

論文審査の結果の要旨

氏名：中 島 博 敬

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：メタルグリッド筋を用いた鉄筋コンクリート部材の補強法に関する研究

審査委員：（主査） 教授 澤 野 利 章

（副査） 教授 秋 葉 正 一

教授 師 橋 憲 貴

日本大学名誉教授 阿 部 忠

我が国の社会資本施設のほとんどは高度経済成長期（1954年～1973年）に建設され、その施設が50年以上経過して老朽化が進行し、それらを維持するための補修・補強技術の開発や維持管理手法の構築が重要な課題となっている。社会資本施設の中でも道路施設は、地方生活圏および主要な都市圏域を結ぶ重要な施設であり、経済発展に大きく寄与するものである。とくに、道路施設の中でも老朽化が著しいのが橋梁であり、地方公共団体では橋梁を点検し、健全性の判定区分を行い、優先順位の高い橋梁および部位を100年間維持するための維持管理計画および予算を立て、毎年、平準化した予算で計画的に修繕を行う「道路橋長寿命化修繕計画」が取り組まれている。これによると、道路橋の部位の中で最も損傷が著しいのはコンクリート橋やRC床版であり、維持修繕費の50%に及んでいる地方公共団体も多い。したがって、コンクリート橋およびRC床版の修繕（補修・補強）において、決められた時間内に強度を發揮し、低コストで長寿命化が図れる材料や補修・補強技術が望まれている。一方、建設業就業者の減少は著しく、建設産業における労働者不足は深刻な問題となっている。さらに、建設業就業者の高齢化の進行が著しく、次世代への技術継承も大きな課題となっている。このような問題や課題に対して、国土交通省では、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す取り組みとして「i-Construction（建設現場の生産性革命）」が進められている。よって、コンクリート部材およびRC床版の長寿命化を図る補修・補強技術においても「i-Construction」の方針を取り入れた新材料や補強技術の開発が急務である。

一方、橋梁部材のなかで最も損傷が著しいコンクリート部材やRC床版を対象に、長寿命化が図られ、「i-Construction」を取り入れた新材料および限られた時間内に施工を可能とする材料を選択し、長寿命化について、実験による検証が必要となる。コンクリート部材やRC床版の補修・補強材料としては、鉄筋に替わる引張補強材としてメタルグリッド筋が開発されている。また、補修・補強材においては8時間および36時間施工を対象としたモルタルおよびコンクリート材、さらに、ひび割れ補修やコンクリートとの打ち継ぎ部を強化するために浸透性接着剤や付着用接着剤が用いられている。しかし、これらの材料については各種材料試験を実施し、既に市販されているものの、これらの材料の組み合わせによる補修・補強後の効果の検証はほとんど実施されていないのが現状である。

本研究では、コンクリート部材およびRC床版の補強技術において、メタルグリッド筋および2種類の接着剤を用いて8時間あるいは36時間施工を対象とした低弾性PCMやSFRCを用いた増厚補強技術をRCはり部材については静荷重実験を行い、耐荷力性能を検証する。また、RC床版については輪荷重走行疲労実験を実施し、耐疲労性の検証を行い、それぞれの補強技術について実用性を評価する。また、これらの補修・補強法が「i-Construction」の方針に適合するかについても、実橋RC床版での実施工を基に評価し、地方自治体が管理する橋梁の長寿命化対策への一助としている。

本論文は8章で構成されており、各章の主要点を以下に示す。

第1章「序論」では、道路橋の老朽化に対する予防保全型維持管理手法について述べている。とくに、劣化が著しいコンクリート橋やRC床版に対する補修・補強技術についての必要性と既往の研究について述べるとともに、国土交通省が推奨する「i-Construction」の方針の必要性についても述べ、本論文の位置づけを論じている。

第2章「道路橋 RC 床版の現状および予防保全型維持管理」では、地方公共団体が管理する橋梁数が我が国の橋梁数の90%を占めることから、低コストで長寿命化が図れる予防保全型維持管理計画の必要性を述べている。また、建設労働者不足を改善するために、国土交通省が示す i-Construction に対応するための新材料および補修・補強の提案の必要性についても述べている。道路橋の中で損傷および劣化が著しい部位は RC 床版であり、コンクリート橋を含むコンクリート部材の橋梁定期点検要領に示す健全度の判定区分ごとの補修・補強対策を述べている。補修・補強法においては、鉄筋に替わるメタルグリッド筋及び補修・補強材を用いた新工法についての必要性を論じ、また、設計基準（道路橋示方書・同解説）の変遷に伴う耐荷力性能との差異に対する補強の必要性を論じている。

