

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 9日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560558

研究課題名（和文） シングル配筋する住宅用RC基礎梁の応力伝達機構に基づく配筋設計の合理化

研究課題名（英文） Rationalization of reinforcing arrangement design based on stress transfer mechanism of RC footing beams with single layer reinforcement for residential houses

研究代表者

小林 克巳（KOBAYASHI KATSUMI）

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40150297

研究成果の概要（和文）： シングル配筋される住宅用基礎梁の応力伝達メカニズムに基づき、上面割裂破壊を防止して変形限界を大きくする配筋方法を提案した。人通口のために切欠きができる部分に対しては、開口周りの鉄筋量を算定できる解析モデルを提案した。腹部に開孔を設ける場合については、通常の開孔梁の開孔周囲補強筋量の算定方法を検討し、基本的にはシングル配筋梁へも適用できるものとした。基礎立ち上がり部分が不連続となる部分の補強梁については、組立て鉄筋ユニットの使用が有用であることを示した。本研究成果が、社会インフラの基本単位である住宅の耐震安全性向上のための設計に役立つことを期待したい。

研究成果の概要（英文）： The stress transfer mechanism of footing beams with single layer reinforcement for residential houses was investigated and a reinforcing arrangement method was proposed to prevent the bond splitting failure on the top side and to increase the deformation capacity. It was verified by the experiments. For the notched part of the footing beam for the maintenance opening, an analytical model was proposed to calculate the amount of reinforcement around the opening. The reinforcing arrangement method around the web-opening of normal RC beams is supposed to be applicable to that of the beams with single layer reinforcement. The footing beam of residential house does not continue around the entrance. Pre-assembled reinforcement unit was confirmed to be well usable to the substitute beam. The result of this research work will hopefully contribute to the upgrade of seismic safety design of residential house that is a basic unit of the social infrastructure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 ・ 建築構造・材料

キーワード：住宅用基礎、シングル配筋、応力伝達機構、配筋設計

1. 研究開始当初の背景

旧来、住宅用基礎の配筋は規定されていなかったために、RC構造研究者も研究対象とすることは少なかった。一部の施工では配筋が

行われていたが、配筋仕様に基づくものであり、必ずしも外力の設定と応力計算に基づくものではなかった。近年、配筋の必要が規定されたが、住宅基礎の場合、基礎工事に限定

される配筋作業を鉄筋工事専門業者が行うことは殆どない。作業の省力化と施工品質の確保を主目的に、RC 構造研究者が関わって溶接組立鉄筋ユニットが開発され、実用化が始まっている。しかし、シングル配筋部材の曲げおよびせん断耐力、主筋の継手性能等が実験的に確認されているのみで、基礎梁が不連続になる箇所、人通口を有する部分など、いまだに仕様配筋の域を出ない部分も多く残されている。また、梁上面に主筋に沿う付着割裂ひび割れが発生することが現象として把握されおり、その防止策として、例えば主筋周囲に拘束鉄筋を配置することの有効性は確認されているが、通常の開鎖型せん断補強筋をもった梁の付着割裂と何がどう違って上面付着割裂ひび割れが発生するのか、メカニズムを明らかにしないまま実施に移されている。住宅用基礎の構造性能を確保するためには、応力伝達メカニズムを明らかにした合理的な配筋設計をすることが重要であり、仕様配筋とする部分を無くす必要がある。

2. 研究の目的

梁幅が小さいシングル配筋梁の上面付着割裂破壊を防止し変形限界を向上させるための配筋方法、人通口を有する場合に人通口部に変形が集中せず、さらに終局破壊が人通口のない部分の曲げ降伏で決まる配筋設計方法、基礎立ち上がり部が不連続となる部分の補強梁について、ユニット化する配筋方法を提案することを目的とした。さらに、力学的根拠に基づく配筋設計方法をまとめて、住宅設計・施工関係者に向けて情報発信することを目的とした。

3. 研究の方法

- (1) シングル配筋される梁幅が小さい場合を想定した部材と、通常梁幅を有し閉鎖型せん断補強筋が配置される部材のせん断実験を行い、シングル配筋梁の応力伝達メカニズムと上面割裂破壊について分析を行った。
- (2) シングル配筋梁の応力伝達メカニズムと上面割裂破壊についての分析結果から、上面割裂破壊を防止して変形限界を大きくする配筋方法を提案し、実験によって実証した。
- (3) 人通口のために切欠き部分がある基礎梁についての実験結果を分析し、切欠き部分における曲げモーメントの伝達と破壊メカニズムを明らかにした。それに基づき、終局時に切欠き部分で破壊が起こらず、変形能力が確保された良好な曲げ破壊モードとするための配筋を決める解析モデルを提案した。
- (4) 基礎梁腹部に開孔が設けられる場合につ

