

論文 住宅用基礎の人通口周りの配筋について

小林 克巳*1・太田 勤*2・小杉 雅男*2・越路 正人*3

要旨: 人通口を有する住宅用基礎の配筋を決定する上で理解すべき基本的な問題点を知るための実験を行い、カットされる主筋端部の定着、斜め補強筋の重要性を指摘した。次に、ひび割れパターンを考えて配筋を検討し、意図する破壊モードに導くための配筋の仕方とその量を実験によって確認した。人通口があることの影響を排除して、部材端の曲げ破壊で終局状態が決まるようにするためには、斜め補強筋およびカットされる一般部主筋開口端部に配筋されるせん断補強筋が曲げ耐力に寄与することを考え、存在曲げ応力に対して開口部端の曲げ耐力を相当量確保しておく必要があることを指摘した。

キーワード: 住宅用基礎, 人通口, 応力伝達, 斜め補強筋, 配筋設計, シングル配筋

1. はじめに

断面と配筋を構造計算によって決定しなければならない場合でも、人通口を有する住宅用基礎の配筋は、十分な応力伝達の検討がされることなく、経験的に行われているのが現状である。住宅用基礎の人通口周りには、斜め補強筋やU型補強筋が配筋されるなど様々であるが、その形状と鉄筋量を定める根拠は明らかでない。人通口部にヒンジを仮定して曲げモーメントを負担させない考え方や、人通口下部に補強用梁を設ける方法もあるが、人通口周りの配筋の仕方による終局までの性状は必ずしも把握されているわけではない。本論では、まず人通口を有する住宅用基礎の配筋を決定する上で理解すべき基本的な問題点を知るための実験を行った。次に、人通口があることの影響を排除して、部材端の曲げ破壊で終局状態が決まるようにするための配筋を検討し、意図する破壊モードに導くための配筋の仕方とその量を実験によって確認することを目的としている。

開口がある場合には、部材長さ方向で変断面となり、主筋位置が断面のせい方向にずれることになり、この主筋間の応力伝達を検討する必要がある。断面が変化する位置に応力および変形が集中することは明らかである。通常、開口隅角部のひび割れの拡大を防ぐために斜め補強筋が配置されるが、まずその効果を明らかにする必要がある。また、主筋位置が断面のせい方向にずれる場合の応力伝達では、曲げひび割れの発生によるテンションシフトによって付着長さが短くなったり、トラスメカニズムがうまく形成されなかったりすると、定着破壊を起こす恐れがあり、脆性的な破壊を防止し、終局時に変形能力が確保された良好な曲げ破壊モードとなるようにするための配筋詳細とする必要がある。

2. 人通口を有する住宅用基礎の基本的問題点を知るための実験

2.1 実験計画の概要

(1) 試験体

図-1 に試験体配筋図を示す。基本モデルは、小規模建築物基礎設計指針¹⁾を参考にして、断面： $b \times D = 150 \times 600\text{mm}$ 、開口部断面寸法： $600 \times 350\text{mm}$ を基本とした。ここでは実験上の都合から、開口部ができるだけ大きな曲げモーメントを受け、かつテンションシフトを考えない主筋の付着長さとして主筋径の40倍以上を確保できるように、部材端から850mmの位置に開口を設けた。部材端の曲げ降伏が開口部端の曲げ降伏に僅かに先行するが、ほぼ同時となるように開口寸法を $600 \times 250\text{mm}$ とし、せん断スパン比(a/D) 3.0 (ハンチ無しの矩形)の実大試験体とした。主筋は1-D19(SD490)、一般部あばら筋は1-D10@200 (SD295A) 180°フック付き、開口部あばら筋は1-D13@100 (SD295A) 180°フック付きとした。スパン3600mmで逆対称曲げモーメント状態を想定しているが、連続梁形式にすると試験体長さが大きくなるため、部材端寄りの開口部端で基本的な性状は決定されると

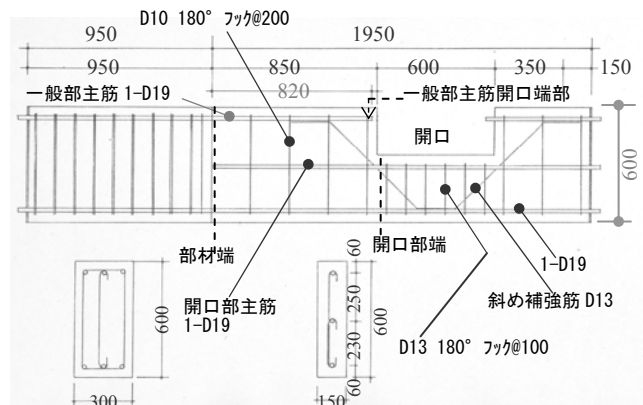


図-1 試験体配筋図

*1 福井大学大学院 工学研究科教授 工博 (正会員)

