

報告番号	甲 第 13275 号
------	-------------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 変状のある鉄筋コンクリート部材の耐荷機構に関する研究  
(Study on Load Carrying Mechanism of Deteriorated Reinforced Concrete Members)

氏 名 池端 信哉

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、変状のある既設鉄筋コンクリート部材の耐荷機構を明らかにし、その性能を評価することを目的とし、検討を行ったものである。検討の対象は、既設構造物において変状が多くみられ、かつ変状が生じた場合に構造性能に大きく影響があると考えられる、鉄筋コンクリート梁および鉄筋コンクリート床版とし、実験および数値解析により変状が鉄筋コンクリート部材の耐荷機構に及ぼす影響を明らかにした。本論文は全 5 章で構成される。

### 第 1 章

本章では、現在の既設構造物、中でも道路橋が置かれている状況を概観し、研究の背景と目的を述べた。道路橋においては、老朽化対策が喫緊の課題であることを述べ、老朽化した RC 構造物を適切に維持管理していく上で、メンテナンスサイクルにおける、リスクを適切に評価するための「診断」が重要であり、かつ診断は技術的難易度の高いものであることを述べた。そして、RC 構造物を診断するにあたり、点検で把握される個別の変状の程度から構造物の性能を評価する手法が確立されていないという問題点を明確にし、変状のある部材の耐荷機構を明らかにし、その構造性能を評価することが研究の目的であることを述べた。

また、研究の対象を RC 梁と RC 床版であることを示し、RC 梁においては部分的に劣化した場合の耐荷性能や変形性能の評価が必要であること、RC 床版においては劣化により内

部ひび割れが生じた場合の耐力評価が必要であることを示した。

## 第 2 章

本章では、軸方向鉄筋が腐食劣化した RC 梁を対象として、腐食に伴う鉄筋の断面欠損、付着の劣化およびかぶりコンクリートの剥離が構造性能に及ぼす影響について実験的に検証した。曲げ降伏先行型およびせん断破壊先行型の破壊モードの異なる 2 種類の供試体に対し、変状の程度および位置を変化させて一連の載荷実験を行い、一定の条件下での各要因が耐力性能や変形性能に及ぼす影響を明らかにした。

実験結果に基づき、付着の劣化によって梁の曲げ剛性が大きく低下することを示し、実構造物においては、たわみの増大により使用性に問題が生じる可能性があることを示した。また、曲げ降伏先行型の RC 梁の場合、全体的に軸方向鉄筋の付着が劣化した場合は、鉄筋ひずみが局所化せずに変形性能は向上する傾向があることを示した。一方、部分的に劣化している場合は、劣化部に变形が集中し変形性能が低下する場合があることを示した。

梁全域で鉄筋が腐食している方が、点検での損傷度判定は厳しく判断されるが、変形性能に関しては、部分的に鉄筋が腐食した方が、腐食位置によっては影響が大きくなるおそれがあることを示し、診断における注意点として明示した。

## 第 3 章

本章では、せん断補強筋が腐食劣化した RC 梁を対象として、腐食に伴う鉄筋の断面欠損および付着の劣化が耐力性能や変形性能に及ぼす影響について、実験および数値解析により検証した。

実験的検討では、曲げ降伏先行型およびせん断破壊先行型の破壊モードの異なる 2 種類の供試体に対し、変状の程度および位置を変化させて載荷実験を行い、各要因が耐力性能や変形性能に及ぼす影響を明らかにした。その結果、せん断補強筋に断面欠損がある場合は、耐力はもちろんひび割れの進展状況や破壊形態にも影響があることを示し、鉄筋が負担するせん断力だけでなく、ひび割れ進展形状が変化することにより、コンクリートが負担するせん断力にも影響が及ぶことを示した。また、せん断補強筋の欠陥により、曲げ降伏先行型であった梁がせん断破壊先行型に移行し、脆性的な破壊形態を示す場合があることを示した。

一方、数値解析による検討では、せん断補強筋の腐食による厳しいケースとして、せん断補強筋が著しく断面欠損した場合や破断した場合の影響を明らかにするため、せん断補強筋の欠陥位置や欠陥本数を変化させた 3 次元有限要素解析を行い、せん断補強筋に欠陥がある場合の耐力機構を明らかにした。また、欠陥位置のわずかな違いにより破壊形態が変化することがあるため、変状のある既設構造物の診断には注意が必要であることを示した。さらに、数値解析の結果から、せん断補強筋が破断した場合の RC 梁の耐力を算定する式を提案した。提案式は、せん断補強筋破断の位置や範囲を考慮の上、せん断補強筋が負

担するせん断力を低減することにより、せん断補強筋が破断した RC 梁の耐力を評価するものである。この提案式は、実験結果を適切に評価できるほか、他機関で実施されたせん断補強筋が腐食により破断した梁の実験に対しても適用性が確認された。一方、破断には至らずせん断補強筋の付着が劣化した状態に関しては、本研究で検討の対象とした梁部材では、定着部が健全である限りは、その影響は限定的なものであることを確認した。

