

R C 部材のせん断耐力に与える 載荷条件の影響に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、全 6 章から構成されている。第 1 章では、鉄筋コンクリート部材のせん断に対する国内外の研究と指針等による設計法について歴史的背景を概説した上で、設計における応用面での諸課題を掲げた。続いて、それら諸課題に対処すべき設定した 4 つの目的を示すとともに、本論文の概要、すなわち具体的な検討項目とそれを解決するべく手法について述べた。第 2 章から第 5 章までの各章の研究内容を要約すれば以下のとおりである。

第 2 章では、組合せ荷重を受ける鉄筋コンクリートはり部材のせん断耐力について検討を行った。対象は、連続はりのように正と負の曲げモーメントが混在するような構造、複数の集中荷重が作用する構造、さらには地中ボックスカルバートのような分布荷重を受け負曲げと正曲げが混在する構造である。土木学会コンクリート標準示方書で示されている棒部材およびディープビームのせん断耐力式は、単純支持されたはりに一点あるいは二点集中荷重が作用した場合の実験を基に統計学的に整理された経験式であるので、上記のような構造にそのまま適用することはできない。本章ではこれらの構造に対する耐力算定法を検討するため、①示方書の耐力算定式の原式の適合性、②多点荷重を受けるはりに対する耐力算定式の適用方法、③正曲げと負曲げが混在するはりに対する耐力算定式の適用方法、④多点荷重を受け正曲げと負曲げが混在するはりに対する耐力算定式の適用方法の 4 つの項目について実験的検証を行った。その結果、①については、本章実験供試体については支承条件の違いからせん断スパン比の小さいはりでは耐力が大きめにでることが確認された。②については、個々の荷重によって作用するせん断力に対し、そのせん断スパンの影響を考慮したせん断耐力との比の累積値（線形被害則）による評価方法を示した。③については、せん断スパン内の反曲点付近における鉄筋の引張力シフトを考慮し、負曲げ領域と正曲げ領域のせん断耐力の算定方法を示した。④について、②と③の手法を組み合わせることで、安全側の耐力を推定できることを示した。

第 3 章では、鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に与える自由縁の影響について、既往の実験結果を基として検討を行った。土木学会コンクリート標準示方書の押抜きせん断耐力式は、破壊に与えるパラメータの影響を精度良く取り入れており、実験結果に対して適合性が良いことが認められている。しかしながら、設計断面を載荷面から有効高さの $1/2$ だけ離れた位置に設定することとしており、その弊害として荷重が自由縁に近づいた場合には危険側の評価となることが明らかとなった。本章では、主とし

て載荷位置を変数とした実験結果から、設計断面の取り方について検討し、有効高の 2.5 倍程度離れた位置にとることにより、耐力について整合性が良くなることを示した。これに伴い示方書式の見直しを行い、各種影響因子を表す係数およびせん断強度（公称せん断応力）の修正を行った。また、押抜きせん断耐力に対する別の評価方法として、一方向スラブをはりと見なして有効幅を設定した棒部材のせん断耐力を用いる手法もあわせて示した。この結果、実設計における自由縁の影響を含む押抜きせん断の安全性に対する検討が飛躍的に改善できることが示された。

第 4 章では、鉄筋コンクリートディープスラブのせん断耐力について、主として支承部の幅と載荷荷重の幅を変数とした実験から、基本的な破壊性状も含めて検討を行った。対象とする構造は、フーチングやコーベル等で、棒部材と面部材の遷移領域の構造に位置づけられる。現在の設計では、これらのせん断破壊はその構造特有のものとして、個々に耐力の評価方法が示されている。本章では、これらの類似した構造部材の統一的なせん断耐力評価法を見出すことである。実験結果から、ディープスラブのせん断抵抗はディープビームと類似したものでアーチ効果が期待できること、荷重が小さいレベルでははりとして挙動しているが、内部にひび割れが発達してからは幅の中央部で力が伝達されていることが明らかとなった。せん断耐力算定式に用いる有効幅は、載荷板長さ、支持板長さ、スラブ全幅およびせん断スパンが影響することが認められた。この結果により、本章の実験の範囲内で有効幅の定式化を行った。なお、第 3 章の実験結果の一部との比較も行い、配筋鉄筋の有無が有効幅に与える影響についても言及した。

第 5 章では、鉄筋のダウエル作用と付着作用によるひび割れ発生について検討を行った。この章の前半においては、鉄筋に沿って生じる縦ひび割れが斜め引張破壊に与える影響に対して、有限要素解析を用いて調査を行った。解析モデルでは、曲げひび割れおよび斜めひび割れはひび割れ面伝達機構が考慮された離散モデルで表現されており、コンクリート要素、鉄筋要素は材料非線形性が考慮された要素が用いられている。縦ひび割れについては、予備解析から得られたダウエル作用の変形のみを考慮したモデルを導入した。解析では、縦ひび割れを取り入れたモデルと取り入れていないモデルの比較を行い、実験結果の検証を行った。本章の解析結果からは、縦ひび割れの発生が斜めひび割れの開口に大きく影響を与えており、斜め引張破壊を誘発する大きな要因となっていることが見出された。また、解析では縦ひび割れの発生が実験値に比べてやや遅れること、斜めひび割れの開口変位が小さいことから、縦ひび割れの発生はダウエル作用のみならず付着割裂作用の相互的な作用が影響するものであることが示唆された。本章の後半では、この縦ひび割れの発生メカニズムに着目し、鉄筋に作用するダウエル力と引張力を変数とした実験を行い、ダウエル作用に対しては弾塑性バネモデルによる力学モデルの構築、付着作用に対しては既存の付着－すべりモデルの適用を試みた。この結果より、縦ひび割れの発生が両者の相互作用であり、その性状はダウエル力が支配的な場合と引張力が支配的な場合に分けることができることを明らかにした。また、縦ひび割れの発生基準として鉄筋の鉛直方向変位とすべり変位を用いることにより、本章の実験範囲内で定量的なモデルを示した。