*2 (株) 堀江建築工学研究所

*3 東京鐵鋼 (株)

判断し、既往の実験²⁾を参考にして片持ちばり形式の試験体とした。試験体は、斜め補強筋有り(試験体 No.9)、無し(試験体 No.8)の2体である。

主筋 D19 には、長さ方向に連続してひずみゲージを貼付するための加工がしてあり、断面積は 9.4%減となっている。鉄筋の材料試験結果を表-1 に示す。コンクリート圧縮強度は 26~27 N/mm² である。

表-1 鉄筋の材料試験結果

	上降伏点 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	ヤング係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
D19	515	2680	1.92	689
D13	325	1800	1.81	498
D10	358	1940	1.85	484

※降伏ひずみは上降伏点をヤング係数で除した値

(2) 加力・測定方法

加力装置を図-2 に示す。スタブを固定した片持ち梁とし、上側が引張側となるよう一方向単調载荷を行った。下側のジャッキは No.8, No.9 には必要ないが、3 章の実験で正負交番载荷を行うためのものである。たわみは、スタブに固定したゲージホルダーから測定した。主筋、せん断補強筋、斜め補強筋にはひずみゲージを貼付した。

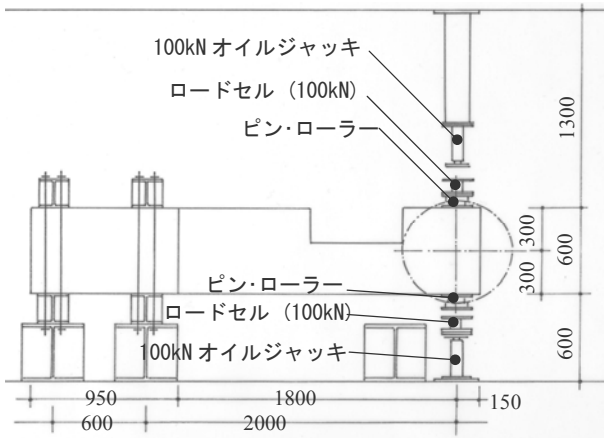


図-2 加力装置

(3) 諸耐力計算値

部材端断面の曲げ降伏モーメントは 65.1kN・m で、その時の開口部端の曲げモーメントは 34.3kN・m となる。開口部端断面の曲げ降伏モーメントは 34.9 kN・m で、部材端の曲げ降伏が僅かに先行することになる。曲げ降伏時せん断力は 36.2kN で、一般部、開口部ともにせん断終局耐力計算値は 2 倍以上の余裕がある。なお、本加力装置では、試験体自重をキャンセルしていないが、自重による影響は、荷重にして 2kN 程度である。

2.2 実験結果

図-3 に荷重・たわみ曲線、写真-1 および写真-2 に最大耐力時のひび割れ状況を示す。No.8 については、 $Q=6.2\text{kN}$ で開口隅角部に曲げひび割れ①が生じ、 $Q=12.3\text{kN}$ で開口

部中央に次の曲げひび割れ②が生じた(写真-1)。 $R=1/225$ ($\delta=8\text{mm}$)では、①のひび割れから開口部主筋に沿う付着ひび割れ③が発生した。 $Q=23.0\text{kN}$ で④、直後の $Q=23.5\text{kN}$ で⑤の斜めひび割れが梁腹部に生じ、剛性が低下した。 $Q=24.6\text{kN}$ で、上面割裂ひび割れが一般部主筋開口端部にまで進展すると同時に、開口部主筋に沿う付着ひび割れ⑥が発生した。 $R=1/113$ ($\delta=16\text{mm}$)では、⑤のひび割れから開口部主筋に沿う付着ひび割れ⑦が発生し、開口部主筋ほぼ全長に渡って付着ひび割れが発生した状態になった。 $R=1/49$ ($\delta=37\text{mm}$)で一般部主筋が部材端で降伏に達した。③⑥⑦の開口部主筋に沿う付着ひび割れが徐々に進展し、開口部主筋が③~⑥間で降伏ひずみを超え、④のひび割れが開口した。一般部主筋降伏時はほぼ最大耐力時に一致するが、開口部主筋の付着劣化と降伏域の広がりにより、④のひび割れ先端を中心に開口部側が回転してたわみが増加した。

