

氏 名	満 木 泰 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 2 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 41 年 3 月 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	マッシブなコンクリートフーチングにおける異形鉄筋 の定着に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 尾坂 芳夫 東北大学教授 福田 正 東北大学教授 三浦 尚 東北大学教授 柴田 明德 東北大学助教授 鈴木 基行

論 文 内 容 要 旨

鉄筋コンクリート橋脚の躯体脚部の軸方向鉄筋がマッシブなコンクリートフーチングの中に埋め込まれて定着されている場合には、その定着破壊は、縦ひびわれは出ないか、出ても定着部全体が割裂するほど成長せず、異形鉄筋のふし間のコンクリートがせん断されて鉄筋が引き抜けることにより生ずる。このとき、異形鉄筋が引き抜ける直前あるいは鉄筋が降伏した直後に、フーチング上面に沿って生じた横ひびわれの面で定着鉄筋のまわりのコンクリートがコーン状に抜け出すことがある。この場合、このコーン状に破壊した領域は、鉄筋の定着には全く寄与しない。また、このコーン状の破壊面は、フーチング等の定着部材の形状寸法や使用する鉄筋の直径や間隔などの配筋方法の影響を受けることがある。したがって、マッシブなコンクリートフーチングの中に鉄筋を定着する際の設計にあたっては、このような定着部の鉄筋ならびにその周辺の挙動を十分に反映したものである必要がある。しかしながら、この問題は鉄筋とコンクリートとの付着という十分に解明されているとは言えない分野を含むため、未検討の状態にある。

本研究は、このような背景のもとに、異形鉄筋の基本的な付着特性についてまず述べ、マッシブなコンクリートフーチングに橋脚や柱の軸方向異形鉄筋を定着し、橋脚や柱が地震等の大きな水平力を受け鉄筋が降伏した後においても一定の範囲内において構造物が脆性的な破壊をおこすことな

く、変形できるようにするための定着部の設計法についての資料を得ることを目的としたものである。

第1章 緒 論

この章では、マッシブなコンクリートにおける異形鉄筋の定着破壊性状に関する研究の重要性を指摘し、関連する示方書や既往の研究を概観し、その問題点と本研究の持つ意義について述べている。

第2章 異形鉄筋の付着特性と内部ひびわれ

この章では、鉄筋の表面形状、直径、供試体の断面寸法を変えた両引供試体を用いて異形鉄筋の基本的な付着特性について明らかにしている。まず、この研究に用いた実験材料、供試体および実験方法について説明している。特に、異形鉄筋の付着特性と密接に関係がある最大ひびわれ間隔および内部ひびわれを実験的に明らかにできるように工夫した供試体や実験方法について述べている。この方法を用い、各種異形鉄筋および丸鋼について、基礎的な実験を行い、つぎの成果を得ている。

- (1) 両引供試体の正方形断面の四隅に小さな切れ目をつけておけば、両引供試体に発生するひびわれの位置、間隔をきわめて容易に調整でき、最大ひびわれ間隔が、試的に求めることができる。
- (2) 最大ひびわれ間隔は、供試体断面積および鉄筋直径に、ほぼ比例する。また、鉄筋の表面形状は最大ひびわれ間隔に影響をおよぼし、付着性のよい異形鉄筋では、丸鋼の場合のほぼ $1/2$ である。
- (3) ひびわれ幅と鉄筋応力度との関係はほぼ直線で表され、ひびわれ幅は、そのひびわれをはさむ2つのひびわれ間隔の平均値にほぼ直線的に比例する。
- (4) 異形鉄筋のふし部分には、コンクリート表面にあらわれないひびわれが発生し、その形状は鉄筋のふし部を頂部とするほぼ円錐状をなし、端面又は最寄りのひびわれ面の方向に向いている。また、内部ひびわれは、ひびわれ面に近いふし部から発生しはじめ、その後、鉄筋応力度の増加とともにあるいは繰返し载荷によって順次奥の方へその数を増していく。内部ひびわれの長さは、鉄筋応力度の増加にともなって、あるいは繰返し载荷によって長くなり、そのあるものはすでに発生しているひびわれ面に達する。

内部ひびわれに与える鉄筋の影響については、細径鉄筋を用いた場合より太径鉄筋を用いた場合の方が発生は顕著であり、また、鉄筋の表面形状によってもかなり相違し、一般に直角横ふし異形鉄筋を用いた場合よく発生し、斜めふし異形鉄筋を用いた場合は、その発生が少ない。