第 6 章では、第 2 章から第 5 章までの各章の主な結果をまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 角 田 興史雄

副 査 教 授 城 攻

副 査 教 授 佐 伯 昇

副 査 助教授 上 田 多 門

学 位 論 文 題 名

R C 部材のせん断耐力に与える 載荷条件の影響に関する研究

鉄筋コンクリート (R C) 部材の基本的な破壊形態の一つに、せん断破壊がある。せん断破壊は一般に脆性的であり、過去の地震において構造物に重大な損傷をもたらした事例が少なくない。土木学会では 1986 年にコンクリート標準示方書に限界状態設計法を採用した際に、極めて高精度のせん断耐力式を導入した。その際、棒部材のせん断耐力式は単純ばりに 1 点または対称 2 点載荷した場合の実験データに基づき、面部材の押抜きせん断耐力式はスラブの中央部付近に載荷した場合のデータに基づいて導かれたものである。しかし、実際の構造物では種々の載荷条件がありうる。本研究はそこからとくに重要と考えられる場合を取り上げ、その基本性状を明らかにするとともに、実用設計法を提案したもので、論文は 6 章からなっている。

第 1 章では、本研究の背景と目的、および本論文の概要が述べられている。

第 2 章では、多点荷重や分布荷重のようにせん断スパンの異なる組合せ荷重や支点モーメントを受ける R C はりのせん断耐力に関する研究について述べられている。まず、多点荷重を受ける単純ばりについて検討し、既往の研究に見られる各荷重の影響を累積する方法が土木学会式の誘導過程と合わないことを指摘し、この矛盾を解消した新たな累積方法を提案している。次に、同一スパンの両支点に正、負の端モーメントを受ける場合について検討し、正曲げ領域および負曲げ領域のせん断耐力の算定法を提案している。そこでは、斜めひび割れによって鉄筋引張力が慣用の計算値からずれること (引張力シフト) が考慮されている点に大きな特徴がある。次に、支点モーメントと多点荷重を同時に受ける場合について検討し、上記の 2 つの場合の方法を組合わせた耐力算定法を提案している。

第 3 章では、R C スラブの押抜きせん断耐力に対する自由縁の影響に関する研究について述べられている。まず、土木学会では押抜きせん断耐力に対する設計断面を載荷面から有効高さの 1/2 だけ離れた位置に設定しており、荷重が自由縁に近づいた場合には、CEB-FIP モデルコードにならって設計断面の一部が自由縁により断ち切られることによって耐力低下を考慮していたが、それでもなお危険側の評価となることを明らかにしている。そこで、載荷位置を変数とした多数の実験結果から設計断面の取り方について

検討し、載荷面から有効高さの 2.5 倍だけ離れた位置に取ることにより、スラブの中央部載荷から自由縁付近載荷までを統一的に精度良く耐力算定ができることを見出し、それに対応して示方書式の見直しを行い、修正式を提案している。

第 4 章では、RC ディープスラブにおいて、荷重（反力を含む）が部材幅の一部に作用する場合のせん断耐力に関する研究について述べられている。実験結果から、ディープスラブのせん断抵抗はディープビームと同様にアーチ効果が期待できること、荷重が小さいレベルでは全幅有効のはりとして挙動するが、内部にひび割れが発達してからは幅の一部のみで力が伝達されていることを明らかにしている。これに基づきせん断耐力の算定における、載荷幅およびせん断スパンの影響を考慮した有効幅を提案している。

第 5 章では、鉄筋のダウエル作用と付着作用によるひび割れ発生に関する研究について述べられている。まず、はりの引張鉄筋に沿って生じる水平ひび割れ（ダウエルひび割れ）がはりのせん断破壊に与える影響について有限要素解析を用いて検討し、水平ひび割れの発生が斜めひび割れの開口に大きな影響を与え、せん断破壊の誘因となっていることを明らかにしている。次に、はりの引張鉄筋に作用するダウエル力と引張力の比を変数とする実験を行い、水平ひび割れの発生はダウエル作用と付着作用の相互作用によるものであることを示し、水平ひび割れ発生規準を提案している。

第 6 章は総括であり、本研究で得られた主な成果がまとめられている。

これを要するに、著者は RC はりおよびスラブのせん断耐力に対する各種の載荷条件の影響について検討し、それぞれの基本的性状を明らかにするとともに、実用的な設計法を提案したものであり、構造工学およびコンクリート工学の発展に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。