

学 位 論 文 題 名

ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材の
変形性状および耐力に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、土木構造物が山岳部、大深度と様々な地理的条件で建設することが要求され、また快適性、景観の面からも構造系が多様化し、曲線性、非対称性を持つものが造られる機会が増えてきている。さらに、海洋構造物など複雑な荷重を受ける場合や、地震などによる偶発荷重に対する既設構造物への補強対策の必要性が認識され、せん断中心以外に外力が働く場合あるいは構造物自身が偏心している場合に対する設計の必要性が増してきている。これらはいずれもねじりモーメントの発生につながるもので、これまで一般に副次的なものと捉えてきたものが、ねじり作用に対する設計の必要性が増加し、効果的なねじり補強を行うことの要請が高まってきている。

現在、鉄筋コンクリート部材のねじり挙動を変形も含めて評価できる手法として、鉄筋コンクリート（RC）平板モデルを用いた解析法があるが、この手法にも未解明な点が残されている。ひとつには、コンクリートの圧縮軟化応力-ひずみ関係である。ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材は、斜め方向に圧縮応力が発生し、それと直角方向に引張応力が生じ、ねじりひび割れが発生する。従って、コンクリートは圧縮-引張の2軸応力下にあり、標準供試体でえられる応力-ひずみ関係に比べ強度、剛性ともに低下することが知られ、応力軟化と呼ばれている。本研究では、2軸応力下の軟化性状について、ねじり問題に適用が可能な応力軟化式を構築することを目的とし、RC 平板の2軸載荷試験によって検討している。さらにかぶりコンクリートがねじりを受ける RC 部材に与える影響について、かぶり厚さを変えた実験により検討を行い、かぶりコンクリートの力学的な分担の評価方法を確認し、RC 平板モデルを用いたねじり解析の、精度の高い変形解析手法を提案している。これらを基に、かぶりコンクリートの挙動から、現コンクリート標準示方書で用いられている設計耐力式を検討し、より精度の高い耐力算定式を構築している。

本研究は、次の5章から構成されており、各章の概要は次の通りである。

第1章は序論であり、研究の背景、目的および範囲と構成について述べている。

現コンクリート標準示方書に終局時のねじりに関する条項が初めて設けられて以来、十数年経過しており、示方書の改訂も幾度かなされているが、ねじりの条項については、今だに改訂が進んでいない状況にある。また、世界的に見てもねじり問題は大きな進展はし

ていないと考えられる。一般には、ねじり問題はせん断問題であるが、せん断場のコンクリートの挙動は斜めひび割れによる応力軟化あるいはかぶりコンクリートの力の分担の低下が加わり、コンクリートと鉄筋の力の分担がかなり複雑となり、理論的な整備が遅れていることとなっている。

鉄筋コンクリート構造物のねじり問題に関する研究は、およそ 70 年前に Rausch により立体トラスモデルが提案されて以来、これを基に内外において力の釣合いを主体に様々な研究が行われている。1980 年代に、これを面内せん断理論問題として扱い、RC 平板にモデル化する研究が現れ、従来評価できなかった変形挙動についてもある程度評価できるまでになっている。しかし、ねじりに対して影響の大きいかぶりコンクリートの挙動については今だ未解明な点が多く、ねじり問題は、せん断問題として扱うことができるという共通の認識はあるが、せん断とねじりを統一的な理論、あるいは設計式で評価できるまでには至っていないと考えられる。本章ではコンクリートの圧縮軟化応力-ひずみ関係および有効かぶりなどを考慮してせん断に対する体系的な方向性について論じている。

第 2 章ではねじりを受ける部材のコンクリートの応力-ひずみ関係について検討している。解析の際に応力軟化を考慮する場合、現在多くの研究者は Collins らが提案した軟化係数式あるいはその修正式を用いている。しかし、これらの算定式は軟化係数を RC 平板に対するせん断加力型の比例載荷実験により求めており、本研究で対象とするねじり問題にそのまま適用することは難しいと考えられる。本章では、RC 平板の 2 軸載荷実験を行い、既往のモデルと比較しながら応力軟化係数式の構築を行っている。その結果、ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材において、せん断ひび割れを有する斜めのコンクリート圧縮材に対して標準供試体から得られる応力-ひずみ関係の応力を低減する応力軟化係数式を提案し、初期剛性を標準供試体の 0.8 倍とし、低減応力の下限值として 0.55 倍を与えている。

第 3 章では鉄筋コンクリート部材の純ねじり実験を行い、特にかぶりコンクリートの挙動について検討している。かぶりコンクリートの力学的な力の分担が解析に与える影響はきわめて大きく、かぶりコンクリートが弾性域からひび割れ発生、塑性域までの全てのねじり荷重領域に対して有効に抵抗すると考えて解析を行った場合、変形および耐力の算定値は実験値を大きく上回ることになる。これは、ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材は、かぶりコンクリートがひび割れ発生から剥離損傷を起こす過程によってかぶりコンクリートの力の分担が低下する挙動を示すためである。本章では、RC 平板モデルを用いた解析法に、ねじりに対して有効なかぶり厚さが変形に伴い徐々に減少する有効かぶりの概念を導入することによりかぶりコンクリートのひび割れから剥離損傷過程を評価し、有効かぶり式を構築している。これを RC 平板モデルを用いたねじり解析に適用することにより、精度良く変形挙動の評価ができることを明らかにしている。

