

論文内容の要旨

鉄筋継手は、鉄筋コンクリート工事が始まって以来、構造物の構築において課題となることが多く、これは普遍的なものといっても過言ではない。その理由として、現場への運搬のために鉄筋を短く切断する必要があり、大きな構造物の構築には、これらを「継ぐ」作業が必ず発生するためである。流通する鉄筋の最大長さは、20t トレーラーのような大型運搬車両が公道を走るようになった現代においても 12m 程度である。これより、技術の進歩とともに鉄筋継手も多様なものが開発されたが、鉄筋継手の個所数を減らすまでには至っていない。

また、建設業に携わる者は、鉄筋コンクリート工学を学んでいることと思われるが、その設計例の中には鉄筋継手の概念が含まれていない。すなわち、鉄筋継手がないものとして設計したものを学んでいるということである。このため、設計者が構造物のどこに継手を設けるか頭を悩ませるケースが発生している。

鉄筋継手は、重ね継手、ガス圧接継手、溶接継手および機械式継手の 4 種類に大きく分類され、「生産性向上」を目的とした機械式継手の採用が年々増加傾向にある。機械式継手は、施工指導を受けることで誰でも容易に施工ができ、かつその手順を順守すれば必要な性能が得られるため、個人の力量差が生じにくいという利点がある。

土木構造物においては、隣接する鉄筋の継手は、一般的に千鳥配置とするため、非効率な作業とならざるを得ない。これは、継手箇所数が特に多いボックスカルバートのような RC 構造物では、主鉄筋の継手位置が作業足場の上下に隔てられる場合があり、施工および施工管理上での負担が増加し、機械式継手のメリットを十分に活かしきれない場合があるためと考えられる。

建築分野では、柱部材の塑性ヒンジ部内に機械式継手を同一断面に設けること（以下「同列配置」という）について、多くの研究成果が報告されている。これらのことから、建築構造物においては、生産性向上のために現場ヤード等において鉄筋籠を地組みした後にクレーンで吊り上げて、機械式継手の接合作業を行う「先組み工法」（プレハブ工法ともいう）や工場で作成した部材を現場で接合する PCa 工法などが多く取り入れられている。建築分野においてこのような工法の取入れは、既に一般化されているといつてよい。一方、土木構造物においても、先組み工法や PCa 工法の採用が全くないわけではないが、施工業者による VE 提案によるものが大半であり、一般化にはほど遠いというのが現状である。何故、土木分野においては、このような試みが遅れているのであろうか。

本研究では、地震力を受ける鉄筋コンクリート壁部材に用いる機械式継手工法の合理的化を図るため、種々の実験的検討を実施した。

第 1 章では、本研究の背景および既往の研究について整理し、機械式継手の合理的な使用方法にあたる同列配置についての説明と工法開発のための検証方法について述べた。

第 2 章では、鉄筋継手および部材の変形性能に関する研究の歴史について述べた。内容は、鉄筋継手を種類別にその原理を説明した上で、鉄筋コンクリート工事が始まって以来の鉄筋継手の変遷について述べている。また、鉄筋の座屈に焦点をあて、部材の変形性能について報告されている研究についても述べている。

第 3 章では、ねじ節鉄筋継手で接合した鉄筋の座屈抵抗性の評価について述べた。既往研究では、曲げ破壊型の部材の変形性能は、圧縮鉄筋の座屈、かぶりコンクリートのはらみ出しによって決まるとの報告がなされている。前述した変形性能の向上は、剛性が大きいねじ節鉄筋継手が塑性ヒンジ部に同列配置されたことで継手なしの試験体より主鉄筋の座屈が遅れて発生したことに起因していると仮定した。すなわち、ねじ節鉄筋継手で接合した鉄筋は、鉄筋単体よりも座屈に対する抵抗力が大きいことが予測される。

部材の終局時の圧縮鉄筋の座屈は、鉄筋が塑性化してから発生することから、ねじ節鉄筋継手で接合した鉄筋の引張降伏後の座屈に着目した。継手の有無による座屈抵抗性の違いを明らかにするため、ねじ節鉄筋

継手で接合した鉄筋の引張降伏後の座屈試験を実施した。その結果、ねじ節鉄筋継手で接合した鉄筋は、鉄筋単体よりも座屈抵抗性が高いことを明らかにした。

第4章では、A級のねじ節鉄筋継手を同一断面に配置した実大RC壁部材の部材性能の評価について述べた。本研究では、実大規模のボックスカルバートの壁部材を対象とし、試験体の形状は、ボックスカルバートの一部を切り出し、せん断スパン a が 2,000mm、有効高さ d が 800mm で、せん断スパン比 (a/d) を 2.5 の片持ち形式の実大のRC壁試験体とした。

