

氏名	なか むら さだ あき 中 村 定 明
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究会, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)土木工学専攻
学位論文題目	高強度軽量プレキャストプレストレストコンクリート床版の開発に関する研究
指導教官	東北大学教授 三浦 尚
論文審査委員	主査 東北大学教授 三浦 尚 東北大学教授 鈴木 基行 東北大学教授 岩熊 哲夫

論文内容要旨

近年、交通量の増大および大型車両の増加に伴い道路橋 RC 床版の損傷事例が多数報告されている。高強度軽量プレキャストプレストレストコンクリート床版(以下、高強度軽量プレキャスト PC 床版)は、粗骨材に人工軽量骨材を使用した高強度軽量コンクリートとプレキャスト PC 床版の技術を融合させたものであり、プレキャスト PC 床版としての利点に加え、床版の軽量化など従来工法にない効果が期待されるものである。本論文においては、高強度軽量プレキャスト PC 床版の開発を目的として、高強度軽量コンクリートの材料的特性、床版本体の静的荷重および疲労荷重に対する力学挙動の検討、RC ループ継手の設計法に関する検討および高強度スタッドジベル接合による鋼主桁との接合に関する力学挙動の検討について論じたものである。以下に各章の内容の要旨を示す。

第1章では、本研究の背景を示し、道路橋 RC 床版の取換補修を目的として高強度軽量プレキャスト PC 床版の研究開発に着手した経緯および研究目的について言及し、本論文の全体構成および各章の内容について概説した。

第2章では、人工軽量骨材に関する最近の動向および軽量コンクリートの材料的特性についての概説を行うとともに、軽量コンクリートの耐凍結融解性およびプレキャスト床版に関する既往の研究の調査研究を行い、解決しなければならない課題について述べた。さらに、高強度軽量プレキャスト PC 床版の開発の基本コンセプトおよび基本構造を紹介し、既往の研究から得られた課題に対する開発目標について述べた。

第3章では、高強度軽量プレキャスト PC 床版に使用する高強度軽量コンクリートが道路橋床版として必要な材料特性を有しているかを検証するため、圧縮強度試験、単位容積質量試験、弾性係数試験および凍結融解試験を実施した。本章で明らかになったことを、以下に要約する。

(1) 高強度軽量コンクリートの圧縮強度および単位容積質量を実機プラントにおいて、所定の品

質で製造するための管理方法について示した。実橋に使用する高強度プレキャスト PC 床版を対象とした 26 のデータは、全て所定の要求性能を満足するもので、本研究における高強度軽量コンクリートは、十分に実機プラントで製造可能であることを示した。

- (2) 耐凍結融解性の改善策として、本論文では練混ぜ前の含水率を 2%以下と定義した低含水状態の人工軽量骨材の使用を提案した。JIS A 1148 A 法（水中凍結融解法）の試験結果から、低含水状態の人工軽量骨材を使用した高強度軽量コンクリートは、相対動弾性係数および質量減少率とも良好な結果を示し、有効な改善策であることを示した。
- (3) 塩水（NaCl 3%水溶液）を用いた凍結融解試験結果から、低含水状態の人工軽量骨材を使用した軽量コンクリートは、普通コンクリートに比べて相対動弾性係数および質量減少率とも若干低下するが、軽量コンクリートの劣化の程度は軽微であり、所定の要求性能を満足することを示した。この結果から、低含水状態の人工軽量骨材を使用した軽量コンクリートは、塩化物供給環境下での耐凍結融解性にも有効な改善策であり、高強度軽量プレキャスト PC 床版は、寒冷地において十分に適用可能であることを示した。

第 4 章では、高強度軽量プレキャスト PC 床版の静的力学挙動を明らかにすることを目的として、静的曲げ載荷試験および静的押抜きせん断載荷試験を実施した。本章で明らかになったことを、以下に要約する。