第 4 章はねじりを受ける鉄筋コンクリート部材の耐力算定式に関する検討を行っている。かぶりコンクリートを耐力算定式の中でその適用方法を考慮し、特にせん断流の有効厚さのとり方について検討した結果、せん断流の有効断面の外周を横方向鉄筋中心で囲まれる

線とすることによって、終局時の剥離挙動を評価でき、耐力算定の精度が向上することを明らかにしている。

第5章は結論であり、前4章から得られた知見をまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 鎌 田 英 治
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 教 授 角 田 興史雄

学 位 論 文 題 名

ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材の 変形性状および耐力に関する研究

近年、コンクリート構造物が海洋、大深度などの様々な環境下に建設することが必要となり、また、快適性、景観の面からも構造形式が多様化している。このため曲線性、非対称性を持つものが造られる機会が増え、また、海洋構造物などの建設時においてねじりなどの複雑な荷重を受ける場合や、地震荷重などによる既設構造物へのせん断、ねじり作用に対する補強対策の必要性が改めて認識されて、効果的なねじりに対する設計、補強を行うことの要請が高まってきている。

現在、鉄筋コンクリート部材のねじり挙動を評価できる手法として、鉄筋コンクリート(RC)平板モデルを用いた解析法があるが、この手法にもコンクリートの圧縮応力の軟化挙動など未解決な部分が残されている。ねじりを受ける RC 部材は、斜め方向に圧縮応力が発生し、それと直角方向に引張応力が生じ、ねじりひび割れが発生する。ひび割れ後の RC 部材はコンクリートが圧縮－引張の 2 軸応力下にあり、標準供試体で得られるコンクリートの圧縮応力－ひずみ関係に比べ強度、剛性ともに低下することが知られ、応力軟化と呼ばれている。本研究では、2 軸応力下のコンクリートの軟化性状について、ねじり問題に適用が可能な応力軟化式を構築するため、RC 平板の 2 軸載荷試験によって評価している。さらにねじりを受ける RC 部材の終局過程におけるかぶりコンクリートの影響について、かぶり厚さを変えた実験などにより検討を行い、かぶりコンクリートの力学的な分担の評価方法を確立している。これによって、ねじり解析の精度の高い変形解析手法を提案し、これを基にコンクリート標準示方書で用いられている設計耐力式との比較検討を行い、より精度の高い耐力算定式を構築している。

本研究は、次の 6 章から構成されており、各章の概要は次の通りである。

第 1 章は序論であり、研究の背景、目的および範囲と構成について述べている。

ねじりに関する研究はせん断場のコンクリート挙動が斜めひび割れによる応力軟化あるいはかぶりコンクリートの力の分担挙動など、コンクリートと鉄筋の力の分担がかなり複雑なことから理論的な整備が遅れていることを指摘している。

鉄筋コンクリート構造物のねじり問題に関する研究は、およそ 70 年前に立体トラスモデルが提案されて以来、これを基に内外において力の釣合いを主体に様々な研究が行われている。1980 年代に、これを面内せん断理論問題として扱い、RC 平板にモデル化する研究があらわれ、従来評価できなかった変形挙動についてかなりの評価ができるまでになっている。しかし、ねじりに対して影響の大きいかぶりコンクリートの挙動については今だ未解明な点が多く、せん断とねじりを統一的な理論、あるいは設計式で評価できるまでには至っていない。本章ではコンクリートの圧縮軟化応力-ひずみ関係および有効かぶりなどを考慮してねじり・せん断に対する体系的な方向性について、研究の背景から論じている。

第 2 章ではねじりを受ける部材のコンクリートの圧縮応力-ひずみ関係について検討している。RC 平板の 2 軸載荷実験を行い、既往のモデルと比較しながら応力軟化係数式の構築を行っている。ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材において、せん断ひび割れを有する斜めのコンクリート圧縮材に対して標準供試体から得られる圧縮応力-ひずみ関係を低減するコンクリートの応力軟化係数式を提案している。

第 3 章では鉄筋コンクリート部材の純ねじり実験を行い、特にかぶりコンクリートの挙動について検討している。ここでは、ねじりに対して有効なかぶり厚さが変形に伴い徐々に減少する有効かぶりの概念を導入することにより、かぶりコンクリートのひび割れから始まる力の分担の低下過程を評価し、有効かぶり式を構築している。これを RC 平板モデルを用いたねじり解析に適用することにより、精度良く変形挙動の評価ができることを明らかにしている。

第 4 章はねじりを受ける RC 部材の耐力算定式に関する検討を行っている。かぶりコンクリートを耐力算定式の中で、特にせん断流の有効厚さのとり方について検討した結果、せん断流の有効断面の外周を横方向鉄筋中心で囲まれる線とすることによって、終局時のかぶりの剥落挙動を評価でき、耐力算定の精度が向上することを明らかにしている。

第 5 章はねじりと曲げを受ける RC 部材の耐力算定式に関する検討を行っている。第 4 章で得られたねじり耐力算定式に加え、曲げ耐力算定式として横方向鉄筋の拘束効果およびコンクリートと鉄筋の付着効果を取り入れたものを用い、ねじり-曲げ相関式に適用することにより、精度の良い耐力評価が可能となったことを明らかにしている。

第 6 章は結論であり、前 5 章から得られた知見をまとめている。

これを要するに、著者は、鉄筋コンクリート部材のねじり問題についてその変形・耐力評価に関する多くの新知見を得たものであり、コンクリート工学および構造工学の発展に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。