No.9 については、 $Q=6.1\text{kN}$ で開口隅角部に曲げひび割れ①が生じ、 $P=12.3\text{kN}$ で開口部中央に 2 本目の曲げひび割れ②が生じた(写真-2)。ここまでは No.8 と同じである。 $Q=12.5\text{kN}$ で部材端から 40cm の位置および開口部右端に曲げひび割れ③および④が生じた。 $R=1/255$ ($\delta=8\text{mm}$)では、①②のひび割れが進展し、さらに開口部中央に曲げひび割れ⑤が発生した。 $\delta=9.5\text{mm}$, $P=23\text{kN}$ 辺りで開口隅角部の斜め補強筋は降伏したが、その位置のせん断補強筋はまだ降伏しておらず、剛性の低下も生じていない。 $R=1/113$ ($\delta=16\text{mm}$)では①~⑤のひび割れが進展した。さらに、斜め補強筋の引張力によって発生したと考えられる⑥のひび割れが発生したほかは、新たなひび割れは発生していない。また、付着ひび割れも発生していない。 $R=1/100$ ($\delta=18\text{mm}$)で、一般部主筋は降伏ひずみに達した。 $R=1/75$ ($\delta=24\text{mm}$)で、曲げひび割れ③から、一般部主筋の引抜きによるひび割れ⑦が発生した。また、曲げひび割れ③から、開口部主筋に沿うひび割れ⑧が派生したが、剛性低下は起きなかった。 $R=1/56$ ($\delta=32\text{mm}$)では、⑦⑧のひび割れがやや伸びたが、荷重・たわみ曲線上の変化はなかった。

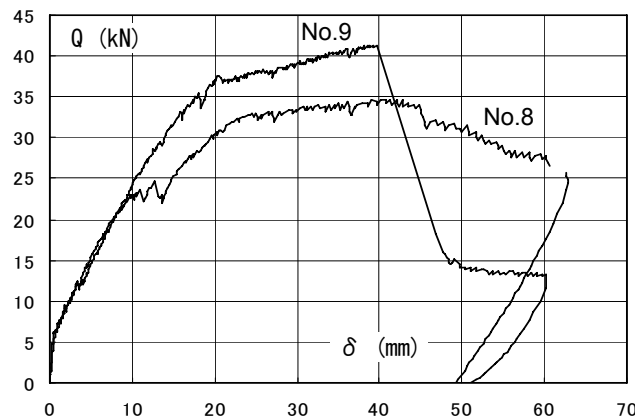
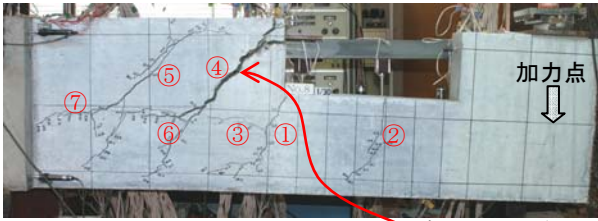
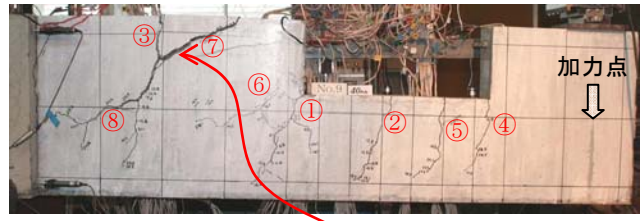


図-3 荷重・たわみ曲線



このひび割れで耐力低下
写真-1 No. 8 のひび割れ状況



このひび割れで破壊、耐力低下
写真-2 No. 9 のひび割れ状況

$R=1/45$ ($\delta=40\text{mm}$)で、⑦のひび割れが断面の引張縁まで貫通してひび割れ幅が拡大し、一般部主筋の定着破壊により大きく荷重低下した。開口部主筋の付着劣化は大きくなかった。

2.3 主筋のひずみ測定結果

図-4 に斜め補強筋のない No.8 の最大耐力付近 ($\delta=37\text{mm}$)における一般部主筋および開口部主筋のひずみ測定結果を示す。付着を損なわないように、縦リブに沿って溝加工をして 40mm 間隔で測定した結果である。一般部主筋は部材端で降伏しているだけであるが、開口部主筋は梁腹部の斜めひび割れの発生によって開口部端部から降伏域が広がり、この主筋の抜け出しで $Q=23\text{kN}$ 以降の剛性低下が生じたと考えられる。

図-5 に斜め補強筋がある No.9 の最大耐力付近 ($\delta=40\text{mm}$)における一般部主筋および開口部主筋のひずみ測定結果を示す。開口部主筋は開口部端で降伏しただけで、降伏域の広がりには少ない。一般部主筋は部材端でひずみが増大しているが、全長にわたって降伏域が広がる傾向にあり、定着破壊したことと対応している。