- (1) 道路橋示方書に基づく曲げひび割れ発生荷重および曲げ破壊荷重の解析値と実験値の差異は 6~7%程度で、十分な精度で推定可能であることが分かった。さらに、荷重-たわみ曲線についても、実験値と解析値は非常に良く一致しており、高強度軽量プレキャスト PC 床版の曲げに対する設計は、現行の道路橋示方書の設計方法に従って行って良いことを示した。
- (2) 高強度軽量プレキャスト PC 床版の押抜きせん断載荷試験から、ひび割れ角度および破壊の形状は、東山らの破壊モデルとよく一致しており、PC 床版の破壊モデルは、高強度軽量プレキャスト PC 床版にも適用可能であることを示した。
- (3) 高強度軽量プレキャスト PC 床版の押抜きせん断耐力の推定に関して、東山らの提案式との比較検討を行った結果、実測値を用いた押抜きせん断耐力の推定値は、約 6%の差異で推定可能であった。また、コンクリート標準示方書に準じて、コンクリートの引張強度およびせん断強度を普通コンクリートの 70%に低減した場合、計算値は実験値より約 17%小さい値となり、安全側の値を示すことが分かった。

第 5 章では、高強度軽量プレキャスト PC 床版の疲労耐久性を評価することを目的として、輪荷重走行試験を実施し、疲労強度の推定について検討を行った。本章で明らかになったことを、以下に要約する。

- (1) 高強度軽量プレキャスト PC 床版に階段状荷重漸増載荷による輪荷重走行試験を実施した結果、載荷荷重 471kN、走行回数 59.3 万回で押抜きせん断破壊を生じた。同じ設計規準で設計された高強度軽量プレキャスト PC 床版と RC 床版（RC8）を比較したところ、高強度軽量プレキャスト PC 床版は、破壊荷重、走行回数とも RC8 の約 1.7 倍となり、高い疲労耐久性を有していることを示した。

- (2) 第4章の静的押抜きせん断試験および疲労試験による破壊時の力学挙動について比較した結果、たわみ、コンクリートおよび鉄筋ひずみの挙動について、この2つの実験結果は同じ傾向を示したが、定量的な相関関係については解明されておらず、今後の課題として残されている。
- (2) 高強度軽量プレキャスト PC 床版の疲労強度の推定方法について検討を行った。実測の材料特性に基づいた累積疲労損傷度の結果は、比較的精度良く疲労強度を推定できることを示した。一方、コンクリート標準示方書に準じてコンクリートの引張強度およびせん断強度を普通コンクリートの70%として累積疲労損傷度を計算した場合、計算値は実験値より小さい値を与え、限られた範囲の中での結果であるが、現行示方書による設計を行えば、十分な安全性を確保できるものと考えられる。しかし、データのばらつきを考えれば、データ数は十分でないため、疲労強度の推定方法の詳細な検証については今後の課題である。

第6章では高強度軽量プレキャスト PC 床版の接合に使用する RC ループ継手（以下、ループ継手）の力学的挙動を明らかにすることを目的として、図-1 に示す割裂ループ鉄筋を用いた実験および数値解析による検討を行った。本章で明らかになったことを、以下に要約する。

- (1) 割裂ループ鉄筋を用いた引張試験を実施した結果、重ね継手長が 200mm 以上では引張鉄筋の降伏により破壊に至るが、重ね継手長が 150mm ではループ継手破壊が生じることが分かった。ただし、重ね継手長が 200mm の場合でも、十分な配力鉄筋量が配置されないと、鉄筋降伏前にコンクリートが剥離破壊するループ継手破壊が生じることが示した。
- (2) 重ね継手長が 300mm の場合、配力鉄筋量が少ないループ継手は、十分な配力鉄筋が配置されているループ継手よりひび割れ幅が大きくなることが分かった。
- (3) ループ鉄筋のひずみ分布結果から、重ね継手長が 150mm の場合、鉄筋降伏前の低い荷重レベルでもループ継手の曲線部の曲上げ点に大きな支圧力が発生した。この支圧力が、ループ継手に発生するひび割れ幅および破壊荷重に影響することが分かった。ループ継手曲線部の支圧力とループ継手内に発生するひび割れ幅との間には、図-2 のように高い線形性が認められた。
- (4) 図-2 の関係を用いて、支圧力を考慮したループ継手の設計法を提案した。提案した設計法は、ループ継手の力学挙動を反映したもので、従来