いては、通常の開孔梁についての既往の実験結果を解析し、応力伝達メカニズムを仮定してせん断耐力評価を行い、それに基づく配筋方法の検討を行った。

- (5) 基礎立ち上がり部分が不連続となる部分の補強梁への適用を考えて、組立て鉄筋を用いた梁のせん断実験結果から、施工の合理化のために、溶接組立て鉄筋ユニットの使用可能性を検討した。

4. 研究成果

(1) シングル配筋梁の主筋の付着性状に関する実験

せん断補強量を一定とし、中間筋のみがせん断補強筋ウェッジ部分の拘束を受ける場合、コーナー筋のみがせん断補強筋ウェッジ部分の拘束を受ける場合、中間筋はせん断補強筋ウェッジ部分の拘束を受けないが、せん断補強筋フランジ部分で抑えられておりその量が異なる場合について、ひずみ測定に重点をおいた実験を行った。図 1 に配筋図を示す。

せん断終局耐力時直前の各試験体の中間筋とコーナー筋のひずみ分布を図 2 に示す。せん断補強筋が直接かかっていない No.1 の

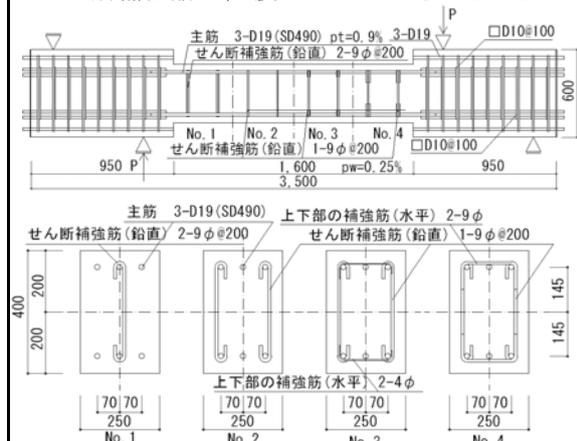


図 1 主筋の付着性状に関する実験の試験体

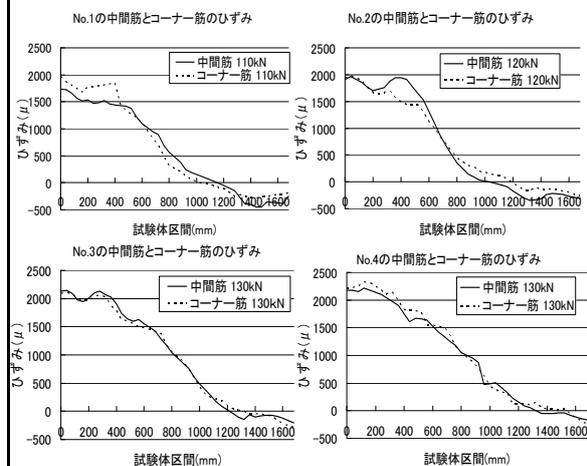


図 2 中間筋とコーナー筋のひずみ分布

コーナー筋と No.2 の中間筋は、材端部でひずみが一一定となっている。一方、せん断補強筋が直接かかっている No.1 の中間筋と No.2 のコーナー筋は、材端部でひずみ分布に傾きがあり、せん断補強筋が直接かかっている主筋だけでトラス機構が構成されていることがわかる。

No.3 と No.4 では、どの主筋にもひずみ分布に同じ傾きがあり、被り部分全体でトラス機構を形成していることがわかる。

(2) シングル配筋梁の応力伝達メカニズムと上面割裂破壊

トラス機構では、図 3 のように通常梁部材であれば、せん断補強筋で囲まれた主筋を含む圧縮側コンクリート全体がウェブコンクリートの斜め圧縮力につらあい、シングル配筋部材では、図 4 のようにその領域が小さくなり、1 本の主筋とその周囲のコンクリートがウェブコンクリートの斜め圧縮力につらあうことが実験により確認された。図 4 では、主筋が直接せん断補強筋による拘束を受けないコンクリートに押し付けられるので、被りコンクリートに割裂引張応力が生じて上面割裂ひび割れが発生する。ひび割れ後、さらに楔効果でひび割れ幅を拡大させ、上面割裂破壊に到る。この現象に主筋比は関係ない。したがって、曲げ降伏後の変形限界は、この上面割裂ひび割れと曲げせん断ひび割れによるコンクリートの主筋からの剥落によって決まり、主筋比によらないことになる。せん断耐力が低下するのは、有効梁幅が小さくなると考えるよりは、上面割裂ひび割れ幅の拡大で決まると考えるのが合理的であろう。

