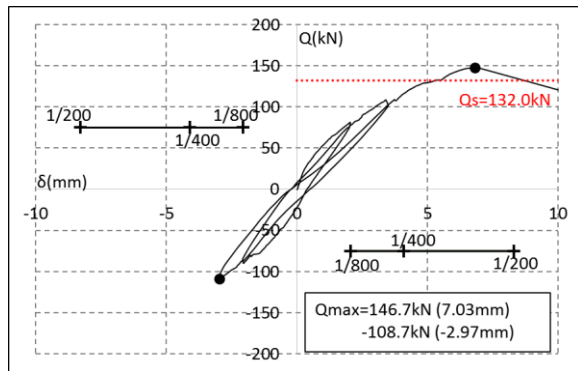
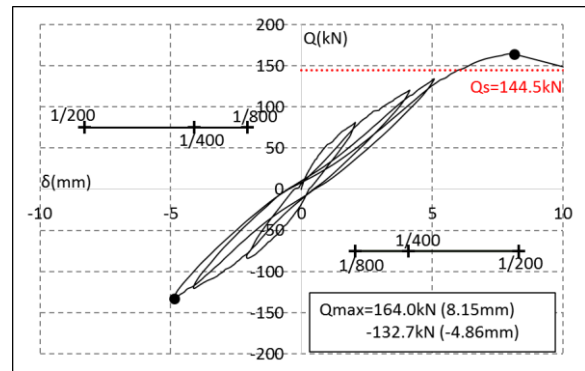


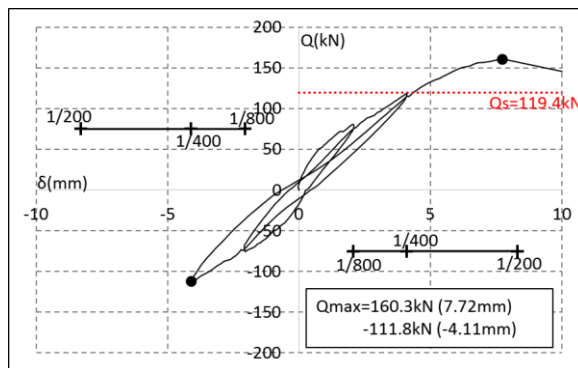
図-6 ひび割れ幅の関係および最大ひずみの関係（第1シリーズ）



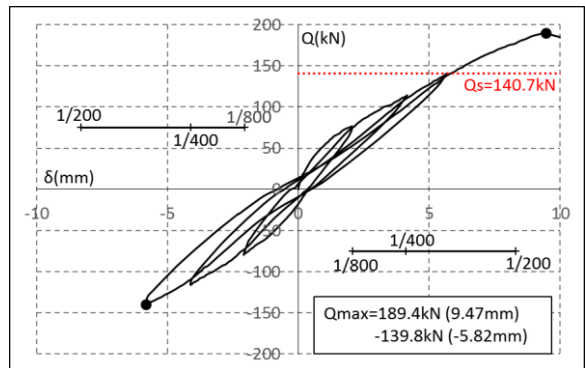
No.1 開口部タイプⅠ補強梁



No.2 開口部タイプⅡ補強梁



No.3 開口部タイプⅢ補強梁 (D10)

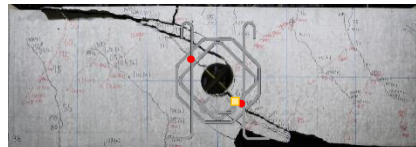


No.4 開口部タイプⅢ補強梁 (D13)

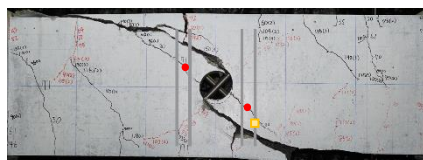
図-7 セン断力と相対変位の関係 (第2シリーズ)



