

コンクリートひび割れ面の最適せん断実験法と 接触理論に基づく構成則の開発に関する研究

学位論文内容の要旨

鉄筋コンクリート構造部材の一部にひび割れが発生し、さらにそこにせん断変形が進行し続けると、ひび割れ面にせん断すべり変位が生じ、このせん断変位に起因して、二つに分離されたひび割れの微小凹凸面が相互に噛み合い、そこに局所応力が発生することになる。このような現象がひび割れ面の随所で起ることで、ひび割れ面上をせん断力が伝達していくことになる。一般にこの現象は、「ひび割れ面のせん断応力伝達機構」と呼ばれて広く知られている。場合によっては、このメカニズムが部材に作用する全せん断力の凡そ 60 パーセントも負担し得ることが、既往の文献において報告されている。

コンクリートひび割れ面のせん断応力伝達機構の重要性は古くから認識されており、これまでも多くの研究が行われている。これら既往の研究は、1) ひび割れ面のせん断応力伝達挙動を実験的にアプローチする手法と、2) この現象をせん断応力伝達構成則モデルとして理論的に追跡しようとする手法の、二つの流れで捉えることが可能である。

この現象の解明を実験的に試みた初期の研究は、凡そ 50 年前まで遡ることができる。しかし今日においてもなお、これら既往のコンクリートひび割れ面のせん断実験のための計測・制御・加力の各方法が、それぞれの研究者によって異なっているため、これまでに報告されている既往の実験値には、計測・制御・加力手法の差異に起因する誤差が含まれている可能性が高く、研究者間の実験値の相互比較さえ出来ないのが現状である。

一方、理論的な解明を意図した研究を概観してみると、幾つか提案されている既往の構成則モデルの中で、最も信頼性が高いとされているのは、「物理接触型のせん断応力伝達構成則モデル」であり、今日では多くの研究者に支持されている。勿論、このタイプのモデルを構築するには、高精度な実験装置によって取得された実験データの存在が必要不可欠である。即ち、「ひび割れ微小面の物理的接触量を高精度で制御可能なせん断加力実験装置」が存在して初めて、構成則の正確な検証が可能になると言うことである。しかしながら、この条件を十分に満たし得る実験装置は未だ開発されていないのが現状のようである。そのため、ひび割れ面のせん断応力伝達機構の追跡を意図した理論解析モデルも未だ開発途上にあり、多くの改良の余地が残されているように思われる。

本論文は、極めて複雑な挙動を示すコンクリートひび割れ面のせん断応力伝達機構を明らかにすべく、実験時における拘束条件を高精度で保持することが可能な新たなせん断加力実験システムの開発を行い、更にこの実験システムによって得られた実験結果に基づき、より精度の高い新たなせん断応力伝達構成則モデルを構築し提案することを目的に行った研究で、全 5 章で構成されている。以下にその概要を記述する。

第1章では、ひび割れ発生後のRC構造物の荷重 - 変形応答を論ずる際に、ひび割れ面におけるせん断応力伝達機構を明らかにしておくことの重要性について記述した後、この分野における既往の研究について概観し、本論文の目的を明らかにして、その概要について記述した。

第2章では、ひび割れ面のせん断応力伝達機構を解明するため、実験条件を高精度で保持することが可能な最適実験法を提案することを目的として、新たなせん断加力実験システムの開発を試みている。せん断加力を受けるひび割れ面では、実験時に特別な制御を加えなければ、加力量の増減に伴ってせん断加力方向の変位(せん断変位)のみならず、ダイラタンシーなどの効果により必然的にこれと鉛直な方向にも変位が生じるため、変位場は3次元的な広がりを持って複雑な挙動を示すことになる。

従って、コンクリートひび割れ面のせん断応力伝達機構を解明するためには、実験時の加力条件、即ち拘束条件が明確であり、且つ実験時に設定された拘束条件が精度良く保持される必要がある。そこで本研究では、実験時におけるひび割れ面を幅方向に高精度で制御するため4本の加力ジャッキを採用し、尚且つこれらをPID制御理論によって制御する新しい加力システムを開発することとした。本章は、この高精度せん断加力システムの詳細について記述し、更に実験時の最適制御パラメーターの検証を行っている。

第3章では、第2章で開発した加力装置を用い、実際のコンクリート試験体を対象にして実験的な検証を試みている。ここでは大別して2種類の試験体シリーズを設定して実験を行っている。即ち、一つ目は、実験時にひび割れ幅を一定に保つことを意図した「ひび割れ幅一定シリーズ」であり、二つ目は実験時においてひび割れ面の接触率を一定に保つことを意図した「接触率一定シリーズ」である。

前者の「ひび割れ幅一定シリーズ」では、せん断載荷履歴とひび割れ幅の異なる幾組かの実験を行い、それらの相違がひび割れ面に生じる応力 - 変位応答におよぼす影響について検討・考察を加えている。

また後者の「接触率一定シリーズ」では、筆者の提案になる「ひび割れ面の接触率」を実験時の制御パラメータとして組み込むための理論的な根拠を明確にして、既往の研究では未見の接触率一定条件下における、ひび割れ面のせん断応力 - 変位応答挙動を捉えた結果について報告し、検討・考察を加えている。

第4章では、前3章で得られた実験シリーズの結果に基づいて、物理接触モデルに属する新たなせん断応力伝達構成則モデルの構築を試みている。まず、接触率一定シリーズの実験結果から、微小領域で生じる接触応力の挙動のモデル化を行っている。次いで、この接触応力 - 変位モデルを既往の接触理論に組み込むことによって、新たなせん断応力伝達構成則モデルを構築・提案している。