第3章 静的引張荷重を受ける異形鉄筋の定着破壊性状

この章では、コンクリートブロックに1本および複数本の異形鉄筋を埋め込んだ供試体に静的引張荷重を加え、定着破壊強度等と与える鉄筋の間隔、定着長、本数等の影響を明らかにしている。まず、この研究に用いた実験材料や実験方法について説明している。特に、かぶりコンクリートにたてひびわれが入らないようなマッシブなコンクリートに鉄筋1本から無限本埋め込んだ場合の状

態が実験的に明らかにできるように工夫した供試体について述べ、この供試体を用いて、引張試験による定着破壊強度、内部ひびわれの状況を試験し、また有限要素法により内部ひびわれを解析することにより次の成果を得ている。

- (1) 鉄筋の定着破壊性状は、鉄筋の埋め込み長さによって二つに大別され、埋め込み長さが小さければ鉄筋の最下端を頂点としコンクリート表面を底面とするコーン状にコンクリートが鉄筋と共に抜け出す。また、埋め込み長さが大きくなると、鉄筋のある位置から上の方はその点を頂点とするコーン状にコンクリートが破壊し、それより下方では鉄筋のふしとふしの間のコンクリートがせん断されるような破壊となる。
- (2) インク注入実験によると、単独にある鉄筋の引張荷重を作用させると定着鉄筋の周りのコンクリートには鉄筋のふし部より内部ひびわれ斜め上方に向かって発生しており、それらのいくつかは成長してコンクリート上表面に達している。また、鉄筋が2本以上の場合、それらの鉄筋の間隔が鉄筋直径の約6倍程度以下であれば両方の鉄筋からの内部ひびわれが連結し水平に近い梯子状の内部ひびわれとなる。この梯子状の内部ひびわれは定着強度に著しく影響を与える。
- (3) 有限要素法解析によると、異形鉄筋のふし部のコンクリートには鉄筋応力度のかなり低いうちから内部ひびわれが発生し、鉄筋応力度の増加と共に成長する。また、内部ひびわれと鉄筋軸とのなす角度は鉄筋近くでは約47度であり、この値は、インク注入実験で鉄筋付近で得た角度とほぼ同等である。
- (4) 比較的狭い間隔に並んで埋め込まれた複数の鉄筋による定着では、群効果が生じ、コーン状引張破壊をおこす長さの範囲は拡大する。また、鉄筋1本当りの定着強度は単独で埋め込まれた場合の約50%程度まで減少にする。
- (5) 以上のことから、かぶりコンクリートにひびわれが入らないようなマッシュなコンクリートに埋め込まれた鉄筋の定着強度は、コーン状定着破壊をする領域ではコンクリートの引張破壊、それから先では、付着破壊するとして求めることができ、付着破壊強度は鉄筋がふし部コンクリートをせん断破壊するとして計算するのが適当である。この考え方にもとずきコーン状破壊が生じる領域を求めるための計算式を得た。

第4章 正負交番荷重をうける異形鉄筋の定着破壊性状

この章では、フーチングと柱とを一体化した逆T型および独立フーチング型の供試体を使用し、地震時を想定した正負交番荷重を搭載し、フーチングに埋め込まれた鉄筋の定着破壊性状を試験した。これらの試験から次の成果を得た。

- (1) 定着長を 10ϕ とした場合には、正負交番荷重により鉄筋の下端部分を包絡する内部ひびわれが発生し定着破壊が生じるが、定着長を約 20ϕ とした場合には、鉄筋応力度が降伏強度に達する時の変位量の最大2倍までの荷重を加えたとしても、鉄筋の降伏はかなりの範囲にまで及ぶが、定着破壊は生じない。
- (2) 鉄筋間隔がある程度(6ϕ)より小さい場合には、繰り返し荷重により双方の鉄筋よりの内部ひびわれが連結し、鉄筋周辺のコングリートのブロック化が進み、フーチングと柱の接合面から、

かなりの領域で鉄筋からコンクリートへの力の伝達ができなくなる。

- (3) 以上の結果および第3章の成果をもととして、かぶりコンクリートにひびわれが生じない構造物が正負交番荷重をうける場合の異形鉄筋の定着長の算定にあたっては、コーン状に破壊する部分のコンクリートは繰り返し荷重により鉄筋からコンクリートへの力の伝達は期待できない状態となるので、コーンの頂点にあたる点を定着長算定の起点とするのが適当である。その範囲は、第3章(5)で示す式によるのが適当であり群効果を考慮すると少なくとも 15ϕ とする必要がある。