現在、既設構造物の耐荷性能や変形性能を含む構造性能を評価する方法として非線形有限要素解析の活用が望まれている。本研究で用いた数値解析手法は、鉄筋とコンクリートのすべりを考慮できる分散鉄筋モデルであるが、一般には鉄筋の補強効果をテンションスティフニングで表現する分散鉄筋モデルが用いられている。せん断補強筋に部分的に変状のある梁に対し分散鉄筋モデルで解析を行ったところ、分散鉄筋モデルでは、部分的な変状の影響を適切に評価できないことに加え、鉄筋のすべりや引抜けの挙動を表現できないことにより、変状のある既設構造物の耐力を過大に評価するおそれがあることを示した。その結果、部分的に変状のある RC 構造物の有限要素解析による評価を行う場合、現在一般的に用いられているテンションスティフニングによる分散鉄筋モデルを適用することは、危険側の評価となる可能性があることを指摘した。

#### 第 4 章

本章では、RC 床版内部に発生する床版上面鉄筋付近に発生する水平ひび割れ、および断面を貫通する鉛直ひび割れについて、実床版をスケールダウンしたスラブ供試体を用いて載荷実験を行い、その押抜きせん断耐力への影響を実験的に明らかにした。

床版上面鉄筋付近の水平ひび割れに関しては、その発生および進展は、鉄筋腐食と繰返し荷重の作用が原因と考えられるが、このうち鉄筋腐食による水平ひび割れの発生を電食試験により再現し、その発生メカニズムを確認した。また、鉄筋腐食により水平ひび割れが生じた供試体と模擬水平ひび割れを導入した供試体を用いて載荷実験を行い、水平ひび割れ幅の拡大に伴い、スラブの押抜きせん断耐力が低下することを示した。さらに、ひび割れ幅と押抜きせん断耐力の関係を示すことにより、水平ひび割れの存在によって応力伝達が阻害されることが耐力低下の原因であることを示し、ひび割れ幅がある一定以上に拡大すれば、水平ひび割れより上のかぶりコンクリートが耐力に寄与できなくなることを明らかにした。この検討により、従来は主に床版下面に着目した研究が多く行われてきたものの、上面鉄筋付近に発生する水平ひび割れもスラブの耐力に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。また、上面鉄筋付近に、明確な水平ひび割れが発生する程度まで劣化が進行したとしても、床版の表面には変状が現れないことを確認し、変状が顕在化する以前に水平ひび割れによって力学的には劣化が進行していることを明らかにした。

床版上面鉄筋付近の水平ひび割れの影響に関しては、床版の劣化には水が影響すると報告されていることから、湿潤化の影響についても検証した。スラブの上面に水槽を設けて湿潤化、あるいは模擬水平ひび割れ内に注水することにより湿潤状態を再現し、載荷実験

を行った。その結果、スラブの押抜きせん断耐力は低下し、その耐力低下は湿潤化によるコンクリートの圧縮強度の低下で概ね説明がつくことを示した。水の存在によりひび割れ面が擦り合わされ、劣化が促進し疲労耐久性が低下すると言われているが、水の存在により、そもそものスラブの耐力が低下していることも疲労耐久性に影響していることを明らかにした。

一方、床版を貫通する鉛直ひび割れに関しては、鉛直模擬ひび割れを導入したスラブ供試体により載荷実験を行い、その押抜きせん断耐力への影響を検証した。水平ひび割れと同様にひび割れ幅の拡大とともに押抜きせん断耐力が低下することを示したが、ひび割れ密度やひび割れパターンによっても押抜きせん断耐力は影響を受け、版としての耐荷構造が確保できる場合と、版が分断され梁状になった場合で大きく耐力が異なることを明らかにした。そして、鉛直ひび割れによる耐力低下は、鉛直ひび割れによってせん断ひび割れの形状が変化し、せん断力に抵抗する引張側のコンクリートの面積の変化により概ね説明がつくことを示した。

本研究で検討した水平ひび割れ、湿潤化、鉛直ひび割れが疲労耐久性に及ぼす影響を試算したところ、それぞれ健全時の  $1/12.5$ ,  $1/2.5$ ,  $1/125$  になるという結果が得られた。床版の疲労耐久性については多くの研究が行われているが、本研究による検討の結果、疲労耐久性が低下するのは、内部ひび割れによって、そもそもの版耐力が低下しているためと考えられることを示した。

## 第5章

本章は、本論文で得られた知見を総括するとともに、更なる研究課題についても言及し、今後の既設構造物の構造性能評価の発展に繋がる検討事項について述べた。

以上のとおり、本研究では、変状のある RC 梁および RC 床版を対象とし、その耐荷性能の評価を行った。本研究の成果は、メンテナンスサイクルにおけるリスクを適切に評価するための「診断」に資するものであり、今後の RC 構造物の適切な維持管理に貢献するものである。