2.4 人通口周りの配筋の問題点

斜め補強筋は、一般部主筋から開口部主筋へ引張力を

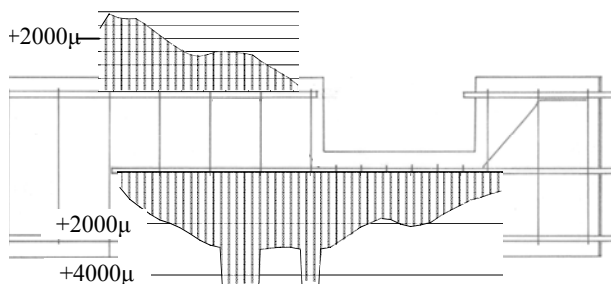


図-4 No. 8 のひずみ測定結果

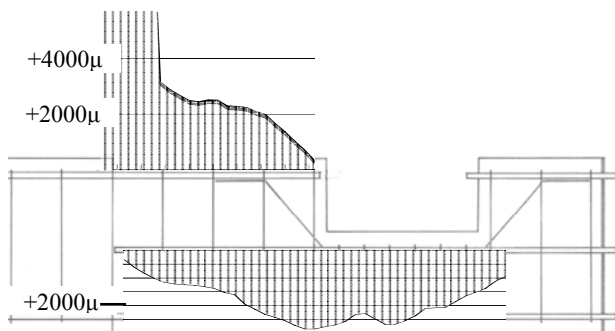


図-5 No. 9 のひずみ測定結果

伝達するためのトラスメカニズムによって生じるウェッジコンクリートの斜めひび割れ(写真-1 の④)の発生を防ぎ、開口隅角部のひび割れ(写真-1 および写真-2 の①)の拡大を拘束するのに有効であり、その量を定める必要がある。一般部主筋では、曲げひび割れ(写真-2 の③)が発生するためにテンションシフトが起こる。付着長さが不足するために定着破壊が生じるので、これを防ぐ方策が必要である。一般部主筋開口部端部の定着が十分であっても、一般部主筋から開口部主筋へ引張力を伝達するためのトラスメカニズムが成立するためには、一般部主筋開口部端部に十分な量のせん断補強筋が必要であり、集約せん断補強筋の配置が有効であろう。

斜め補強筋および一般部主筋開口部端部のせん断補強筋は、開口部端の曲げ耐力を増加させることができ、開口部端に集まる鉄筋を降伏させなければ、人通口があっても部材端の曲げ降伏で終局となるような部材とすることができると考えられ、人通口周りの配筋を決める一つの考え方になると思われる。

3. 斜め補強筋および一般部主筋開口部端部のせん断補強筋量をパラメータとした実験

3.1 試験体

図-1 の配筋と異なる部分のみ、図-6 に示す。一般部主筋開口部端部および開口部主筋端部には定着を図る目的で、直径 50mm、厚さ 12mm の円形の鋼板を溶接した。試験体のパラメータは、一般部主筋開口部端部に配置するせん断補強筋を 180 度フック付きの 2-D10 または 2-D13 とし、45° 方向に配置する D13 の斜め補強筋を 1 本また

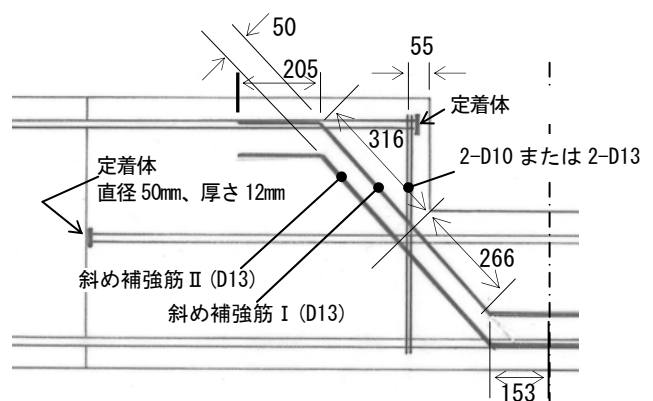


図-6 試験体の開口部周り配筋図

は2本とし、その組合せで表-2の4体とした。

鉄筋の材料試験結果を表-3に示す。コンクリート圧縮強度は23~24 N/mm²である。

表-2 試験体一覧

試験体	一般部せん断補強筋	一般部主筋開口端部のせん断補強筋	開口部せん断補強筋	斜め補強筋
No.10	1-D10@200	2-D10	1-D13@100	1-D13
No.11	pw=0.237%	2-D10	pw=0.847%	2-D13
No.12		2-D13		1-D13
No.13		2-D13		2-D13