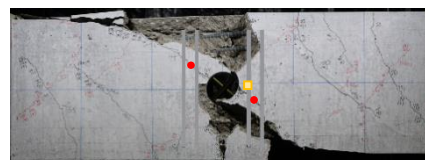
No.1 無開口梁



No.2 開口部無補強梁



No.3 開口部タイプⅢ補強梁



No.4 開口部タイプⅢ補強梁

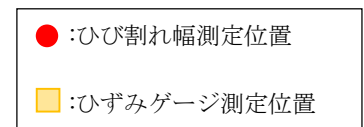


図-8 破壊状況写真 (第2シリーズ)

と、開口部から 100, 150mm のところに D10 を溶接した補強梁 (No.3) では、安全確保のための孔周囲の短期許容せん断力: Q_{Su0} を正載荷で迎えた後、同サイクル $R=1/200\text{rad}$ (8.25mm) 手前 $Q=146.7\text{kN}$, 160.3kN , $\delta=7.04\text{mm}$, 7.73mm で開口部せん断破壊した。開口部補強筋を主筋にフックをかけることにより設置した補強梁 (No.2) では、 Q_{Su0} を正載荷で迎えた後、同サイクル $R=1/200\text{rad}$ 程度 $Q=164.0\text{kN}$, $\delta=8.15\text{mm}$ で開口部せん断破壊した。No.3 と同じ位置に D13 を溶接した補強梁 (No.4) では、 Q_{Su0} を正負でくり返し次のサイクルで $R=1/200\text{rad}$ を迎えた後 $Q=189.4\text{kN}$, $\delta=9.47\text{mm}$ で開口部

せん断破壊した。最大せん断力を比較すると、D13 を片側 2 本ずつ配筋した No.4 が最もせん断力が大きく、開口部補強筋をフック筋により設置した No.2, D10 を片側 2 本ずつ配筋した No.3、開口部補強筋をせん断補強筋に設置した No.1 の順となり、No.3, 4 に関しては計算値を大きく上回る結果となった。また、図 3-2-2 より開口部せん断ひび割れには、RC 造建築に使用される補強金物を改良したものをを用いた場合の開口に対し斜め 45 度のひび割れと、縦筋のみによる補強の場合の開口の縁に沿ったひび割れの 2 種類の破壊が見られた。