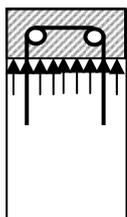


図 3 通常梁

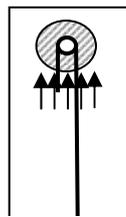


図 4 シングル配筋梁

(3) 上面割裂破壊を防止する配筋法に関する実験

上面割裂破壊を防止するには、トラス作用によるウェブコンクリートの圧縮力を梁幅内に分布させればよく、主筋が被りコンクリートに接する幅を大きくすればよい。さらに、主筋が楔効果で上面割裂ひび割れを押広げるのを防ぐためには、ウェブコンクリートの圧縮力に対する主筋の曲げ変形を小さくすればよい。そこで、主筋を薄肉の梁幅内で水平に 2 本並べ、肋筋間隔を小さくした実験を行った。

試験体を図 5 に示す。No.1 を基準として、

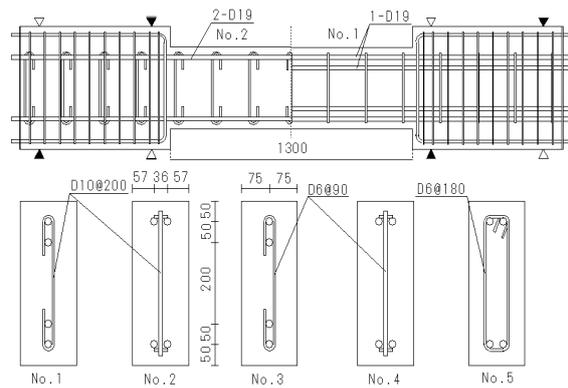


図 5 配筋法に関する実験の試験体

No.2 が主筋を横に並べた配筋、No.3 がせん断補強筋の間隔を狭くした配筋、No.4 がその両方を考慮した配筋、No.5 は側面かぶり厚を無視しているが閉鎖型の配筋である。No.2 と No.4 では、主筋につなぎ鉄筋を点溶接して梯子筋にし、せん断補強筋をシングル配筋した。

図 6 にほぼ最大耐力時のひび割れ状況を示す。主筋を水平に 2 本並べた No.2, 4, 5 のひび割れパターンは同じであった。上面割裂ひび割れが生じたが、ひび割れ幅が広がらず、側面に付着ひび割れが多数生じて破壊した。主筋をシングル配筋した No.1, 3 は、上面割裂ひび割れ幅が拡大して割裂破壊し、急激に