第3章「RC はり・RC 床版の補修・補強に用いる材料」では、本論文（第4～6章）でコンクリート部材および RC 床版の補修・補強材として8時間施工および36時間施工に用いる低弾性ポリマーセメントモルタル（低弾性 PCM）および鋼繊維補強コンクリート（SFRC）の材料特性について述べている。また、施工時に発生するひび割れ補修に用いる浸透性接着剤および打ち継ぎコンクリートとの付着性を高めるためのエポキシ樹脂系接着剤（付着用接着剤）の必要性および材料特性が述べられている。とくに、施工の合理化・省力化が期待される一般鋼板および縞鋼板を用いたメタルグリッド筋（展張格子筋、格子鋼板筋）の性能および特徴が論じられている。

第4章「メタルグリッド筋を用いた RC はりの接着剤塗布型 PCM 増厚補強法における耐荷力性能の検証」では、コンクリート部材の曲げおよびせん断補強法について第3章で述べた材料を用いて、補修・補強した RC はりに \pm 静荷重実験を実施し、補強効果を検証した。RC はりの曲げ補強においては、未補強 RC はりおよびひび割れ補修した RC はりともに耐荷力性の向上が図られた。また、せん断補強においてもひび割れ補修を施し、支点上およびせん断領域にメタルグリッド筋を配置した増厚補強法は、耐荷力性能が大幅に向上し、十分な補強効果が得られる結果となった。よって、RC 部材の曲げ・せん断領域にメタルグリッド筋を用いた RC はりの接着剤塗布型 PCM 増厚補強法は有効的な補強法であることを示している。

第5章「メタルグリッド筋を用いて接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強した RC 床版の耐疲労性の評価」では、モデル化した RC 床版上面にメタルグリッド筋を用いて接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強を施した供試体に対し輪荷重走行疲労実験を実施し、未補強 RC 床版の等価走行回数に対して大幅な向上が図られ、十分な耐疲労性を有することを明らかにした。また、建研式引張試験より接着剤を塗布することで増厚界面は終局時まで一体性が保たれていることを示した。とくに、補強試験体の製作時においては一面加工されたメタルグリッド筋を設置し、ビス留めのみとなり鉄筋配置法と比較して施工時間の短縮や増厚層が鉄筋の1方向分の厚さが減少できることから、施工性、コストの縮減が図られ、実用的な補強法であることを示している。

第6章「メタルグリッド筋に継手構造を設けて接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強した RC 床版の耐疲労性の評価」では、実橋梁 RC 床版にメタルグリッド筋を配置する場合は、鉄筋と同様に製作寸法および輸送の関係から寸法に制限があり、施工においては継手構造が必要となる。そこで、厚さ40mmの増厚層内に継手構造を設けたメタルグリッド筋を配置して SFRC 補強した場合の耐疲労性の検証を行った。また、建研式引張試験による継手位置コンクリートの引張接着強度試験を行った。本実験の範囲内では継手構造は弱点とならず耐疲労性が評価された。建研式引張試験の結果においても、規格値以上の引張接着強度が得られている。よって、継手構造を設けたメタルグリッド筋の配置法は実用的であることを示している。

第7章「展張格子筋を用いた接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強技術」では、実橋 RC 床版の補強法としてメタルグリッド筋（展張格子筋）を用いた接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強法の施工例を示している。本施工では、幅員7mのうち片側3.5m、橋長82.7mの範囲において床版上面の部分補修を行った後、張出し部の負曲げ対策および設計基準である B 活荷重対応させるために接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強を施した。従来工法の鉄筋配置工法と比較して施工時間の短縮、増厚層の減少が図られる工法であるとともに、国土交通省が推奨する「i-Construction」に合致する補強材および補強法であり、地方公共団体の補強技術の

一助になり得ることを示した。

第8章「総括」では、各章における結論を総括して、本論文の主な研究成果をまとめるとともに、将来への展望について論じている。

以上より、本研究で得られた知見は、設計基準の改訂による耐荷力不足、老朽化によるひび割れの発生、海岸線における飛来塩分や直接海水を受けたことによる鉄筋の腐食に伴う断面欠損、発錆によるコンクリートのはく落などの損傷により耐荷力性能の低下など道路橋施設の維持管理業務に多大な影響を及ぼす種々の問題点において、メタルグリッド筋と接着剤を併用することでRC部材の補強に有効な補強法であることを明らかにするとともに、国土交通省が推奨する「i-Construction（建設現場の生産性革命）」における、コンクリートの生産性の向上を図るための対策の一つとしてメタルグリッド筋は鉄筋のプレハブ化に対応可能な材料であることを明らかにするなど、地方公共団体の補修・補強技術の発展に大きく寄与するものである。

この成果は、生産工学、特に土木工学（維持管理工学）に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令 和 年 月 日