一般部主筋 1-D19(pt=0.32%)、開口部主筋 1-D19(Pt=0.60%)

表-3 鉄筋の材料試験結果

	上降伏点 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	ヤング係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
D19	515	2680	1.92	689
D13	357	1920	1.86	514
D10	353	1910	1.85	490

※降伏ひずみは上降伏点をヤング係数で除した値

3.2 加力・測定方法

加力装置は図-2と同じである。スタブを固定した片持ち梁とし、上側が引張側となる場合を正荷重として、正負交番繰り返し載荷を行った。たわみはスタブに固定したゲージホルダーから測定した。主筋、せん断補強筋、斜め補強筋にはひずみゲージを貼付した。

3.3 試験体における鉄筋量について

試験体 No.9 のひび割れパターン(写真-2)を参考にし、図-7に示すように、開口隅角部とB点を結ぶひび割れによって、開口部端から右側の部分が回転している状態を考える。B点は両試験体において、①のひび割れと下端主筋の交点とし、開口部端から約150mm離れた位置である。 $\Delta I_0, \Delta I_5, \Delta I_1, \Delta I_2$ はB点を中心として回転したとき、ひび割れを横切る開口部主筋、一般部主筋開口端部にかかるせん断補強筋、斜め補強筋I(開口隅角部に近いもの)、斜め補強筋IIの伸びによる抜け出し長さに相当する量で、ひび割れを横切る鉄筋の一定区間に様なひずみが生じていると仮定すれば、そのひずみと一定区間の長さの積に対応する。一定区間の長さを鉄筋径の一定倍と考えるが、斜め補強筋については複数のひび割れが発生していることを考慮して主筋の場合の2倍と仮定する。またせ

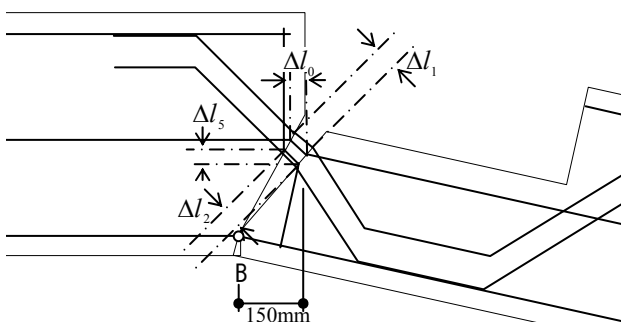


図-7 仮定するひび割れパターン

ん断補強筋についても、端部が180°フックであることの影響を、見かけ上一定区間の長さを大きく仮定することにし、主筋の場合の2倍と仮定する。 $\Delta I_0, \Delta I_5, \Delta I_1, \Delta I_2$ については、鉄筋がひび割れを横切る位置が決まれば、B点を中心とする回転量から幾何学的にその比を計算することができる。鉄筋のひずみに換算すれば、弾性として各鉄筋が負担する引張力の比を求めることができる。図-6の配筋図に示した寸法に基づいて求めた開口部主筋、一般部主筋開口端部のせん断補強筋、斜め補強筋I、斜め補強筋IIの引張力の比は、1:0.204(2-D10の場合で、2-D13の場合は0.281):0.368:0.291となる。

部材端における断面の曲げ降伏モーメント計算値は70.50kN・mであり、その時のB点におけるモーメントは43.36kN・mとなる。これに開口部主筋、一般部主筋開口端部のせん断補強筋、斜め補強筋I、斜め補強筋IIの引張力によるB点回りのモーメントがつり合うことから、各鉄筋の引張力を求め、材料試験結果のヤング係数から、弾性として各鉄筋のひずみの大きさを求めると、表-4のようになる。斜め補強筋はひび割れに対する角度が大きいため、一定ひずみが生じると仮定する区間を長くとっても、大きなひずみが生じ、斜め補強筋IIがないNo.10およびNo.12では、ほぼ降伏ひずみが生じることが分かる。斜め補強筋を2本としたNo.11とNo.13では、どの鉄筋も降伏しないことになり、部材端の曲げ破壊で終局に至ることが予想される。

表4 各鉄筋のひずみ計算値 (単位: μ)

試験体	開口部主筋	一般部主筋開口端部のせん断補強筋	斜め補強筋I	斜め補強筋II
No.10	2412	926	2002	
No.11	2045	786	1698	1345
No.12	2363	697	1962	
No.13	2010	593	1669	1322

