

論文の内容の要旨

氏名：北村 健

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：合理化施工を可能にする道路橋プレキャスト床版の耐荷性および施工性に関する実験的研究

高度経済成長期に集中的に構築された多くの社会インフラは経時的に劣化が進行しており、その中でも道路橋床版は車両通行による疲労劣化等の影響もあり損傷が顕著となっている。将来にわたる効率的な維持管理を考えると、補修や補強でなく床版を更新することが効率的な場合もあり、更新に対する需要も高まりつつある。一方、日本では少子高齢化により労働者不足が問題となっており、建設業界でも土木技術者の不足に対する対応が喫緊の課題となっている。その対策として、国土交通省を中心に施工効率化に向けた技術開発や普及を念頭にi-constructionを推進しており、コンクリート工に対する一方策として『プレキャスト製品の活用』に注力している。

更新工事は供用中の道路上での工事であり、従来の道路利用者の利便性の悪化や周辺迂回路の渋滞を引き起こすなど周辺環境への影響が大きいため、工事期間を極力短期間とできることが望ましい。その点からも、合理的な施工方法が要求される。

このように、社会的背景や更新工事の特徴から、道路橋床版の更新工事に対して、現場施工の『省力化』が必ず要求される。

一方、道路橋床版の更新を計画する場合、構築当時の準拠規準等の変遷により構造検討上の床版の仕様が上がリ、一般的に床版の重量は大きくなる。この重量増加の程度により、下部工の補強工事が大規模になる可能性がある。特に、都心部の狭隘な場所に架かる橋梁や下部に主要幹線道路がある橋梁、山間部の河川を跨ぐ橋梁および長大橋などでは、下部工の補強工事が大規模になると、工事全体が複雑化し工事期間も長期化する傾向にある。そこで、出来るだけ補強工事の規模を縮小化するため、道路橋床版の構造的な『軽量化』が要求される。

このように、橋梁の立地、施工環境および道路橋管理者の意向等により、更新工事に対する要求事項が変わる。研究では、下部工補強の実施が困難で補強工事を小規模化したい場合と補強工事自体を比較的容易に行える環境で許容される場合の2つの状況を想定して、道路橋プレキャスト床版および接合構造について検討した。

(1) 下部工の補強工事の縮減に配慮し、省力化および軽量化に着目した床版構造の研究

下部工の補強工事が困難な場合を対象とし、更新工事には『省力化』だけでなく『軽量化』を目指した床版システムを研究した。本床版システムは、プレキャスト床版の主材料に超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を採用し、部材を薄肉化（スラブ厚40mm）かつ下面にリブ形状を採用して通常のPC床版や既設RC床版に対して約30%の軽量化を図った。また、床版間接合には、工場製作時に接合面をマッチキャストで製作した上で、現場施工時には接合用の短尺PC鋼棒にトルクレンチで容易にプレストレスを導入できる接合方法を、鋼桁-床版間接合には、鋼桁のウェブにボルト接合できる二次製品（アングルPBL）を活用した接合方法を採用し、現場施工の省力化を図った。

鋼桁-床版間接合の性能検証として、ジベル押抜き試験を行った。国内規準ではPBLのせん断力耐力式にはPBL鋼板の支圧抵抗の効果を見込んでいない。一方、海外文献ではPBLのせん断耐力に支圧抵抗の効果認めている。試験結果から、本接合構造が支圧抵抗の効果を見込めることが明確となり、その場合、設計せん断力に対する新継手のせん断耐力の安全率が3以上確保できることから、床版のずれ止め構造として十分なせん断性能を有すると判断できる。

また、床版間接合の性能検証として、床版間接合部曲げ試験を行った。設計荷重作用時には、床版間接合の打継目で目開き等は生じず、床版一般部でもひび割れ等の変状はなく健全であった。終局時も床版一般部が先行して破壊しており、床版間接合として適用可能であることを確認した。

さらに、床版システムの耐疲労性を検証するため、定点疲労試験および輪荷重走行試験を行った。定点疲労試験では、床版上面を乾燥もしくは水張状態で定点での繰返し载荷を行ったが、実橋における100年間以上の車両通行に相当する疲労条件でもひび割れ発生等の変状はなく、健全な状態を保持した。また、輪荷重走行試験は、移動輪荷重による促進载荷試験であり、耐疲労性を十分有すると検証されている基準床

版に対して、破壊時における基本輪荷重98kNに換算した等価繰返し回数が50～60倍であり、道路橋床版として十分な耐疲労性を有することを確認した。

以上のように、UFCプレキャスト床版システムは、床版の『軽量化』が可能であり、また、現場の『省力化』に配慮した接合構造を採用しているため、今後の床版更新工事の一手法として提案できる。

(2) 現場施工の省力化に着目し、従来の床版間接合の改善に着目した接合構造の研究

下部工の補強工事が比較的容易な場所のように補強工事を許容とする場合を対象として、現場施工の『省力化』にのみ着目した方策を検討した。プレキャスト床版を採用する場合、床版間接合や鋼桁-床版間の接合は必須であり、これらの構造が床版全体の耐荷性や施工性に及ぼす影響が大きい。そこで、従来工法で多用されている床版間接合のループ継手を念頭に置き、より効率的な施工を可能にする新しい床版間接合を検討した。