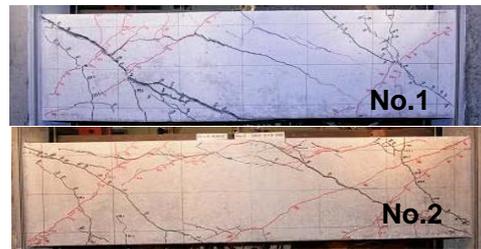


図 6 ほぼ最大耐力時のひび割れ状況

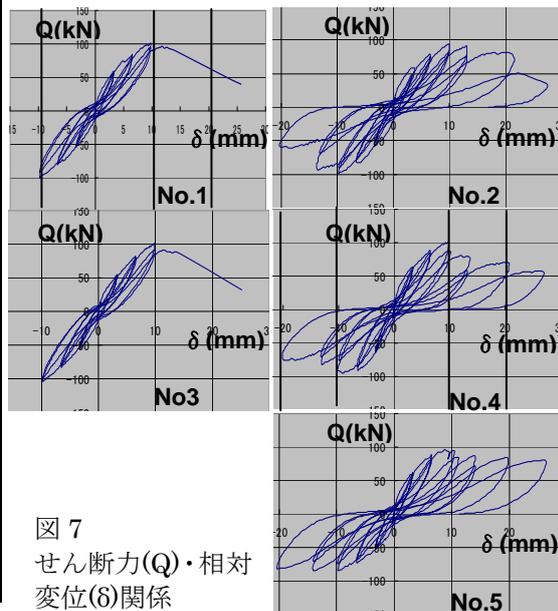


図 7 せん断力(Q)・相対変位(δ)関係

耐力を失った。

図7にせん断力(Q)・相対変位(δ)関係を示す。主筋を水平に2本並べ、せん断補強筋をシングル配筋したNo.2, 4は、閉鎖型せん断補強筋を配置したNo.5と同様のQ- δ 関係を示し、最大耐力後も徐々に耐力が低下するように改善されている。

(4) 人通口を有する部材長方向で変断面となる部材の実験

図8に試験体配筋図を示す。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、開口位置と開口寸法を決定した。スパン3600mmで逆対称曲げモーメント状態を想定し、半分の片持ちばり形式とした。試験体は、斜め補強筋有りの場合と無しの場合とした。

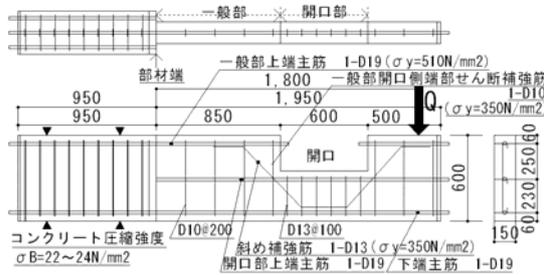


図8 試験体配筋図

図9に荷重・たわみ曲線を示す。図10に最終破壊状況を示す。斜め補強筋がない場合は、開口部上端主筋に沿うひび割れが連続して付着劣化が生じ、抜け出しが大きくなって剛性が低下した。付着劣化が起こっても主筋の抜け出しを防ぐためには部材端側の主筋端部で定着を図る必要がある。斜め補強筋がある場合は、曲げひび割れでテンションシフトが起こり、一般部主筋の付着長さが不足して定着破壊が生じた。斜め補強筋があると開口部周辺のひび割れ幅の拡大を防止するので、開口部上端主筋に沿うひび割れが起こり難くなる。一般部の変形が大きくならざるをえず、付着長さが不足すると定着破壊が起こる。これを防ぐためには一般部上端主筋の開口側端部でも定着を図ることが重要である。また、一般部上端主筋と開口部上端主筋が梁せい方向へずれた空き重ね継手となる。応力伝達のためのトラス機構が成立するためには、主筋端部で定着を図った位置に相当量のせん断補強筋が必要となる。斜め補強筋が開口周辺に発生するひび割れ幅の拡大を防ぐ効果が大きく、開口隅角部に集まる鉄筋を降伏させなければ、部材端で曲げ終局となるような破壊モードとすることができると考えられる。

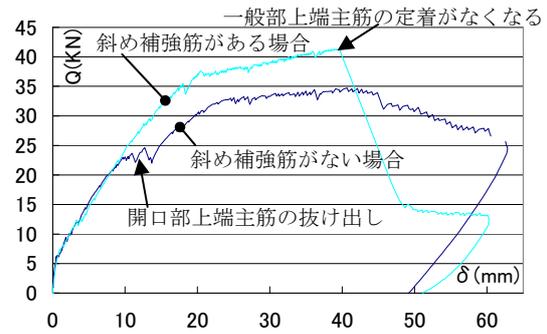


図9 荷重・たわみ関係

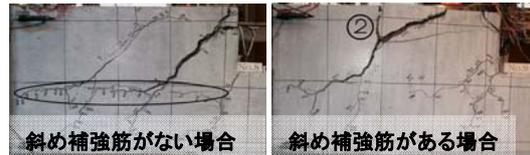


図10 最終破壊状況

(5) 人通口を有する梁の配筋設計法

斜め補強筋および一般部主筋開口端部のせん断補強筋は、開口部端の曲げ耐力の増加に寄与する。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。

図11のように、開口隅角部とB点を結ぶひび割れによって、開口部端から右側部分が回転している状態を考える。 $\Delta l_0, \Delta l_5, \Delta l_1, \Delta l_2$ 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一様な歪が生じていると仮定すれば、その歪と一定区間長さの積に対応する。 $\Delta l_0, \Delta l_5, \Delta l_1, \Delta l_2$ 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。

