

論文審査の結果の要旨

氏名：新 田 裕 之

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：鋼板格子筋を用いたボックスカルバートの補強技術およびひび割れ抑制対策
に関する実験研究

審査委員：（主 査） 教授 澤 野 利 章

（副 査） 教授 渡 部 正

教授 師 橋 憲 貴

日本大学大学院生産工学研究科非常勤講師 阿 部 忠

日本大学大学院生産工学研究科非常勤講師 川 井 豊

我が国において、高度経済成長期に多く建設された道路施設は国民の生活環境を快適にし、経済活動を効率的なものにすることに大きく貢献してきた。しかし、高度経済成長期に建設された道路施設は、建設後 50 年が経過し、老朽化が進み、補修・補強対策が必要となっている。とくに、道路施設の中で最も老朽化が進行しているのが橋梁である。道路橋では支間 2m 以上の橋梁および土被り 1.0m 以下の溝橋すなわちボックスカルバート（以下、カルバートとする）も橋梁施設として取り扱われており、これらの橋梁に対しては橋梁点検要領に基づいて 5 年ごとに点検し、健全度の判定が行われ、低コストで計画的に維持管理する「道路橋長寿命化修繕計画」に基づいて維持管理が進められている。しかし、カルバートの維持管理における補修・補強対策についての研究・開発はあまり進められていないのが現状である。

本研究では、カルバートの補修・補強技術において最も懸念されるカルバートの内空断面である建築限界を確保するために新たな補強技術の開発を目的とし、鉄筋に替わる引張補強材料として新たに開発された鋼板や縞鋼板にレーザでスリットを挿入し、一面加工した鋼板格子筋を用い、補強法においては増厚界面の界面はく離を抑制させ一体性の向上を図る対策としてエポキシ系樹脂を界面に塗布した接着剤塗布型のポリマーセメントモルタル（PCM）増厚補強法を提案する。一方、新設カルバートの設計における耐疲労性の照査に関する検討項目の一つであるひび割れ幅の照査では、鉄筋の応力度が許容引張応力度以下であっても許容ひび割れ幅の限界値に達してしまうために、鉄筋量を増大させる基準に改定された。よって、ひび割れ発生を抑制するために部分的に鋼板格子筋を配置した新構造を提案し、実験よりこれらの実用性を検証することで長寿命化修繕計画におけるカルバートの補修・補強技術を提案している。

本論文は 9 章で構成されている。

第 1 章「序論」では、社会インフラの老朽化の現状と建設業界の人手不足問題を述べ、効率的な補修・補強法の必要性を示している。また、橋梁の設計基準の変遷に伴う活荷重の増大に対する補強技術の必要性を述べるとともに、既往の補修・補強対策工法の現状について調査および各種工法をまとめた上で、損傷したボックスカルバートの補修・補強対策において、鋼板格子筋を用いることで耐荷力性能の向上を図れる新技術の提案を行い、本提案する補強法について、性能評価に関する検証、施工の合理化・省力化、安全施工等についての位置付けを論じている。

第 2 章「ボックスカルバートを含むインフラの現状」では、具体的にインフラの老朽化の現状述べ、現在供用されている老朽化したカルバートの損傷事例を紹介するとともに、橋梁点検要領および道路施設の点検について地方自治体での点検手法について述べ、部材の損傷度から健全度の判定区分に関して調査している。また、橋梁の設計基準の変遷に伴う活荷重の増大に対する補強技術の必要性を述べるとともに、劣化損傷したカルバートの補修・補強方法について各種工法との適合性をまとめている。さらに、建設業者数の減少、建設業就業者数の減少、高齢化問題を調査し、国土交通省が提唱する、i-Construction（建設現場の生産性革命）の必要性について述べている。

第3章「補修・補強材料および鋼板格子筋の材料特性」では、ひびわれ補修材や鋼板格子筋の種類や製作可能な鋼板および縞鋼板の板厚、展張角度など、製作に関わる事項について述べている。また、鋼板格子筋の他に用いるセメント系モルタル補修材、既設カルバートのひび割れ補修および吹き付けモルタルとの付着性を高める材料には、浸透性接着剤や付着用接着剤が用いられている。これらの材料の特徴や各種試験による材料特性値についても示した。とくに、鋼板格子筋を用いて接着剤塗布型PCM吹き付け補強法における、界面の引張試験やコンクリートとの付着試験について試験結果を考察した上で、本工法への適用性を述べている。

第4章「格子鋼板筋を用いたスラブ部材の耐荷力および耐疲労性の検証」では、ボックスカルバートの頂版すなわちRCスラブに縞鋼板を用いた格子鋼板筋を配置した場合の耐荷力および耐疲労性を検証している。供試体は実構造の1/2モデルで製作した。耐荷力性能については走行荷重実験、耐疲労性の評価については輪荷重走行疲労実験を実施している。格子鋼板筋を配置したスラブの最大耐荷力および耐疲労性の検証についての実験結果より、鉄筋を用いたスラブと比較して格子鋼板筋を用いたスラブ、最大耐荷力および耐疲労性能で十分に満足できる結果を得ている。したがって、プレキャスト化したカルバートや二次製品の鉄筋に替わる引張補強材として実用性がある材料であることを立証している。