さらに、前3章のひび割れ幅一定シリーズの実験結果と本提案モデルとを比較することによって、本モデルの適合精度を検証し、その有用性を明らかにしている。また、既往の文献における代表的なモデルとされている、Bazantモデル、Walravenモデル、李・前川モデルの3つのモデルを対象にして、本研究において得られた実験結果との適合性の検証を行って、これら既往のモデルでは追跡するには無理があることを明らかにしている。

第5章では、ひび割れ面のせん断応力伝達機構の解明を目的に、実験システムの開発から理論構成則モデルの構築まで行ってきた本研究を総括し、これによって得られた知見から、今後の問題として残されている課題や展望について記述している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 上 田 正 生
副 査 教 授 後 藤 康 明
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 准教授 篠 原 保 二 (東京工業大学建築物理
研究センター)

学位論文題名

コンクリートひび割れ面の最適せん断実験法と 接触理論に基づく構成則の開発に関する研究

コンクリートひび割れ面のせん断応力伝達機構の重要性は古くから認識されており、これまでも多くの研究が行われている。この現象の解明を実験的に試みた初期の研究は、凡そ 50 年前まで遡ることができる。しかし今日においてもなお、これら既往のコンクリートひび割れ面のせん断実験のための計測・制御・加力の各方法が、各研究者によって異なっているため、既往の実験値には、計測・制御・加力手法の差異に起因する誤差が含まれている可能性が高く、各研究者間の実験値の相互比較さえ心もとないのが現状である。

一方、理論的な解明を意図した研究を概観してみると、幾つか提案されている既往の構成則の中で、近年、最も有望視されているのは「物理接触型のせん断応力伝達構成則」のようである。勿論、このタイプのモデルを構築するには、高精度な実験装置によって取得された実験データの存在が必要不可欠となる。換言すれば、「ひび割れ微小面の物理的接触量を高精度で制御可能なせん断加力実験装置」が存在して初めて、構成則の正確な検証が可能になると言うことである。

然しながら、この条件を十分に満たし得る実験装置は未だ見当たらないのが現状である。そのため、ひび割れ面のせん断応力伝達機構の追跡を意図した理論解析モデルも未だ開発途上にあり、多くの改良の余地が残されている。

本論文は、極めて複雑な挙動を示すコンクリートひび割れ面のせん断応力伝達機構を明らかにすべく、実験時における拘束条件を高精度で保持することが可能な新たなせん断加力実験システムの開発を行い、更にこの実験・計測システムによって得られた実験結果に基づき、より精度の高い新たなせん断応力伝達構成則を構築し提案することを目的に行った研究で、全 5 章で構成されている。各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章では、ひび割れ発生後の RC 構造物の荷重 - 変形応答を論ずる際に、ひび割れ面におけるせん断伝達機構を明らかにしておくことの重要性について記述した後、この分野における既往の研究について概観し、本論文の目的を明らかにして、その概要について記述している。

第 2 章では、ひび割れ面のせん断伝達機構を解明するため、実験条件を高精度で保持することが

可能な最適実験法を提案することを目的として、新たなせん断加力実験システムの詳細について記述し、更に実験時の最適制御パラメーターの検証・同定を行っている。

第3章では、第2章で開発した加力装置を用い、実際のコンクリート試験体を対象にして実験的な検証を試みている。即ちここでは、1) 実験時にひび割れ幅を一定に保つことを意図した「ひび割れ幅一定シリーズ」と、2) 実験時におけるひび割れ面の接触率を一定に保つことを意図した「接触率一定シリーズ」の2種類の試験体シリーズを設定して実験を行っている。

前者の「ひび割れ幅一定シリーズ」では、せん断載荷履歴とひび割れ幅の異なる幾組かの実験を行い、それらの相違がひび割れ面に生じる応力-変位応答におよぼす影響について検討・考察を加えている。

また後者の「接触率一定シリーズ」では、筆者の提案になる「ひび割れ面の接触率」を実験時の制御パラメータとして組み込むための理論的な根拠を明確にして、既往の研究では未見の接触率一定条件下における、ひび割れ面のせん断応力-変位応答挙動を捉えた結果について報告し、検討・考察を加えている。

第4章では、前3章で得られた実験シリーズの結果に基づいて、物理接触モデルに属する新たなせん断伝達構成則の構築を試みている。まず、接触率一定シリーズの実験結果から微小領域で生じる接触応力の挙動のモデル化を行っている。次いで、この接触応力-変位モデルを既往の接触理論に組み込むことによって新たなせん断応力伝達構成則を構築・提案している。

さらに、前3章のひび割れ幅一定シリーズの実験結果と本提案モデルとを比較することによって、本提案構成則の適合精度を検証し、その有用性を明らかにしている。また、既往の文献における代表的な3種のモデルを対象にして、本研究において得られた実験結果との適合性の検証を行って、既往のモデルでは追跡するには無理があること明らかにしている。

第5章では、ひび割れ面のせん断応力伝達機構の解明を目的に、実験システムの開発から新たな理論構成則の構築まで行ってきた本研究を総括し、更に、この研究分野における今後の研究課題について論及している。

以上、これを要するに著者は、実験時におけるひび割れ幅の拘束条件を高精度で保持することが可能な新たなせん断加力実験・計測システムの開発を行い、更にこのシステムを用いて得られた実験結果に基づき、より精度の優れた新たなせん断応力伝達構成則を提案・構築してその有用性を明らかにしたものであり、コンクリート構造学の発展に寄与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。