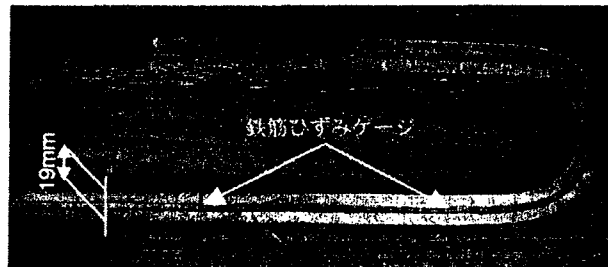


図-1 割裂ループ鉄筋

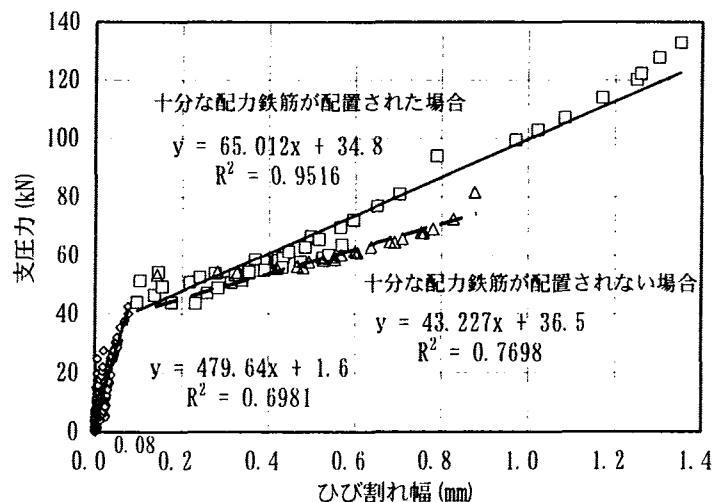


図-2 支圧力とひび割れ幅との関係

設計より合理的な設計法であると考えられる。今後の課題としては、実床版におけるループ継手の力学挙動との整合性について研究を行い、設計法の妥当性を検証する必要がある。

- (5) ループ継手の引張試験における力学挙動を数値解析的に検証するため、3次元非線形 FEM 解析を実施した。その結果、ループ内部に発生するコンクリートの引張ひずみの大きさは重ね継手長が短いほど大きく、実験結果と一致する結果が得られた。また、ループ継手のひび割れ発生荷重について、解析値と実験値は比較的精度良く一致することが分かった。しかし、破壊荷重、破壊形式、ひび割れ発生後の鉄筋のひずみおよび支圧力については、実験結果と数値解析で整合性がとれていない点があり、ひび割れ後の非線形挙動に対する解析精度の向上が今後の課題として残されている。

第7章では、プレキャスト PC 床版と鋼主桁との接合部材として、高強度スタッドジベルの適用性についての検討を行った。接合部のせん断耐力に及ぼす縁端距離の影響およびスパイラル鉄筋による補強効果に関する実験を実施した。本章で明らかになったことを、以下に要約する。