また、定着長の起点を越えた部分の付着強度としては、鉄筋からのコンクリートへの応力の伝達は極めて良好であることから、土木学会示方書を示す平均付着強度でなく、コンクリートが鉄筋のふしによりせん断破壊するとして求めた強度が適当である。

第5章 マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の群効果を考慮した定着設計についての一提案

この章では、第2～4章の研究成果をもととして、かぶりコンクリートにひびわれが発生しないようなマッシブなコンクリートの中に軸方向主鉄筋を直線的に定着する場合の定着設計法として次の方法を提案する。

- (1) 定着部設計の基本的考え方として、地震時における鉄筋応力度が鉄筋降伏強度を超えたとしてもある範囲内で定着部はぜい性的な破壊を生じることなく変形しうるような靱性を持つこととし、定着長の起点は、繰り返し荷重により鉄筋の周辺のコンクリートが破壊した部分を取り除いた部分とする。
- (2) 繰り返し荷重により鉄筋の周辺に生ずる内部ひびわれは、隣接する鉄筋との間隔が小さければ、鉄筋周辺の内部ひびわれが相互に影響するいわゆる群効果が生じ、定着に寄与しない範囲は拡大するものとする。この時の間隔の一案として本研究の範囲では 6ϕ を用いるのが適当である。
- (3) 群効果を考慮した定着長および定着長を算定する際の起点までの距離を算定するための式を提案した。

なお、使用する付着強度は、コンクリートが鉄筋のふしによりせん断破壊する時の強度とするのが適当であり、実験により求めた値とする。

第6章 結 論

この章では、引張異形鉄筋をマッシブなコンクリートに定着する場合の設計手法について基礎的研究の結果をまとめて得た結論を述べている。

審 査 結 果 の 要 旨

異形鉄筋を直線鉄筋としてマッシブなコンクリートに定着する構造は、施工が容易で広く使われることが期待されており、安全かつ合理的な設計法の確立が強く望まれている。著者はこの要求に応える目的で異形鉄筋周辺に生じる内部ひびわれを実験的に調べることにより鉄筋とコンクリートとの相互作用を明らかにし、内部ひびわれの発達が生じる鉄筋の定着挙動に大きい影響を有することを示し、鉄筋の群効果を考慮することにより地震時にも安全な定着構造を経済的に設計する方法を示した。

本論文はこれらの成果をまとめたものであり、全編6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、異形鉄筋の付着性状の基本特性と内部ひびわれの挙動について明らかにした事項を述べている。これは鉄筋の定着挙動を解明するための有効な基礎資料である。

第3章では、静的引張荷重をうける異形鉄筋の定着破壊性状について述べている。即ち、鉄筋の間隔、本数、埋め込み長さ等の因子が定着強度に与える影響を実験的に明らかにした事項を述べ、鉄筋間隔が内部ひびわれの状態、とくに鉄筋間のコンクリートに生ずる梯子状の内部ひびわれの発生に及ぼす影響について述べている。また、これらの成果から、異形鉄筋の定着設計では、複数の鉄筋による群効果により内部ひびわれの生ずる範囲の拡大を考慮する必要があること、および付着強度としては平均的な値でなく鉄筋のふしによりコンクリートがせん断破壊する時の強度をとり得ることを示している。また、定着と密接な関係がある内部ひびわれの発生と進展について有限要素法を用いて解析している。これらは優れた成果である。

第4章では、正負交番荷重を受けた場合の異形鉄筋の定着破壊性状について述べている。即ち、柱とフーチングを一体化した試験体に地震時を想定した正負交番荷重を加え、これが、定着鉄筋の応力分布および内部ひびわれの挙動に及ぼす影響について調べた結果を述べている。これにより第3章での成果を検証するとともに、荷重の繰り返しにより内部ひびわれの発生範囲が拡大することを確認している。これは定着設計に関する極めて有用な知見である。

第5章では、第4章までの成果をもとにして、マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の定着設計方法についての提案を行っている。即ち、鉄筋の群効果を考慮した新たな方法を提案し、合理性を示している。

以上要するに本論文は、マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋について、内部ひびわれに与える鉄筋の複数配置の効果及び、その定着強度に与える影響を調べ、これを設計に考慮する方法を提案したものであり、土木工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。