3.4 実験結果

(1) 荷重・たわみ関係と最終破壊モード

図-8に荷重・たわみ関係、写真-3に最終破壊モードを示す。No.10は、上面割裂ひび割れの影響で、R=-10/400(δ=-45mm)にいたる途中で圧縮側にある上端の一般部主筋に沿う側面の付着ひび割れが生じた。正側に反転した後、耐力低下が起きたが、上面割裂ひび割れの幅が拡大して上端の一般部主筋の定着が失われたことによる。

No.11でも上面割裂ひび割れが生じ、一般部主筋開口部端部まで進展したが、微細なひび割れであった。R=±1/25(δ=±72mm)で僅かに耐力低下したが、部材端で主筋が座屈を起こしたことによる。δ=-72mmから反転した正側のR=+1/20(δ=+90mm)で耐力低下がはっきり見られるが、部材端の主筋座屈が進んだことによる。この時、部材端でのせん断ズレ変形が大きく、梁部材が大き

く変形していないため、上面割裂も進行しなかったものと思われる。斜め補強筋が2本になったことの影響が顕著に現れている。

No.12 は、上面割裂ひび割れの影響で、 $R=-1/25$ ($\delta = -72\text{mm}$)にいたる途中の $\delta = -20\text{mm}$ 付近で圧縮側にある上端の一般部主筋に沿う側面の付着ひび割れが生じた。正側に反転した後、荷重が上昇しなかったが、上面割裂ひび割れの幅が拡大して上端の一般部主筋の定着が失われたことによるもので、No.10 と破壊モードは同じであった。一般部主筋開口端部に配置するせん断補強筋が2-D10 から2-D13 になったことで、上面割裂ひび割れの幅が大きく拡大して、上端の一般部主筋の定着が失われる時のたわみ量は大きくなったが、最終破壊モードの変化は無く、No.11 の結果を見れば斜め補強筋が2本になることの影響のほうが大きいことが分かる。

No.13 でも上面割裂ひび割れが生じたが、一般部主筋開口端部まで進展することはなかった。 $R=-1/25$ ($\delta = -72\text{mm}$)で僅かに耐力低下したが、部材端で主筋が座屈を起こしたことによる。最終破壊モードはNo.11 と同じである。 $\delta = -72\text{mm}$ から反転した正側で $R=+1/20$ ($\delta = +90\text{mm}$)まで載荷したが、No.11 ほどの耐力低下はなく、完全に材端部での曲げ破壊になった。

(2) 主筋のひずみ

図-9 に、曲げ降伏時 $R=+1/100$ ($\delta = +18\text{mm}$)における主筋のひずみ測定結果を分布で示す。開口部主筋は、開口隅角部下でひずみが大きくなっているが、いずれの試験体でも降伏ひずみを大きく超えていない。部材端に向かってほぼ直線的にひずみが減少し、付着劣化を起こしていないことが分かる。一般部主筋は、部材端から 300~400mm の位置に発生する曲げひび割れの影響もあり、テ