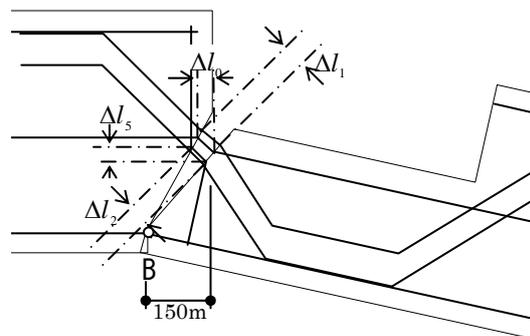


図11 仮定するひび割れパターン

B点において負担させる曲げモーメントを求め、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とすれば、各鉄筋の引張力を求めることができる。斜め補強筋はひび割れに対する角度が大きいために、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るが、斜め補強筋Ⅱがあれば容易にどの鉄筋も降伏しないようにすることができ、斜め補強筋が重要であることがわかる。

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大きな部を負担する。従って、斜め補強筋がなければ、開口部上端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、開口部上端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、開口部上端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。

(6) 腹部に開孔を有する場合の応力伝達メカニズム

靱性型指針のせん断終局強度の評価の考え方では、開孔があるため梁全体でのアーチは形成されず、開孔周囲では図12のような開孔をよけるトラス機構が形成されると仮定している。これを開孔周囲だけで考えた場合、図12の圧縮束は集約して配筋される開孔際縦筋によって力がつり合っていると考えれば、図13のようなマクロトラス機構と捉える

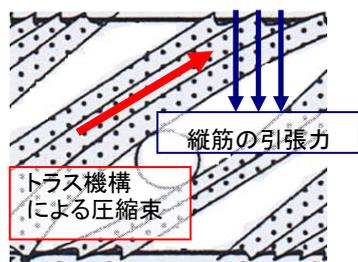


図12 靱性型指針によるトラス機構

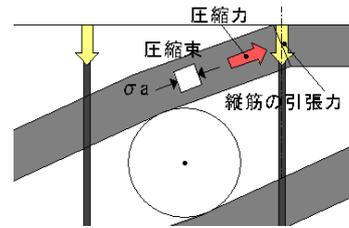


図13 マクロトラス機構

ことができる。この圧縮束の応力が先に破壊条件に達すれば、開孔際縦筋が降伏しない場合があることも説明できる。

開孔上下の2段梁部分のせん断補強筋が多くなると、せん断耐力が増加することが認められており、図14のようなトラス機構ができているとすれば、ウェッジコンクリートの応力が図13の圧縮束の応力に加わることになる。

斜め補強筋は、実験結果によればどんな場合にも降伏することから、図15のように独立してトラス機構を形成していると考える。

限られた既往の実験結果の傾向は、開孔縦筋が降伏するか否かを含めて、比較的良好に推定できている。梁幅の小さいシングル配筋梁にも同じ考え方が適用可能と思われる。

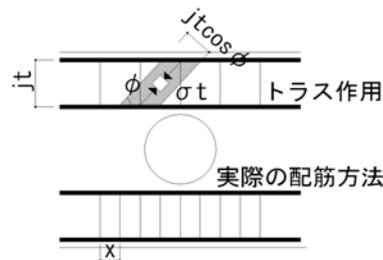


図14 開孔上下部のできるトラス機構

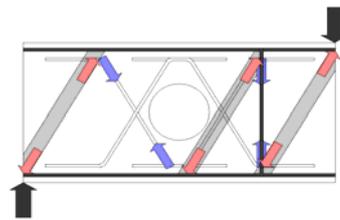


図15 斜め筋によるトラス機構

(7) 施工の合理化を考えた組立て鉄筋ユニットを用いた梁の実験

せん断補強筋をL形に分割し、主筋と全強度溶接した鉄筋ユニットを二つ組み合わせて閉鎖形せん断補強筋形状をした梁配筋とする。その手順は図16に示すとおりである。

通常の135°フック付き閉鎖形せん断補強筋を用いて通常の梁配筋をしたものと比較しても、同等の性能が得られることが確かめられている。曲げ降伏を許容しない部材であれば、主筋に溶接を用いることに大きな問題はないと思われるが、せん断補強筋の定着用