- (1) プレキャスト PC 床版に使用する高強度スタッドジベルの力学挙動を明らかにすることを目的として 2 面せん断試験を実施した。試験結果から、縁端距離を 30mm 以上確保すれば、降伏せん断耐荷力レベルにおいて、縁端距離の影響およびスパイラル筋の有無による影響は見られなかったことを示した。
- (2) スパイラル筋なしの最大せん断耐荷力は縁端距離に比例して増加し、スパイラル筋ありの最大せん断耐荷力はスパイラル筋なしに対して約 15% の増加となった。また、縁端距離を 50mm 以上確保しスパイラル筋で補強した場合、最大せん断耐力はスタッド自身の引張強度で決まることを確認した。
- (3) プレキャスト床版に高強度軽量コンクリートを用いた場合においても、降伏および最大せん断耐荷力には対しては、普通コンクリートを用いた場合と有意な差は見られなかった。しかし、ずれ定数については、高強度軽量コンクリートとした場合、普通コンクリートの約 85% となった。この原因として、高強度軽量コンクリートの弾性係数が普通コンクリートより小さいためと考えられ、この影響を設計に考慮する必要がある。
- (4) 最大せん断耐荷力と破壊面に残るコーン体積との間にはある程度の相関性が見られたが、現状では定量的にその関係を導くには至っていない。今後は、高強度スタッドにスパイラル筋を組み合わせた場合の疲労耐久性に対して検討する必要がある。

第8章では、結論について整理し、今後の課題について示した。

本研究は高強度軽量プレキャスト PC 床版の開発を目的として、材料特性および構造特性を明らかにするため実験および解析による検討を行ったものである。その結果、幾つかの課題は残されたものの、高強度軽量プレキャスト PC 床版は、従来工法に比べて優れた性能を有し、取換補修用床版として十分に適用可能であり、この技術が更に拡大していくことが期待される。今後は、高強度軽量プレキャスト PC 床版およびループ継手部の疲労特性のデータ蓄積およびループ継手の解析精度向上などの研究を行い、残された課題を解明していく必要がある。

論文審査結果の要旨

本論文は、道路橋床版の取替え補修を対象とした、高強度軽量プレキャスト PC 床版の開発に関する一連の研究をまとめたものであり、全 8 章より成る。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的、および本論文の構成について記述している。

第 2 章では、軽量コンクリートおよびプレキャスト床版に関する既往の研究と、高強度軽量プレキャスト PC 床版の必要性について述べ、これに関連して、本研究で行われた高強度軽量プレキャスト PC 床版の開発の概要を説明している。

第 3 章では、高強度軽量プレキャスト PC 床版に使用する軽量コンクリートの材料特性を、主として実験によって解明し、強度、耐久性を改善する手法を開発した。このことによって、高強度軽量プレキャスト PC 床版の開発の方向性が明らかになるとともに、品質の良い床版を作ることを可能にした。

第 4 章では、高強度軽量プレキャスト PC 床版の静的曲げ強度および押抜きせん断強度について、主として実験により解明し、それらの作用力に対する破壊モデルを構築した。

第 5 章では、高強度軽量プレキャスト PC 床版の疲労耐久性を明らかにしている。道路橋の床版は、一般に厳しい疲労作用を受けるのであるが、コンクリート構造物に作用する疲労荷重そのものも、正しく、合理的に定めることは容易ではない。また、それらの荷重による疲労耐力を定めることも容易ではない。そこで本研究では実際の輪荷重を模擬した実物大輪荷重走行試験機を用い、長時間かけて疲労強度を実験的に求めている。

第 6 章は、高強度プレキャスト PC 床版の継手に利用する RC ループ継手の合理的な設計法の開発を試みた研究である。手法は、実験に基づき継手の力学的挙動を調べ、鉄筋ループ部の支圧力を考慮した新しい設計の考え方を提案したものであり、これは貴重な結果である。

第 7 章では、高強度プレキャスト PC 床版を鋼桁に接合するための高強度スタッドジベル部の検討を行った。これも主として実物大の実験により、接合部に用いるコンクリートの種類を変化させた場合の力学的挙動の違いを調べ、最も適した接合構造を明らかにした。

第 8 章は結論である。

以上要するに、本論文は、最近需要の高まっている高強度軽量プレキャスト PC 床版を、劣化した床版の取替えに用いることを目的に、高強度軽量プレキャスト PC 床版の設計法・施工方法を開発したものであり、コンクリート工学および土木工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。