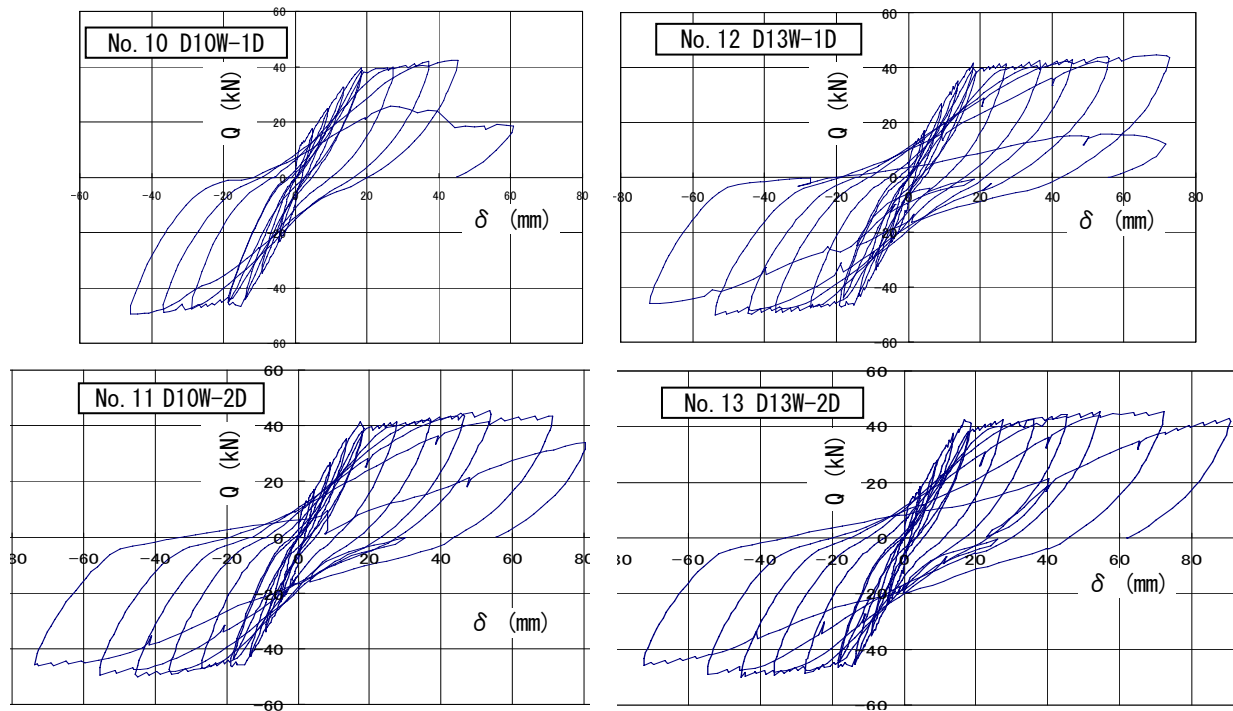


図-8 荷重・たわみ関係

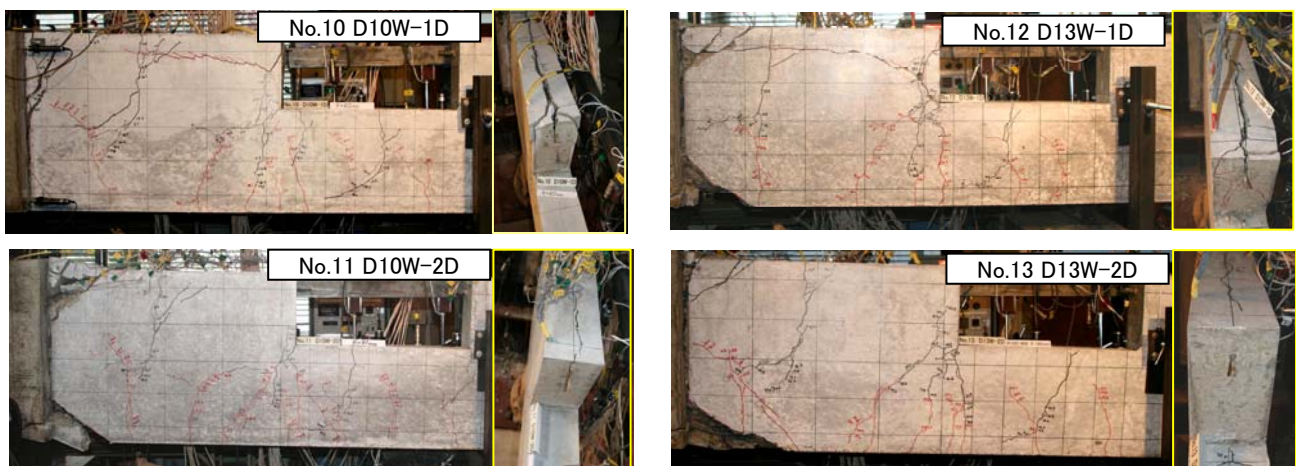


写真-3 最終破壊モード

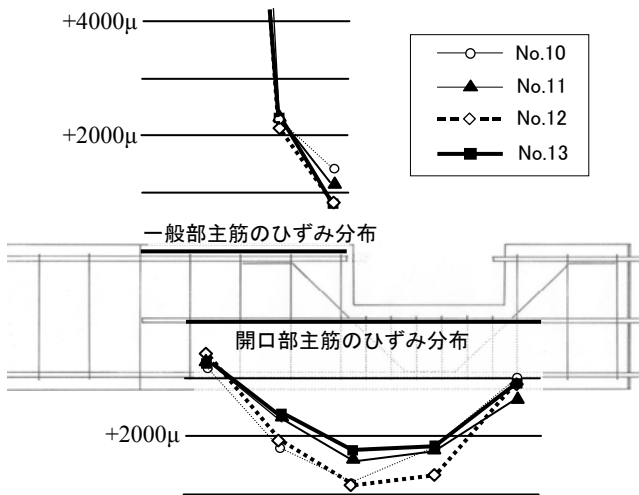


図-9 主筋のひずみ分布測定結果

ンションシフトが起こって一般部主筋開口端部に向かって降伏域が広がっている。定着体を取り付けたために定着破壊は起こっていないが、上面割裂ひび割れが一般部主筋開口端部に向かって進行したことと対応している。ただし、上面割裂ひび割れは、人通口を設けたこととは直接は関係なく、多くの住宅用基礎の実験で確認されているシングル配筋の問題である。