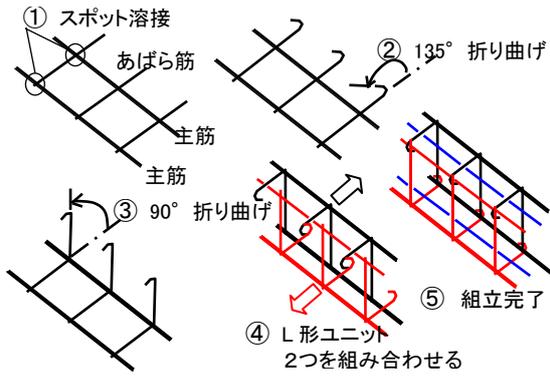


図 16 L形鉄筋ユニットと組立方法

に細径の別の鉄筋を取り付け、キャップタイで主筋と定着用の細径鉄筋の両方を抱え込んで、閉鎖形のせん断補強筋形状とする方法を提案した。

図 17 に示す鉄筋ユニットをせん断補強筋として製作する。門形筋の折り曲げ部およびスポット溶接した定着用鉄筋に沿って主筋を置き、キャップタイとして L 形筋を取付ければ、配筋作業が簡略化される。

図 18 に示すせん断破壊先行型の標準 135° フック付せん断補強筋を用いた試験体 (No.01)、図 17 の鉄筋ユニットを用いた試験体 (No.02)、さらに L 形筋を二重に取り付けた試験体 (No.03) および曲げ降伏先行型の試験体 (No.04) の 4 体の実験結果を検討した。本提案の溶接組立せん断補強筋ユニットを用いて、計算値以上のせん断耐力が得られた。また、ユニット化したせん断補強筋は降伏まで引張力を発揮した。門形筋と L 形筋に分割されて

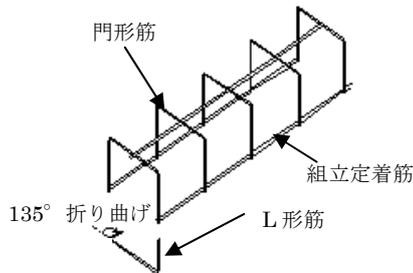


図 17 ユニット化したせん断補強筋

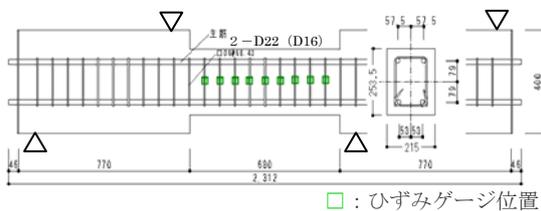


図 18 配筋図

いてもコアコンクリートに対する拘束力を有し、曲げ降伏後の変形能力も充分有していることを確認した。

梁の構造性能としては基礎立ち上がり部分が連続しない箇所の補強梁の配筋として使用されても何ら変わることはなく、溶接組立て鉄筋ユニットの使用が施工の合理化のために極めて有用であることを確認した。

(8) まとめ

シングル配筋梁を想定した主筋の付着性状に関する実験から、せん断力伝達メカニズムを明らかにした。その分析に基づき、シングル配筋梁の上面割裂破壊を防止して変形限界を大きくする配筋方法を提案し、実験によってその効果を実証した。

人通口のために切欠きができる部分に対しては、開口周りの鉄筋量を算定できる解析モデルを提案した。ただし、実験結果は限られた範囲でしかないので、今後実験結果を増やして、解析モデルを更に改良しなければならない。

住宅用基礎梁の腹部に開孔が設けられる場合は多くないと思われるが、住宅が高機能化されれば設備配管のための開孔が設けられることも十分予想できる。通常の開孔梁についての既往の実験結果を解析し、応力伝達メカニズムの検討を行った。シングル配筋開孔梁の場合にも基本的には同じ考え方が適用できよう。

玄関周りのように基礎立ち上がり部分が不連続となる部分の補強梁を考えて、組立て鉄筋ユニットの利用可能性を検討した。配筋作業に鉄筋工事専門業者が関わらないことに加え、将来的には労働者人口が減少することを考えれば、施工の合理化だけでなく品質の確保のために、住宅基礎配筋のすべてをユニット化していくことが必要であろう。

本研究成果が、社会インフラの基本単位である住宅の耐震安全性の向上のための設計に役立つことを願っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ①小林克巳、RC 造大開孔梁のせん断終局耐力に対する開孔周囲補強筋の役割について、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、C、2012、237-238

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 克巳 (KOBAYASHI KATSUMI)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40150297