新床版間接合の基本的な考え方として、接合作業を出来るだけ簡略化し、接合部での作業量を縮小化することで、現場施工の省力化と技能不足等による品質低下リスクを減らすことを目指した。そこで、新鉄筋継手として2種類の構造（継手構造Aならびに継手構造B）を立案した。これらの継手は、鉄筋先端お互いに嵌合（かんごう）する先端治具を設けておき、嵌合後に間詰め材で一体化させる構造とした。以下、各種試験を行い継手性能を評価した。

まず、接合部に充填する間詰め材の材料試験を行った。狭隘な部分への充填性やひび割れ発生後の引張抵抗性能（曲げ靱性係数）から判断すると、補強繊維に鋼繊維を用い、繊維長6mmで混入率1.5%、もしくは繊維長9mmで混入率1.0%が適切であると推定された。

次に、新鉄筋継手の耐荷性を評価するため、鉄筋D19（SD345）を対象とした継手単体の引張試験を行った。継手構造Aの引張耐力は鉄筋の規格引張強度以下であり、治具の仕様を見直しても改善が見込めなかったため、道路橋床版への適用は困難であると判断した。また、継手構造Bでは2種類の先端治具（C₁型もしくはC₂型治具とT型治具）で試験した。C₂型治具を採用した場合に限り、側方拘束の有無の影響は小さく、また、間詰め材の補強繊維を前述の曲げ靱性係数が大きい鋼繊維の仕様とすると、鉄筋の規格引張強度と同等の引張耐力を有することを確認できた。このように、継手構造Bでは先端治具の仕様を適切に設定すれば鉄筋継手として適用可能であることを確認した。

さらに、床版間接合への新鉄筋継手の適用性を評価するため、接合部を有する面部材の試験体を用いて静的曲げ載荷試験および静的せん断載荷試験を実施した。曲げ耐力は、継手配置によらず、比較試験体として実施した重ね継手およびループ継手の試験体に比べて同等以上であり、打継目の目開き量は使用荷重時で比較試験体に比べて同等以下の傾向であった。また、せん断耐力は、道路橋床版で想定される発生せん断力に対して、安全率2.5程度は確保できた。よって、継手構造B（C₂型、T型治具）は、道路橋床版への適用可能であると判断できる。

以降は、実用化に向けた施工性や品質管理について記載する。先端治具間には製作から据付までで誤差が生じる。この累積誤差が鉄筋継手の耐荷性に及ぼす影響を把握した上で、施工時の累積誤差の制限値を設定する必要がある。そこで、継手構造B（C₂型、T型治具）を用いて、先端治具間に配置誤差を有する場合の鉄筋継手単体の引張試験を行った。その結果、鉄筋D19（SD345）の鉄筋継手に対して、先端治具の平面的な誤差としてT型治具がC型治具内に収まる範囲内にあること、かつ鉛直方向の誤差が6mm以内であれば、鉄筋の規格引張強度以上の引張耐力を有することを確認した。なお、先端治具同士の鉛直誤差が引張耐力の低下に及ぼす影響は大きく、誤差が大きい場合には面外引抜きコーン状破壊となり、引張耐力が鉄筋の規格引張強度に至らなかった。このように、継手単体で鉄筋の規格引張強度以上の耐荷性を確保するためには、適切に先端治具同士の配置誤差の制限値を設定し、それに収まるように施工管理を行う必要がある。

次に、新鉄筋継手を適用した場合の道路橋プレキャスト床版の製作性、現場での施工性を検証するため、実物大の試験体を製作し施工試験を行った。製作時の先端治具の配置誤差は、橋軸、橋軸直角および鉛直方向のそれぞれで最大2.5mmであった。また、床版の据付所要時間は、鋼桁に縦横断5%の勾配がある状態でも、勾配調整に1.5分程度、据付が2.5分程度と短時間であり、先端治具同士の干渉はなく据付ができた。さらに、接合部への間詰め材の充填性を検証するため、実物大試験体の接合部に繊維補強モルタルを充填した。先端治具の嵌合部、接合鉄筋との境界部、せん断キーにおいて未充填箇所はなく、十分に充填可能であることを確認した。このように、床版の据付や間詰め材の充填などの施工性が良好であることを確認できた。

なお、実用化に向けた品質管理は基本的には一般的なプレキャスト床版と同等と考えられるが、接合面での継手本数が多数であるため、先端治具の出来形管理は煩雑となることが予想された。しかしながら、

検測用の定規材の活用など，1つの接合面ごとの鉄筋を一括でグループ管理する等により効率的に管理していくことは十分に可能と考えられる。

以上のように，新鉄筋継手の耐荷性や施工性の評価結果から道路橋床版への適用性は確認された。嵌合誤差に対する制限値の適切な設定と施工時の効率的な出来形管理手法の確立により，現場施工の『省力化』を実現可能と考えられる。そのため，プレキャスト床版間接合への新鉄筋継手の適用を床版更新工事の有効な一手法として提案する。