(3) 開口隅角部のひび割れを横切る鉄筋のひずみ

図-7 のモデルで仮定したひび割れを横切る鉄筋として、開口部主筋(D19)、一般部主筋開口端部のせん断補強筋 (2-D10 または 2-D13)、斜め補強筋 I (D13)、斜め補強筋 II (D13)の $R=+1/100$ ($\delta=+18\text{mm}$)におけるひずみ測定値を表-5 に示す。これらの測定結果は、ほぼ実験計画時の値(表-4)と対応しており、No.10 および No.12 の斜め補強筋 I は降伏ひずみに達している。斜め補強筋が降伏すると部材の変形が大きくなり、結果として上面割裂も進行するものと考えられる。No.12 と No.13 とで各鉄筋のひずみに大きな差はない。これは、実験計画時の値(表-4)でも同じであり、開口隅角部ひび割れを横切る鉄筋量のある程度確保すれば、部材端の曲げ破壊になることを示唆している。

(4) 開口隅角部における曲げ耐力余裕度

図-7 のモデルで、開口部主筋(D19)、一般部主筋開口端部のせん断補強筋 (2-D10 または 2-D13)、斜め補強筋 I (D13)、斜め補強筋 II (D13)全てが降伏するとして B 点回りの曲げモーメントを計算し、B 点における存在曲げ

モーメント $43.36\text{kN}\cdot\text{m}$ に対する比(余裕度)を求めると、No.10, No.11, No.12, No.13 で 1.18, 1.41, 1.27, 1.50 となる。実験結果からも、特に斜め補強筋を 2 本とすることの効果が大いなのは、それが開口隅角部における曲げ耐力の増加に寄与しているためであることは明らかである。図-7 のモデルに合理性があるとすれば、No.13 がほぼ満足できる性状を示したことから、この余裕度を 1.5 程度以上しておくのが、本実験の範囲での結論となる。

一般部主筋開口端部のせん断補強筋は、一般部主筋から開口部主筋への応力伝達のためのトラス機構を形成するために必要であり、特に一般部主筋の付着力が低下し、端部に取付けた定着体が効果を発揮するときに重要となる。

4. まとめ

開口隅角部から発生するひび割れに対して、ほぼ直角に交わる斜め補強筋が大きな引張力を発揮し、この部分の曲げモーメントの一部を負担する。従って、斜め補強筋がなければ、開口部主筋の引張力が大きくなり、降伏域が広がって定着破壊が起きる。そのために、開口部主筋の部材端側端部に定着体を取付けると効果がある。

斜め補強筋があると、開口部主筋の定着破壊が起こり難くなるため、一般部主筋の応力が大きくなる。曲げひび割れの発生によるテンションシフトもあり、一般部主筋の定着破壊が起きる。そのために、一般部主筋開口端部にも定着体を取付けることが重要である。

一般部主筋と開口部主筋は、断面のせい方向へ大きく離れた重ね継手となる。一般部主筋から開口部主筋への応力伝達のためにはトラス機構が形成されなければならない、特に一般部主筋の付着力が低下し、開口側端部に取付けた定着体が効果を発揮するときに、一般部主筋開口端部に十分な断面積を持つせん断補強筋が必要となる。

斜め補強筋については、シングル配筋の関係から D13 の使用が限度としても 1 本では不十分で、配筋の支障がない限り複数本配置することが重要である。

開口部主筋、一般部主筋開口端部のせん断補強筋、斜め補強筋は全て開口部端の曲げモーメントを負担するが、図-7 のモデルで計算する曲げ耐力余裕度を、できるだけ大きくしておくのがよいと思われる。本実験では 1.5 以上となったが、諸条件が変われば当然変わるものであり、ひとつの考え方として理解するのがよいと思われる。

表-5 各鉄筋のひずみ測定結果 (単位: μ)

試験体	開口部主筋	一般部主筋開口端部のせん断補強筋	斜め補強筋 I	斜め補強筋 II
No.10	2310	1030	1960	
No.11	2072	736	1573	1229
No.12	2412	844	1973	
No.13	2032	673	1705	1120

参考文献

- 1) 小規模建築物基礎設計指針, 日本建築学会, 2008.2
- 2) 小林克巳ほか: コブ定着せん断補強筋を有する組立鉄筋を用いた RC 造基礎梁の構造性能に関する実験的研究(その 7 継手実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.C-2, pp.267-268, 2007.8