主鉄筋の配筋は、耐震性向上の観点から発生する過密配筋についても着目し、主鉄筋の高強度化による主鉄筋比低減も試みた。主鉄筋比を低減することは、鉄筋の配筋作業の工数が減るだけでなく、コンクリート打設時の充填性の改善も期待できる。そこで、部材の耐力が同等となるようにSD345からSD490に変更した場合についても検討を行った。鉄筋単体の試験体および同じ配筋で塑性ヒンジ部にA級のねじ節鉄筋継手を同列配置した試験体には主鉄筋にSD345のD32を使用した。また、主鉄筋比を低減した試験体は、SD345のD32を使用した試験体と終局曲げモーメントが同等となるようにSD490のD29の本数を調整した。

ねじ節鉄筋継手を同列配置した試験体の変形性能は、絶対変形量で評価し、鉄筋単体の試験体と同等以上となることがわかった。なお、これらの変形性能は、荷重が大きく低下した変位ステップの一つ手前の変位ステップとしている。最初にかぶりコンクリートが剥落する変位ステップは、荷重が低下する変位ステップと同じであり、これらの変位ステップはねじ節鉄筋継手を同列配置した試験体の方が鉄筋単体の試験体より大きかった。本実験では、正負交番载荷による壁部材の伸び出しとして軸変位を計測した。ここで、水平変位が増加するにもかかわらず軸変位が増加しなくなる点は、荷重-水平変位履歴曲線における荷重が顕著に減少し始めたタイミングの点とほぼ同じであることがわかった。また、かぶりコンクリートの剥落も同じ変位ステップで起きていることから、前述した既往研究にあるように、この現象は、圧縮力を受けた鉄筋の座屈によるものと考えられる。よって、ねじ節鉄筋継手を同列配置した試験体の変形性能が鉄筋単体の試験体より大きくなるのは、継手単体の座屈試験結果で示したように主鉄筋の座屈抵抗性の向上によるものとした。

第5章では、ねじ節鉄筋継手単体の特性について述べた。部材実験で使用するねじ節鉄筋継手は、カップラーへの鉄筋挿入のかん合山数を変えて引張試験を実施し、4条件を選定した。選定した4条件の継手単体特性は、コンクリートライブラリー128 鉄筋定着・継手指針【2007年度版】の継手性能判定基準に基づき評価し、SA級、A級、B級相当、C級相当に分類した。なお、B級相当およびC級相当としたのは、一部剛性で規格値を満足しない項目があったものの、強度は満足したためである。SA級およびA級と判定された継手は、母材破断となり、B級相当およびC級相当の継手は、カップラーからの鉄筋の抜け出し破壊となった。

第6章では、ねじ節鉄筋継手単体の特性と実大RC壁部材の部材性能との関連性について述べた。本研究では、継手単体の特性が母材破断となる継手とカップラーからの鉄筋の抜け出し破壊が発生する継手をそれぞれの部材の同一断面に配置し、その部材性能の違いを検証することとともに、同じ配筋で継手がない試験体の部材性能との比較も実施した。

母材破断となるSA級の継手を用いた試験体およびA級の継手を用いた試験体は、主鉄筋の座屈による耐力低下となった。鉄筋の抜け出し破壊を起こすB級相当の継手を用いた試験体は、部材の中ではカップラーから主鉄筋の抜け出し破壊を起こさず、主鉄筋の座屈による耐力低下となった。これは、B級相当の継手を用いた試験体の部材の中で生じた主鉄筋の最大ひずみが、継手単体の引張試験における終局ひずみを下回ったものと考えた。一方、主鉄筋の抜け出し破壊を起こすC級相当の継手を用いた試験体は、部材の中でもカップラーからの主鉄筋抜け出し破壊を起こし、耐力も低下した。これは、試験体の中で生じた主鉄筋の最大ひずみが、継手単体の引張試験における終局ひずみを上回ったためと考えた。

これより、B級相当のねじ節鉄筋継手以上の特性を持つ継手を用いた場合、塑性ヒンジ部に同列配置した部材の耐力、変形性能および使用時のひび割れ幅は、継手がない部材と同等以上の性能を示すことがわかった。また、主鉄筋のひずみ硬化域に入って間もなくカップラーから鉄筋が抜け出し破壊を起こすねじ節鉄筋継手を用いた場合、部材の剛性および変形性能は低下することがわかった。以上のことから、本実験に用いたねじ節鉄筋継手では、継手単体で母材破断する場合、強度、剛性、すべり量、伸び能力等の継手単体特性に

多少の違いがあっても部材性能としては大きな差異がないことが示された。

本論文第7章では、これまでの章をまとめるとともに、部材の変形性能が決まるメカニズムおよび部材の要求性能を満たすのに必要な継手単体特性について述べた。