3.2.2 ひびわれ幅と開口部補強金物のひずみ性状

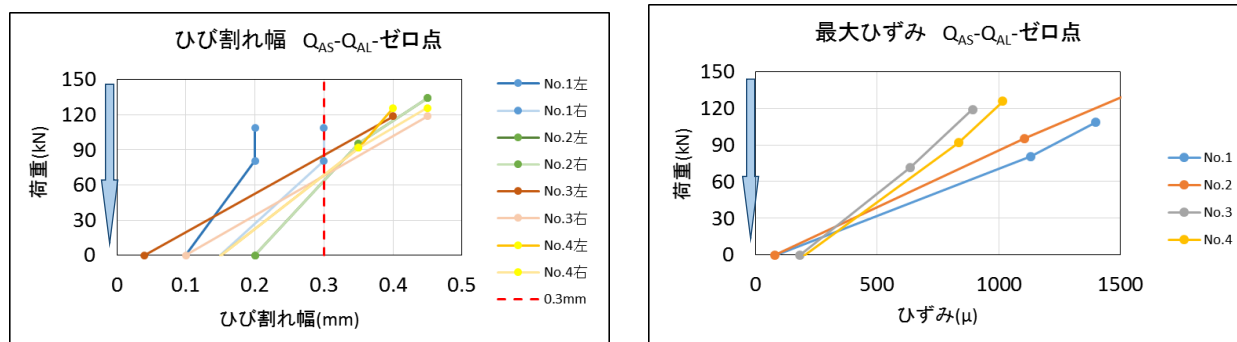


図-9 ひび割れ幅の関係および最大ひずみの関係（第2シリーズ）

図-9 に Q_{AS} 時の荷重から Q_{AL} , 荷重ゼロに向かって除荷した場合の孔周囲最大ひびわれ幅および孔周囲最大ひずみの挙動を示す。

各試験体の $Q_{AS}-Q_{AL}$ -荷重ゼロでの開口部の最大ひび割れ幅および補強金物の最大ひずみを比較すると、 Q_{AS} では、最大ひび割れ幅が 0.3(No.1), 0.45(No.2), 0.45(No.3), 0.45mm(No.4), で、最大ひずみが 1398, 1561, 893, 1016μ であり、荷重ゼロ時の残留ひび割れ幅は 0.15, 0.2, 0.1, 0.15mm で、残留ひずみは、88, 130, 184, 171μ であった。図-6 より、 Q_{AS} から荷重ゼロでのひび割れ幅は、 Q_{AS} 時に 0.3mm を超えていても荷重ゼロ時には全ての試験体で 0.3mm 以下まで抑えられるという結果が得られた。

以上より、シングル配筋 RC 基礎梁に、125φ の設備配管用スリーブを設けた有孔梁を開口部でのせん断破壊を想定し破壊させた場合、RC 造建築に使用される補強金物を改良したものをを用いた No.1, No.2, 開口部中心から 100mm と 150mm の位置に D10(SD295A) を溶接した No.3, D13(SD295A) を溶接した No.4 の試験体で、最大せん断応力度の平均が 2.8N/mm^2 となり、 $\tau=1.25\text{N/mm}^2$ 程度の試験体を計画した場合、推奨される基礎のせん断応力度の 2.3 倍程度であった。

4. まとめ

$\tau=1.25\text{N/mm}^2$ 程度のシングル配筋 RC 基礎梁に、125φ の設備配管用スリーブを設けた有孔梁の開口部補強方法として既存の RC 造建築に使用される補強金物を改良したものおよび、開口部中心から 100mm と 150mm の位置にせん断補強筋を設けた場合の曲げ・せん断実験により、以下の知見が得られた。

1) RC 造建築に使用される補強金物を改良したものをを用いることにより、広沢式と曲げ終局強度の比を 1.5 以上の余裕度を持たせることで開口部せん断破壊を抑え、曲げ降伏先行型の破壊モードが実現できた。また、開口部のせん断強度は既存の RC 造建築に使用される補強金物を

用いた場合で、広沢式によるせん断耐力の約 1.2 倍、開口部中心から 100mm と 150mm の位置にせん断補強筋を設けた場合で、広沢式の約 1.4 倍と十分な補強効果が得られた。しかし、開口部そのものの補強と開口部付近のせん断補強筋量の違いによりせん断耐力に差が見られることが確認された。

2) ひび割れ幅制御においては第 1 シリーズでは $1/100\text{rad}$ 時に 0.3mm, 第 2 シリーズ共に荷重ゼロ時点での開口部付近では全て 0.3mm を下回る結果となったため、ひび割れ幅制御に至っても有効であることが確認できた。

3) 梁端 0.5D の梁ヒンジ位置、および、梁せいの中央部より 50mm 偏心した場合においても、開口部補強において有効であることが確認できた。

4) $\tau=1.25\text{N/mm}^2$ 程度のシングル配筋 RC 基礎梁に、125φ の設備配管用スリーブを設けた有孔梁を補強するにあたって、改良型の開口部補強金物を用いることで開口部のせん断応力度は、推奨される基礎のせん断応力度に対し約 2 倍以上の応力度を持つことになるため、通常の基礎梁であれば曲げ降伏先行を実現でき、開口位置が上下や両端部のヒンジゾーンにある場合でも有効であることが確認できた。

[謝辞]

本研究を行うにあたり建築関連先端技術開発助成事業および(一社)日本住宅基礎鉄筋工業会の助成を得ました。また、実験実施にあたり(株)日本スプラインスリーブおよび(株)コーリョー建販にご協力いただきました。ここに関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (一社)日本住宅基礎鉄筋工業会、推奨基礎仕様マニュアル 2012 年版（布基礎編）、pp.2-4, 2012.11
- 2) 日本建築学会、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010 年版、pp.355-358