第5章「ボックスカルバートに展張格子筋を用いた補強技術」では、1994年改定の道路橋示方書・同解説に基づいて設計し、その3/5モデルとした未補強カルバート供試体および補強カルバートの2体より、補強効果について実験的に検証している。なお、引張補強材にはレーザーでスリットを挿入し、配力筋方向に専用の機械で展張した展張格子鋼板筋を用いている。補強法は展張格子鋼板筋を配置し、接着剤塗布型PCM吹き付け補強法を行い、内空断面を確保するために厚さ40mmに増厚補強した。この結果、同一寸法を有するカルバートに対して引張補強材に展張格子鋼板筋を配置し、補強界面に付着用接着剤を塗布して、低弾性モルタルを40mm増厚することで1.66倍の補強効果を得ている。よって、本補強法は地方自治体や道路施設管理する団体が管理するカルバートの補強対策の一助となるものと考えられる。

第6章「損傷履歴を受けたボックスカルバートに展張格子筋を用いPCM増厚補強した耐荷力性能の検証」では、第5章で用いた、未補強カルバートに静荷重実験を行い、曲げ破壊したカルバートを2年間暴露し、劣化を促進させ、点検ではひび割れ箇所から漏水・遊離石灰の発生しているものに対して補修・補強を実施して供試体とし、静的載荷実験を行っている。ひび割れ補修には0.05mmまでのひび割れに浸透する浸透性接着剤を圧入した。ひび割れ発生箇所の補修を行った後、展張格子鋼板筋を配置し、接着剤塗布型PCM吹き付け補強法を施し、静荷重実験を行って最大耐荷力を検証している。実験終了時の切断面においては接着剤の浸透を確認し、静荷重実験の結果において、未補強カルバートの最大耐荷力に対して補強後の耐荷力が1.21倍の補強効果が得られた。よって、損傷したカルバートにおいてもB活荷重対応が可能な補強効果が得られている。

第7章「展張格子筋を用いた接着剤塗布型PCM増厚補強したボックスカルバートの施工技術」では、地震動によるひび割れ損傷および老朽化により、カルバート継ぎ手部からの漏水・遊離石灰の発生など損傷を受けた実構造物のカルバートに「第5章および第6章」で評価した補強法、すなわち「40mmの増厚補強層内に展張格子鋼板筋を配置し、接着剤塗布型PCM吹き付け補強法についての施工技術」を述べている。実構造であるカルバートに本提案する展張格子鋼板筋を配置する施工法は、工場でカルバート寸法に合わせて展張格子鋼板筋を製作し、現場においては設置のみとなり、大幅な時間の短縮が図られること、また増厚層が40mmであることから内空断面の確保が可能となったことを述べている。

第8章「鋼板格子筋を用いたRCスラブのひび割れ抑制対策」では、ボックスカルバートの設計基準においては、許容ひび割れ幅がカルバートに配置された鉄筋のかぶり c に対して $0.005c$ 以下のひび割れ幅を維持するように規定されている。これを満足させるためには主鉄筋量を増大させる方法しか採られていなかった。そこで、従来の規定に基づいて設計された鉄筋量を元に、新たにひび割れ抑制するために鋼板格子筋を配置し、ひび割れ抑制を図るもので、その効果について検証している。その結果、曲げ領域の主筋か

ぶり内に鋼板格子筋を配置することで、ひび割れの抑制効果得られる結果が得ている。よって、新設のカルバートのひび割れ抑制においても鋼板格子筋を配置することで、従来の設計法に基づいた鉄筋配置を維持しつつひび割れ抑制が可能であることを述べている。

第9章「総括」では、「格子鋼板筋を用いたボックスカルバートの補強技術およびひび割れ抑制対策に関する実験研究」で用いた鋼板格子筋は、国土交通省では i-Construction（建設現場の生産性革命）において、コンクリート工の生産性の向上を図るための対策の1つに、鉄筋のプレハブ化に対応できる材料であると考えられる。また、老朽化したボックスカルバートの機能回復や、1994年改定の道示に規定する活荷重に対応できる補強法である結果が得られた。さらに、ボックスカルバートの設計基準では、ひび割れ幅の規定があり、これを満足するために鋼板格子筋を曲げ領域内に部分的に使用することでひび割れの抑制効果得られた。

以上より、本論文で示す溝橋（ボックスカルバート）や土被りが1.0m以上の大型シェッド・カルバートおよびトンネルの増厚補強法への応用、さらには、耐震補強などにも応用が可能な補強技術であると考えられる。

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 2 年 3 月 5 日